



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN  
  
VIENNA  
UNIVERSITY OF  
TECHNOLOGY

## **DIPLOMARBEIT**

# Analyse, Entwicklung und beispielhafte Anwendung von tragenden Knoten für flexible Konstruktionssysteme des Holzskelettbau

**ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades  
eines Diplom-Ingenieurs**

**unter der Leitung von**

o.Univ.Prof. DDI Wolfgang Winter

und als verantwortlich mitwirkenden Assistenten

DI Thomas Weinlinger

E 259/2

Institut für Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau

**eingereicht an der Technischen Universität Wien**

Fakultät der Architektur und Raumplanung

**von**

Georg Hüttinger  
9926072

Klausenburgerstrasse 1, 5020 Salzburg

Wien, am 12.10.2009

.....  
(Georg Hüttinger)



## **Zusammenfassung**

Der modulare Aufbau mehrgeschossiger Holztragwerkbauten benötigt Systeme, die sowohl eine einfache, flexible und sichere Montage der einzelnen Baugruppen ermöglichen und sich außerdem durch leistungsfähige und hoch belastbare Verbindungskonstruktionen auszeichnen.

Die vorliegende Entwicklung eines tragenden Systemknotens für flexible Holzskelettbauten ist darauf ausgelegt sowohl hohen Belastungen standzuhalten als auch diese gegebenenfalls weiterzuleiten und somit das statische Gesamtsystem in der Waage zu halten.

Die modulare Qualität des Tragwerks basiert nicht wie in marktgängigen Modulbausätzen auf flächen- oder raumbildenden Elementen, sondern besteht im Wesentlichen aus stabförmigen Elementen (Stützen mit Stahlknoten & Trägern).

Einerseits gewährleistet dies eine effektive Platzausnutzung beim Transport und andererseits besteht dadurch auf der Baustelle die Möglichkeit, die Montage- bzw. Errichtungsart selbst zu wählen.

Durch rasch und einfach durchführbare Schraub- und Steckverbindungen der einzelnen vorgefertigten Elemente untereinander kann die Montage vor Ort mit dem passenden Werkzeug auch von Laien durchgeführt werden. Der Aufbau des Tragskeletts kann somit in äußerst kurzer Zeit erfolgen.

In dem, auf einen platzsparenden Transport abgestimmten Achsraster kann man die vorgefertigten Elemente individuell kombinieren bzw. jederzeit austauschen oder entfernen. Durch eine Erhöhung des Trägerquerschnitts in der Vorfertigung sind damit Spannweiten im Bereich eines Vielfachen des Achsrasters möglich.

Die möglichen Einsatz- und Anwendungsmöglichkeiten des Systemknotens werden in einem abschließenden Entwurf veranschaulicht. Der Entwurf eines Wohnbaus ist darauf ausgerichtet in seiner Erstnutzung Athleten der olympischen Winterspiele 2014 in Sotchi, Russland unterzubringen.

In einer möglichen Nachnutzungsvariante wird entweder Wohnfläche für die nacholympische Nutzung bereitgestellt oder es werden Gebäudeteile bzw. alles abgebaut und woanders wieder aufgebaut.

## **Abstract**

The modular structure of multi- storey timber constructions needs systems which make a simple, flexible and secure assembly of the individual building groups possible on the one hand and which distinguish themselves for efficient and highly loadable connecting constructions on the other hand.

This development of a load- bearing system for flexible timber frame constructions is designed to withstand high loads and, to keep the static overall system in balance, to pass them by if necessary.

The modular quality of the load- bearing structure is not based on slab- or chamber- forming elements, like in marketable module units, but it essentially consists of bar- shaped elements (columns with steel knots and beams).

This ensures effective space utilization during the transport as well as the free choice of the assembly at the building site.

The individual prefabricated elements can be accomplished locally with the suitable tool also by laymen because of the rapidly and simply completed screw and plug connectors. According to this, the assembling of the construction needs only a very short time.

In the grid, the prefabricated elements can be combined individually and replaced or removed at any time. The grid itself is adjusted to a space- saving transport. By an increase of the beams profile in the prefabrication, spans in the range of multiples of the grid are possible.

In a concluding draft the possible applicability of the load- bearing system is illustrated. The design of a residential building is arranged to house athletes of the Winter Olympics 2014 in Sochi, Russia.

As a possible re-use-option either residential space could be appropriated or parts, respectively the whole building could be removed from its place and rebuilt somewhere else.



## Inhaltsverzeichnis

|                                                                                      |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. Einleitung .....</b>                                                           | <b>1</b>  |
| 1.1. Motivation .....                                                                | 1         |
| 1.2. Ziel.....                                                                       | 1         |
| <b>2. Geschichte der Vorfertigung.....</b>                                           | <b>2</b>  |
| 2.1. Entwicklung der industriell vorgefertigten Holzhausbauweise .....               | 7         |
| 2.2. Pioniere der Vorfertigung im Holzhausbau.....                                   | 13        |
| 2.3. ländervergleichende Betrachtung der Vorfertigung im Holzbau.....                | 23        |
| <b>3. Typologie der Holzbauweisen &amp; -systeme .....</b>                           | <b>28</b> |
| 3.1. Holzbauprinzipien & -systeme .....                                              | 30        |
| 3.1.1. Massivholzbauweisen.....                                                      | 33        |
| 3.1.2. Holzleichtbauweisen.....                                                      | 37        |
| 3.1.3. Sonderformen.....                                                             | 42        |
| 3.2. marktgängige Holzbausysteme.....                                                | 45        |
| 3.2.1. stabförmige Systeme.....                                                      | 45        |
| 3.2.2. flächige Systeme.....                                                         | 48        |
| 3.2.3. raumbildende Systeme .....                                                    | 54        |
| 3.3. Vorfertigung .....                                                              | 56        |
| <b>4. Typologie von Holzverbindungen .....</b>                                       | <b>60</b> |
| 4.1. Einleitung .....                                                                | 60        |
| 4.2. zimmermannsmäßige Holzverbindungen .....                                        | 63        |
| 4.3. flexible Verbindungsmittel, Seile und Stricke.....                              | 65        |
| 4.4. ingenieurmäßige Holzverbindungen.....                                           | 66        |
| 4.4.1. stabförmige Verbindungsmittel.....                                            | 66        |
| 4.4.2. Dübel.....                                                                    | 67        |
| 4.4.3. Bleche .....                                                                  | 67        |
| 4.4.4. Nagelplatten.....                                                             | 67        |
| 4.4.5. Stahlplatten mit Gelenksbolzen.....                                           | 68        |
| 4.4.6. Loch- und Winkelbleche.....                                                   | 68        |
| <b>5. Analyse von Mechanismen &amp; Prinzipien tragender Knotenverbindungen.....</b> | <b>69</b> |
| 5.1. General Panel System.....                                                       | 69        |
| 5.2. USM- Haller Möbelbausystem.....                                                 | 71        |
| 5.3. Janebo- Hakenplatten .....                                                      | 73        |
| 5.4. Blumer- System Binder .....                                                     | 75        |
| 5.5. Bertsche- Systemanker .....                                                     | 77        |
| 5.6. Induo- Systemholztechnik .....                                                  | 79        |
| 5.7. Sherpa- Verbinder .....                                                         | 81        |

|                                                                              |            |
|------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 5.8. Lukas Lang building technologies.....                                   | 83         |
| 5.9. Sumitomo- big frame construction method .....                           | 85         |
| 5.10. 20 Geschosse in Holz- die Machbarkeit .....                            | 87         |
| 5.11. Zusammenfassung .....                                                  | 89         |
| <b>6. Entwicklung eines tragenden Systemknotens.....</b>                     | <b>93</b>  |
| 6.1. Einleitung .....                                                        | 93         |
| 6.1.1. Zielstellung und Anforderungen .....                                  | 93         |
| 6.1.2. Dokumentation der Entwicklungsphasen.....                             | 94         |
| 6.2. entwickelter Systemknoten.....                                          | 100        |
| 6.2.1. Elementierung und Montagemöglichkeiten.....                           | 103        |
| 6.2.2. Lastannahmen.....                                                     | 104        |
| 6.3. entwickelter Systemknoten als Anschlussknoten zur Fundamentierung ..... | 108        |
| 6.4. Demontagemöglichkeit und Austauschbarkeit einzelner Elemente .....      | 109        |
| <b>7. Entwurf eines demontablen, flexibel nachnutzbaren Wohnbaus .....</b>   | <b>111</b> |
| 7.1. Basisrecherchen .....                                                   | 111        |
| 7.1.1. Standort Sotschi und Krasnaja Poljana.....                            | 111        |
| 7.1.2. Rahmenbedingungen Olympiade 2014.....                                 | 112        |
| 7.1.3. Anforderungen des IOC .....                                           | 112        |
| 7.2. Konzept.....                                                            | 114        |
| 7.3. Entwurf .....                                                           | 116        |
| 7.3.1. Tragwerk .....                                                        | 116        |
| 7.3.2. Elementierung, vorgefertigte Elemente.....                            | 118        |
| 7.3.3. Grundrissentwicklung, Nutzungsvarianten.....                          | 122        |
| 7.3.4. Haustechnik .....                                                     | 123        |
| 7.3.5. Transport und Montage .....                                           | 127        |
| <b>Quellen.....</b>                                                          | <b>I</b>   |
| <b>Curriculum Vitae .....</b>                                                | <b>VI</b>  |
| <b>Plandarstellungen .....</b>                                               | <b>VII</b> |

## **1. Einleitung**

### **1.1. Motivation**

*„Holz ist ganz generell schön für den Menschen. Der Mensch liebt die enge Verbindung mit ihm, liebt es, mit der Hand darüberzustreichen. Es ist angenehm beim Berühren und für das Auge.“*

Frank Lloyd Wright

Durch das, während meines Studiums immer stärker werdende Interesse an Konstruktionen aus Holz und das Analysieren und Entwickeln immer neuer Knoten- und Detaillösungen, war es mir ein Anliegen, auch mit der vorliegenden Arbeit thematisch diese Richtung einzuschlagen.

### **1.2. Ziel**

Durch, im Vorfeld durchgeführter Analysen werden aktuelle, aber auch altbewährte Systemknoten aufgezeigt.

Aufgrund der dadurch gewonnenen Erkenntnisse soll ein tragender Knoten für flexible Konstruktionssysteme des Holzskelettbaus entwickelt werden.

Mithilfe der Dokumentation der einzelnen Entwicklungsphasen soll dieser Prozess näher veranschaulicht werden.

Auf Grundlage der Analysen und des entwickelten Systemknotens soll ein Gesamtentwurf entstehen, welcher sich vor allem durch einen äußerst hohen Vorfertigungsgrad der einzelnen Bauelemente auszeichnen soll.

## 2. Geschichte der Vorfertigung

### Aus der Frühgeschichte der Vorfertigung

Bereits in Zeiten der alten Römer war die Vorfertigung im Hausbau ein Thema. Neben vielen bekannten römischen Manufakturen, die Gebrauchsgeräte und Kunstgegenstände in Serie fertigten, gab es auch solche, die Bauelemente herstellten und verfrachteten. In der Bucht von Tunis wurde ein Schiffswrack aus Römerzeiten gefunden mit Bauelementen aus Marmor für einen Tempel mit den Säulen und dem plastischen Schmuck einschließlich der Statuen. Bestätigt wird die Annahme, dass es sich um eine Vorfertigung handelt, durch einen Brief des jüngeren Plinius an seinen Freund Mustius, in dem er um die Übersendung eines Ceres-Tempels mit vier Säulen bittet. Geliefert werden sollten auch der Tempelfußboden und die Statue der Göttin. Zweifellos war eine solche Vorfertigung nicht ohne Bedeutung für die Verbreitung römischer Kultur und Kunst in den eroberten Provinzen des Weltreiches.

Im Allgemeinen setzte die Vorfertigung ein, wenn leichte Zerlegbarkeit und Transportfähigkeit gefragt waren. Die ersten gesicherten Nachrichten darüber setzen in Japan mit dem Bericht des Ho-Djo-Ki aus dem 12. Jahrhundert ein, in dem eine zerlegbare und auf zwei Handkarren transportierbare Holzhütte beschrieben wird, 3 x 3 m groß, in der leichten japanischen Bauart mit Haken und Ösen zum Verriegeln der Wandplatten.

Die nächste Überlieferung bezieht sich auf Leonardo da Vinci, der 1494 und 1497 zerlegbare Gartenpavillons in einer Tafelbauweise für die Herzogin Isabella Sforza entworfen hat.

1575 wurde eine vorgefertigte Holzhütte für hundert Mann von englischen Goldsuchern aus ihrer Heimat nach Baffin Land gebracht. Allerdings ging ein Teil der Hütte beim Transport verloren.

1624 führte eine englische Fischereiflotte eine Holzhütte an Bord, die auf Cape Ann in Massachusetts als Stützpunkt aufgestellt und später auf andere Standorte an der Küste umgesetzt wurde.

Um diese Zeit gab es in Moskau bereits eine ausgedehnte Vorfertigung von Wohnhäusern in der dort üblichen Blockbauweise. Sie wurden in verschiedenen Preislagen für den Verkauf hergestellt und auf dem Holzmarkt angeboten. Der Käufer konnte das aufgestellte Haus besichtigen, es wurde dann abgebaut und auf sein Grundstück gefahren. Die Stadt erlebte damals einen raschen Aufschwung durch das Aufblühen des russischen Staates, dessen Expansion sogar zur Vorfertigung einer kompletten Festung vom Umfang des Moskauer Kremls führte. Alle Teile für die Mauern in Holz-Erde-Konstruktion, für die Türme, Lagerhäuser, Lebensmittelmagazine, Bäckereien, Badehäuser, Truppenunterkünfte und für zahlreiche Wohnhäuser wurden in Uglitsch an der Wolga hergerichtet, vormontiert und wieder abgebaut. 1551 schwamm das gesamte Baumaterial mit dem Frühjahrshochwasser 1000 km abwärts nach Swijashsk, wo die Festung in kürzester Zeit errichtet werden konnte.

### Krieg und Vorfertigung

Das Militärwesen war anfänglich überhaupt der wichtigste Auslöser für Vorfertigung und Montage. 1788, während des Türkenkrieges, wurden in Wien 24 Lazarettbaracken zusammengestellt und auf der Donau nach Slawonien in das Kampfgebiet verschifft. 1790 brachte die britische Flotte ein vorgefertigtes Hospital nach Australien.

Ähnliche Entwicklungen setzen sich im 19. Jahrhundert fort. Es waren stets einfache verbretterte Fachwerkbauten in der Art der preußischen Lazarettbaracken, die 1807 nach der Schlacht bei Eylau im ehemaligen Königsberg für 18.000 Verwundete errichtet wurden. Ähnliche Barackenlazarette wurden auch während der Freiheitskriege aufgebaut, allein drei vor den Toren der Stadt Frankfurt am Main. Allerdings waren diese noch nicht vorgefertigt.

Die Kranken lagen damals dicht gedrängt, Verwundete und Infektionskranke durcheinander, so daß die Sterberate vor allem durch Typhus und Ruhr erschreckend hoch war. Während des Krimkrieges 1854/56 errichteten die Engländer bei Renkioi am Südausgang der Dardanellen ein vorbildliches Etappenlazarett aus 64 in England vorgefertigten Holzfachwerkbaracken, die zur Absonderung der Infektionskranke in drei getrennten Gruppen an überdachten Wandelgängen aufgereiht worden sind. Die mit dieser Maßnahme erreichten Erfolge in der Seuchenbekämpfung wurden schließlich in die allgemeine Krankenpflege übernommen und Isolierstationen in vorgefertigten Baracken bei vielen Krankenhäusern eingerichtet und erprobt.

Im amerikanischen Sezessionskrieg 1865 schließlich war der Einsatz von vorgefertigten, leicht transportierbaren Baracken wegen der geringen Besiedlung des Landes eine dringende Notwendigkeit. Es wurden damals vierzehn Barackenlazarette mit über 100.000 Betten errichtet, so dass die Barackenproduktion einen lebhaften Aufschwung nahm und neue, für Transport und Montage besonders geeignete Bausysteme entwickelt wurden.

Während des Deutsch-Französischen Krieges reichten die vorhandenen Feldlazarette und die Krankenhäuser in der Heimat nicht aus, und so mussten eiligst Baracken in den Garnisonsstädten errichtet werden.

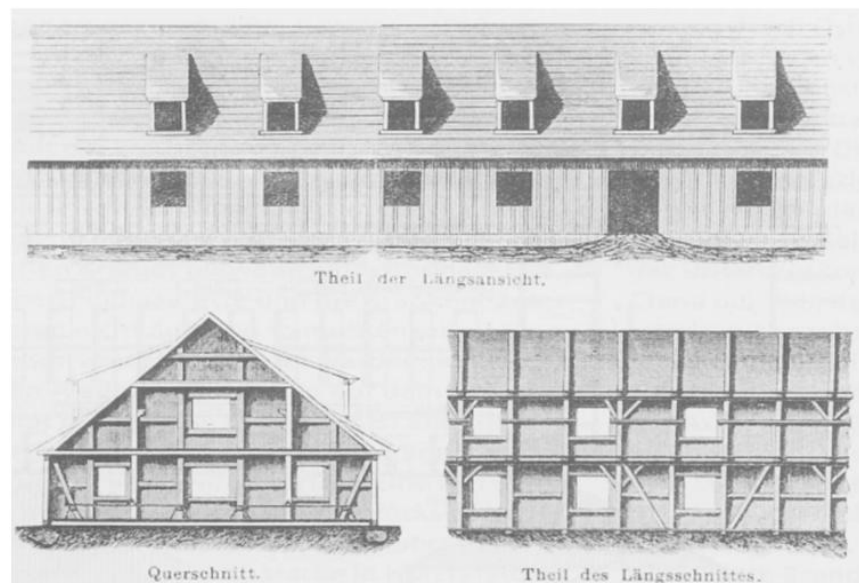


Abb. 2.1 Preußische Lazarettbaracke, 1807[1]

Es waren fast ausschließlich Holzbauten, oft nur Schuppen, und nur wenige waren von geschickten Unternehmern vorgefertigt. Eine von dem Schweizer Ingenieur Riesold 1869/70 unter Berücksichtigung der neuesten technischen und medizinischen Erfahrungen konstruierte transportable Lazarettbaracke in Holztafelbauweise mit einem einfachen Holzskelett kam zu spät. Unter dem Eindruck der hohen, aber vermeidbaren Ver-

luste begannen in Deutschland systematische Tests mit den vorhandenen Barackenbauweisen und eine intensive Arbeit an deren Verbesserung.

Allgemein wuchs das Interesse am Ausbau des Sanitätswesens. 1864 wurden Lazarette, Krankenhäuser und das Sanitätspersonal durch die Genfer Konvention für den Kriegsfall als neutral erklärt. 1863 wurde das Internationale Komitee vom Roten Kreuz gegründet, das 1885 mit Unterstützung der belgischen Regierung in Antwerpen einen Wettbewerb für Lazarettbaracken ausschrieb - den ersten internationalen Wettbewerb für vorgefertigte Bauten. In diesem Rahmen machte erstmals eine deutsche Firma von sich reden: Christoph & Unmack, die später zum bedeutendsten Holzhausproduzenten werden sollte, erhielten den ersten Preis.

Die Baracke verdrängte im Lauf des 19. Jahrhunderts das Zelt, das bisher für Feldlazarette und Truppenunterkünfte üblich gewesen war. Endgültig überlegen erwies sie sich jedoch erst 1878 bei der Okkupation Bosniens und Herzegovina durch Österreich, als es gelang, in diesen unerschlossenen Gebieten vorgefertigte Lazarette, Truppenunterkünfte und selbst Pferdeställe auf Tragtieren in abgelegene Einsatzorte zu transportieren.

Gegen Ende der achtziger Jahre gab es in Deutschland bereits eine lebhafte Barackenproduktion speziell für Lazarette, darunter auch schon Typen mit einer glatten Stahlblechaußenhaut.

Als letztes Beispiel in dieser Reihe sei das „Kriegshaus“ erwähnt, das bei der Unterdrückung des sogenannten Boxeraufstandes in China um 1900 dem deutschen Expeditionskorps als Stabsgebäude mitgegeben worden war. Der erdgeschossige Bau hatte eine Grundfläche von 11,30 x 17 m und wurde im Auftrag des preußischen Kriegsministeriums von den Hamburger Asbest- und Gummiwerken A. Calmon angefertigt. Es war ein mit Asbestschieferplatten beplankter Holzfachwerkbau. Die Konstruktion ist offensichtlich noch wenig durchdacht gewesen, denn der Aufbau dauerte acht Tage und die Demontage drei. Bereits 1901 wurde aus Peking die Vernichtung durch Brand gemeldet. Von diesen einfachen „fliegenden“ Holzbauten der ersten Feldlazarette zieht sich ein ununterbrochener Entwicklungsstrang bis in die jüngste Zeit. „Baracke“ ist eine internationale Bezeichnung geworden, sie ist in allen Weltsprachen zu finden. Baracken wurden und werden für die vielfältigsten Zwecke gebraucht und sind durch die Errichtung von Lagern verschiedenster Art zu einem, die Vorfertigung im Wesentlichen definierenden Begriff des 20. Jahrhunderts geworden.

### Hausbau für die koloniale Expansion

Koloniale Eroberungen lösten nicht nur die Vorfertigung von Lazarettbaracken und Truppenunterkünften aus, sondern auch die von Wohnhäusern für die nachfolgende Besiedlung.

Denn der übliche Massivbau konnte den teilweise sprunghaft wachsenden Bedarf an Wohnraum nicht decken. Vor allem fehlte es an Bauhandwerkern und an Fachkräften für die Herstellung der traditionellen Baumaterialien. Eine Folge waren erhöhte Löhne für Facharbeiter und enorm hohe Wohnungsmieten. Daher konnte die Vorfertigung von Wohnhäusern, Läden und Geschäftshäusern in Europa und der Transport nach Übersee zu einem gewinnbringenden Geschäft werden. Die Abnehmer waren in erster Linie Nordamerika, besonders die Neuenglandstaaten im Nordosten mit Boston und New York als den wichtigsten Häfen, aber auch die Karibischen Inseln, Südamerika, Australien und Afrika.

Holz war anfangs das gegebene Baumaterial und ein vereinfachtes Fachwerk mit äußerer und innerer Verbretterung die gebräuchlichste Konstruktion. Solche Fachwerkhäuser wurden ein- und zweigeschossig geliefert. In der Regel reichte ihre leichte Bauweise für die klimatischen Verhältnisse der Bestimmungsländer aus, sodass diese Art der Vorfertigung weite Verbreitung fand. Besondere Dämmstoffe gab es bis in die zweite Hälfte des 19. Jahrhunderts noch nicht. Von Häusern, die 1840 von Norwegen nach Algier verfrachtet wurden, heißt es ausdrücklich, dass die Ausfachung aus zwei sich überkreuzenden eingeschobenen Brettlagen bestand, die eine Isolierschicht von Tran- getränktem dickem Papier einschlossen.

Der Transport zur See und vor allem der mehr oder weniger schwierige Landtransport machten eine leichte Konstruktion und eine möglichst raumsparende Verpackung erforderlich. Einfachste Montage ohne längere Handarbeit auf der Baustelle waren für den Absatz wichtig.

In London produzierte die Firma John Manning seit etwa 1830 zweiräumige Hütten für die Kolonien mit einfachem Ständerwerk und eingeschobenen, auf Rahmen und Füllung gearbeiteten Holztafeln. Die Montage dauerte nur einen Tag.

1840 veröffentlichte John Hall, ein Architekt in Baltimore, eine Beispielsammlung von Wohnhausentwürfen, darunter auch eine zweiräumige Hütte in der gleichen Tafelbauweise. Sie hatte den Vorzug, dass das gesamte Baumaterial von nur einem Pferd transportiert werden konnte. Bei späteren Systemen wurde das Ständerwerk weggelassen.

1861 erhielten zwei Holzhändler in Boston ein Patent für eine Hütte aus Platten, die aus einer gespundeten Brettlage auf einem flachen Holzrahmen bestanden. Solche leichten Hütten wurden Jahre hindurch in großer Zahl auch von der amerikanischen Armee gekauft. Der große Mangel an Wohnraum in den Kolonien war jedoch nicht nur ein starker Anreiz zum Häuserimport, sondern auch zur Entwicklung einer lokalen Holzindustrie. Dampfbetriebene Sägewerke entstanden überall in den Vereinigten Staaten.

Die Einführung der Kreissäge und die Verwendung maschinell hergestellter Drahtstifte anstelle der teuren schmiedeeisernen Nägel veranlassten den Ingenieur George Snow in Chicago zur Entwicklung einer Hauskonstruktion, die nur aus Brettern, wie sie jedes Sägewerk maßgerecht liefern konnte, und genagelten Verbindungen bestand. Loch und Zapfen wie beim Fachwerkbau entfielen. Die Konstruktion bestand aus enggestellten Brettspfosten, entsprechend angeordneten, hochkant liegenden Brettern als Deckenbalken, einer Brettschalung außen und einer Vertäfelung innen. Diese leichte Bauweise-Balloon Frame System- beruhte auf einer Teilvorfertigung und beanspruchte noch erhebliche Arbeit auf der Baustelle. Aber diese Arbeit konnte auch von Nichtfachleuten verrichtet werden. Das System war praktisch und billig, das Ergebnis ein ortsfestes Haus, das nur noch bedingt zerlegbar und transportabel, dafür aber variabel in Größe und Grundriss war. Es verbreitete sich rasch und bildete bald die Grundlage der außerordentlich hohen Produktivität der amerikanischen Holzindustrie.

„Ohne Kenntnis der Balloon Frame Konstruktion“, heißt es in einer Pressestimme von 1855, „hätten weder Chicago noch San Francisco in einem einzigen Jahr zu großen Städten werden können.“

Die Sägewerke von Chicago ermöglichten es, dass 1876 die mehrere hundert Kilometer entfernte Stadt Cheyenne in Wyoming mit etwa 3.000 Balloon Frame Häusern in nur drei Monaten errichtet werden konnte. Es wird geschätzt, dass solche Häuser in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts einen Anteil von 60 bis 80 Prozent der gesamten Wohnbausubstanz der Vereinigten Staaten erreichten.

Die Haustypen waren sehr verschieden, ein- und zweigeschossig, mit Sattel- oder Walmdach, mit und ohne angebauten Lauben, aber außen alle mit der gleichen wasserabweisenden waagrechten Stülpchalung. Monotonie im Städtebau durch Wiederholung

der gleichen Haustypen war daher ein noch unbekannter Begriff. Die Vereinigten Staaten sind auf diese Weise durch die Umstände ihrer Besiedlung, durch günstiges Klima und natürlichen Holzreichtum zu einem Land des Holzhauses geworden und George Snow zum erfolgreichsten Pionier der Vorfertigung im 19. Jahrhundert.

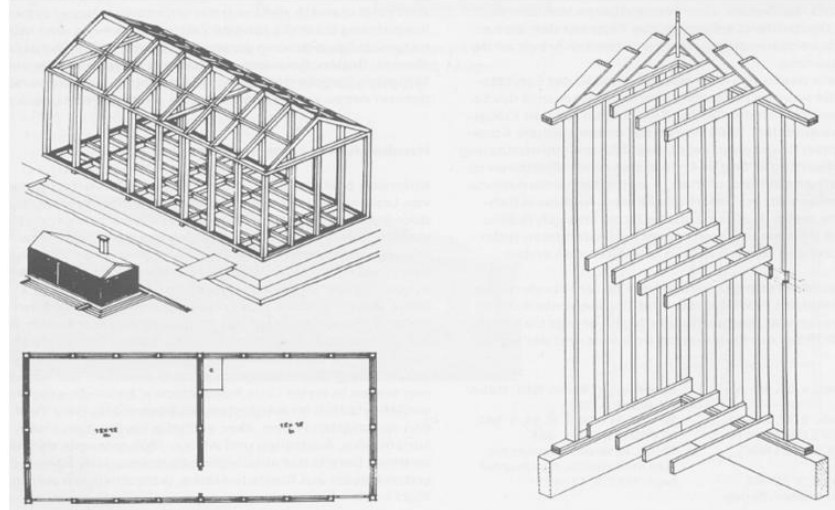


Abb. 2.2 *Balloon Frame System, Chicago vor 1850 [1]*

Das Einfamilienhaus aus Holz ist in Nordamerika noch immer vorherrschend. Natürlich wurde die Art der Vorfertigung unablässig verfeinert. Ein starker Impuls ging von dem wirtschaftlichen Aufschwung aus, der nach dem Bürgerkrieg einsetzte. Schon in den siebziger Jahren bot eine Firma in Chicago „ready made houses“ an, das heißt Fertighäuser, bei denen über den Rohbau hinaus bereits Teile des Innenausbaus mitgeliefert wurden.

Nach 1900 wurde mit dem „precut house“ oder „mail order house“ der damals weitest entwickelte Vorfertigungsgrad und die höchste technische Vollkommenheit erreicht. Ein solches Haus war sofort beziehbar, sogar die passende Möblierung konnte man bestellen. Die Konstruktion ging auf das Balloon Frame System zurück, von individuell gebauten Häusern war es daher kaum zu unterscheiden.



### 2.1. Entwicklung der industriell vorgefertigten Holzhausbauweise

Deutschland hatte sich ganz im Gegensatz zu den Vereinigten Staaten im Lauf des 19. Jahrhunderts zu einem Land des Steinhauses entwickelt. Das Vordringen des Steinhauses bewirkte nicht nur eine Veränderung der Bautraditionen, sondern auch der Bewertungsmaßstäbe. Nur das massiv gebaute Haus galt als dauerhaft und vollwertig, das Holzhaus seither als vergänglich, besonders feuergefährdet, als billig und damit als minderwertig. Es brachte auch wirtschaftliche Nachteile.

Ein Holzhaus war weniger mit Hypotheken belastbar als ein Steinhaus, und man musste höhere Beiträge an die Brandversicherung entrichten. Die wirtschaftliche und ideelle Konkurrenz des Steinhauses war daher erdrückend. Trotzdem hatte sich ein Rest von Sympathie für den Baustoff Holz erhalten.

Während des ganzen 19. Jahrhunderts hielt sich im europäischen Bürgertum eine Vorliebe für das „Schweizerhaus“. Sie ging auf die Zeit der französischen Revolution zurück, als die Schweiz als das Land galt, „wo die Freiheit wohnt und wo die Sitten und Gebräuche des Volkes noch lebendig sind“. Das schweizerische Bauernhaus mit seinem schwach geneigten Dach und seiner reich verzierten Holzarchitektur wurde zum Symbol dieser Ideen und verwandelte sich im Lauf der Jahre in eine beliebte Form des Land- und Ferienhauses in England, Frankreich und auch in Deutschland. Schweizerhäuser wurden noch nach 1900 in den Villen-Vororten großer Städte gebaut. Um diese Zeit wuchs das Interesse am Holzbau und seiner besonderen Schönheit auch durch die ideelle Aufwertung der alten nationalen Volksbauweisen und deren Wiederaufleben im sogenannten Heimatstil und der Heimatschutzbewegung, die um die Jahrhundertwende einsetzte. Die Zahl der Landhäuser und Villen im ländlichen Stil nahm zu, und manches städtische Mietshaus erhielt einen Ziergiebel in schönem Holzfachwerk.

Allein auf dieser schmalen Basis romantisierender Ideen konnte sich in Deutschland das vorgefertigte ortsfeste Holzhaus entwickeln. Der Absatz war daher von vornherein begrenzt. Wenn man von Wohnbaracken absieht, so beschränkte er sich auf Bauten für die Erholung des Bürgertums wie Garten-, Sommer- und Ferienhäuser, Jagd- und Berghütten, schließlich auch auf ländliche Villen, wenn der Bauherr auf ein rustikales Milieu besonderen Wert legte. Holzhäuser galten daher bis 1914 als „Luxusbauten“.

Das wachsende Interesse an den Volksbauweisen und die romantische Verklärung des Holzhauses nutzte die schwedische Holzindustrie, um vorgefertigte Holzhäuser in Deutschland und auch in England anzubieten. Mehrere solcher Häuser wurden seit 1891 im Norden Berlins gebaut. Der erste Bau entstand in Lehnitz bei Oranienburg und ist nach dem zweiten Weltkrieg abgerissen worden. Das Haus war zweigeschossig mit einem spitzen Türmchen und wurde von einem schwedischen Monteur mit einigen Berliner Zimmerleuten in vier bis fünf Wochen aufgebaut.

Erhalten haben sich zwei Häuser in Waidmannslust. Errichtet wurden sie von einem Bauunternehmer, der der Generalvertreter der schwedischen Herstellerfirma war. Sie bestehen aus einem Skelett von geschoßhohen Pfosten mit Nuten, in die Platten aus einer dreifachen Brettlage eingeschoben sind. Die Außenwandplatten erhielten eine Zwischenschicht aus asphaltgetränktem Papier zur Abdichtung gegen Wind und Feuchtigkeit. Die Schornsteine waren gemauert. Die unvorteilhaften Grundrisse dieser Holzvillen entsprachen dem Können jener Bauunternehmer, die für das Kleinbürgertum arbeiteten.

Damals wurde auch von einem Holzhaus aus Norwegen berichtet, das sich ein Schriftsteller auf dem Seeberg bei Kleinmachnow hatte errichten lassen. So gering die Einfuhr solcher Häuser auch war, sie fielen auf und führten zu Vorwürfen gegenüber der deutschen Holzindustrie, dass sie nichts Entsprechendes zu bieten habe.

Die deutschen Fachzeitschriften begannen schon in den siebziger Jahren über den aufblühenden amerikanischen und gelegentlich auch über den skandinavischen Holzbau zu berichten. Selbst das amtliche „Zentralblatt der Bauverwaltung“ schaltete sich mit einigen Artikeln ein. Auch das „Handbuch der Architektur“ und die „Baukunde des Architekten“ brachten Beispiele mit Konstruktionsangaben.

Aber schon vorher hatte eine Werft in Wolgast, die sich nach Einführung eiserner Hochseeschiffe veranlasst sah, den Bau hölzerner Schiffe aufzugeben, die Produktion von Häusern aufgenommen. Seit 1868 soll sie die Einzelfertigung von Wohnhäusern, seit 1884 die Serienfertigung von Bauelementen für Gartenhäuser und bald auch für Wohnhäuser begonnen haben.

Das bisher bekannte älteste Haus wurde 1890 in Berlin-Wannsee, Bergstraße, errichtet und lässt erkennen, dass die Schwedenhäuser sowohl konstruktiv als auch in der architektonischen Haltung weitgehend Vorbild gewesen sind.

Die, in eine „Aktiengesellschaft für Holzbearbeitung“ umgewandelte Werft war offensichtlich bemüht, den Wünschen selbst anspruchsvoller Kunden gerecht zu werden und sich durch Erker, Loggien, Veranden und durch hohe Dächer mit verzierten Giebeln und spitzen Türmchen dem herrschenden Villenstil anzupassen. Doch es gab auch einfachere Bauten unterschiedlichster Gestalt, sie gingen unter anderem nach Rostock, Heringsdorf, Binz, Kiel, Hamburg Potsdam und Königswusterhausen, vierzehn Stück mit einem Auftrag nach Argentinien.

Da die Werft in alter Schiffsbautradition das harte und dauerhafte Pitchpineholz verwendete, galten ihre Häuser bald als besonders haltbar. Das harte Holz hatte außerdem den Vorteil, im Verlauf der Jahreszeiten wenig zu quellen und zu schwinden. Das Haus in Berlin-Wannsee, das Gärtnerhaus eines großen Villengrundstücks, hat sich äußerlich fast unverändert erhalten, lediglich die Fenster im Erdgeschoßerker wurden in der Zwischenzeit ausgewechselt.

Die handwerkliche Gediegenheit der Wolgaster Häuser sprach für sich, und die Nachfrage stieg. Das Unternehmen wurde vergrößert und das Produktionsprogramm erweitert, die industrielle Herstellung von Fenstern und Türen wurde aufgenommen.

Für eine zerlegbare Lazarettbaracke erhielt das Werk auf der Weltausstellung von 1897 in Brüssel einen ersten Preis.

Das Werk entwickelte nach 1900 erstmals in Deutschland eine rationalisierte Form der Blockbauweise, um sich mit dem Bau der beliebten Schweizerhäuser einen neuen Absatzmarkt zu erschließen. Die im Blockbau üblichen Rund- und Balkenhölzer wurden auf 8 cm starke Bohlen reduziert. Die alte Verbindung durch Überblattung ist jedoch beibehalten worden, so dass die Bohlen an den Gebäudeecken etwa handbreit überstanden. Auch die Innenwände griffen mit Überblattungen in die Außenwände ein. Sie zeichneten sich dadurch in der Fassade ab und gaben ihr die für Blockbauten charakteristische Gliederung.

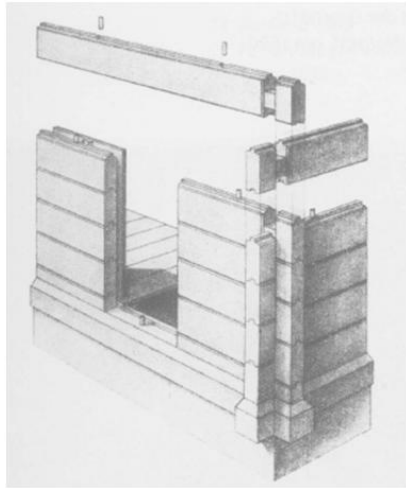


Abb. 2.3 Blockbau [1]



Abb. 2.4 Zeitungsannonce 1907/1908 [1]

In den letzten Jahren vor dem Weltkrieg wurde auch die ursprüngliche Skelettbauweise weitgehend rationalisiert. Die äußeren Schalungsbretter sind nicht mehr zwischen die Ständer eingeschoben worden, sondern aufgenagelt, und ihre Stoßfugen erhielten einfache Deckleisten. Bis auf die Abrundung der Bretterkanten wurde auf jede Profilierung verzichtet. Der Hohlraum zwischen den Brettschichten ist mit Torfstreu verfüllt worden, sodass der Wärmehaushalt eines solchen Hauses wirtschaftlicher ist als der eines entsprechenden Mauerbaues. Die aus dem traditionellen Villenbau übernommenen zahlreichen Vor- und Rücksprünge des Baukörpers verschwanden zugunsten einer klaren Form. Der Absatz solcher Häuser scheint vielversprechend gewesen zu sein, denn die Wolgaster Holzindustrie-Gesellschaft wandelte ihre Hausbauabteilung in eine selbständige Wolgaster Holzhäusergesellschaft um und war das Werk, als das im deutschen Holzhausbau über die Jahrhundertwende hinaus führende.

Diese Stellung ging in der Folgezeit durch das Heranwachsen weiterer leistungsfähiger Holzbaubetriebe verloren. Damals begann die Blütezeit jener Firma, die 1885 im Wettbewerb für Lazarettbaracken den ersten Preis erhalten hatte.

Die Geschichte von Christoph & Unmack geht zurück auf die Übernahme eines Kupferhammers in Niesky 1835 durch die Familie Christoph. Das Werk spezialisierte sich zunächst auf Dampfkesselbau und die Lieferung von Eisenbahnmaterial.

Der Barackenbau wurde von einem Zweig der Familie 1882 nach dem Erwerb eines Patents des dänischen Rittmeisters G. O. Doecker aufgenommen. Doecker war unter dem Eindruck der riesigen Verluste im Krieg von 1870/71 auf den Gedanken gekommen, eine leichte, einfach und schnell zu montierende Lazarettbaracke zu konstruieren. Das Hauptbauelement bestand aus einem geschoßhohen und etwa türbreiten Holzrahmen, der beiderseits mit einer Lage von 3-4 mm dicker Filzpappe benagelt war. Die Pappe wurde gegen das Wetter außen mit Leinöl getränkt, innen der Brandgefahr wegen mit Wasserglas gestrichen. Die empfindlichen Pappschichten wurden durch das Aufkleben von Jute verfestigt und die Zwischenstützen durch eine besonders feste Verbindung der Bauplatten, einerseits durch Scharniere, andererseits durch Haken mit Ösen, ersetzt. Die Fugen der Dachplatten wurden mit Streifen von Segeltuch überklebt. Mit dieser einfachen Konstruktion wurden im internationalen Wettbewerb immerhin 49 Konkurrenten aus dem Feld geschlagen, darunter zwölf spezialisierte Barackenproduzenten.

Trotz der wenig widerstandsfähigen Bauweise hatte Doecker bei den europäischen Militärverwaltungen großen Erfolg. Seine Baracken galten allgemein als verbesserte Zeltbauten. 1892 brannte die Barackenfabrik in Niesky ab.

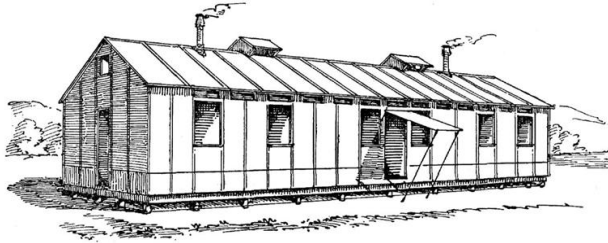


Abb. 2.5 Baracke, Doecker [11]

Es kam zu einer Neugründung mit einem neuen Teilhaber und zur Bildung der Firma Christoph & Unmack. 1922 wurde auch der Kessel- und Stahlbau in diese Firma miteinbezogen. Christoph & Unmack änderten den Charakter der Doecker-Bauten, indem sie die Filzpappe durch dünne Brettlagen ersetzten, und schufen damit ihren bekannten und vielseitig verwendbaren Barackentyp: Er bestand aus Wand-, Fußboden-, Decken- und Dachplatten, deren

Breite von 1,10 m sich wie auch bei anderen Systemen aus der Breite der Türen und Fenster ergab. Die Platten waren von Hand ohne Hebezeuge versetzbar. Die Dächer wurden mit Dachpappe gedeckt. Für die Kolonien wurden Tropenhäuser mit doppeltem Dach und Luftdurchzug als Sonnenschutz gefertigt. 1898 ging das Unternehmen mit technisch verbesserten Wandplatten auch zur Vorfertigung von Wohnhäusern über.

Die Herkunft aus dem billigen Barackenbau sah man jedoch allen diesen Gebäuden an. Ohne einer zusätzlichen Deckschicht blieb es beim Eindruck eines Provisoriums. Vielleicht gab der Erfolg der Wolgaster Blockbauweise den Anstoß, im Hausbau zu einem ähnlichen System überzugehen. Um 1911 begann die Fertigung von Blockhäusern aus nur 7cm dicken, glatt gehobelten und gespundeten Bohlen, die innen durch eine leichte Vertäfelung von Holz oder dünnen Pressplatten abgedeckt wurden.

Bohlen und Vertäfelung reichten für die Wärmehaltung auch in harten Wintern aus. Ihre Tragfähigkeit ermöglichte zweigeschossige Bauten. Diese „Nordischen Holzhäuser“ galten als warm und behaglich. Sie wurden wie die Wolgaster Häuser als Land- und Ferienhäuser und als Jagdhütten benutzt und waren schon vor dem ersten Weltkrieg in ganz Deutschland verbreitet. In dieser Zeit waren Holzhäuser bereits so beliebt, dass sich einzelne Architekten darauf spezialisierten und Zeitschriften darüber berichteten. Ein sich wiederholendes Grundrissystem zur Rationalisierung der gesamten Entwurfs-, Herstellungs- und Bauprozesse ist bei den Häusern aus Wolgast und Niesky jedoch noch nicht erkennbar. Grundrissystematik war noch nicht gefragt.

Im Gegensatz zu den Vereinigten Staaten mit ihrer hoch entwickelten Fertighausproduktion blieb es in Deutschland bei der Einzelanfertigung auf Bestellung mit Hilfe serienmäßig hergestellter Bauelemente und ergänzender Sonderbauteile.

Wie im üblichen Hausbau wurden für die jeweiligen Entwürfe Architekten herangezogen, allerdings wie im landläufigen Eigenheimbau üblich, recht unqualifizierte Kräfte mit wenig Sinn für die Klarheit des Grundrisses und der Baugestalt.

Für die Jahre zwischen 1900 und 1914 lässt sich eine ganze Reihe von Unternehmen benennen, die auf der Basis geschoßhoher Wandelemente Wohnhäuser verschiedenster Art, Sportbauten, darunter Turn- und Tennishallen, Schul- und Krankenpavillons, Massenunterkünfte und als eine Neuheit auch „Autoschuppen“ anboten.

Unter ihnen war die Aktiengesellschaft Ferdinand Bendix Söhne in Berlin wahrscheinlich eine der größten. Um die Jahrhundertwende konnte sie in Berlin einen Schulkomplex mit sechzehn Klassenräumen, acht Lehrerzimmern und einer Turnhalle errichten.

Ein Zentrum scheint Hamburg gewesen zu sein, als ein günstiger Platz für die Holzanzufuhr aus Übersee und den Export in die koloniale Welt.

Die Firma Calmon, die das „Kriegshaus“ für den Einsatz in China hergestellt hatte, lieferte vor allem Viehställe an die Rittergüter in Norddeutschland. Sie war führend in der Herstellung von festen feuerhemmenden Bauplatten aus Asbestschiefer, der gegen Ende des 19. Jahrhunderts erfunden worden war, sich aber bald als nicht wetterbeständig erwies und vom Asbestzementschiefer abgelöst wurde.

Ein anderes Unternehmen, die Holzbaugesellschaft Gottfried Hagen, ebenfalls in Hamburg, zählte zweifellos auch zu den großen Holzhausbaugesellschaften. Nachweisbar ist die Beteiligung an Kleinsiedlungsvorhaben von 1919 in Berlin.

Eine dritte Firma arbeitete nach dem System Plate, bei dem die nur 6 cm dicken, aber 2 m breiten Wandplatten in ein Skelett aus Schwelle, Rähm und Zwischenbeziehungsweise Eckstützen eingeschoben wurden.

Aber allen diesen Unternehmen fehlte eine ästhetisch geschulte Leitung, die den recht primitiven Charakter ihrer Produkte hätte überwinden können. Obwohl das Ansehen des Holzhauses zunahm und der Absatz stieg, scheint der Barackenbau das Hauptgeschäft gewesen zu sein. Die Aufträge ergaben sich nicht nur aus dem Bedarf der Heeresverwaltungen, sondern auch aus dem lebhaften Aufschwung der Wirtschaft und dem Wachstum der Industriezentren.

Ein nachhaltiger Anstoß zu einem weiteren Fortschritt im Holzhausbau ergab sich gegen Ende des 19. Jahrhunderts durch den Aufschwung der chemischen Industrie. Sie lieferte dem Bauwesen verschiedenartigste neue Isolier- und Dämmstoffe und eröffnete damit die Möglichkeit, den Materialaufwand bei den üblichen Bauweisen ohne Minderung der bauphysikalischen Eigenschaften zu senken und in der Vorfertigung überhaupt neue Wege zu beschreiten. Ohnehin waren Füllstoffe wie Torfmull, Holzwolle, Hobelspane, Stroh, Häcksel, Kieselgur, Schlackenwolle und selbst Kork bei leichten Wandkonstruktionen der Wärmedämmung wegen längst üblich geworden.

In Stuttgart experimentierte der Baurat Karl Hengerer mit dem sogenannten Steinholzein Material aus Magnesiumoxychlorid als Bindemittel mit Füllstoffen wie Holzmehl, Asbestfasern, Korkschat oder Sägespäne- welches man bis zu diesem Zeitpunkt vorwiegend als Fußbodenbelag einsetzte. Er nahm Sägespäne und Holzwolle als Füllstoff und erfand die Tektonplatte. Sie war 50 cm breit und 3,50 m lang und enthielt vier flache Holzstäbe zur Aussteifung. Tekton ließ sich sägen und nageln und war auch als Putzträger geeignet. Hengerer hoffte, mit dem Tekton die im Holzhausbau üblichen Verbretterungen vollwertig ersetzen zu können und entwarf eine entsprechende Bauweise: ein leicht montierbares Holzfachwerk mit äußerer und innerer Tektonverkleidung.

Sein „Tektonhaus“ wurde erstmals 1908 auf einer Bauausstellung in Stuttgart vorgeführt. Die Montage dauerte einen Tag, der Innenausbau ebenfalls, sodass am dritten Tag bereits die Möblierung erfolgen konnte. Hengerer konnte in verschiedenen Städten Tektonhäuser bauen, aber ein anhaltender Erfolg blieb aus. Tekton wurde mit einem verbesserten Bindemittel jedoch noch in den zwanziger Jahren produziert und vielseitig verwendet.

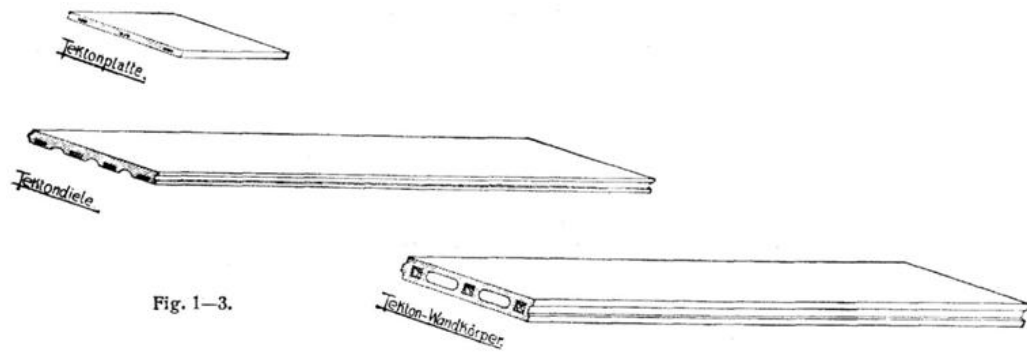


Abb. 2.6 Tektonbauteile [11]

Der rasche allgemeine Aufschwung der Technik seit dem Ende des 19. Jahrhunderts veranlasste viele regsame Menschen, sich mit technischen Problemen zu beschäftigen und etwas Neues zu erfinden, nicht zuletzt auch im Bereich des Bauwesens. Damals wurde Erfinder zu einer Berufsbezeichnung. Zu diesen rastlosen Tüftlern zählte unter anderem auch Gustav Lilienthal, der wie Hengerer eine Bauplatte erfand und dafür verschiedene Vorfertigungssysteme entwickelte.

## 2.2. Pioniere der Vorfertigung im Holzhausbau

### Gustav Lilienthal

(\* 1849 in Anklam; † 1933 in Berlin)



Abb. 2.7 G. Lilienthal [12]

Gustav Lilienthal war nicht nur ein genialer Helfer bei den Flugstudien und Flugversuchen seines Bruders Otto, sondern ein Erfinder mit Leib und Seele. In seiner Heimatstadt Anklam lernte er Maurer. 1868 begann er ein Studium an der Bauakademie in Berlin, brach es aber nach zwei Jahren ohne einen Abschluss ab. Offensichtlich stand die, mit dem Studium vorprogrammierte Beamtenlaufbahn in unüberbrückbarem Gegensatz zu seiner Lebensauffassung und Interessenlage.

Er war ein Neuerer mit sozialem und ausgesprochen pädagogischem Engagement. Mit der Entwicklung von Bauspielen für Kinder hat er sich fast fünfzig Jahre beschäftigt. Von Anbeginn arbeitete er mit seinem Bruder an den Problemen des Fliegens. Gemeinsam bauten sie Tragflügel aus Weidenruten. Nach einigen Wanderjahren im Ausland als Bauleiter ließ er sich in Berlin nieder und kam 1877 auf den Gedanken, statt der üblichen Kinderbaukästen mit Holzklötzchen einen Architekturbaukasten mit richtigen Steinen zu schaffen. Er entwarf die Formen der Steine, die Vorlagen für das Zusammensetzen und fand nach zahllosen Experimenten auch eine Rezeptur für die Herstellung der Steine. Das Ergebnis war der „Anker-Steinbaukasten“, das beliebteste Spielzeug der Jahrhundertwende, auf das Walter Gropius verwies, als er 1910 seine Vorstellungen über die Industrialisierung des Hausbaus erläuterte. Für Lilienthal allerdings waren die ersten Steinbaukästen ein schwerwiegender geschäftlicher Misserfolg. Er musste seine Idee, die Steinformen, die Vorlagen und die Rezeptur für ein Spottgeld an einen kapitalkräftigen Fabrikanten verkaufen, der schließlich Nutznießer der Erfindung wurde.

Zehn Jahre später war Lilienthal wieder mit einem Baukasten beschäftigt. Er dachte an kleine, aber begehbare „Kinderhäuser“ aus Holzleisten und Papptafeln. Diese Leisten waren in regelmäßigen Abständen gelocht und wurden durch Drahtschlaufen und Keile miteinander verbunden. Damit war der Urtyp der späteren Märklin- und Stabilbaukästen geboren. Später wurden die Leisten an den Kanten mit einer Längsnut für das Einschieben von Papptafeln versehen. Solche Baukästen für Kinderhäuser wurden von Lilienthal in verschiedenen Größen hergestellt und auf der Leipziger Messe angeboten. Aber auch dieses Unternehmen endete mit einem geschäftlichen Fehlschlag.



Abb. 2.8 Baukasten [12]

Der bleibende Gewinn für den Erfinder lag in der Entdeckung des Konstruktionsprinzips der Stütze mit Längsnut und eingeschobenen wandbildenden Bautafeln. Es sollte der Ausgangspunkt für eine neue Montagebauweise werden.

Frank Lloyd Wright

(\* 1867 in Richland Center, Wisconsin; † 1959 in Phoenix, Arizona)



Abb. 2.9 F. L. Wright [13]

Frank Lloyd Wright setzte sich insbesondere mit dem Überwinden der Nachahmung historisierender Stilelemente der Architektur, dem menschlichen Wohnen und dem menschlichen Maß, der Entfaltung des Hauses von innen nach außen, der Durchdringung von Natur und Wohnraum (offener Grundriss), der Rücksichtnahme des Bauwerkes auf die speziellen Eigenschaften des Ortes, der Natur als Inspiration für das Gebäude, der Verwendung natürlicher Baumaterialien, der Integration der Inneneinrichtung, Vorfertigung und Normung von Bauelementen auseinander.

Entwarf er zu Beginn seiner Karriere größtenteils prestigeträchtige Wohnhäuser für reiche Bauherren (Entwicklung seiner Prärie-Häuser), so erkannte er doch schon früh, dass manuelle Arbeit immer teurer und damit unattraktiver für die Architektur werden könnte. Er sah das Haus zum niedrigen Preis als schwierigste Aufgabe für die besten Architekten und damit als Herausforderung für sich selbst. Ihn reizte, das Konzept der Vorfertigung auch auf Wohnhäuser zu übertragen und entwickelte schon 1915 ein eigenes Bausystem, das jedoch erfolglos blieb, da diese Konzepte im Hinblick auf die technischen Möglichkeiten und Baufinanzierung ihrer Zeit weit voraus waren. Die Wirtschaftskrise Ende der 20er Jahre bildete für ihn den Anstoß, diese Konzepte weiterzuverfolgen.

Wright entwickelte nun Interesse am Entwurf bescheidener Häuser für die amerikanische Durchschnittsfamilie, deren Traum das Leben im Grünen vor der Stadt ist. Er nannte sie „Usonian Houses“. Sein neues Wohnhauskonzept sollte durch viele technische Sparmaßnahmen und den Einsatz von vorgefertigten Sandwichwänden aus Holz niedrige Kosten erzielen.

Das erste umgesetzte Usonian House entstand 1936 für die Familie Jacobs in Madison, Wisconsin. Wrights Aufgabe war es, ein Haus zu entwerfen, das nicht mehr als 5.000 Dollar kosten sollte. Am Ende beliefen sich die Kosten auf 5.500 Dollar, einschließlich Architektenhonorar (450 Dollar).

Im Wesentlichen wurden folgende Sparmaßnahmen vorgenommen, die auch für die späteren Usonian Houses typisch wurden:

- keine sichtbaren Dächer
- kein Keller
- keine Garage, stattdessen ein Carport
- keine Heizkörper: das Haus wird im oder zwischen den Fußböden geheizt
- Verwendung von natürlichen Baumaterialien aus unmittelbarer Nähe
- Vollständige Beherrschung des Planvorganges und Reduzieren der teuren Arbeit auf der Baustelle, stattdessen die Vorfertigung seiner neuen Konstruktion

Das Usonian House wurde zum Prototyp des amerikanischen Ranchhauses mit nur einem Stockwerk, Schlafzimmerflügel, Glasfassaden-Wohnhof, Autounterstand und offenem Grundriss.

Das Konzept der Usonian Houses wurde zum bahnbrechenden Erfolg. In den Jahren von 1928 bis 1935 hatte Wright nur zwei Bauten für zahlende Kunden ausgeführt.



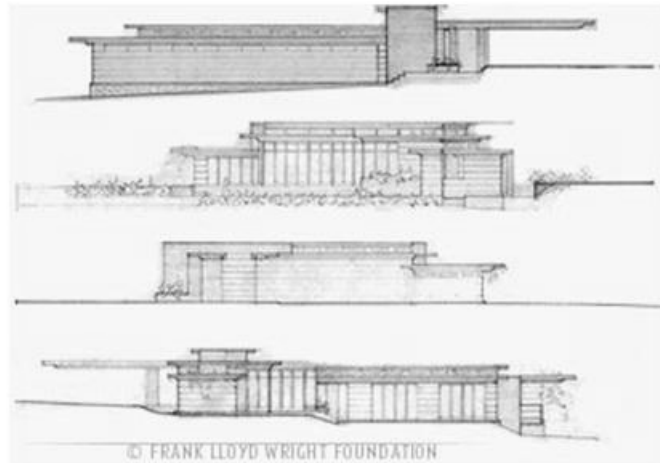


Abb. 2.10 Usonian House [14]

In den ersten acht Jahren der Usonian Houses – von 1936 bis 1943 – führt er dagegen 36 Bauten aus. Diese Zeit wurde nach der Präriehausperiode zu Wrights zweitem goldenen Zeitalter und zu einer Art Höhepunkt auf der Suche nach einer sinnvollen und ansprechenden Wohnhausform. Ein Grund für den Erfolg war die große Flexibilität beim Zusammensetzen und Kombinieren dieser Bauteile innerhalb eines bestimmten gewählten Rasters, da schon mit einfachen Fräsmaschinen eine anspruchsvolle Holzbearbeitung möglich war. Das wirkte sich zugunsten einer hohen Individualität der einzelnen Räume und Wohnhäuser an sich aus.

Rudolf Schindler

(\* 1887 in Wien; † 1953 in Los Angeles, Kalifornien)



Abb. 2.11 R. Schindler [15]

Rudolf Schindler absolvierte seine Ausbildung bei Otto Wagner und seit 1912 in der Bauschule von Adolf Loos. 1914 emigrierte er in die Vereinigten Staaten und wurde Zeichner in einem Architekturbüro. Die Rückkehr nach Wien wurde ihm durch den Weltkrieg verwehrt, und er blieb Zeit seines Lebens in den USA. 1918 wechselte er in das Architekturbüro von Frank Lloyd Wright.

Die Arbeit mit Wright hatte entscheidenden Einfluss auf seine architektonische Entwicklung, übereinstimmende Punkte wurden jedoch nicht von Schindler

kopiert, sondern individuell weiterentwickelt. Besonders wichtig ist in diesem Zusammenhang die Naturverbundenheit und die Verbindung von Bau- und Umraum, Haus und Mobiliar. 1921 eröffnete er sein eigenes Architekturbüro und fand in den folgenden Jahren zu seinem eigenen Stil, in dem Wrights Formensprache und die des internationalen Stils noch erkennbar sind.

Es ging ihm darum, für jeden Entwurf eine spezifische individuelle Lösung zu finden. In dieser Zeit experimentierte er mit verschiedenen Baumaterialien – Beton, großformatigem Tafelglas und Sperrholz– und gestaltete eine große Bandbreite gebauter und ungebauter Projekte, vom Einfamilienhaus bis hin zu Wohnanlagen.

Die 30er Jahre waren gekennzeichnet von seiner Experimentierfreude im Hinblick auf Materialien und Bauweisen. Er wollte in dieser Zeit den Hausbau durch die Verwendung standardisierter Holzteile vereinfachen. Gleichzeitig sollte die Standardisierung durch die Maschinenteknik aber auch zur Förderung der Individualität der Räume beitragen. Für ihn bedeuteten neue Bautechniken eine Möglichkeit, seine Entwürfe effizient realisieren zu können, die gestalterische Freiheit und Raumbildung standen jedoch immer über wirtschaftlicher Ökonomie. Die Standardisierung, so Schindler, dürfe den Entwurf nicht diktieren und beherrschen, sondern müsse dem Neuen dienen. Die herkömmlichen Systeme der Holzrahmenkonstruktion können keine Individualität erreichen.

Er entwickelte ein offenes Holzrahmentragwerk, den so genannten „Schindler Frame“, der probenhalber nach und nach in Gebäuden zum Einsatz kam. Daher entstanden höchst unterschiedliche Bauten, die die vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten im Umgang mit dieser Bauweise verdeutlichen.

Der „Schindler-frame“ sollte die Nachteile der klassischen Ständerbauweise ausmerzen und differenzierte Rauminszenierungen mit variierenden Raumhöhen und Belichtungssituationen ermöglichen. Die Wandkonstruktion des „Schindler-frames“ besteht aus einem unteren, Tür-hohen Teil, das – in herkömmlicher Weise – aus einer einfachen beidseitig beplankten Holzständerkonstruktion besteht. Diese Ständer werden durch horizontal umlaufende Hölzer zusammengehalten.

Diese horizontalen Hölzer dienen gleichzeitig als Wechsel für darunterliegende Öffnungen, als Kragarm für Dachüberstände und als Dachbalken. Die zweite Ebene über dem horizontalen Band bildet die Dachkonstruktion, die eine Oberlichtschicht enthält – bestehend aus einer unteren Ebene über dem Türsturz und dem eigentlichen Dach. Der Boden wird durch eine auf Streifenfundamenten aufgelegte Balkenkonstruktion gebildet. Bei größeren Spannweiten wird der Einsatz von Betonträgern wirtschaftlich. Der

„Schindler- frame“ verzichtet auf Dachsparren, die zusammen mit den Oberlichtern eine übergroße Deckenhöhe zur Folge hätten. Stattdessen wird eine Nut- und Feder Bretterdecke verwendet.

Schindler benutzte als Grundlage für das System das, in Beziehung zur menschlichen Größe stehende, Vier- Fuß-Modul als Ordnungsprinzip.

Die Entwicklung des „Schindler frames“ nahm ihren Anfang in der Konstruktion des Kings Road House, Kalifornien, 1921/22. Das Haus spiegelt für Schindler typische Gestaltungsprinzipien wider, da es Innen- und Außenräume stark miteinander verknüpft, Baumaterialien so zeigt, wie sie sind und Wirtschaftlichkeit der Mittel der Konstruktion demonstriert. Die Struktur der Konstruktion besteht aus Betonwänden, die zu U-Formen zusammengestellt werden, während die gegenüberliegende Seite immer offen ist – gefertigt aus verglasten Holzständerwänden. So entsteht der Wechsel zwischen offenen und geschlossenen Flächen. Die tragenden Wände sind aus „Tilt-Slab“ gefertigt, einem Präfabrikationssystem für Betonwände. Der Beton wurde nach heutigem Vorbild in eine Holzschalung gegossen. Das fertige Betonelement wurde dann von einem Flaschenzug in die richtige Position gehoben. Die aus Ortbeton gefertigte Bodenplatte ist gleichzeitig das Fundament.

Das Raum- und Konstruktionsprinzip des „Schindler frames“ ist schon in wesentlichen Teilen angewandt worden. Die nichttragenden Trennwände und verglasten Teile bestehen aus Redwood-Holz- Ständerwänden. Im Deckenbereich zeigt sich die vertikale Organisation in zwei Ebenen. In jedem Studio teilen zwei frei spannende Doppelbalken den Raum in drei Teile. An diesen Balken können zusätzlich Trennwände angebracht werden, was den Grundriss variabel machen soll.

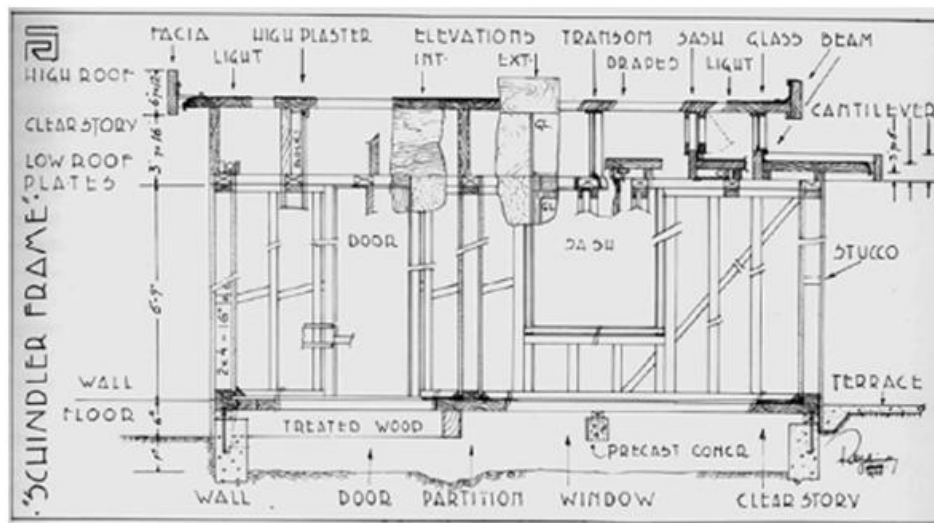


Abb. 2.12 Schindler- Frame [16]

Mit dem Entwurf für das Haus von Ellen Janson, Los Angeles, 1948/49, wollte Schindler einmal mehr die Prinzipien seiner „Raumarchitektur“ verwirklichen, diesmal ausschließlich unter Verwendung von Holz. Der „Schindler frame“ sowie sein Vier-Fuß-Modul bildete die Grundlage der Konstruktion. Das schwierig zu bebauende Hanggrundstück veranlasste ihn, einen zentralen rechtwinkligen im Boden verankerten Kern als möglichst kleine Basis für eine Plattform auszubilden, von der aus er nach oben zunehmend größere Bauvolumen übereinander anordnete.

Konrad Wachsmann

(\* 1901 in Frankfurt a. d. Oder; † 1980 in Los Angeles)



Abb. 2.13 K. Wachsmann [17]

*„Maschinen in der Fabrik produzieren heute das Holzhaus, nicht der Handwerksbetrieb“*

Wachsmann, am 16. Mai 1901 als Sohn einer jüdischen Apothekerfamilie in Frankfurt an der Oder geboren, besuchte nach einer Tischler- und Zimmermannslehre die Kunstgewerbeschule in Berlin. Mit 17 baute er Särge für Gefallene des ersten Weltkriegs und erlebte das Ende der monarchischen Gesellschaft.

Anschließend studierte er bei Heinrich Tessenow und Hans Poelzig an den Akademien in Dresden und Berlin. Als Meisterschüler Poelzigs, vor allem jedoch im legendären „Romanischen Café“ im Berlin der 20er Jahre, lernte er die Exponenten

der neuen europäischen Kunst persönlich kennen, die sein Leben nachhaltig beeinflussen sollten. Die Meister des Bauhauses, Brecht, Mann, Tucholsky, Picasso, Hemingway und natürlich Einstein prägten seine Gedanken- und Geisteswelt.

Doch nicht die hohe Baukunst interessierte ihn, sondern die Systematisierung des Bauens. Er verließ Berlin und reiste nach Paris und Rotterdam, um bei Le Corbusier und Oud zu arbeiten, die ihm aber keinen Lohn zahlen konnten. Hans Poelzig vermittelte Wachsmann schließlich eine Anstellung bei der renommierten Holzbaufirma Christoph & Unmack in der Provinzstadt Niesky östlich von Dresden.

Es wurde seine wichtigste Weichenstellung, denn dort lernte er die Maschine und die industrielle Fertigung kennen. Er entwickelte sich zum Tüftler und Ingenieur, was ihn später zum Wendepunkt im Bauen führte. Wie eine Vision erkannte er die Zukunft als einen großen industriellen Prozess.

Sein hoher Einsatz, seine Vorkenntnisse als Tischler und schließlich seine vorfabrizierten Entwicklungen brachten ihm den Posten des Chefarchitekten. Pro Jahr war der 27-jährige für den Bau von bis zu 5.000 Häusern verantwortlich. Diese Entwicklung zum Holzbauspezialisten dokumentiert sein Buch „Holzhausbau“.

Bei Holzhausbauten gibt es eine kürzere Bauzeit als bei Massivgebäuden, damit weniger Kosten und schnellere Amortisation. Durch den dünneren Wandaufbau erhält man mehr umbauten Raum. Das Gebäude ist sogleich beziehbar und muss nicht trocken gewohnt werden. Er unterscheidet den Holzbau in die drei Baumethoden- Fachwerkbauweise, Tafel- oder Plattenbauweise und Blockbauweise. Diese Unterscheidung hat noch heute Gültigkeit.

Die Tafel- oder Plattenbauweise ist laut Wachsmann für eine Mechanisierung am geeignetsten. Selbst Fenster könnten bei der Massefabrikation schon fertig eingebaut werden. Hakenverschlüsse stellten ingenieurmäßige Verbindungen dar. Allerdings noch nicht für den Massenwohnungsbau tauglich, da Undichtigkeiten der Fugen auftreten könnten.

Durch die Arbeit am Einsteinhaus entwickelte sich eine enge Bekanntschaft zwischen Einstein und Wachsmann. Einstein mochte das Haus sehr und verbrachte dort bis zu

seiner Emigration in die USA drei Sommerhalbjahre. Als 1933 die Nationalsozialisten an die Macht kamen, hielt sich Wachsmann in Rom auf. Sein Buch „Holzhausbau“ wurde öffentlich verbrannt und Wachsmann distanzierte sich von Deutschland. Er konnte nicht zurückkehren und lebte als Heimatloser in den folgenden Jahren in Spanien und Frankreich. In Paris erarbeitete er ein, für den Hausbau besonders effektives Modulsystem und eine neue Plattenverriegelung, musste aber wegen der Okkupation Frankreichs erneut flüchten und so kam er mit Hilfe von Walter Gropius und Albert Einstein in die USA.

Gropius bot dem mittellosen Wachsmann an, für ihn zu arbeiten und bei ihm in Lincoln zu wohnen. Wachsmann schlug vor, die Idee eines modularen Fertighauses auszuarbeiten und Gropius und Wachsmann wurden Partner und entwickelten das „General Panel System“.

Es ging nicht um ein Fertighaus, sondern um ein Baukastensystem, aus dem ein individuell kombinierbares Gebäude entstehen konnte. Alles gehorchte einem alles bestimmenden dreidimensionalen Modul. Zunächst wurde eine Reihe verschiedener Module untersucht:

Das Materialmodul (für die Verwendung handelsüblicher Baustoffe), das Leistungsmodul (für Transport und Handhabung auf der Baustelle), das Geometriemodul (für die Geometrische Verteilung der Anschlusspunkte), das Konstruktionsmodul (für die statischen Funktionen), das Elementmodul (für z.B. Tür-, Fensterelemente), das Einrichtungsmodul (für die Möbel) und das Verbindungsmodul (für den Knoten).

Das Ergebnis war ein universelles Bausystem, das Gesamtmodul, bestehend aus dem Standardpaneel ca. 1 x 3 m und den Verbindungsknoten aus Metall.

Der Verbindungsknoten bildete den geometrischen Festpunkt der modularen Ordnung. Es handelte sich um ein mehrteiliges Knotenstück, eine Hakenverbindung aus Metall, welche demontierbar war. Sie wurde in das Paneel eingesetzt und mit einem Keil fixiert. Dann wurden die Paneele ineinander gehakt. Als Material für die Paneele wählte man Holz, das einzig in Qualität, Quantität und Preis in Frage kommende Material. Der Wandaufbau der Paneele bestand aus Holzrahmen, die durch aussteifende Beplankung aus imprägniertem Sperrholz statisch autonom wurden. So konnten dünne Querschnitte benutzt werden, da nicht einzelne Stützen, sondern das ganze Element tragfähig wurden. Ein solches Paneel hatte vertikal und horizontal das gleiche Profil, da es sowohl als Wand bzw. Dach, als auch als Bodenelement verwendbar war. Die unterschiedliche statische Beanspruchung als Bodenelement wurde durch eine rahmenartige Unterkonstruktion ermöglicht. Die Paneele waren also nur als Wandelemente selbsttragend. Sowohl der Knoten, versteckt im Querschnitt, als auch die Abtragung der Lasten als ganze Wand, führten zu einer abstrakten Raumordnung, bei der die Statik nicht mehr sichtbar herausgearbeitet war. Die gesamte Wasserver- und -entsorgung wurde in einem Standardrahmen zusammengefasst, der als Fertigteil nach der Verlegung der Fußbodenplatten aufgestellt wurde, d.h. vor Errichtung der Wandelemente.

Wachsmann und Gropius wurden Vizepräsidenten der sogenannten General Panel Corporation. Mit einem Startkapital von 16.000 Dollar wurden zwei deutsche Tischler engagiert, die zusammen mit Wachsmann in einem halben Jahr einen Prototyp bauten. Als die Häuser der Öffentlichkeit präsentiert wurden, entwickelte sich das Geschäft schnell und es wurde eine Aktiengesellschaft gegründet. 1943 wurde eine große Ausstellung des General Panel System präsentiert. Es wurden Zulassungen und Patente erteilt. Nach dem Krieg gründete Wachsmann dann in Burbank, Kalifornien eine neue Fabrik für die endgültige Produktion, da im Osten die Auftragslage immer schlechter geworden war.

Wachsmann entwickelte also in Kalifornien in nur drei Jahren eine fast vollautomatisch arbeitende Fabrik für genormte Bauteile, bei der er jede Maschine selbst erdacht, konstruiert und durch Prototypen erprobt hatte. Ab 1947 wurden die Elemente für ein komplettes Haus in nur zweieinhalb Stunden produziert und passten auf einen speziellen LKW. Die Kapazität der Fabrik lag bei 1.000 Häusern pro Jahr. Der Verkauf der sogenannten „Packaged Houses“ begann und von der Produktionsstätte aus konnte nun im Umkreis von 500 km auf einem vorher erstellten Fundament ein komplettes Haus mit Fenstern, Türen, Schränken, Bad, Küche, Licht, Kalt- und Warmwasserversorgung und Heizung von 5 ungelernten Arbeitern an einem Tag errichtet werden, an dem dann nur noch der letzte Anstrich anzubringen war.

Das „Packaged- House“ wurde jedoch im Weiteren kein großer Erfolg und ging fünf Jahre später nach 200 verkauften Häusern Bankrott, obwohl es als „Nachkriegstraumhaus“ gefeiert worden war. Ein Teil des geringen Erfolgs lag darin, dass das konsequente und funktionell bestimmte Design vom Durchschnittsbauherren nicht akzeptiert wurde. Dieser war an den Landhausstil der marktüblichen Fertighäuser gewöhnt und wollte ein Fertighaus erwerben, das er sich nach Bildern aus dem Katalog bestellen und fix und fertig aufstellen lassen konnte. So lag im großen Vorteil der Kombinierfreiheit des Systems gleichzeitig auch der Nachteil für die Vermarktung, da noch eine Planungsleistung erforderlich blieb.

Wachsmann wandte sich später dem Leichtbau mit Metallkonstruktionen zu, für den er sich bereits in Deutschland eingesetzt hatte, und schrieb darüber sein berühmtestes Buch „Wendepunkt im Bauen“, das 1959 erschienen ist.

Handelte es sich bei Frank Lloyd Wrights Usonian Houses noch um die Vorfabrikation einzelner Bauteile, eine eher zweidimensionale Konstruktion von Wand- und Deckenteilen des Tafelbaus, so war dies bei Konrad Wachsmann bereits Teil des modularen dreidimensionalen Bausystems.

Richard Riemerschmid

(\* 1868 in München; † 1957 in München)



Abb. 2.14 R. Riemerschmid [18]

Weiters sei noch auf Richard Riemerschmid verwiesen, der sich ebenfalls dem Holzhausbau verschrieben hatte. In den deutschen Werkstätten hatte er von Anbeginn eine besondere Stellung inne, indem er versuchte mit seriengefertigten Bauelementen individuelle Bauten zu schaffen.

Die von ihm in Kassettenbauweise errichteten Häuser wurden als Typ Erna oder H 287 bis in die dreißiger Jahre in Katalogen immer wieder angeboten. Für seine Projekte variierte Riemerschmid die gegebenen Bauelemente. Die Fenster seiner Häuser zeigten stets ein abweichendes

Hochformat und eine engere Sprossenteilung.

Seit 1925 arbeitete er auch für die Holzhaus- und Hallenbau AG in München. Für dieses Unternehmen zeichnete er eine Serie von 26 sogenannten Z-Häusern in der Plattenbauweise, vom kleinsten Wochenendhaus Typ Augusta mit einer Grundfläche von 6,50 x 3,40 m bis zu großen Einfamilienhäusern. Auf der Berliner Sommerschau für Wochenendhäuser erzielte das Augustahaus einen ersten Preis. Diese Serie und weitere Entwürfe für Ein- bis Zehnzimmerhäuser mit Flach- und Steildächern – insgesamt etwa fünfzig Typen – konnten nach Katalog bestellt werden und fanden viele Käufer. Für die Ausstattung bot der Katalog die in den Deutschen Werkstätten produzierten einfachen Möbel Riemerschmids an.



Abb. 2.15 Haus „Typ 36a“ [19]

Ab 1932 ging Riemerschmid auch zu einer abweichenden Bautechnik über. Mit dem Ingenieur J. Kelemen entwickelte er die Ri-Holzrahmenbauweise und arbeitete dafür 18 Haustypen aus, die sogenannten „Ri-Häuser“. Die Palette reichte wieder von der kleinsten Wohnlaube bis zum zweigeschossigen Eigenheim.

Den größten Teil dieser Typen veröffentlichte er im November 1932 in Wasmuths Monatsheften für Baukunst.

Das System stellte eine konstruktiv sehr eigenartige Synthese der Platten- und Skelettbauweise dar, bei der „nichts gezapft, gedübelt, am meisten genagelt, am wenigsten geschraubt wird“. Das Grundelement bildete ein Rahmen aus zwei sich gegenüberstehenden Pfosten der Außenwände und einem Zangenpaar, das die Pfosten am Kopf- und am Fußende miteinander verband. Die unteren Zangen dienten gleichzeitig als Balkenlage für den Fußboden, die oberen als Eckenbalken und als Sparren.

Der Hohlraum zwischen den Schalungen wurde durch eine Dämmplatte in zwei Luftkammern unterteilt.

Die Pfosten der Innenwände konnten an beliebiger Stelle in die Zangen eingestellt und befestigt werden. Die Raumaufteilung war dadurch sehr variabel, gemäß der Absicht Riemerschmids, trotz Typisierung und Normung individuelle Bauten zu ermöglichen.

Da die Ri-Holzrahmenbauweise in einer Zeit der tiefsten Wirtschaftsdepression auf dem Baumarkt erschien, bestand wenig Aussicht auf einen wirtschaftlichen Erfolg. Außerdem entsprachen die Ri-Häuser mit ihrer traditionslosen Konstruktion und den abgeflachten Dächern nur wenig dem 1933 heraufziehenden Geist des einfältigen, übertriebenen Heimatstolzes. Riemerschmid gab die Arbeit für die Vorfertigung nach diesem Misserfolg 1933 endgültig auf. Er hat eine Fülle von Entwürfen für Holzhäuser hinterlassen, von denen eine unbekannte Anzahl verwirklicht worden ist.

So gibt es auch drei nicht ausgeführte Pläne für Holzhaussiedlungen. Konsequenterweise hat er die Idee der progressiven Architekten der zwanziger Jahre verfolgt, nicht die Grundrisse, sondern die Bauelemente zu typisieren. Er zählt neben Konrad Wachsmann zu den bedeutendsten Pionieren der Vorfertigung im Holzhausbau.



### **2.3. ländervergleichende Betrachtung der Vorfertigung im Holzbau**

Um ein Eigenheim zu erwerben muss eine deutsche Familie durchschnittlich neun Jahreseinkommen aufwenden; das ist doppelt so viel wie ihre holländischen oder englischen Nachbarn. Die Wohneigentumsquote ist mit knapp 40% im Westen und 29% im Osten entsprechend gering. Bis zu 80% aller Haushalte würden gerne Wohneigentum schaffen, werden aber durch Grundstückspreise und hohe Baukosten abgeschreckt. Beeinflussen lassen sich meist nur die reinen Baukosten, die mit 50% den größten Anteil an den Gesamtkosten darstellen. Die Vorfertigung, also die Verlagerung der Arbeit von der Baustelle in die Werkstatt, ist ein wichtiger Schritt in diese Richtung. Rationalisierte Arbeitsabläufe können weiter dazu beitragen, die Baukosten zu senken und damit Wohneigentum einer breiteren Bevölkerungsschicht zugänglich zu machen.

#### **Skandinavien**

##### Fertigungsarten

Das Holzhaus hat als Eigenheim in Skandinavien eine lange Tradition. In Norwegen werden durchschnittlich 80% der Ein- und Zweifamilienhäuser in Holz gefertigt. Skandinavische Holzhäuser sind in der Regel nicht unterkellert und meist ein- oder zweigeschossig geplant. Der Raum zwischen Planum und Erdgeschossboden dient der Verlegung der Grundleitungen. Aufgehende Wände werden meist in Holztafelbauweise geliefert, allerdings mit unterschiedlichem Vorfertigungsgrad; die Ausführung der Decken erfolgt meist als Holzbalkenlage mit entsprechendem Aufbau. Der Dachstuhl wird vom Zimmermann aufgeschlagen, wobei meist eine Binderkonstruktion (Nagelplattenbinder, Fachwerkbinder) oder Doppel-T-Träger mit Vollholzflanschen und Spanplattenstegen zum Einsatz kommen.

##### Faktoren, die in Skandinavien kostengünstiges Bauen ermöglichen

Ein wesentlicher Faktor sind die günstigen Bodenpreise von durchschnittlich 8% der Gesamtbaukosten (in Deutschland ca. 25%)

Die reinen Baukosten liegen aufgrund der meist schlichten Architektursprache, einfacher konstruktiver Details und rationeller Produktion etwa in Norwegen- jeweils pro qm Nutzfläche- im einfachen Standard bei DM 1.000 bis DM 1.500, in gehobener Ausführung bis ca. DM 1.700. (Stand 2000)

Ende der achtziger Jahre führte ein massiver Einbruch der skandinavischen Bauwirtschaft zu erheblichen Rationalisierungsmaßnahmen. 1988 produzierte ein Beschäftigter der Holzbauindustrie (inklusive Verwaltung, Vertrieb und Planung) ca. 2,5 Häuser pro Jahr, 1991 bereits ca. 4,3 Häuser pro Jahr (in Deutschland ca. 1 Haus pro Beschäftigter und Jahr).

Aufgrund fast immer gleicher Konstruktionen (z.B. Holzständertiefe, -abstand) hat sich die Zulieferindustrie diesen Konstruktionen angepasst (z.B. abgestimmte Dämmstoffdicke, und -breite). In Skandinavien ist es durchaus üblich, Leitungen für Elektrische Installationen und Heizung sichtbar zu führen, bzw. die Leitungen in einem Sockelleistenkanal zu verlegen.

Das gegenseitige Vertrauen aller am Bau Beteiligten ist in Skandinavien stark ausgeprägt. Viele Verträge werden mündlich geschlossen, bei uns übliche Bauprotokolle jeglicher Art sind eine Ausnahme. Dieses Vorgehen spart Zeit, Kosten und oftmals auch Nerven.

## **Nordamerika**

### **Fertigungsarten**

Amerikanische und Kanadische Holzhäuser werden zu 90% in der „Timber Frame“-Bauweise erstellt (auch „two- by- four“-Bauweise). Der Oberbegriff „Timber Frame“ fasst das am häufigsten verwendete „Platform Framing“ (geschoss hohe Holztafelkonstruktion, Holzbalkendecken, Holzbalkendach) und das eher selten benutzte „Balloon Framing“ (haus hohe Holztafelkonstruktion mit dazwischen gehängten Holzbalkendecken) zusammen.

### **Faktoren, die in Nordamerika kostengünstiges Bauen ermöglichen**

Es kommen nur wenige einheitliche, ganz gehobelte und bereits auf Normlängen geschnittene Querschnitte für sämtliche Bauteile der Tragkonstruktion zur Anwendung (Querschnitte 2 x 4, 2 x 6, ... Inch= 5 x 10, 5 x 15, ... cm). Diese werden, farblich nach Querschnitt gekennzeichnet, auf die Baustelle geliefert.

Meist ungelernete Arbeiter nageln oder schießen von Hand die einzelnen Querschnitte zu Wandelementen zusammen. Enge Achsabstände von ca. 30 bis 60 cm sind die Regel. Die Aussteifung der Wandelemente erfolgt über eine aufgenagelte Beplankung mit Holzwerkstoffplatten. Die Arbeit ist meist ohne Montagegerüst möglich, da das geschossweise Bauen des „Platform Framing“ jeweils mit der Geschossdecke gleich die nächste Arbeitsebene darstellt. Ein Kran wird nicht benötigt. So ist es sogar möglich, einzelne Geschosse zu beheizen.

Genormte Aussteifungsplatten der Größe 8 x 4 ft= 244 x 122 cm sorgen für verschnittfreies Arbeiten. Nach dem Plattenmaß richten sich sowohl die Geschosshöhe als auch die Wandlängen, die Tür- und Fensterauschnitte. Diese Konstruktion erfordert kein Raster der Stiele (wo statisch notwendig, werden z.B. einfach zwei Stiele nebeneinander gestellt), ist daher sehr flexibel bezüglich einer Veränderbarkeit und auch sehr bauherrenfreundlich bezüglich notwendiger Reparaturen. Neben der reinen Baustellenfertigung sind teilweise vorgefertigte Häuser, die vom Grad der Vorfertigung unseren Fertighäusern entsprechen, am Markt. Vollständig vorgefertigte Häuser oder Haushälften werden als Serienprodukt an wenigen Standorten produziert, sind aber aufgrund des sehr günstigen Transportes in den USA eine Alternative.

Amerikanische Bauherren betrachten ihr Eigenheim als Gebrauchsgegenstand. Aufgrund berufsbedingter Mobilität ziehen sie alle 6 bis 10 Jahre in ein anderes Haus. Dabei versuchen die Eigentümer, das Haus mit entsprechendem Gewinn zu verkaufen um ein hochwertigeres Haus an anderer Stelle bauen oder kaufen zu können. So entsteht eine Kette vom kleinen, preisgünstigen Haus - auch wegen der niedrigen Bodenpreise bereits in jungen Jahren erworben - zum großen, hochwertigeren Eigenheim.

## **Japan**

### **Fertigungsarten**

Das japanische Wohnhaus ist traditionell ein Holzhaus. Vor allem auf dem Land werden jährlich ca. 600.000 bis 700.000 Holzhäuser errichtet, davon ca. 550.000 nach der „Post & Beam“- Bauweise („Precut“- Methode), ca. 70.000 in Raumzellenbauweise (meist Hausfabriken) und ca. 40.000 nach der amerikanischen „Platform Framing“- Bauweise. Über das ganze Land gesehen beträgt der Holzhausanteil an den Neubauten ca. 40 bis 50%.

- Traditionelle „Post & beam“- Bauweise:

Das traditionelle japanische Haus wurde vom Daikusan oder Zimmerer in Holzbauweise errichtet. Nach einer 10-jährigen Ausbildung durfte man sich in Japan Zimmermann nennen. Beim herkömmlichen Holzbau in Japan handelt es sich um eine Bauweise, die aus Flexibilitätsgründen bei Erdbeben nicht mit Diagonalen ausgesteift wurde. Der Zimmerer fertigte die nötigen Holzbauteile und Verbindungsteile von Hand und fügte sie vor Ort zusammen. Er riss das Fachwerk auf, wählte das geeignete Holz und die passende Konstruktion aus. Die Holzverbindungsteile zeichneten sich durch eine komplexe dreidimensionale Geometrie, besondere Montagesequenzen und Elastizität in den Tragwerksverbindungen aus. Der nächste Entwicklungsschritt im traditionellen Holzbau war die Verwendung von Bohr-, Fräs- und Sägemaschinen, die oft in der Hand gehalten werden konnten und mit deren Hilfe die Holzbauteile vor Ort zugeschnitten wurden.

- Raumzellenbauweise:

Eine Alternativentwicklung zum traditionellen japanischen Holzbau war der Fertighausbau in Holzbauweise. Ein japanischer Chemiekonzern entwickelte ein Fertighaus-system in Raumzellenbauweise. Als Bauherr kann man in einem sogenannten Show-room mit Hilfe von 3D-Computersimulationen in Echtzeit das Traumhaus erleben und sich auch gleich die Finanzierungsmöglichkeiten vorschlagen lassen. Wenn der Bauherr einem Entwurf und der Finanzierung zustimmt, kann er das Haus in Auftrag geben und etwa 40 Tage später bereits einziehen.

Das Just In Time-Produktionssystem funktioniert im Vier-Tages-Rhythmus, wobei ein Tag für die Auftragsvergabe an den Zulieferer und für die Arbeitsvorbereitung beim Zulieferer, zwei Tage für die Herstellung und ein weiterer Tag für die Auslieferung veranschlagt ist.

Auf der Baustelle werden die nötigen Raumzellen auf dem vorbereiteten Fundament in ca. 4 bis 6 Stunden zu einem ca. 120 m<sup>2</sup> großen Haus montiert. Der so erreichte Vorfertigungsgrad beläuft sich auf ca. 85%. So eine Fertighausfabrik stößt ca. 5.000-10.000 Häuser aus.

- Die „Precut“- Bauweise (robotergerechte „Post & beam“- Fertigung):

Aufgrund der überwiegend kleinteiligen Struktur der Bauindustrie (Kapital- und Umsatzschwäche), des Facharbeitskräftemangels, der steigenden Baunachfrage und der weitverbreiteten Verwendung von PC's wurde die „Precut“- Baumethode in Japan entwickelt. Die erste Precut- Maschine kam 1975 auf den Markt. Zu dieser Zeit jedoch war die Computertechnologie noch nicht weit genug entwickelt und somit wurden bis 1980 nur vereinzelte Precut- Maschinen installiert und weiter verbessert. Das größte Problem dieser zehnjährigen Entwicklungsphase waren die Planungs- und Konstruktionsfehler, die dann zwangsläufig vom Maschinenbediener in die Precut- Maschine übertragen wurden. Außerdem wurden Aufrissfehler, Bearbeitungsfehler und Holzmaterialauswahlfehler gemacht, aber die größte Fehlerursache waren Planungsfehler (70%). Dieses Problem hatten die japanischen Zimmerer früher nicht, da sie selbst planten und bauten. Aber nun gab es fast keine jungen Leute mehr, die Zimmermann werden wollten. Daher entwickelten die Precut- Maschinenproduzenten ab 1980 Programme, die die Baubarkeit für die Arbeitsvorbereitung überprüfen. Die Produktivität gegenwärtiger Anlagen ist ca. 30-mal so hoch wie die der herkömmlichen Zimmerei.

In einer Precut-Fabrik arbeiten 1-2 Personen an einer Fertigungsstraße, die täglich ca. 120 bis 200 m<sup>2</sup> Boden-bzw. Wandfläche herstellt. Die Anzahl der Fabriken, die sich der dieser Technologie bedienen, nahm ab 1985 schlagartig zu, ebenso die Anzahl der mit dieser Baumethode hergestellten Häuser.

## **Deutschland**

### **Fertigungsarten**

Beim Holzbau in Deutschland wird in fast allen gängigen Systemen mit mehr oder weniger entwickelten Vorfertigungsmethoden gearbeitet. Gängige Systeme sind der Blockbau, der Fachwerkbau, der Holzständer- oder Rahmenbau, der Holzskelettbau, der Holztafelbau und der Bau mit Raumzellen aus Holz.

- Blockbau, Holzskelettbau, Holzrahmenbau:

Beim traditionellen Blockbau, dem Holzskelettbau und dem Holzrahmenbau nach amerikanischem Vorbild beschränkt sich der Grad der Vorfertigung auf die Herstellung stabförmiger Bauteile für Wand, Decke und Dach. Hier stehen seit einigen Jahren bewährte, CNC-gesteuerte Abbundanlagen zur Verfügung. Sie zeichnen sich durch eine hohe Leistungsfähigkeit und einen relativ geringen Programmieraufwand aus.

- Holzrahmenbau, Holztafelbau:

Der Holztafelbau erlaubt die Vorfertigung flächiger Bauteile. Neben der zur Aussteifung aufgetragenen Ständerbeplankung können sämtliche weiteren Schichten einer Wandkonstruktion (außenseitig: Wetterhaut mit Unterkonstruktion, Windsperre; innen-seitig: Wärmedämmung, Dampfbremse, innere Beplankung), Fenster und Türen sowie notwendige Installationsleitungen bereits im Werk montiert werden. Auch für Decken- und Dachelemente gibt es jeweils getrennte Produktionsstraßen.

- Raumzellen:

Ein weiterer Schritt ist die konstruktive Verbindung von flächigen Wand-, Boden- und Deckenbauteilen zur Raumzelle.

- Neuer Blockbau:

Unter dem Begriff „Neuer Blockbau“ werden Wand-, Decken- und Dachkonstruktionen in Massivholz- Bauweise verstanden. Es sind dies u.a. Brettstapelelemente, Brett-schichtholzelemente, Dickholzelemente und Holzblocktafeln. Charakteristisches Merkmal dieser Blockbau-Elemente ist das maschinelle Verleimen und/oder Nageln stabförmiger Bauteile zu großen, flächigen Massivkonstruktionen. Mit Ausnahme des Dickholzes werden die Elemente geschosshoch hergestellt, ihre Länge erstreckt sich meist über einen Raum oder über das ganze Haus, je nach Transportmöglichkeit.

Weiter sind sogenannte Sandwichkonstruktionen für Wand und Dach auf dem Markt. Die selbsttragenden Elemente bestehen aus einem Vollholz- (meist Bohlen mit Nut und Feder) oder Spanplattenmantel, der mit der dazwischenliegenden Wärmedämmung vollflächig verklebt ist.

Im Dachbereich sind Fertigelemente unterschiedlichster Ausprägung am Markt, so u.a. Doppel T-Tragkonstruktionen mit zwischenliegender, selbsttragender Dämmung oder steckbare Verbundsysteme aus Sparren und Dämmung. Als Alternative zu Stiel, Balken und Sparren sind Doppel T-Elemente mit Vollholzflanschen und Span- oder Blechste-gen denkbar.

### 3. Typologie der Holzbauweisen & -systeme

Wenn wir heute von Holzbau sprechen, dann wird automatisch an die Vorfertigung gedacht. Holzbau in der heutigen Zeit bedeutet die Auflösung der Bauwerke in mehr oder weniger große Elemente, die ihrerseits auf der Baustelle zusammengefügt werden. Die Art und Größe der Einzelelemente ist üblicherweise an die Größe und Form des Bauvorhabens angepasst. Aufgrund der Transportmöglichkeiten in der heutigen Zeit kommt der Vorfertigung im Holzbau eine ganz andere Bedeutung zu als in früherer Zeit. Ebenso die Entwicklung und die Leistungssteigerung von Kränen, egal ob mobile Kranwagen oder fix installierte Kräne auf den Baustellen haben einen entscheidenden Einfluss auf die Größe und das Gewicht von Holz- Vorfertigungselementen genommen.

#### Definition der Begriffe

Mit der rasanten technologischen Entwicklung im Holzbau schreitet auch die Entwicklung von der Bauweise zum Bausystem voran.

Eine klare Abgrenzung zwischen den Begriffen ist in diesem Prozess in manchem Fall nicht möglich. Im Folgenden wird auf die einzelnen Begriffe eingegangen.

#### System

- aus mehreren Teilen zusammengesetztes und gegliedertes Ganzes.

Durch die zunehmende Komplexität und die notwendige Integration von verschiedenen Teilaspekten können Bauweisen, wie die Holzrahmenbauweise oder die Skelettbauweise bei entsprechend umfassender Produktkonzeption zu Bausystemen werden. Aktuelle Holzbausysteme sind in der Regel offene Systeme und als bauteilbezogene Produkte konzipiert. Sie haben unterschiedliche Anwendungsbereiche (Wand, Decke, Dach) und bieten eine große Flexibilität und damit Marktbreite.

Offene Systeme müssen notwendigerweise mit anderen Systemen kombiniert und somit auch darauf abgestimmt werden (Ausbausysteme, haustechnische Systeme).

Geschlossene Systeme sind komplett angebotene Produkte, deren Elemente oder Planung nicht ausgewechselt, beliebig ergänzt oder erweitert werden können.

#### Baukastensystem

- Methode, größere Objekte aus vereinheitlichten, aufeinander abgestimmten kleineren Einzelteilen (Elementen oder Modulen) herzustellen.

Baukastensysteme stellen einen Sonderfall unter den geschlossenen Systemen dar und basieren auf der Vorfertigung einer begrenzten Anzahl von Elementen oder Modulen, aus denen sich durch Kombination, eine mehr oder weniger große Zahl von verschiedenen Bauteilen oder Gebäuden zusammensetzen lässt.

#### Element , Bauelement

Ein Element ist der kleinste Teil eines Systems und im bautechnischen Sinn ein vorgefertigtes Produkt oder ein Werkstoff, der nochmals bearbeitet werden muss, bevor er zum Modul oder zum Bauteil gefügt wird.

#### Modul

Eine sich aus mehreren Elementen zusammensetzende Einheit innerhalb eines Gesamtsystems, die jederzeit ausgetauscht werden kann. Module sind per Definition komplexer als Elemente.

Sie sind bereits Ergebnis einer Planung, die das Ganze zum Ziel hat.

#### Bauweisen

– besondere Art und Weise der Herstellung einer Konstruktion.

Die traditionellen Bauweisen, wie der Fachwerkbau oder der Blockbau, sind in der Regel handwerklich geprägt und haben einen geringen Vorfertigungsgrad. Sie sind eingebunden in eine Tradition, die auf der Überlieferung persönlicher Erfahrungen beruhen. Damit haben sie auch eine starke Ortsbezogenheit und eine regionale Bindung. Einzelne Bauteile und der Bau als Ganzes entwickeln im Laufe der Zeit ein typisches konstruktives und formales Erscheinungsbild.

Neuere Bauweisen, wie die Holzrahmenbauweise und die Skelettbauweise basieren auf einer definierten Konstruktions-Typologie. Auf dieser wird in unterschiedlichen Varianten von dem einzelnen Handwerker oder Betrieb weitergearbeitet. Im Vordergrund stehen die Aspekte der Herstellung und Fertigung, wie die Standardisierung von Konstruktion und Aufbauten.

### 3.1. Holzbauprinzipien & -systeme

Mit dem Versuch die aktuellen Holzbausysteme in einen vergleichenden Zusammenhang zu bringen zeigt sich eine konstruktive Typologie, die von der stabförmigen Konstruktion über flächige Systeme bis hin zum massiven Querschnitt reicht. Ein Spektrum das wir auch im traditionellen Holzbau wiederfinden.

Selbstverständlich haben die diversen Vorfertigungssysteme von Anbieter zu Anbieter jedoch verschiedene Detaillösungen zu bieten. Deswegen muss auch die Aussteifung eines Gesamtsystems individuell projektbezogen geprüft werden und erfolgt meist über die kombinierte Dach-, Wand- und Deckenscheibenwirkung der Bauelemente. Bei den Massivholzsystemen, die aus genügend großen, schubfesten Einzelementen zusammengesetzt werden, genügt dazu häufig die konsequente, schubfeste Verbindung mit Stoßleisten

Grundsätzlich ergibt die Einteilung der verschiedenen Bausysteme nach der Verwendung der Holzteile als Tragstruktur 2 Hauptkategorien:

- den Massivholzbau sowie
- den Holzleichtbau

Als Unterkategorien im Massivholzbau zählen etwa der Blockbau, der Blocktafelbau, der Brettstapelbau sowie der Brettlagenbau.

Im Holzleichtbau unterscheidet man im Wesentlichen zwischen Holzskelettbau, Holzrahmenbau und Holztafelbau.

Des Weiteren gibt es auch noch Sonderformen wie Holz- Beton- Verbundkonstruktionen.

Betrachtet man nun zu der typologischen Gliederung auch noch die zeitliche Entwicklung von der Bauweise zum Bausystem, dann werden die einzelnen Entwicklungslinien erkennbar.



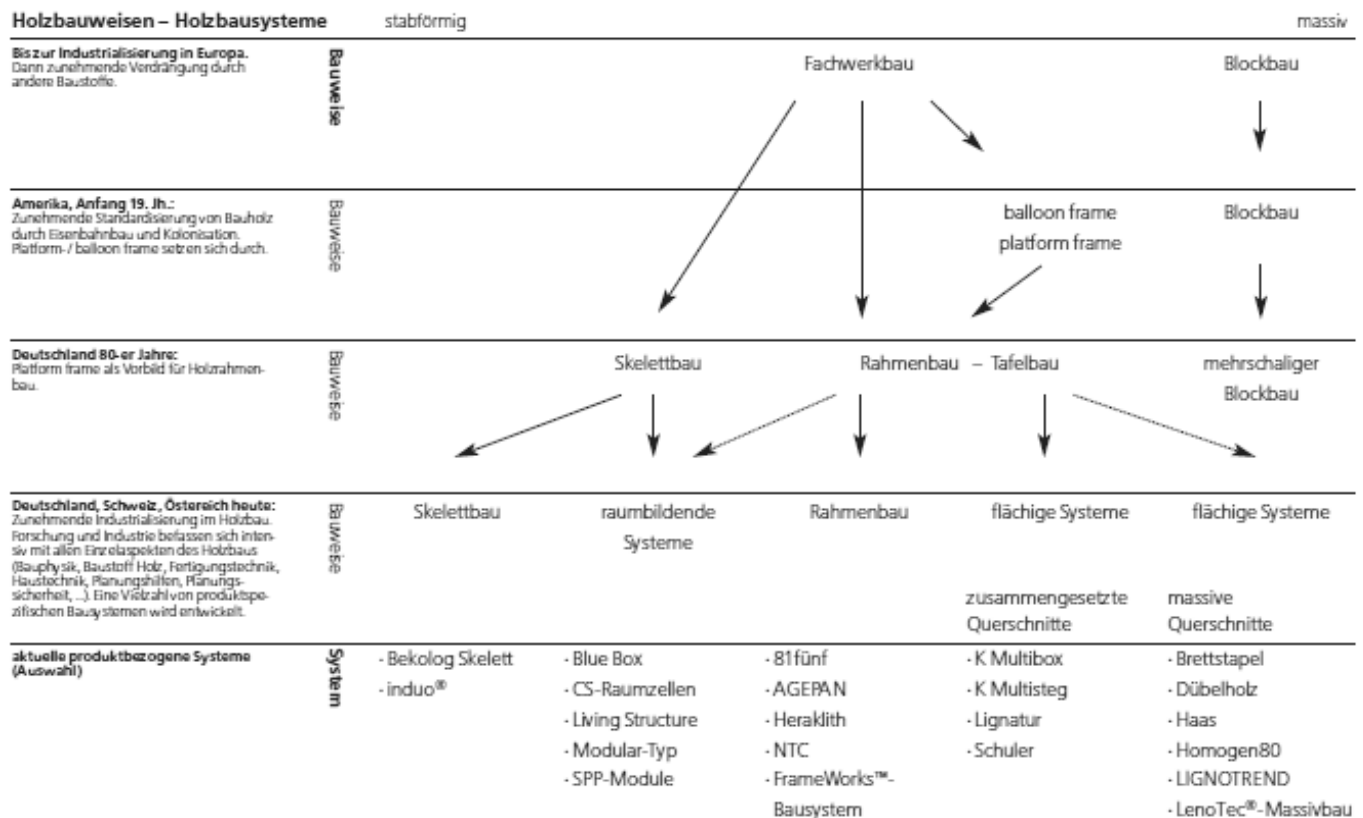


Abb. 3.1 Typologische Entwicklung der Holzbauweisen und -systeme [20]

Wichtigster Ausgangspunkt der Entwicklung ist sicher der Fachwerkbau. In Amerika Anfang des 19. Jh. zur „balloon- frame“ und „platform- frame“ weiterentwickelt, wurde diese Bauweise in den 80-er Jahren wieder nach Deutschland „reimportiert“. Der „Bund Deutscher Zimmermeister“ passte die amerikanischen Bauweisen den deutschen Normen und Gesetzen an und entwickelte damit den Holzrahmenbau, der heute den größten Marktanteil im Holzbau stellt. Ein Teil der neuen Systeme basiert heute auf dem Prinzip des Holzrahmenbaus. Hersteller von Holzwerkstoffen, Dämmstoffen oder Trägersystemen bedienen sich dieser Bauweise und erweitern sie zum System.

Die „raumbildenden Systeme“ basieren konstruktiv hauptsächlich auf dem Skelettbau und dem Holzrahmenbau. Die Besonderheit liegt hier in dem besonders hohen Grad der Vorfertigung.

Den größten Innovationsschub gibt es im Bereich der flächigen Systeme. Diese lassen sich nochmals in die Systeme mit zusammengesetzten Querschnitten und in die mit massiven Querschnitten unterteilen.

Die Entwicklung von der Bauweise zum System ist immer auch in der Abhängigkeit zu sehen von der Entwicklung der Werkzeuge, bzw. der Fertigungstechnologie. Durch sie wurde die Rationalisierung der Herstellung mit der Standardisierung der Konstruktion und dem zunehmenden Vorfertigungsgrad möglich.

Die aktuellen Holzbausysteme sind in der Regel offene Systeme. Sie bieten eine große Flexibilität in Bezug auf individuelle Bearbeitung und die Kombination mit anderen Systemen und zielen damit auf einen größeren Markt. Die angebotenen Produkte können als Bauteil-Systeme bezeichnet werden, da sie für den Einsatz als Wand, Decke und/oder Dach konzipiert sind. Sie haben in der Regel kein zwingendes Planungsraaster.

Die Bauteile werden seriell oder projektbezogen gefertigt, individuell abgebunden und kommissioniert an die Baustelle geliefert.

Die Systemhersteller reagieren auf die stark gestiegenen Anforderungen im Bereich der Bauphysik und bieten, in ähnlicher Weise wie Wachsmann beim „General-Panel-System“, die Integration einer Reihe von planungsrelevanten Teilaspekten (Abb. 3.2).

So bieten Hersteller dem Planer heute Planungsvorleistungen z.B. in Form von geprüften Regelaufbauten, Konstruktionsempfehlungen und Musterstatiken, die als Dienstleistungen verstanden werden und entsprechend der individuellen Planung geändert und angepasst werden können. Die Hersteller erreichen dadurch eine Vereinfachung der Planung im Holzbau und bieten so eine verbesserte Planungssicherheit für den Anwender.

Durch die Entwicklung neuer Fertigungstechniken, wie zum Beispiel CNC-gesteuerter Abbundanlagen, wird das Prinzip der Massenproduktion modifiziert. Es ist nicht länger die Herstellung des immer Gleichen Teils, das die Ökonomie einer Produktion gewährleistet. Die ökonomische Relevanz verlagert sich dadurch auf andere Aspekte, wie die Optimierung von Arbeitsabläufen und Materialeinsatz, die optimierte Vorfertigung und als wichtigen Aspekt für den Planer: die systemoptimierte Planung.

Dabei werden die Systemvorgaben, wie etwa ein besonderes Tragverhalten, die produktionsbedingten Abmessungen eines Elementes oder die mögliche Integration von haustechnischen Systemen in der Planung berücksichtigt.

Aber auch der gesamte Planungsprozess als solcher verändert sich. Durch den Einsatz von CNC-gesteuerten Abbundanlagen können die Planungsdaten direkt vom Planer übertragen werden. Die logistische Optimierung der Fertigungs- und Montageplanung hat Einfluss auf die Ausbildung der Konstruktion und die Fügung der Bauteile. Besonders an den Schnittstellen der Beteiligten ist die frühzeitige Kommunikation notwendig und sinnvoll. Die frühe Systemauswahl kann im Fall einer produktneutralen Ausschreibung Planungsänderungen erforderlich machen.

Mit den neuen flächigen Holzbausystemen ändern sich auch die architektonischen Gestaltungsprinzipien im Holzbau. War in den Anfängen die Struktur eines Holzbaus durch das mehr oder weniger kunstvolle und disziplinierte Fügen stabförmiger Elemente geprägt, so wurde spätestens durch die Anforderungen aus der Bauphysik, die Hülle ein konstituierendes Element der Architektur. Die flächigen Tragwerke ermöglichen heute die Kultivierung der Tektonik der abstrakten Scheibe genauso, wie monolithisch und homogen gedachte Gebäudekonzepte, wie sie bisher dem Massivbau vorbehalten waren.

| Holzbausystem                 |                     |               |                     |              |                     |
|-------------------------------|---------------------|---------------|---------------------|--------------|---------------------|
| Planungsrelevante Teilaspekte |                     |               |                     |              |                     |
| Konstruktion                  | Material            | Bauphysik     | Haustechnik         | Herstellung  | Vertrieb            |
| Anwendungsbereich             | Holzqualität        | Wärmeschutz   | Heizungstechnik     | Vorfertigung | Beratung            |
| Elementgrößen                 | Holzart             | Schallschutz  | Lüftungstechnik     | Transport    | Planungsvorleistung |
| Konstruktionsraster           | Werkstoffe          | Brandschutz   | Solartechnik        | Montage      | Planungssicherheit  |
| Fügungstechnik                | Oberflächenqualität | Feuchteschutz | Sanitärinstallation |              | Verfügbarkeit       |
| Tragwerk / Statik             |                     | Holzschutz    | Elektroinstallation |              | Kosten              |
| Anforderungen / Eigenschaften |                     |               |                     |              |                     |

Abb. 3.2 Planungsrelevante Teilaspekte bei Holzbausystemen [20]

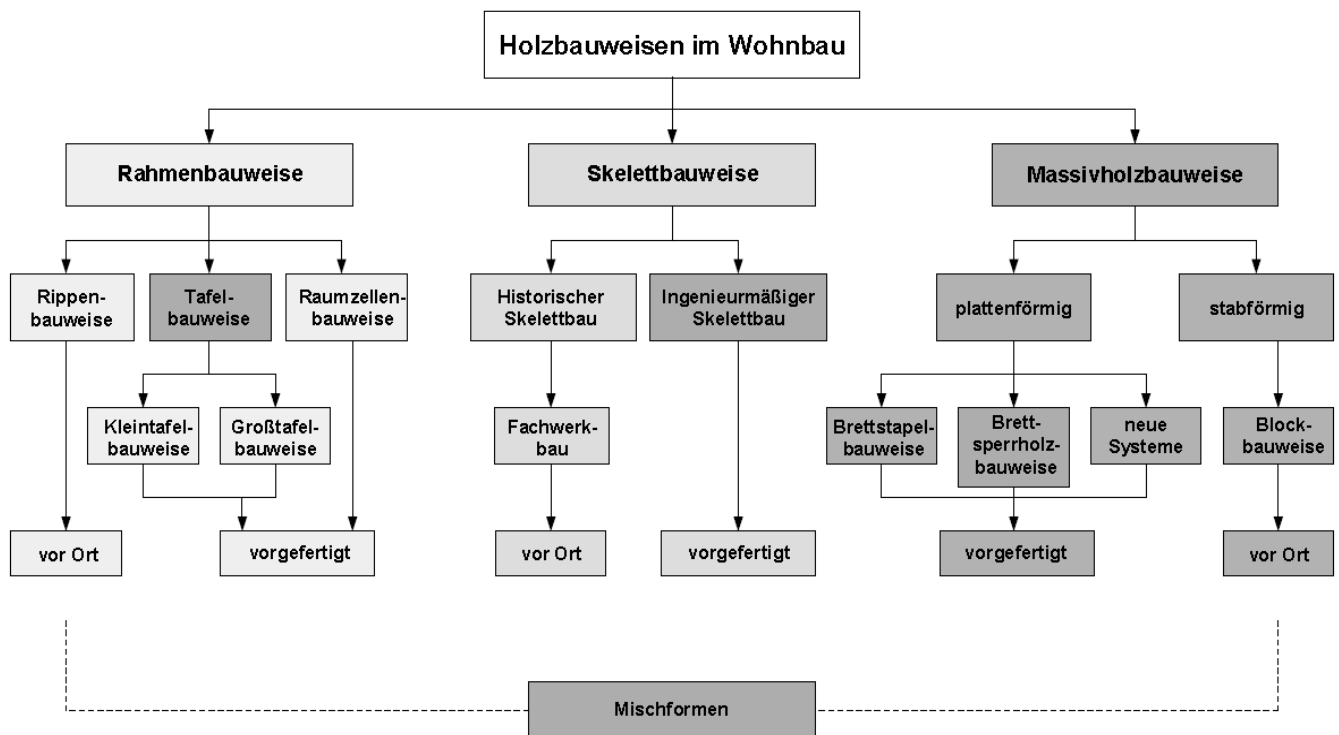


Abb. 3.3 Holzbauweisen im Wohnbau [22]

### 3.1.1. Massivholzbauweisen

#### 3.1.1.1. stabförmig

##### Blockbau

Der Blockbau ist die Urform der Holzmassivbauweise in Mitteleuropa und Nordamerika. Von den ursprünglichen verwendeten Rundhölzern über profilierte Kanthölzer bis hin zu den innen gedämmten doppelten Profilen spannt sich die Palette der Möglichkeiten. An den Ecken werden die Blockbauten überstehend passgenau verkämmt, überplattet oder verzinkt und somit kraftschlüssig verbunden. Durch das Schwinden und Quellen der Blockbalken ist den festen Anschlussteilen wie Fenster und Türen, Kaminen, Installationen usw. besondere Aufmerksamkeit zu widmen. Wegen des hohen Fugenteils und aufgrund des hohen Wärmestands heute, wird auch der Blockbau mehrschalig ausgeführt. Die Blockwand dient als tragende Wandkonstruktion und als Fassade, worauf nach innen die Winddichtung, die Dämmung und die Innenverkleidung folgt. Darüber hinaus gibt es auch außengedämmte Systeme.

Durch den hohen Holzverbrauch und die relativ komplizierten Profile und Eckausbildungen, wird der Blockbau relativ unwirtschaftlich, erfreut sich aber nach wie vor großer Beliebtheit. Auch Blockhäuser können in einer modern ansprechenden Architektur gebaut werden.

Die „neuen Massivholzbauarten“ ermöglichen einen höheren Vorfertigungsgrad bis hin zu fertigen Wandelementen mit Fassade, Fenster Türen und Innenverkleidung. Der Vorteil liegt in der Verwendung von sogenannter Seitenware (Bretter) aus dem Sägewerk, die sonst nur schwer einsetzbar ist. Mit dieser relativ minderwertigen Ware werden wieder hochwertige Bauteile erstellt.

### 3.1.1.2. plattenförmig

#### **Brettstapelbau**

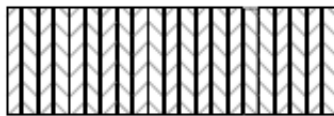
Unter dem Begriff Brettstapelelemente (Bresta) sind Bauteile zu verstehen, die einfach durch paralleles Verbinden von Brettern entstehen.

Bei der Brettstapelbauweise werden einzelne Brett-Stapel aus hochkant nebeneinander gestellten und mit Nägeln oder Hartholzstabdübeln verbundenen Brettern oder Bohlen hergestellt.

Der Brettstapel ist ein massives flächiges Bauteil, mit dem sich - wiederum aneinander gereiht - Decken, Wände oder ganze Fassaden fertigen lassen. Die Herstellung der einzelnen Elemente ist sehr einfach und wirtschaftlich, denn als Gerät wird nur ein sogenannter Nagler benötigt.

Bei mit Stahlnägeln genagelten Elementen müssen Fenster und Türen bzw. Stiegenöffnungen in Decken vorher geplant werden, da nachträglich der unsichtbaren Nägel wegen mit normalen Holzbearbeitungswerkzeugen nicht mehr geschnitten bzw. gesägt werden kann. Der Wandaufbau ist gleich wie bei Blocktafeln bzw. bei Brettspertholz. Die Brettstapelbauweise ist ebenso wie die Holzrahmenbauweise äußerst flexibel, was sich besonders bei der Sanierung von Decken in Altbauten gezeigt hat. Einzelne Bretter können leicht von Hand an jede noch so beengte Einbaustelle ohne Hebezeug transportiert und stützenfrei vernagelt werden.

scharfkantig



gefast



verschwenkt

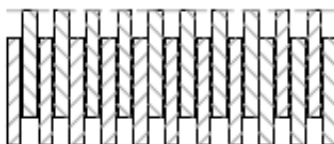


Abb. 3.4 Querschnittsformen des Brettstapel [21]

Bei Neubauten empfiehlt sich jedoch nicht die Baustellenanfertigung. Wirtschaftlich ist vielmehr das Zusammenfügen der vorgefertigten Brettstapel zum flächigen Bauteil einer Decke oder einer Wand. Dazu wird, aufgrund des hohen Gewichtes der einzelnen Stapel, ein Hebezeug, vorzugsweise ein LKW-Ladekran, oder auch ein Baustellenkran benötigt.

Die Brettstapelbauweise lässt auch ästhetisch anspruchsvolle Oberflächen zu. Durch Hobelung und Fassung einer Stirnseite können Deckenuntersichten hergestellt werden, die dem Stabparkett sehr nahe kommen.

Bei Verwendung von ungehobelten Brettern wird unterseitig eine Beplankung mit Gipskarton oder Holzschichtschalung angebracht.

Für den Tragwerksplaner eröffnen sich mit der Brettstapelbauweise neue Möglichkeiten bei der baulichen Durchbildung. Durch die weitaus geringere Konstruktionshöhe gegenüber konventionellen Holzdecken verringert sich auch die Gebäudehöhe. Bei einer Spannweite von 5 m reicht aufgrund des geringen Eigengewichtes der Decke bereits eine Höhe von 14 cm. Das geringe Gewicht der tragenden Konstruktion hat somit auch gegenüber dem Massivbau mit dessen Betondecken entscheidende Vorteile.

Mit der Brettstapelbauweise kann im Allgemeinen jede Grundriss- oder Gebäudeform verwirklicht werden. Rechtwinklige Grundrisse sollten jedoch aus wirtschaftlichen Gründen bevorzugt werden. Da die Brettstapelelemente einachsig gespannte Tragsysteme mit nur geringer Steifigkeit in Querrichtung sind, sollten Decken möglichst parallel zu Treppenöffnungen oder Wänden mit großen Öffnungen (große Fenster etc.) erstellt werden.

Auch sollten tragende Wände übereinander gestellt werden und, falls dieser Grundsatz nicht umsetzbar ist, in Deckenspannrichtung verlaufen. Zur Herstellung der Brettstapelelemente ist die Brettstärke frei wählbar.

Der Brettstapelbau ist eine einfache und wirtschaftliche, jedoch arbeitsintensive Bauweise, die jedem Zimmereibetrieb als echte Alternative frei zur Verfügung steht. Bei Berücksichtigung der konstruktiven Voraussetzungen erfüllt dieses Bauverfahren die Anforderungen an den modernen Holzbau.

### **Brettsperrholzbau/ Brettlagenbau**

Brettsperrholzprodukte werden seit einigen Jahren unter verschiedenen Bezeichnungen wie Mehrschichtplatten, Dickholz, Kreuzlagenholz oder Holzblockelemente produziert und vermarktet. Sie werden nicht nur als Bestandteil eines Bauteils eingesetzt, sondern selbst als Bauteile, z. B. in Form von Decken oder Wandelementen, so dass ganze Gebäude aus Brettsperrhölzern errichtet werden können.

Die Massivholzplatten werden aus kreuzweise übereinander gestapelten und miteinander vollflächig verleimten Brettern, häufig fünf- oder siebenlagig hergestellt.

Das Ausgangsmaterial ist– ähnlich wie bei der Brettstapelbauweise– die Brettseitenware aus den Randzonen des Holzstammes. Das Quellen und Schwinden der Massivholzplatte wird aufgrund der kreuzweisen Verleimung auf ein Minimum reduziert.

Mit dieser Bauweise lassen sich Wände, Decken und Dächer, aber auch auskragende Bauteile wie Balkone konstruieren. Die Massivholzplatte ist ein industrielles Rohprodukt, das in den meisten Fällen noch zu verschalen oder zu verputzen ist.

Aufgrund der Formstabilität können innenliegende Gipskarton- oder Holzwerkstoffplatten direkt auf der Massivholzplatte befestigt werden. Die Wärmedämmung wird außenliegend unabhängig von der Tragebene angeordnet. Das hat den Vorteil, dass zum einen die Dämmstärke reduziert werden kann, da auch die Massivholzplatte dämmende Wirkung besitzt, und zum anderen, aufwändige Sperrsysteme für die Anforderung an die Winddichtigkeit entfallen.

Die kurze Bauzeit ergibt sich aus dem Umstand, dass sämtliche Wand- und Deckenöffnungen, wie Fenster, Türen und Treppen, bereits im Zimmereibetrieb teilweise mit computergesteuerten Abbundanlagen millimetergenau hergestellt werden. Wände, Decken und Dächer werden dann auf die Baustelle transportiert und zusammengebaut bzw. miteinander verschraubt. Mit Plattenlängen bis 15 m lassen sich gebäudehohe Bauteile als Wände ausbilden, wo anschließend die Decken eingehängt werden. Für die Montage der Plattenelemente wird ein LKW- Ladekran oder ein Baustellenkran verwendet. Die Brettlagenbauweise eröffnet im modernen Holzbau eine neue Dimension in der Tragwerksplanung: die zweidimensionale Lastabtragung. Die Belastung innerhalb eines Elementes kann nach allen Richtungen hin abgetragen werden, was einer richtigen Platten- und Scheibentragwirkung gleichkommt. Bisher konnte diese Wirkung nur bei kleinformatischen dünnen Holzwerkstoffplatten erzielt werden, die aber im Holzbau nur für Beplankungen Anwendung finden. Mit einzelnen Massivholzplatten sind sogar punktgestützte Tragsysteme machbar.

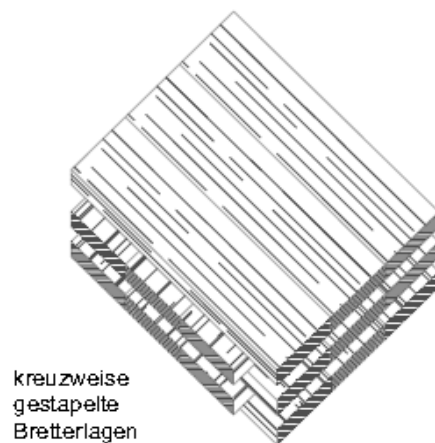


Abb. 3.5 Aufbau der Massivholzplatte [21]

### **Blocktafelbau**

Bei den Holz-Blocktafeln werden Bretter mit Kanthölzern kreuzweise auf Abstand mehrlagig verleimt und ergeben so eine formstabile tragende Wandscheibe (Einzelelemente von 1,2 x 3 m). Die Wärmedämmung und der Wetterschutz werden außenliegend angebracht. Somit liegt die große Holzmasse, als gebaute Klimaanlage im Wohnraum und auch der Fassadenwerkstoff ist frei wählbar, als Holzschalung, Putz oder div. Plattenwerkstoffen.

Vorteilhaft sind die Hohlräume in der Blocktafel, die zur Führung der Installationen dienen und der schnelle Aufbau auf der Baustelle. Innerhalb weniger Tage entsteht so ein regendichter trockener Rohbau. Auch der Gestaltungsvielfalt sind keine Grenzen gesetzt.

Nachteilig sind die etwas höheren Kosten gegenüber den Holzleichtbausystemen.

### 3.1.2. Holzleichtbauweisen

Im Gegensatz zur Massivbauweise, wo die Funktionen Dämmen und Tragen eindeutig in eigene Aufbauschichten getrennt werden, werden diese beim Leichtbau in einer Ebene zusammengelegt.

Vorteile sind:

- geringere Wandstärken, daher weniger Konstruktionsfläche als beim Massivbau
- geringere Kosten durch niedrigeren Holzanteil
- geringeres Gewicht

Nachteil:

- keine wärmebrückenfreie, passivhaus-taugliche Konstruktion ohne weitere Dämmebene möglich
- geringere Speichermassen

#### 3.1.2.1. Skelettbauweise

Der Name Holzskelettbau leitet sich von seinem charakteristischen Tragsystem mit vertikalen Stützen und horizontalen Trägern ab. Es besteht eine konstruktive Verwandtschaft zum Fachwerkbau, doch geht der Ursprung bereits auf die Jungsteinzeit zurück: Der Pfahlbau mit einem Tragskelett aus eingestemmt Pfählen und horizontalen Dachpfetten war neben dem Blockbau die Grundform frühzeitlicher Behausungen. Weidengeflecht und Lehm dienten als Gebäudehülle gegen Witterungseinflüsse. Der Pfahlbau hatte seine wesentliche Schwäche in der geringen Einspannung an den Pfahlfüßen, die außerdem noch einem ständigen Verfaulungsprozess ausgeliefert waren. Die „elastische“ Ausfachung mit dem lehmverputzten Flechtwerk bildete keinen ausreichenden Widerstand. Erst viel später entwickelte sich daraus der Fachwerkbau, wo zusätzliche Streben die Maßhaltigkeit (Steifigkeit) der Stützen und Riegel garantierten.

Der Skelettbau mit mechanischen Stahlverbindungen, den wir heute kennen, entwickelte sich vor etwa 40 Jahren, wo der Versuch unternommen wurde, filigrane Bauwerke einmal nicht in Stahl, sondern in Holzbauweise zu errichten.

Der Skelettbau gehört deshalb in Mitteleuropa zu den am längsten angewandten Bauweisen im modernen Holzhausbau.

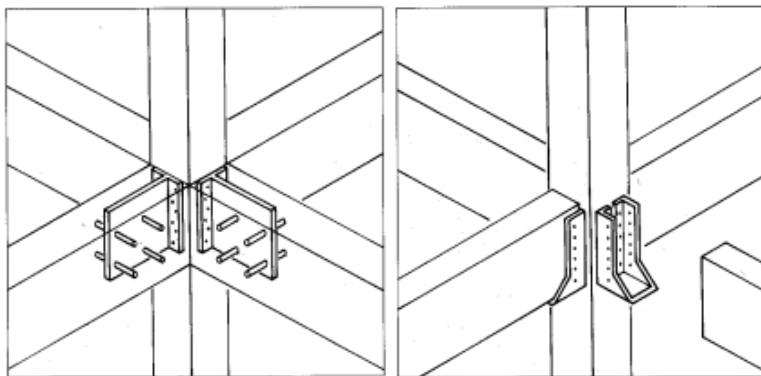


Abb. 3.6 Beispiele für Knotenanschlüsse im Skelettbau [21]

Die Entwicklung durch das Aufkommen des Brettschichtholzes und der mechanischen Verbindungsmittel ermöglichte den Architekten eine freiere Wahl des Grundrissrasters und folglich nahezu unbegrenzte Gestaltungsmöglichkeiten. Der Holzskelettbau eignet sich für leichte und elegante Konstruktionen vor allem in Verbindung mit großen Glasflächen.

Die Skelettbauweise zählt zum Ingenieurholzbau, da ähnlich wie bei Hallentragwerken, größere Stützenabstände und infolgedessen höher belastete Verbindungen vorkommen. Der Tragwerksplanung kommt im Holzskelettbau sicherlich größere Bedeutung zu als bei allen anderen Holzbauverfahren.

Die charakteristischen Merkmale des Holzskelettbaus sind ein großer, weiter Rasterabstand von Stützen und Träger, die Unabhängigkeit der Gebäudehülle vom Haupttragwerk, biegesteife Holzverbindungen und eine Gebäudeaussteifung mit Diagonalverstrebrungen in Stahl oder Holz. Anstelle der Verstrebrungen können auch einzelne Wandelemente oder ein biegesteif ausgebildeter Kern, etwa in Form eines Stiegenhauses eingefügt werden.

Haupt- und Nebentragwerk können voneinander unabhängig ausgebildet werden, es lassen sich auch Kombinationen mit der Brettstapel- oder der Brettlagenbauweise konstruieren. Für die ergänzenden Nebentragwerke wie Deckenbalken, Dachsparren und Dachpfetten wird anstelle des Brettschichtholzes üblicherweise gewachsenes Vollholz verwendet.

Die Anordnung von Stützen und Trägern richtet sich üblicherweise nach dem Entwurf von Fassaden und Trennwänden, sowohl in der Form als auch im Material. Demzufolge können raumbildende Wände als Fertigteilwände in Ständerbauart oder als Glaselement eingesetzt werden. Das Haupttragwerk kann sich auch außenseitig vor der Gebäudehülle befinden, eine Bauweise, die nur mit Holzskelettbau realisierbar und ebenso als charakteristisches Erscheinungsbild ersichtlich ist. Allerdings müssen der Witterung ausgesetzte Bauteile konstruktiven, gegebenenfalls auch chemischen Holzschutzmaßnahmen unterzogen werden.

Die Lastabtragung erfolgt bei der Skelettbauweise über stabförmige Tragglieder mit der funktionellen Trennung von Raumabschluss und Tragwerk, ganz im Gegensatz zum Holzrahmenbau, wo scheibenförmige Tragelemente hergestellt werden, die gleichzeitig auch raumabschließend sind. Die konstruktive Trennung sämtlicher Wände vom Tragsystem hat den Vorteil, dass nicht nur deren Lage im Bauwerk, sondern auch deren Versetzbarkeit vollkommen flexibel ist. So können ohne Bedenken ganze raumteilende Wände, aber auch Decken je nach Gebäudenutzung verändert werden. Der Holzskelettbau ist eine Bauweise für weite offene und hohe Räume mit viel Glas und sichtbarer Konstruktion.

Auch Holzskelettbauten können in einzelnen Abschnitten im Zimmereibetrieb vorgefertigt werden, auch wenn der Anteil der Vorfertigung nicht so hoch wie beim Holzrahmenbau ist. Bohrungen und Schlitzte werden passgenau im Werk angefertigt, sodass die spätere Zusammensetzung der einzelnen Tragglieder mit Schraubbolzen, Stab- oder Ringdübel auf der Baustelle ohne größere Schwierigkeiten durchgeführt werden kann. Die Wirtschaftlichkeit des Skelettbaus hängt letztendlich vom Grundrissraster und von der Anzahl der Verbindungen ab: Ein größerer Raster bedeutet einen höheren Holzverbrauch, jedoch weniger Knotenpunkte und dadurch geringere Gesamtkosten. Spannweiten größer als 8 m hingegen führen zu unproportional großen Trägerquerschnitten, was wiederum ästhetische Probleme mit sich bringt. Der Holzskelettbau verlangt bereits im Entwurfsprozess nach einer „konstruktiven“ Zusammenarbeit zwischen Architekt und Tragwerksingenieur.



Merkmale des Skelettbausystems sind:

- Klarheit der Konstruktion, Tragwerk als Gestaltungselement
- Tragskelett unabhängig vom Raumabschluss, individuelles Bauen
- Ingenieurmäßige Verbindungen
- Unterschiedliche Systeme je nach Lage der Konstruktionsteile zueinander: Zangen-, Pfosten/Riegel- Konstruktion
- Vergleichsweise geringeres Gewicht der ausfachenden/ergänzenden Bauteile durch die Verlagerung des Konstruktionsholzes in das Skelett (Material- und Transportkosten)

### 3.1.2.2. Rahmenbauweise

Der Holzrahmenbau entstand in Nordamerika, wo bereits Anfang des 19. Jahrhunderts der Fachwerkbau durch eine Leichtkonstruktion mit Holzstehern und Bretterverschalung ersetzt wurde. Sind beim Fachwerkbau noch allein die Steher und Streben die Haupttragelemente, so kann beim Holzrahmenbau bereits von einer Scheibenbauweise und insofern auch von einem Flächentragwerk gesprochen werden. Die aussteifenden Streben können aufgrund der Scheibenwirkung der diagonal ausgerichteten Bretter ersetzt werden.

Das Bauverfahren erwies sich als kostengünstig und rationell, wodurch die Siedlungstätigkeit in den nordamerikanischen Ländern beschleunigt wurde. Mit nur sehr wenigen Handwerkzeugen entstanden ganze Dörfer und Städte. Mit Säge, Hammer und Nägel wurde Rundholz geschnitten und verbunden. Die industrielle Entwicklung standardisierte das Hausbauverfahren, sodass letztendlich mit zwei Profilgrößen für Wände und Decken gebaut wurde.

So wie der Fachwerkbau nach Amerika exportiert– wurde der Holzrahmenbau wiederum nach Europa importiert. Anfänglich in den nordeuropäischen Ländern wie Finnland, Schweden und Norwegen mit ihren riesigen Waldvorkommen, wo schon immer traditionellerweise mit Holz gebaut wurde.

Erst allmählich breitete sich diese erfolgreiche und beliebte Bauweise auch in Mitteleuropa aus.

Das Holzrahmenbausystem wird aus tafelförmigen Elementen mit tragendem Rahmen (Rippen) und aussteifender Beplankung gebildet. Die Beplankung kann aus diagonal verlaufenden Brettverschalungen, aus Holzwerkstoffen – z.B. Mehrschichtplatten, Bau-Furniersperrholz, Spanplatten und OSB-Flachpressplatten – oder faserverstärkten Gipsplatten bestehen. Die Holzrahmen werden möglichst aus standardisierten Holzquerschnitten in Anpassung an gebräuchliche Plattenmaße der Beplankung gefertigt. Aus dieser Randbedingung entsteht das Konstruktionsraster von 62,5 cm (seltener 81,5 cm) für die senkrechten Rahmenhölzer, wobei die vereinheitlichte Plattenbreite 125 cm beträgt. Verschiedene Grundrissvarianten und die Positionierung von Fenster und Türen sind durch sogenannte Wechsel trotzdem möglich.

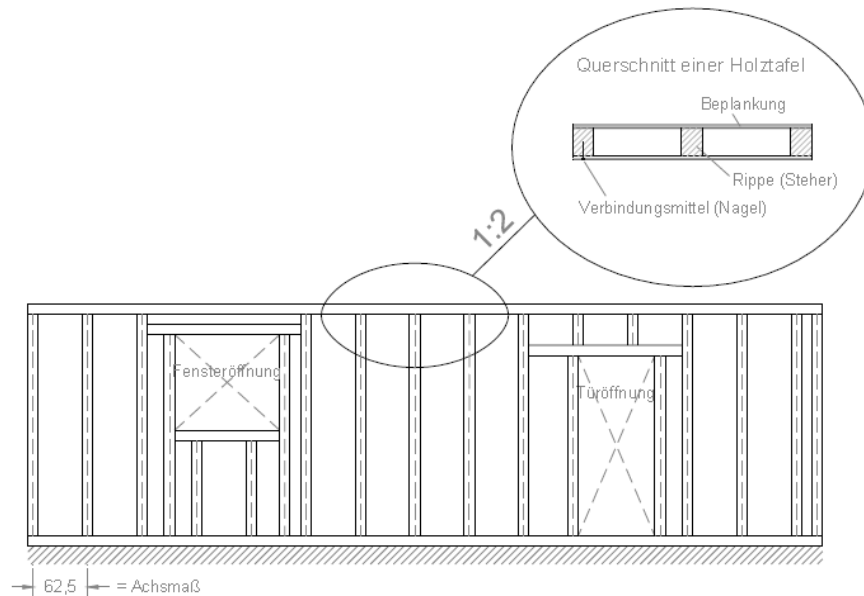


Abb. 3.7 Wandtafel im Holzrahmenbau [21]

Die Decken werden bei der Holzrahmenbauweise sehr häufig als Balkendecken ausgebildet, wobei auch eine Kombination mit Brettstapeldecken möglich ist.

Während beim klassischen Holzrahmenbau noch sämtliche Holzteile an Ort und Stelle, d.h. auf der Baustelle, zusammengefügt werden, werden bei uns in Mitteleuropa ganze Holzrahmenelemente für Wände, Decken, aber auch Dächer, im Zimmereibetrieb vorgefertigt und anschließend in wenigen Tagen an der Baustelle zusammengebaut. Das hat den Vorteil, dass im Betrieb mit größeren stationären Maschinen, sogenannten Abbundanlagen, wetterunabhängig gearbeitet werden kann, was schließlich eine bessere und präzisere Bearbeitung ermöglicht. Für das Zusammenfügen auf der Baustelle genügen ein LKW-Ladekran und wenige Handwerkzeuge für die Verschraubung bzw. Vernagelung.

Die im Zimmereibetrieb vorgefertigten Wandtafeln werden auf die Schwellen aufgesetzt, verschraubt und vorübergehend abgestützt. Die Wandelemente werden durch eine übergreifende Beplankung gestoßen. Nach Aufrichten sämtlicher Wandtafeln werden abschließend oberseitig sogenannte Rähme angebracht, die sämtliche Wandelemente zusammenhalten und vorhandene Horizontalkräfte weiterleiten.

Jetzt werden die Deckenbalken bzw. Deckenelemente mit einer Bretterschalung oder mit Holzwerkstoffplatten verlegt, höhenmäßig ausgerichtet und verschraubt. Mit der Herstellung der ersten Geschossdecke ist das Gebäude vorerst wie eine Schachtel ausgesteift.

Der Hausbau erfolgt immer stockweise, beginnend ab Kellerdecke bzw. Bodenplatte. Die erste Decke bildet wiederum eine Plattform für das folgende Geschoss.

Mit der Holzrahmenbauweise lassen sich dadurch mehrgeschossige Wohnungsbauten errichten, wobei ab 4 Vollgeschosse zusätzliche Maßnahmen zur Gebäudeaussteifung notwendig sind. Wirtschaftlich sinnvoll eingesetzt werden kann dieses Bausystem im Ein- und Zweifamilienhausbau, bei Reihenhäusanlagen und für Gebäudeaufstockungen, weil es heute noch zu den individuellen und flexiblen Holzbauweisen gehört.

## Wandaufbau

Die Wärmedämmung liegt zwischen den Rippen (daher auch Rippenbauweise) und wird nach innen durch die Innenverkleidung mit ev. notwendiger Dampfbremse begrenzt. Nach außen folgt die statisch mittragende Beplankung oder Platte, die Windbremse und die Fassade. Wobei diese wiederum aus allen Möglichkeiten wie hinterlüftete Holzverkleidung, Putzfassade oder div. Plattenmaterialien, bestehen kann.

Die statisch mittragende Beplankung kann innenseitig zu 100 % beidseitig zu je 50 % oder außenseitig zu 100 % tragend angebracht werden. Holzweichfaserplatten als Außenbeplankung können statisch nicht angerechnet werden, ergeben aber eine dampfdiffusionsoffene Windbremse und zusätzlich 2 cm Dämmung, die die Rippen und Fugen überdecken. Auch die Wärmedämmung besteht üblicherweise aus Holz. So genannte Zellulose-Faserdämmstoffe werden aus Altpapier gewonnen und können in die fertigen Hohlräume, ohne Abfall und Verschnitt, winddicht eingeblasen werden.

### 3.1.2.3. Tafelbauweise

Der Holztafelbau ist eng verwandt mit dem Holzrahmenbau. Der Unterschied liegt einzig und allein in der Vorfertigung. In der Fertighausindustrie werden ganze Fassaden mit Bekleidung, Türen und Fenstern, Decken und Dächern im Werk gefertigt.

Die Elemente erhalten bereits im Werk die Dämmung in den Gefachen der Rahmenkonstruktion, die beidseitig mit der Beplankung bzw. Bekleidung geschlossen wird. Weiter werden Dampfbremse und Windsperre aufgebracht, desgleichen die Fassade. Holzbekleidungen, Putz auf zusätzlicher Außendämmung oder Klinkervorsatz, der allerdings vor Ort gemauert wird, stehen in zahlreichen Varianten zur Wahl. In die Bauteile werden die Leitungsführung der modernen Haustechnik und Vorrüstungen für spätere Installationen integriert. Eine zusätzliche Außen- oder Innendämmung ist die Regel. Das Niedrigenergiehaus und das Nullheizenergiehaus wurden so im Fertigbau schon früh entwickelt und in die Serienreife überführt. Zu den werkseitig vormontierten Bauteilen gehören auch die Fenster und Außentüren.

Schlussendlich erfolgt dann das Zusammenfügen der vorgefertigten Elemente sowie das Ausstatten mit haustechnischen Aggregaten vor Ort. Das Prinzip weitestgehender Vorproduktion passgenauer, maßhaltiger Bauteile verkürzt die Bauzeit noch einmal deutlich: In ihr Fertighaus können die Bewohner im Schnitt 5 Wochen nach Montagebeginn ab Kellerdecke oder Bodenplatte einziehen. Außerdem begünstigt die industrielle Vorfertigung im Werk den Einsatz moderner Organisations- und Produktionsmethoden wie Planung mit CAD-Programmen und computergesteuerte, automatisierte Vorfertigung, eine Entwicklung, die im Hausbau mit Holz insgesamt rasch voranschreitet. Schließlich kommt die Vorfertigung im Holzbau und im Fertigbau dem Qualitätsstandard und seiner laufenden Überwachung zugute.

Das Fertighaus von heute, das im System und Grundaufbau der Elemente die Vorteile der Vorfertigung und der Serie nutzt, lässt der Planung und Gestaltung nach den Wünschen der Bauherren weiten Spielraum: Größe, Grundriss, Raumaufteilung, zukunftsweisende Haustechnik, äußere und innere Ausstattung werden frei gewählt.

Neben sehr individuellen Entwürfen lässt sich aber auch ein Trend zu kostenoptimierten Häusern mit kompakten Grundrissen zum Beispiel für junge Familien beobachten. Zweckbauten wie Bürogebäude oder Kindergärten und mehrgeschossiger Wohnungsbau gehören ebenfalls zum Aufgabenfeld des Holztafelbaues.

#### 3.1.2.4. Raumzellenbauweise

Die Raumzellenbauweise stellt eine Weiterentwicklung der Rahmenbauweise bzw. der Tafelbauweise dar. So entstehen dreidimensionale, stapelbare Raumstrukturen, welche als Tragkonstruktion oder eingehängte Füllelemente einer primären Tragstruktur transportiert und versetzt werden.

Der Einbau aller ver- und entsorgenden Systeme erfolgt bereits im Werk, was einen erhebliche Zeit- und Kostenvorteil bietet. Lediglich die Anschlüsse untereinander und an die vorbereiteten Fundamente erfolgen auf der Baustelle.

In seiner Freiheit bzw. modularen Größe wird das Raumzellensystem jedoch begrenzt durch dessen Gewicht und die begrenzten Transportgrößen (Transportbreite nicht größer als 3 m).

#### 3.1.3. Sonderformen

Heute gibt es in Europa eine Vielzahl von Holzbauunternehmen, die ihrerseits ein riesiges Angebot an Holzbausystemen bereitstellen. Die meisten dieser Anbieter stützen sich aber auf bekannte Bausysteme und adaptieren diese auf ihre eigene Art und Weise. Dazu zählen Systeme die auf Brettstapelbinder basieren, Tafelbauelemente unterschiedlichster Größen und Konfigurationen, Skelettbausysteme, Deckenelemente in diversen Massiv- und Rahmenbauweisen und Vieles mehr. Man kann beinahe sagen, dass sich regionale Unterschiede feststellen lassen. Weiters finden wir ingenieurmäßige Systemempfehlungen, die auch von kleinen Zimmereibetrieben angewandt werden.

Dennoch gibt es in dieser Sparte Innovationen die gesondert erwähnt werden müssen. Dazu zählt beispielsweise die Schweizer Firma STEKO, die ein Modulholzbausystem entwickelt hat. Diese Holzziegel werden im Verband analog zu Tonmauersteinen mit einer Verzahnung aufeinandergestapelt und mittels Dübel miteinander verbunden. Es gibt bei diesem System Grundmodule und jede Menge Sondermodule die ein individuelles Bauen mit diesem System ermöglichen. Das Holzelement funktioniert einerseits für sich alleine, andererseits kann es auch in Verbindung mit einer Außen- bzw. Innenhaut verwendet werden.

Auf diesem Gebiet sind sicherlich noch eine Menge Systeme anzudenken, die auf besondere Bedürfnisse maßgeschneidert sein könnten.

| WANDSYSTEME        |                                                                         |                                       |                   | AUFBAUPRINZIP  |                            | DECKEN                           |
|--------------------|-------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-------------------|----------------|----------------------------|----------------------------------|
| HOLZMASSIVBAUWEISE | MATERIAL VERBINDUNGSM.                                                  | HERSTELLUNG VORFERTIGUNG              | KNOTEN WAND-DECKE | GESCHOSSWEISE  | HAUSHOCH                   | DAZWISCHEN                       |
|                    |                                                                         |                                       |                   |                |                            |                                  |
|                    | BRETTSTAPEL<br>- EINLAGIG<br>- MEHRLAGIG<br>- NICHT GEKR.<br>- GEKREUZT | BRETTSTAPEL<br>NÄGEL DÜBEL LEIM       | DECKE AUF WAND    | KLEINTAFEL     | GROßTAFEL                  | VERLEIMTE PLATTE                 |
|                    |                                                                         |                                       |                   |                |                            |                                  |
|                    | PFOFEN                                                                  | EINLAGIGE PFOFENWAND                  | DECKE DURCHLAUFEN | HALB - RAHMEN  | RAHMEN - RAUMZELLE         | BRETTSTAPEL<br>BÜNDIG - VERSETZT |
| VERBINDUNG         |                                                                         |                                       |                   |                |                            |                                  |
|                    | MECHANISCH<br>NÄGEL<br>HOLZDÜBEL                                        | MEHRLAGIG GEKREUZT<br>LEIM ODER DÜBEL | DECKE SEITLICH    | BALLOON - WAND | HOLZ-BETON<br>VERBUNDDECKE | TEILAUFGELÖSTE<br>RIPPENDECKE    |
|                    | VERLEIMT                                                                | MEHRLAGIG GEKREUZT<br>HOHLRAUMANTEIL  | HAUSHOHE WAND     |                |                            |                                  |

Abb. 3.8

Konstruktives Repertoire Holzmassivbau [25]

| WANDSYSTEME |                              |                                    |                      | AUFBAUPRINZIP |                    | DECKEN                                               |
|-------------|------------------------------|------------------------------------|----------------------|---------------|--------------------|------------------------------------------------------|
| SKELETT     | MATERIAL VERBINDUNGSM.       | HERSTELLUNG VORFERTIGUNG           | KNOTEN STÜTZE-TRÄGER | GESCHOSSWEISE | HAUSHOCH           | DAZWISCHEN                                           |
|             |                              |                                    |                      |               |                    |                                                      |
|             | TRÄGER                       | PRE - CUT<br>EINZELTEILE BAUSEITS  | TRÄGER AUF STÜTZE    | BAUSEITS      | GESCHOSSHOHE BIND. | ELEMENT<br>MIT RANDBALKEN                            |
|             |                              |                                    |                      |               |                    |                                                      |
|             | STAHL<br>VERBINDER           | GESCHOSSHOHE<br>BINDER VORGEFERTIG | RIEGEL               | RAUMZELLE     | TEIL-BINDER        | HOHLKASTEN<br>MIT BESCHWERUNG<br>UND DÄMMUNG         |
| STÜTZE      |                              |                                    |                      |               |                    |                                                      |
|             | STÜTZE                       | HAUSHOHE<br>BINDER VORGEFERTIG     | GETEILTE STÜTZE      | RAUMZELLE     | GANZE BINDER       | EINZELNE BALKEN<br>STAHLVERBINDER<br>HOLZ-HOLZ VERB. |
| PRE - CUT   |                              |                                    |                      |               |                    |                                                      |
|             | PRE - CUT<br>BINDER BAUSEITS | ZANGEN                             | RAUMZELLE            | RAUMZELLE     | GANZE BINDER       | TRÄGER ODER RIEGEL                                   |

Abb. 3.9

Konstruktives Repertoire Skelettbau [25]

| WANDSYSTEME                |          |                                                            |                         | AUFBAUPRINZIP             |                      | DECKEN -SYSTEME |                                                       |
|----------------------------|----------|------------------------------------------------------------|-------------------------|---------------------------|----------------------|-----------------|-------------------------------------------------------|
|                            |          |                                                            |                         | GESCHOSSWEISE             | GESCHOSSDURCHLAUFEND | DURCHLAUFEND    | ZWISCHEN SCHOTTEN                                     |
| RAHMENBAU = RIPPE + PLATTE | MATERIAL | BAUTEILHERSTELLUNG<br>VORFERTIGUNG<br>WERKSTATT /BAUSTELLE | KNOTEN: WAND - DECKE    |                           |                      |                 |                                                       |
|                            |          |                                                            |                         |                           |                      |                 |                                                       |
|                            | Rippe    | Zusammenbau auf Baustelle                                  | Decke auf Wand          | Zusammenbau auf Baustelle |                      |                 | Deckenbalken einzeln verlegt                          |
|                            |          | Einseitig Beplankt                                         | Decke auf Wand          | Kleintafelbauweise        |                      |                 | Deckenelem. mit Randbalken                            |
|                            | Platte   | zweiseitig Beplankt                                        | Decke auf Vorsatzschale | Grosstafelbauweise        |                      |                 | Deckenelem. mit Sporschalung                          |
| RAHMENBAU = RIPPE + PLATTE |          | Balloon - Wand                                             | Balloon - Wand          | haushöhe Wandelemente     |                      |                 | Hohlkasten-Deckenelem.<br>Dämmung und Sand werkseitig |

Abb. 3.10

Konstruktives Repertoire Rahmenbau [25]

## 3.2. marktgängige Holzbausysteme

### 3.2.1. stabförmige Systeme

#### **- 81fünf** (high-tech & holzbau AG)- D

Holzrahmenbau-System im Raster 81,5; Niedrigenergiehausstandard. Wird ausschließlich von Mitgliedern geplant und gebaut. Eigene Systemhaus-Entwürfe.

#### **- AGEPAN- Bausystem** (Glunz AG)- D

Geschlossenes Bausystem zur Errichtung kompletter Holzhäuser; in Niedrig-und Passivhausstandard unter Verwendung der AGEPAN-Holzwerkstoffprodukte OSB (Flachpressplatte), DWD(diffusionsoffene Holzfaserplatte), IWP (Innenwandplatte) und des AGEPAN Trägersystems (Träger mit Vollholz-Gurten und Holzfaserplattensteg)

Raster, Modul

Das System ist an kein Raster oder Modul gebunden.

Tragwerk

Das Tragsystem entspricht dem Holzrahmenbau (Platform- framing).



Abb. 3.11 Agepan- Bausystem [20]

#### **- Bekolog Skelett** (BEKO Holzbau GmbH)- D

Holzskelettbauweise mit außenliegender, nichttragender Hülle. Herstellung durch Beko. Planung durch Beko oder individuell.

#### **- Egger** (Egger Holzwerkstoffe)- D

Planungssystem für diffusionsoffenen Holzrahmenbau unter Verwendung eigener Holzwerkstoffprodukte. Planungshandbuch BAUDAS.

#### **- Eternit** (Eternit AG)- D

geprüfter Wandaufbau D 240 (F 60-B) für Holzrahmenbau. Hersteller mineralisch gebundener Holzwerkstoffe (B1) und Fassadentafeln. Balkonplatte Balkodur®.

### **- Frameworks- Bausystem** (Trus Joist sprl)- D

Bausystem für Dach, Decke und Wand; unter Verwendung des TJI-Trägersystems, des Parallam Furnierstreifenholzes und des TimberStrand Langspanholzes (zuvor Intrallam).

Der statisch günstige Querschnitt der Stegträger ermöglicht große Spannweiten bei minimalen Materialeinsatz.

Die Einzelbauteile können auch in Kombination mit anderen Systemen und Bauweisen eingesetzt werden. Im Passivhausbereich werden häufig die Massivholzsysteme mit den Stegträgern als Trägermaterial in den hochgedämmten Bauteilschichten für die Außenhülle kombiniert.

#### **Raster, Modul**

Das System ist an kein Planungs- und Konstruktionsraster bzw. -modul gebunden. Aus wirtschaftlichen Gründen wird meist das auf die Formate der Holzwerkstoffplatten abgestimmte Raster des Holzrahmenbaus gewählt.

#### **Tragwerk**

Die Bauwerke werden meist in Quasi-ballon-framing- Bauweise hergestellt. In Verbindung mit großen Beplankungsplatten ist auch reines Ballon-framing möglich und bietet damit gut gedämmte Geschossstoß- Details.



Abb. 3.12 Frameworks- Bausystem [20]

### **- Graf-Holzbau-System** (Graf-Holzbausysteme Rothenburg GmbH)- D

Holzbau-System mit „Drei-Kammer-Wand“. Patentierter Wandaufbau F 90-B. Fertigung ausschließlich über Lizenznehmer.

### **- Heraklith** (Deutsche Heraklith GmbH)- D

Holzrahmenbau-Variante mit Fachwerkstreben unter Verwendung eigener Holzwerkstoff- und Dämmstoffprodukte. Putzträgerplatte als Grundplatte für mineralische Putzbeschichtungen.

### **- induo- Systemholztechnik** (induo- Systemholztechnik GmbH & Co. KG)- D

Aus stabförmigen Bauteilen zusammengesetztes Holzbausystem unter Verwendung des patentierten rhombusförmigen induo- Verbundankers.

Induo ist ein industriell vorgefertigtes, aus stabförmigen Bauteilen zusammengesetztes (skelettartiges) Holzbausystem. Alle Bauteile werden seriell gefertigt, maßgenau abgebunden und nach Packlisten sortiert und kommissioniert an die Baustelle geliefert.



Die Verbindung erfolgt über patentierte, rhombusförmige, gusseiserne Ankerkörper mit Innengewinde, die in die maßlich exakt fixierten Innenöffnungen von Kreuz-, Duo-, BS-Holz-Balken oder anderen Holzwerkstoffen eingelegt werden.

#### Raster, Modul

Das System unterliegt keinen Einschränkungen eines Moduls oder Rasters.

#### Tragwerk

Zur Aussteifung des tragenden Holzskeletts werden in der Regel die raumbildenden mit z.B. Holzwerkstoffen beplankten Wand- und Deckenelemente herangezogen. Die Ausbildung eines reinen, z.B. mit Stahldiagonalen ausgekreuzten Skelett-Tragwerks ist allerdings ebenfalls problemlos möglich.



Abb. 3.13 Induo- Systemholztechnik [20]

#### - **NTC** (Nordic Timber Council)- D

Holzrahmenbau-System aus Skandinavien mit standardisierten Querschnitten.

#### - **Opitz-System** (Opitz Holzbau GmbH)- D

Vorgefertigte Wand-, Decken- und Dachelemente in Holzrahmenbauweise, Dachkonstruktionen aus Nagelplattenkonstruktionen.

#### - **Terra Limes** (Terra Limes International GmbH)- D

Systembaustoff „Kythos“ für Wände und Decken. Beplankung aus diagonalen Massivholzlamellen. Brettstapeldecken.

#### - **ZimmerMeisterHaus** (Verband ZimmerMeisterHaus)- D

Holzrahmenbau-System in Niedrigenergie- und Passivhausstandard. Wird ausschließlich von Mitgliedsfirmen geplant und gebaut.

### 3.2.2. flächige Systeme

**- Bekolog Kantholzelemente** (BEKO Holzbau GmbH)- D

Flächige, massive Decken- und Wandbauteile aus Kanthölzern mit Spezialprofil.

**- Bresta Massiv** (Tschopp Holzbau GmbH)- CH

Massives Flächenelement aus gedübelten Brettlamellen. Holz-Beton-Verbund möglich.

**- Brügger-Holes** (Holes AG) - CH

Ein- oder zweischalige großflächige Wandelemente als Ständerkonstruktion. Geklebte Ständern mit schwalbenschwanzförmig eingefräster Holzschalung. Unterschiedlicher Vorfertigungsgrad möglich.

**- Homogen80** (Homoplax Spanplattenwerk Fideris AG) - CH

Tragende und aussteifende Wandbauteile aus 80 mm dicken Holzspan-Flachpressplatten.

Homogen80 sind tragende und aussteifende Wandbauteile aus 80 mm dicken Holzspan-Flachpressplatten.

Die in Standardbreiten industriell gefertigten Wandelemente werden in den Werken der weiterverarbeitenden Holzbaubetriebe durch in den Stoßfugen eingeklebten Federn zu großflächigen, geschosshohen Wandtafelelementen verbunden.

**Raster, Modul**

Die industriell gefertigten Wandbauteile können in beliebigen Abmessungen zugeschnitten und verklebt werden. Handelsübliche, standardisierte Ausbauelemente wie Türen Fenster usw. können problemlos eingeplant werden.

**Tragwerk**

Für die Verbindung der Wandelemente mit anderen Bauteilen (z.B. Balken, Rähme etc.) dürfen nur Einlassdübel, Sechskant- Holzschrauben, oder Sonder-  
nägeln verwendet werden.



Abb. 3.14 Homogen 80 [20]

**- K. Profidecke** (Kaufmann Holz AG)- A

Deckenelement aus BS-Holz-mit Doppelnut und Kamm; Fichte.

Am Stoß oberseitiger Falz für Schublasche.

Elementdicke 100 - 240 mm.

**- Kaufmann Tonnenschale** (Kaufmann Holz AG) - A

Gekrümmte Rippenplatte aus BS Holz Rippen. Beplankung aus K1 multiplan; Unter-  
spannungen aus Rundstählen.

**- Kaufmann-Multibox** (Kaufmann Holz AG) - A

Tafelemente aus BS-Holz oder Vollholzrippen mit aufgeklebter Beplankung aus K1  
multiplan oder andere Holzwerkstoffen; als Multibox oder Stegplatte.

Durch Verbund hohe Tragfähigkeit; auch gekrümmt möglich.

**- KFN Modulsystem** (KFN Kaufmann Product GmbH) - A

Tragende Skelettkonstruktion im Modulraster von 5/5 m mit flächigen Wand-, Decken-  
und Dachelementen mit einer Größe von 2,5/5 m

**- KLH-Brettsperrholz** (KLH Massivholz GmbH) - A

Brettsperrholz. Kreuzweise übereinander gestapelte und flächig miteinander verklebte  
Brettlamellen; zweiachsige Belastung möglich.

Kreuzlagenholz (KLH) wird aus kreuzweise übereinander gestapelten und miteinander  
verleimten Fichtenbrettern hergestellt.

KLH Massivholzplatten können aufgrund ihrer Großformatigkeit geschossübergreifend  
eingesetzt werden. Sie werden mit einer Maximallänge von 16,50 m, einer Maximal-  
breite von 2,95 m und einer maximalen Plattenstärke von 0,50 m produziert.

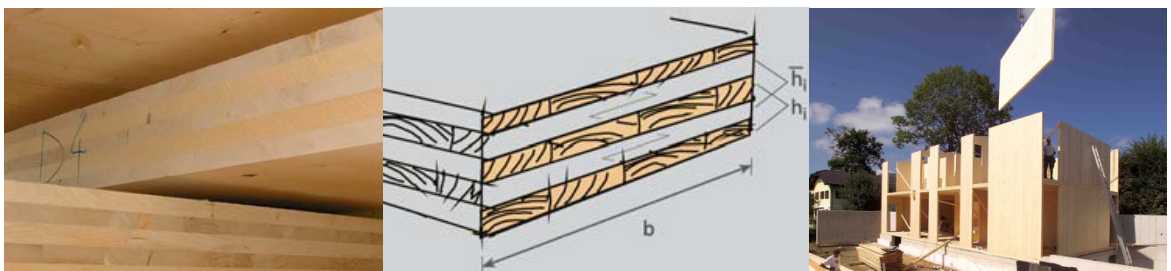


Abb. 3.15 KLH- Brettsperrholz [26]

**- Klimaplan Massivholzhaus** (Klimaplan Massivholzhaus GmbH) - D

Platten geklebt, gedübelt; d = 80 mm. Bei Wänden senkrecht stehend; geschliffene  
Sichtoberfläche.

Einschließlich Abbund und Vormontage möglich.

**- Lamellenbauweise** (Gütegemeinschaft Brettstapel- und Dübelholzhersteller) - D  
Flächenbildende, tragende Lamellenelemente aus hochkant gestellten Brettlagen. Brettstapelbauweise (genagelt) oder als Dübelholz (mit Hartholzdübeln verdübelt).

**- Lignatur** (Lignatur AG) - CH

Industriell gefertigte Kasten-, Flächen- und Schalenelemente aus Nadelholz. Der Hohlraum der Elemente kann auf Wunsch z.B. mit Dämmmaterialien ausgefüllt werden.

Lignatur-Elemente sind industriell gefertigte Kasten-, Flächen- oder Schalenelemente aus Nadelholz. Die multifunktionalen Strukturelemente erfüllen tragende, schall- und wärmedämmende, feuchte- und wärmespeichernde und flächenbildende Funktionen. Die Lignatur-Elemente eignen sich durch ihren optimierten Querschnitt besonders dort, wo große Spannweiten mit hohen Beanspruchungen zu überbrücken sind. Lignatur lässt sich mit anderen Systemen bzw. Bauweisen kombinieren.

Raster, Modul

Die Lignatur-Elemente werden in Standardbreiten gefertigt. Durch die objektbezogene Herstellung von Pass-Elementen ist das Produktionsraster für den Entwurf nicht bindend.

Tragwerk

Der Lastabtragung der Dach- und Deckenplatten erfolgt im Wesentlichen einachsrig. Die Auflagerung der Decken- und Dachelemente erfolgt in der Regel direkt. Die üblichen mechanischen Verbindungsmittel können unter Beachtung der notwendigen Randabstände eingesetzt werden.



Abb. 3.16 Lignatur [20]

**- Lignotrend** (Lignotrend AG) - D

Industriell gefertigtes Holzbausystem. Holzblocktafelemente für Wand und Dach aus mehrlagig, kreuzweise verklebten Nadelholzbrettern; Deckenelemente als Block- oder Rippenplatte.

Lignotrend ist ein aus einzelnen Flächenelementen zusammengesetztes bauaufsichtlich zugelassenes Holzbausystem für Wand, Decke und Dach.

Die Wandelemente bestehen aus 3, 4, 5 außen faserparallel und mittig kreuzweise dazu auf Abstand verklebten Brettlagen. Die Standardelementlänge beträgt 2,5 m und 3,0 m. Sonderlängen sind möglich (durch Universal-Keilzinkenverbindungen bis zu 18 m).

Die Holzblocktafeln sind sehr formstabil und weisen eine hohe Steifigkeit in der Wand- und Scheibenebene auf.

Die Elektroinstallation kann direkt in den Hohlräumen verlegt und geführt werden. Lignotrend lässt sich mit anderen Systemen bzw. Bauweisen kombinieren.

#### Raster, Modul

Aufgrund des kleinen Produktionsrasters von 12,5 cm erlaubt das System individuelle Grundriss- und Fassadenentwürfe. Das Produktionsraster ist für den Entwurf nicht bindend. Die handelsüblichen, standardisierten Ausbauelemente wie Türen, Fenster können problemlos eingeplant werden.

#### Tragwerk

Alle bauaufsichtlich zugelassenen LIGNOTREND Elemente dürfen als tragende und aussteifende Bauteile zur Aufnahme und Weiterleitung von Lasten rechtwinklig und in Plattenebene beansprucht werden. Die Lastabtragung der Dach- und Deckenplatten erfolgt im wesentlichen einachsig



Abb. 3.17 Lignotrend [20]

#### - **Ligu** (Holz-Lamellenwand GmbH) - D

Massivholzbretter werden zu Wandelementen mit kastenförmiger Tragstruktur und Hohlräumen verklebt. Gute Wärmedämmeigenschaften bei gleichzeitig hoher Festigkeit.

#### - **LenoTec-Massivbau** (MERK-Dickholz GmbH) - D

Symmetrisch aufgebautes großformatiges Brettsperrholz aus kreuzweise verklebten, keilgezinkten Brettlagen. Auch gekrümmte Bauteile sind möglich.

LenoTec (MERK-Dickholz) ist ein symmetrisch aufgebautes bauaufsichtlich zugelassenes Brettsperrholz, das aus kreuzweise miteinander verklebten, keilgezinkten 17 oder 27 mm dicken Brettlagen aus Nadelholz hergestellt wird. Aufgrund der Absperrwirkung ist LenoTec sehr formstabil. Die LenoTec- Elemente werden objektbezogen bis zu einer maximalen Breite von 4,80 m und einer Länge von maximal 20 m gefertigt. Durch die großen Elementabmessungen ist es möglich, Gebäude mit durchlaufenden Außenwänden bis zu 4 Geschossen zu errichten. LenoTec ist mit anderen Systemen bzw. Bauweisen kombinierbar.

#### Raster, Modul

Das System unterliegt keinen Einschränkungen eines Moduls oder Rasters.



**Tragwerk**

Unter Beachtung der Haupt- und Nebentragrichtung kann eine zweiachsige Beanspruchung angesetzt werden. Auch punktgestützte Platten sind machbar. Als Flächenelement kann eine Scheibenwirkung angenommen werden. Zur Übertragung der Schubkräfte können aufgesetzte Kerto-Q-Streifen, Überfaltungen oder eingetutete Kerto-Q-Federn ausgeführt werden. Die üblichen mechanischen Verbindungsmittel können unter Beachtung der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung von LenoTec eingesetzt werden.



Abb. 3.18 LenoTec [20]

**- MERK Rippenplatte** (MERK-HOLZBAU GmbH & Co. KG) – D

Tafelelemente aus BS-Holz oder Vollholzrippen mit aufgeklebter Beplankung aus Furnierschichtholz Kerto Q oder anderen Holzwerkstoffen; als Rippenplatte oder Stegplatte; durch Verbund hohe Tragfähigkeit.

**- Optiholz** (Logus Systembau AG) - CH

Massivholzelement aus gedübelten Brettlamellen; Lamellen keilgezinkt. Modulare Fertigung der Grundelemente. Holz-Beton-Verbund möglich; Akustikprofile.

**- Pius Schuler** (Pius Schuler AG) - CH

Blockholzplatten aus stehend verklebten Lamellen. Ein- oder Mehrschichtplatten aus NH.

Auch zu Rippenelementen kombiniert.

**- PHM-ProfilHolzMassivelemente** (Bau Barth Holzbau) – D

Wand-, Decken und Dachelemente aus Massivholzelementen. Die Verbindung erfolgt mit einer konisch verlaufenden Schwalbenschwanzverbindung; da keine durchgehenden Fugen winddicht.

**- Schaffitzel-SHD** (Schaffitzel Holzindustrie GmbH) - D

Industriell vorgefertigtes selbsttragendes Wandelement aus BS-Holz, C-Holzprofil mit eingelegter Dämmung und variabler Außenverkleidung. Modularer Aufbau.

**- Steko** (Steko Deutschland GmbH) - D

Baukastensystem aus standardisierten, industriell gefertigten Modulen aus Massivholz; kreuzweise verklebt. Unterschiedliche Oberflächenqualitäten.

**- System Haas** (Haas Fertigbau GmbH) - D

BS-Holzelemente als Flächenelemente mit hochkant gestellten, verklebten Bretter und Bohlen.

Das System besteht aus flächenbildenden, formstabilen, tragenden Elementen aus stehenden, miteinander verklebten Lamellen.

Die Stöße der Elemente erfolgen mit Nut- und Feder, Fremdfedern oder mit oberseitigen Streifen aus HWS-Platten. Alle Elemente werden kommissionsweise gefertigt.

**Raster, Modul**

Das System ist an kein Raster gebunden. Die Produktionsbreite der Elemente beträgt i.d.R. 600 mm. Für beliebige Breiten werden zusätzliche schmale Ausgleichselemente erforderlich.

**Tragwerk**

Die Ausbildung der Decken- und Dachscheiben erfolgt durch kraftschlüssige Übertragung

der schubsteifen Elemente über die Fugen.

Die üblichen mechanischen Verbindungsmittel können unter Beachtung der Normen bzw. Zulassungen eingesetzt werden. Das Schwingungsverhalten ist in jedem Fall zu prüfen, da diese Deckensysteme schwingungsanfälliger sind als normale Holzbalkendecken.



Abb. 3.19 System Haas [20]

**- Wiwa** (WIWA GmbH Holz & Plattenvertrieb) - D

Mehrlagig geklebtes Holztafelement aus genuteten Brettlamellen.

Diffusionsoffener Wandaufbau. Hohe zulässige Horizontalbelastung möglich.

### 3.2.3. raumbildende Systeme

#### - **Bekolog modul office** (BEKO Holzbau GmbH) - D

Raummodule mit hochgedämmten, diffusionsoffenen Wänden.  
Horizontal und vertikal addierbar. Transportabel.

#### - **Blue Box** (M. Loebermann) - D

tragenden Elementen werden auf der Baustelle gereiht oder gestapelt; Holzrahmenskelett. Temporäre Nutzung möglich.

Alle Teilelemente sind so vorgefertigt, daß sie den normalen Transportstandards entsprechen. Die wärmegeämmten Dach, Boden- und Wandtafeln sind in Holzrahmenbauweise konstruiert. Alle Dach- und Wandelemente sind mit einer hinterlüfteten Außenschale aus lackierten Dreischichtplatten versehen.

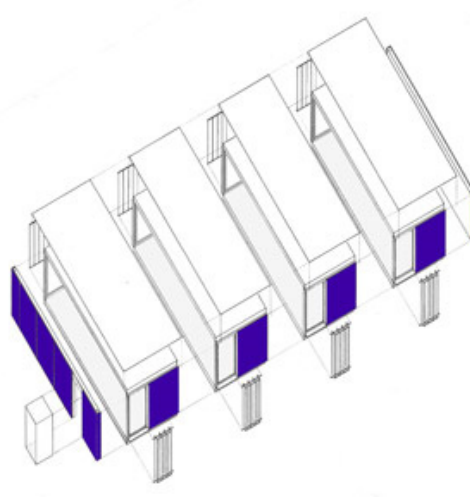


Abb. 3.20 Blue Box [27]

#### - **boxxin** (ERNE modul technologie) - CH

Transportable 3-D Zellenbau im Baukastenprinzip. „High-tech“ Produkt, welches nach ökologischen Grundsätzen ein energieeffizientes Bauen nach dem Minergie- bzw. Passivhausstandard ermöglicht.

#### - **CS-Raumzellen** (C / S Raumcenter) - D

Bestehen aus tragenden Elementen; werden auf der Baustelle gereiht oder gestapelt; Holzrahmenskelett. Temporäre Nutzung möglich

#### - **SU-SI (FRED)** (KFN Kaufmann Product GmbH) - A

SU-SI Mobile, komplett vorgefertigte Gebäudeeinheit mit 30 - 50 m<sup>2</sup> Nutzfläche  
(FRED Mobile, komplett vorgefertigte Gebäudeeinheit mit 3 x 4 m Grundfläche ausziehbar auf 18 m<sup>2</sup>)



Alle konstruktiven Elemente, wie Außenwände, Decke und Boden bestehen aus tragenden, in Fichte gefertigten Holzbauteilen.

Die Qualität der thermischen Gebäudehülle mit Holzfaserdämmstoffen bzw. Zellulosedämmung gefüllt, entspricht der eines Niedrigenergiehauses.

Die Gebäudeeinheit wird schlüsselfertig auf dem Sattelschlepper angeliefert und mittels Mobilkran auf die vor Ort vorbereiteten Fundamente (Holzpfähle oder Betonfundamente) gesetzt.



Abb. 3.21 SU-SI [28]

**- Living Structure, Living Box** (Architeam) - CH  
Raumzellen

**- Modular-T** (Bauart Architekten) - CH  
Transportable Raumzellen aus bauökologisch hochwertigen Materialien hergestellt.  
Stützenfrei Räume bis 12 m Breite möglich. Stapelbar bis zu 4 Geschossen.  
Geeignet für Büros, Schulen, Hotels, Wohnungen, Spitalzimmer, Labors.

### 3.3. Vorfertigung

Die modernen Holzbauweisen zeichnen sich heute durch einen hohen industriellen Vorfertigungsgrad aus. Rationalität und Präzision bestimmen den Herstellungsprozess. Die modernen Vorfertigungsmethoden im Holzbau sind bestimmt durch optimierte Fertigungsabläufe unter Einsatz von mehr oder weniger automatisierten maschinellen Arbeitsschritten. Die standardisierten Abläufe in einer immer gleichen Arbeitsatmosphäre einer trockenen Werkhalle ermöglichen einen kontrollierten und hohen Qualitätsstandard. Die unterschiedlichen Vorfertigungsstufen bestimmen den Fertigungsgrad, in dem ein Wand- oder Deckenelement die Werkstatt verlässt und auf der Baustelle montiert wird. Ausgehend von den lastabtragenden und statisch wirksamen Elementen (Balken, Platte) unterscheidet man unterschiedliche Fertigungsstufen: vom Abbund einzelner Elemente über die Herstellung von ungedämmten Tafелеlementen bis hin zu fix fertigen Wand-, Decken- und Dachelementen die sowohl sämtliche Bauteilschichten wie auch die Fenster enthalten. Raumzellen sind im Werk gefügte Module aus Boden- und Wandelemente mit einem sehr hohen Vorfertigungsgrad die als einbaufertiges Element auf die Baustelle transportiert werden.

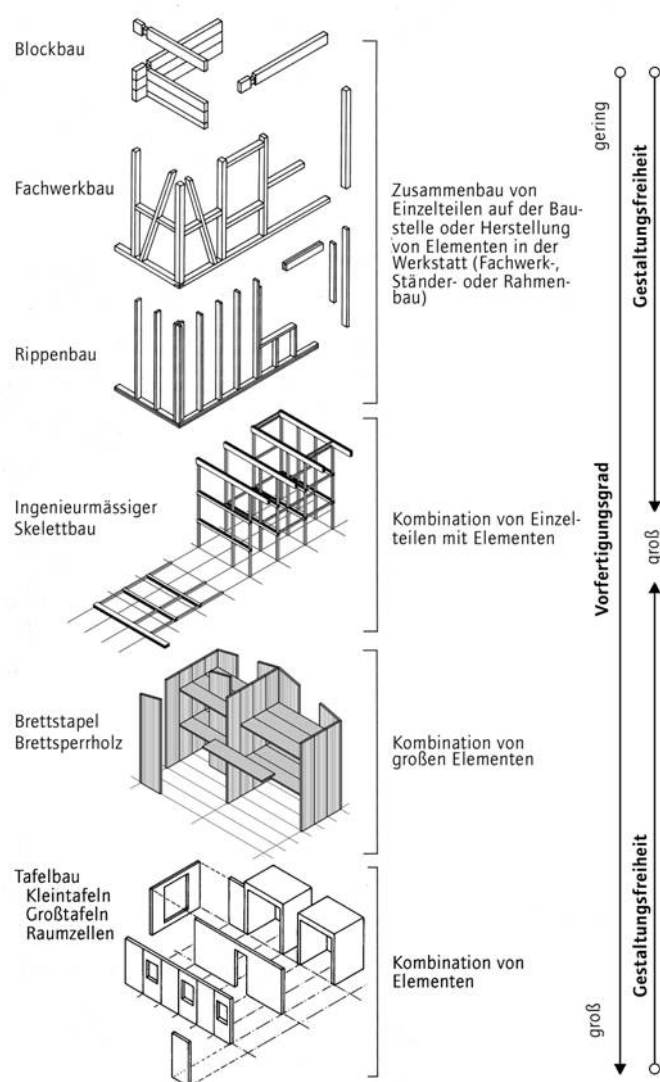


Abb. 3.22 Überblick der Holzbauweisen hinsichtlich dem Vorfertigungsgrad [29]

Die Wahl der jeweiligen Methode ist abhängig von der Bauaufgabe und den technischen Möglichkeiten. Je weiter ein Bauteil bearbeitet ist, desto wichtiger ist der Schutz bei Transport und Montage gegen Witterungseinflüsse und Transportschäden.

### **Vorteile der Vorfertigung**

- hohe Qualität der Arbeiten, da diese unter guten Bedingungen erfolgen
- Kostenoptimierung
- weniger Abfall, da Anpassarbeiten weitgehend entfallen
- entstehender Abfall im Vorfertigungswerk kann wiederverwendet werden
- Reduktion der Montagekosten vor Ort
- keine Baufeuchtigkeit bei der Montage

### **Wege der Rationalisierung**

- Wiederholung: Die Wiederholung von Elementen setzt ihre Verwendbarkeit für Bauten in unterschiedlicher Größe, Zweckbestimmung und Lage voraus. Eine Serienfertigung ist möglich, wenn Elemente eine bestimmte Form haben (Typisierung).
- Arbeitsteilung: Der Bauvorgang wird in überschaubare Einzeltätigkeiten zerlegt. im Vergleich zum Handwerk ist hierbei eine straffe Betriebsorganisation erforderlich.
- Ablauforganisation: Eine exakte Organisation der Planungs-, Fertigungs- und Montageabläufe erbringt hohe Produktivität auf Kosten von Flexibilität.
- Spezialisierung: Die arbeitsteilige Organisation erfordert Spezialisten.
- Mechanisierung: Der verstärkte Einsatz von Maschinen erbringt eine enorme Produktivitätssteigerung: Ein Nachteil sind die höheren Fixkosten (Maschinen) bei schlechter Baukonjunktur.

### **Fertigungsarten**

Ein zu berücksichtigender Kostenfaktor ist der Fertigungsort, seine Entfernung vom Bauplatz und der Vorfertigungsgrad. Im Holzbau existieren neben den Extremfällen, reine Baustellenfertigung und Fabrikfertigung von Raumzellen, viele Zwischenformen.

#### **- Baustellenfertigung**

Als wichtigstes Beispiel ist die „two- by- four“- Bauweise zu nennen, die vor allem in Nordamerika im großen Umfang praktiziert wird. Mit einfachster Geräteausstattung werden auf der Baustelle die Rippen abgelängt und mit der Platte mechanisch zu Holztafeln verbunden. Für Skelett und Massivbau wird diese Art der Herstellung, aufgrund der notwendigen komplexen Bearbeitung (Zapfen, ...), eher selten verwendet.

#### **- Rationalisierte handwerkliche Vorfertigung („pre-cut“)**

Die vorgefertigten Einzelteile (Rippen, Platten, ...) werden erst auf der Baustelle zu ganzen Bauteilen zusammengefügt. Durch computergesteuerte Fräs- und Abbundmaschinen wird ein Wiederaufgreifen von früheren zimmermannsmäßigen Holzverbindungen, die grundsätzlich ohne Stahlteile auskamen, möglich. Ihre präzise Herstellung erleichtert die Montage.

### -Teilvorfertigung

Im Werk oder in einer Feldfabrik wird ein „Grundgerüst“ der Tafeln angefertigt und auf der Baustelle mit den fehlenden Schichten ergänzt (Dämmung, Innenverkleidung, ...)

### - Komplette Vorfertigung

Die Elemente, im Werk oder in einer Feldfabrik vorgefertigt, besitzen bereits alle Schichten sowie vormontierte Installationen.

Bei der Abwägung zwischen der prinzipiell teureren Baustellenfertigung und der im Werk vorgefertigten Elemente dürfen die zusätzlichen Kosten, die bei einer Werksvorfertigung entstehen (Transport, schwere Hebefahrzeuge, Zwischenlagerung, komplizierte Fugenausbildung), und die eventuelle Beschädigung der Elemente beim Transport nicht vergessen werden.

Um die jeweiligen Vorteile ausnützen zu können, muss es zu optimierten Zwischenlösungen kommen.

## Montage

Die wesentlichen Einflussfaktoren auf die Wahl der Montageprozesse sind die Größe der von der Werkstatt auf die Baustelle transportierten Elemente, die Größe der auf der Baustelle versetzten Elemente, deren Montagereihenfolge und die Gesamtstabilität während der Montage.

Mögliche Montageabläufe bei Geschossbauten aus Scheiben, Platten, Fachwerk- und Skelettkonstruktionen:

### feldweise Einzelmontage

vorgefertigte Stützen und Träger, Wind- und Aussteifungsverbände, Decken- und Wandelemente

- + flexibel bei komplizierten Tragstrukturen. geringes Transportvolumen, geringer Platzbedarf auf der Baustelle
- hoher Aufwand für das provisorische Abstützen. größerer Zeit- und Personalaufwand

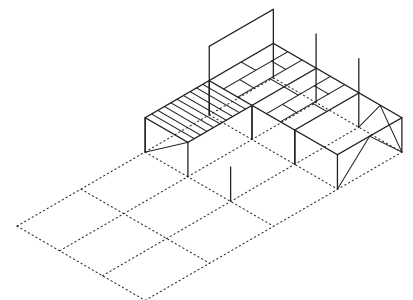


Abb. 3.23    *Feldweise  
Einzelmontage [30]*

geschossweise Einzelmontage

vorgefertigte Fachwerk- oder Skelettelemente mit Wind und Aussteifungsverbänden;  
vorgefertigte Decken- und Wandelemente

- + höherer Vorfertigungsgrad. Zeitersparnis durch Vormontage vor allem bei aufwendigen, aber regelmäßigen Verbindungen
- größeres Transportvolumen, mittlerer Platzbedarf auf der Baustelle (Lagerung, Handling), Montagelastfälle sind zu beachten.

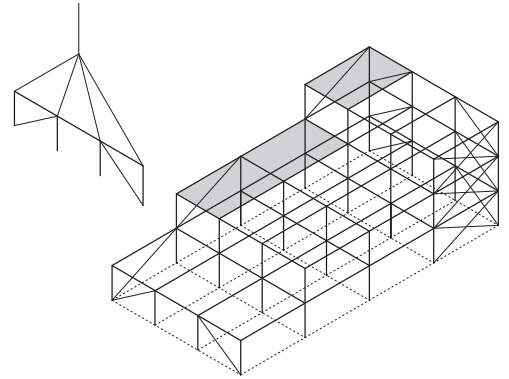


Abb. 3.24      Geschossweise  
Einzelmontage [30]

feldweise mehrgeschossige Einzelmontage

vorgefertigte Fachwerk- oder Skelettelemente mit Wind und Aussteifungsverbänden;  
vorgefertigte Platten und Scheiben

- + höherer Vorfertigungsgrad. Zeitersparnis durch Vormontage vor allem bei aufwendigen, aber regelmäßigen Verbindungen.
- großes Transportvolumen, großer Platzbedarf auf der Baustelle (Lagerung, Handling), Montagelastfälle sind zu beachten.

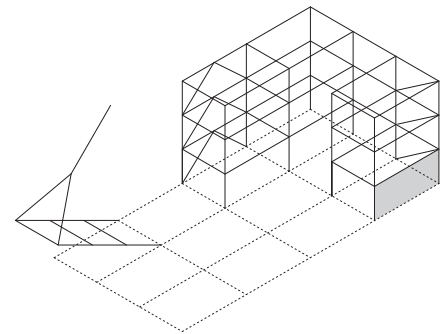


Abb. 3.25      Feldweise mehrgeschossige  
Einzelmontage [30]

mehrgeschossige Gesamtmontage

vorgefertigte Fachwerkelemente mit Wind und Aussteifungsverbänden;  
vorgefertigte Geschosstafelemente;  
vorgefertigte Massivholzelemente

- + schnelle Montage
- Binder müssen auf der Baustelle montiert werden, da sie nicht vormontiert transportiert werden können. Das erfordert eine ausreichend große ebene Fläche und schweres Hebezeug ist erforderlich

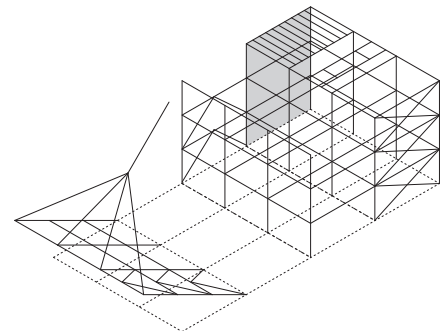


Abb. 3.26      Mehrgeschossige  
Gesamtmontage [30]

## 4. Typologie von Holzverbindungen

### 4.1. Einleitung

Im Holzbau sind die Verbindungsmittel oft für Konzeption und Detailausbildung maßgebend. Von der richtigen Wahl der Verbindungsmittel hängen die Qualität, die Dauerhaftigkeit und die Wirtschaftlichkeit der Holzkonstruktionen entscheidend ab.

Für die Wahl der Verbindungsmittel ist einmal wichtig, an welcher Stelle im Tragwerk sie eingesetzt werden sollen, zum anderen die Eigenschaften des Verbindungselements selbst. Die Eigenschaften von Verbindungselementen und ihr Zusammenwirken sind im Wesentlichen gekennzeichnet durch:

- maximal übertragbare Kraft
- Last-Verformungsdiagramme (spezifisch für die verschiedenen Verbindungen)
- Verschiebungsmodul C (in Abhängigkeit von Arbeitsgenauigkeit, Dimensionen, Holzeigenschaften)
- Holzbedarf in Funktion der Effektivität der Verbindung (übertragbare Kraft/ Fläche)

Werkstücke können grundsätzlich auf drei unterschiedliche Arten miteinander verbunden werden:

- stoffschlüssig: z.B. geklebt oder geleimt
- kraftschlüssig: z.B. geschraubt, genagelt oder verkeilt
- formschlüssig: z.B. geschlitzt, gedübelt oder gezinkt

### Konstruktionsregeln

Grundsätzlich sollte man im Holzbau versuchen, Druckkräfte über Kontakt abzutragen. Die Übertragung von Zugkräften erfordert eine Überlappung der Bauteile. Diese kann auch durch zusätzliche Bauteile erfolgen, allerdings muss in diesem Fall die zu übertragende Kraft zweimal angeschlossen werden, um Exzentrizitäten zu vermeiden. Das bedeutet, dass sich die Wirkungslinien der angreifenden Kräfte (in der Regel die Stabachsen) in einem Punkt schneiden sollten. Wenn dies nicht der Fall ist, können teilweise beträchtliche Zusatzspannungen entstehen. Die Verbindungsmittel sollten so angeordnet werden, dass ihr Schwerpunkt ebenfalls mit der Stabachse zusammenfällt.

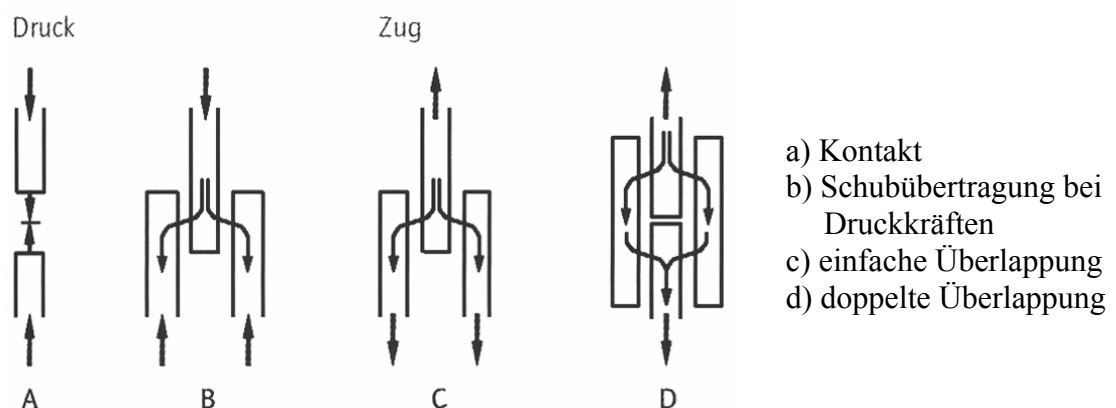


Abb. 4.1 Prinzipien der Kraftübertragung [25]

Holzverbindungen lassen sich generell in 2 große Gruppen teilen:

- Zimmermannsverbindungen
- Ingenieurmäßige Holzverbindungen

Zu den Zimmermannsverbindungen zählen:

- Längsverbindungen
- Querverbindungen
- Eckverbindungen
- Schrägverbindungen
- Auf- und Anverbindungen
- Sparrenverbindungen
- Blockverbindungen

Zu den ingenieurmäßigen Holzverbindungen:

- Stabdübel, Passbolzen, Bolzen (stabförmig)
- Dübel besonderer Bauart
- Nagelverbindungen
- Nagelblechbauweise
- Genagelte Stahlplatten mit Gelenkbolzen
- Loch- und Winkelbleche
- Klebeverbindungen

#### Wirkungsweise

Entsprechend der Wirkungsweise von Holzverbindungen kann man zwischen flächenhaft wirkenden Verbindungsmitteln, z.B. Leim oder Einpressdübel, bei denen die Lasteinleitung an der Oberfläche erfolgt und Verbindungsmitteln mit Tiefenwirkung (Nägel, Bolzen), bei denen die Lasten ins Innere des Bauteils eingetragen werden, unterscheiden.

Die Verbindungsmittel unterscheiden sich entsprechend der Art der Lasteinleitung bezüglich des Last- Verformungsverhaltens und bezüglich des Bruchbildes. Flächenhaft wirkende Verbindungsmittel sind meist sehr steif und der Bruch erfolgt durch Versagen des Holzes (Abscheren oder Zugbruch im geschwächten Querschnitt).

Bei den stabförmigen Verbindungsmitteln mit Tiefenwirkung erfolgt die Lasteinleitung durch Kontaktpressung im Loch, die Kraftweiterleitung durch Schub- und Zugkräfte im Holz. Steifigkeit und Bruchverhalten derartiger Verbindungen werden durch das Verhältnis von Biegesteifigkeit des Verbindungsmittels zur Geometrie des Holzes bestimmt.

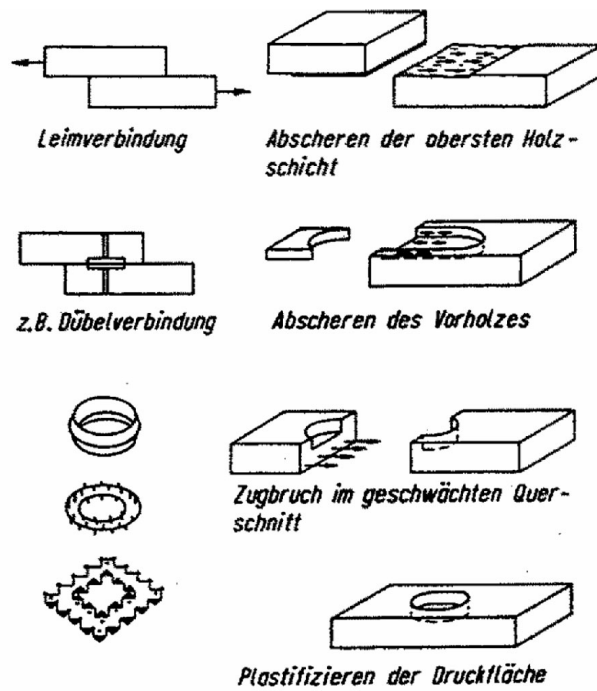


Abb. 4.2 Wirkungsweise von Verbindungsmitteln mit Flächenwirkung [25]

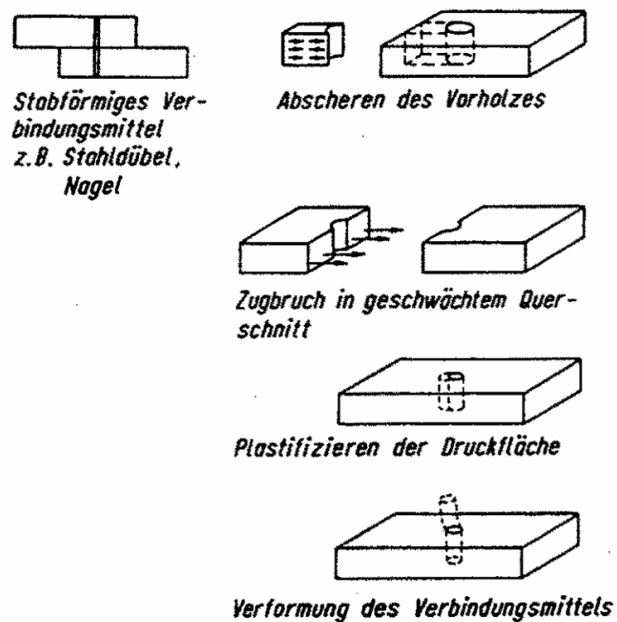


Abb. 4.3 Wirkungsweise von Verbindungsmitteln mit Tiefenwirkung [25]



## 4.2. zimmermannsmäßige Holzverbindungen

Zimmermannsmäßig hergestellte Holzverbindungen (z.B. Verblattungen, Zapfen, Versätze, Kamm, Klaue...) sind heute maschinell schnell und genau herzustellen. Die Kraftübertragung erfolgt meist über Kontaktstöße, die hohe Genauigkeit verlangen.

Ihre Anwendung finden sie im Holzskelettbau, Fachwerkbau sowie bei Rekonstruktionen historischer Bauwerke.

Vorteile dieser Holzverbindung sind die bewährte überlieferte Technik, der geringe Stahleinsatz und dass sie mit einfachen Werkzeugen herstellbar sind.

Nachteile sind der hohe Schwächungsgrad der Holzer und das Auftreten von unklaren Spannungsverhältnissen.

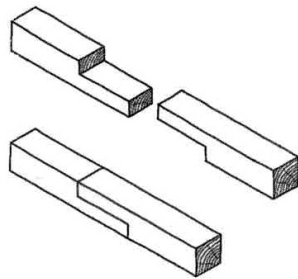


Abb. 4.4 Blattverbindung [25]

entwickelt, nachdem die Blätter in den Wandgefügen unüblich wurden. Bei den zahlreichen Blattvarianten sind deutlich ausgeprägt: gerade Blätter, zweiseitige, hakenförmige Brustblätter, schräge Blätter und schräge Hakenblätter mit Brüstungszapfen und Keilen.

### Blattverbindungen

Blattverbindungen leiten sich aus einfachsten Anblattungen zur Lagesicherung sich kreuzender Rundhölzer ab. Der erste deutliche Entwicklungsschritt war der Einschnitt einer Blattsasse. Die Einschnitte wurden dann vertieft bis auf die halbe Holzstärke des anzublattenden Holzes und schließlich profiliert, um auch Zugkräfte übertragen zu können.

Längsblätter:

Längsblätter – aber auch Eckblätter – z.B. für Pfetten und Balkenlagen haben sich erst richtig

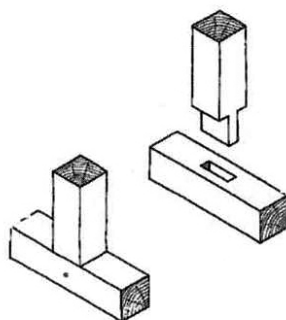


Abb. 4.5 Zapfenverbindung [25]

### Zapfenverbindungen

Bei den Zapfenverbindungen sind zwei Entwicklungslinien festzustellen, die Einspitzung und das Einsatzloch. Die Einspitzung ist wahrscheinlich der früheste Vorläufer von Zapfen. Aus der einfachen Einspitzung ist dabei ohne größere Sprünge der Zapfen geworden. Bei den runden oder quadratischen Einsatzlöchern ist eine Markierung durch das Absetzen gegeben. Am Ende der Entwicklung stand dann eine Vielzahl von Zapfenarten wie der heute übliche Zapfen mit  $\frac{1}{3}$  Holzbreite, abgesetzte Zapfen (Quadratzapfen), Kreuzzapfen und Zapfenschlösser.

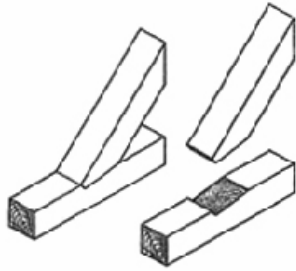


Abb. 4.6 Versatz [25]

Versätze

Für Druckanschlüsse ist der Versatz auch heute noch die meist verwendete, da sie ohne hohen Stahlaufwand auskommt.

Man unterscheidet Stirn-, Fersen- und doppelten Versatz (Stirn- und Fersenversatz). Mit Holzsattelstücken können relativ hohe Kräfte übertragen werden.

Um höhere Kräfte zu übertragen muss der Holzquerschnitt voll ausgenutzt werden. Um dies zu erreichen kommen Kontaktstöße zur Verwendung. Sie bestehen aus höherwertigen Materialien (Hartholz, Stahl...). Die Querschnitte von Druckstäben können nur voll eingesetzt werden, wenn die Kontaktflächen normal zur Faser liegt, andernfalls müssen die Druckkräfte stark abgemindert werden.



Abb. 4.7 CNC gefertigte Holzverbindung [25]

CNC gefertigte Holzverbindungen

Die CNC- Fertigung zeigt neuartige Produktionstechniken, die eine unproblematische Herstellung ermöglichen. Der größte Vorteil einer CNC-Verbindung ist das einfache Einhängen eines Nebenträgers, was einen kostengünstigen Einbau durch schnelle Montage zur Folge hat. Der Einsatz computergesteuerter Abundmaschinen ermöglicht darüber hinaus eine exakte und kostengünstige Fertigung einer derartigen Zapfenverbindung.

### 4.3. flexible Verbindungsmittel, Seile und Stricke

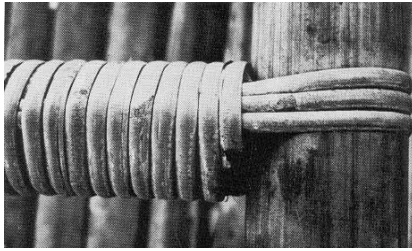


Abb. 4.8 *Flexible  
Verbindungsmittel [32]*

Flexible Verbindungsmittel wie Seile und Stricke finden im asiatischen Gerüstbau heute noch Verwendung. Mit Bambus lassen sich aufgrund des günstigen Verhältnisses von Tragfähigkeit zu Eigengewicht sichere Gerüste sogar für extreme Hochhäuser errichten. Die Stangen werden auch an den Knotenpunkten unbearbeitet verwendet. Die Verbindung selbst wird durch Seilbund hergestellt.

Die Stricke und Seile werden aus Bambusrinde, Bast- oder Kokos- und Sagopalmfasern gefertigt, oder es kommen synthetische Schnüre zum Einsatz.

#### 4.4. ingenieurmäßige Holzverbindungen

##### 4.4.1. stabförmige Verbindungsmittel

###### Nägeln

Rillennägeln bzw. Schraubnägeln bieten einen hohen Auszieh Widerstand und werden somit zum zuverlässigen Verbindungsmittel für tragende Bauteile. Die Entwicklung von Pressluftnaglern und von Bohrmaschinen für vorgebohrte Nagelungen machten die Nägel auch für größere Anschlüsse mit hoher Nagelzahl wirtschaftlich.

###### Schrauben

Schrauben sind gegenüber Nägeln auf Herausziehen höher beanspruchbar und bieten nebenbei ein schöneres Kopfbild.

###### Stabdübel

Stabdübel sind glatte, zylindrische Verbindungsmittel (aus Hartholz, Kunstharz-Vollholz, Stahl oder Edelstahl) mit einem Durchmesser von mindestens 8 mm und höchstens 30 mm. Stabdübel werden in vorgebohrte Löcher eingetrieben und ermöglichen hohe Anschlusswerte und Steifigkeiten da kein Lochspiel infolge Schwindens bzw. zu großem Vorbohrdurchmesser entsteht.



Abb. 4.9 Selbstbohrender Stabdübel [33]

###### Selbstbohrende Stabdübel

Die herkömmlichen Stahl-Holz-Verbindungen weisen zwei Nachteile auf: Die Herstellung ist recht aufwendig, weil die Stahllaschen und die Holzteile getrennt vorgebohrt werden müssen und die Herstellungstoleranzen bei der Vorbohrung beeinträchtigen das Tragverhalten der Verbindungen.

Mit der Verwendung von selbstbohrenden Stabdübeln können diese beiden Nachteile ausgeschaltet werden. Dabei ist die Bohrspitze der Verbinder so konzipiert, dass das Holz und die Stahllaschen in einem einzigen Arbeitsgang durchbohrt werden können. Die Stabdübel sind selbstbohrend, das heißt, sie werden ohne Vorbohrung in das Holz und durch die Stahlplatten (höchstens 3) getrieben. Damit ist die Herstellung von mehrschnittigen Stahl-Holz-Verbindungen mit einer hohen Passgenauigkeit möglich. Das Verbindungssystem kann sowohl in Tragkonstruktionen aus Brettschichtholz (BSH) als auch in solchen aus Konstruktionsvollholz (KVH) eingesetzt werden kann.



Abb. 4.10 Passbolzen [25]

###### Passbolzen

Passbolzen sind auch Stabdübel, allerdings mit Mutter und Kopf oder mit Mutter und Mutter. Die Bohrlöcher für Passbolzen sind genauso auszuführen wie bei Stabdübeln. Passbolzen dienen zur konstruktiven Lagesicherung, demnach bei sehr geringen Lastübertragungen (bei untergeordneten bzw. temporären Bauten).

### Bolzen

Bolzen sind in ihrer Bauart mit Kopf und Mutter versehen. Zu den Bolzen gehören Schraubenbolzen und Bolzen ähnlicher Bauart. Bolzen werden in Bolzenlöcher eingebaut. Die Bolzenlöcher müssen in jedem Fall gut passend gebohrt werden, so dass einerseits des Bolzenschaftes und der Bohrlochlaibung ein Spiel von 1 mm nicht überschritten wird.

Löcher für Schraubenbolzen (z.B. bei Stößen und Stabanschlüssen) dürfen erst nach dem Zusammenfügen der Tragwerkteile gebohrt werden.

### **4.4.2. Dübel**

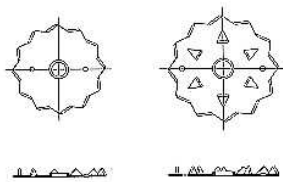


Abb. 4.11 Einpressdübel [25]

#### Einlassdübel

Diese Dübel werden in kreisrunde Fräsungen eingelassen.

#### Einpressdübel

Der Einpressdübel presst sich beim Anziehen des Sicherungsbolzens ins Holz. Alle Dübel sind durch Bolzen zu sichern.

### **4.4.3. Bleche**

Wenn mindestens 2 mm dicke Bleche in eingesägte Schlitzte eingelegt und ohne Vorbohren durchgenagelt werden, entstehen wirtschaftliche, mehrschnittige Anschlüsse. Gleichzeitiges Vorbohren der Nagellöcher in Holz- und Blechteilen verringert allerdings die Spaltgefahr des Holzbauteils. Eine besondere Sorgfalt bei der Ausführung ist erforderlich, da eine hohe Passgenauigkeit der Schlitzte, vor allem im Bereich der Anschlussfuge unerlässlich ist.

### **4.4.4. Nagelplatten**

Gestanzte Nagelbleche, die von Maschinen aufgepresst werden, ermöglichen die industrielle Herstellung von Nagelplattenbindern. Der Arbeitsaufwand gegenüber herkömmlichen Nagelbauweisen ist dabei erheblich reduziert.

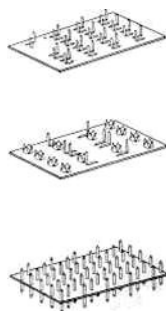


Abb. 4.12 Nagelplatten [25]

Die Nagelplatten bestehen aus 1 bis 2 mm dickem Stahlblech, die Ausstanzungen werden in die Holzoberfläche gepresst.

Sie sind wirtschaftlicher als die Nagelbleche und erlauben das Ausbilden von zug- und druckfesten Anschlüssen. Aufgrund der vielen Zinken ist die zu übertragende Kraft bezogen auf die Anschlussfläche größer als bei gewöhnlichen Nagelblechen.

Sie sind wirtschaftlicher als die Nagelbleche und erlauben das Ausbilden von zug- und druckfesten Anschlüssen. Aufgrund der vielen Zinken ist die zu übertragende Kraft bezogen auf die Anschlussfläche größer als bei gewöhnlichen Nagelblechen.

#### 4.4.5. Stahlplatten mit Gelenksbolzen

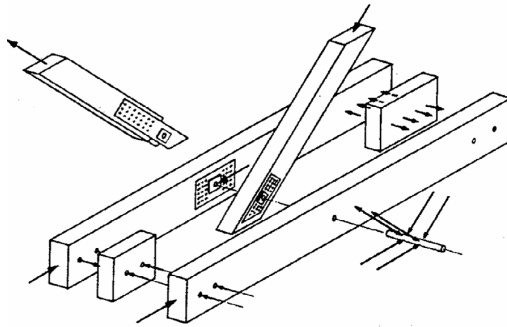


Abb. 4.13 Stahlplatten mit Gelenksbolzen [25]

Die Anwendung einer genagelten Stahlplatte mit Gelenksbolzen erfolgt für Fachwerke mit großen Belastungen ( $> 300 \text{ kN}$  zu übertragende Kraft). Bei diesen Belastungen empfehlen sich mehrteilige Gurte und Diagonalen, die mit 4-6 mm starken aufgenagelten Lochblechen im Bereich der Lasteintragung angeordnet werden und mit einem Gelenksbolzen mit 50-200 mm Durchmesser verbunden werden. Da sich die Kraftübertragung auf einen Punkt konzentriert, entstehen ideale Gelenke und somit keine ungewollten Einspannmomente.

#### 4.4.6. Loch- und Winkelbleche

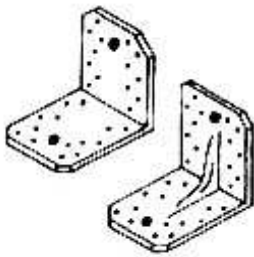


Abb. 4.14 Winkelblech [25]

Stabanschlüsse, Auflager und Lagesicherungen sind durch Stahlblech-Holznagelung in einfacher Weise herzustellen. Die Formteile und Lochbleche werden aus 2 bis 4 mm dicken, verzinkten oder galvanisierten Stahlblechen oder aus Edelstahl kaltgeformt und gelocht. Nagelung können mit Schraub- oder Rillennägeln, mit Pressluftnaglern oder von Hand ausgeführt werden.

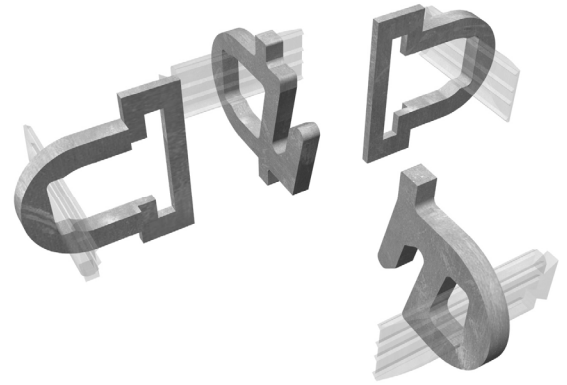
Hierzu zählen etwa Balkenschuhe, Sparrenpfettenanker, Balkenanschlüsse, Knaggen oder auch Stützenfußpunkte.

## 5. Analyse von Mechanismen & Prinzipien tragender Knotenverbindungen

### 5.1. General Panel System

Nach seiner Emigration in die USA entwickelte Konrad Wachsmann ab 1941 zusammen mit Walter Gropius in Lincoln, Massachusetts, für die gemeinsame Firma „General Panel Corporation“ ein System für Fertigbauhäuser, das unter dem Namen „Packaged House System“ bekannt wurde und als Nachkriegstraumhaus in die Geschichte einging.

Mit vorfabrizierten Bauelementen konnten fünf ungelernete Arbeiter in weniger als neun Stunden ein sofort beziehbares Haus einschließlich der Installationen errichten.



Es wurde nicht ein bestimmter Typ von Haus entworfen, sondern es kam darauf an, Fertigbauelemente zu entwickeln, welche ohne Vorkenntnisse eines Arbeiters auf der Baustelle durch einfaches Zusammenfügen zum Bau von beliebigen ein- und zweigeschossigen Häusern verwendet werden konnten.

Wachsmann entwickelte dazu einen universellen Standardknoten um die einzelnen Elemente unsichtbar zu fügen. Dieses Konstruktionssystem erlaubte die Montage gleicher Bauelemente in vertikaler und horizontaler Richtung.

#### Die Grundelemente

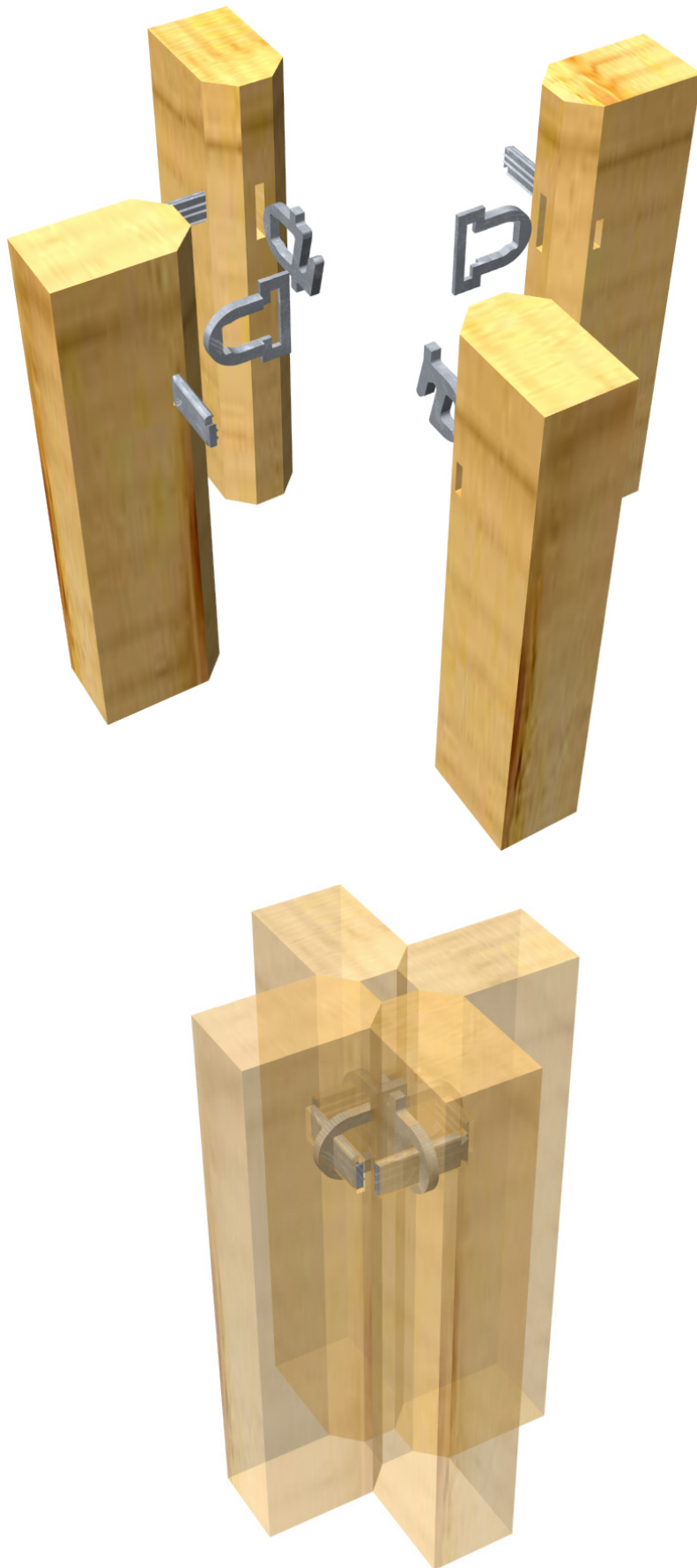
Grundelement des Verbindungssystems sind die vier stählernen Verbindungselemente, welche in die ausgefrästen Öffnungen der tragenden Holzquerschnitte eingefräst, mit einem stählernen Schieber rückverankert wurden.

Die tragenden Holzrahmen sind mit einer senkrechten Holzschalung verkleidet. Fenster, Türen, Glas, Beschläge und die mechanische Installation sind in den variablen Bauteilen inbegriffen.

#### Wirkungsweise

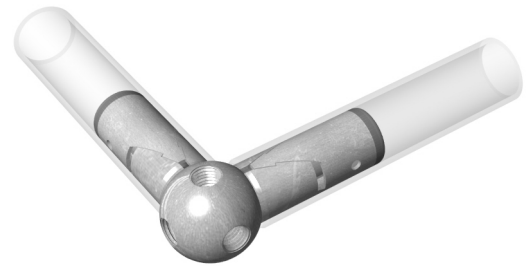
In die eine Achsrichtung sind die stählernen Verbindungselemente mit einer Öffnung versehen, die das Durchstecken beider Stahlelemente der anderen Achsrichtung gewährleistet.

Sind die Stahlelemente im Holz versenkt und rückverankert, ist es nun möglich, die vier Elemente miteinander zu verbinden. Hierfür muss man nur die Stahlelemente der einen Achsrichtung zusammenführen und die beiden hakenförmigen Stahlelemente der anderen Achsrichtung hindurchstecken, die sich untereinander auf Zug fixieren. Die schräg abgekanteten Kontaktflächen der Holzquerschnitte werden durch die auf Zug gehaltenen Verbindungselemente gegeneinander gepresst, was der Aussteifung des Gesamtsystems zugutekommt.





## 5.2. USM- Haller Möbelbausystem



Der Ursprung des USM Haller-Systems liegt in der Architektur begründet. Paul Schärer, der damalige Juniorchef von USM begann 1960 damit, den noch weitgehend handwerklich orientierten Beschläge- und Metallbaubetrieb in ein modernes Industrieunternehmen umzuwandeln. Für den Bau neuer und flexibel nutzbarer Betriebsanlagen beauftragte er den Architekten Fritz Haller, der anhand dieser Bauaufgabe sein Stahlbausystem „Maxi“ entwickelte. Davon leitete man 1963/64 das Möbelprogramm „USM Haller“ ab, das aufgrund des großen internationalen Interesses ab 1969 seriell produziert wurde. Der gelernte Hochbauzeichner Fritz Haller sammelte wichtige Erfahrungen im Holland der Nachkriegszeit und führte bis 1962 sein eigenes Architekturbüro in der Schweiz. In den sechziger Jahren hatte er verschiedene Professuren inne, unter anderem an der University of Southern California bei Konrad Wachsmann, dem wegweisenden Professor für Systemarchitektur. Haller pflegte keine individuelle künstlerische Gestaltung, sondern konzentrierte sich auf die kontinuierliche Systematisierung industriell hergestellter Raum- und Konstruktionsordnungen. Das USM- Haller Möbelbausystem ist ein Baukasten, bestehend aus Traggerüsten, Verkleidungen, Einbauten und Zubehör.

### Die Grundelemente

#### Knoten, Rohr, Tablar

Die Grundelemente lassen sich in zwei Gruppen unterteilen. Die erste Gruppe besteht aus Elementen mit der Funktion, die tragende Konstruktion herzustellen. Diese Elemente bestimmen die formale Struktur und den ästhetischen Grundgehalt des Entwurfs. Der Verbindungsknoten ist das zentrale Element für die Konstruktion. Die verchromte Messingkugel hat einen Durchmesser von 25 mm und ist gleichmäßig an sechs Seiten geöffnet. Dies ermöglicht Anschlüsse in drei Dimensionen und zwar in beide Richtungen. Die sechs Bohrungen geben ein rechtwinkliges System vor, das immer zum Kubus führt.

An diesem Herzstück werden dünne Stahlrohre (wie der Verbindungsknoten glanzverchromt) angeschlossen. Diese haben alle den Außendurchmesser 19 mm (Wandstärke 1,2 mm). Die Systemrohre gibt es in 11 verschiedenen Modullängen von 100 bis 750 mm.

Durch die Verbindung dieser Teile mittels Inbusschraube (mit Connector Kit) entsteht ein druck- und zugfestes Gerüst.

### Wirkungsweise

Die lösbaren Rohrverbindungen weisen je einen kugelförmigen Verbindungskopf auf, der zwischen den zu verbindenden Enden der Rohre angeordnet und mit je einer Gewindebohrung zu jedem solcher Rohrenden versehen ist, welche in dessen Achsrichtung durch den Kopf verläuft. Die durchgehenden Gewindebohrungen sind nach drei rechtwinklig zueinander stehenden Achsen angeordnet, damit nach Bedarf zwei bis sechs Rohre miteinander verbunden werden können.

Zur Verbindung jedes Rohrendes mit dem Kopf sind zwei gleiche Keilhülsen und eine Kopfschraube vorgesehen, die durch die beiden Keilhülsen hindurch- gesteckt und mit dem Ende des Gewindeschafes in die zugeordnete Bohrung des Kopfes eingeschraubt wird. Die Keilhülsen sind mit ihrer zur Hülsenachse schrägen Keilfläche aneinander abgestützt und stehen mit den Stirnseiten am Verbindungskopf bzw. am Versenkkopf der Schraube an. Der Außendurchmesser der Keilhülsen ist nur um ein wenig kleiner als der Innendurchmesser des Rohrendes (um das leichte Aufschieben des Rohrendes auf dieselben zu gewährleisten). Wird nach dem Aufschieben des Rohres auf die Keilhülsen die Schraube angezogen, so werden die Keilhülsen gegen die Innenseite des Rohrendes verdrängt und bilden somit eine kraftschlüssige und unverschiebbare Einheit.

Zum, durch die Rohre hindurch erfolgenden Anziehen und Lösen der Schraube wird ein Inbus- Schraubenzieher in verlängerter Ausführung benötigt. Bei Eckverbindungen ist das Steckloch des Schraubenschaftes durch die im Kopf gegenüber ausmündende, unbenutzte Gewindebohrung zugänglich.

Eine vorteilhafte Wirkung der Befestigungsart mit Keilhülsen beim Anziehen der Schraube liegt darin, dass die Verschiebung, der am Schraubenkopf anstehenden Keilhülse eine gegen den Verbindungskopf gerichtete Verschiebungskomponente aufweist, die das Rohr gegen den Kopf hin anzieht.

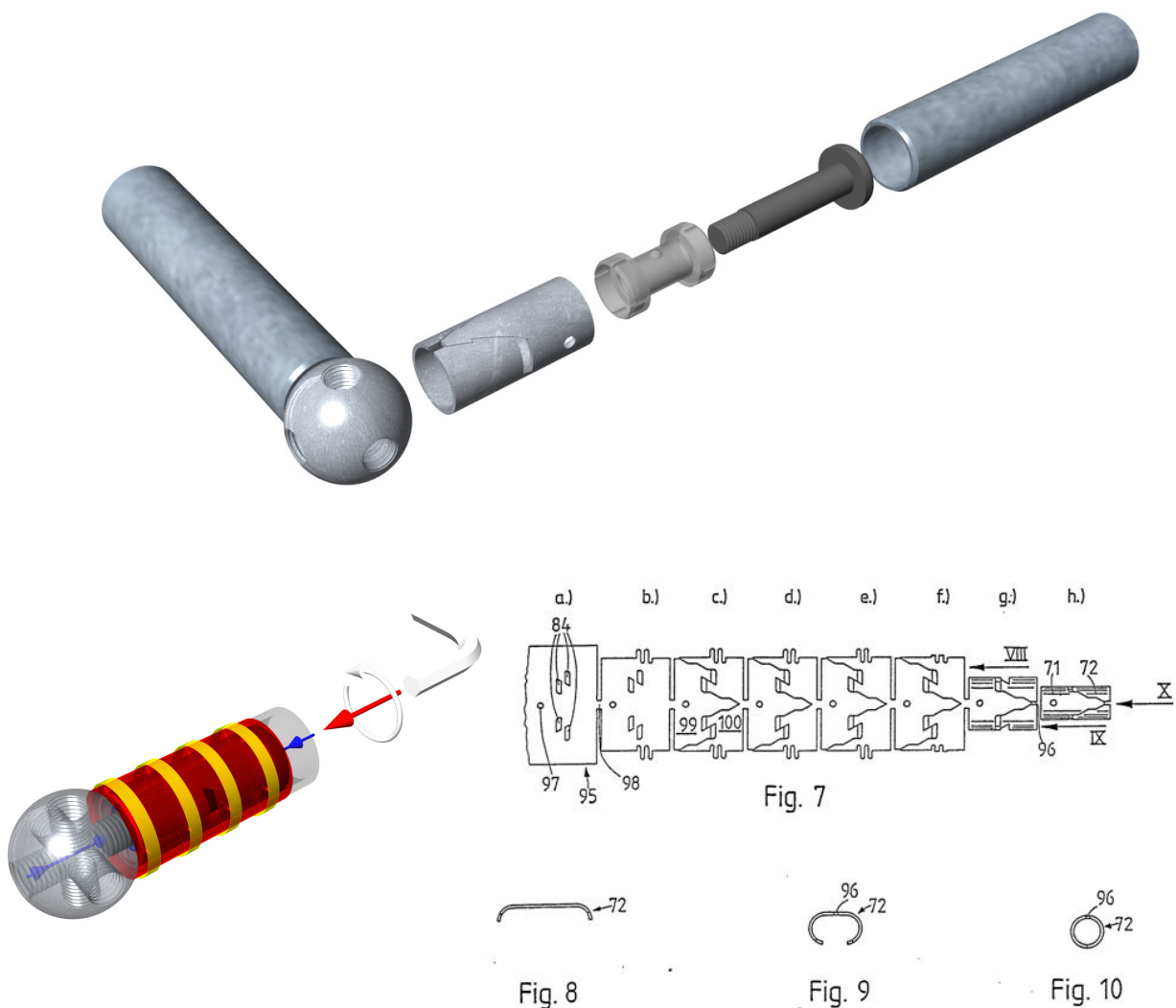


Abb. 5.1

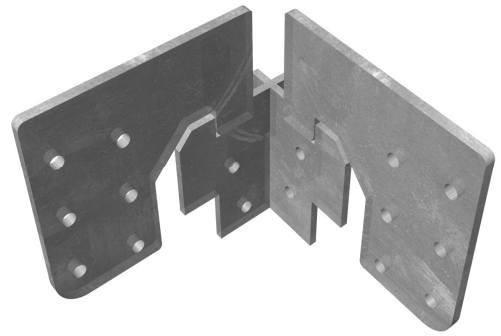
Abgewinkelte Keilhülse [36]

### 5.3. Janebo- Hakenplatten

Janebo- Hakenplatten sind ein Verbindersystem für den Holzskelettbau. Die ebene und räumliche Knotenausbildung erfolgt durch eine Kombination von Haken und Widerlagern.

Sie werden auf Grund ihrer hohen Belastbarkeit bevorzugt für Haupttragwerke verwendet (bis 50 kN) und nehmen sowohl Quer- als auch Zugkräfte auf. Sie werden insbesondere in Nadelholz, Brett-schichtholz und Konstruktionsvollholz eingebaut.

JANEBO-Hakenplatten sind in montiertem Zustand zwar allseits von Holz eingeschlossen, so dass der Balkenanschluss verdeckt bleibt und eine hohe Feuerwiderstandsdauer besitzt. Da sie sich auch vormontieren lassen, braucht der Balken auf der Baustelle nur noch in seine endgültige Position eingesetzt zu werden. Jedoch sind diese Hakenplatten in erster Linie für den Anschluss von Holzbalken an Stützen bestimmt.



#### Die Grundelemente

a) JANEBO Hakenplatten (H):

Die Haken werden in die vorbereiteten Schlitze (Schlitzbreite 11 mm) im Nebenträger eingeschoben und mit Stabdübeln (12 mm) verankert.

b) JANEBO Widerlagerformteile (D):

Die Widerlagerformteile werden an den Hauptträger mit Kammnägeln (4,0 x 60 mm) oder Schrauben (5,0 x 50 mm) angenagelt bzw. -geschraubt.

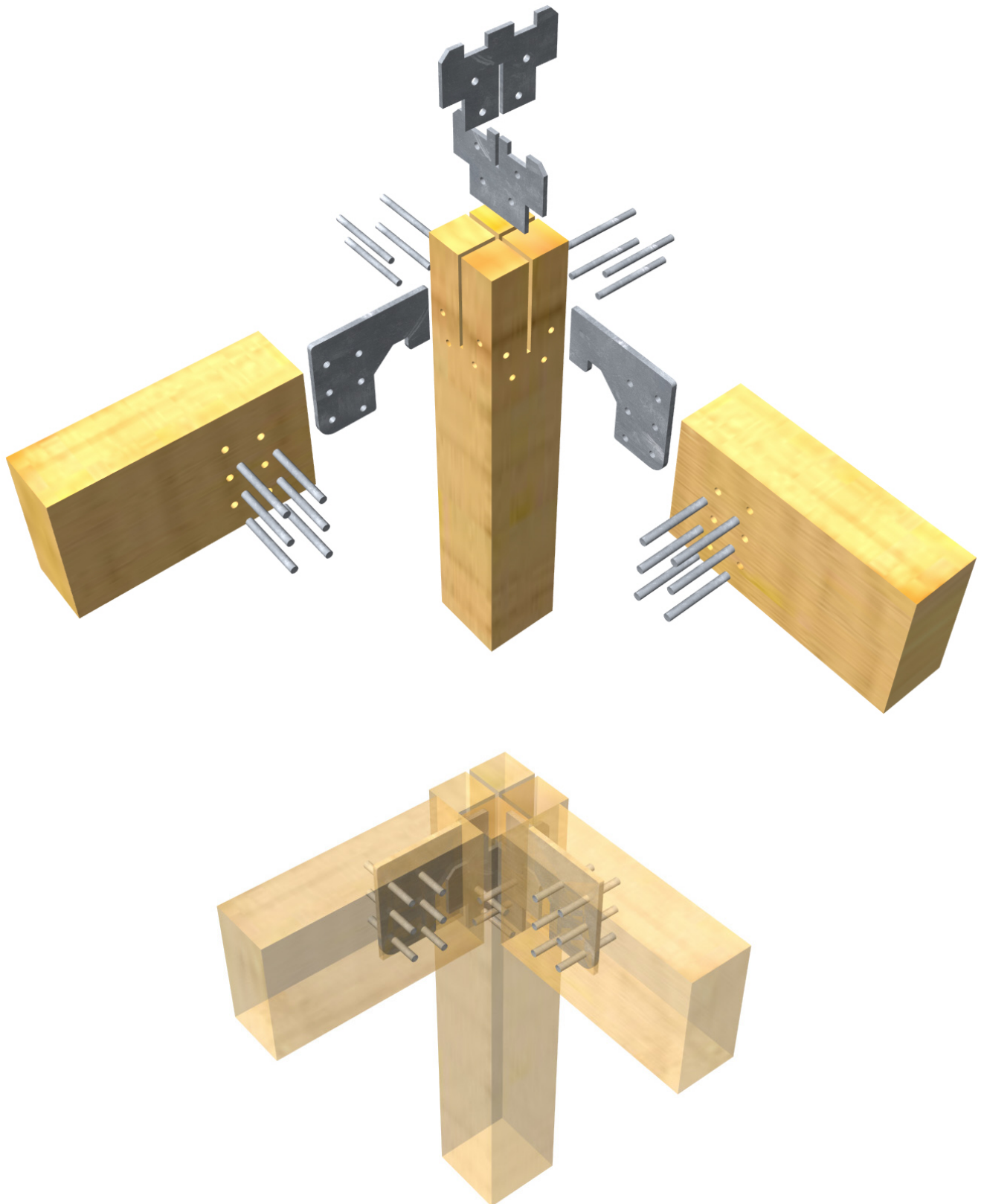
c) JANEBO Widerlagerplatten (P):

Die Widerlagerplatten werden in die vorbereiteten Schlitze (Schlitzbreite 11 mm) in den Stützen eingeschoben und mit Stabdübeln (12 mm) verankert.

#### Montage

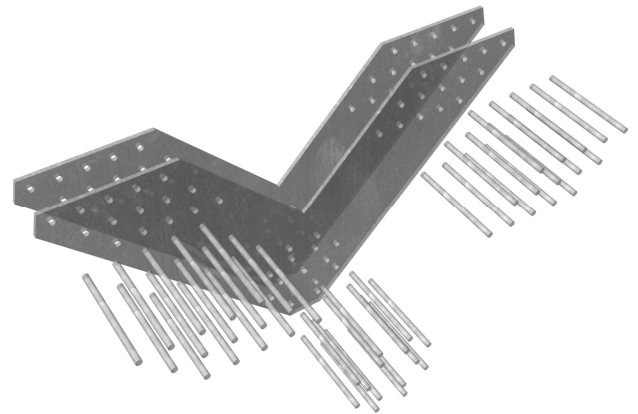
Die Montage erfolgt am Einbauort durch Einklinken der Haken in die Widerlager. Eine Aussteifung des Skeletts im Montage- und Gebrauchszustand ist notwendig.

Die Verbindung eignet sich zur Übertragung von Querkräften, Normalkräften und Kombinationen aus diesen beiden. Dieses gilt für horizontale und geneigte Anschlüsse der Nebenträger.



#### 5.4. Blumer- System Binder

Die BSB-Knotenverbindung ist eine leistungsfähige Stahlblech-Holz-Verbindung für einteilige Stäbe aus Brettschichtholz, die sich insbesondere für fachwerkartige Konstruktionen eignet und hierbei hohen gestalterischen Anforderungen gerecht wird. Das BSB-System beruht auf dem Stabdübel-Prinzip und beschränkt sich auf wenige standardisierte Typen.



Die Verbindung erfolgt durch in Sägeschlitze eingelassene Knotenbleche mit 5 mm Dicke und Stahlstiften mit 6,3 mm Durchmesser oder auch selbstbohrenden Stabdübeln mit 5 oder 7 mm Durchmesser. Die Ausführung der Verbindung erfolgt stets im Werk (mit einem Rahmensetzgerät).

##### Die Grundelemente

###### a) Holzbauteile:

Es darf nur Brettschichtholz mit standardisierten Querschnittsabmessungen verwendet werden.

Der kleinste Querschnitt beträgt bei Kreisanschlüssen 120 x 160 mm, bei Reihenanschlüssen 120 x 80 mm. Die größte Stabbreite (bei 8 Blechen) beträgt 360 mm.

###### b) Stahlbleche:

Die ebenen 5 mm dicken Bleche sind symmetrisch zur Querschnittsachse anzuordnen, der Mittenabstand der Bleche untereinander und vom Rand beträgt mindestens 40 mm. Bei ebenen Fachwerken sind sämtliche Stäbe eines Knotens mit der gleichen Anzahl von Knotenblechen (maximal 8 Bleche) anzuschließen.

###### c) Stahlstifte/ selbstbohrende Stabdübel:

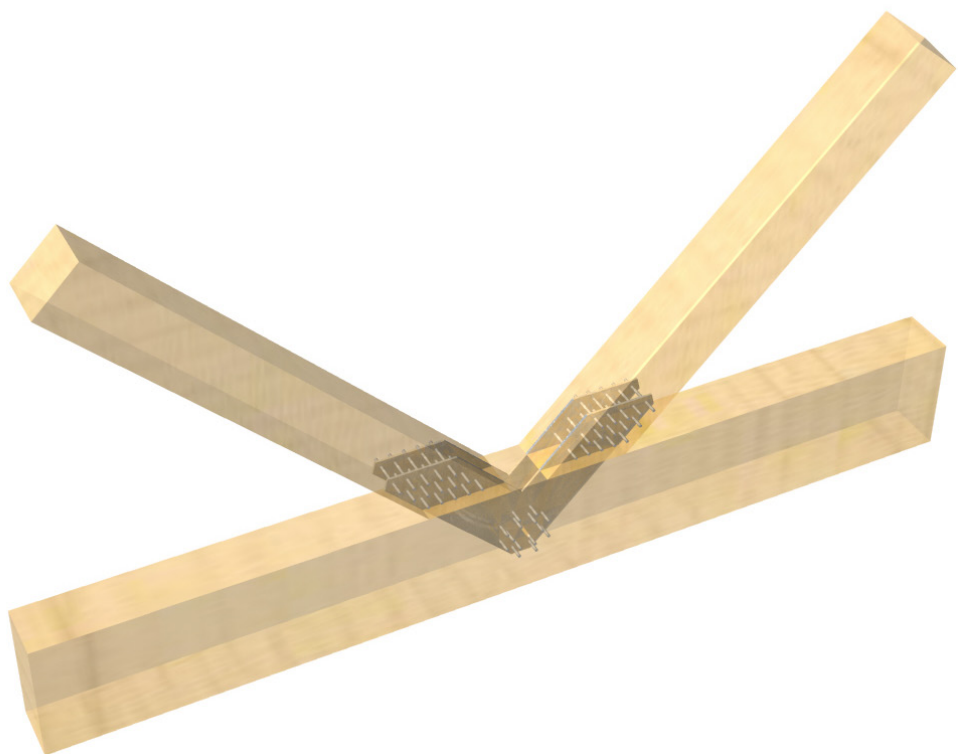
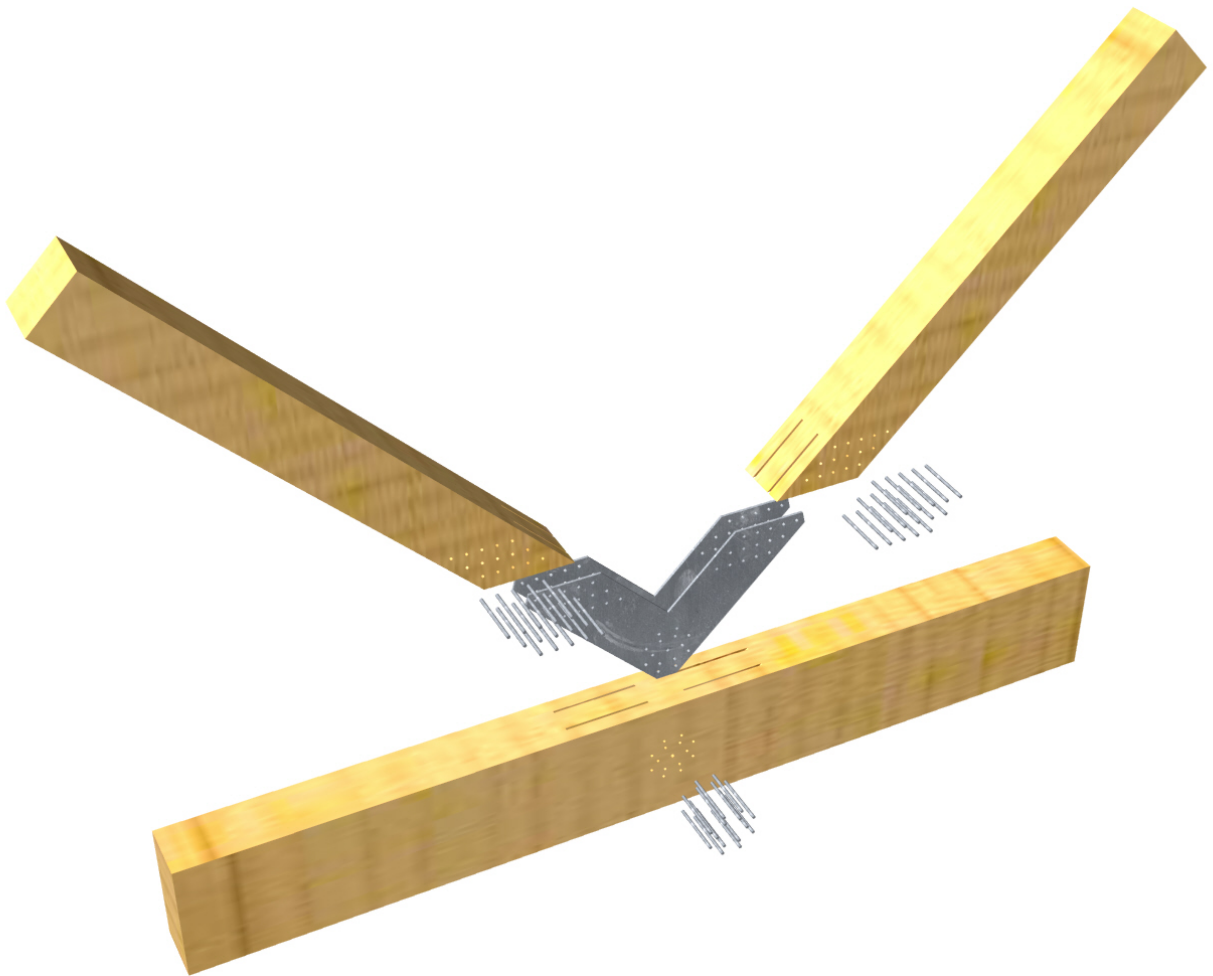
Herkömmlich Stahlstiftverbindungen sind in der Herstellung recht aufwendig, weil die Stahllaschen und die Holzteile getrennt vorgebohrt werden müssen. Aber auch entstehende Herstellungstoleranzen bei der Vorbohrung beeinträchtigen das Tragverhalten der Verbindungen.

Mit der Verwendung von selbstbohrenden Stabdübeln können diese Nachteile ausgeschaltet werden. Dabei ist die Bohrspitze der Verbinder so konzipiert, dass das Holz und die Stahllaschen in einem einzigen Arbeitsgang durchbohrt werden können.

Die Stabdübel sind selbstbohrend, das heißt, sie werden ohne Vorbohrung in das Holz und durch die Stahlplatten getrieben. Damit ist die Herstellung von mehrschnittigen Stahl-Holz-Verbindungen mit einer hohen Passgenauigkeit möglich.

##### Montage

Für die Montage werden im Stoßbereich übergreifende Stahlbleche eingebaut und mit 12 mm Montagebolzen oder mit Stahlbauschrauben verbunden.

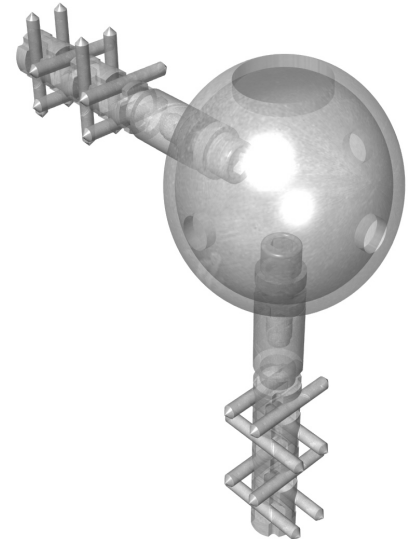


### 5.5. Bertsche- Systemanker

Im Wesentlichen besteht das Bertsche- Verbindungssystem aus einem, in einer stirnseitigen Sackbohrung eines Holzbalkens verankerten zylindrischen Verbindungskörper (Ankerkörper), dessen Durchmesser etwa dem Durchmesser der Sackbohrung entspricht und der seitlich in den Zylindermantel eingebrachte Aussparungen aufweist.

Stabdübel, die senkrecht zur Längsebene des Verbindungskörpers und des Holzbalkens eingebracht sind und die die Aussparungen des Ankerkörpers durchsetzen, verbinden ebendiesen mit dem Holz.

Schlussendlich werden die Hohlräume dieser Verbindungen mit einer Vergussmasse gefüllt, wodurch ein kraftschlüssiger Verbundblock gebildet wird.



#### Die Grundelemente

Der geschmiedete Ankerkörper ist eines der Hauptelemente des Verbindungssystems, in dessen Kopf sich ein Innengewinde befindet, das einen Schraubanschluss an andere Bauteile möglich macht.

Für das Verbindungssystem werden Innensechskantschrauben mit Rundkopf und Stabdübel verwendet.

Eine Kugelscheibe schafft eine gerade Auflagerfläche für den Schraubenkopf.

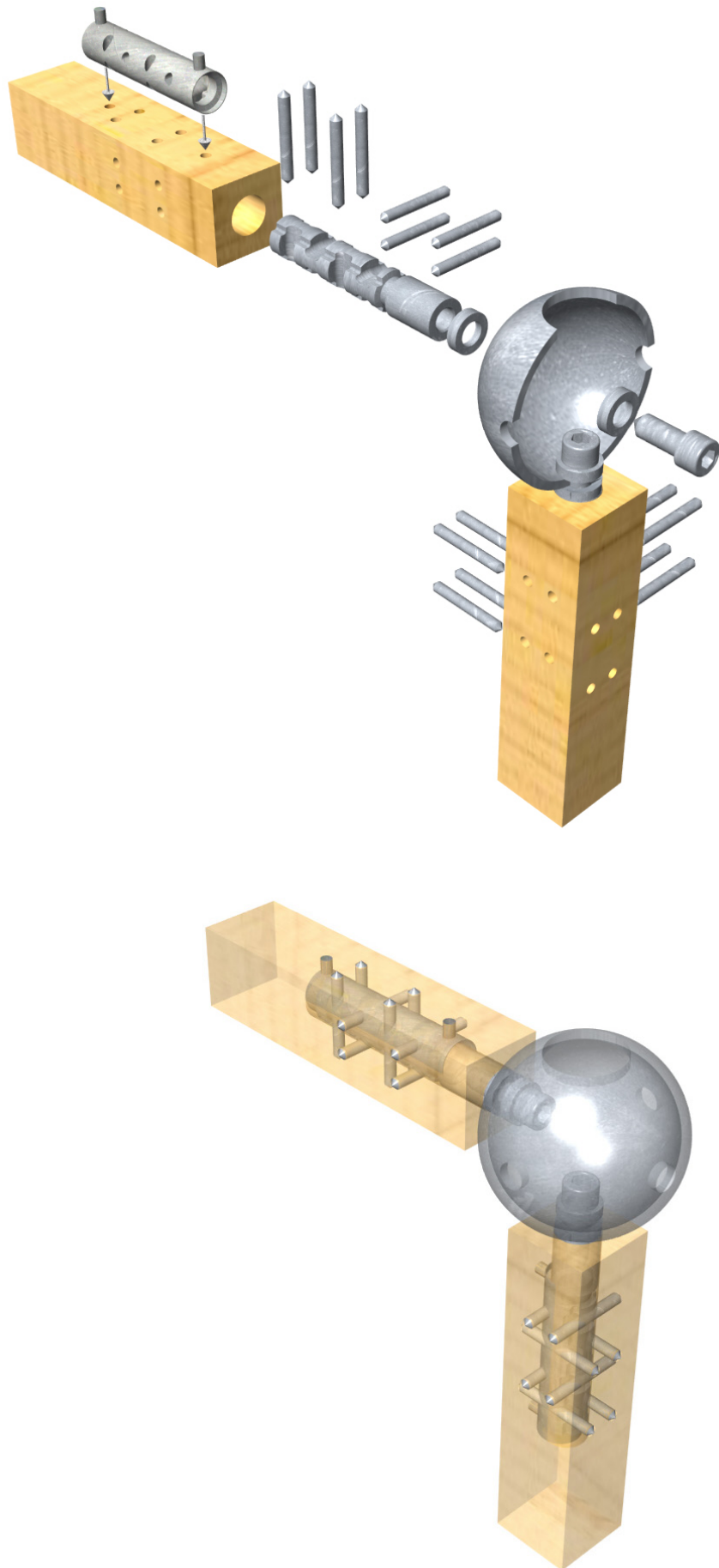
Ein auf Zementbasis hergestellter Vergußmörtel stellt die kraftschlüssige Verbindung zwischen Stabdübeln und Ankerkörper her.

Das zentrale Hohlkugelelement ist eine aus Stahlguss oder Kugelgraphitguss hergestellte Kugel mit einem Außendurchmesser von mindestens 40 cm. Die Wandstärke variiert zwischen 12 und 25 mm. Für die erforderlichen Anschlüsse werden in die Kugel Löcher gebohrt.

Bei allen Knotenanschlüssen, deren einlaufende Stäbe nicht in einer Ebene liegen, kann die Hohlkugel günstig eingesetzt werden. So z.B. bei Raumfachwerken, Schalen, Kuppeln und bei räumlichen Sprengwerken. Jedes Hohlkugelelement hat eine ausreichend große Öffnung, die eine Verschraubung des Kugelelements von innen nach außen ohne Schwierigkeiten ermöglicht.

#### Wirkungsweise

Im Anschlussbereich des Holzquerschnitts wird von der Hirnholzseite her ein geschmiedeter Ankerkörper eingelassen. Dieser dient der Krafteinleitung in das Hirnholz. Die Kraftübertragung erfolgt durch übliche Stabdübel mit einem Durchmesser von 16 mm, die in ausreichend großen Taschen im Ankerkörper liegen. Des Weiteren besitzt der Ankerkörper an der vorderen Seite ein Innengewinde, über das die Baustellenverschraubungen sehr einfach und passgenau hergestellt werden. Um das System nach dem Justieren kraftschlüssig zu machen, werden alle Zwischenräume mit einem speziellen, hochfesten Mörtel vergossen.

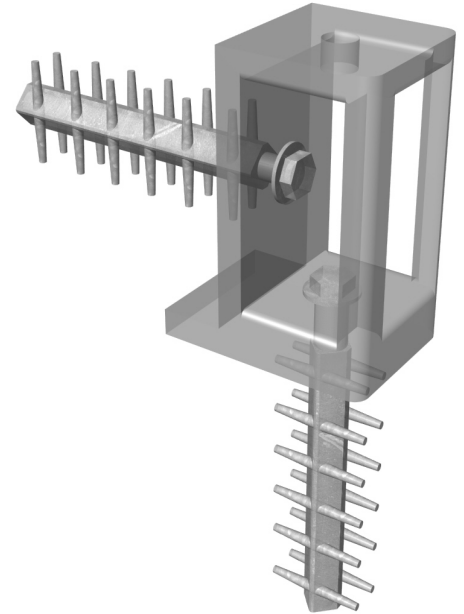




### 5.6. Induo- Systemholztechnik

Das Induo- Verbindungssystem ist ein industriell vorgefertigtes, aus stabförmigen Bauteilen zusammengesetztes skelettartiges Holzbausystem. Der Aufbau des Tragskeletts mit den „just in time“ auf die Baustelle gelieferten, vorkonfektionierten Bauteilen und Materialien erfolgt in kurzer Zeit. Der weitere Ausbau erfolgt im Hüllverfahren und als Wetterschutz von außen nach innen. Die Planung erfolgt auf Grundlage serieller Grundelemente.

Die Verbindung erfolgt über rhombusförmige, gusseiserne Ankerkörper mit Innengewinde, die in die maßlich exakt fixierten Innenöffnungen von Kreuz-, Duo-, Brett-schichtholz-Balken oder anderen Holzwerkstoffen eingelegt werden.



#### Die Grundelemente

Der aus Temperguss gefertigte Ankerkörper besitzt einen quadratischen bzw. rhombusförmigen Querschnitt mit mehreren Stiftreihen quer zur Stablängsachse. Als kraftübertragende Verbindungselemente zum Holzbalken ist die Anschlusscharakteristik dieser Stifte mit den Stäben der Verankerungstechnik von Stabdübeln vergleichbar.

An der Kopfseite des Ankerkörpers befindet sich eine Bohrung mit Innengewinde zum Anschrauben außenliegender Bauteile über Gewindeschrauben bzw. -stangen. Weiters gibt es auch Verbundanker, die über eine durchgehende Bohrung für die Durchsteckverbindung verfügen.

Die Verschraubungstechnik besitzt die Konstruktions- und Tragfähigkeitseigenschaften des Stahlbaus.

Eine galvanische Verzinkung schließt den Herstellungsprozess des Verbundankers ab. Die Induo- Verbundanker können prinzipiell in verschiedenen Längen und Dimensionen angefertigt werden.

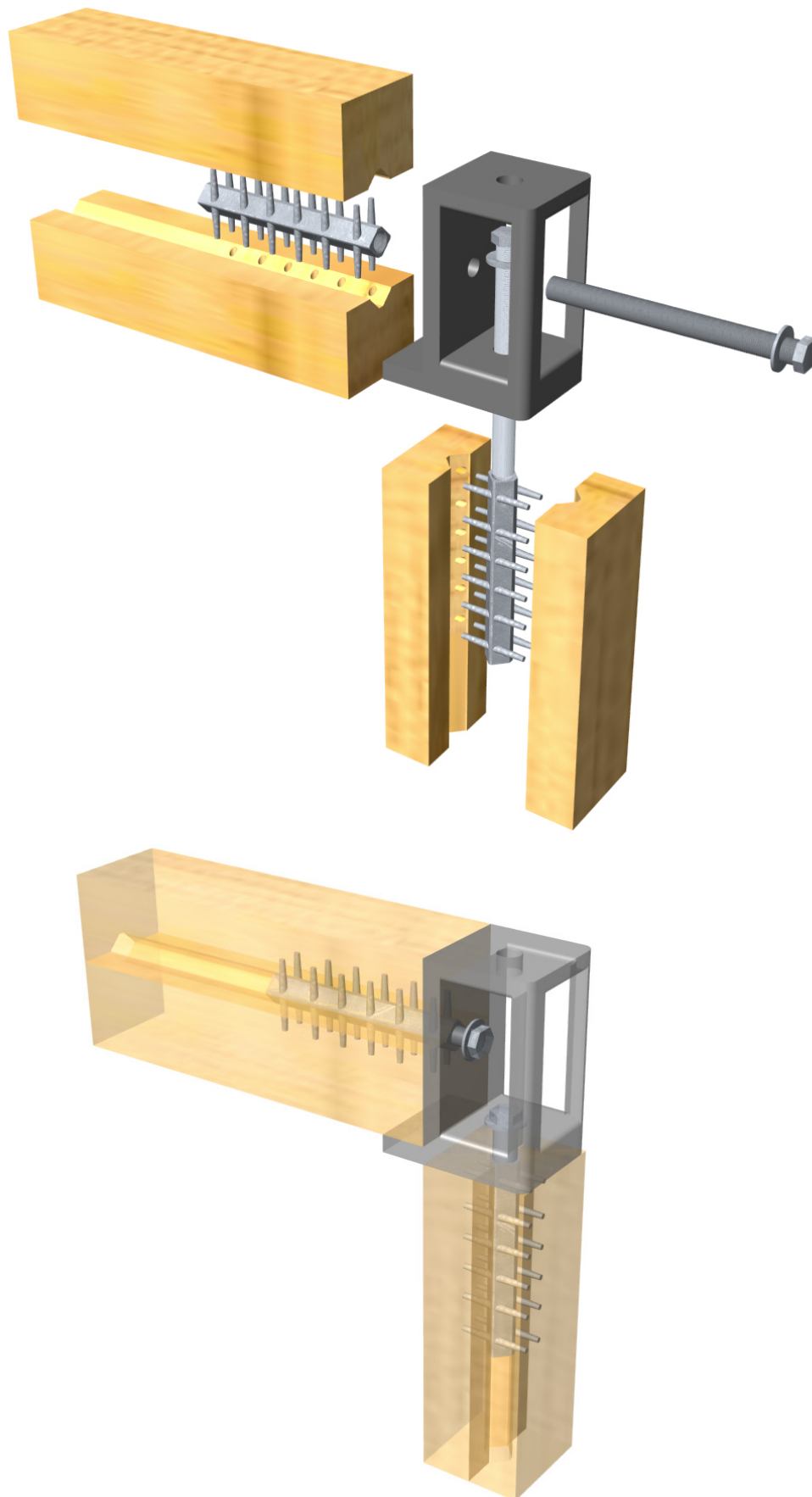
#### Wirkungsweise

Durch die Form und Lage des Verbundankers (Innenvernagelung) entsteht eine Verbindung die in der Lage ist, hohe Zug- und Druckkräfte axial zu übertragen. Unter Einhaltung der Mindestabstände können mehrere Anker über- oder nebeneinander eingebaut werden. Damit wird auch die Ausbildung von biegesteifen Rahmenecken möglich.

Bei der Holz-Stahl-Verbindung werden die innenliegenden Verbundanker des Induo-Balkens mit einem Bolzen stirnseitig mit einem Formteil aus Stahl verbunden. Die Querkräfte werden direkt über angeschweißte Auflagerkonsolen übertragen.

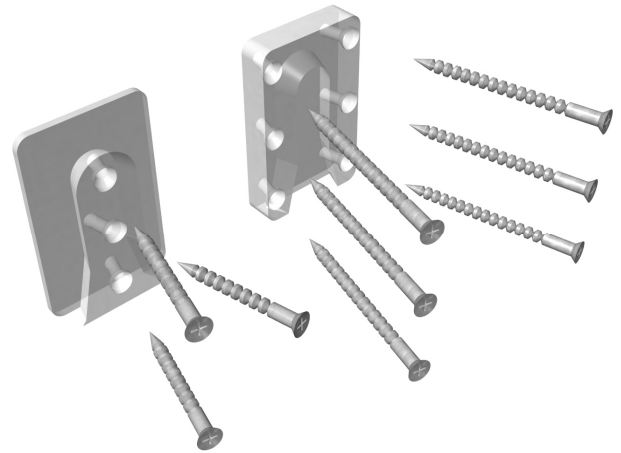
Bei der Holz-Holz- bzw. Holz-Beton-Verbindung werden die Induo-Balken über eine rückwärtig durch den Verbundanker durchgesteckte Inbusschraube mit dem Knotenpunkt verbunden. Für diesen Anwendungsfall werden in das lastabtragende Bauteil Schraubhülsen eingelegt. Damit sind auch kreuzförmige Knotenverbindungen in Holzstützen möglich.

Zur Aussteifung des tragenden Holzskeletts werden in der Regel die raumbildenden mit z.B. Holzwerkstoffen beplankten Wand- und Deckenelemente herangezogen. Die Ausbildung eines reinen, z.B. mit Stahldiagonalen ausgekreuzten Skelett-Tragwerks ist allerdings ebenfalls problemlos möglich.



### 5.7. Sherpa- Verbinder

Das Sherpa- Verbinder- System ist eine schwalbenschwanzartige Steckverbindung aus gewalztem Aluminium für lösbare Verbindungen in der Art eines Nut- Feder- Systems.



#### Die Grundelemente

Dabei ist die Nut teilweise hinterschnitten und an einer ersten Stirnseite randoffen und die Feder ist gegengleich zur Nut ausgebildet.

Durch das gewalzte Aluminium können einerseits Versprödungsbrüche ausgeschlossen werden und andererseits ist das Material beständig gegen gängige Holzsäuren.

#### Wirkungsweise

Großer Vorteil dieses Systems verglichen mit ähnlichen Verbindern ist, dass auch bei einer nicht vollständig bis zum Anschlag der Nut eingeschobenen Feder eine Verbindung ohne seitlichem Spiel erzielt wird.

Weiters ist es möglich Nut und Feder auch dann sicher zu verbinden, wenn deren Mittellinie unmittelbar vor dem Verbinden einen seitlichen Versatz aufweist.

Dies wird dadurch erreicht, dass der senkrechte Nutquerschnitt in Längsrichtung keilförmig verjüngend und in einem anschließenden zweiten Bereich in Längsrichtung konstant bleibend ausgebildet ist. Dadurch ergibt sich der Vorteil, dass der erste Bereich als Einführhilfe wirkt, wodurch Nut und Feder auch bei einem kleinen Versatz zwischen ihren Mittellinien sicher verbunden werden können und der zweite Bereich eine Verbindung ohne seitliches Spiel auch bei nicht vollständig in die Nut eingeschobener Feder gewährleistet.

Des Weiteren ist der Nutquerschnitt schwalbenschwanzförmig ausgebildet, wodurch sich eine Führung ergibt, die sicherstellt, dass die Feder, falls sie nicht im vorbestimmten Abstand zur Nut in die Nut geschoben wird, in den vorbestimmten Abstand geführt wird.

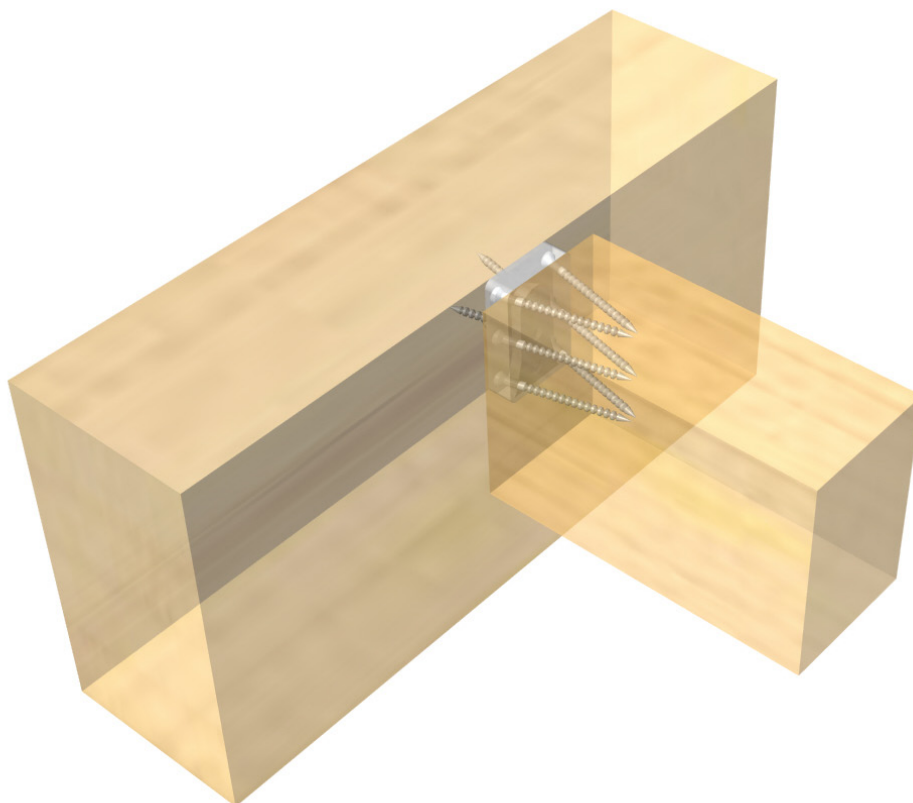
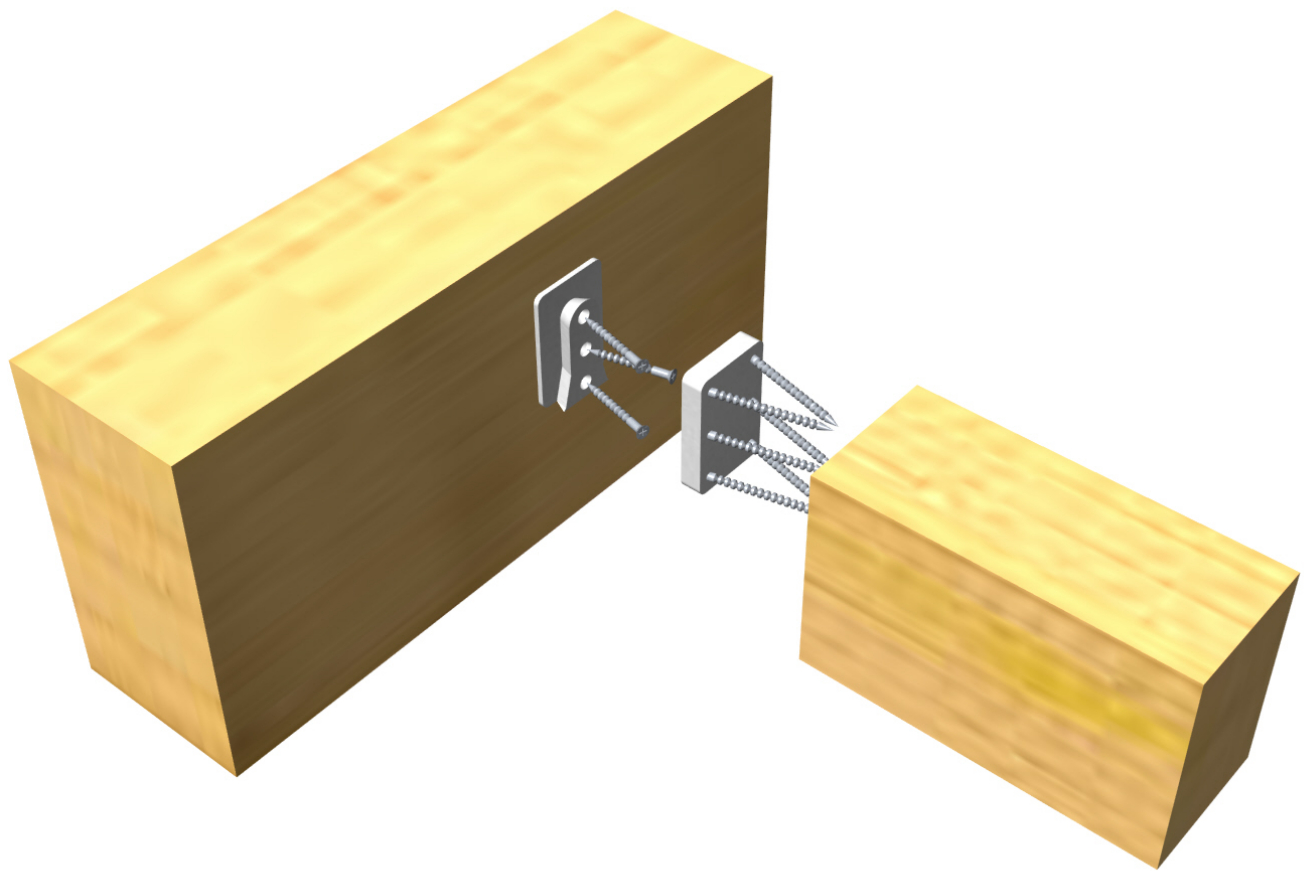
Durch die teilweise geneigte Anordnung der Durchtritte und der Befestigungsmittel kann eine bessere Verbindung der Nut und der Feder mit dem jeweiligen anzuschließenden Körper erzielt werden.

Durch die unterschiedliche Ausrichtung der Durchtritte wird außerdem gewährleistet, dass die Nut und die Feder spielfrei mit dem jeweiligen Körper verbunden sind.

Für eine exakte Montage benötigt man keinerlei Schablonen und andere Hilfsmittel.

Das System ist bauaufsichtlich zugelassen und ermöglicht definitive Aussagen über die Statik, deren Gestaltungsmöglichkeiten nicht durch komplizierte Schrägen und Konstruktionen eingeschränkt werden.

Mit der neuen Generation der Glasfaserverstärkten Kunststoff-Sherpa wird vor allem die Montage von Fertighaus-Bauteilen weiter optimiert. Der Kunststoff ermöglicht Wärmebrücken- freie Verbindungen an allen Ecken und Kanten und wird etwa 30% unter den Kosten für den Metall-Verbinder liegen



### 5.8. Lukas Lang building technologies

Lukas Lang Building Technologies ist ein Baukasten-system, mit dem Gebäude erstmals aus 100 % industriell vorgefertigten Einzelteilen individuell kombiniert und jederzeit verändert werden können. Das System macht kreatives und flexibles Bauen von Siedlungen, Büros oder Privathäusern einfach und günstig.

Die Vorteile liegen in den kurzen Planungszeiten, minimalen Bauzeiten, einfachster Montage und jederzeitiger Änderungsmöglichkeiten.

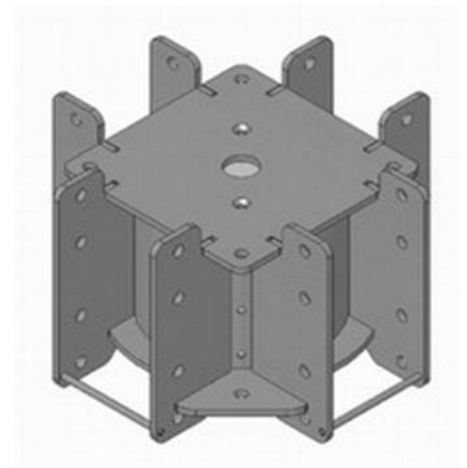


Abb. 5.2 Lukas Lang Knoten [45]

Das System ist denkbar einfach und lässt sich am besten als Art überdimensionaler Baukasten beschreiben: Genau nach diesem Prinzip werden auch bei Lukas Lang Häusern die einzelnen Bauteile aufgebaut und können jederzeit ergänzt und verändert werden.

Aufgrund einfacher Schraub- und Steckverbindungen können Gebäude erweitert, wie auch in seine Einzelteile zerlegt werden, wobei der Wert jedes Teiles erhalten bleibt. Das System ist so aufgebaut, dass Bauteile an- oder umgebaut werden können, ohne dass bestehende Bauteile zerlegt werden.

#### Die Grundelemente

##### a) Fundamentierung:

Der Raster hat ein Maß von 1,40 x 1,40 m, in den - an den Kreuzungspunkten die einzelnen Fundamentpunkten und Spindelsäulen positioniert werden.

##### b) Skeletttragwerk:

Auf jeden Fundamentpunkt wird eine 2,80 m hohe Säule gesetzt. Die Träger werden zwischen den Säulen in Stahlblechknoten eingehängt. Je nachdem wie weit die Säulen voneinander entfernt sind, werden unterschiedliche Größen von Trägern montiert. Zwischen den Trägern werden Deckenelemente und zwischen den Säulen Wände oder Seilverspannungen eingesetzt. Die auf den Stützen sitzenden Stahlblechknoten wiederum sind die Anschlusspunkte für die Tragkonstruktion des nächsten Geschosses.

#### Montage

Häuser werden so zusammengebaut, dass jeder Laie die Montage und Demontage vornehmen kann.

Das Maximalgewicht der Bauteile beträgt in etwa 100 kg.

Da die Bauteile vorgefertigt auf die Baustelle geliefert werden und keinerlei Nachbearbeitung bedürfen, wird die Baustelle in allen Ausbaustadien sauber sein. Da für die Montage keine Maschinen benötigt werden, ist auch die Lärmbelastung gering.

Die vorgefertigten Bauteile können auch selbst zusammengebaut werden. Ein detaillierter Bauteilkatalog und eine bildhafte Montageanleitung unterstützen beim Aufbau.

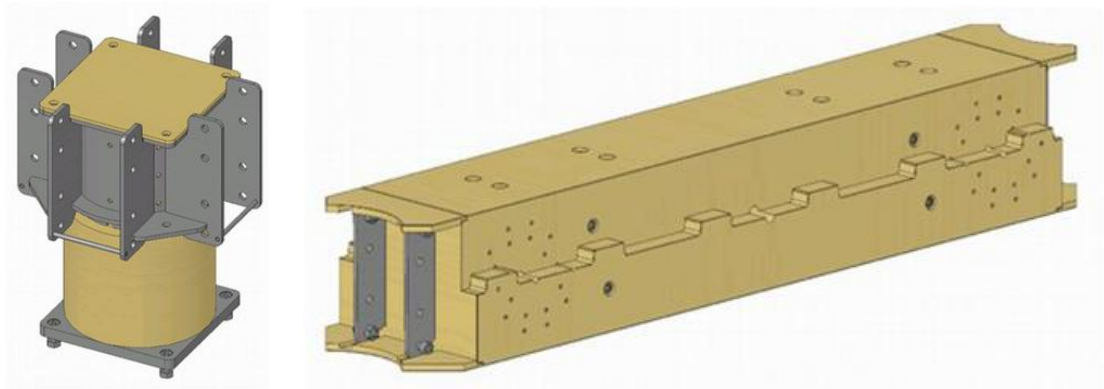


Abb. 5.3 Stütze, Knoten + Träger [45]

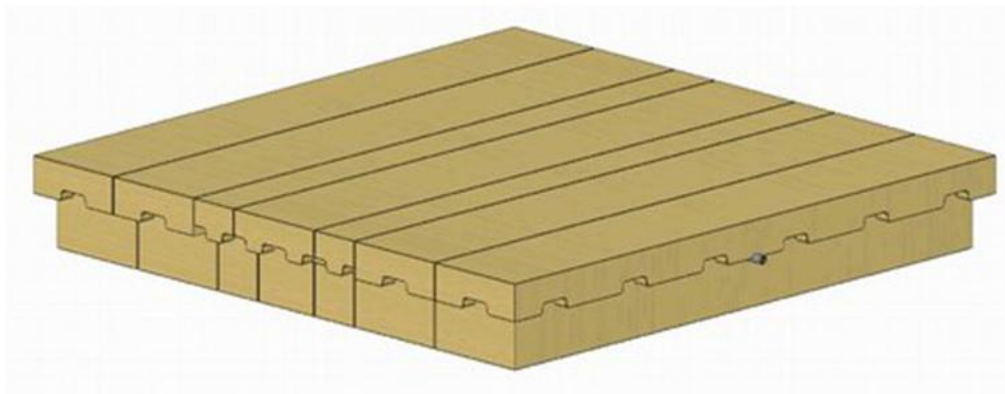


Abb. 5.4 Deckenplatte [45]

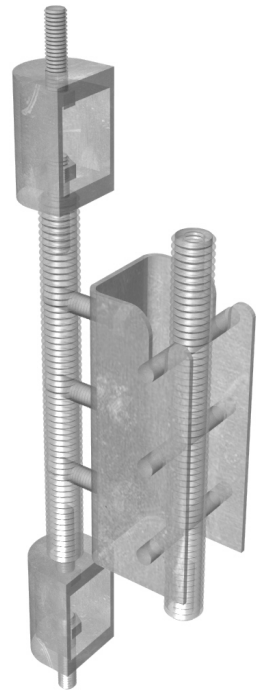


Abb. 5.5 Montage [45]

### 5.9. Sumitomo- big frame construction method

Die „big frame construction“- Methode ist ein innovatives Verbindungssystem für mehrstöckige Holztragwerke. Mit seinen schraubbaren Stahlverbindungsmiteln erreicht das Gesamtsystem eine hohe Erdbebenresistenz und -starrheit ohne dafür tragende Wände oder Träger zu benötigen. Es ist eine innovative Baumethode, die die Anzahl von erforderlichen Wänden und anderen tragenden Strukturen- verglichen mit herkömmlichen Baumethoden- um mehr als die Hälfte vermindern kann. So können weit geöffnete, aufgelockerte Räume sowie dreigeschossige Tragwerke entworfen werden.

Mit herkömmlichen Holzbaumethoden wird die vertikale Last auf Träger verteilt, während die horizontale Last (das seitliche Schütteln bei Erdbeben, usw.) auf tragende Wände verteilt wird. Im Gegensatz dazu verwendet die Technologie der „big frame construction“- Methode Säulen aus Brettschichtholz und Träger, welche in ihrem Querschnitt überdimensioniert erscheinen, um sowohl die vertikale als auch horizontale Last aufnehmen zu können.



#### Die Grundelemente

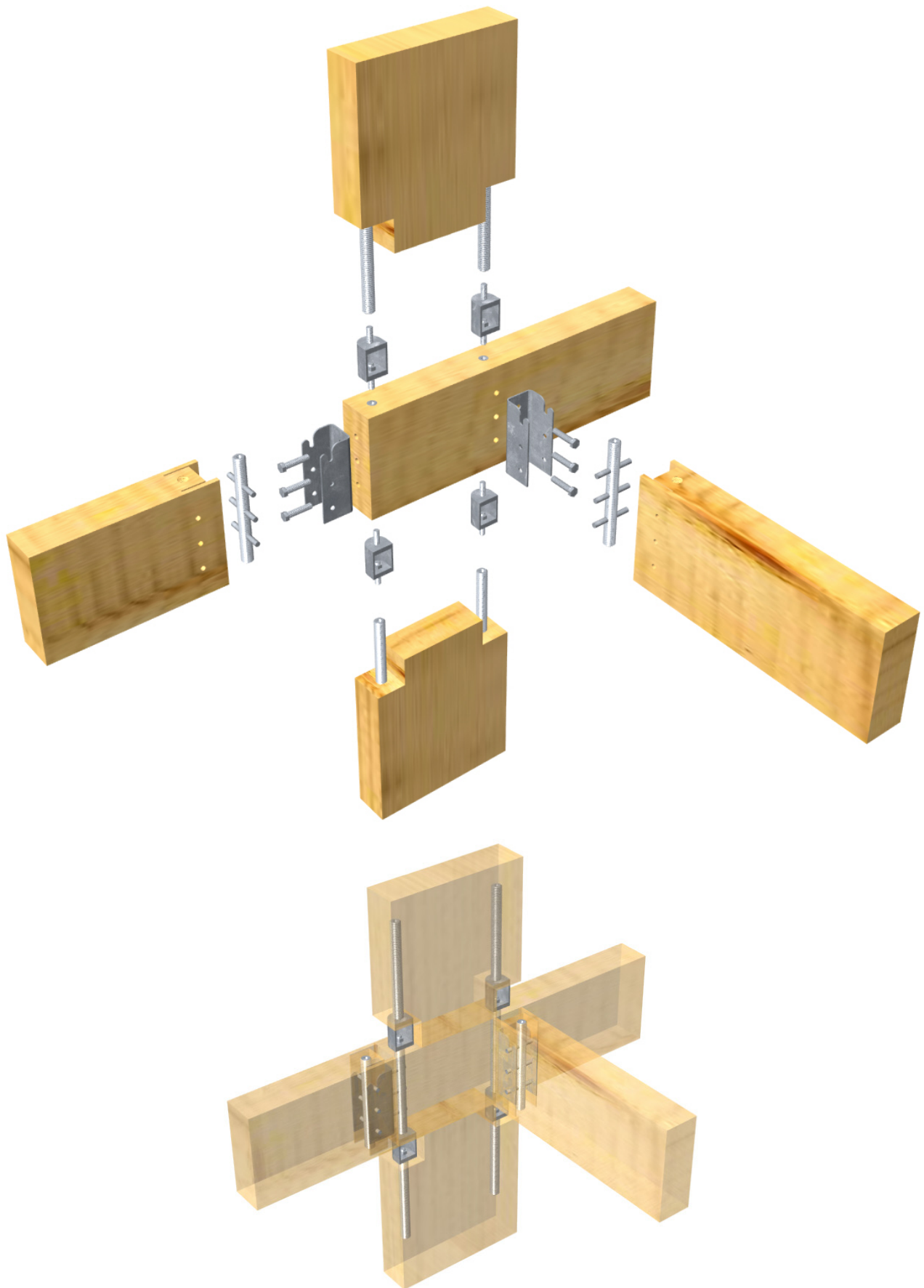
Die tragenden Elemente sind die, in ihrem Längsquerschnitt überdimensionierten Säulen und Träger aus Brettschichtholz, die mit einer Vielzahl von metallenen Verbindungsmittel untereinander kraftschlüssig verbunden werden.

#### Wirkungsweise

In, auf die Stützenquerschnitte abgestimmten Abständen werden sowohl in die Stützen als auch in die Träger Schrauben (big screws) eingebracht, die im Lauf der Montage untereinander wiederum mit stählernen Hohlkastenblechen verschraubt werden. Durch die, in den Trägern sitzenden, über deren gesamte Höhe hindurch verlaufende Schrauben können entweder verlängernd oder normal zum Träger weitere Träger angeschlossen werden. An deren Enden werden wiederum Träger- hohe Schrauben eingelassen. Diese werden mittels Stabdübeln mit Stahlblechwinkeln verbunden, welche zuvor mit kleinen Schrauben am bereits montierten Träger bzw. in dessen eingelassenen Schrauben verbunden werden.

Durch die, im fertig montierten Zustand frei sichtbaren Hohlkastenbleche kann zu jeder Zeit die Demontage einzelner Stützen und deren Einbau an anderen Stellen des Tragwerks erfolgen.

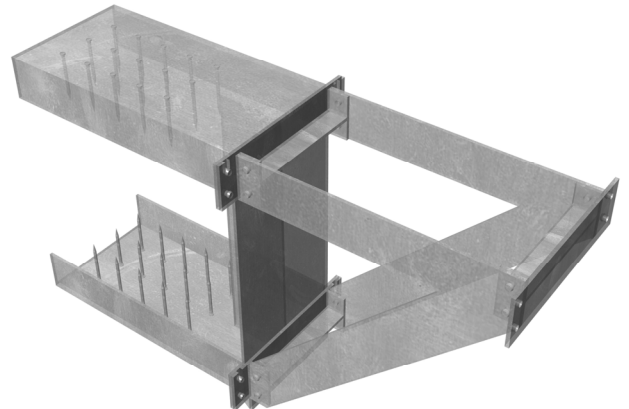






### 5.10. 20 Geschosse in Holz- die Machbarkeit

Zu guter Letzt sei noch ein lastableitendes Tragwerk für den mehrgeschossigen Holzbau beschrieben, welches im Rahmen des 14. Internationalen Holzbau- Forums '08 von Prof. Wolfgang Winter (Institut für Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau- TU Wien) präsentiert wurde.



Ausgangslage für die Tragwerksplanung dieser Machbarkeitsstudie war ein Bürogebäude mit 20 Geschossen. Auf den untersten 3 mineralisch ausgeführten Geschossen stapeln sich 17 Geschosse aus Holz, welche sich durch größtmögliche Spannweiten und Stützenfreiheit für unterschiedlichste Nutzungen auszeichnen. Als grundlegend bei der Tragwerksentwicklung gelten die Anforderungskategorien Brandbelastung sowie vertikale und horizontale Lastabtragung.

Das entworfene Verbindungssystem soll vor allem die Lastabtragung im Sinne einer rahmenartigen Wirkungsweise optimieren und entstehende Kräfte weiter- bzw. in die Tragstruktur der darüber bzw. darunter liegenden Geschosse ableiten.

#### Die Grundelemente

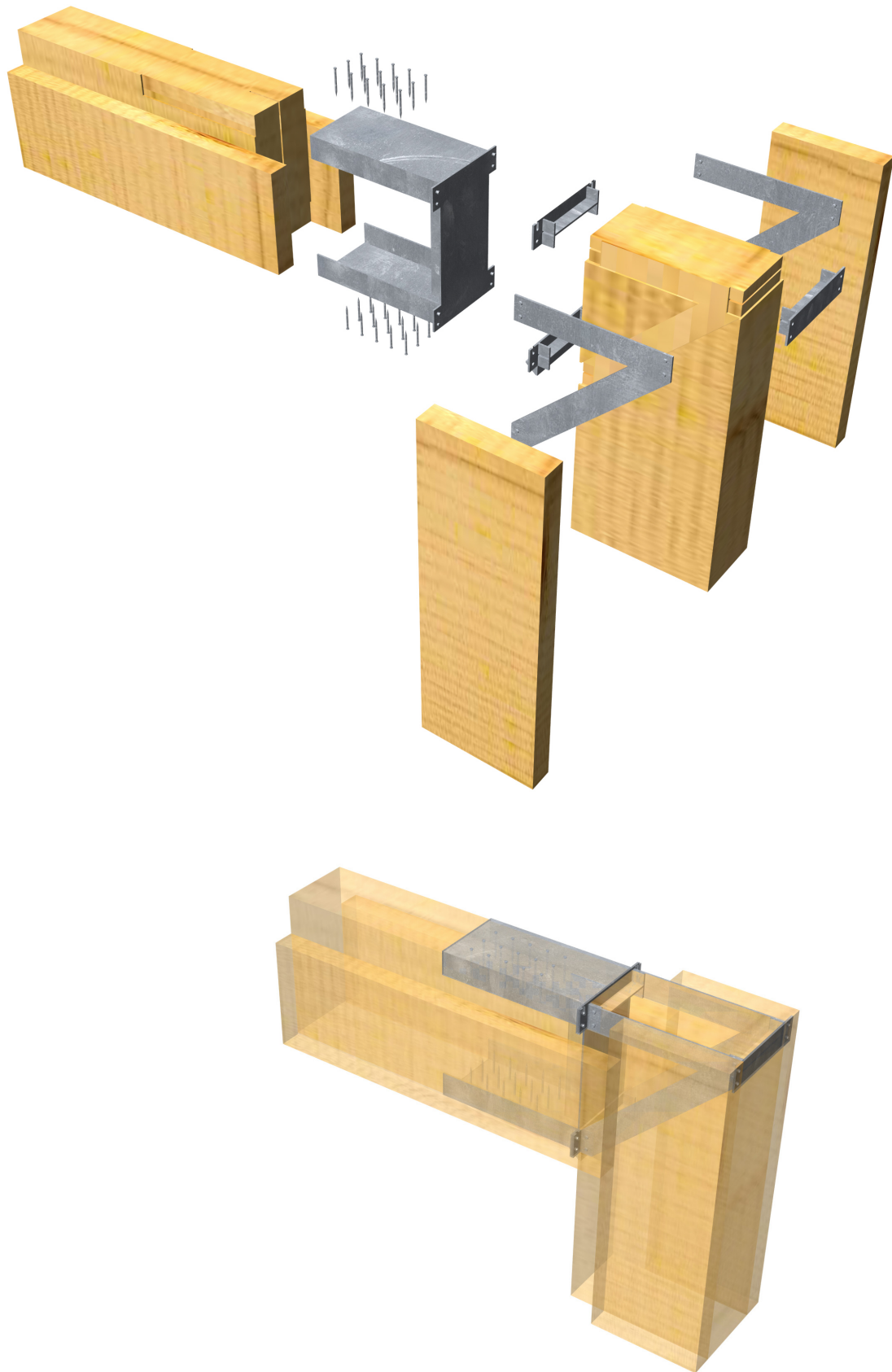
Als zentrales Element gelten die, seitlich an den zweigeschossigen Stützen aus Brett-schichtholz angebrachten Stahlbleche sowie der Stahlblechmantel der Unterzüge. Die Stützen und Unterzüge sind dort, wo die Stahlbleche anschließen, dementsprechend ausgefräst und eingeschlitzt.

Die an den Stützenseiten angebrachten Stahlbleche werden untereinander verschraubt.

#### Wirkungsweise

Die Stützen bestehen aus Brett-schichtholzquerschnitten, welche eine Höhe von zwei Geschossen haben. Über das, an den Stützen angebrachte Stahlblechgefüge werden die, durch die Unterzüge eingeleiteten Zug- und Druckkräfte in die Stützen weitergeleitet. So wird der, im unteren Bereich des Unterzugs entstehende Druck über Kontakt in das schräg ansteigende Stahlblech eingeleitet. Durch die rahmenartige Wirkungsweise dieses Knotens wird sich die Stütze zwar zu einer gewissen Biegeverformung hinreißen lassen, diese Verformungskurve verringert sich jedoch je weiter sie in die darüber bzw. darunter liegenden Geschosse wandert. In einer gebäudehohen vertikalen Verformungsannahme drückt sich dies durch eine wellenförmige, durch die Knoten hindurch verlaufende Verformungslinie aus.

Eine zusätzlich aussteifende Wirkung erhält das System durch Deckenplatten, Wandscheiben und horizontale Parapetträger aus Brettsperrholz, welche mit den Stahlblechgefügen der Stützen konstruktiv verbunden werden.



### 5.11. Zusammenfassung

#### General Panel System:

- + Aufnahme von Zugkräften über metallene Plattenknotenelemente & Rückverankerungsplättchen
- + Zugkräfte wiederum üben auf orthogonal, jeweils im 45°- Winkel zueinander stehende Abkantungen Druck aus (daraus resultierendes Kräftegeamsystem Zug-Druck)
- + keine Schrauben, Stabdübel, wenige Einzel-elemente

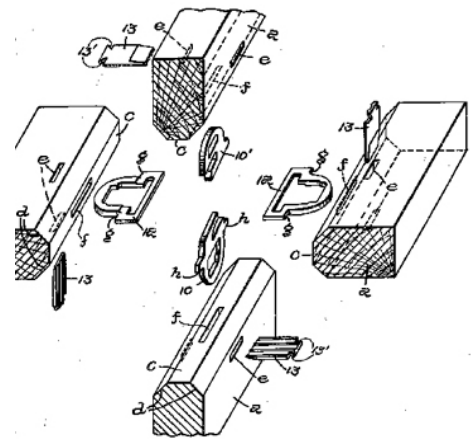


Abb. 5.6 General Panel System [36]

#### USM- Haller Möbelbausystem:

- + Anschlüsse in drei Dimensionen (6 Gewindebohrungen der Kugel)
- + druck- und zugfestes Gerüst durch Verbindung mit Inbusschrauben
- + Konnektoren werden durch Anziehen der Schrauben radial an die Bohrlochwand gepresst > Zug- & Druckkraft, Haftreibung über Klemmwirkung
- + schnelle und problemlose Durchführung von Rohrverbindungen
- zum Verschrauben Spezialwerkzeug nötig
- seitliche Aussteifung durch Trage- und Verschlussflächen nötig

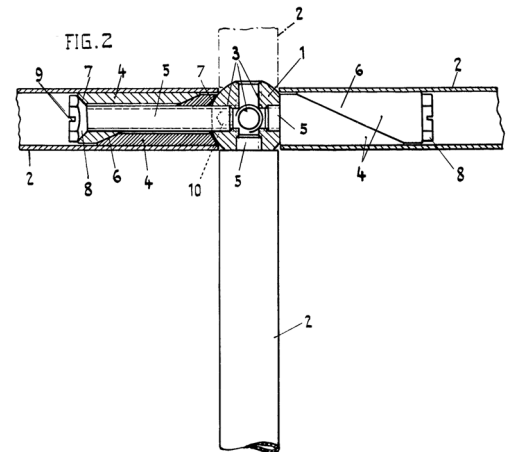


Abb. 5.7 USM- Haller[35]

#### Janebo- Hakenplatten:

- + nehmen sowohl Quer-, Normal- als auch Zugkräfte auf (hohe Belastbarkeit)
- + Montage erfolgt am Einbauort (Bauzeitverkürzung durch Steckmontage)
- + Hakenplatten allseits von Holz eingeschlossen (Optik & hohe Feuerwiderstandsdauer)
- + Möglichkeit von durchgehenden Stützen durch Einschlitten
- Hakenplatten in erster Linie für den Anschluss von Holzbalken an Stützen; für den rechtwinkligen Anschluss eines Nebenträgers an einen Hauptträger oder an eine Wand nicht geeignet

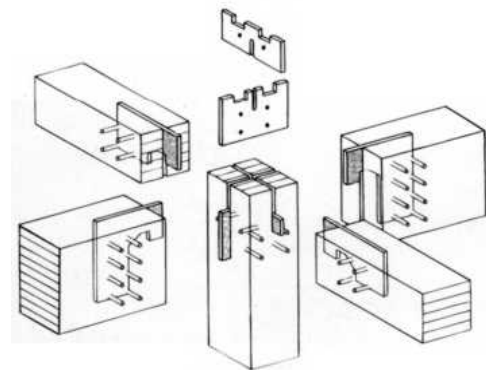


Abb. 5.8 Janebo- Hakenplatten [54]

Blumer- System Binder:

- + gute Eigenschaften bezüglich Festigkeit, Steifheit & Brandschutz (in Holz eingelassene Verbindungselemente)
- + effiziente Montage durch hohen Grad an Vorfertigung im Werk
- + großer Stabdübelschlankheit -> Versagen duktil (erst nach großen Verformungen)
- + Orientierung der Stahlblechstanzung an zentraler Stanzung (-> große Herstellungsgenauigkeit durch CNC- gestanzte Stahlbleche)
- + für ebene und räumliche Tragwerke (Skelettbau, Fachwerkbau...)
- nur für einteilige Stäbe aus Brettschichtholz
- nur für standardisierte Querschnittsabmessungen

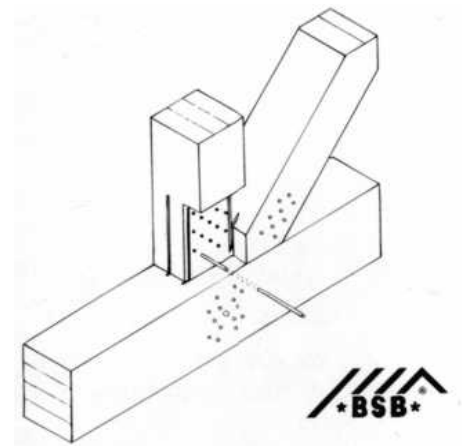


Abb. 5.9 Blumer- System Binder [54]

Bertsche-Systemanker:

- + höhere Holzausnutzung im Anschlussbereich (80% -> üblich= 60%) durch überkreuzten Einbau der Stabdübel
- + kaum Schlupf im Anschluss durch Verguss (Mörtel auf Zementbasis)
- + kurze Lasteintragungslängen durch kreuzweise Anordnung der Stabdübel (Ø 16mm)
- + Hohlkugелеlement: an jedem beliebigen Winkel kann ein Stab angeschraubt werden
- + die im Einleitungsbereich des Holzbauteils auf tretenden Querkraftkräfte können nicht mehr zu einem Aufspalten des Querschnitts des Holzbalkens und zum Bruch desselben führen

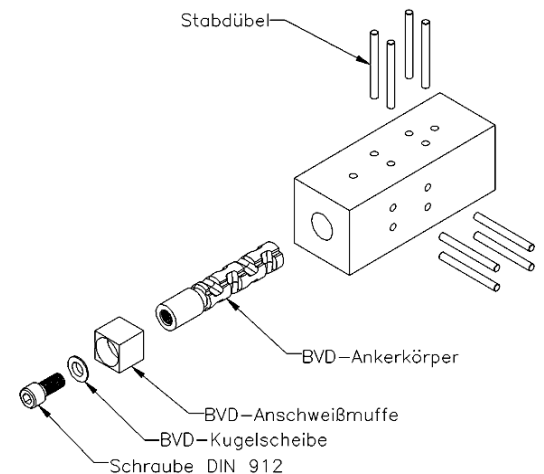


Abb. 5.10 Bertsche- Systemanker [43]

Induo Systemholztechnik:

- + einfache Anschlüsse durch Einbringen des Verbundankers in Hohlraum von Kreuzbalken
- + minimale Anzahl von Bauteilen bei geringem Montageaufwand
- + Kräfte werden über eine große Oberfläche zwischen dem Verbundanker und dem Kreuzbalken effektiv übertragen
- + Hohe Zug- & Druck- sowie Scherverbindungsaufnahme möglich
- + Verbundanker in Kreuzbalken -> Brandsicherheit (Ankerkörper vor einer direkter Beflammung geschützt);
- + auch nicht- orthogonal zueinander stehende Anschlüsse möglich
- + hochleistungsfähige Verbindungskonstruktionen (bisher dem Stahlbau vorbehalten)



Abb. 5.11 Induo- Verbundanker [49]

- + gut für normalkraftbeanspruchte Systeme, insbesondere für räumliche Knotenstabtragwerke
- + Maßhaltige und serielle Fertigung
- + Möglichkeit der rückwärtigen Stabinnenverschraubung (Kardangelen)
- mäßige Querkraftaufnahme
- Spezialwerkzeug (Schablone + konischen Bohrer) erforderlich

#### Sherpa- Verbinder:

- + Material beständig gegen Versprödungsbrüche & gegen gängige Holzsäuren
- + Verbindung ohne seitlichem Spiel
- + bessere Verbindung mit Holzkörper durch geneigte Anordnung der Durchtritte und der Befestigungsmittel
- + einfache Montage

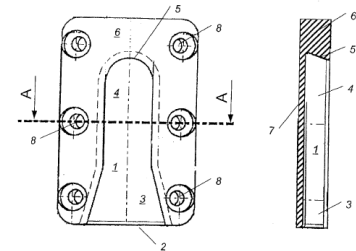


Abb. 5.12 Sherpa- Verbinder [34]

#### Lukas Lang building technologies:

- + 100 % industriell vorgefertigten Einzelteilen, individuell kombinier- & jederzeit veränderbar
- + Kurze Planungszeiten, minimale Bauzeiten, einfachste Montage
- + einfache Schraub- und Steckverbindungen

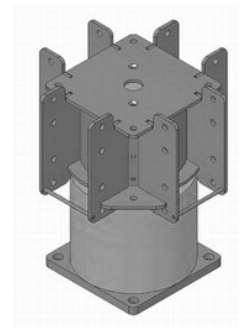


Abb. 5.13 Lukas Lang Knoten [45]

#### Sumitomo- big frame construction method:

- + sichere Übertragung des Biegemoments durch einfache Struktur; kann große Kräfte aufnehmen
- + erweiterte Stützenquerschnitte (Aussteifung) mit längsseitigen Anschlüssen der Bolzenschrauben (-> selbstaussteifendes System)
- + benötigt nur wenige aussteifende Wandelemente (Auskreuzungen, Rahmen) -> offene Räume
- + Anschlüsse zw. Trägern durch mehrere die Kräfte übertragende Elemente (Bleche, Stabdübel, Bolzenschrauben, Schrauben) -> kraftschlüssiger Gesamtknoten
- + gute Eigenschaften bei Erdbebenbelastung
- + Tragwerkelemente auch nachträglich veränderbar/ austauschbar/ umpositionierbar
- viele Einzelelemente
- Montage aufgrund vieler Einzelteile nur durch ausgebildetes Personal

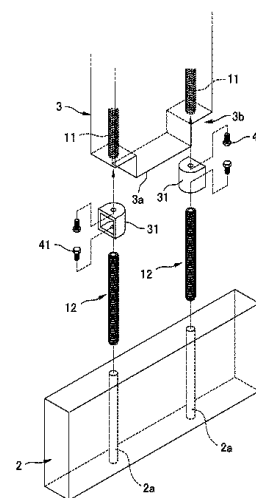
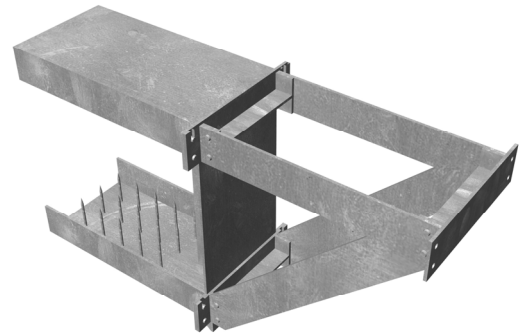


Abb. 5.14 Big frame construction method [34]

20 Geschosse in Holz- die Machbarkeit

- + sichere Übertragung des Biegemoments durch Stahlblechgefüge an Stützen bzw. Stahlblechmantel der Unterzüge
- + für den Einsatz in mehrgeschossigen Tragwerken
- + intelligente Lastabtragung über Knotensysteme im Fassadenschnitt



*Lastableitendes Stahlblechgefüge*

## **6. Entwicklung eines tragenden Systemknotens**

### **6.1. Einleitung**

Der modulare Aufbau mehrgeschossiger Holztragwerkbauten benötigt Systeme, die einerseits eine einfache, flexible und sichere Montage der einzelnen Baugruppen ermöglichen und andererseits sich durch leistungsfähige und hoch belastbare Verbindungskonstruktionen auszeichnen.

#### **6.1.1. Zielstellung und Anforderungen**

Die vorliegende Entwicklung eines tragenden Systemknoten für modulare, flexible Holzskelettbauten ist darauf ausgelegt sowohl hohen Belastungen standzuhalten als auch diese gegebenenfalls weiterzuleiten und somit das statische Gesamtsystem in der Waage zu halten.

Als grundlegende Zielstellung galt dabei, einen kraftschlüssigen Systemknoten zu entwickeln der über eine rahmenähnliche Aussteifung verfügt. Des Weiteren sollte dieser auch Vorzüge hinsichtlich einer möglichen modularen Aneinanderreihungen sowie individuellen Kombinierbarkeit aufweisen und auch so flexibel sein, dass es auch nachträglich noch möglich ist, Einzelelemente entweder auszutauschen oder ganz zu entfernen ohne dass dadurch das Gesamtsystem statisch ins Wanken gerät.

Eine ganz entscheidende Überlegung war es, die einzelnen Bauteile bereits in ihren Dimensionen für den Transport (nationale als auch internationale Entfernungen) vom Werk zur Baustelle im Vorhinein so zu optimieren, dass es in seinen Einzelteilen komplett im Werk vorgefertigt werden kann.

Eine weitere Anforderung war, die Montage der vorgefertigten Elemente vor Ort als so einfach zu gestalten, dass diese selbst von Laien durchführbar ist.

Der Aufbau des Tragskeletts sollte somit aufgrund einfacher Verbindungen in kurzer Zeit möglich sein.

Die modulare Qualität des Tragwerks sollte dabei nicht, wie in marktgängigen Modulbausätzen üblich, auf flächen- oder raumbildenden Elementen basieren sondern im Wesentlichen aus stabförmigen Elementen (Stützen mit Stahlknoten & Trägern) bestehen. Einerseits gewährleistet dies eine effektive Platzausnutzung beim Transport und andererseits besteht dadurch auf der Baustelle die freie Wahl der Montage- bzw. Errichtungsart.

## 6.1.2. Dokumentation der Entwicklungsphasen

### 6.1.2.1. Phase 1

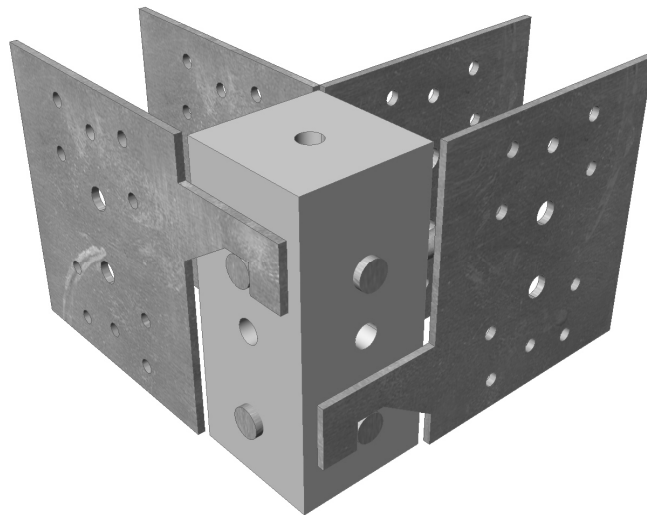
In der ersten, am General Panel Systemknoten orientierten Entwicklungsphase bestand die konstruktive Überlegung aus einem zentralen Gusseisenkörperelement mit Gewindeeinlassungen und mehreren, für die Einhängeauflagerung der Stahlblechhaken verantwortlichen hervorstehenden zylindrischen Aufhängenoppen.

Die an den Gusseisenkörper herangeführten Kreuzbalkenträger sollten einerseits über die im Träger eingefrästen Hakenbleche eingehängt werden und andererseits über rückverankerte Stahlgewindestangen mit dem Gusseisenkörper kraftschlüssig verschraubt werden.

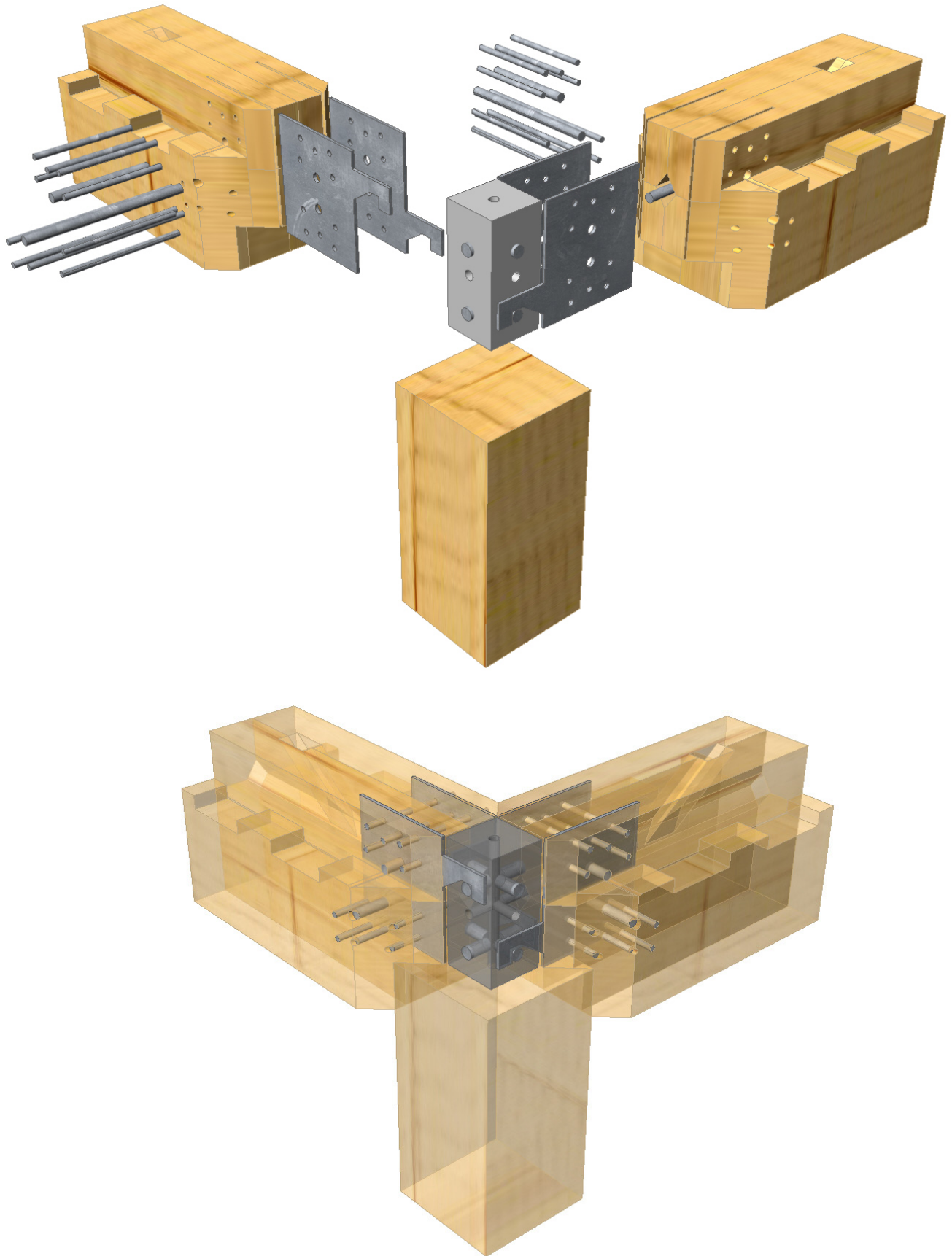
Eine weitere Überlegung war, die Träger untereinander durch die im Winkel von  $45^\circ$  abgekanteten Kontaktflächen gegen Kippen abzusichern.

Um das seitliche Heranführen der Träger an den Knoten von allen vier Seiten zu ermöglichen bestand die Überlegung, die aus den Trägerquerschnitten hervorstehenden Stahlblechhaken gegeneinander höhenversetzt anzuordnen.

Einerseits hätte man dadurch den Vorteil, dass alle Träger bzw. deren Verbindung mit dem Knoten gleich ausgebildet wären und andererseits, dass sich die Träger- durch das Heranschauben der Stahlgewindestangen an den Knoten und durch den damit verbundenen Druckkontakt zwischen den abgekanteten Flächen- selbst gegen Kippen aussteifen könnten.







### 6.1.2.2. Phase 2

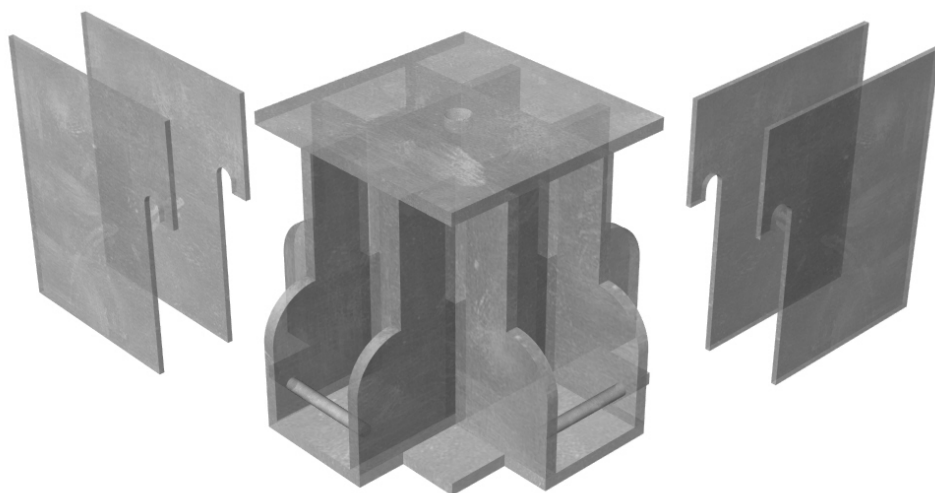
Auf dem ersten Entwurf aufbauend war in Phase 2 nun das grundlegende Ziel den massiven Gusseisenkörper- vor allem auch in Hinblick auf das Transportgewicht- durch ein leichteres Knotenelement zu ersetzen.

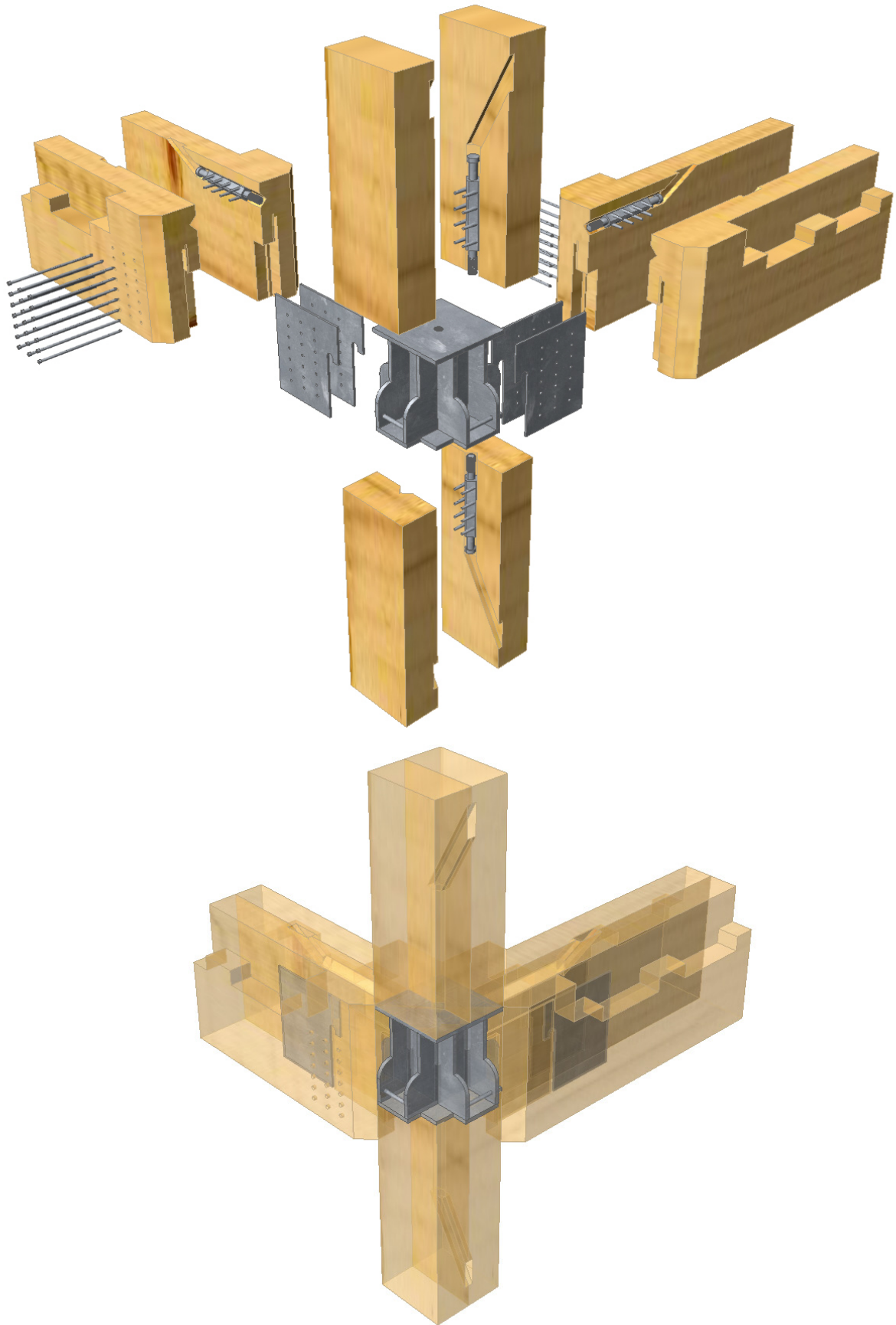
Im Wesentlichen bestand der Knoten nun aus zwei, 1 cm dicken Grundplatten und jeweils zwei, in beide Achsrichtungen stehende, aussteifende Platten. Die Plattendicke von 1 cm ist mit den, für die Aufnahme der Stahlgewindestangen benötigten eingefrästen Gewinden in den Knotenplatten begründet.

Des Weiteren war es in dieser Phase auch wichtig, konstruktive Ideen wie etwa die Verschraubung des Trägers mit dem Knoten etwas detaillierter durchzudenken. Dabei boten sich zwei verschiedene Möglichkeiten an: einerseits das des, zuvor bereits beschriebenen, Bertsche- Systems und andererseits der Induo- Verbundanker. Schlussendlich konnte sich dabei der Induo- Verbundanker aufgrund seiner Rückverankerungsmöglichkeit bzw. eine über die gesamte Ankerlänge durchgehende Gewindebohrung durchsetzen, was beim Bertsche- System aufgrund der Anordnung der Stabdübel und des nachträglichen Mörtelvergusses der überbleibenden Hohlräume so nicht möglich war.

Die im Träger eingefrästen und mit selbstbohrenden Stabdübeln befestigten Hakenbleche wurden in dieser Phase weiterentwickelt. So ragen sie jetzt nicht mehr aus dem Trägerende hervor. Die Träger wiederum sollten im unteren Bereich ausgefräst sein, um sie von oben in einer Flucht mit den Stützenaußenkanten auf die auskragenden Knotenplatten herabsetzen zu können, wo sie dann auf einem horizontal eingeschweißten Stahlrohr einzuhängen sind.

Die kraftschlüssige Endfixierung sollte in dieser Phase wiederum die, durch die Induo- Anker laufenden, rückverankerten Stahlgewindestange übernehmen. Grundgedanke dieser Verbindungsmöglichkeit hierbei war einerseits die im oberen Bereich des Trägers auftretenden Zugkräfte über den Induo- Anker und andererseits die im unteren Bereich des Trägers auftretenden Druckkräfte über Kontakt zwischen Träger und Stütze abzuleiten.





### 6.1.2.3. Phase 3

Als Weiterentwicklung dieser Phase gelten hier die aufgelockerte Geometrie des zentralen Stahlknotens sowie die Aufnahme der Querkkräfte über Kontaktflächen mittels Auflagerdruck, anstatt der eingehängten Stahlbleche- also eine Rückführung bzw. Vereinfachung von in Phase 2 angedachter Verbindungsmittel, hin zu statisch grundlegenden Lösungsansätzen.

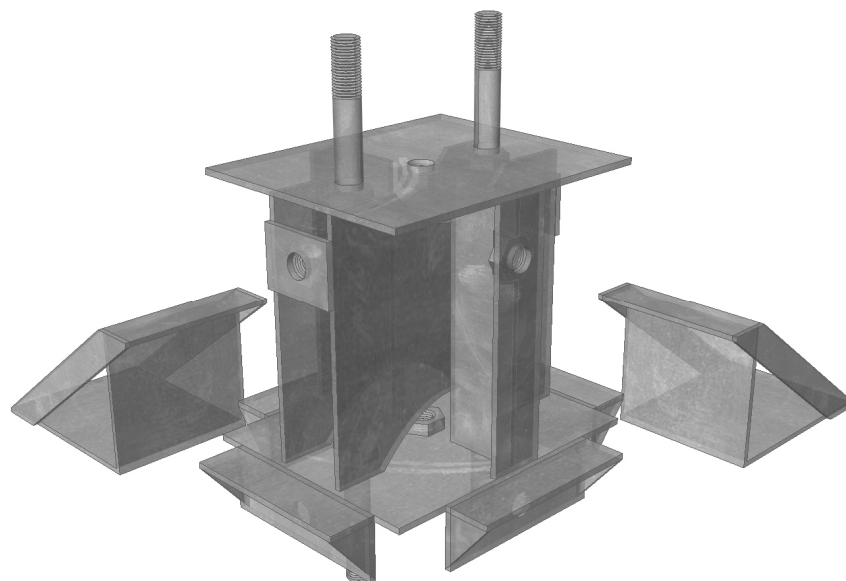
Als wesentliche Idee ist weiter anzuführen, dass sich hier die, in der vorangegangenen Entwicklungsphase angedachte Weiterleitung von Zug und Druck mittels nebeneinander in die Stützen eingefrästen Induo- Ankern Stützen fortsetzt und sich dadurch erstmalig die Möglichkeit einer rahmenähnliche Knotenwirkung bietet.

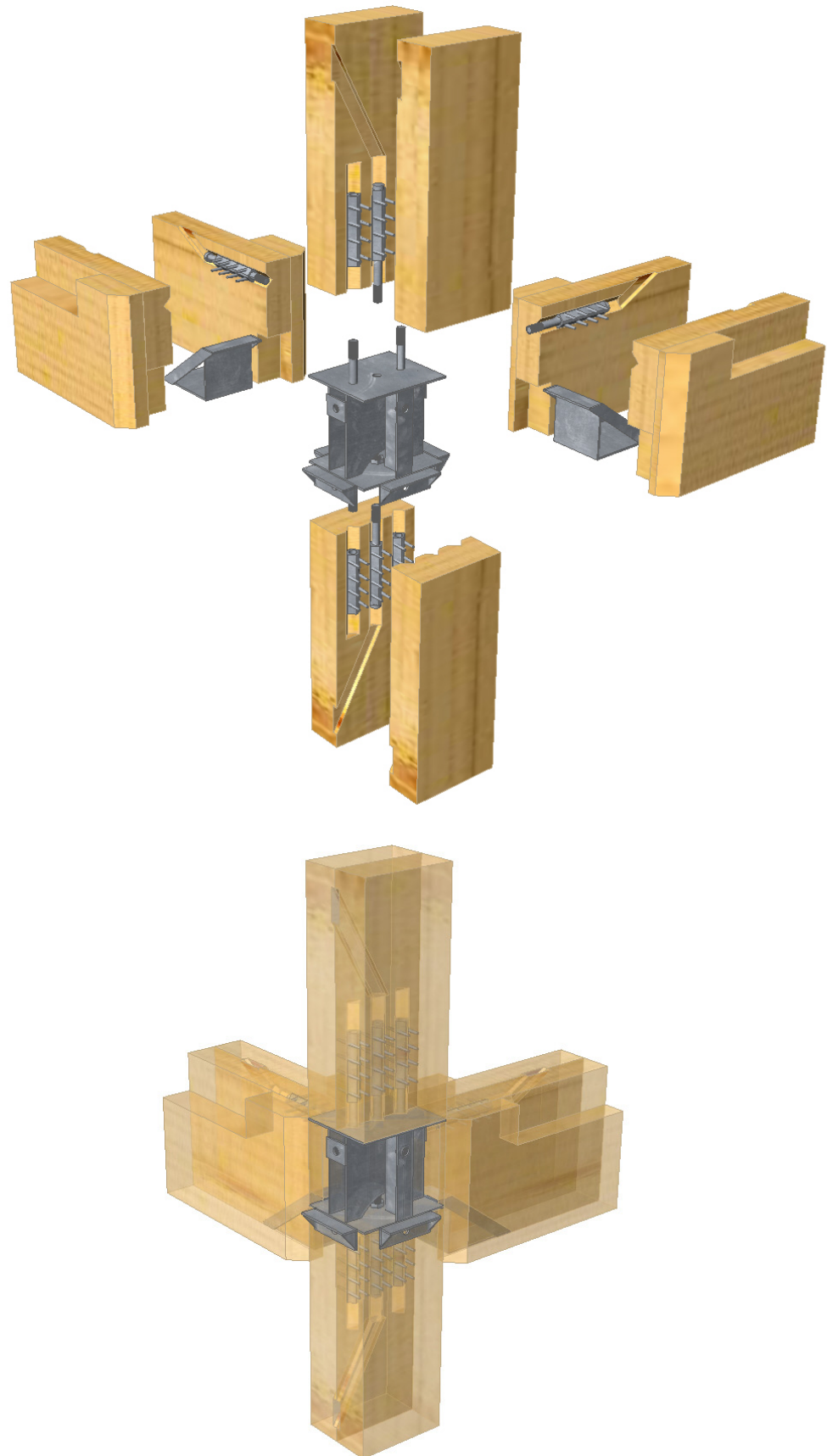
Der Stahlknoten als zentrales Element wurde sowohl durch eine Reduzierung der Plattendicke auf 5 mm und das dadurch nötige Anschweißen von Gewindemuttern als auch durch eine andere Anordnung der stehenden Knotenplatten aufgelockert. Dieser Knoten besteht nun in Richtung der lastabtragenden Achse aus zwei parallel zueinander stehenden Stahlplatten und einer, dazu orthogonal, stehenden Stahlplatte als auch aus den beiden Grundplatten sowie aus, an der unteren Grundplatte angeschweißten Auflagerverstärkungen.

Die Aufnahme der Querkkräfte erfolgt über Kontaktdruck der Träger auf die auskragenden, von unten mit Winkeln verstärkten Podeste der Knotengrundplatte.

Im Gegensatz zum vorangehenden Entwurf, wo sich ein Träger noch aus zwei Holzquerschnitten (mit Ausfräsungen für Nebenträger- und Bodenplattenaufleger) zusammensetzte, ist der Träger im aktuellen Entwurf bereits vierteilig. Er setzt sich nun zusammen aus zwei tragenden BSH- Querschnitten und den beiden seitlich daran befestigten Auflagerquerschnitten.

Der Bereich der beiden tragenden Querschnitte ist an den beiden Trägerenden zu beiden Seiten ausgefräst, wo ein, die Last ab- bzw. weiterleitendes Stahlblechgefüge eingesetzt und befestigt wird, welches einerseits dem Träger eine verlängerte Auflagerfläche bietet und andererseits entstehende Druckkräfte horizontal in die Stütze ableitet.





## 6.2. entwickelter Systemknoten

Im letzten Schritt der Entwicklung des Systemknotens galt es nun, Details nochmals zu überarbeiten und aufeinander abzustimmen.

Dies betraf vor allem eine weitere Überarbeitung des Stahlblechgefüges an der Unterseite des Trägers aber auch das Ableiten der, durch das Stahlblechgefüge entstehenden horizontalen Druckkräfte in die Stützen. Zu guter Letzt mussten sich sämtliche Verbindungselemente einer nochmaligen „Reinigungsprozedur“ unterziehen, durch die wiederum alle überflüssigen und, für das Gesamtsystem belanglosen Einzelteile wegfielen.

Als Ergebnis des Entwurfsprozesses kann man hiermit festhalten:

Die Verbindung sowohl der zweiteiligen Stützen als auch der vierteiligen Träger erfolgt über gusseiserne Induo-Ankerkörper mit Innengewinde, die in die BSH- Querschnitte eingefräst und verankert sind. Durch diese Ankerkörper und auch das, im unteren Bereich der Träger eingefräste Stahlblechgefüge in Kombination mit den Stahlknoten erhält das System seine äußerst biegesteife Rahmenwirkung.

Vorgefertigte Wand-, Decken- und Bodenelemente können so, verbunden mit den stabförmigen Elementen wiederum eine zusätzliche aussteifende und rahmenergänzende Wirkung erzielen.

Bei der Montage werden die Träger auf den Auflagerkonsolen des Stahlknotens eingehängt, auf welche zugleich die Querkräfte über Druckkontakt übertragen werden.

Die, im oberen Bereich der Träger auftretenden Zugkräfte werden durch die rückwärtige Stabinnenverschraubung über Induo- Anker in den Knoten eingeleitet bzw. über den Knoten in die Induo- Ankerkörper der Stützen weitergeleitet.

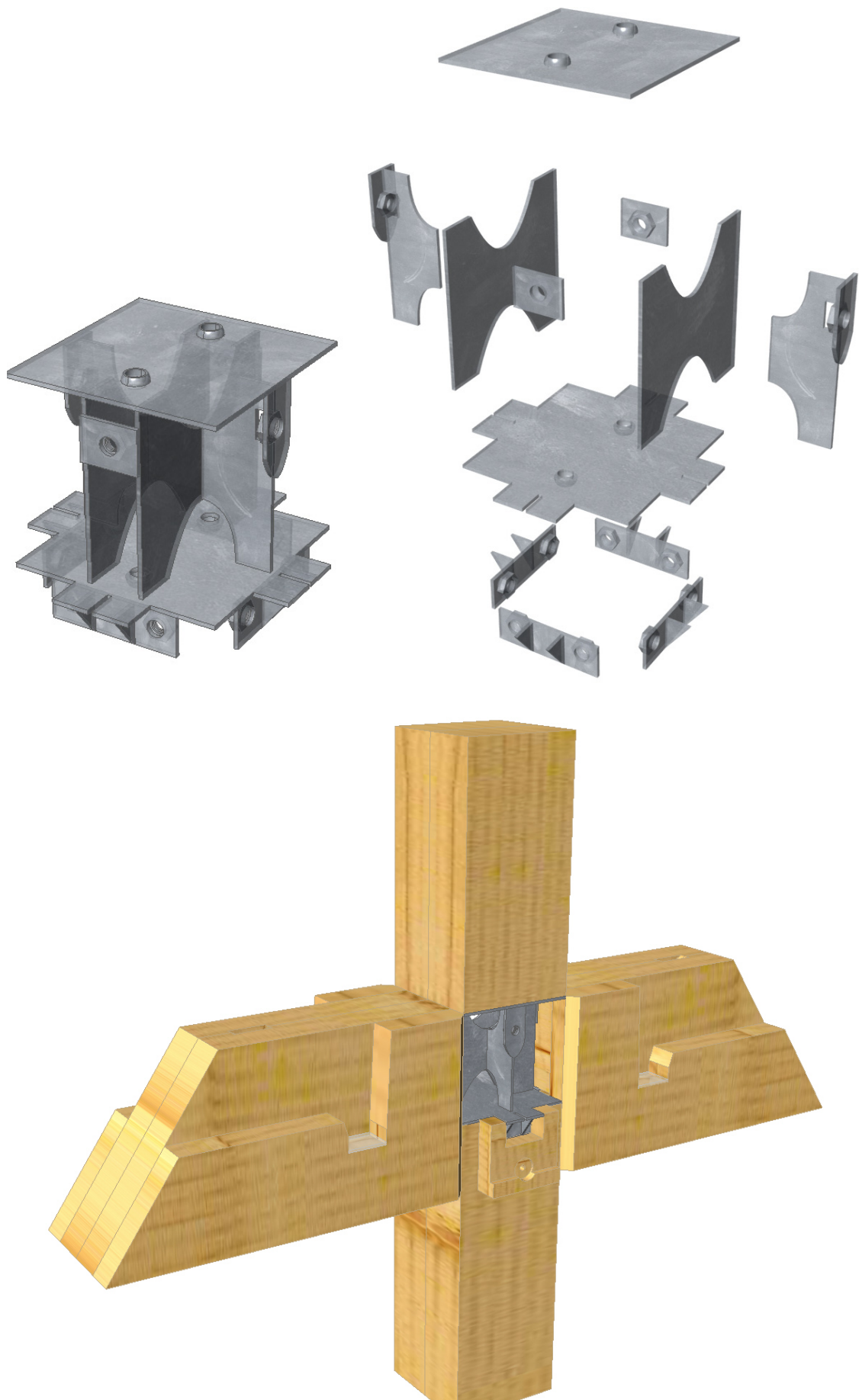
Das, im unteren Bereich der Träger befestigte Stahlblechgefüge dient einerseits als verlängerter Arm des Auflagerkontaktes, andererseits übernimmt es die horizontale Druckweiterleitung in die Stütze.

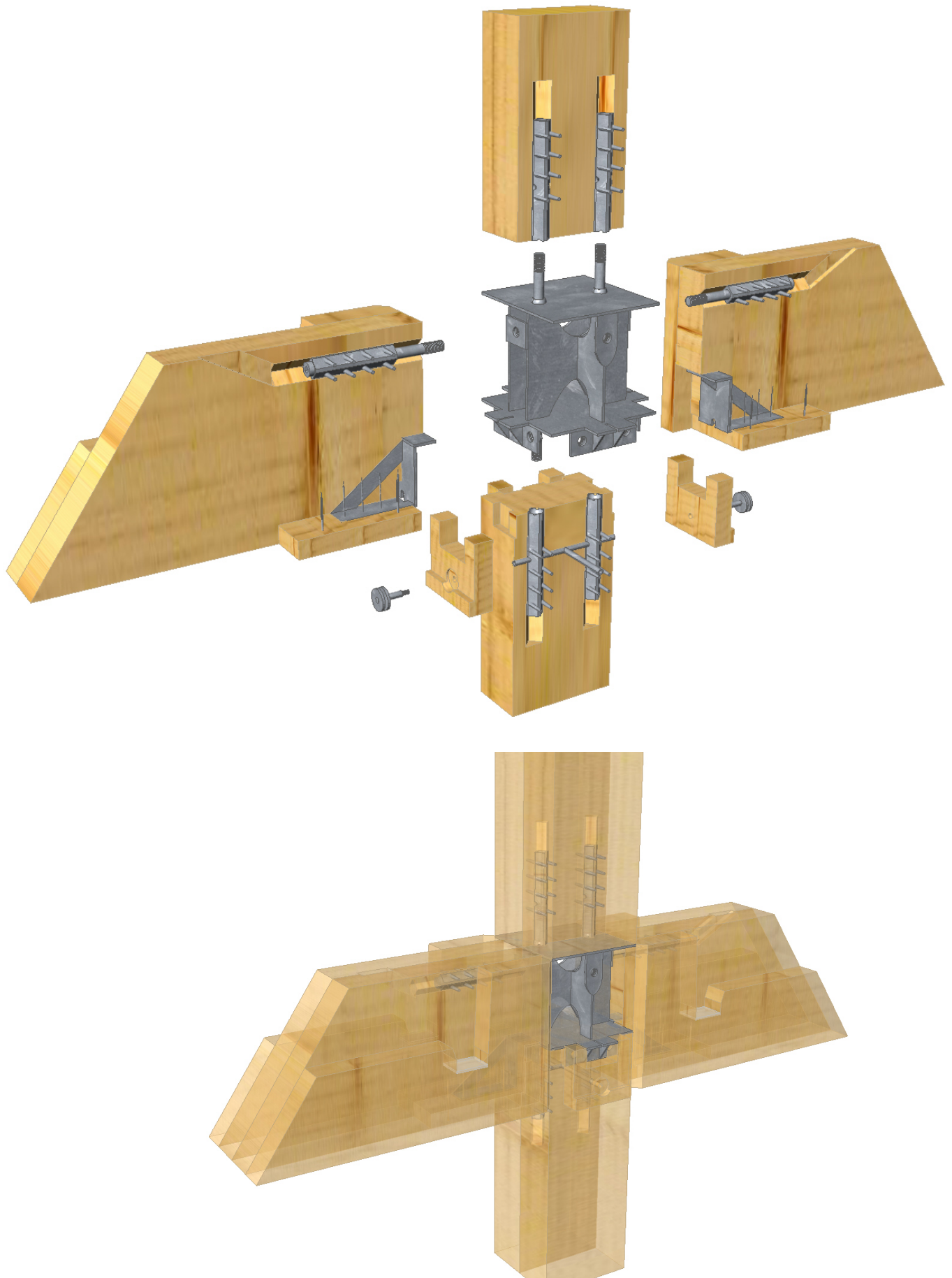
Im Zuge einer optimalen Druckweiterleitung des Stahlblechgefüges in die Stütze wurde ein, durch die Stütze sowie durch die beiden Induo- Anker hindurch verlaufendes Stahlrohr eingesetzt. Dieses ist in der Lage sowohl Druck weiterzuleiten, als auch durch, hinter den Stahlblechgefügen anbringbaren Scheiben, Zugkräfte zwischen Stütze und Träger aufzunehmen.

Durch die rasch und einfach durchführbaren Schraub- und Steckverbindungen der einzelnen vorgefertigten Elemente untereinander, mittels rückwärtiger Stabinnenverschraubung der Stützenfüße und Träger mit dem Stahlknoten, kann die Montage vor Ort mit dem passenden Werkzeug (Inbus-Steckschlüssel mit Kardangelenk ) auch von Laien durchgeführt werden. Der Aufbau des Tragskeletts kann somit in äußerst kurzer Zeit erfolgen.

In dem, auf einen platzsparenden Transport abgestimmten Achsraster von 2,30 m kann man die vorgefertigten Elemente individuell kombinieren bzw. jederzeit austauschen oder entfernen. Durch eine Erhöhung des Trägerquerschnitts in der Vorfertigung sind damit Spannweiten im Bereich eines Vielfachen des Achsrasters möglich.



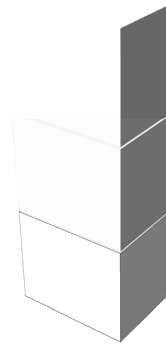
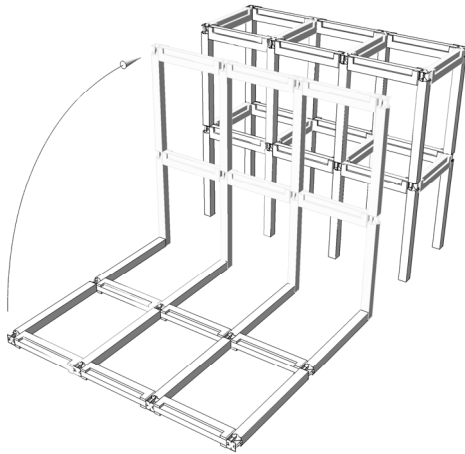




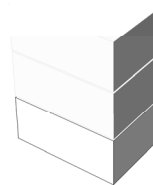
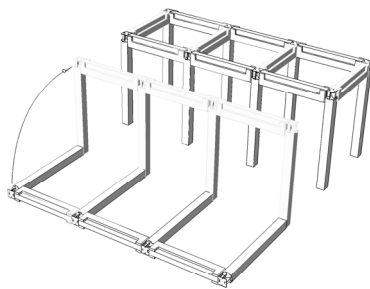


### 6.2.1. Elementierung und Montagemöglichkeiten

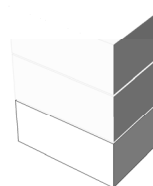
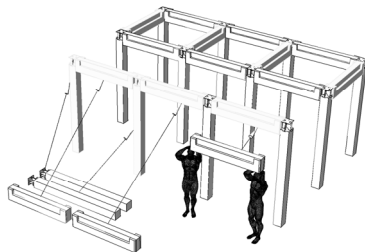
Ein großer Vorteil dieses Systemknotens besteht darin, dass man auf der Baustelle die Art der Errichtung bzw. den Montageablauf selbst aus folgenden Varianten wählen kann:



*Montage 2- geschossiger Rahmen*



*Montage 1- geschossiger Rahmen*



*Montage Einzelelemente*

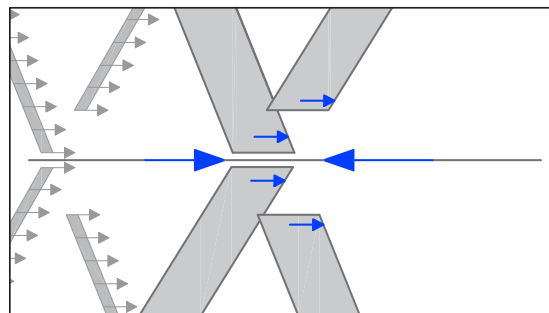
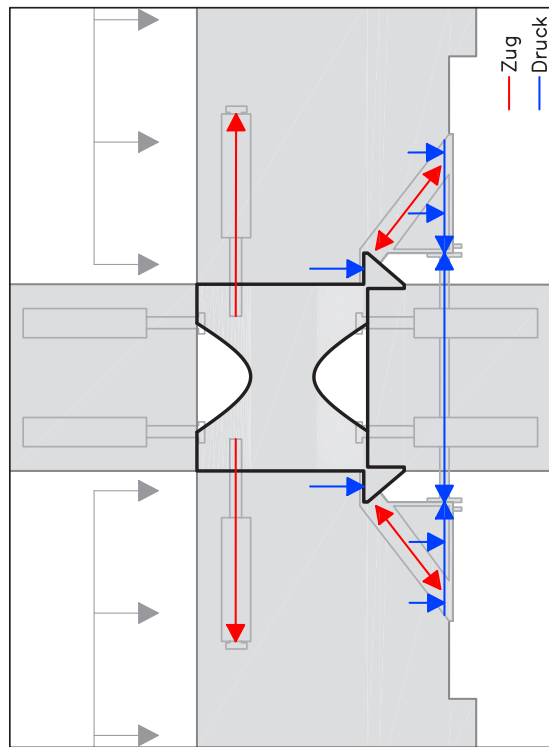
### 6.2.2. Lastannahmen

Um die Flexibilität des Systemknotens zu demonstrieren sind in den folgenden Abbildungen 3 mögliche Lastfälle dargestellt, welche die zu erwartenden Reaktionen des Systemknotens aufzeigen.

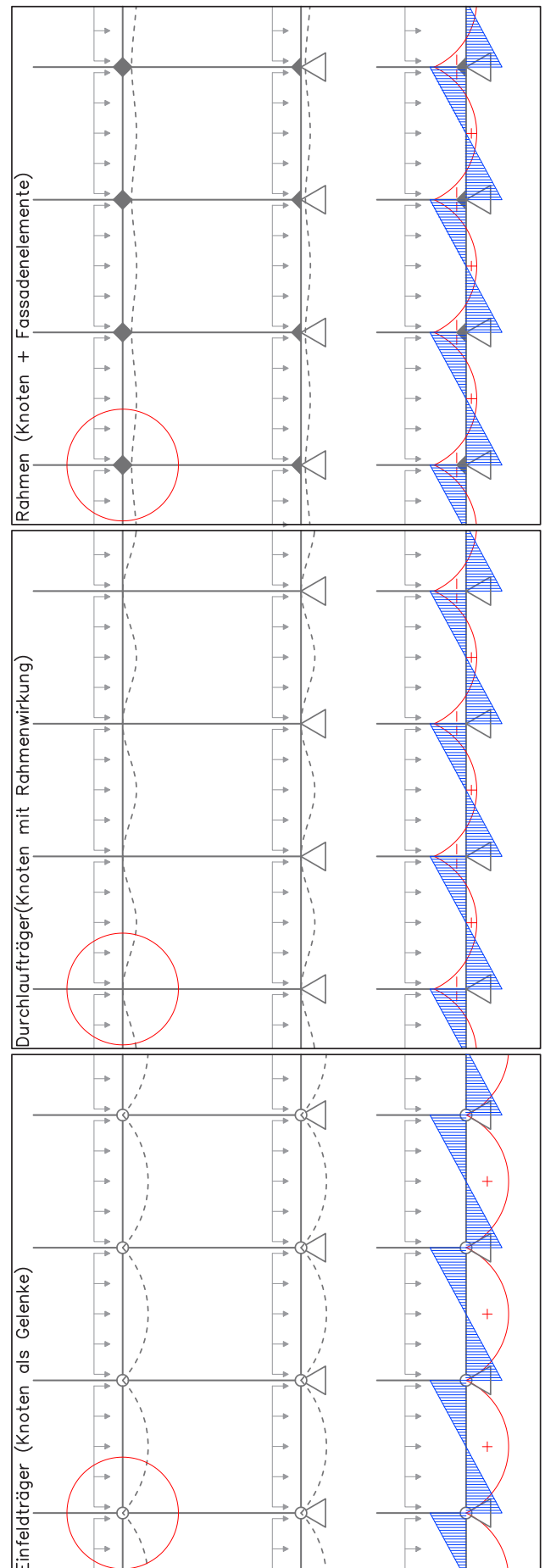
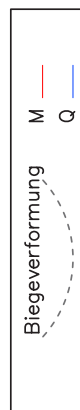
Dabei wird in Lastfall 1 die Normalsituation dargestellt: 2 gleich lange Träger am Systemknoten.

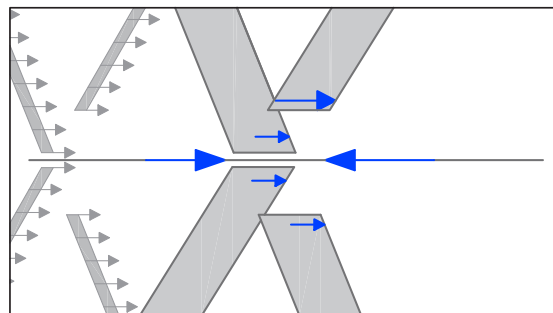
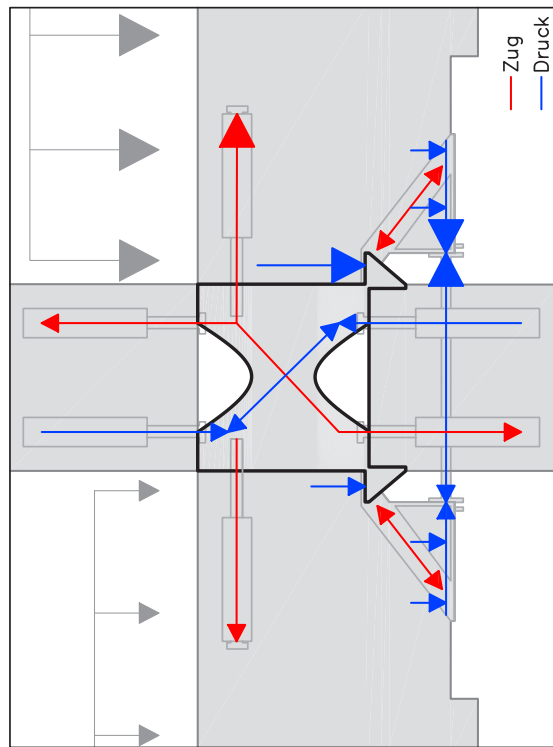
In Lastfall 2 wird von 2, mit dem Systemknoten verbundenen, unterschiedlich langen Trägern ausgegangen.

Im 3. Lastfall wird die Demontage eines einzelnen Trägers bzw. die Auswirkung der Demontage auf das Gesamtsystem veranschaulicht.

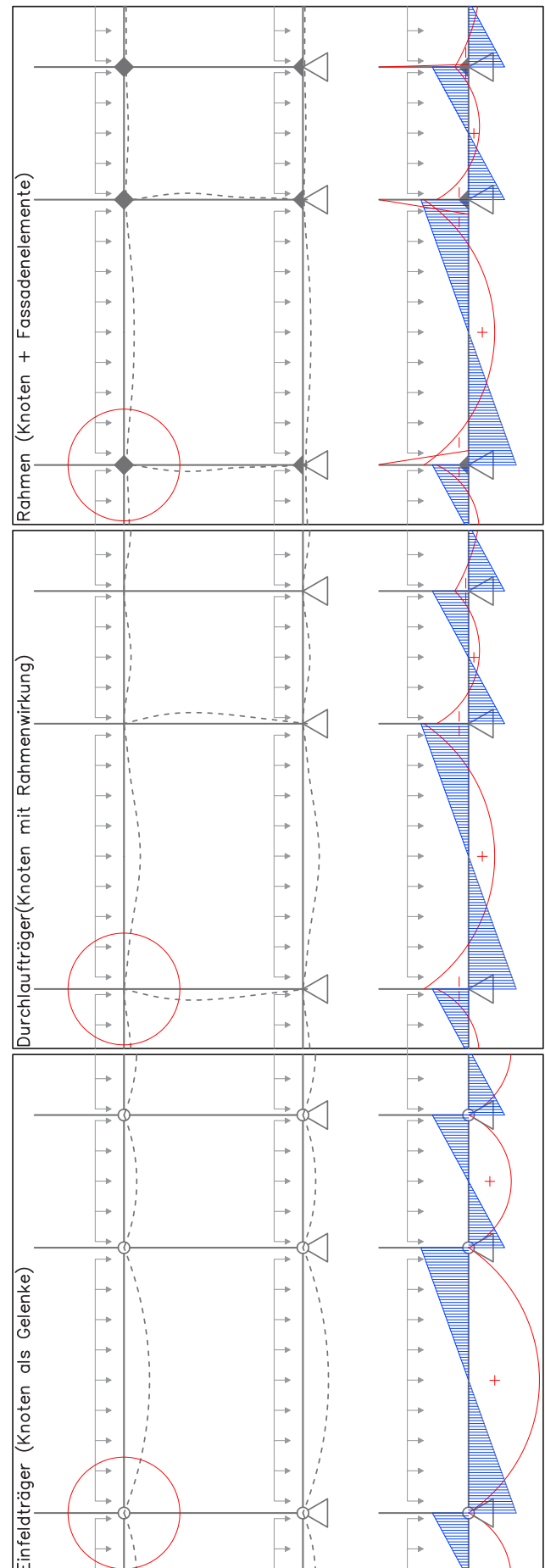
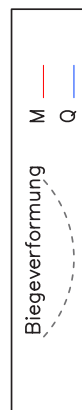


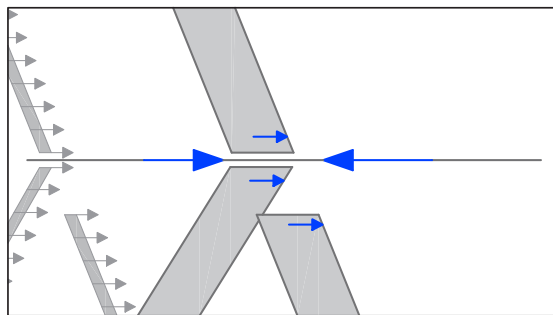
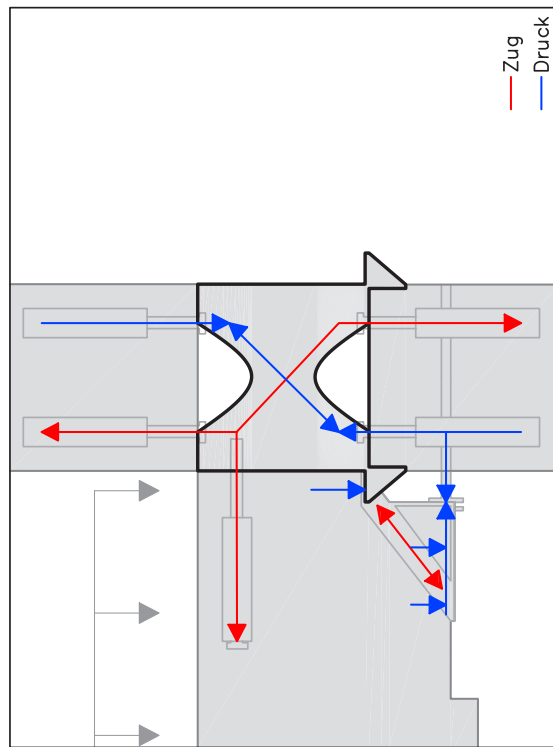
Lastfall 1:  
einheitliche Längen  
(e...2,3m)



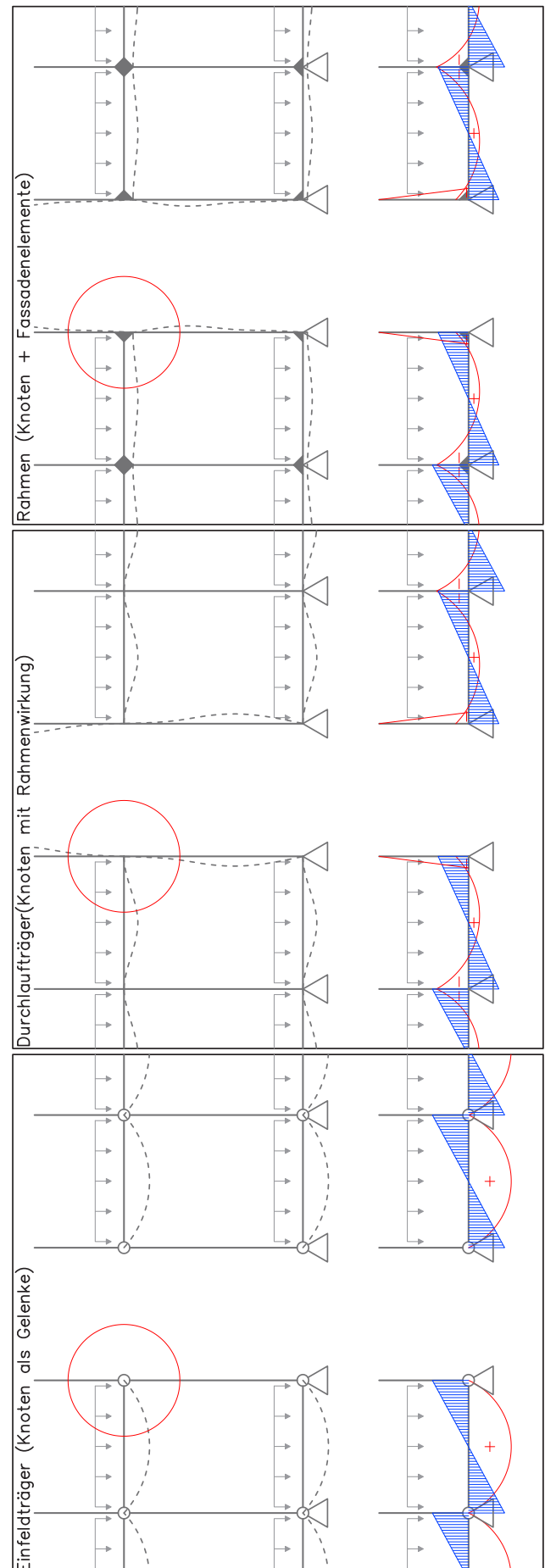
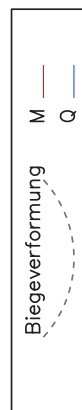


Lastfall 2:  
verschiedene Längen  
(e1...2,3m; e2...4,6m; e3...6,9m)





Lastfall 3:  
Demontage von einzelnen  
Elementen;  
Fassadeneck



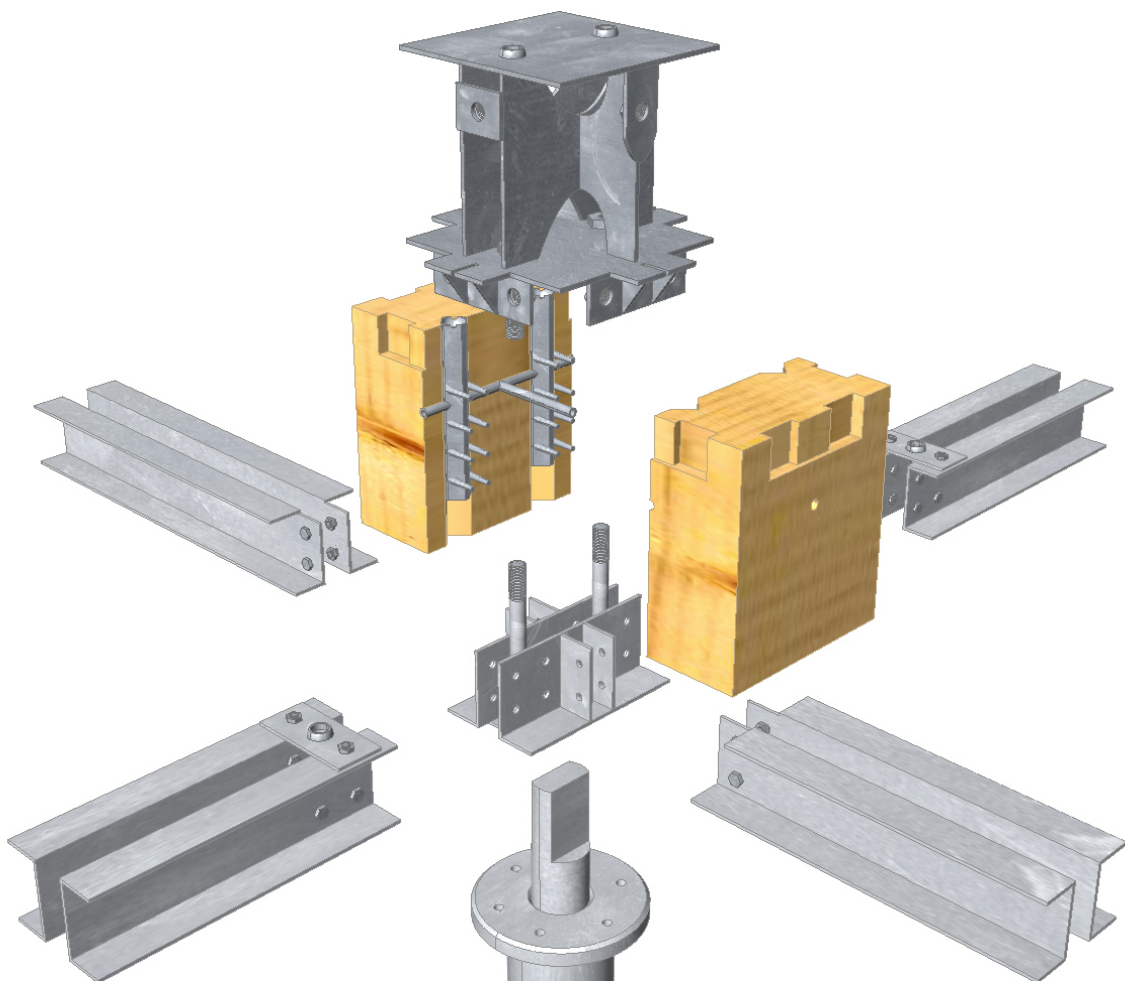
### 6.3. entwickelter Systemknoten als Anschlussknoten zur Fundamentierung

Als konstruktive Verbindungsmöglichkeit zwischen den entwickelten Systemknoten und den, im folgenden Entwurf eingesetzten Schraubfundamenten musste hier nun ein weiteres konstruktives Detail entwickelt werden.

Ergebnis dieser Entwicklung ist ein weiterer Systemknoten, der einerseits die Schraubfundamente mit dem Holztragwerk und andererseits axial verlaufende Stahlprofilträger als horizontale Aussteifung der punktförmigen Fundamentierung miteinander verbindet.

Wie bei vorangehenden Details war hier wiederum wichtig, eine- in seinen Dimensionen- für den Transport optimierte sowie auch für Laien leicht handhabbare Lösung zu finden.

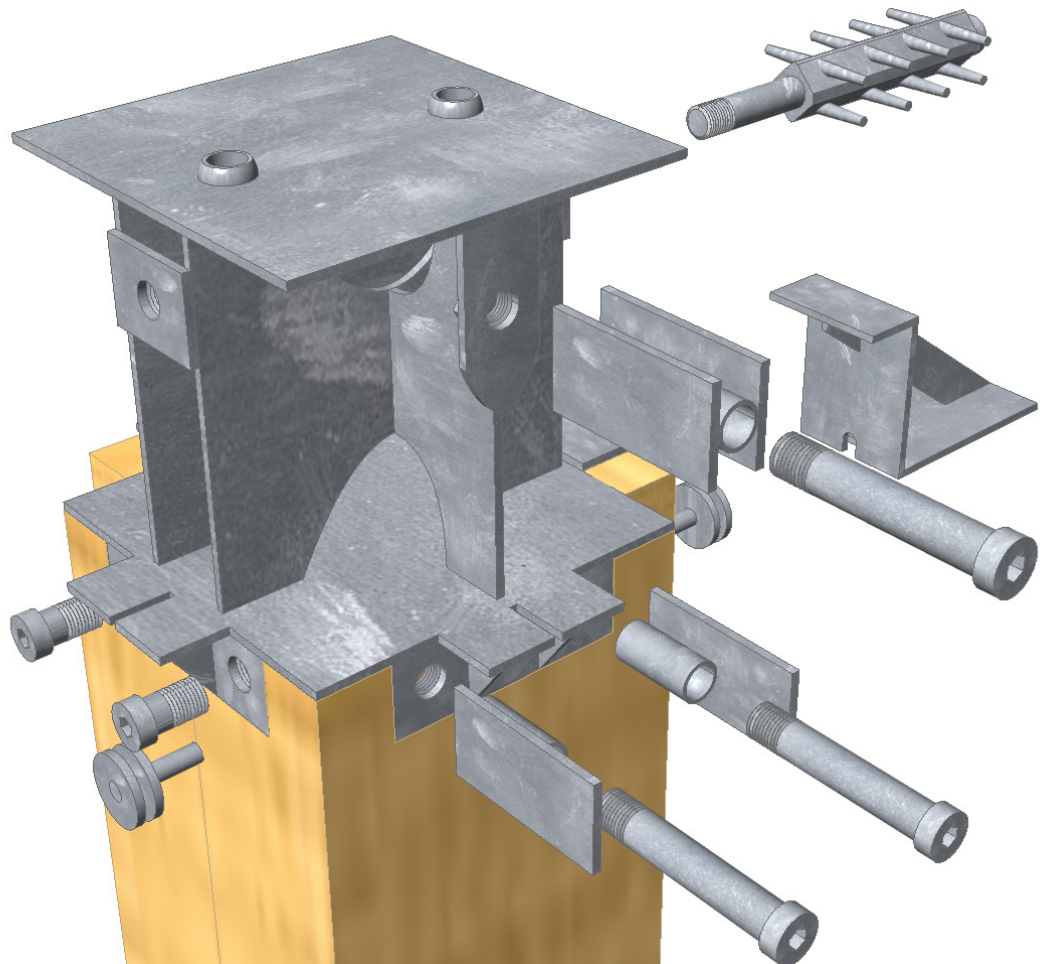
Dies gelingt mittels einfacher Steck- und Schraubverbindungen.

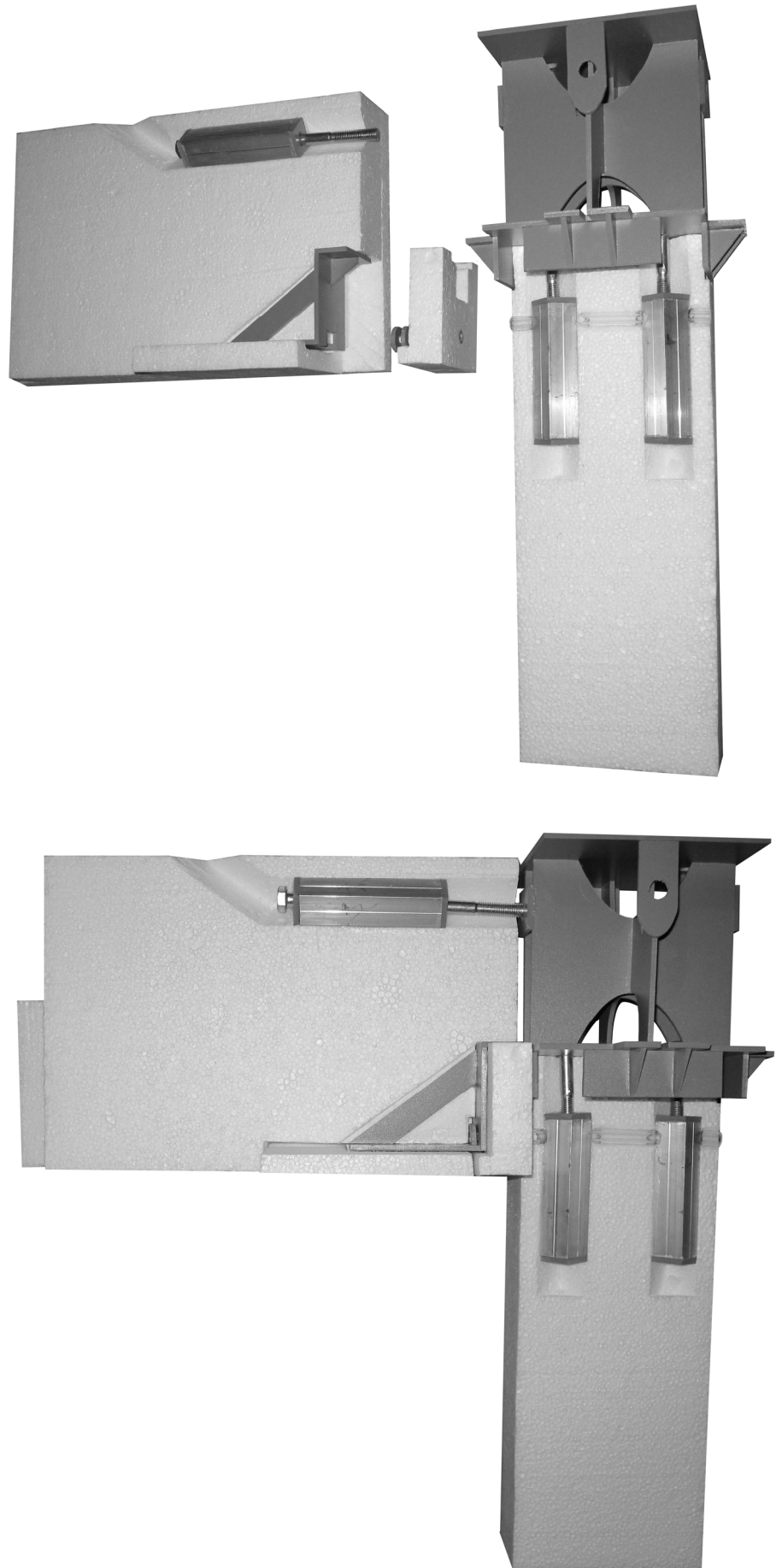


#### 6.4. Demontagemöglichkeit und Austauschbarkeit einzelner Elemente

Durch die rasch und einfach durchführbaren Schraub- und Steckverbindungen der einzelnen vorgefertigten Elemente untereinander, mittels rückwärtiger Stabinnenverschraubung der Stützenfüße und der Träger mit dem Systemknoten, kann die Montage vor Ort mit dem passenden Werkzeug (Inbus-Steckschlüssel mit Kardangelenk) auch von Laien durchgeführt werden. Der Aufbau des Tragskeletts kann somit in äußerst kurzer Zeit erfolgen.

In dem, auf einen platzsparenden Transport abgestimmten Achsraster von 2,30 m kann man die vorgefertigten Elemente individuell kombinieren bzw. jederzeit austauschen oder entfernen. Durch eine Erhöhung des Trägerquerschnitts in der Vorfertigung sind damit Spannweiten im Bereich eines Vielfachen des Achsrasters möglich.



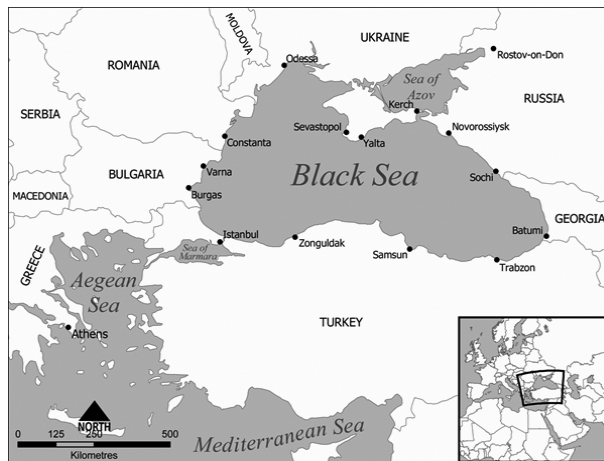




## 7. Entwurf eines demontablen, flexibel nachnutzbaren Wohnbaus

### 7.1. Basisrecherchen

#### 7.1.1. Standort Sotschi und Krasnaja Poljana



Sotschi ist eine Stadt am Schwarzen Meer in Russland. Sie liegt in der Region Krasnodar nahe der Grenze zu Georgien und hat rund 400.000 Einwohner. Sotschi ist einer der beliebtesten Bade- und Kurorte Russlands.

Geographische Lage  
 $43^{\circ} 35' 0'' \text{ N}$ ,  $39^{\circ} 44' 0'' \text{ E}$   
 Region Krasnodar  
 (5,1 Millionen Einwohner)

Abb. 7.1 Sotschi, geographische Lage [58]

### Stadtgliederung

Sotschi ist in vier Teile (Rajons) gegliedert: Lasarewski, Zentralny, Chostinski, Adlerski (Reihenfolge von Nordwesten nach Südosten).

Dazu kommt die Siedlung städtischen Typs Krasnaja Poljana (zum Rajon Adlerski) mit knapp 4.000 Einwohnern und insgesamt 78 ebenfalls von der Stadt verwaltete dörfliche Siedlungen, größtenteils in den Tälern des bergigen Hinterlandes.

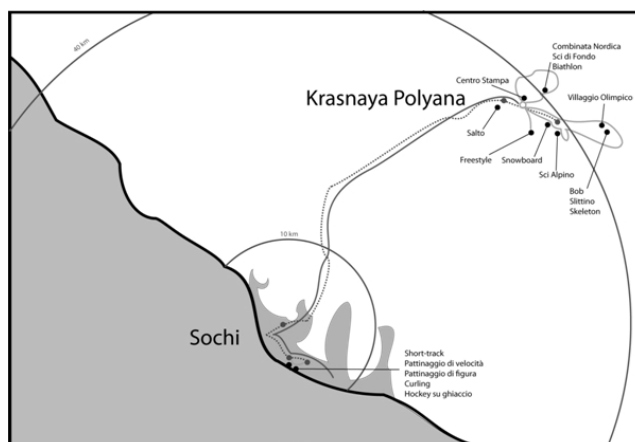


Abb. 7.2 Sotschi, Krasnaja Poljana [59]

Sotschi liegt am Fuß des Kaukasus. Vom Strand aus sind die schneebedeckten Gipfel zu sehen. Neben Sand- und Kiesstränden lockt die Stadt mit einer subtropischen Vegetation, Heilquellen, unzähligen Parks, Denkmälern und einer extravaganten stalinistischen Architektur. Die Stadt ist bisher für ihre Sommersporteinrichtungen bekannt. Sotschi und der nahe gelegene Ort Krasnaja Poljana sind Austragungsort der Olympischen Winterspiele 2014.

### 7.1.2. Rahmenbedingungen Olympiade 2014

Die Ausbaupläne für den Olympiaort Sotschi und Krasnaja Poljana lagen bereits zur Bewerbung vor. Über 12 Milliarden Dollar werden in den Ausbau von Infrastruktur um Sotschi und Sportstätten für die Olympiade im Rahmen eines staatlichen Planes der russischen Regierung gesteckt. Die wichtigsten Punkte sind dabei der Ausbau der Verkehrsinfrastruktur, der Sportstättenbau und die Olympischen Dörfer.

Es sollen zwei olympische Dörfer für die Athleten entstehen. Das Hauptdorf soll an der Küste des Schwarzen Meeres gebaut werden, ein zweites, etwas kleineres olympisches Dorf in den Bergen von Krasnaja Poljana.

Zwischen Sotschi und Krasnaja Poljana liegen etwa 50 Kilometer.

### 7.1.3. Anforderungen des IOC

#### „IOC Olympic Village Guidelines and NOC Requirements“

„Das Olympische Dorf ist ein sicherer, gut geschützter und komfortabler Wohnkomplex für die Athleten. Es erfüllt deren Bedürfnisse und hilft ihnen sich zu Hause zu fühlen, um sich mental und körperlich für ihre Teilnahme an den Spielen, ohne äußere störende Einflüsse (Presse, Öffentlichkeit, Besucher, Sponsoren, etc.) vorzubereiten.“

Internationales Olympisches Komitee (IOC)

Wie alle Bereiche bei den Olympischen Spielen wird auch die Gestaltung des Olympischen Dorfes und der Unterkünfte durch das IOC geregelt. Alle, das Olympische Dorf betreffenden Vorgaben sind in den „IOC Olympic Village Guidelines and NOC Requirements“ zusammengefasst. Des Weiteren werden vom IOC sogenannte „Manuals for Candidate Cities“ als Hilfestellung für Bewerberstädte zur Vorbereitung ihrer Bewerbungsunterlagen herausgegeben. In diesen Manuals sind die, für eine Bewerbung maßgeblichen Aspekte zusammengefasst.

Grundlage aller, die Olympischen Spiele betreffenden Unterlagen ist die Olympische Charta. Im Folgenden werden die „Olympic Village Guidelines“ bezüglich ihrer Aussagen zur Ausgestaltung des olympischen Dorfes zusammengefasst.

#### Zonierung innerhalb des olympischen Dorf

Innerhalb des Olympischen Dorfes ist eine Unterteilung in zwei Zonen vorgesehen.

Für die Unterbringung der Athleten und Teamoffiziellen (Trainer, Ärzte, NOK-Stab) wird ein Wohnbereich, die „Residential Zone“, eingerichtet. Verschiedene Dienstleistungen, Geschäfte sowie Freizeit- und kulturelle Einrichtungen befinden sich in der „International Zone“. Die beiden Zonen sind strikt voneinander getrennt.

#### Residential Zone:

Für die Unterbringung der Athleten und Teamoffiziellen sollen Einzel- oder Doppelzimmer bereitgestellt werden. Die Einzelzimmer sind für leitende Mannschaftsmitglieder, ältere Personen, kranke Personen sowie den Chef de Mission und Ärzte vorgesehen.

Des Weiteren sind Arrangements für die getrennte Unterbringung von Frauen und Männern sowie Athleten verschiedener Nationen zu treffen. Letztere sollen unter keinen Umständen im selben Zimmer oder Appartement untergebracht werden.

Pro Person muss ein Minimum von 12 m<sup>2</sup> Grundfläche bereitgestellt werden. Das IOC legt nahe, die Zimmer zu Gruppen (Appartements) zusammenzufassen, gerade in Hinblick auf die nacholympische Nutzung.

In den „Olympic Village Guidelines“ wird ausdrücklich darauf hingewiesen das im Falle der Nutzung des Olympischen Dorfes für die Paralympischen Spiele darauf zu achten ist, dieses im besten Fall gänzlich barrierefrei auszuführen.

Für Ausrüstung, Bekleidung und das Gepäck der Delegationen müssen in der Nähe der Unterkünfte große Stauräume vorgehalten werden.

Ebenfalls in der „Residential Zone“ wird ein Bereich (Umkleideräume, sanitäre Anlagen, Kantinen ...) für das im Olympischen Dorf arbeitende Personal benötigt.

#### Sicherheitsanforderungen

Es wird verlangt, dass es möglich sein muss, den Athleten im olympischen Dorf optimale Sicherheitskonditionen zu bieten, jedoch darf durch die Sicherheitsvorkehrungen keine bedrückende Atmosphäre entstehen.

#### Zusammenfassung der wichtigsten planungsrelevanten Punkte

- geschützt vor äußeren Störeinflüssen (Presse...) durch Empfang, Portier, Wachpunkte
- verschiedene Zimmertypen (Einzel, Doppel, Vierer, Appartement...)
- Trennung Frauen- Männer
- barrierefrei, rollstuhlgerecht (Paralympics und auch in Hinblick auf Nachnutzung)
- mind. 12 m<sup>2</sup> pro Person
- verkehrsgünstige Lage
- Nachnutzungschancen
- ökologische Verträglichkeit/ Nachhaltigkeit
- gute Einbindung in olympisches Gesamtkonzept
- Wohnkomfort (Schlaf-, Wohn-, Ess-, Wasch-, Empfangs-, Aufenthaltsbereich)

## 7.2. Konzept

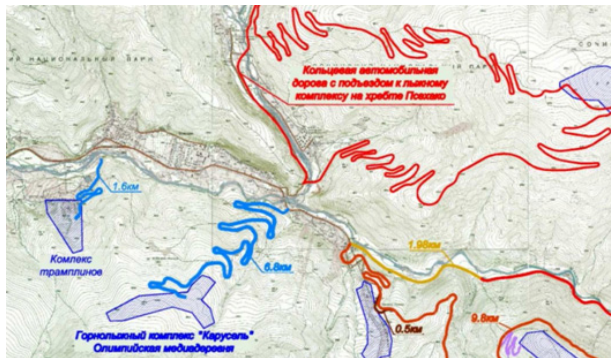


Abb. 7.3 Krasnaja Poljana [60]



Abb. 7.4 Roza Khutor Plateau [60]

### Standort

Krasnaja Poljana am Roza Khutor-Plateau (Skigebiet)

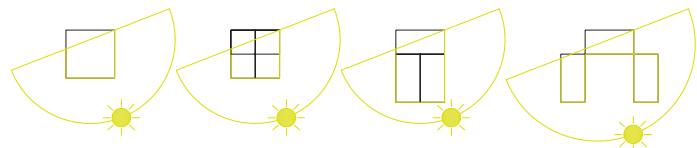
- kurze Anfahrtszeit zu olympischen Wettkampfstätten der alpinen Bewerbe
- verkehrsgünstige Anbindung ( etwa 50 km bis zum Airport „Adler“ in Sotschi)

- Einbindung in olympisches Gesamtkonzept:  
zentrales olympisches Dorf im Imeretinskaja-Tal,  
weiteres olympisches Dorf in Krasnaja Poljana bzw. in Roza Khutor

- > Nachnutzungschancen:
  - Wohnbau;
  - Alpintourismus „Alpin- Appartements“;
  - „Übersiedlung“/ Demontage

### Konzeptbeschreibung

- kompakter Baukörper (bauphysikalische Aspekte),
- Anordnung der Baukörper zu Gunsten einer optimalen Südorientierung (Solar-energie)
- modular erweiter/rückbaubar
- offene Grundrisse & einfach gegliedert: Spielraum in der Nachnutzung (bis auf fixe Installationskerne)
- hoher Grad an Vorfertigung (für Transport optimierte Maße)
- aufgeständerte Baukörper :
  - > Haustechnikräume in EG (ohne Aushub)
  - > von außen nicht einsehbare Räume
  - > optisch durch Stützen aufgelockert
  - > Schraubfundamente



### Entwurfsbeschreibung

Der Gebäudekomplex ist als Wohnkomplex konzipiert.

Er besteht aus 2 verschiedenen Gebäudeteilen, welche je nach Wunsch und Anwender bzw. Inhaber miteinander kombiniert werden können.

An je einem Erschliessungsturm schließt ein ca. 25 Meter langer an.

Der geplante Gebäudekomplex hat eine Gebäudehöhe von fünf Geschossen (bei Geschosshöhen von 3,10 m). In diesem verteilen sich 58 Wohneinheiten mit Wohnungsgrößen von 20 m<sup>2</sup> bis 62 m<sup>2</sup> Wohnfläche. Hinzu kommen Besprechungsräume mit je 32 m<sup>2</sup> bzw. 20 m<sup>2</sup> sowie Küchenräume mit entsprechendem Sitzplatzangebot von etwa 100 m<sup>2</sup> Nutzfläche. Während der olympischen Nutzung entsteht Wohnraum für 156 Athleten. Die Nachnutzung sieht ein Wohnraumangebot für 100 Personen vor.

Treppenzugänge sowie ein Plattformaufzug sorgen für eine optimale Zugänglichkeit für alle Anwohner.

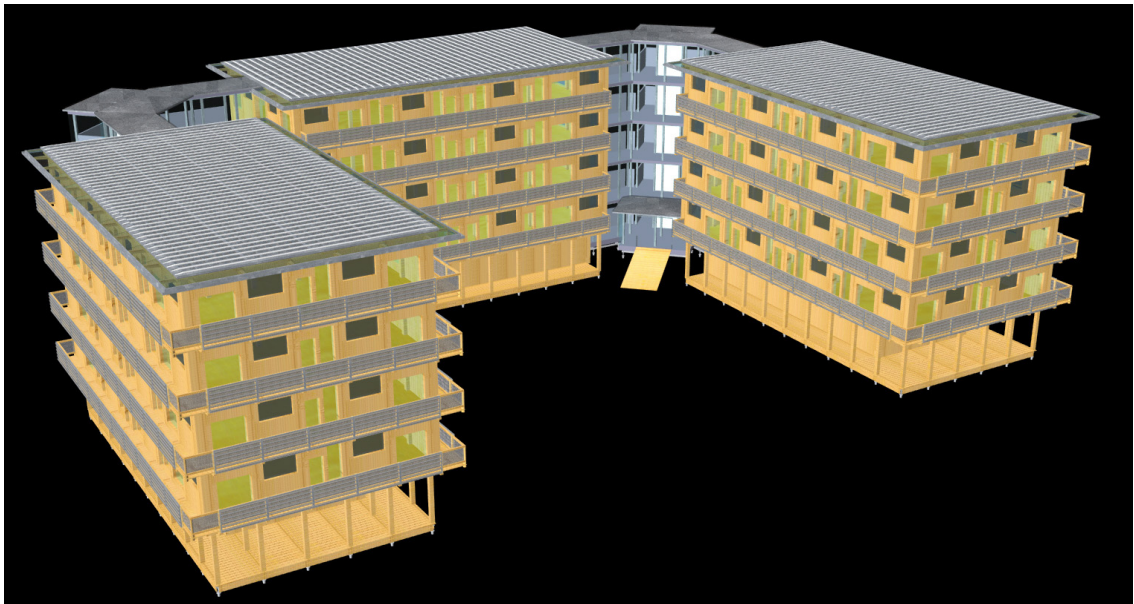
Alle Objekte sind vom Innenhof her erschlossen und gut einsehbar. In allen Gebäuden ist am Eingangsbereich ein Pfortnerraum angesiedelt. Während der Olympiade wird dieser durch den Wachdienst genutzt, der hierdurch die Überwachung des Innenhofbereichs und der Eingänge garantiert sowie die Möglichkeit zur Personenkontrolle beim Betreten der Gebäude hat. Sportwaffen etc. können hier abgegeben und in den erdgeschossigen Lager- Serviceräumen gelagert werden. Im Zuge der Nachnutzung werden diese Räume ebenfalls als Abstellräumen benutzt.

Alle Treppenhäuser sind vollverglast und gewähren so Ausblicke auf das Bergpanorama oder den Innenhofbereich. So ist von den Kernbereichen des Gebäudes ein guter visueller Überblick über das Geschehen draußen gegeben.

Die Wohnungen im 1. Geschoss liegen mit ihrer Fußbodenoberkante etwa 4 Meter über dem Grundstücksniveau. So wird ein Einblick in die Unterkünfte vermieden, was dem Bedürfnis der Athleten sowie den Anforderungen des IOC nach Sicherheit entspricht.

Barrierefreiheit des gesamten Erschließungs- und Wegesystems ist sowohl für die olympische wie auch die nacholympische Nutzung Grundprinzip.

### 7.3. Entwurf



#### 7.3.1. Tragwerk

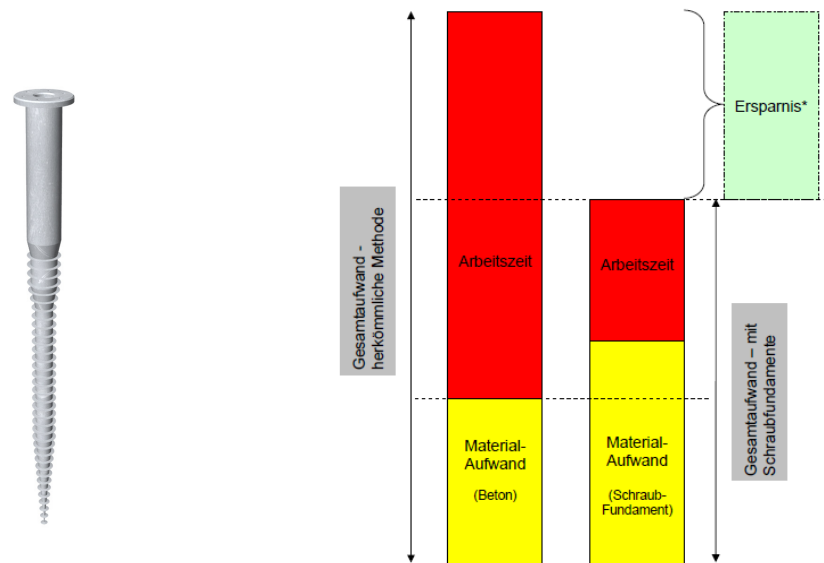
##### Fundamentierung

Hierbei waren wesentliche Überlegungen eine rasche, bodenschonende und vor allem wiederverwendbare Fundamentierung einer üblichen Betonfundamentierung vorzuziehen.

Die Entscheidung fiel dadurch auf Krinner- Schraubfundamente. Diese bieten wesentliche Zeit- und Kostenvorteile gegenüber der bisherigen Praxis. Zeitaufwendiges Graben und Betonieren ist nicht mehr notwendig.

Das Schraubfundament wird per Eindrehwerkzeug oder Eindrehmaschinen innerhalb weniger Minuten punktgenau und senkrecht in jeden Boden eingeschraubt.

- >bodenschonend,
- >keine Trocknung,
- >wiederverwendbar,
- >billiger/schneller,
- >8-10 t Punktlast



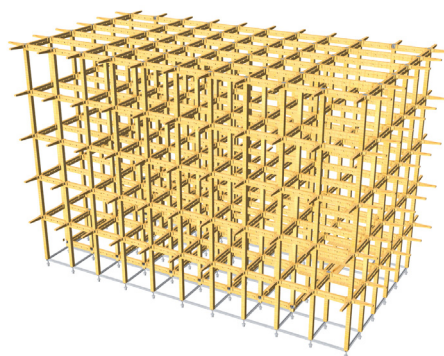
\* Darstellung rein nur Materialaufwand & Arbeitszeit.  
Exkl. weiterer Kosten wie z.B. Fuhrpark, Büro/Administration, Fixkosten, etc.

Abb. 7.5 Zeit- und Kostenvergleich im Schema Beton- & Schraubfundamente [61]

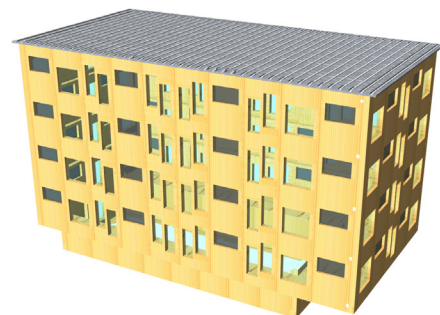
Das Tragwerk der Wohngebäude besteht einerseits aus BSH- Trägern und Stützen sowie den entwickelten Systemknoten aus Stahlblechen. Diese Elemente übernehmen mit ihrer rahmenartigen Wirkung untereinander den Großteil der statischen Aussteifung. Die volle Aussteifung des Tragwerks wird jedoch erst mit den, an die Systemknoten angeschraubten Fassadenplatten erreicht, wodurch sich die Rahmenwirkung erst vervollständigt.

So setzt sich aus den Systemknoten, Trägern, Stützen, den flächigen Fassadenplatten, aber auch aus den eingesetzten Bodenplatten ein Gesamtsystem zusammen, welches sich durch die Vereinigung und das Zusammenspiel genau dieser Elemente aussteift und in der Waage hält.

Das Tragwerk der Erschliessungstürme wiederum besteht aus einem verglasten Stahlskelett, welches in sich mit Platten rahmenartig ausgesteift ist und somit statisch eine eigene Einheit bildet.



Tragstruktur



Hüllstruktur

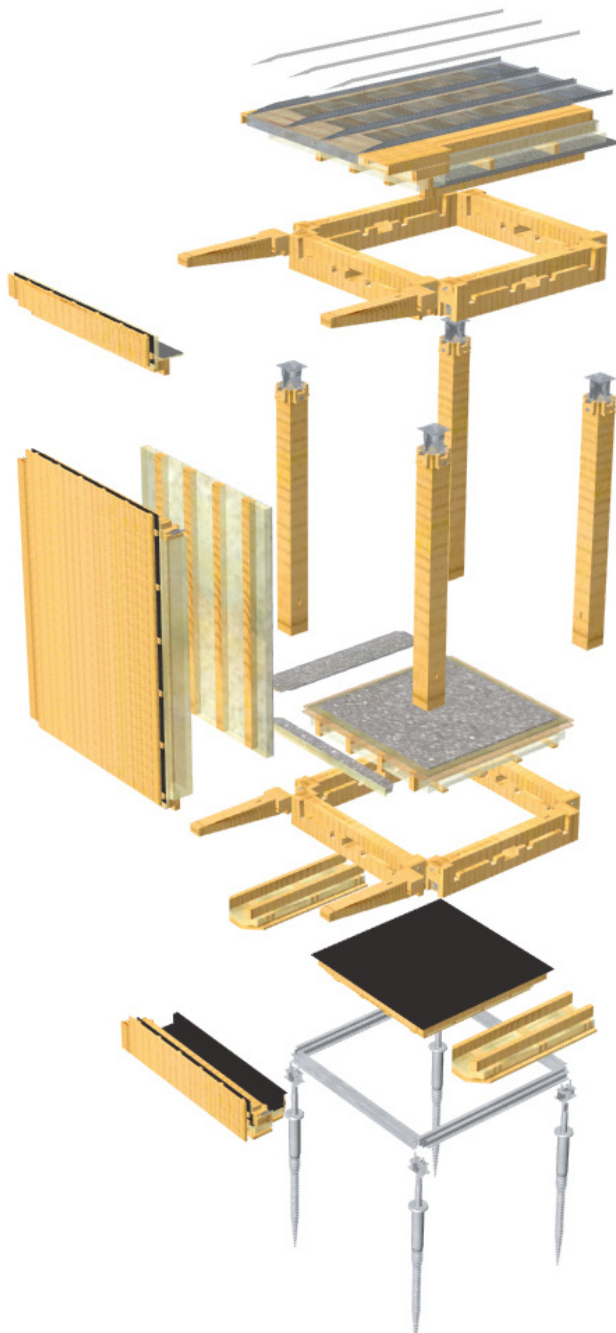


### 7.3.2. Elementierung, vorgefertigte Elemente

Ganz wesentlich ist es- sofern man in diesem Entwurf von Modulen und modularen Komponenten spricht- dass man festhält, dass es sich hier nicht um ein herkömmliches transportables Raum- oder Flächenmodul handelt.

Die Grundbausteine dieses Systems sind stabförmige Elemente, welche dann mit flächigen Elementen kombiniert eine Einheit ergeben, und somit eigentlich erst Schritt für Schritt- und zwar erst auf der Baustelle- zu einem modularen Ganzen werden. Alles was im Zuge der Entstehung zu diesem Ganzen führt bezeichne ich daher im Folgenden als „modulare Komponente“.

#### 7.3.2.1. modulare Konstruktionskomponenten



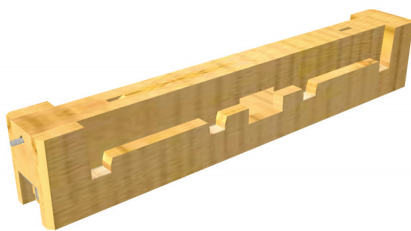




Fundamentierung



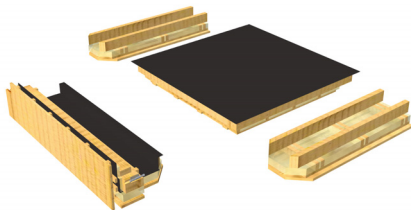
Stützen mit Systemknoten



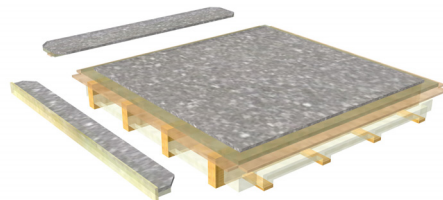
Träger



Auskragung



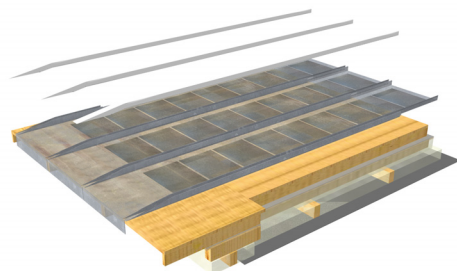
Bodenelement gegen Außen



Bodenelement Innen



Fassadenelement

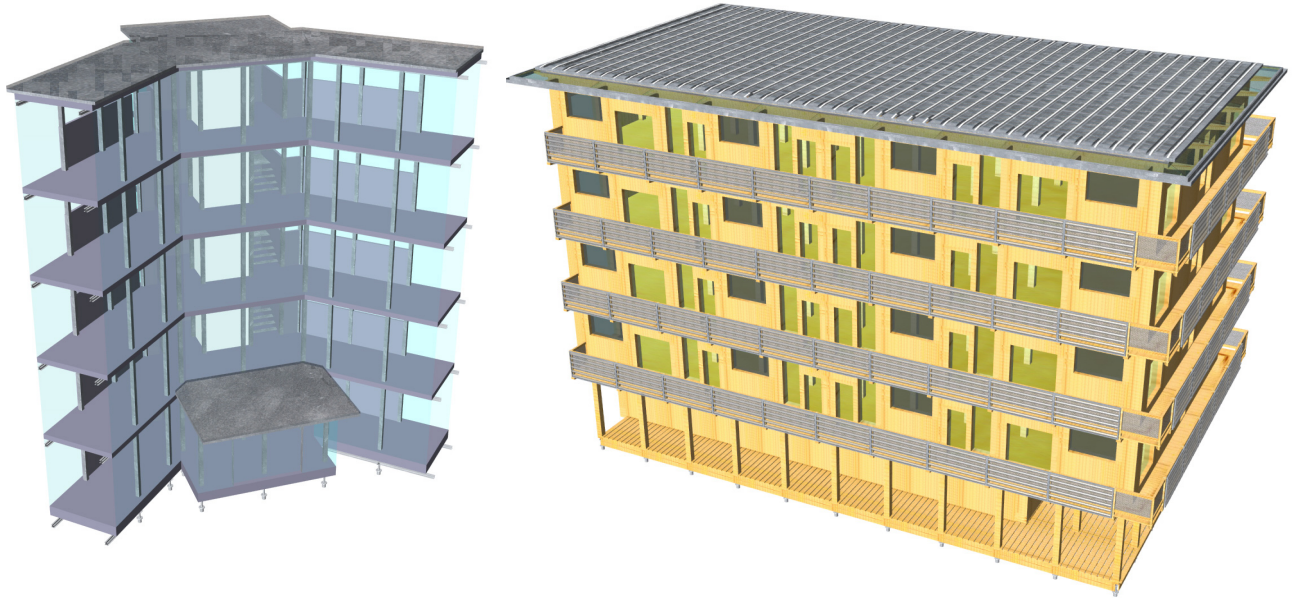


Dachelement mit PV- Membranen

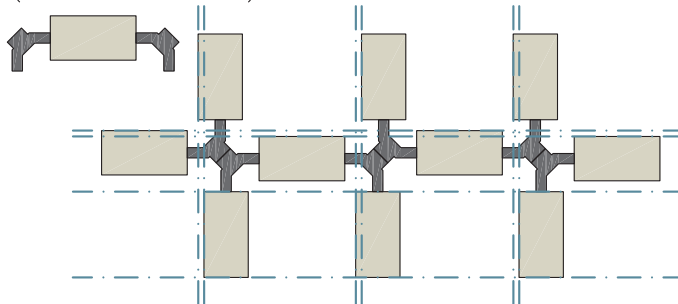
## 7.3.2.2. modulare Raumkomponenten und Erschließung



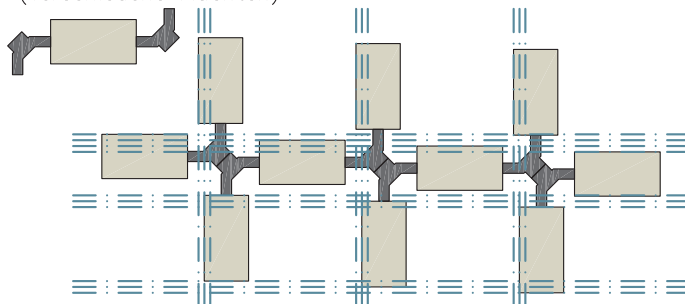
### 7.3.2.3. modulare Gebäudekomponenten und Erweiterbarkeit



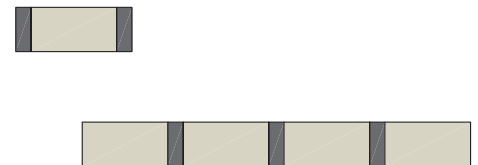
Anschlussmöglichkeit A  
(einheitliche Fluchten)



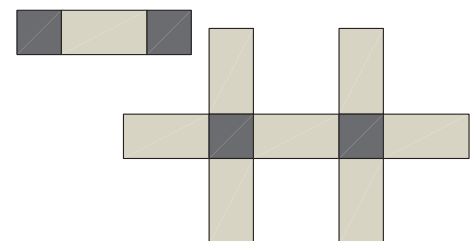
Anschlussmöglichkeit B  
(verschiedene Fluchten)



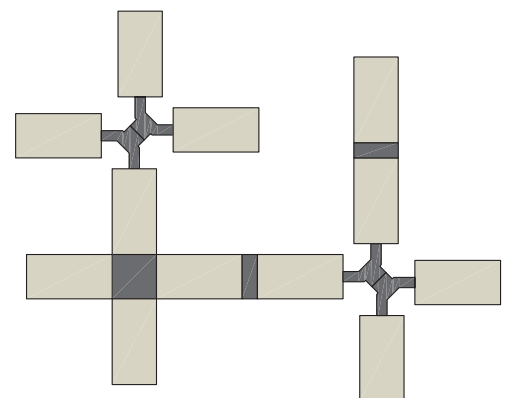
Anschlussmöglichkeit C  
(Längserweiterung)

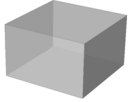
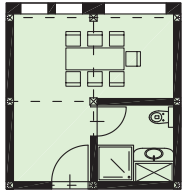
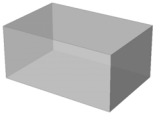
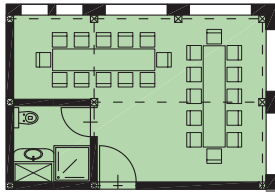
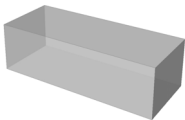
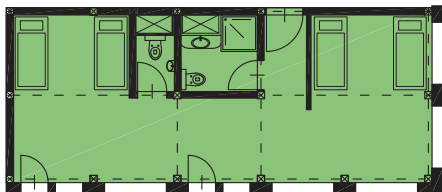
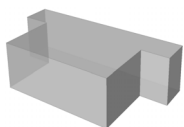
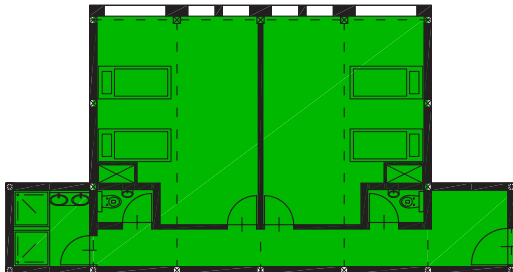


Anschlussmöglichkeit D  
(gleichmässig axiale Erweiterung)



Kombination aus A, B, C, D



Raummodul 1 (20 m<sup>2</sup>)Raummodul 2 (32 m<sup>2</sup>)Raummodul 3 (53 m<sup>2</sup>)Raummodul 4 (62 m<sup>2</sup>)

### 7.3.3. Grundrissentwicklung, Nutzungsvarianten

#### Anhaltspunkte:

- Vorgaben IOC,
- kompakte Baukörper,
- modular erweiter/rückbaubar,
- Ausrichtung an Sonne: größtmögliche Fassadenflächen
- offene Grundrisse & einfach gegliedert:  
Spielraum in der Nachnutzung (bis auf fixe Installationskerne)
- hoher Grad an Vorfertigung  
(für Transport optimierte Maße)

#### Nutzungskapazität:

20 Raummodule Typ 1 je 20 m<sup>2</sup>/ 1 Person  
 24 Raummodule Typ 2 je 32 m<sup>2</sup>/ 2 Personen  
 20 Raummodule Typ 3 je 53 m<sup>2</sup>/ 4 Personen  
 2 Raummodule Typ 4 je 62 m<sup>2</sup>/ 4 Personen

2 Gemeinschaftsräume je 32 m<sup>2</sup>  
 2 Räume für medizinische Betreuung je 20 m<sup>2</sup>  
 2 Küchen 20 m<sup>2</sup>  
 1 Bereich für Essen 70 m<sup>2</sup>

Während der Olympiade werden neben allen Eingängen Empfänge eingerichtet, die auch den Sicherheitsdiensten als Basis dienen. Der gesamte Innenbereich der Anlage lässt sich überblicken. An allen Empfängen werden große Gepäckstücke sichergestellt. Sportwaffen und andere gefährdende Gegenstände werden, bei Betreten des Gebäudes, hier abgegeben.

Wie die Raummodule des Typ 1, so sind auch die Raummodule der Typen 2, 3 und 4 rollstuhlgerecht ausgestattet, wobei Typ 4 in der olympischen, wie auch der nacholympischen Version den größten Wohnungstyp darstellt.

In den Erdgeschossflächen sind während und nach der olympischen Nutzung Haustechnikgeräte sowie Lager- und Servicräume untergebracht.

Die Wohngebäude werden geschossweise durch die daran andockten Erschließungstürme erschlossen. Diese Türme beinhalten ein Treppenhaus sowie einen rollstuhlge- rechten Plattformaufzug.

#### Vorteile Plattformaufzug:

- Keine Schachtgrube erforderlich
- Nur 2300 mm Deckenhöhe im obersten Geschoss nötig
- Kein Maschinenraum
- Geeignet für Rollstuhlfahrer mit/ohne Begleitperson (Barrierefreier Zugang)
- Kostenvorteile beim Einbau und im Unterhalt
- Einbau in wenigen Tagen
- Bauarbeiten werden weitestgehend vermieden
- Minimaler Platzbedarf

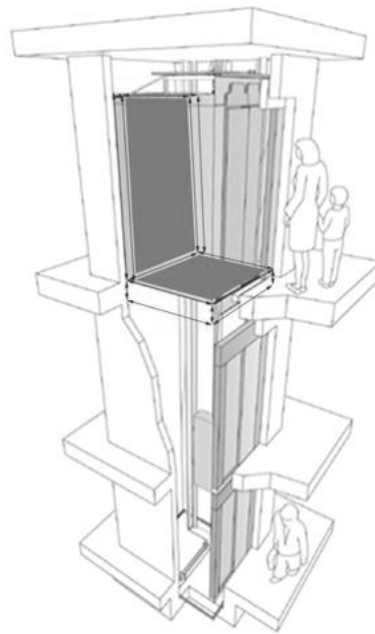


Abb. 7.6 Plattformaufzug [62]

#### **7.3.4. Haustechnik**

Haustechnikkomponenten:

- > Modulare, vorgefertigte Installationskerne: Zusammenlaufen in Haustechnik- und Wartungsräumen im Erdgeschoss (leichter Zugang, gute Wartung)
  - Wärmerückgewinnung aus Sanitär- & Küchenblöcken (Rotationswärmetauscher)
  - Warmwasseraufbereitung, Wassertank, Energieaufbereitung
- > Solar-Röhrenkollektoren an beschienenen Balkonbrüstungen (0,8- 1,2m<sup>2</sup> p./Pers.)
- > Photovoltaikmembrane auf dem Dach (eventuell Einspeisung ins öffentliche Netz)
- > kompakte, dichte Außenhülle
- > in vorgefertigte Bodenelemente integrierte Bodenflächenheizung
- > kurze Leitungsführung

### Modulare, vorgefertigte Installationskerne

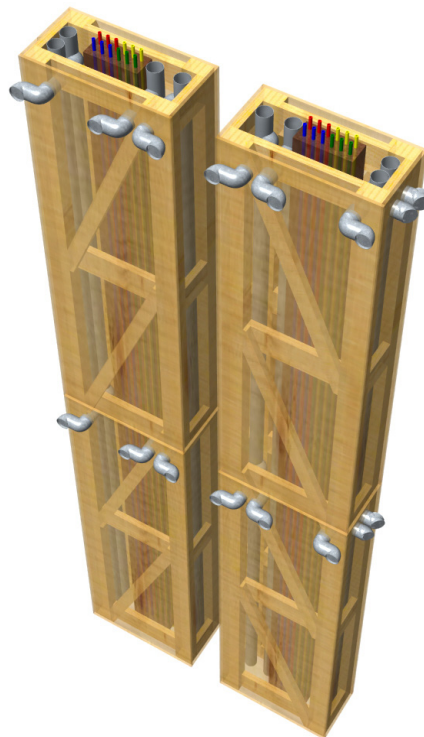
Hinsichtlich einer modular integrierten Haustechnik gibt es vorgefertigte Installationskerne. Ein vorgefertigter Schacht nimmt die Rohrsysteme, Leitungen und Verteiler für die Versorgung und Entsorgung des Hauses auf: Heizung, Lüftung, Solartechnik, Wasser, Abwasser, Strom. Der vorgefertigte Schacht mit allen Einbauten kann ähnlich wie ein Kamin in einem Stück in den Baukörper eingesetzt werden. Über diese zentralen Installationskerne werden die Sanitärräume des Hauses in vertikaler Richtung erschlossen. So lassen sich die Sanitärelemente, wie Waschbecken, WCs, Duschen und Bädewannen unmittelbar an den Installationskern andocken.

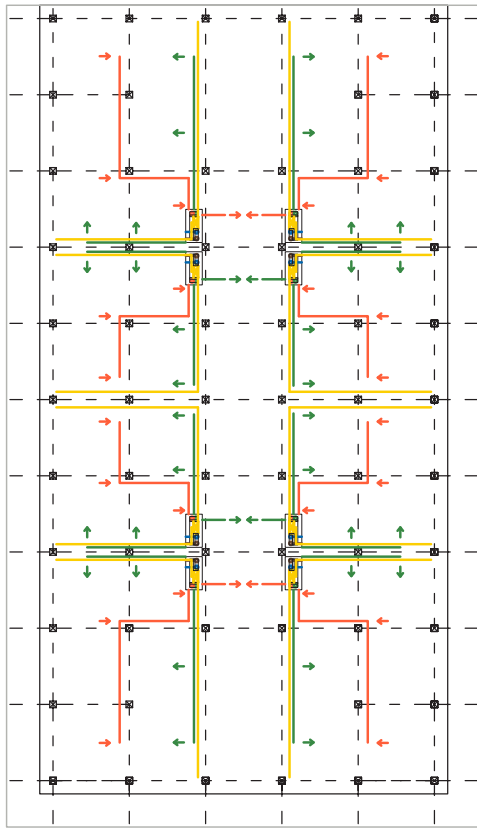
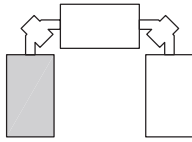
Damit die zentrale und gut zugängliche Bündelung der vertikalen Installationen mit weiterer Technikintegration möglich wird, ist eine entsprechende horizontale Verteilung notwendig. Die Lüftungs- und Leitungsführung vom Technischacht bis zur benötigten Stelle wird dabei über eine horizontale Verteilung in der abgehängten Decke bzw. in, unter den Trägern angebrachten Rechteckquerschnitten ermöglicht.

Dieses Installationssystem vereint vertikale und horizontale Trassenführung zu einem System. Es bündelt alle vertikalen Installationen und Technikkomponenten in einem zentral zugänglichen Schacht. Es kann im Werk mit allen Leitungen und Komponenten vorgefertigt sowie bei Bedarf einfach nachgerüstet werden. Auf der Baustelle wird es als Technikmodul eingebaut.

Die vorgefertigten Technikmodule enthalten ab Werk bereits alle Leitungen und Technikkomponenten und werden auf der Baustelle nur noch untereinander angeschlossen.

Durch die Zusammenfassung der einzelnen Medien in einem Schacht verringert sich die heute übliche Verschränkung von Installation und Baukonstruktion. Hinzu kommt die Reduktion der Installationsschächte und damit größere Freiheiten in der Grundrissgestaltung aller Geschosse.





### Temperierung, Lüftung und Tageslicht

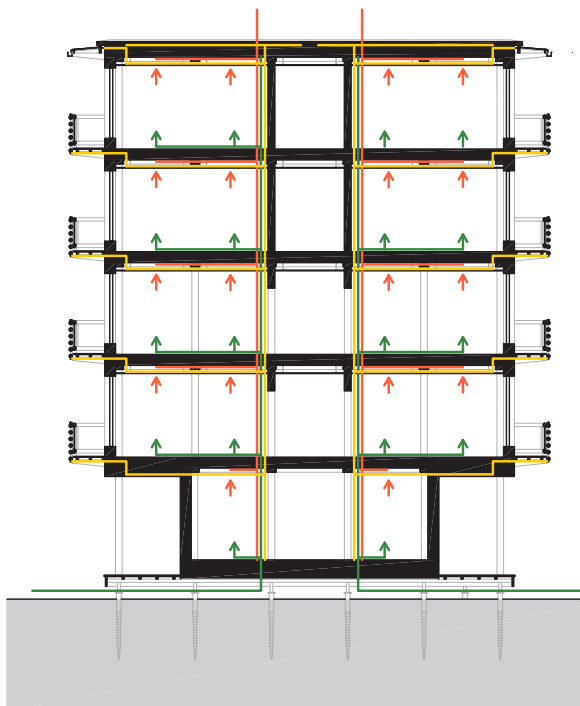
In den Wohnungen erfolgt die Frischluftzufuhr über Quellluftauslässe im Boden der Wohnräume. In den Nassräumen und der Küche wird die Abluft über Kanäle der Wärmerückgewinnungsanlage einem der erdgeschossigen Haustechnikräume zugeführt. Hier wird ihr die Restwärme mittels eines Wärmetauschers entzogen und der angesaugten Frischluft zugeführt.

Die Kühlung der Räume erfolgt einerseits durch die Frischluftzufuhr und andererseits konstruktiv. Im Sommer sorgen die auskragenden Balkone an den beschienenen Fassadenflächen für eine ausreichende Verschattung des Wohnraumes. Da die Sonnenstrahlen nicht direkt auf die Fensterflächen auftreffen kommt es zu keiner Aufheizung der Räume. Im Winter wiederum erwärmen die niedriger einfallenden Sonnenstrahlen zusätzlich den gesamten Wohnraum.

### Warmwassererzeugung

Durch die Solar-Röhrenkollektoren an den Balkonbrüstungen wird einfallendes Sonnenlicht durch einen Absorber im Kollektor in Wärme umgewandelt.

Diese Wärme wird über ein Rohrsystem mittels einer Wärmeträgerflüssigkeit vom Kollektor abtransportiert und der jeweiligen Nutzung zugeführt. Dies ist zum einen solare Warmwasserbereitung und zum anderen die Unterstützung der Fußbodenheizung.



- Abluft      — Zuluft
- Abwasser   — Frischwasser
- Elektrik, Solargewinn



### Stromerzeugung

Die solaren Dachbahnmembranen basieren auf Dünnschichtzellen mit Triple-Junction-Technologie, verklebt auf Kunststoff-Dachbahnen. Dies ergibt Elemente, die auf den vorgefertigten Dachelementen bereits befestigt und verschweißt sind.

Mit diesen Membranen können auch bei flacher Dachausrichtung oder -neigung und sogar bei niedriger Sonneneinstrahlung und bewölktem Wetter hervorragende Erträge erzielt werden.

Dank geringem Flächengewicht ist dies sowohl ein Vorteil für den Transport als auch eine Entlastung für das Gesamttragwerk.

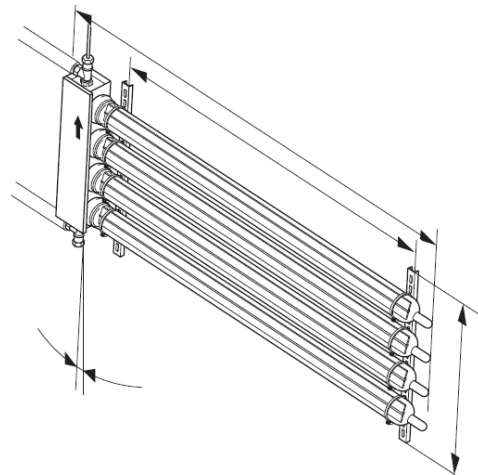


Abb. 7.7 Solar- Röhrenkollektoren [56]

### Fußbodenheizung (Flächenheizung/ Flächenkühlung)

Unter den Elementen des Fertigteilstrichs werden Heizelemente innerhalb der Dämmschicht eingelegt. Die wasserführenden Kunststoffrohre sind zusätzlich in Wärmeleitblechen eingebettet. Diese Flächenheizungen können mit Hilfe des Trägermediums Wasser bzw. mit dessen unterschiedlichen Temperaturen auch als Flächenkühlungssysteme genutzt werden.

Sie sind ganzjährig einsetzbar – im Winter zum Heizen, im Sommer zur Kühlung. Die Zusatzkosten für die Kühlfunktion sind im Vergleich zu konventionellen Luftkühlungen gering.

Vorteile dieses Systems sind die äußerst niedrigen Vorlauftemperaturen und ein sehr homogenes Raumklima mit geringen Temperaturgradienten über die Raumhöhe verteilt. Des Weiteren geschieht die Verlegung der Heizrohre bereits im Werk. So muss man bei der Montage auf der Baustelle lediglich die Bodenelemente in das Tragwerk einhängen und nur mehr die einzelnen Übergänge zwischen den Bodenplatten untereinander verbinden.



Abb. 7.8 Rohrverlegung der Flächenheizung [62]



### 7.3.5. Transport und Montage

#### 7.3.5.1. Transport

##### LKW (Schiebeplanenaufleger)

13,6x 2,5x 2,65m     oder     6,5x 2,5x 2,65m + 7,1x 2,5x 2,65m/  
Ladegewicht 25t/ 90m<sup>3</sup>

(Container: 5,9x 2,34x 2,38m/ Ladegewicht 22,1t/ 33m<sup>3</sup>-> eher ungünstig)



Abb. 7.9     Schiebeplanenaufleger [45]

#### 7.3.5.2. Montageablauf



1. Fundamentschrauben + Stahlträger



2. Stützen EG



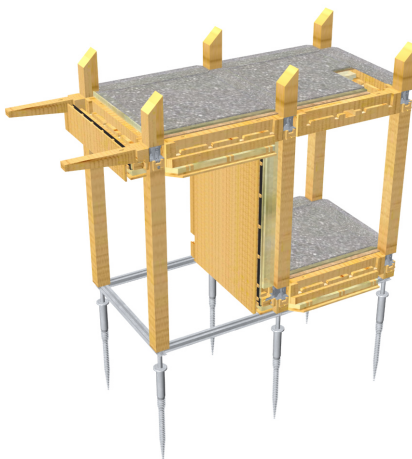
3. Träger EG + Außendämmung



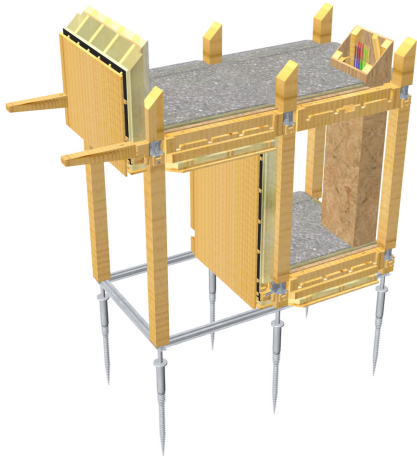
4. Boden EG + Außendämmung



5. Fassade EG + Träger OG  
(+ Außendämmung)

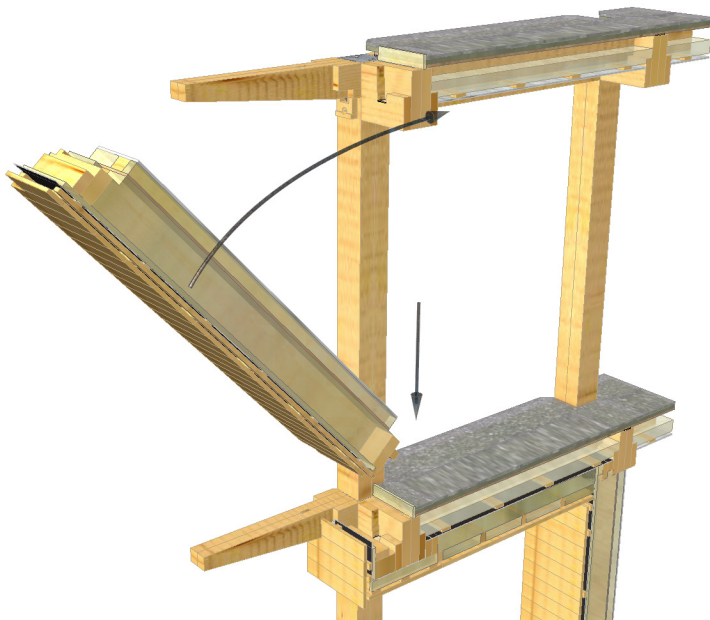


6. Stützen OG + Boden  
(+ Außendämmung)

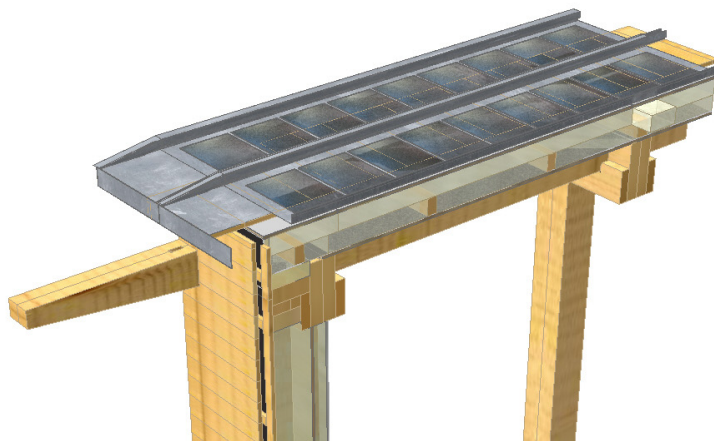


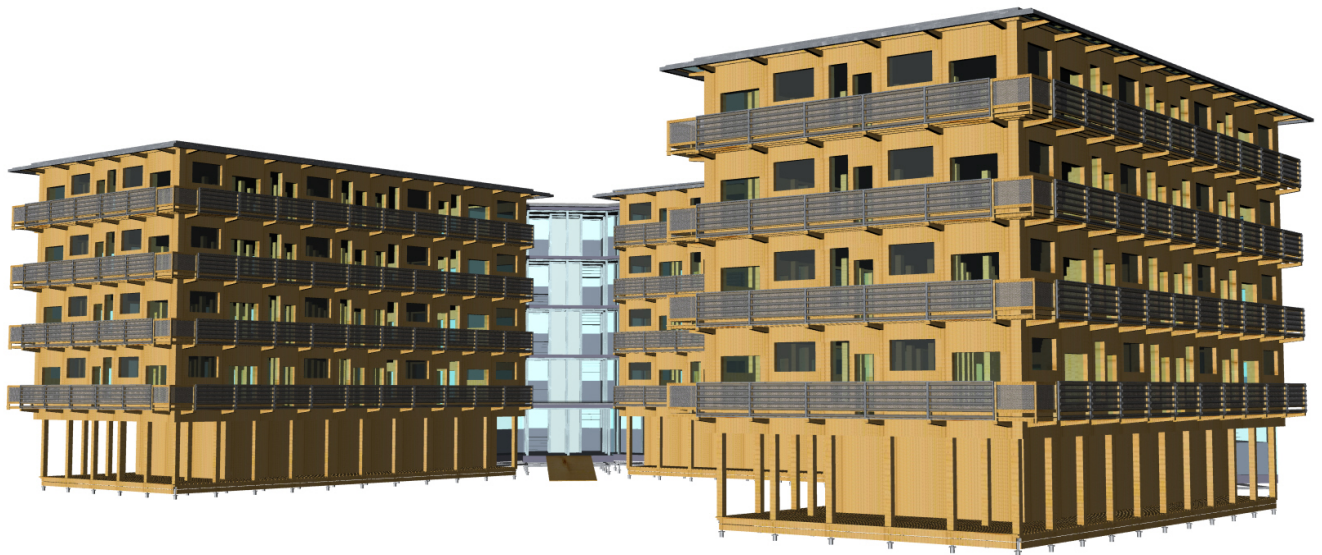
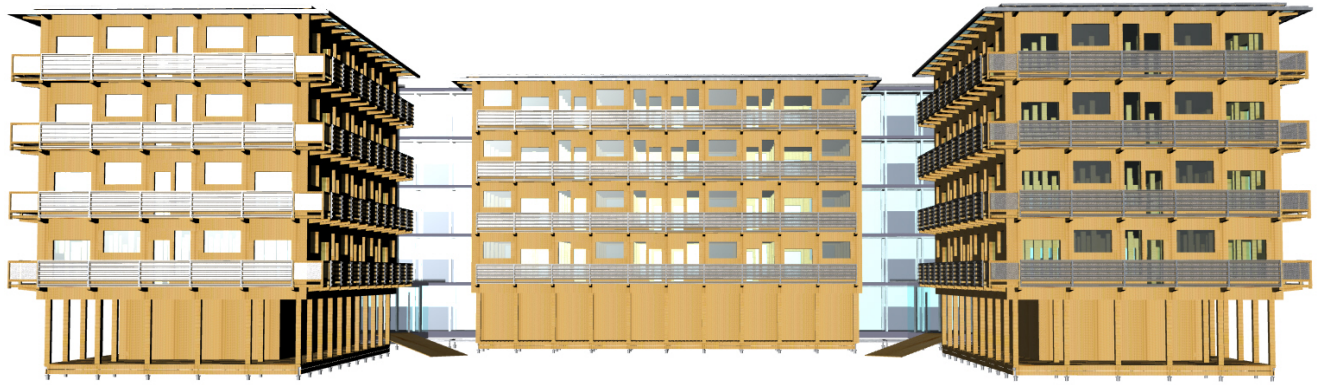
7.Fassade OG + Installationsschächte

Einhängen der Fassadenelemente:



3-D Schnitt Dach:





## Quellen

### Literaturverzeichnis

- [1] *Junghanns, Kurt; Das Haus für alle- Zur Geschichte der Vorfertigung in Deutschland;*  
*Berlin: Ernst, 1994; ISBN 3-433-01274-1*
- [2] *Bruce Pfeiffer; Frank Lloyd Wright;*  
*Taschen, Köln, 2000*
- [3] *Heidi Niederwöhrmeier; Frank Lloyd Wright und Europa;*  
*Krämer, Stuttgart, 1978*
- [4] *Bruno Zevi; Frank Lloyd Wright;*  
*Birkhäuser, Basel, 1998*
- [5] *James Steele; R. M. Schindler;*  
*Taschen, Köln, 1999*
- [6] *Michael Darling; R. M. Schindler – Bauten und Projekte;*  
*Hatje Cantz Verlag, Ostfildern- Ruit, 2001*
- [7] *Grüning, Michael; Der Wachsmann Report - Auskünfte eines Architekten;*  
*Neuaufgabe, Birkhäuser 2001*
- [8] *Wachsmann, Konrad; Holzhausbau ;*  
*Berlin, Wasmuth 1930 und Neuaufgabe Birkhäuser 1995*
- [9] *Wachsmann, Konrad; Wendepunkt im Bauen;*  
*Wiesbaden: Krausskopf 1959*
- [10] *<http://bauwelt.baunetz.de>; Dipl.-Ing. Albrecht Hanser, München;*  
*Lehrstuhl für Baurealisierung und -informatik der TU München*
- [11] *<http://www.zeno.org/Lueger-1904>*
- [12] *<http://www.lilienthal-museum.de>*
- [13] *<http://www.uunhf.org>*
- [14] *<http://www.pbs.org/flw/buildings>*
- [15] *<http://www.cartage.org.lb/en/themes/biographies>*
- [16] *Rudolf Schindler, 'Reference Frames in Space' in Architect and Engineer, (April 1946)*
- [17] *<http://www.tu-cottbus.de>*
- [18] *<http://www.karlkreuzer.de>*
- [19] *<http://www.monumente-online.de>*

- [20] *Holzbau Handbuch (Reihe/Teil/Folge); hh 1/1/4 Holzbausysteme. 12/2000*  
<http://www.informationsdienst-holz.de>
- [21] <http://www.suedtirolerholzhaus.it>
- [22] <http://www.infoholz.at>
- [23] <http://www.proholz-stmk.at>
- [24] *HY3GEN- Ein nachwachsendes Haus: R. Korab, E. Delugan-Meissl, C. Schweiger, H. G. Ambrozy, H. Wimmer, N. Küblböck, H. Czaja, R. Mischek, T. Belazzi, R. Lechner, F. Waclawek*  
<http://www.nachhaltigwirtschaften.at>
- [25] <http://iti.tuwien.ac.at>
- [26] <http://www.klh.at>
- [27] <http://www.aml-partner.de>
- [28] <http://www.su-si.at>
- [29] *Tagungsband zur 5. Freiburger Holzbautagung; Energieeffizienz und Nachhaltigkeit durch Bauen mit Holz; Fachagentur Holz, Düsseldorf, 2008*  
<http://www.holz-tum.de>
- [30] *Holzbau Atlas; Herzog, Natterer, Schweitzer, Volz, Winter;*  
*Birkhäuser- Edition Detail, 2003; ISBN: 3-7643-6984-1*
- [31] <http://www.detail.de>
- [32] <http://www.wohnbau.tuwien.ac.at>
- [33] <http://www.proholz.at>
- [34] *Österreichisches Patentamt*  
<http://v3.espacenet.com>
- [35] *Deutsches Patent- und Markenamt*  
<http://depatisnet.dpma.de/>
- [36] <http://www.freepatentsonline.com>
- [37] <http://www.axxio.net/waxman>
- [38] <http://www.schaerlig.com>
- [39] <http://www.simpsonstrongtie.pl>
- [40] <http://strongtie.de>
- [41] <http://www.bau-docu.at>



- 
- [42] <http://www.sfsholding.biz>
- [43] <http://www.bertsche-system.de>
- [44] Heyden, Johann-Wilhelm; *Räumliche Knotenstabtragwerke in Ausführung mit Kreuzbalken und Induo-Verbundankertechnik; Dissertation, RWTH Aachen, 2001*  
<http://darwin.bth.rwth-aachen.de>
- [45] <http://www.lukaslang.com>
- [46] <http://www.binderholz.com>
- [47] <http://www.timber-online.net>
- [48] <http://www.blumer-bsb.ch>
- [49] <http://www.in-duo.de/>
- [50] Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB  
<http://www.irbnet.de>
- [51] Sumitomo Forestry Co., LTD  
<http://sfc.jp>
- [52] Engineered Wood Products Association <http://www.ewpa.com>
- [53] <http://www.harrer.at>
- [54] <http://www.informationsdienst-holz.de>
- [55] <http://www.holzhausbauderzukunft.de>
- [56] <http://www.sunda.de>
- [57] <http://www.biohaus.de>
- [58] <http://www.ired.com/pix/news>
- [59] <http://upload.wikimedia.org>
- [60] <http://www.sc-olympstroy.ru>
- [61] <http://www.steurer.info>
- [62] <http://www.bauemotion.de>
- [62] <http://www.shk-profi.com>

**Abbildungsverzeichnis**

|           |                                                                |      |
|-----------|----------------------------------------------------------------|------|
| Abb. 2.1  | Preußische Lazarettbaracke, 1807                               | [1]  |
| Abb. 2.2  | Balloon Frame System, Chicago vor 1850                         | [1]  |
| Abb. 2.3  | Blockbau                                                       | [1]  |
| Abb. 2.4  | Zeitungsannonce 1907/ 1908                                     | [1]  |
| Abb. 2.5  | Baracke, Doecker                                               | [11] |
| Abb. 2.6  | Tektonbauteile                                                 | [11] |
| Abb. 2.7  | G. Lilienthal                                                  | [12] |
| Abb. 2.8  | Baukasten                                                      | [12] |
| Abb. 2.9  | F. L. Wright                                                   | [13] |
| Abb. 2.10 | Usonian House                                                  | [14] |
| Abb. 2.11 | R. Schindler                                                   | [15] |
| Abb. 2.12 | Schindler- Frame                                               | [16] |
| Abb. 2.13 | K. Wachsmann                                                   | [17] |
| Abb. 2.14 | R. Riemerschmid                                                | [18] |
| Abb. 2.15 | Haus „Typ36a“                                                  | [19] |
| Abb. 3.1  | Typologische Entwicklung der Holzbauweisen und -systeme        | [20] |
| Abb. 3.2  | Planungsrelevante Teilaspekte bei Holzbausystemen              | [20] |
| Abb. 3.3  | Holzbauweisen im Wohnbau                                       | [22] |
| Abb. 3.4  | Querschnittsformen des Brettstapel                             | [21] |
| Abb. 3.5  | Aufbau der Massivholzplatte                                    | [21] |
| Abb. 3.6  | Beispiele für Knotenanschlüsse im Skelettbau                   | [21] |
| Abb. 3.7  | Wandtafel im Holzrahmenbau                                     | [21] |
| Abb. 3.8  | Konstruktives Repertoire Holzmassivbau                         | [25] |
| Abb. 3.9  | Konstruktives Repertoire Skelettbau                            | [25] |
| Abb. 3.10 | Konstruktives Repertoire Rahmenbau                             | [25] |
| Abb. 3.11 | Agepan- Bausystem                                              | [20] |
| Abb. 3.12 | Framworks- Bausystem                                           | [20] |
| Abb. 3.13 | Induo- Systemholztechnik                                       | [20] |
| Abb. 3.14 | Homogen 80                                                     | [20] |
| Abb. 3.15 | KLH- Brettsperrholz                                            | [26] |
| Abb. 3.16 | Lignatur                                                       | [20] |
| Abb. 3.17 | Lignotrend                                                     | [20] |
| Abb. 3.18 | LenoTec                                                        | [20] |
| Abb. 3.19 | System Haas                                                    | [20] |
| Abb. 3.20 | Blue Box                                                       | [27] |
| Abb. 3.21 | SU-SI                                                          | [28] |
| Abb. 3.22 | Überblick der Holzbauweisen hinsichtlich dem Vorfertigungsgrad | [29] |
| Abb. 3.23 | Feldweise Einzelmontage                                        | [30] |
| Abb. 3.24 | Geschossweise Einzelmontage                                    | [30] |



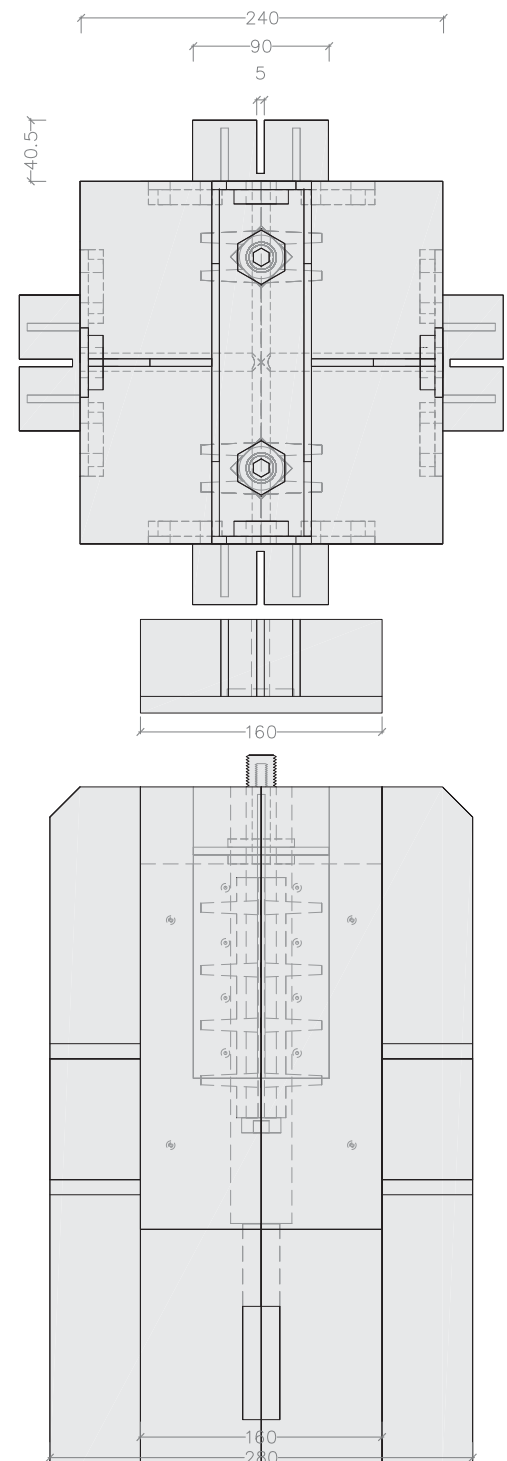
|           |                                                                |      |
|-----------|----------------------------------------------------------------|------|
| Abb. 3.25 | Feldweise mehrgeschossige Einzelmontage                        | [30] |
| Abb. 3.26 | Mehrgeschossige Gesamtmontage                                  | [30] |
| Abb. 4.1  | Prinzipien der Kraftübertragung                                | [25] |
| Abb. 4.2  | Wirkungsweise von Verbindungsmitteln mit Flächenwirkung        | [25] |
| Abb. 4.3  | Wirkungsweise von Verbindungsmitteln mit Tiefenwirkung         | [25] |
| Abb. 4.4  | Blattverbindung                                                | [25] |
| Abb. 4.5  | Zapfenverbindung                                               | [25] |
| Abb. 4.6  | Versatz                                                        | [25] |
| Abb. 4.7  | CNC gefertigte Holzverbindung                                  | [25] |
| Abb. 4.8  | Flexible Verbindungsmittel                                     | [32] |
| Abb. 4.9  | Selbstbohrender Stabdübel                                      | [33] |
| Abb. 4.10 | Passbolzen                                                     | [25] |
| Abb. 4.11 | Einpressdübel                                                  | [25] |
| Abb. 4.12 | Nagelplatten                                                   | [25] |
| Abb. 4.13 | Stahlplatten mit Gelenksbolzen                                 | [25] |
| Abb. 4.14 | Winkelblech                                                    | [25] |
| Abb. 5.1  | Abgewickelte Keilhülse                                         | [36] |
| Abb. 5.2  | Lukas Lang Knoten                                              | [45] |
| Abb. 5.3  | Stütze, Knoten + Träger                                        | [45] |
| Abb. 5.4  | Deckenplatte                                                   | [45] |
| Abb. 5.5  | Montage                                                        | [45] |
| Abb. 5.6  | General Panel System                                           | [36] |
| Abb. 5.7  | USM- Haller                                                    | [35] |
| Abb. 5.8  | Janebo- Hakenplatten                                           | [54] |
| Abb. 5.9  | Blumer- System Binder                                          | [54] |
| Abb. 5.10 | Bertsche- Systemanker                                          | [43] |
| Abb. 5.11 | Induo- Verbundanker                                            | [49] |
| Abb. 5.12 | Sherpa- Verbinder                                              | [34] |
| Abb. 5.13 | Lukas Lang Knoten                                              | [45] |
| Abb. 5.14 | Big frame construction method                                  | [34] |
| Abb. 7.1  | Sotschi, geographische Lage                                    | [58] |
| Abb. 7.2  | Sotschi, Krasnaja Poljana                                      | [59] |
| Abb. 7.3  | Krasnaja Poljana                                               | [60] |
| Abb. 7.4  | Roza Khutor Plateau                                            | [60] |
| Abb. 7.5  | Zeit- und Kostenvergleich im Schema Beton- & Schraubfundamente | [61] |
| Abb. 7.6  | Plattformaufzug                                                | [62] |
| Abb. 7.7  | Solar- Röhrenkollektoren                                       | [56] |
| Abb. 7.8  | Rohrverlegung der Flächenheizung                               | [62] |
| Abb. 7.9  | Schiebeplanenaufleger                                          | [45] |

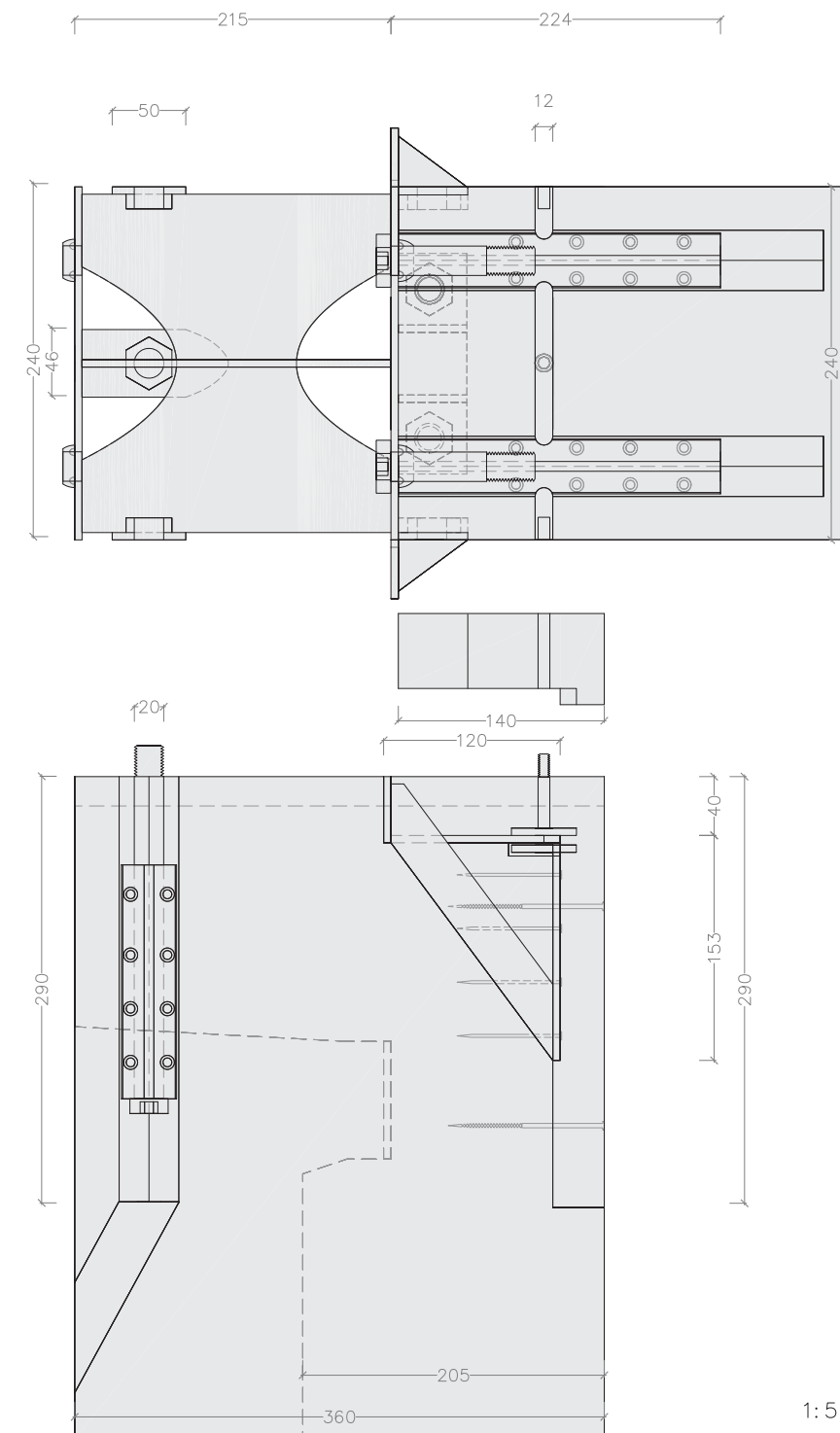
**Curriculum Vitae**Persönliche Daten

Geburtsdatum: 12. Juni 1980  
Geburtsort: Salzburg

Ausbildung

|                   |                                                                                          |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| seit 09.1999      | Studium der Architektur an der Technischen Universität Wien                              |
| 08.1998 – 08.1999 | Zivildienst bei der Lebenshilfe Salzburg<br>(Betreuung schwerstbehinderter Jugendlicher) |
| 09.1990 – 06.1998 | Privatgymnasium der Herz- Jesu Missionare, Liefering (Salzburg)                          |

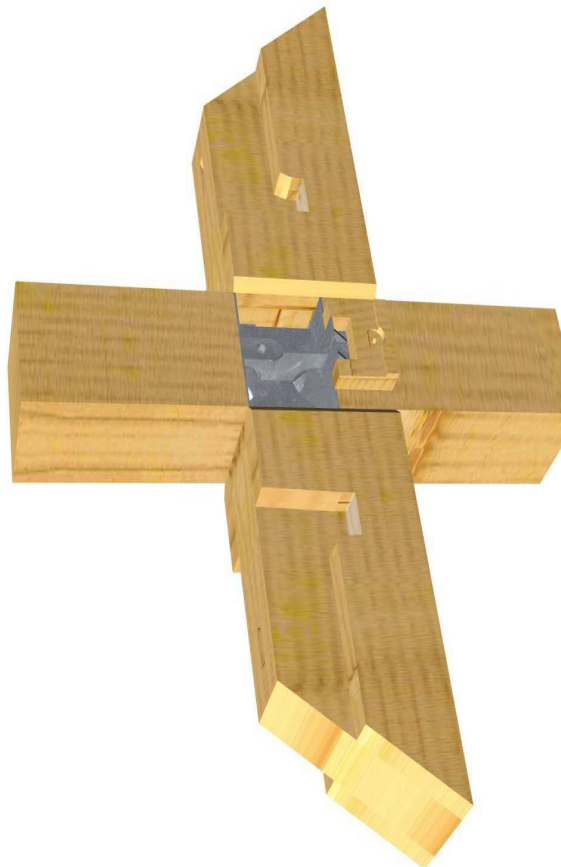
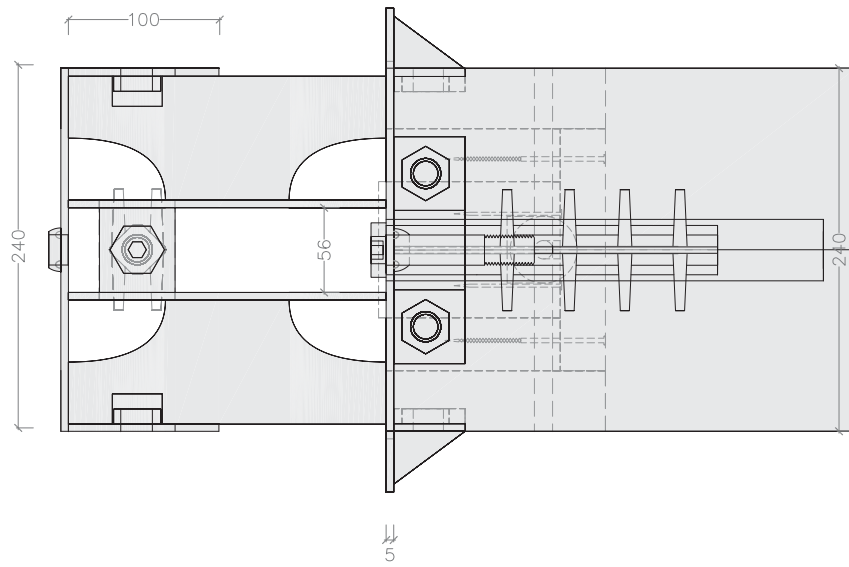
**Plandarstellungen****Systemknoten- Bemaßung (oben)****1:5**



1:5

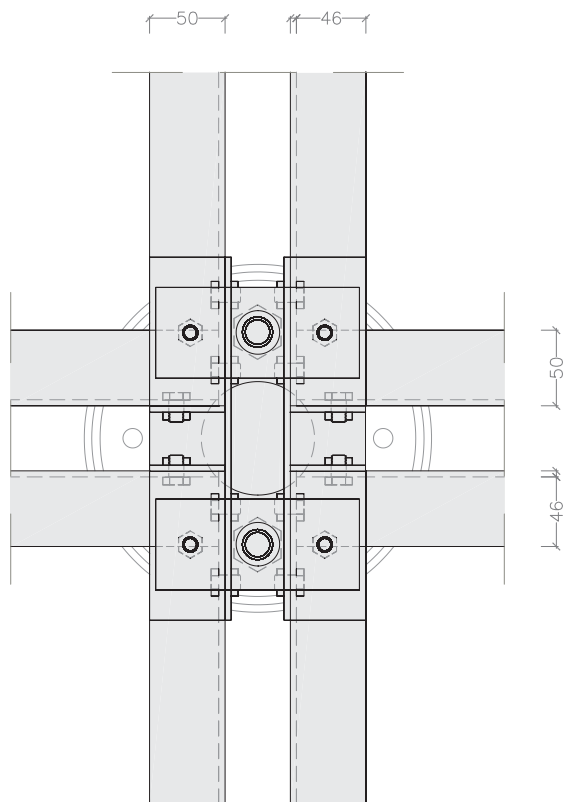
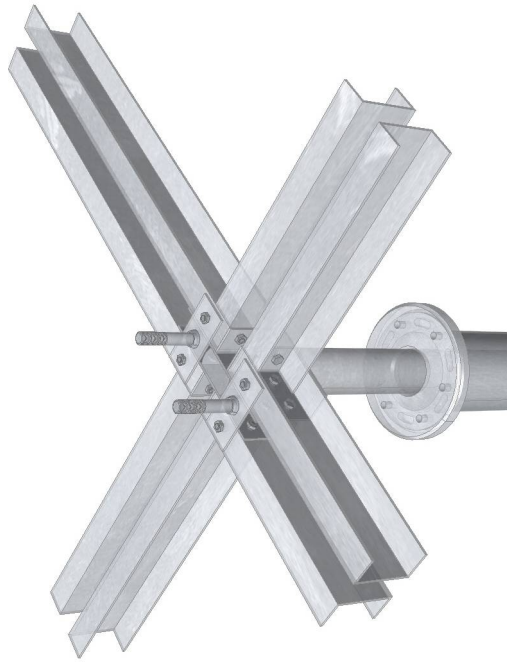
**Systemknoten- Bemaßung (rechts)**

**1:5**



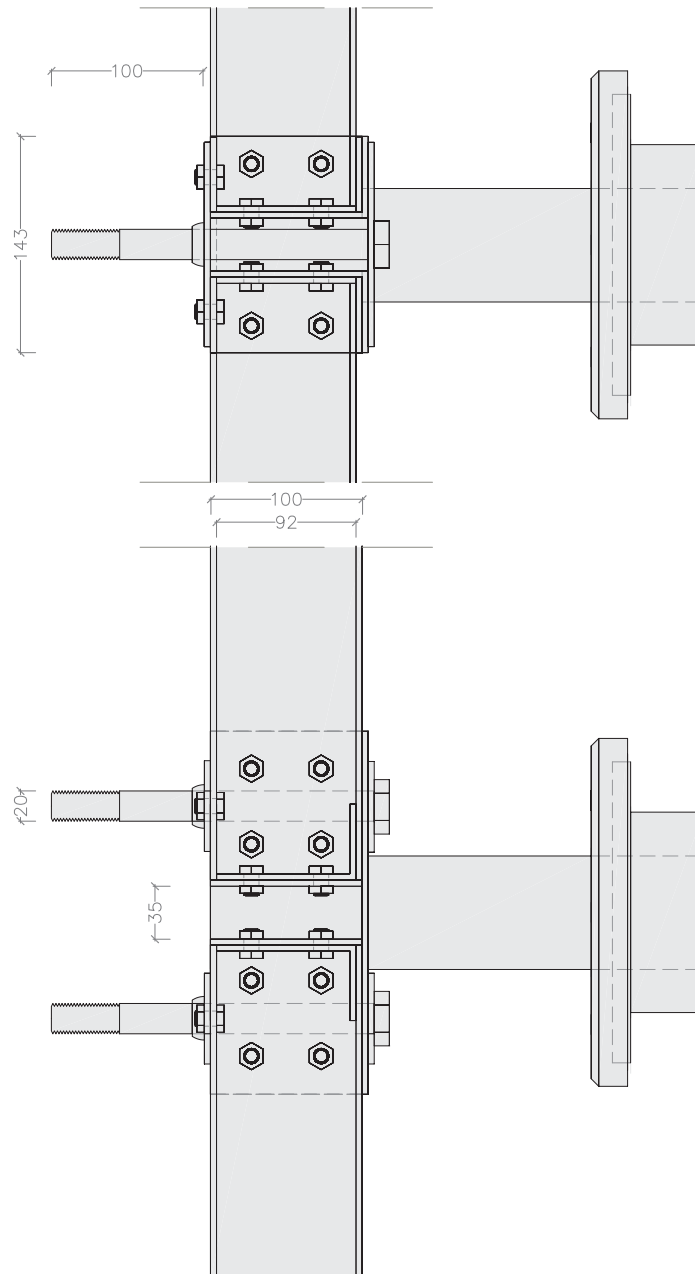
**Systemknoten- Bemaßung (links)**

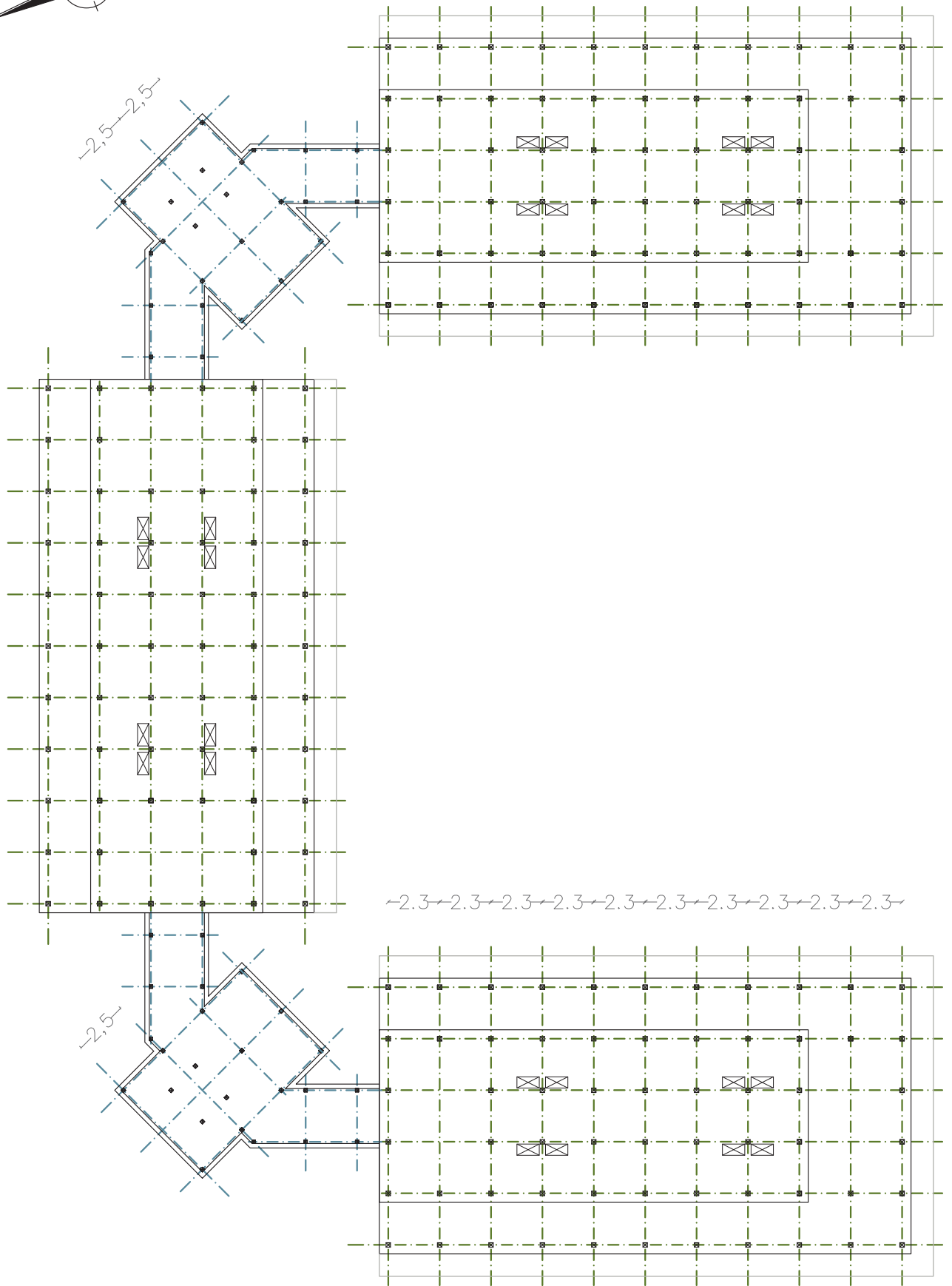
**1:5**



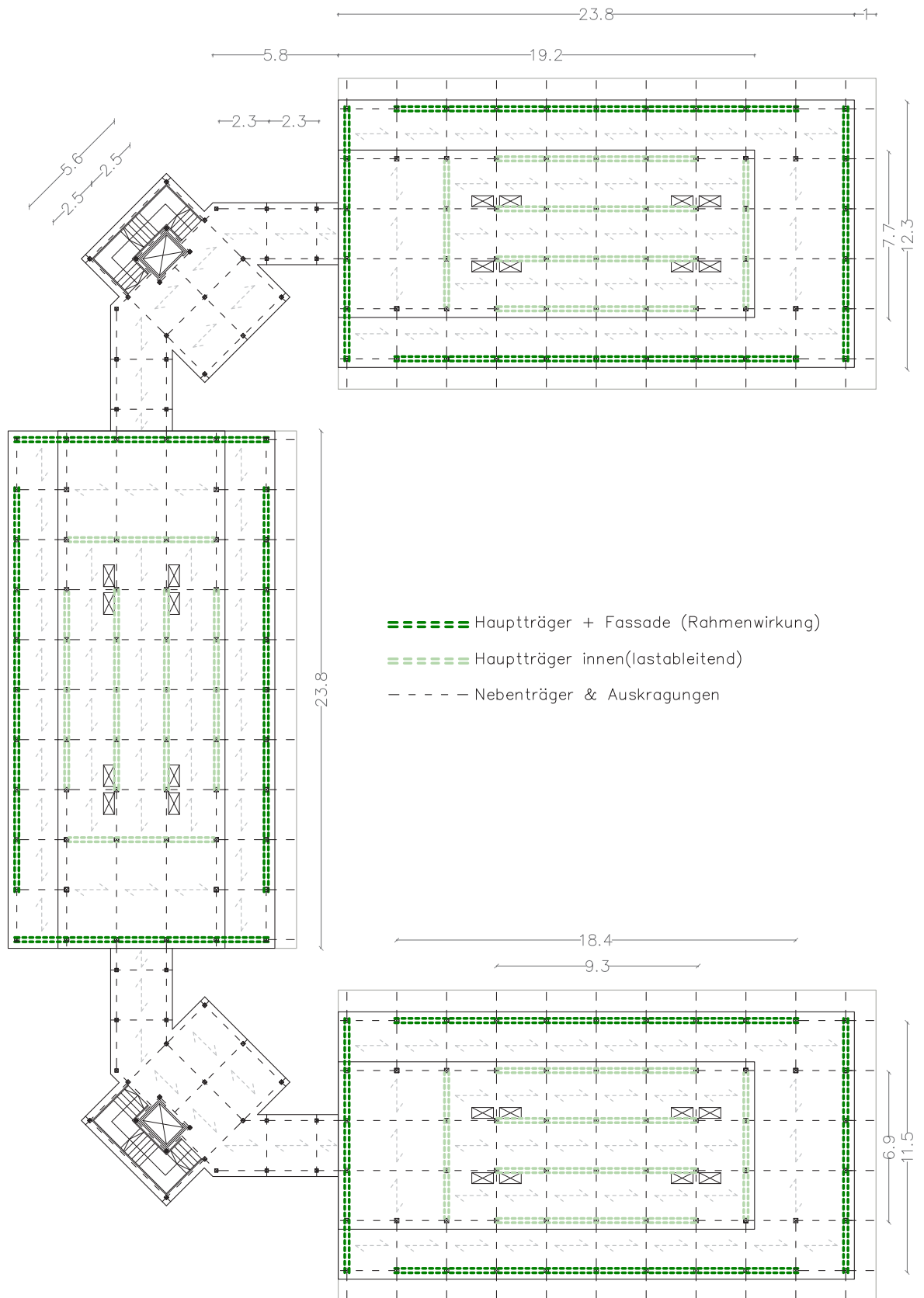
**Fundamentanschluß- Systemknoten- Bemaßung (oben)**

**1:5**



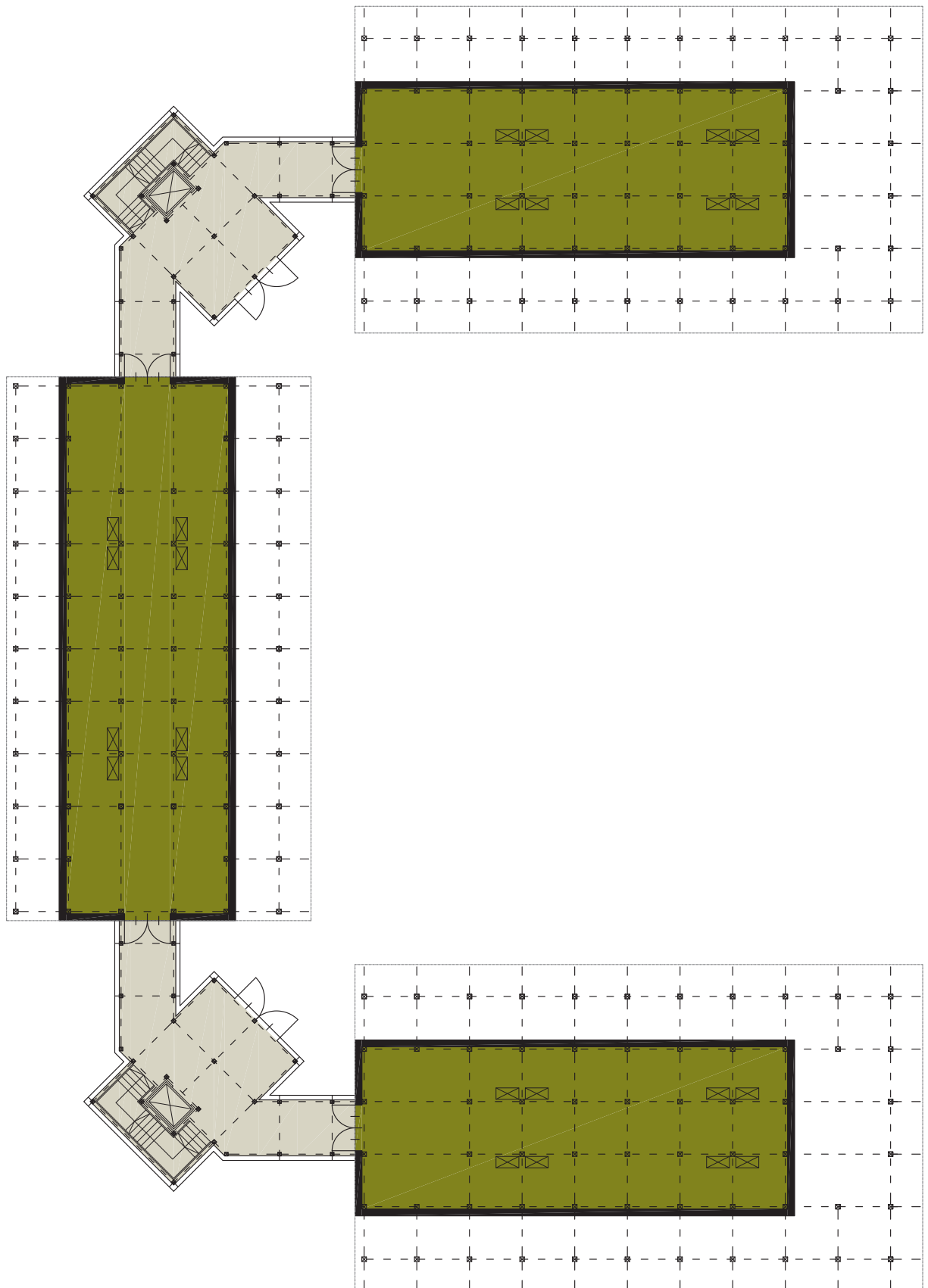






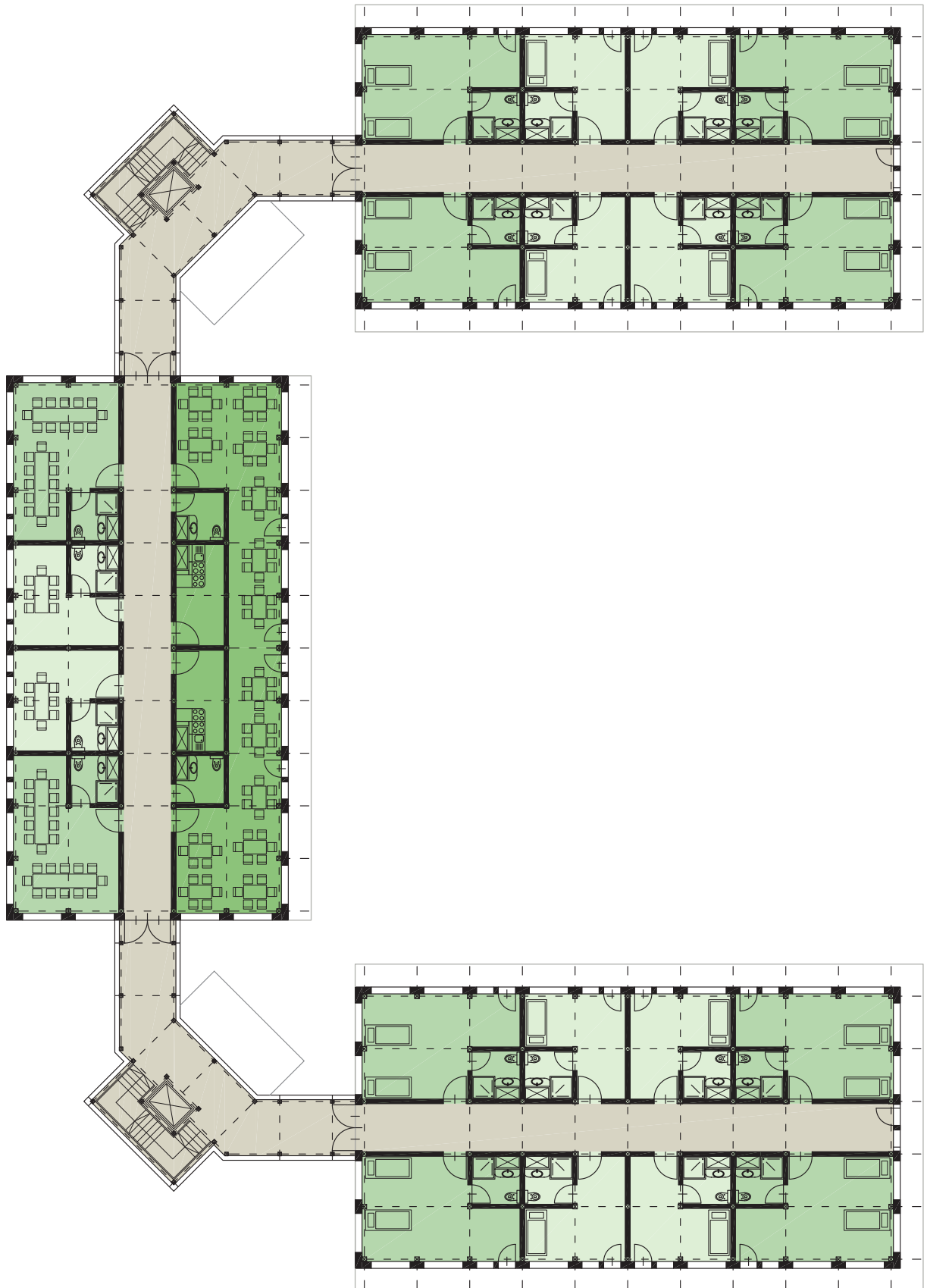
**Tragwerk**

**1:250**



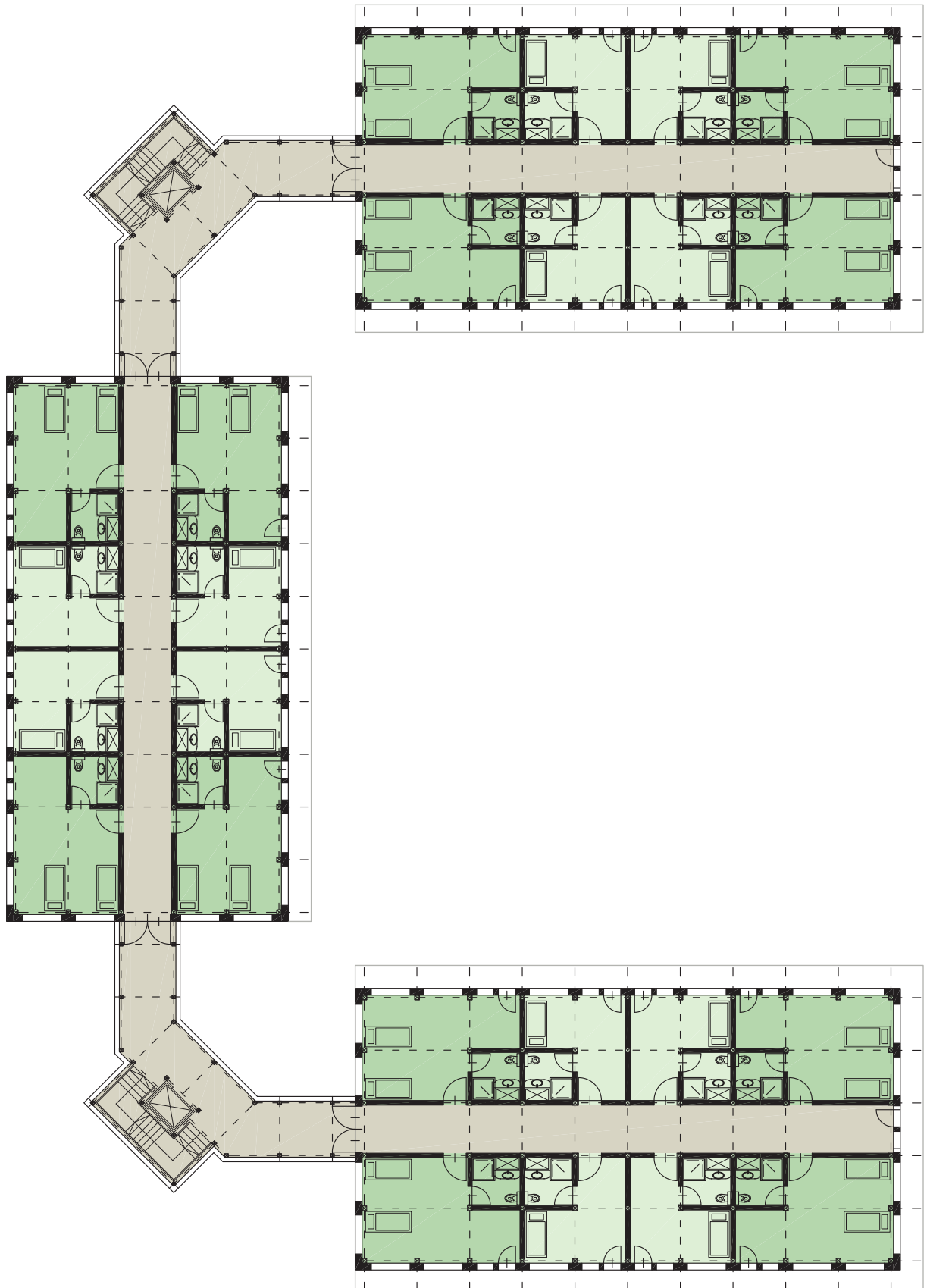
**Erdgeschoss**

**1:250**



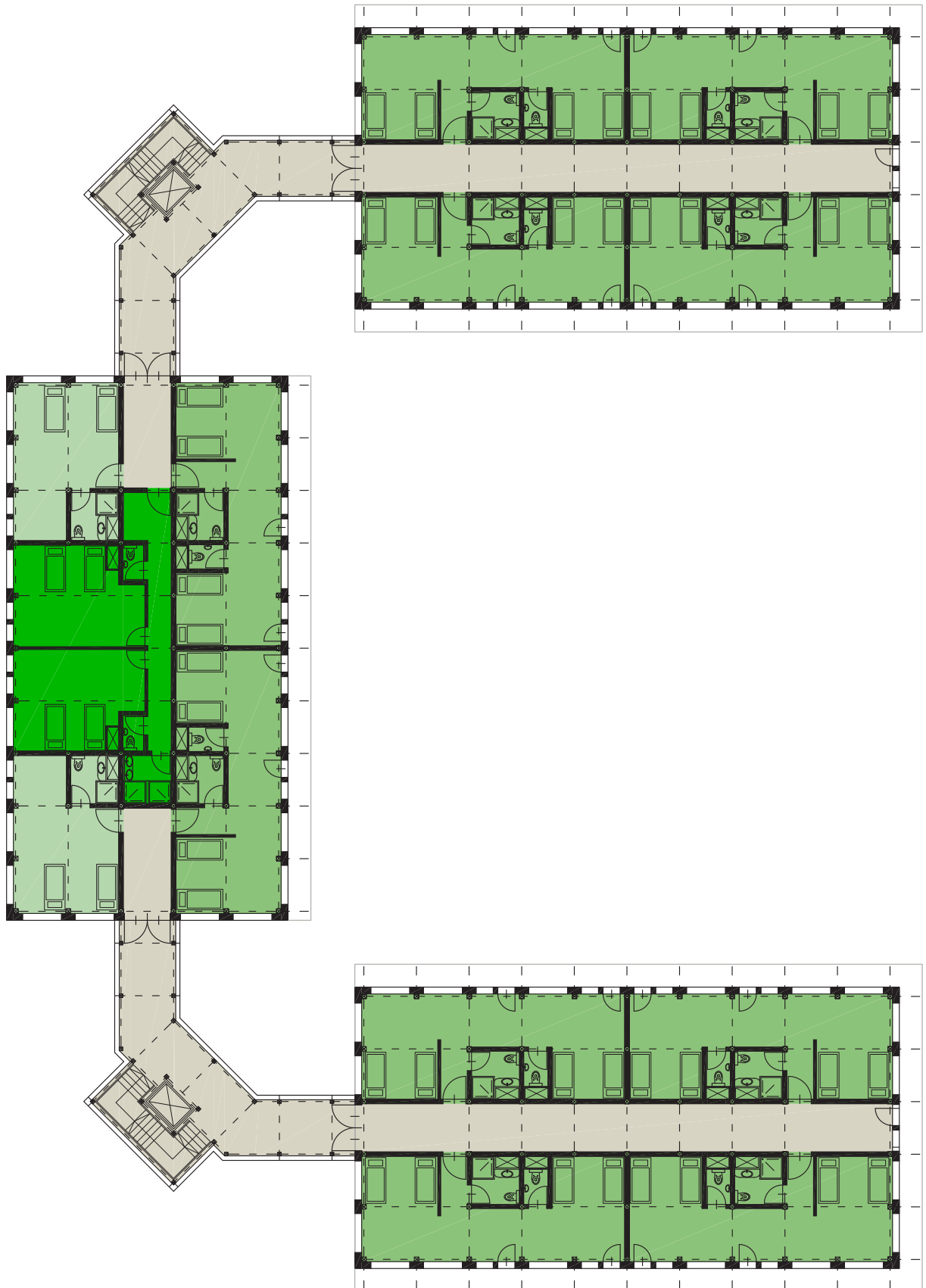
**1. Obergeschoss**

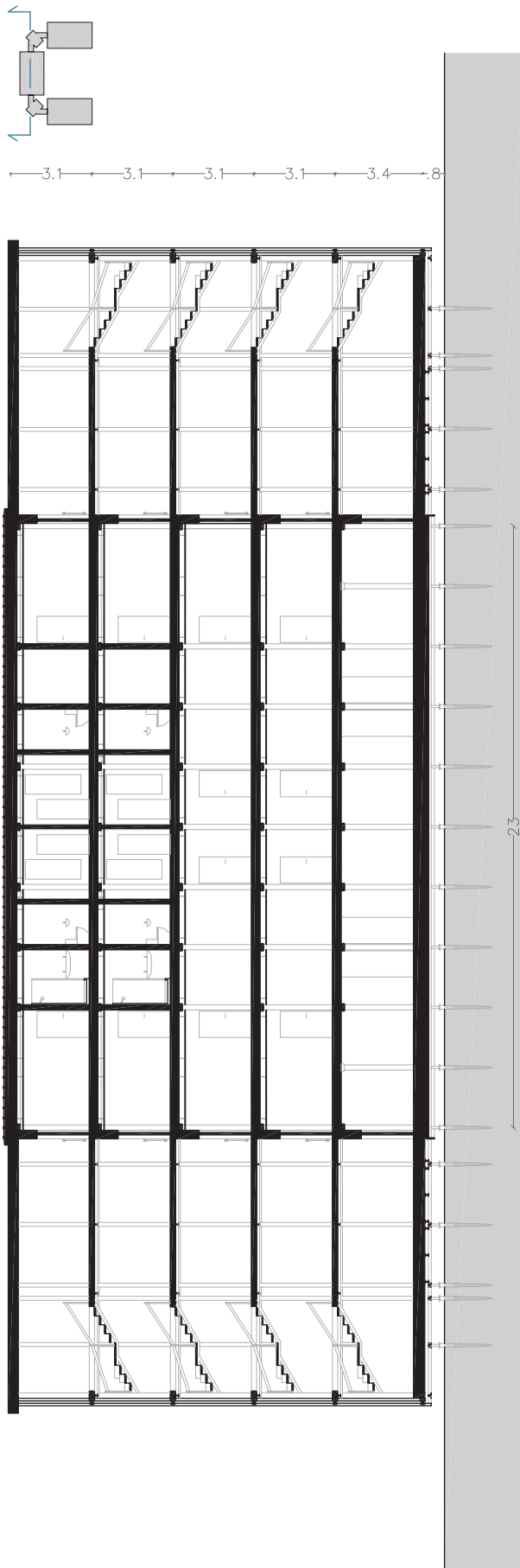
**1:250**



2. Obergeschoss

1:250

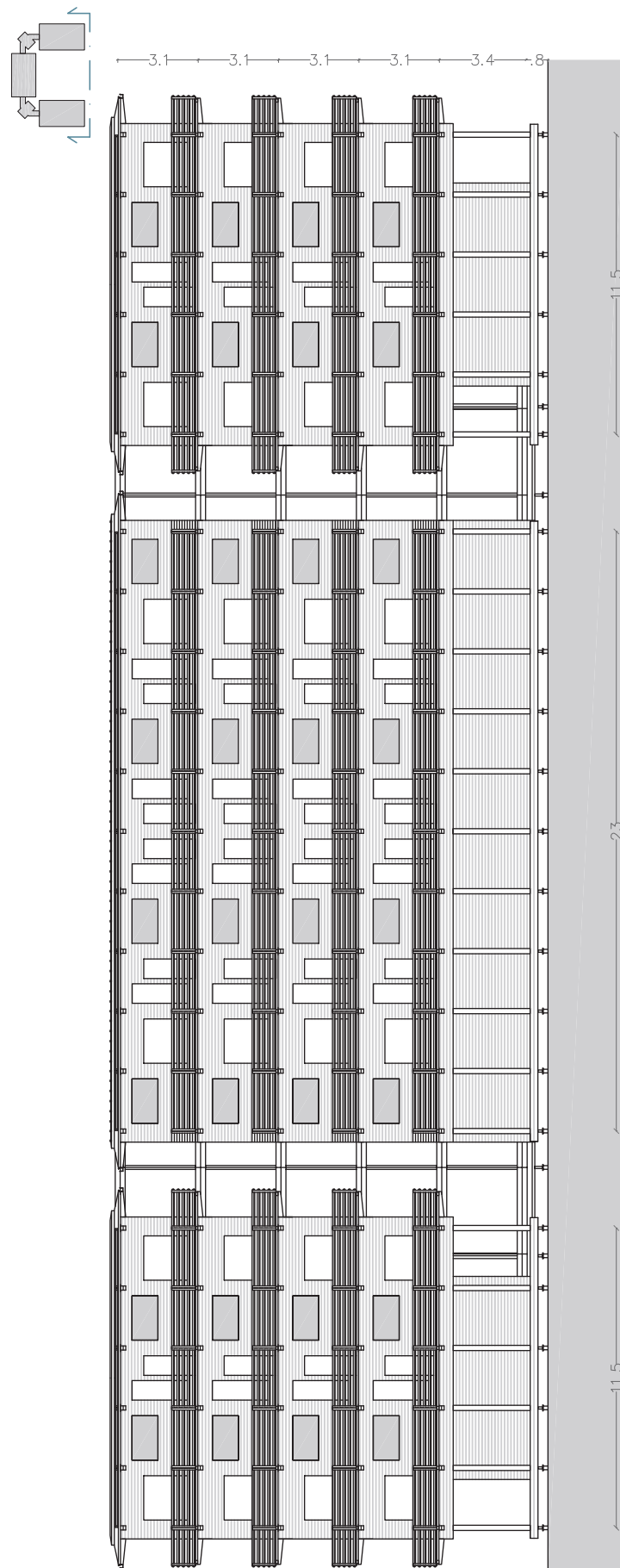




**Schnitte**

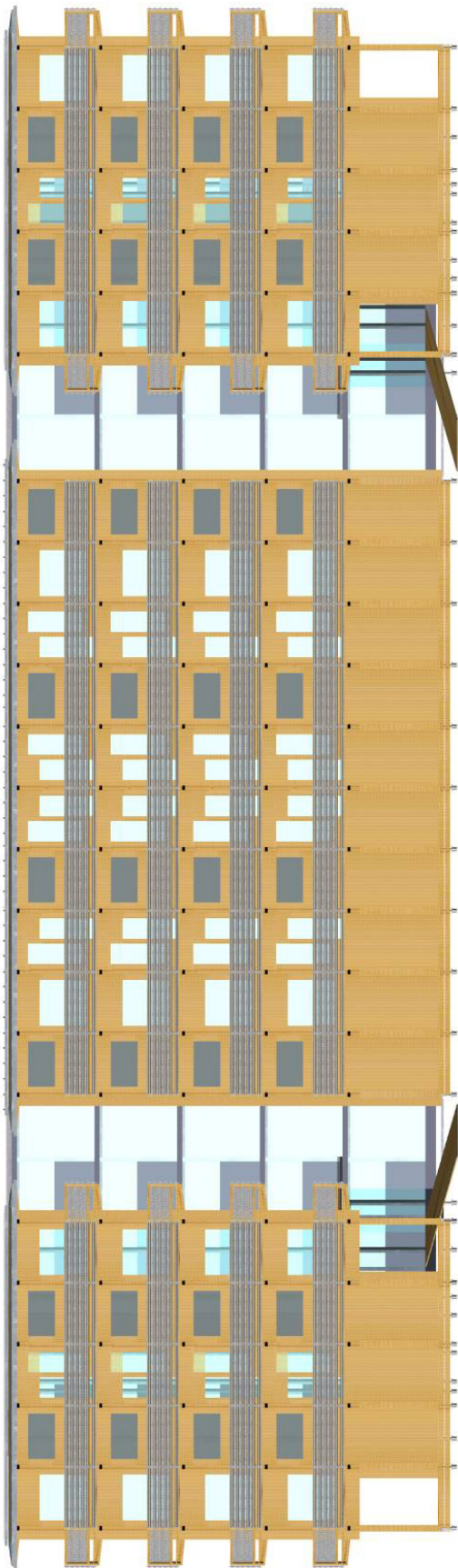


**1:250**



**Ansichten**

**1:250**

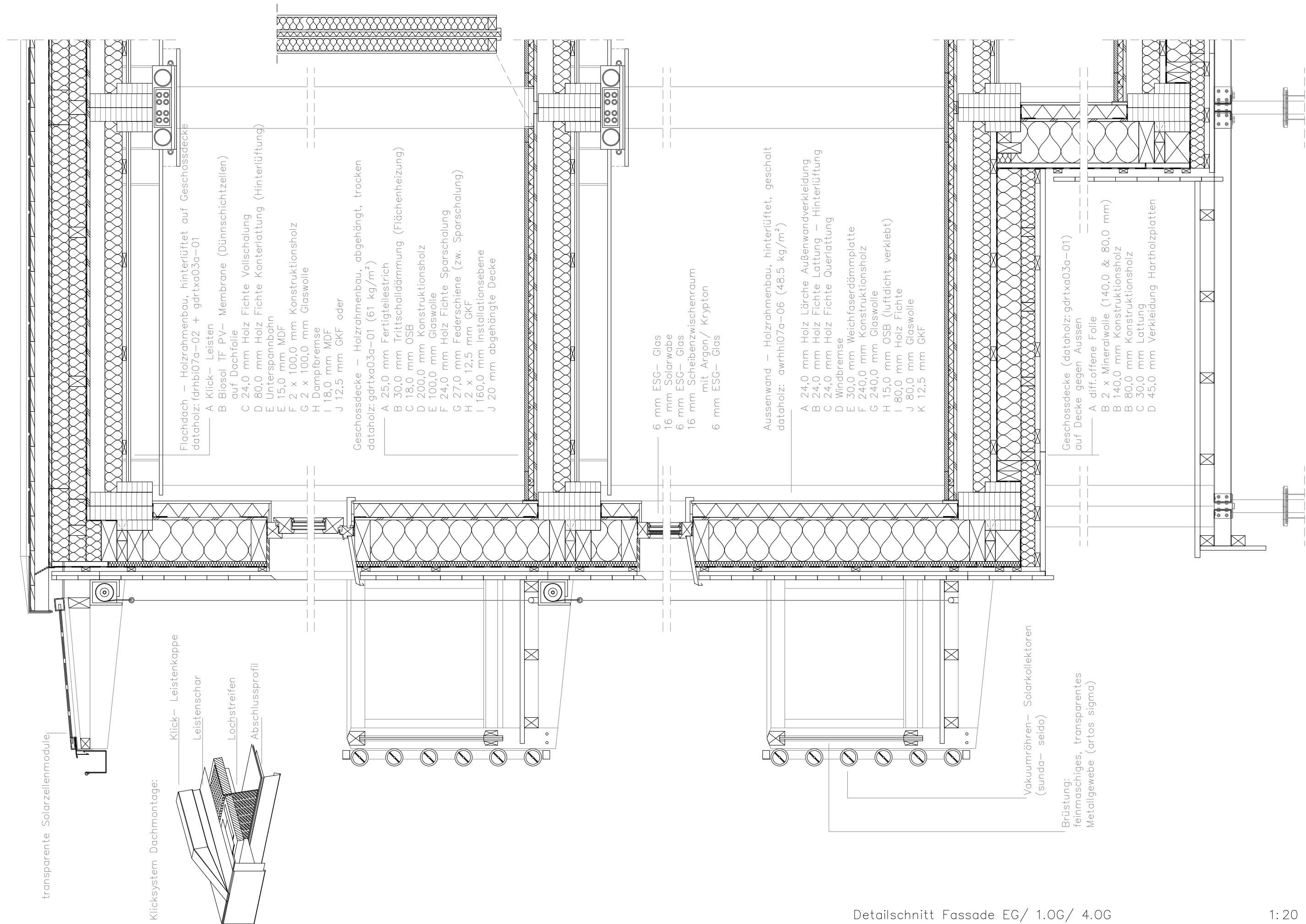


**Ansicht Front**

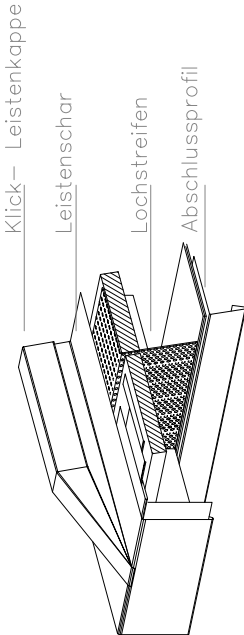


**Ansicht Seite**





Klicksystem Dachmontage:



Klick— Leistenkappe  
Leistenschar  
Lochstreifen  
Abschlussprofil

Flachdach — Holzrahmenbau, hinterlüftet auf Geschossdecke  
dataholz: fdrhbi07a-02 + gdrtxa03a-01

- A Klick— Leisten
- B Biosol TF PV— Membrane (Dünnschichtzellen) auf Dachfolie
- C 24,0 mm Holz Fichte Vollschalung
- D 80,0 mm Holz Fichte Konterlattung (Hinterlüftung)
- E Unterspannbahn
- F 15,0 mm MDF
- G 2 x 100,0 mm Konstruktionsholz
- H 2 x 100,0 mm Glaswolle
- I Dampfbarriere
- J 18,0 mm MDF
- K 12,5 mm GKF oder

Geschossdecke — Holzrahmenbau, abgehängt, trocken  
dataholz: gdrtxa03a-01 (61 kg/m²)

- A 25,0 mm Fertigteilestrich
- B 30,0 mm Trittschalldämmung (Flächenheizung)
- C 18,0 mm OSB
- D 200,0 mm Konstruktionsholz
- E 100,0 mm Glaswolle
- F 24,0 mm Holz Fichte Sparschalung
- G 27,0 mm Federschiene (zw. Sparschalung)
- H 2 x 12,5 mm GKF
- I 160,0 mm Installationsebene
- J 20 mm abgehängte Decke

- 6 mm ESG— Glas
- 16 mm Solarwabe
- 6 mm ESG— Glas
- 16 mm Scheibenzwischenraum mit Argon/ Krypton
- 6 mm ESG— Glas

Aussenwand — Holzrahmenbau, hinterlüftet, geschalt  
dataholz: awrhi07a-06 (48,5 kg/m²)

- A 24,0 mm Holz Lärche Außenwandverkleidung
- B 24,0 mm Holz Fichte Lattung — Hinterlüftung
- C 24,0 mm Holz Fichte Querlattung
- D Windbremse
- E 30,0 mm Weichfaserdämmplatte
- F 240,0 mm Konstruktionsholz
- G 240,0 mm Glaswolle
- H 15,0 mm OSB (luftdicht verklebt)
- I 80,0 mm Holz Fichte
- J 80,0 mm Glaswolle
- K 12,5 mm GKF

Vakuümrohren— Solarkollektoren  
(sunda— seido)

Brüstung:  
feinmaschiges, transparentes  
Metallgewebe (artos sigma)

Geschossdecke (dataholz: gdrtxa03a-01)  
auf Decke gegen Aussen

- A diff.offene Folie
- B 2 x Mineralwolle (140,0 & 80,0 mm)
- B 140,0 mm Konstruktionsholz
- B 80,0 mm Konstruktionsholz
- C 30,0 mm Lattung
- D 45,0 mm Verkleidung Hartholzplatten