

# Vergleich der Raummodul-Bauweisen im mehrgeschossigen Holzbau

Konrad Merz  
merz kley partner  
Altenrhein, Schweiz / Dornbirn, Österreich





# Vergleich der Raummodul-Bauweisen im mehrgeschossigen Holzbau

## Einleitung und Abgrenzung

Das mehrgeschossige Bauen mit Raummodulen in Holzbauweise ist in den beiden letzten Jahrzehnten sowohl durch hervorragende Beispiele als auch durch seine Potenziale stärker in den Fokus des Baugeschehens gerückt. Die Gründe für diese Entwicklung sind vielschichtig: Das Bauen mit Holz erlebt – insbesondere wegen seiner ökologischen Qualitäten – einen seit Jahren anhaltenden Boom. Weiter befeuert wird die Entwicklung durch Engpässe beim urbanen Wohnraumangebot durch eine hohe Migrationsdynamik und den stetig wachsenden Wohnflächenbedarfs. Der Sog der Ballungsräume gepaart ein mit einem Renovations- und Innovationsstau führt vielerorts zu einer starken Nachfrage nach Schulraum.

Die technischen Möglichkeiten im vorgefertigten Holzbau erweitern sich stetig und die bislang lückenhafte digitale Kette von Entwurf, Konstruktionsplanung und Fertigung schließt sich. In einer stärkeren Industrialisierung und Modularisierung wird allgemein ein großes Potenzial zur Kostenreduzierung im Bauwesen gesehen. Raummodule in Holz bieten zu all diesen Themen interessante Ansätze.

Die Ausführungen beziehen sich im Wesentlichen auf Projekte mit einem traditionellen Bauablauf. Das heißt ein Bauherr sucht sich für seine Bauaufgabe einen Architekten, dieser plant ein individuelles Gebäude und entschließt sich aufgrund der projektspezifischen Randbedingungen für eine Raummodulbauweise in Holz. Diese Module sind dann immer «Spezialanfertigungen» auf das gegebene Projekt zugeschnitten. Sie werden in der Regel von mittelständischen Holzbauunternehmen hergestellt und montiert. Die Holzbaufirma tritt dabei als GU für das ganze Gebäude oder zumindest als «Teil-GU» für die am Einzelmodul benötigten Gewerke auf.

## 1. Entscheidungshilfe pro/contra Raummodulbauweise

Bevor man sich den Kopf über die Systemwahl zerbricht muss für jedes Projekt die Sinnhaftigkeit der Modulbauweise geprüft werden. Der Entscheid für oder gegen die Raummodulbauweise ist von vielen Faktoren und deren Gewichtung abhängig. Die untenstehende Tabelle kann als Entscheidungshilfe dienen. Je mehr der aufgelisteten Faktoren auf ein Projekt zutreffen umso wahrscheinlicher ist eine erfolgreiche Umsetzung in Raummodulbauweise.

Notwendige Voraussetzungen:

- In Raummodulen umsetzbares Raumprogramm
- Regelmässige Geometrie
- Offenheit aller Beteiligten (Bauherr, Architekt, Fachplaner) für die Bauweise
- Ausreichender Planungsvorlauf
- Interesse ausführender Firmen für das Projekt

Begünstigende Faktoren:

- Möglichst große Stückzahl gleicher Module
- Raummodul entspricht der Nutzungseinheit
- Module komplett vorfertigbar
- Hoher Installationsgrad in den Modulen
- Offenheit für «alternative» Vergabeverfahren, funktionale Ausschreibungen usw.

Explizite Stärken:

- Kurze Bauzeit
- Emissionsarme Baustelle
- Temporärer Charakter, Wiederverwendbarkeit
- Hohe Ausführungsqualität, wenig Mängel
- Große Kostensicherheit

## 2. Typen von Einzelmodulen

In der Regel sind Raummodule Quader. Sie haben also einen rechteckigen Grundriss und sechs Begrenzungsflächen, von denen jeweils zwei die gleiche Größe aufweisen. Konstruktiv wird zwischen Längswänden, Querwänden, Decke / Dach und Boden unterschieden. Sowohl aus konstruktiver als auch aus produktionstechnischer und logistischer Sicht sind im Idealfall alle sechs Seiten geschlossen. Das ist allerdings nur der Fall, wenn eine Nutzungseinheit mit den Abmessungen eines Raummoduls übereinstimmt. Dies trifft bei Anwendungen wie Hotelzimmern, Kleinwohnungen oder Studentenwohnanlagen zu.

Natürlich lassen sich von den sechs Seiten eines Quaders – je nach Entwurf – einzelne Flächen entfernen, um großzügige Raumverbindungen, die Verbindung mehrerer Module zu einem Raum oder Holzbaukonstruktion auch große Fensterflächen zu erlauben (Abb. 1). Allerdings ist der Quader nach dem Weglassen von mehr als einer Seitenfläche statisch nicht mehr stabil. Zumindest für den Transport muss die Zelle dann auf jeden Fall temporär versteift und provisorisch geschlossen werden, um Witterungseinflüsse auf den Innenausbau zu verhindern. Wie viele Seiten des Raummoduls offen sind, entscheidet meist auch darüber, in welche Richtung Boden und Decke spannen. Im Normalfall, d.h. bei geschlossenen Modulen, erfolgt die vertikale Lastabtragung über die Längswände (Abb. 2 a). Der Grund dafür ist in erster Linie die kürzere Spannweite. Zudem sind die Querwände – wenn wie üblich zu Flur und Fassade hin orientiert – infolge von Türen, Fenstern und Installationsführung zumindest partiell geöffnet. Decke und Boden tragen meistens unabhängig und zudem unterschiedliche Lasten: Der Boden die Nutzlast und den Fußbodenaufbau, die Decke nur sich selbst. Beim obersten Modul kommen je nach Konstruktion noch die Lasten aus dem Dach dazu. Fehlt bei ein- oder mehrseitig offenen Modulen mindestens eine Längswand, muss von der oben beschriebenen Regel abgewichen und die vertikale Lastabtragung anders gelöst werden. Dabei stehen zwei Möglichkeiten zur Verfügung: Die eine besteht darin, die Last über die Querwände abzutragen und die Decke bzw. den Boden längs zum Modul zu spannen (Abb. 2 b). Die zweite Möglichkeit ist die Anordnung von Unterzügen anstelle der fehlenden Wände (Abb. 2 c). Die Lastweiterleitung aus den Unterzügen erfolgt punktuell über Stützen an den Modulecken. In diesem Fall spannt die Decke wieder quer zum Modul und auch der darüberliegende, quer gespannte Boden liegt auf dem Unterzug des unteren Moduls auf (Abb. 2 c). In gewissen Fällen, vor allem bei Treppenhäusern oder wenn man sich die Dopplung bei der Decke sparen will, gibt es Raummodule ohne Boden und/oder Decke.

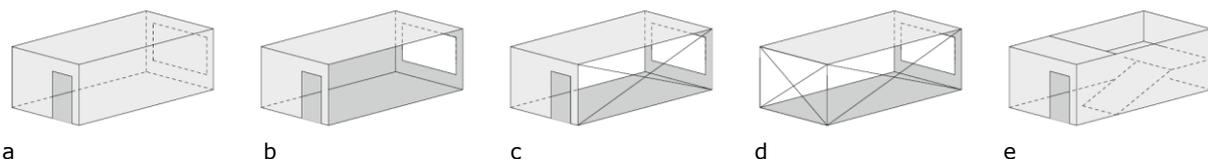


Abbildung 1: Öffnungsgrade von Raummodulen

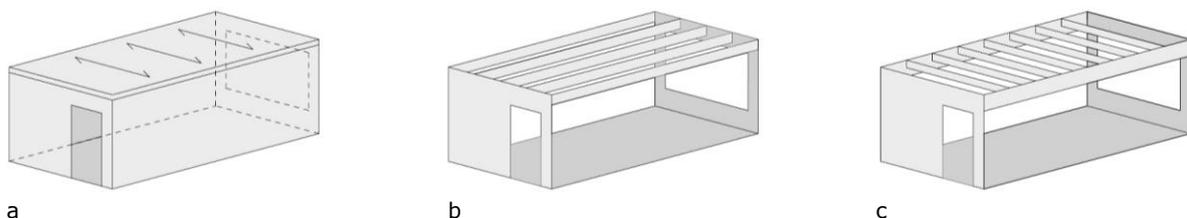
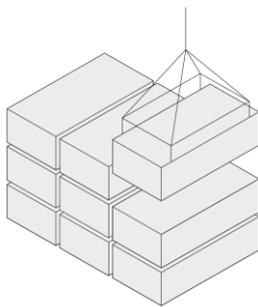


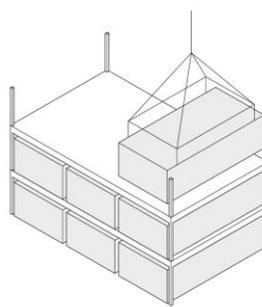
Abbildung 2: Deckenkonstruktionen bei geöffneten Raummodulen

### 3. Anordnung der Module

Der Prozess der Vorfertigung prägt das Entwerfen im Raummodulbau so stark wie in keiner anderen Bauweise. Die Entscheidung für Raummodule muss bereits zu Beginn der Entwurfsphase getroffen werden, da das Raumgefüge immer der Logik des Moduls folgt. Die starken räumlichen Vorgaben, die die Bauweise vorgibt, prägen den gesamten Entwurfsprozess. Während das Entwerfen von Grundrissen mit abgeschlossenen Raumzellen (z. B. Hotelzimmer, Apartments) gut strukturierbar ist, gestaltet sich das Entwerfen mit offenen Raummodulen (z. B. Wohnungen über mehrere Module) relativ komplex, da die räumlich-funktionalen Anforderungen mit den Modulgrenzen in Übereinstimmung gebracht werden müssen. Die Vielfalt möglicher Lösungen ist dabei unbegrenzt. Raummodule sind in der Regel schon aus der Notwendigkeit des Transports heraus stabil genug, um ihr Eigengewicht abzutragen. Nicht immer jedoch sind die Module so konzipiert, dass sie über mehrere Geschosse hinweg übereinandergestapelt die Lasten aus anderen Modulen aufnehmen und weiterleiten können: Es gibt also die Grundtypen des tragenden und des eingestellten Raummoduls (Abb. 3)



lastabtragende Raummodule



selbsttragende, eingestellte Raummodule

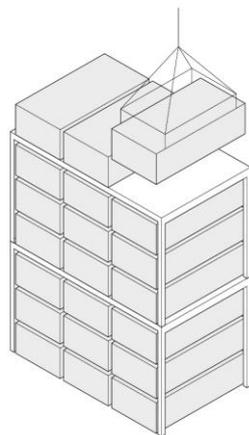
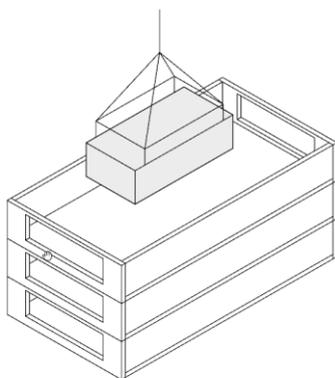
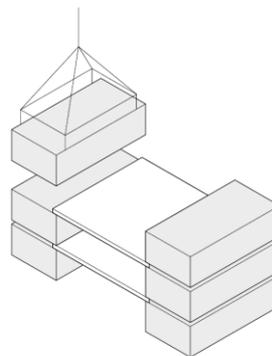
Kombination:  
sekundär tragende Raummodule  
in Primärstruktur eingestellert2D trägt 3D:  
eingestellte Raummodule in flächig  
aufgebaute Gebäudestruktur3D trägt 2D:  
Raummodule mit eingehängten  
Deckenscheiben

Abbildung 3: Typologie nach Tragwerkshierarchie

Der häufigste Fall des eingestellten Moduls ist die Sanitärzelle, die auf die Rohdecke vorgefertigter Holzbauten oder auch massiver Bauten gestellt wird. Es gibt aber auch Bauten oder Systeme, bei denen große Raummodule in eine übergeordnete, primäre Tragstruktur eingestellt werden. Ein Beispiel ist das 2015 fertiggestellte Hochhausprojekt «Treet» in Bergen. Ein regalartiges, primäres Holzskelett nimmt die Vertikal- und Horizontallasten der 14 Modulgeschosse auf. Jedes fünfte Geschoss ist als Sondergeschoss mit einer tragenden Plattform ausgebildet, auf die je vier Geschosse Raummodule gestapelt werden. Ein anderes Beispiel ist das oben in diesem Tagungsband vorgestellte Wohnbausystem der Firma Renggli, bei dem Raumzellen in eine primäre Struktur aus Stahlprofilen eingestellt werden.

Bei sehr vielen Raummodulbauten tragen die Raummodule die Last aus flächigen Elementen mit ab. Häufig ist das bei typischen Mittelflurtypen im Bereich der Erschließung der Fall. Das Konstruktionsprinzip bleibt jedoch nicht notwendigerweise auf diese Anwendung beschränkt, eine Vielzahl von Kombinationen aus flächigen Elementen und dreidimensionalen Modulen ist denkbar. Eine oft gebaute Variante sind Hotelbauten bei denen eine oder mehrere Nasszellen zusammen als Raummodulvorgefertigt werden und das eigentliche Zimmer in Elementbauweise ergänzt wird. (Abb. 4)

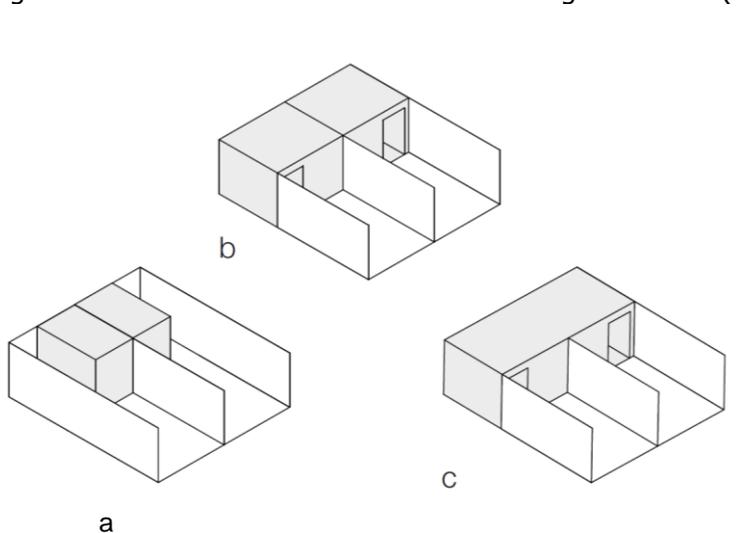


Abbildung 4: Kombination von Raummodulen und flächigen Elementen im Heim- und Hotelbau

### 3. Wahl des Bausystems

Rahmenbau, Brettstapel, Brettsperrholz, Hybridkonstruktionen – grundsätzlich steht die komplette Klaviatur der im heutigen Holzbau gängigen Systeme und Systemkombinationen auch für den Einsatz im Raummodulbau zur Verfügung. Allgemeingültige Regeln, wann welches System zum Einsatz kommt, gibt es nicht. Die Entscheidung ist sehr von den Rahmenbedingungen des spezifischen Projekts abhängig. Der folgende Abschnitt soll anhand einiger für die Wahl ausschlaggebender Kriterien eine Entscheidungshilfe liefern. Auch Holzbetonverbundsysteme sind denkbar, aufgrund der meist geringen Spannweite und aus Gewichtsgründen allerdings nicht sehr verbreitet. Bei der Verwendung von Beton werden eher dünne Stahlbetonfertigteile als Bodenelemente eingesetzt. Dabei liegt der Fokus auf Überlegungen zum Schallschutz und zur Wirtschaftlichkeit. Entscheidend für die Wahl des Bausystems von Boden und Decke sind folgende Kriterien:

- **Statik:** Bei kurzen Spannweiten stehen eher massive Holzkonstruktionen wie Brettsperrholz oder Brettstapelelemente im Vordergrund. Brettstapelelemente haben Nachteile in Bezug auf die Ausbildung von aussteifenden Scheiben. Sie müssen entweder als verleimte Elemente ausgeführt oder mit entsprechend verbundenen Holzwerkstoffplatten zusätzlich versteift werden. Bei größeren Spannweiten kommen aufgelöste Systeme zum Einsatz, z. B. Balkenlagen, Skelettkonstruktionen aus Haupt- und Nebenträgern sowie Hohlkastenelemente.

- **formale Anforderung an die Oberfläche:** Wenn eine Holzoberfläche gewünscht wird, eignen sich bei der Decke aufgrund der geringen Belastung je nach Spannweite in erster Linie Dreischichtplatten oder Brettsperrholz.
- **bauphysikalische Anforderungen:** Vor allem bei Bodenelementen gegenüber Außenluft sprechen die thermischen Anforderungen für den Einsatz von gedämmten Holzrahmenelementen. Schallschutzanforderungen haben hingegen keinen entscheidenden Einfluss auf die Systemwahl, da deren Erfüllung mehrheitlich durch den Bodenaufbau und die Entkoppelung der Module gewährleistet wird. Auch die Dämmung auf den Dachelementen ist nicht ausschlaggebend für die Wahl des Dachelements, da sie oft erst auf der Baustelle aufgebracht wird.
- **Brandschutz:** Die Tragkonstruktion der Bodenelemente ist in der Regel von oben durch den Fußbodenaufbau und von unten durch die Decke des darunterliegenden Moduls vor Brandeinwirkung geschützt. Darum hat der Brandschutz hier keinen Einfluss auf die Systemwahl. Bei den Decken ist die Situation anders. Sie sind direkt der Brandeinwirkung ausgesetzt. Ist eine Kapselung des Holzes erforderlich, spielt es keine Rolle, ob hinter der Kapselung eine Decke aus linearen oder flächigen Bauteilen folgt. Ohne Kapselung stehen eher plattenförmige Bauteile im Vordergrund, die direkt einen Beitrag zum Brandwiderstand und der Rauchdichtigkeit der horizontalen Modultrennung leisten.
- **Raumhöhe:** Die Höhe der Module ist aufgrund des Transports durch die Verkehrswege, insbesondere durch die Durchfahrts Höhe unter Brücken, beschränkt. Ab einer Außenhöhe von ca. 3,20 m erfordert der Transport Spezialfahrzeuge. Die Reduktion der Bauteilaufbauten zur Sicherung von maximalen Innenraummaßen bzw. erforderlichen Mindestraumhöhen ist oft ein entscheidendes Kriterium. Dieses wiederum hat einen Einfluss auf die Wahl des Systems für Boden und Decke.
- **ausführende Firma:** Die Präferenzen der ausführenden Firma und hier besonders der Aspekt der vertikalen Integration – ob also parallel zur Modulproduktion auch eine Elementproduktion angegliedert ist oder ob die Elemente zugekauft werden müssen – spielen bei der Wahl des Bausystems eine wichtige Rolle

Die Kriterien für die Wahl des Bausystems der Wände sind:

- **Statik:** Bei hochbelasteten Wänden sind massive Systeme sinnvoll, vor allem wenn die tragenden Wände keine größeren Öffnungen haben und die Lasten gleichmäßig verteilt werden können. So lassen sich sehr dünne Wandaufbauten erreichen. Brettsperrholzplatten sind zudem per se Scheiben und können dadurch hohe Aussteifungslasten übernehmen oder als wandartige Träger ausgebildet werden.
- **formale Anforderung an die Oberfläche:** Wenn eine Holzoberfläche gewünscht wird, stehen Brettsperrholz oder Brettstapelelemente im Vordergrund. Diese Produkte werden in Qualitäten angeboten, die direkt als fertige Oberfläche verwendet werden können. Holzrahmenelemente mit einer Beplankung aus Holz, die sich als fertige Oberfläche eignet, sind aufwendig in der Herstellung.
- **bauphysikalische Anforderungen:** Wände, die Teil der Gebäudehülle sind, werden wegen der erforderlichen Wärmedämmung oft in Holzrahmenbauweise ausgeführt. Des Weiteren beeinflussen die Schallschutzanforderungen zwischen den Modulen die Wahl des Wandaufbaus. Holzrahmenelemente mit mehreren dünnen Beplankungen haben ein vergleichsweise besseres Verhalten bezüglich Schallschutz als massive Platten.
- **Brandschutz:** Auch hinsichtlich des Brandschutzes ist die Frage nach der Kapselung zentral. Ist sie notwendig, spricht das tendenziell für die Ausführung der Wände in Holzrahmenbauweise. Sichtbare Holzoberflächen werden in der Regel als massive Holzkonstruktion ausgeführt. Bei solchen tragenden Holzwänden erfolgt der Nachweis der Anforderung an die Feuerwiderstandsdauer über eine Bemessung auf Abbrand: Der im Brandfall nach der zugrundeliegenden Zeitspanne verbleibende Restquerschnitt der Wand muss die Tragfähigkeit des Gebäudes gewährleisten.
- **ausführenden Firma:** Die bei den Auswahlkriterien für Boden und Decke formulierte Aussage gilt hier analog.

## 4. Gründung und Aussteifung

Module lassen sich direkt auf dem Bodenniveau oder auf einem massiven Gebäudesockel aufbauen. In beiden Fällen ist die bevorzugte Lagebedingung für Module ein Linienlager unter den tragenden Wänden (Abb. 5). Punktuelle Lagerungen auf Stützen oder Einzel-fundamenten sind auch möglich. In diesem Fall müssen allerdings die Modulwände als wandartige Träger ausgebildet und die Lastkonzentrationen in den Wänden (Pressungen und Normkraft) entsprechend berücksichtigt werden. Bei einer Aufstellung am Boden kann das Auflager eine Bodenplatte oder ein Streifenfundament sein. Beim Verzicht auf eine Bodenplatte aus Beton ist der Boden des untersten Moduls Teil der Gebäudehülle und muss bauphysikalisch und statisch entsprechend ausgebildet werden. In vielen Fällen stehen Module auf ein oder mehreren Sockelgeschossen. Oft sind diese aus Beton konstruiert, da sie aufgrund ihrer Nutzung Räume aufweisen, deren Größe nicht dem Rastermaß der Module folgt. Als häufigstes Beispiel seien Hotels mit offenen Zonen wie Lobby, Restaurants und Konferenzsälen im Erdgeschoss und den modularen Zimmern in den Obergeschossen genannt. In der Decke über dem Erdgeschoss oder einem der Obergeschosse erfolgt daher oft ein Lasttransfer, d. h. die Decke wird als Abfangdecke ausgeführt. Die Abfangkonstruktion muss neben der Tragfähigkeit vor allem auch eine große Steifigkeit aufweisen, damit es nicht zu ungewollten Lastkonzentrationen in den untersten Modulen kommt.

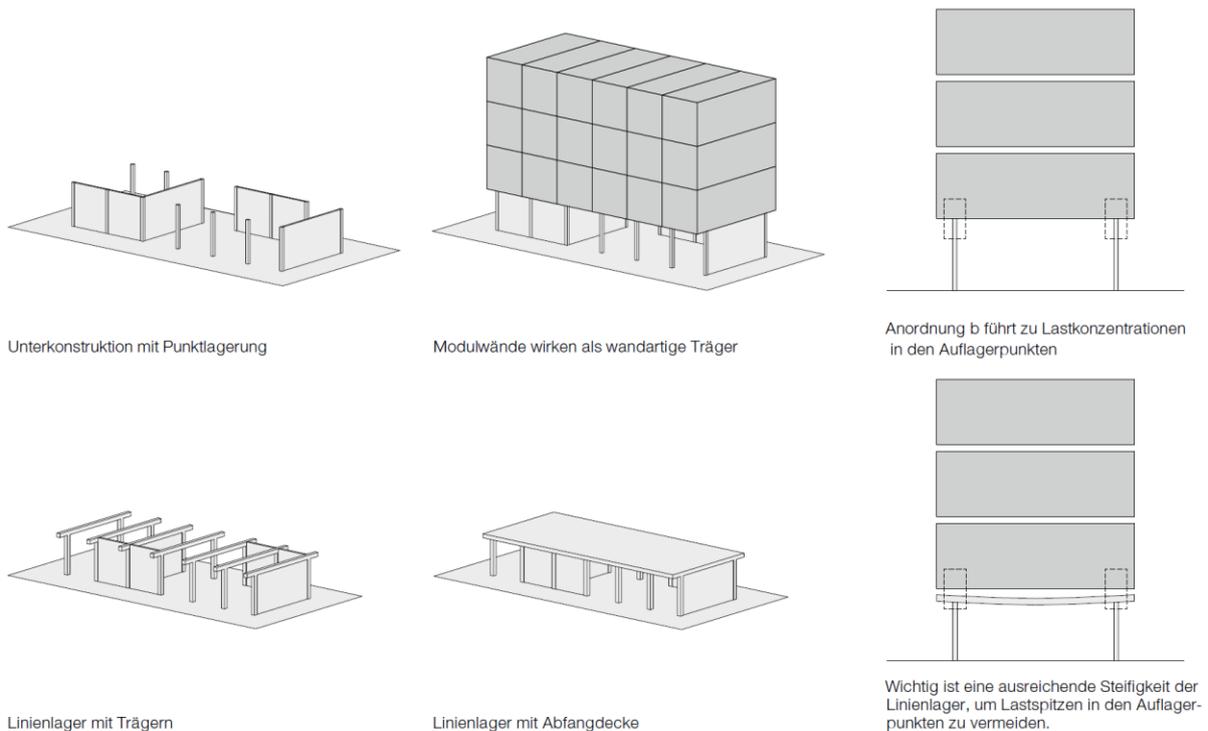


Abbildung 5: Systematik Auflager Modulgeschosse auf massivem Sockelgeschoss

Werden Module mehrgeschossig gestapelt, ist es erforderlich, neben den Vertikallasten auch horizontale Einwirkungen zu berücksichtigen. Diese müssen sicher in die Fundamente abgetragen werden. Dafür gibt es unterschiedliche Konzepte (Abb. 6): Meist werden die Module miteinander gekoppelt und wirken im Verbund. Je nach Anordnung entstehen dadurch in den einzelnen Modulen entsprechend der Lage im Verbund stark unterschiedliche Beanspruchungen. Insbesondere auf den Schmalseiten der Module, die in der Regel große Öffnung aufweisen, führt dies rasch zu aufwendigen Konstruktionen. Häufig wird darum versucht, die Module, vor allem in ihrer Querrichtung, über sowieso vorhandene angrenzende Bauteile wie Treppenhäuser etc. auszusteiern. In Längsrichtung der Module ist die Aussteifung über die meist große Anzahl von Wänden weniger ein Problem. Die Anordnung von biegesteifen Knoten in den Ecken der Raumzellen, wie sie im Stahlbau und vereinzelt auch im Holzbau zum Einsatz kommen, sollte vermieden werden. Denn biegesteife Knoten im Holzbau sind sehr aufwendig und wenig leistungsfähig, insbesondere was die Steifigkeit betrifft.

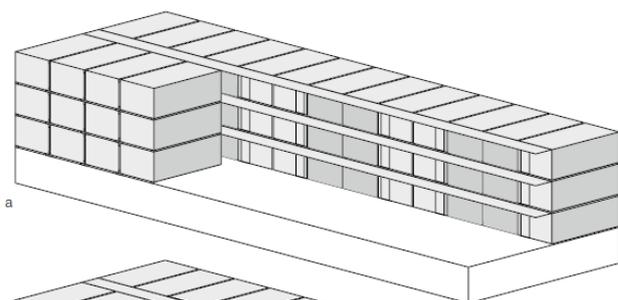


Abbildung a: Module werden in beiden Richtungen über die Modulwände ausgesteift.

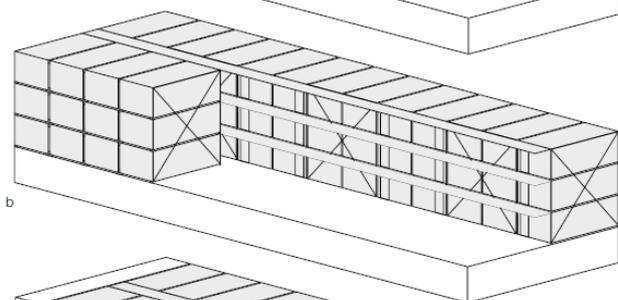


Abbildung b: Module werden mit einer zusätzlichen Konstruktion, in diesem Fall Zugdiagonalen, ausgesteift.

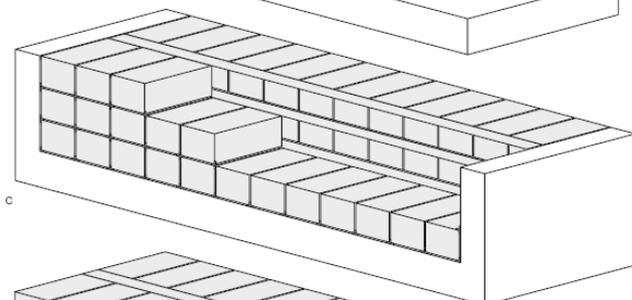


Abbildung c: Module werden in Längsrichtung des Gebäudes (Querrichtung Module) druckfest zwischen zwei Kerne eingeklemmt. In Querrichtung können, je nach Anordnung, Gebäude bis zur Hochhausgrenze über die Vielzahl von Modullängswänden ausgesteift werden.

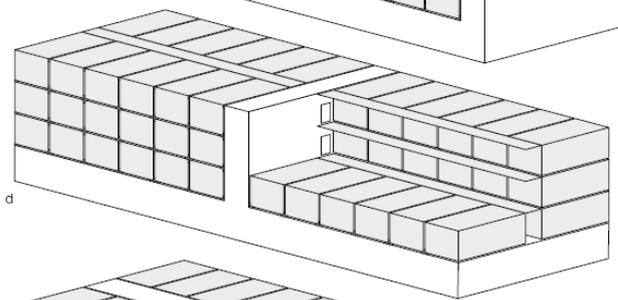


Abbildung d: Module werden in Längsrichtung des Gebäudes zug- und druckfest an den zentralen Kern angeschlossen (zur Aussteifung in Querrichtung der Module siehe c).

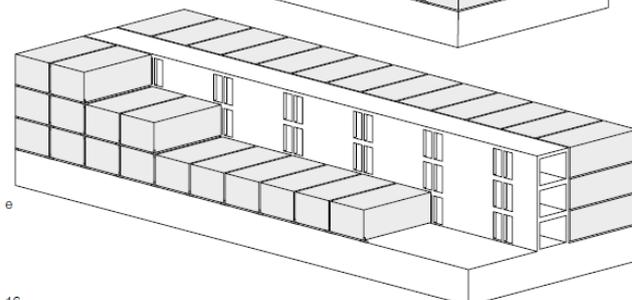


Abbildung e: Module werden in beide Richtungen an einen Kern angeschlossen.

## 5. Literatur

