

Schwerpunkt Technologie und Bautechnik

Eigenschaften und Potentiale des Leichtbaus

Schwerpunkt Technologie und Bautechnik

Eigenschaften und Potentiale des Leichtbaus

„Eigenschaften und Potentiale des Leichtbaus“ ist eine wissenschaftliche Studie, die unter Leitung von Prof. Dr. Ing. Karsten Tichelmann/Institut für Trocken- und Leichtbau Darmstadt unter Mitwirkung von DI Dr. Adolf Merl/TU Wien, Prof. Jochen Pfau/Versuchsanstalt für Holz und Trockenbau Darmstadt, DI Dr. Margit Pfeiffer-Rudy/TU Wien und Prof. DDI Wolfgang Winter/TU Wien im Auftrag von BAU.GENIAL erstellt wurde. Die einzelnen Kapitel werden in gesonderten Heften publiziert. Eine Kurzfassung der gesamten Studie ist nachzulesen auf www.baugenial.at

2 Technologie und Bautechnik

2.1 Herstellung, Transport und Errichtung

2.1.1 Fertigung und Vorelementierung

*Vorfertigung steigert Produktivität,
Wirtschaftlichkeit und Qualität*

Die Industrialisierung von Bauvorgängen und damit der Vorfertigung von Bauelementen ist ein Prozess, der mit Hilfe von technischen Entwicklungen, marktorientiertem Denken und organisatorischen Konzepten dazu dient, Produktivität und Wirtschaftlichkeit zu steigern sowie Leistung und Qualität zu verbessern. Im Baubereich stößt eine Industrialisierung, wie sie aus anderen Produktionsbereichen bekannt ist, allerdings an ihre Grenzen. Einerseits macht rationalisierte Produktion eine große Zahl gleicher Produkte (Häuser, Wohnungen) erforderlich. Andererseits ist die damit verbundene Einheitlichkeit dieser Produkte nicht gewünscht. Als Lösung dieses Widerspruchs bieten sich serielle Bauelemente an, die sich flexibel in den Entwurf integrieren lassen. (Baukastenprinzip). Diesem Prinzip zufolge muss das System erlauben, aus einer möglichst geringen Anzahl unterschiedlicher Bauteiltypen (z. B. Wandtypen), die in größeren Mengen produziert werden und damit die qualitative Überlegenheit sowie die Kostenvorteile von Serienprodukten aufweisen, eine möglichst große Vielfalt unterschiedlicher „Produkte“ (Gebäudetypen) zu kombinieren. Durch diesen Ansatz gelingt es auch im Baubereich, gleichermaßen den unterschiedlichen funktionalen und ästhetischen Ansprüchen und einer rationellen Vorfertigung zu genügen.

Die Vorteile der Vorfertigung sind:

- ▮ Reduzierung der Bauzeit (geringere Belästigung der betroffenen Bewohner und Nachbarn, niedrigere Zwischenfinanzierungskosten).
- ▮ Kostenreduzierung durch sich wiederholende, gleich aufgebaute Elemente.
- ▮ Reduzierung des Materialverbrauchs durch rationellen Materialeinsatz (z. B. großformatige Plattenwerkstoffe, Reduzierung der Verschnitt- und Abfallmengen).
- ▮ Wiederverwenden bzw. Recyceln von Verschnitt und Abfällen.
- ▮ Erhöhung der Qualität der Bauausführung durch witterungsunabhängige Produktion.
- ▮ Ganzjähriges Arbeiten.
- ▮ Reduzierung der witterungsbedingten Belastungen und Schäden während der Bauphase, Senken der Kosten für Sicherungsmaßnahmen gegen Witterungseinflüsse.
- ▮ Konzentration der Baustellentätigkeiten auf Montagearbeiten.
- ▮ Reduktion des Schwerlastverkehrs durch rationellen Baustoffeinsatz und damit verbunden auch die Reduktion des Bauschuttanfalls.
- ▮ Logistische Entflechtung von ineinander greifenden unterschiedlichen Gewerken an einem Bauteil, Reduzierung von ca. 15 Gewerken auf 4–8 Gewerke.
- ▮ Erleichterte Arbeitsbedingungen (Klima, Logistik, Montageablauf, usw.).
- ▮ Erweiterter Einsatz technischer Hilfsmittel (computerunterstützter Abbund/

Zuschnitt Fertigungs- und Wendetische, Druckluftbefestiger, Nagelbrücken usw.).

- Integration von zugelieferten Bauteilgruppen in den Montageablauf (z. B. Fenster).
- Qualitätssicherung durch Fremd- und Eigenüberwachung.
- Werkseitige Endkontrolle.

Ein weiteres Kriterium, das dem Fertigungsprozess bei Qualitätssicherung und Kostenstruktur entgegenkommt, ist die zentral gesteuerte Logistik im Werk. Da Verwaltung, Produktion, Materialbeschaffung und Transport für alle am Bau beteiligten Gewerke an einem Ort zusammengefasst sind, entstehen geringere Planungs-, Logistik- und Verwaltungskosten. Die Terminkoordination der einzelnen Arbeiten gestaltet sich effizienter als beim Bauen auf der Baustelle und die Kommunikation unter den einzelnen Gewerken ist gewährleistet. Für Bauherren ergibt sich der Vorteil, dass nur ein Ansprechpartner alle Tätigkeitsbereiche betreut und nicht zahlreiche Verhandlungen und Abstimmungen mit den unterschiedlichen Gewerken geführt werden müssen.

Vorfertigung bedeutet einen Ansprechpartner für den Bauherrn

Nachfolgend werden für den Bau relevante Vorfertigungssysteme betrachtet:

Modulares Bauen

Bei diesem Bausystem werden zuerst genormte Elemente (z. B. Bauteile oder Raumzellen) entwickelt und Regeln der Füge- und Verbindungstechnik festgesetzt, wie diese miteinander verbunden werden können. Das Endprodukt entsteht als eine Kombination dieser Elemente. Die Varianz im Entwurf hängt von der Anzahl der verschiedenartigen Grundelemente und deren Kombinationsmöglichkeiten ab.

Individuelle Vorfertigung

Im Unterschied zum modularen Bausystem geht die individuelle Vorfertigung immer von einem individuell entworfenen Objekt aus. Ein fertig gestaltetes Wohngebäude wird nachträglich in rationell vorfertigbare Elemente zerlegt (Wand-, Decken- und Dachelemente). Diese einzelnen Elemente werden vorzugsweise werkseitig vorgefertigt. Anschlussdetails resultieren aus den baustoff- oder bauweisenspezifischen Füge- und Verbindungen. Die Kriterien maximale Transportgrößen und Montageabläufe sind maßgebliche architektonische Entwurfsrandbedingungen.

Seriellles Bauen

Seriellles Bauen ist die Weiterführung des modularen Bauens bezogen auf Gebäudeeinheiten (z. B. Reihenhausbau). Individualisierung der einzelnen Häuser findet nur noch im Ausbaustandard, in der Differenzierung der Oberflächen (Materialien, Farbe, Struktur) und durch die Addition optionaler Gebäudeelemente (z. B. Balkone, Wintergärten, Rankgerüste) statt.

Auf Grundlage sich in einem Wohngebäude wiederholender Grundelemente

(Bauteile/Nutzungseinheiten) können ebenfalls die produktionstechnischen und wirtschaftlichen Vorteile des seriellen Bauens genutzt werden. Auf Bauteilebene können Serien beispielsweise im Bereich von Treppen, Wandtafeln, Fassadenelementen und Deckenfeldern geplant werden, als multiplizierbare Nutzungseinheiten bieten sich Sanitärzellen oder Treppenhäuser an.

Kriterium	Modulares Bauen	Individuelle Vorfertigung	Serielles Bauen
Entwicklungsaufwand	hoch	mittel	mittel
individueller Planungsaufwand	gering	hoch	mittel
Entwurfsfreiheit	modulabhängig	nahezu grenzenlos	groß
Gestaltungsfreiheit	gering	groß	mittel
Materialwahl	weitgehend vorgegeben	individuell möglich	individuell möglich
Fertigung	automatisch/roboter techn.	rationalisiert	rationalisiert/automatisch
Produktion auf Lager	möglich	nicht möglich	nicht möglich
Anforderung an den Planer	gering	hoch	mittel
Anforderungen an den Ausführenden	gering	mittel	gering
Anwendungseignung im Leichtbau	gut	gut	gut
Anwendungseignung im Massivbau	gut	gering	gut

Tab. 2-1: Vergleich modulares Bauen mit individueller Vorfertigung

Aus der Gegenüberstellung wird ersichtlich:

- Das modulare Bausystem ist in seinem Grundgedanken der individuellen Vorfertigung genau entgegengesetzt.
- Mit der individuellen Vorfertigung sind der Gestaltung nahezu keine Grenzen gesetzt.
- Innerhalb der individuellen Vorfabrikation gibt es keine Abhängigkeit der Module untereinander, d. h. jedes Bauteil kann auf die für das Bauteil individuell formulierten Anforderungen abgestimmt werden.
- Die Vorfertigung von Bauelementen und der Transport zu den Baustellen macht die Planung des Bauablaufes zwingend erforderlich.

Will man die Produktivität und die Wirtschaftlichkeit bei einem hohen Vorfertigungsgrad steigern und die Flexibilität in Bezug auf Form und Größe der Elemente wahren, so entstehen hohe Anforderungen an die Planung, die Organisation und die Fertigungstechnik. Eine Anwendung des individuellen Vorfertigungssystems erfordert entsprechende Planungsdisziplin. Da der Anteil gleicher Bauteile durch die individuelle Gestaltung der Gebäude klein ist, sollte eine just in time-Fertigung angestrebt werden. Diese beruht auf

folgenden Grundsätzen:

- ▮ Fertigungsbeginn erst nach komplett vorhandener Planung.
- ▮ Möglichst keine Zwischenlagerung von Baumaterialien im Werk.
- ▮ Produktionsbeginn erst nachdem sichergestellt ist, dass die gefertigten Bauteile direkt montiert werden können.
- ▮ Verladung der Elemente direkt auf den LKW.
- ▮ Möglichst keine Zwischenlagerung auf der Baustelle.

Hersteller von Häusern in Leichtbauweise bieten dem Planer heute Planungsvorleistungen, zum Beispiel in Form von geprüften Regelaufbauten, Konstruktionsempfehlungen und Musterstatiken, die als Dienstleistung verstanden werden und entsprechend der individuellen Planung geändert und angepasst werden können. Die Hersteller erreichen dadurch eine Vereinfachung der Planung und bieten so eine hohe Planungssicherheit für alle Beteiligten. Durch das Vereinfachen und Standardisieren der Bauteilaufbauten und der Anschlussdetails lassen sich die Produktionskosten senken. Durch die CIM-Technologie (Computer Integrated Manufacturing) verliert der ökonomische Gesichtspunkt von großen Serien gleicher Bauelemente (Modulares Bausystem) an Bedeutung. Durch den Einsatz von CNC-gesteuerten Abbundanlagen und computerbasierter Fertigungsplanung können die Planungsdaten durchgängig übertragen werden. Planungen von Gebäuden in Leichtbauweise sind heutzutage auf ein hohes Maß an Elementierungsmöglichkeiten in „kleinen Serien“ mit wiederkehrenden Bauteil-Typen ausgerichtet. Die ökonomische Relevanz verlagert sich dadurch auf andere Aspekte, wie die Optimierung von Arbeitsabläufen und Materialeinsatz, die optimierte Vorfertigung und eine systemgerechte Planung. Dabei werden die Systemvorgaben, wie etwa ein besonderes Tragverhalten, die produktionsbedingten Abmessungen und die mögliche Integration von haustechnischen Systemen berücksichtigt.

*Planung und Standardisierung
senken die Kosten*

Konstruktionen in Leichtbauweise eignen sich sowohl für die Baustellenfertigung als auch für die Vorfertigung. Die Art der Ausführung hängt von den Randbedingungen der einzelnen Baumaßnahme ab. Die Vorfertigung ist vor allem für die Bauteilfertigung bei Neubauten sowie bei Anbau- und Aufstockungsmaßnahmen im Bestand zu empfehlen. Beim Umgang mit vorgefertigten Bauteilen ist besondere Sorgfalt an den Tag zu legen, Beschädigungen bei der Lagerung, dem Transport und der Montage zu vermeiden. Bei Baumaßnahmen im Gebäudeinneren ist die Größe vorgefertigter Bauteile durch die Zugänglichkeit des Bauorts eingeschränkt. Daher bietet sich die Baustellenfertigung vor allem bei Maßnahmen im Gebäudeinneren oder bei kleineren Erweiterungsmaßnahmen an. Die angelieferten Bauteile der Unterkonstruktion werden vor Ort aufgerichtet und nach dem Einbringen des Dämmstoffs beplankt. Aufgrund des geringen Gewichts und der einfachen Fügetechniken ist eine rein handwerkliche Baustellenfertigung im Leichtbau ohne schwere Hebezeuge möglich.

*Leichtbauweise für Baustellen- und
Vorfertigung geeignet*

*Geringes Gewicht und trockene
Verarbeitung ideal für Vorfertigung*

Wegen des geringen Gewichts (Transport) und der trockenen Verarbeitung aller Konstruktions- und Ausbaustoffe sind Leichtbauweisen für eine Vorfertigung prädestiniert. Durch die trockene Bauweise gibt es keine Austrocknungs- und damit auch keine Wartezeiten. Im Werk werden die Elemente in der Regel auf Fertigungstischen in liegender Position erstellt. Unterschiedliche Vorfertigungsgrade sind möglich, bis hin zum Einbau von Fenstern und zur Montage der Fassadenbekleidungen. Die Herstellung unterliegt einer permanenten Überwachung und kann mit speziellen Produktionsmethoden bis hin zum Einsatz einer automatisierten Fertigungsanlage durchgeführt werden. Parallel zur Produktion wird das Grundstück erschlossen und werden Gründungsarbeiten durchgeführt. Durch hohe Vorfertigungsgrade und die dadurch realisierbare schnelle Montage eines Gebäudes auf der Baustelle wird eine wesentlich höhere Wertschöpfung in Bezug auf Zeit-, Material- und Energieeinsatz erreicht, die die Wirtschaftlichkeit von Leichtbauweisen bedingt. Ein höchstmöglicher Vorfertigungsgrad von bis zu 90 % wird bei der Herstellung von Raum-Modulen erreicht.

Dem gegenüber wird der Mauerwerksbau heute im Wesentlichen noch mit geringen Vorfertigungsanteilen erstellt. Die Hauptarbeit erfolgt auf der Baustelle. Die Konstruktion unterliegt ungeschützt den Witterungseinflüssen, für einen ausreichenden Schutz der Baustoffe und Bauteile muss Sorge getragen werden. Das Wetter beeinflusst die Qualität und Dauer der Arbeit deutlich. Im Sommer kann bei großer Hitze eine zu schnelle Austrocknung ungünstige Einflüsse haben, Regenfälle können die konstruktiven Teile durchfeuchten. Im Winter kann bei andauernden Frostperioden nicht weiter gearbeitet werden.

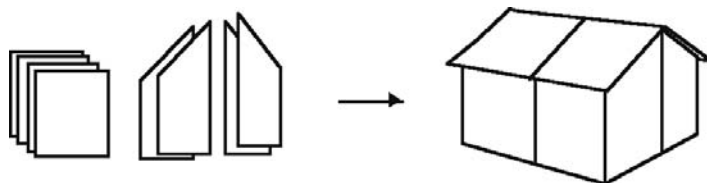


Abb. 2-1: Modulares Bausystem

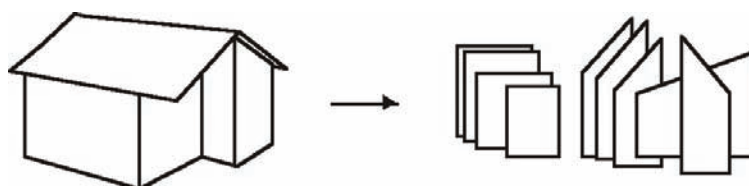


Abb. 2-2: Individuelles Vorfertigungssystem



Abb. 2-3: Handwerkliche Vorfertigung von Tafелеlementen in Holzrahmenbauweise (Quelle: bauart)



Abb. 2-4: Industrielle Vorfertigung von Tafелеlementen in Holzrahmenbauweise (Quelle: bauart)

2.1.2 Qualitätssicherung und Überwachung

Gütesichere Holzhäuser überzeugen durch ihre hohe Qualität und ihr hervorragendes Preis-Leistungs-Verhältnis.

Durch die Vorfertigung der Elemente in einem Produktionswerk (Fertighausbetrieb oder Zimmerei) kann die Herstellung unter geregelten Randbedingungen erfolgen. Unter den in Abschnitt 1 genannten Vorteilen der Vorfertigung ist die Möglichkeit zur Qualitätssicherung ein wesentlicher Pluspunkt. Am festen Produktionsstandort ist die Umsetzung einer Wareneingangskontrolle, einer Fertigungsplanung und von Abnahmen mit klar strukturierten Abläufen und Verantwortlichkeiten, im Gegensatz zu einer Baustellenfertigung, einfach möglich. Die durchgängige Qualitätssicherung von Holzhäusern und deren Dokumentation über Übereinstimmungszeugnisse und Gütezeichen führt zu der positiven Bewertung dieser Bauweise durch die finanzierenden Banken und die Versicherungen.

Qualitätssicherung erfolgt im Produktionswerk

Im Holzhausbau gibt es zwei Arten von Überwachung. Zum einen handelt es sich um die baurechtlich vorgeschriebene Überwachung vorgefertigter Bauteile für Holzhäuser, zum anderen existiert eine darüber hinausgehende freiwillige Fremdüberwachung zur weiterführenden Qualitätssicherung.

Der Gesetzgeber fordert für beidseitig bekleidete oder beplankte Wand-, Decken- und Dachelemente ein Übereinstimmungszeugnis auf Grundlage einer Fremdüberwachung: Vorgefertigte, beidseitig geschlossene Wand- und Deckenbauteile (auch Dachbauteile) in Holzbauweise sind ein Bauprodukt nach Baustoffliste ÖA, lfd. Nr. 4.1.1. Die Verwendbarkeit dieser Bauprodukte wird durch ein Übereinstimmungszeugnis einer vom OIB ermächtigten Stelle bestätigt, die Bauteile sind mit dem Einbauzeichen ÜA

*Werkseigene Kontrolle und
Fremdüberwachung*

vom Hersteller zu kennzeichnen. Durch das Übereinstimmungszeugnis und die ÜA Kennzeichnung wird bestätigt, dass die Holzbauteile dem Verwendungsgrundsatz „Vorgefertigte Wand- und Deckenbauteile mit hölzerner Tragkonstruktion“ des OIB entsprechen. Im Verwendungsgrundsatz des OIB werden die erforderlichen Nachweise für die eingesetzten Baustoffe und Bauteile (Brandschutz, Wärmeschutz, Schallschutz) beschrieben. Es wird eine werkseigene Produktionskontrolle sowie eine regelmäßige Fremdüberwachung (zwei Mal jährlich bei kontinuierlicher Produktion) durch eine österreichisch akkreditierte Prüfanstalt gefordert. Eine ausführliche Erläuterung der Anwendung des oben genannten Verwendungsgrundsatzes gibt die „Checkliste Vorgefertigte Wand- und Deckenbauteile mit hölzerner Tragkonstruktion“ des OIB.

Neben der Überwachung der Elemente erfolgt bei Verzicht auf chemische Holzschutzmaßnahmen und Einstufung der Holzbauteile in die Gebrauchsklasse 0 bei der Vorfertigung von Holzbauteilen eine Güteüberwachung der Bauteile (ÖNORM B 3804), was die Ausführungssicherheit zusätzlich erhöht.

Über die baurechtlich geforderte Überwachung hinaus geht die freiwillige Fremdüberwachung mit Prüfkriterien, die das ganze Haus und dessen Errichtung auf der Baustelle umfassen. Für den Bauherrn bedeutet dies bei der Entscheidungsfindung eine wertvolle Orientierungshilfe und bei der Ausführung seines Gebäudes ein Höchstmaß an Sicherheit.

Einbauzeichen ÜA + CE

Zur Erlangung eines Einbauzeichens (ÜA-, CE-Zeichen) wird durch die fremdüberwachende Stelle im Rahmen der Erstprüfung eines Holzbaubetriebes der Aufbau seiner Holzbauteile hinsichtlich der eingesetzten Baustoffe, der bauphysikalischen und statischen Eigenschaften sowie des Holzschutzes genau kontrolliert. Dabei werden die den individuellen Bauteilaufbauten zu Grunde liegenden Nachweise oder die Übereinstimmung mit bereits nachgewiesenen Musteraufbauten des Bauteilkatalogs www.dataholz.com formal geprüft. Nur bei Übereinstimmung mit den geltenden Anforderungen wird ein Übereinstimmungszeugnis ausgestellt, das fortan den Hersteller zur Anbringung des Einbauzeichens ÜA berechtigt. Durch das Einbauzeichen erklärt der Hersteller, dass das Bauteil in Übereinstimmung mit den zugrunde liegenden technischen Regeln hergestellt wird und unbedenklich für den vorgesehenen Zweck verwendbar ist.

Anschließend stellt die Fremdüberwachung zweimal jährlich sicher, dass alle Anforderungen regelmäßig eingehalten werden. Ein wesentlicher Bestandteil der Fremdüberwachung ist die Überprüfung der Planungsunterlagen (Statik, bauphysikalische Nachweise). Es wird überprüft ob alle erforderlichen Angaben zu den Materialien und der

Konstruktionsausführung vorliegen und ob diese schlüssig sind. Zudem wird die Durchführung und Dokumentation der werkseigenen Produktionskontrolle begutachtet.

Die werkseigene Produktionskontrolle ist der entscheidende Bestandteil der Qualitätssicherung und Grundlage der Fremdüberwachung. Im laufenden Herstellprozess werden mehrfache, stichprobenartige Überprüfungen durchgeführt und nachvollziehbar dokumentiert. Die Fehlerwahrscheinlichkeit im Herstellungsprozess wird dadurch minimiert, vorhandene Fehler werden frühzeitig festgestellt und nicht als Mängel auf die Baustelle weiter getragen. Dadurch gelingt es, Gewährleistungsansprüche weitgehend auszuschließen und eine aufwendige und teure Mängelbeseitigung auf der Baustelle weitgehend zu vermeiden. Dies trägt wesentlich zur Wirtschaftlichkeit der Holzbauweise und zur hohen Kundenzufriedenheit bei.

*Vorfertigung minimiert
Baustellenmängel*

Eine wichtige Voraussetzung für die Übereinstimmung eines Bauteils und des gesamten Gebäudes mit den technischen Regeln ist der Einsatz geeigneter Bauprodukte. Der Hersteller des Gebäudes ist verpflichtet, nur Bauprodukte einzusetzen, deren Eignung für den jeweiligen Verwendungszweck nachgewiesen ist. Die Eigenschaften der Bauprodukte werden vom Produkthersteller durch die Kennzeichnung der Produkte mit dem ÜA- oder CE-Zeichen bestätigt. Bevor diese verbaut werden, wird deren Eignung, Qualität und Kennzeichnung im Rahmen der werksseitigen Wareneingangskontrolle überprüft und dokumentiert. Dadurch wird sicher gestellt, dass die eingesetzten Bauprodukte hinsichtlich ihrer Eigenschaften (z. B. Wärmeleitfähigkeit, mechanische Festigkeit, Schadstofffreiheit, Feuchtigkeit) den jeweiligen Anforderungen entsprechen.

Voraussetzung für eine Qualitätssicherung mit Zwischen- und Endabnahmen, einer Wareneingangskontrolle und sorgfältiger Dokumentation ist die Vorfertigung in einem Produktionswerk, zu dem auch die Materialanlieferung erfolgt. Bei der im Mauerwerksbau üblichen Baustellenfertigung sind die Randbedingungen für eine durchgängige Qualitätssicherung mit Wareneingangskontrolle und deren Dokumentation deutlich schwieriger oder nicht gegeben. Warenlieferungen auf die Baustellen werden häufig nur abgeladen und unter Umständen so platziert, dass die Materialien nochmals mühsam umgeschichtet werden müssen.

2.1.3 Logistik und Transport

Im Folgenden werden kurz die Abläufe von Logistik und Transport vorgefertigter Leichtbauteile dargestellt. Die Betrachtung der gesamten Wertschöpfungskette erfolgt im Kapitel Nachhaltigkeit.

*Erheblich geringerer
Massentransport*

Bei Leichtbauweisen sind die zu transportierenden Massen deutlich geringer als im Massivbau. Durch die schlankeren Bauteilaufbauten ist

auch das zu transportierende Baustoffvolumen insgesamt geringer. Bei einer Vorfertigung ist das Transportvolumen von Bedeutung, da die Elemente weniger kompakt gelagert und transportiert werden können als die reinen Baustoffe (z. B. Mauersteine, Plattenwerkstoffe).

Die Abmessungen vorgefertigter Elemente werden in der Regel durch die zulässigen Abmessungen der Transportmittel und, vor allem bei untergeordneten Straßen, durch die Durchfahrtshöhen unter Brücken begrenzt. Der im Holzbau übliche Standard-Sattelaufleger mit einer Länge von 13,60 m und einer Breite von 2,55 m ermöglicht die Vorfertigung von geschoßhohen (bis maximal 3,20 m) Wandelementen bis zu einer Länge von 13,60 m. Decken- und Dachelemente werden bis zu einer Breite von 2,50 m bei einer Länge von 13,60 m vorgefertigt. Gewichtsbegrenzungen werden im Allgemeinen nicht relevant. Bei massiven Bauweisen mit üblicher Baustellenfertigung ist dagegen die zu transportierende Masse der volumenoptimiert gepackten Baustoffe für die erforderlichen Transportgänge entscheidend.

Um die Transportaufwendungen, abhängig vom Vorfertigungsgrad und der Bauweise, vergleichen zu können, wird das in ein „Durchschnittshaus“ der Fertighausbranche für die weiteren Betrachtungen herangezogen (2.4. Anhang). Je nach Vorfertigungsgrad ergeben sich unterschiedliche Transportvolumina bzw. Massen, die vom Produktionsstandort (Holzbaubetrieb bzw. Baustoffhersteller) zur Baustelle bewegt werden müssen (Abb. 2-5). Man erkennt, dass die für das betrachtete Holzhaus zu bewegende Masse abhängig vom Vorfertigungsgrad nur 20 % bis 30 % des Massivhauses beträgt. Dagegen liegt das Transportvolumen bei mittlerem und hohem Vorfertigungsgrad im Holzhausbau höher als beim Massivgebäude mit Baustellenfertigung.

Bei der im Mauerwerksbau üblichen Baustellenfertigung sind ausreichende Lagerflächen für die Baustoffe vorzusehen. Dies ist im ländlichen Bereich aufgrund der Grundstücksgrößen und der lockereren Bebauung meist kein Problem. Dagegen stehen in eng bebauten Gebieten und bei der innerstädtischen Nachverdichtung die erforderlichen Lagerflächen selten zur Verfügung. Dies führt zu der Notwendigkeit einer kontinuierlichen Baustofflieferung mit entsprechenden Transportbewegungen und damit zu einer hohen Belastung der Anlieger.

Im Leichtbau vergrößert sich mit dem Grad der Vorfertigung auch der Aktionsradius der Firmen. Bei kurzer Montagedauer spielt die Entfernung zur Baustelle keine große Rolle. Die handwerklich organisierten Firmen des Mauerwerkbaus agieren meist regional begrenzt, weit entfernte Baustellen geringer Größenordnung sind, aufgrund der langen Errichtungszeit, wirtschaftlich nicht darstellbar.

Vergleich Volumen – Masse

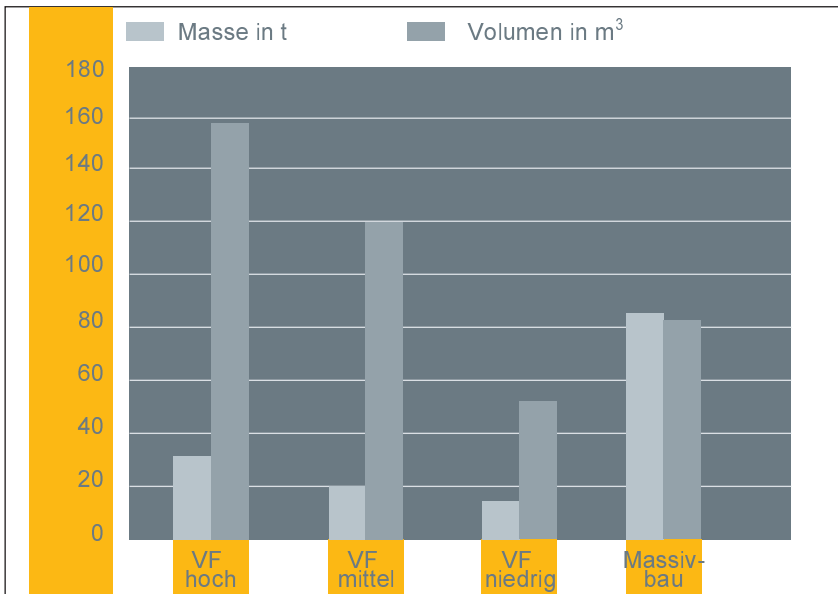


Abb. 2-5: Unterschiedliche Transportvolumina bzw. zu transportierende Massen in Abhängigkeit des Vorfertigungsgrads und der Bauweise

2.1.4 Montage und Baustellenlogistik

Beim Bauen mit vorgefertigten Elementen besteht der Produktionsprozess aus zwei unterschiedlichen Phasen:

1. In der Produktionsstätte werden die Bauteile hergestellt.
2. Anschließend erfolgt auf der Baustelle – in situ – die Montage/der Zusammenbau der im Werk gefertigten Bauteile zu einem Gebäude.

Es besteht somit ein Unterschied zu anderen industriell in einer Fabrik gefertigten Produkten, die in der Regel nutzungsfähig die Fabrik verlassen. Die Endmontage erfolgt auf der Baustelle, nicht in der Fabrikhalle. Um baustellenbedingte Einflüsse zu minimieren, erfolgt im Leichtbau eine detailliert Vorplanung und Vorbereitung des Montageprozesses. In Montageanweisungen werden von der Arbeitsvorbereitung und Organisation über Verladen, Transportieren, Entladen, Montage, Gefahrstoffe bis hin zu detaillierten Arbeitsanweisungen für die einzelnen Montageschritte alle relevanten Themen unter besonderer Berücksichtigung sicherheitstechnischer Aspekte behandelt. Damit gelingt es, auch die Montage von Gebäuden in Leichtbauweise zu einem quasi industriellen Prozess mit klar strukturierten Abläufen zu machen.

*Baustellenbedingte Einflüsse
minimieren*

Die Montagedauer hängt wesentlich vom Vorfertigungsgrad ab. Durch vorgefertigte Elemente kann in sehr kurzer Zeit eine geschlossene Hülle geschaffen werden. Voraussetzung ist eine entsprechende Vorbereitung und sorgfältige Planung der Baustelle (Nivellierung, Schweißbahnen,

Zugänglichkeit, Hebemittel etc.), der Elemente (Hebevorrichtung, Lagerreihenfolge, Anschlussmöglichkeiten etc.) und der Hilfseinrichtungen (Schrägstützen zur Montagesicherung, Gerüste, Verbindungs- und Befestigungsmittel, Planen für den temporären Witterungsschutz, Werkzeuge etc.).

*Einfamilienhaus in 1–2 Tagen
errichtet*

Die Montage der Gebäudehülle ab Oberkante Kellerdecke oder Fundamentplatte kann im Leichtbau innerhalb von wenigen Tagen erfolgen, bei Einfamilienhäusern in der Regel in ein bis zwei Tagen. Ein üblicher Montagevorgang umfasst die Rohbauphase mit Errichtung der Außen- und Innenwände, der Geschoßdecken und des Daches sowie deren kraftschlüssige Verbindung und Verankerung. Danach kann der weitere Ausbau (Installationsgewerke, Trockenbau, Oberflächenbehandlung) witterungsunabhängig zügig durchgeführt werden. Im Massivbau ergeben sich dagegen - durch die Herstellung der Konstruktion auf der Baustelle – deutlich höhere Montagezeiten.

Durch die lange Bauphase bei der langwierigen Herstellung eines Mauerwerkbaus aus kleinteiligen Baustoffen ist der Personaleinsatz, gemessen in Manntagen, insgesamt deutlich höher als im Leichtbau (Abb. 2-6). Entsprechend hoch sind auch die Anfahrtsbewegungen, die vom Bauunternehmer zur Baustelle täglich anfallen. Bei der Montage von Gebäuden in Leichtbauweise ist ein höherer Personaleinsatz von 4 bis 6 Personen nur zum Aufstellzeitpunkt erforderlich, bedingt durch die großen Abmessungen der vorgefertigten Elemente sowie deren schnelle Montage.

*Kürzere Bauzeit bedingt weniger
Baustellenverkehr*

Durch einen hohen Vorfertigungsgrad werden Störungen im Bauablauf weitestgehend ausgeschlossen. Auf der Baustelle sind weniger Gewerke zu koordinieren, die Schnittstellen sind besser geregelt, es ergeben sich weniger Fehler. Elektro- und Sanitärinstallationen sind werksseitig vorbereitet (Leerrohre, Installationsebene, Tragelemente), Einbauten, z. B. von Fenstern und Rollladenkästen, erfolgen häufig bereits bei der Elementproduktion. Durch die Vorplanung der Elementfüzung (Montageöffnungen, Folienüberlappungen, Metallverbinder etc.) kann die Anschlussausbildung mit wenigen Handgriffen unmittelbar nach der Montage erfolgen. Die Restarbeiten am Rohbau beschränken sich auf die Fassade (z. B. Oberputz, Schließen von Bauteilstößen), die statisch erforderlichen Verbindungen/Verankerungen sowie die Ausbildung der luftdichten Ebene. Der Ausbau erfolgt ohne Eingriffe in den Rohbau durch eigene Teams oder auf Leichtbauweisen geschulte Nachunternehmer.

Im Gegensatz dazu sind Unternehmen bei Baustellenfertigung von vielen äußeren Faktoren abhängig. Bei Lieferverzögerungen der auf der Baustelle zu verarbeitenden Materialien und ungeeigneter Witterung ergeben sich längere Herstellzeiträume sowie Störungen im Bauablauf. Der Ausbau ist nicht vorbereitet und erfordert in der Regel Eingriffe in den

Rohbau (z. B. Schlitten). Durch die Nassprozesse ergeben sich Wartezeiten. Schnittstellenprobleme, z. B. zwischen Trockenbau, Dachausbau, Installationsgewerken, Fensterbau und Innenputz, führen zu Mängeln, z. B. bei der Luftdichtheit oder rissfreien Anschlussausbildung.

Personaleinsatz

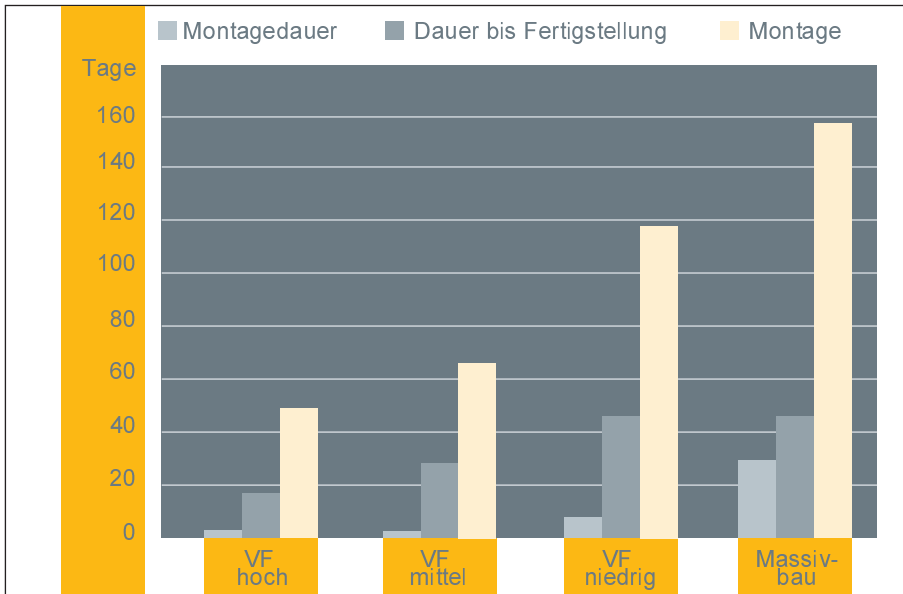


Abb. 2-6: Personaleinsatz in Abhängigkeit vom Vorfertigungsgrad und der Bauweise



Abb. 2-7: Montage eines Holzhauses in Holzrahmenbauweise aus vorgefertigten Tafелеlementen innerhalb eines Tages, fertiges Gebäude (Quelle: bauart)

2.1.5 Ausbau in Trocken- und Leichtbauweise

Trocknungszeiten entfallen

Der Ausbau (z. B. nichttragende Metallständerwände, Dämmung/Bekleidung von Holzkonstruktionen) ist vom System her schnell und trocken auszuführen, ohne das Gebäude bzw. den Bauablauf durch Feuchteintrag, Wartezeiten und Gewicht zu belasten. Durch die „trockene“ Montage sowie das Zusammen-setzen industriell vorgefertigter Baustoffe und Bauteile zu Konstruktionen stellt der leichte Ausbau eine sehr zeitsparende Bauweise dar. Nassprozesse werden lediglich zum Schließen der Fugen eingesetzt. Als Oberflächenfinish wird Streichen, Tapezieren, Bodenbelag o.ä. eingesetzt. Im Gegensatz dazu werden massive Baustoffe auch im Ausbau zum großen Teil nass eingebracht. Die Verarbeitungstechnik bedingt die kürzere Einbau-, Trocknungs- und Wartezeit von Leichtbausystemen. Der Bau wird nicht durch zusätzliche Feuchtigkeit belastet, die ausgebauten Gebäude sind sofort nutzbar. In Wohnbauten herrscht von Anfang an ein von der Feuchte her gesundes Raumklima.

Optimale Verzahnung der Gewerke

Bei kurzen Bauzeiten sollte auf Trockenbausysteme zurückgegriffen werden, da sie praktisch keine Wartezeiten bedingen. Dieser Vorteil im Hinblick auf einen schnellen Bauablauf kann allerdings nur dann voll ausgeschöpft werden, wenn die Zusammenarbeit der verschiedenen Ausbaugewerke (Klima, Elektro, Sanitär, Boden, etc.) entsprechend koordiniert wird, sofern Tätigkeiten dieser Gewerke nicht schon in die Vorfertigung integriert wurden. Die Gewerkereihenfolge ist stärker verzahnt als bei üblichen Massiv/Nassbauweisen, die Gesamtbauzeiten lassen sich dadurch verkürzen. Wartezeiten sind bei trockenem Ausbau planungs- und nicht systembedingt. Ein optimierter Ablauf des Ausbaus ist deshalb, noch stärker als im Massivbau, von einer präzisen Vorplanung abhängig.

Tätigkeit	Warte-/ Trocknungszeit
Fugenverspachtelung von Gipsbauplatten	1 Tag
Fugenverklebung von Gipsfaserplatten	1 Tag
Flächiges Spachteln von Oberflächen (bei hohen Anforderungen an die Oberflächenqualität)	1 Tag
Verputzen 10 mm Gipsputz	2–3 Wochen
Verputzen 15 mm Kalkzementputz	1–2 Wochen
Einbringung von Trockenestrich	1 Tag
Einbringung von Zement-/Mörtelestrich	4 Wochen (Belastbar nach ca. 2 Wochen)
Einbringung von Anhydritestrich	6 Wochen ¹⁾ (Belastbar nach ca. 3 Tagen)

¹⁾ Bei Heizestrichen (Fußbodenheizung) oder der Einlage von Heizdrähten zum Schnelltrocknen ist durch Trockenheizen die Wartezeit bei geeigneten Anhydritestrichen auf bis zu 3 Wochen reduzierbar.

Tab. 2-2: Warte- und Trocknungszeiten im Bauablauf

2.2 Statisch-konstruktive Eigenschaften von Leichtbauweisen

2.2.1 Tragende Leichtbausysteme

Dieser Teil der Studie widmet sich dem Tragverhalten von Leichtbaustrukturen. In modernen Leichtbauweisen wie dem Holzbau und Trockenbau überlagern sich synergetisch die Prinzipien des Materialleichtbaus, des Strukturleichtbaus und des Systemleichtbaus. Die zielgerichtete Anwendung erzeugt im Tragverhalten hochleistungsfähige Systeme. Das vorteilhafte Verhältnis des Eigengewichts zu der Tragfähigkeit solcher Systeme zeichnet Leichtbauweisen aus.

Unter **Materialleichtbau** versteht man die Verwendung von Baustoffen mit niedrigem spezifischem Gewicht. Präziser fassend muss man das niedrige spezifische Gewicht in das Verhältnis zur Beanspruchbarkeit des Baustoffs setzen. Der bekannteste derartige Verhältniswert ist die „Reißlänge“ (auch Reißfestigkeit), also diejenige Länge, unter der ein hängendes Bauteil unter seiner Eigengewichtsbelastung „reißt“ (Tabelle 2-3). Die Reißlänge ist definiert durch das Verhältnis von Zugfestigkeit R_m zum Produkt aus Dichte ρ und Erdbeschleunigung g . Die Länge wird meist in Kilometer angegeben. Die Reißlänge ist unabhängig von der Querschnittsfläche, da nicht nur die Festigkeit linear mit der Querschnittsfläche wächst, sondern auch die Masse. Sie ist eine charakteristische Materialeigenschaft. Und ein anschaulicher Wert.

Reißlänge

Material	Festigkeit σ_u [N/mm ²]	Rohdichte γ [kN/m ³]	Dehnung ϵ_u [%]	Reißlänge $R_u = \sigma_u/\gamma$ [km]
Beton	2,4	23,0	0,1	0,1
Stahl S355J2+N	490 – 630	78,5	26,0	6,2 – 8,0
Spannstahl	1.770	78,5	6,0 – 8,0	22,6
Al 99,9 F10	100	26,5	5,0	3,8
Fichte	80	4,7	-	17,0
Bambus, Mantelfaser	300 – 1.000	6,0 – 9,0	-	50 – 110
Seidenfaden	300 – 600	12,3	10,0 – 30,0	24,4 – 48,8
Glasfaser	bis 3.500	25,0	2,0 – 3,5	bis 140,0
Kohlenstofffaser	2.000 – 3.000	16,7 – 19,6	bis 1,0	119,8 – 153,1

Tab. 2-3: Reißlängen einiger wichtiger Bau- und Leichtbauwerkstoffe

Geht man von der Ebene der Baustoffe zu der Ebene der Bauteile über, so stellt hier der **Strukturleichtbau** die Aufgabe, eine gegebene Belastung mit einem Minimum an Eigengewicht der Konstruktion abzutragen. In erster Linie wird eine möglichst gleichmäßige Ausnutzung des Materialvolumens

Formbestimmender Lastfall

angestrebt. So werden z. B. biegebeanspruchte Bauteile durch Sandwichlösungen oder Fachwerke ersetzt. Dies lässt sich auch auf andere Formen der Beanspruchung übertragen, z. B. Minimierung des Eigengewichtes bei gegebenen Schalldämmeigenschaften. Scharf formuliert bedeutet Leichtbau die Lösung eines Minimierungsproblems, d. h. eines Optimierungsproblems unter Vorgabe einer Reihe von Restriktionen.

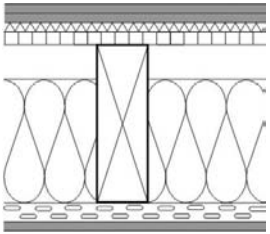
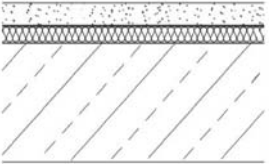
Im Hinblick auf das Tragwerk entwickelt sich die Konstruktion aus dem sogenannten „Formbestimmenden Lastfall“. Der Wahl des formbestimmenden Lastfalls fällt grundlegende Bedeutung zu. Im Bereich der massiven Konstruktionen, wie z. B. dem Stahlbeton, ist der Lastfall Eigengewicht als dominanter Lastfall zugrunde zu legen. Gerade im Leichtbau entfällt jedoch häufig die dominierende Wirkung des Lastfalls Eigengewicht – dies gilt nicht nur für das Tragwerk sondern auch die Gewichtsminimierung der Ausbaustruktur.

Unter **Systemleichtbau** versteht man das Prinzip, in einem Bauteil neben der lastabtragenden Funktion auch noch andere technische Funktionen, wie z. B. Raumabschluss, Wärmedämmung, Schalldämmung, zu vereinigen. Ein derartiges Prinzip wird im Bauwesen schon immer unausgesprochen und selbstverständlich für eine Reihe von Bauteilen angewendet: Decken und Wände sind klassische multifunktionale Konstruktionselemente. Der Systemleichtbau wird im Holzbau und Trockenbau umgesetzt, dabei werden „Raumabschluss“ und Tragwerk bei niedrigem Eigengewicht vereint.

2.2.2 Geringes Eigengewicht

Leicht zu bauen ist Voraussetzung bei Konstruktionen, die große Spannweiten zu überbrücken haben oder die große Höhen erreichen sollen. Bei den im Bauwesen alltäglicheren Dimensionen sowie den Konstruktionen kleiner Abmessungen bedeutet der Einsatz von Leichtbauweisen zunächst eine Ersparnis an eingesetzter Masse, was zumeist mit einer Ersparnis an eingesetzter Energie einhergeht. Beiden Gesichtspunkten wurde bisher keine hohe Bedeutung zugewiesen. Dies wird sich im Rahmen der immer wichtiger werdenden ökonomischen und ökologischen Gesamtbilanzierungen ändern. Hierdurch wird auch das Entwerfen und Konstruieren von Bauwerken beeinflusst werden.

Tabelle 2-4 zeigt den Unterschied des Eigengewichts von Deckenbauarten in Leicht und Massivbauweise für einen Wohnungsbau. Dabei werden gleiche zu überbrückbare Spannweiten $l = 5,20$ und gleiche Verkehrslasten von $2,00 \text{ kN/m}^2$ zugrunde gelegt.

Bauart	Aufbau	Eigengewicht g	Verhältnis Eigengewicht g zur Gesamtbeanspruchung (g + p)
	Trockenestrich 30 mm Trittschalldämmung 20 mm Holzwerkstoffplatte 22 mm Deckenbalken 10/26 cm, e = 62,5 cm Hohlraumbedämpfung Federschiene Gipsplatte 12,5 mm	84 kg/m²	0,30
	Zementestrich 35 mm Trittschalldämmung 20 mm Stahlbetondecke 200 mm	515 kg/m²	0,72

Tab. 2-4: Vergleich des Eigengewichts von Deckenkonstruktionen in verschiedenen Bauweisen mit einer Verkehrslast von $p = 2,00 \text{ kN/m}^2$ und einer lichten Spannweite von 5,20 m.

Das Deckensystem in Holzbauweise erfüllt die Anforderungen mit nur 16 % des Eigengewichtes gegenüber dem Eigengewicht einer Decke in Massivbauweise. Betrachtet man das Verhältnis des Eigengewichts zur Gesamtbeanspruchung der Decke ($g + p$), die für die Bemessung maßgebende Größe, so werden bei der Decke in Stahlbeton bereits 72 % der Bemessungstragfähigkeit durch das Eigengewicht aufgezehrt. Um eine Verkehrslast von ca. 200 kg/m^2 zu tragen, wird im Massivbau ein Bauteil mit einem Eigengewicht von über 500 kg/m^2 gebaut, also dem 2,5-fachen der aufzunehmenden Last.

*Erdbebensicher durch geringes
Eigengewicht*

Geht man weiterhin von einem Einfeld-System der Decken aus, so ergeben sich die Linienlasten für die Vertikallast ableitenden Bauteile, wie ein Unterzug oder eine Wand als Auflager für die der Decke, in der Höhe von $18,6 \text{ kN/m}$ (ca. $1,86 \text{ to/m}$). Für das Deckensystem in Leichtbauweise betragen diese Auflagerlasten nur $7,4 \text{ kN/m}$ (ca. $0,74 \text{ to/m}$). Hier wird die Sinnhaftigkeit von Leichtbauweisen deutlich. Mit größeren Spannweiten wird dieses Verhältnis für massive Stahlbetondeckensysteme immer ungünstiger. In mehrgeschoßigen Gebäuden summieren sich diese Lasten auf und führen zu immer höheren Masseneinsätzen bei den lastableitenden Bauteilen.

2.2.3 Eigenschaften des Leichtbaus bei Erdbebenbeanspruchung

Zur Beurteilung einer Bauweise im Hinblick auf die Eignung für das erdbebensichere Bauen gibt es zwei signifikante Größen, welche die Wahl der Bauweise, den Einsatz der Baustoffe, die Tragwerkskonzeption und die Detailausbildung maßgeblich beeinflussen. Diese sind

- Die maßgebenden Horizontallasten
- Das Verformungsverhalten im Hinblick auf die Duktilität des Tragwerks

Für die durch Einwirkung eines Erdbebens hervorgerufenen Kräfte für die kritische Beanspruchung eines Tragwerks sind vorrangig die entstehenden Horizontalkräfte verantwortlich, deren Größe von der bewegten Masse abhängt. Aus diesem Zusammenhang lässt sich Folgendes ableiten.

- Die durch Erdbeben hervorgerufene Horizontalkraft wirkt dynamisch beschleunigend und tritt in Wechselwirkung auf. Dies bedeutet für alle an der Aufnahme von Erdbebenbeanspruchung beteiligten Bauteile und Anschlüsse eine rasche Lastumkehr- und Wechselbeanspruchung.
- Die einwirkende Größe der Horizontalkraft hängt maßgeblich von den beteiligten Massen ab (Eigenlasten des Gebäudes). Dabei wirkt sich das dem Leichtbau eigene typische niedrige Eigengewicht seiner Bauteile günstig aus. Die entsprechenden Ersatzlasten aus Erdbebeneinwirkungen sind kleiner als z. B. jene im Massivbau.

Der Beitrag von Systemen in Leichtbauweise liegt im Wesentlichen in der Reduktion der Masse des Gesamtgebäudes. Durch die induzierten Beschleunigungen der Bodenbewegungen in das Bauwerk werden die Reaktionskräfte infolge der Massenträgheit durch die geringere Masse reduziert. Neben der Reduktion der inneren Beanspruchung wird auch die Eigenfrequenz des Gebäudes durch die leichte Ausbaustruktur verändert. Nachweisbare Beiträge leisten vor allem leichte Ausbauelemente:

*Wenig Masse verbessert
Erdbebensicherheit*

- Ständerwandsysteme in Holz und Metall
- Trockenunterbodensysteme
- Leichte Decken- und Unterdeckensysteme
- Leichte Außenwände in Holztafelbauweise.

Duktilität

Die vorhandene Duktilität einer Bauweise begünstigt das Gesamtverhalten unter Einwirkung aus Erdbeben (Duktilität beschreibt das nicht-lineare Verformungsvermögen der Tragstruktur mit seinen sogenannten „Überfestigkeiten“). Die Reserven, die durch plastisches Verformungsvermögen aktiviert werden, verhelfen dem Tragwerk zur Möglichkeit der Energiedissipation („Energieableitung“).

Leichte Ständerwandsysteme mit Plattenbekleidung und leichte Deckensysteme, wie diese im Holzbau und dem Trockenbau eingesetzt werden, sind sehr geeignete Bauweisen für das Bauen in Erdbebengebieten. Sie sind leicht, besitzen gute elastische und plastische Verformungseigenschaften und signalisieren ihr Versagen durch ein sich frühzeitig ankündigendes Versagensbild. Für Leichtbauweisen lassen sich grundsätzlich folgende Aussagen im Hinblick auf ihr Verhalten unter Erdbebenbeanspruchungen treffen:

- Die kaltgeformten Metallprofile im Leichtbau besitzen ein sehr günstiges elastisch-plastisches Werkstoff- und Tragverhalten. Die Eigendämpfung solcher Systeme, vor allem im Verbund mit Plattenwerkstoffen, kann durch geeignete Wahl der Befestigungsmittel positiv beeinflusst werden
- Holz besitzt in der allgemeinen Verwendung bei Tragwerken vorrangig nur ein elastisches, aber kein plastisches Werkstoff- bzw. Tragverhalten. Die Eigendämpfung von Holz ist gering. Der anisotrope Aufbau von Holz reduziert wesentlich das duktile Verhalten. Eine gute Duktilität kann dennoch mit mechanischen Verbindungsmitteln, wie z. B. Nägel, Klammern, Schrauben, Stabdübeln usw. erzeugt werden. Die Duktilität des Verbindungsmittels wird direkt genutzt, indem sich der Stift plastisch verformt und so Energiedissipation betrieben wird. Über die Lochleibungsbeanspruchung wird das Holz auf Druck beansprucht und ermöglicht ebenfalls duktile plastische Tragreserven.
- Stiftförmige Verbindung im Holzbau mit metallischen Verbindungsmitteln verfügen über ein hohes Potential zur Dissipation kinetischer Energie aus dynamischen Einwirkungen. Dies setzt geometrische Verhältnisse der Holzdecke zur Schlankheit des Verbindungsmittels sowie notwendige Randabstände voraus. Analytische Untersuchungen an Wandscheiben sowie die praktischen Erfahrungen in Erdbebengebieten zeigen, dass sich Holzkonstruktionen mit Horizontalaussteifung durch Wandscheiben, deren Beplankungen mit metallischen Verbindungsmitteln befestigt wurden, sehr vorteilhaft verhalten.

Dagegen verhalten sich Wände in Mauerwerksbauweise nicht duktil und sind für die Abtragung von Erdbebenkräften ungeeignet, Mauerwerkswände weisen unter dynamischer Beanspruchung ein negatives Verhalten auf, da diese Wandelemente sich spröde verhalten und schlagartig versagen. Massive Wände haben weiterhin den Nachteil des hohen Flächengewichtes. Dies erhöht die Masse und somit die Erdbebenlasten auf das Bauwerk.

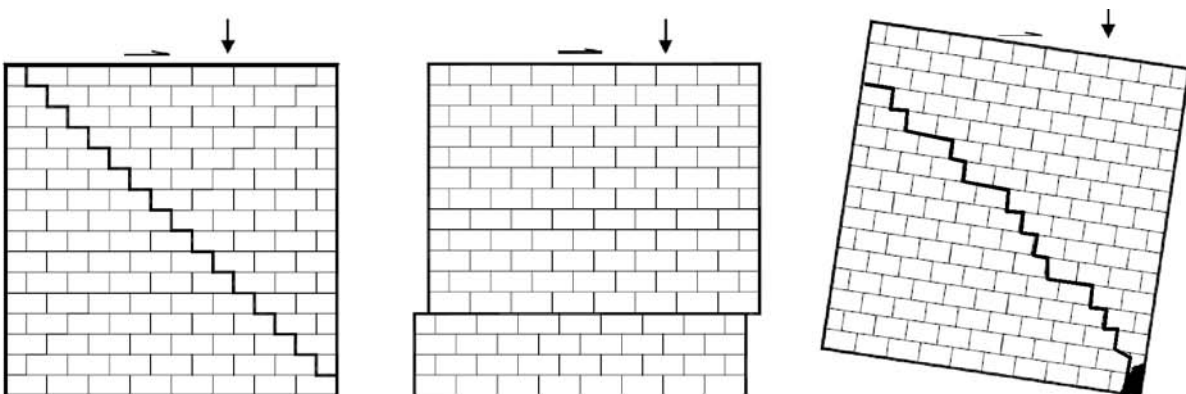


Abb. 2-8: Spröde Versagensformen von Mauerwerk unter horizontaler Beanspruchung

Einfluss auf die Bauwerkssteifigkeit

Neben dem Einfluss der Masse hat auch die Veränderung der Gebäudesteifigkeit einen signifikanten Einfluss auf die Erdbebensicherheit. Steife Verbindungen mit „nichttragenden“ massiven Bauteilen bewirken eine Veränderung der Systemsteifigkeit und der gesamten Dämpfungskapazität, eine Änderung der relativen Lastverteilung auf die Tragelemente und beträchtliche Torsionsmomente, besonders dann, wenn die nichttragenden Bauteile die Symmetrie und die Regelmäßigkeit eines Tragwerks stören. Diese negative Beeinflussung wird umso größer, je höher die Masse dieser nichttragenden Ausbauelemente ist und wenn diese bei der Tragwerksauslegung nicht berücksichtigt werden. Die Massenverteilung und die Veränderung der Steifigkeit bei massiven nichttragenden Ausbausystemen führen dazu, dass die in der dynamischen Berechnung angenommenen Charakteristika des Tragwerks nicht mehr realistisch sind und die Steifigkeitsverhältnisse nicht mehr kontrollierbar sind.

Je nachgiebiger ein Tragwerk ist, z. B. bei Skelettkonstruktion, desto ungünstiger wirken sich diese Effekte auf dessen Reaktion aus. Die Sicherheit von nichttragenden Ausbauelementen in Leichtbauweise, die in der Regel nur auf ihr Eigengewicht ausgelegt sind, darf im Rahmen der Sicherheitsanalyse von Bauwerken nicht vernachlässigt werden. Besonders steife Elemente erfahren über ihre Anschlüsse unterschiedliche Beschleunigung und entwickeln ei-gene dynamische Systeme. Die Größe der übertragenen Beschleunigung hängt von der Steifigkeit der Anschlüsse der Ständerwandkonstruktionen an die Rohbaukonstruktion ab.

Beitrag von Leichtbauweisen in Gebäuden in Mischbauweise

Werden Ausbau- und Fassadenbauteile allseitig „fest“ bzw. kraftschlüssig in das Tragsystem eingebaut, werden die Verformungen der Tragkonstruktion unter Erdbebenbeanspruchung auch „nichttragenden Bauteilen“ aufgezungen. Diese Tragwerksverformung und insbesondere die relativen Geschoßverschiebungen haben speziell bei elastischen Bauwerken wie Skelett- und Rahmenkonstruktionen ($t > 0,5$ s) erhebliche Auswirkung auf nichttragende Elemente und können von diesen negativ, aber auch positiv beeinflusst werden. Diese Einflüsse sind:

- ▮ Reduzierung der Masse und Veränderung der Massenverteilung
- ▮ Veränderung der lokalen und globalen Steifigkeit
- ▮ Reduzierung der Einwirkungen auf die angrenzenden Stützen und Platten.

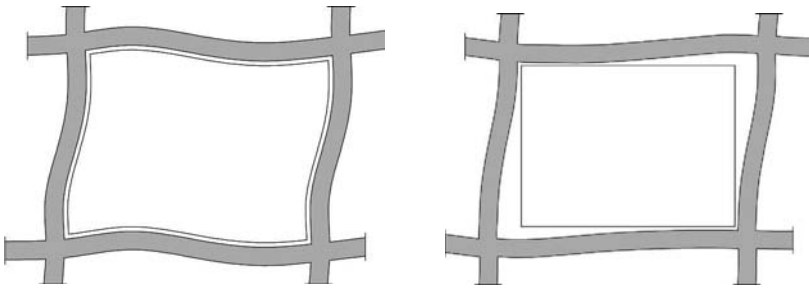


Abb. 2-9: Verformungsverhalten von Skelettbauweisen unter Erdbebenbeanspruchung, rechts duktile Ausfächung in Leichtbauweise, links steife und spröde Ausfächung in Mauerwerksbauweise.

Eine Ausfächung oder gar Aussteifung von Rahmentragwerken durch Mauerwerkswände ist aus folgenden Gründen nicht geeignet:

- Mauerwerkswände können durch eine Beanspruchung quer zur Ebene vorzeitig versagen, vor allem dann, wenn sie nicht oben und seitlich gehalten werden. Die Vertikalbelastung der Wände kann sich diesbezüglich günstig auswirken.
- Mauerwerkswände sind im Vergleich zu Skelett-Tragwerken steif und spröde. Zu Beginn der Erdbebenbeanspruchung übernehmen diese die volle Erdbebenlast, sie können Horizontalkräfte jedoch praktisch nur durch die Bildung von Druckdiagonalen abtragen. Deren Neigung zur Senkrechten der Lagerfuge ist meist so groß, dass Gleiten der Lagerfuge erfolgt. Demzufolge werden sie durch Erdbebenbeanspruchung rasch überfordert und versagen.
- Die aus der Ausfächungswirkung resultierende Schubbelastung der Rahmenstützen kann zu einem Versagen der Wände führen. Die Stützen werden durch die Füllwände derart geschädigt, dass sie nach Ausfall der Mauerwerksausfächung nicht mehr in der Lage sind, die vertikalen Nutzlasten und die Erdbebenkräfte abzutragen.

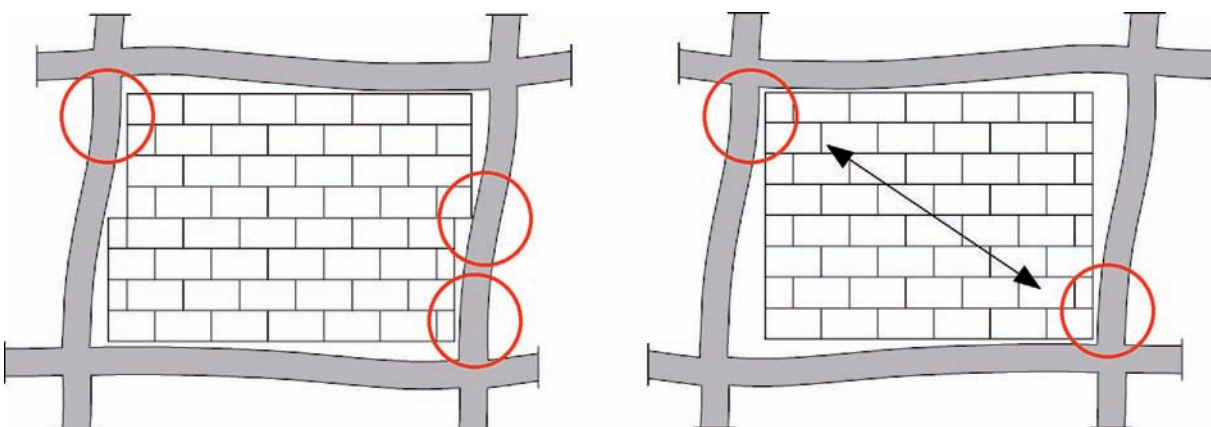


Abb. 2-10: Zusätzliche Belastungen unter Erdbebenbeanspruchung auf die Stützen einer Rahmen- und Skelettkonstruktion durch Ausmauerungen

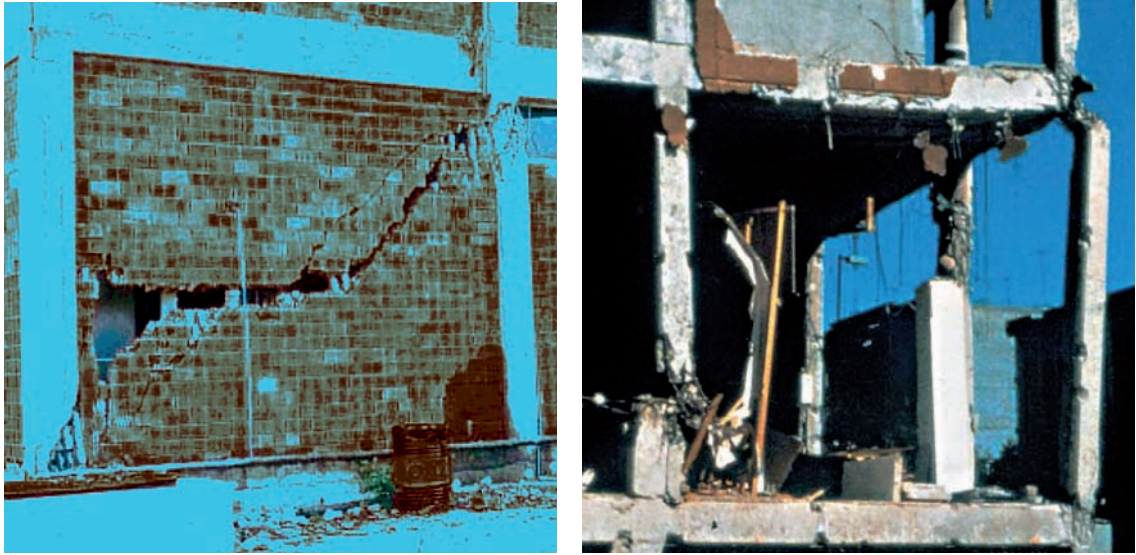


Abb. 2-11: Versagen von Stahlbetonstützen nach einem Erdbeben durch die zusätzlichen Beanspruchungen durch Ausmauerungen nach einem Erdbeben

Besonders ungünstig sind auch die Teilausmauerungen von Rahmen wie z. B. das Aufmauern von Fensterbrüstungen. Dadurch ergeben sich kurze Stützen, die von sprödem Schubversagen gefährdet sind.

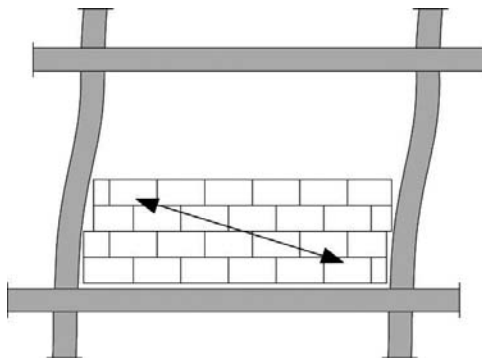


Abb. 2-12: Versagen von Stahlbetonstützen nach einem Erdbeben durch die zusätzlichen Beanspruchungen einer massiven Brüstung

Fassadenelemente in Leichtbauweise

Außenwände werden traditionell nach wie vor oftmals in Mauerwerk erstellt. Wie schon erläutert, sind Mauerwerkswände aus erdbebentechnischer Sicht ungünstig. Sie können sich aus den Gefachen lösen und herabfallen. Besonders ungünstig sind sogenannte „Teilausfachungen“, die bei der Aufmauerung von Fensterbrüstungen eingesetzt werden. Hier tritt das Problem der „kurzen Stütze“ auf, das Tragwerk ist akut einsturzgefährdet.

Nichttragende Außenwände in Holztafelbauweise, wie diese zunehmend für Mischkonstruktionen eingesetzt werden, können einen wesentlichen Beitrag zur Erdbebensicherheit leisten. Dies liegt vor allem in ihrem sehr duktilen Verhalten bei gleichzeitig hoher Steifigkeit. Außenwand-Fassadenelemente wiegen je nach dem Material der Fassadenbekleidung zwischen 40 und 100 kg/m².



Abb. 2-13: Die Art der Konstruktion trägt wesentlich zur Stabilität eines Gebäudes bei und kann die Erdbebensicherheit stark beeinflussen.

Wenn Fassadensysteme mit Leichtbauweise mit flexiblen Befestigungen montiert werden, so werden keine zusätzlichen Lasten auf die vertikalen Tragglieder abgeleitet. Eine „weiche“ Versteifung von vertikalen lastabtragenden Bauteilen reduziert deren Knicklänge, die bei ursprünglich gelenkig gelagerten Anschlüssen als Teileinspannung durch die in der Verformungsebene liegenden Fassadenelemente in ihrem Ausweichen behindert wird.

Ausfachungen in Holztafelbauweise weisen weiterhin den Vorteil gegenüber spröden und starren Mauerwerkswänden auf, dass sie durch ihre erst bei großen Verformungen aktivierte Steifigkeit nicht die gesamte Erdbebenlast aufnehmen, sondern sich entsprechend der Steifigkeitsverhältnisse an der Lastabtragung unter dynamischer Beanspruchung beteiligen. Eine Entfaltung der duktilen Rahmenwirkung ist bei diesen Tragsystemen gegenüber

Mauerwerkswänden möglich. Ziel der Entwicklung dabei ist, die aussteifende Wirkung von diesem leichten Ausbau und Fassadensystemen im elastischen-plastischen Beanspruchungsbereich dieser Wandscheiben zu nutzen.

Energiedissipative Bereiche bilden sich immer an den Anschlussstellen, die aus mechanischen Verbindungsmitteln bestehen. Dies ist auch auf die Beplankung mit Gipswerkstoffplatten übertragbar. Trotz spröder Plattenwerkstoffe wird ein hohes Maß an Duktilität im Bereich der mechanischen Verbindungsmittel vor allem bei der Verwendung von dünnen Nagelschäften sowie Klammern erzeugt. Die lokale Zerstörung des Gipskerns führt zwar zu einer Abnahme der Steifigkeit, hat jedoch auf die Resttragfähigkeit des Gesamtsystems nur einen geringeren Einfluss.

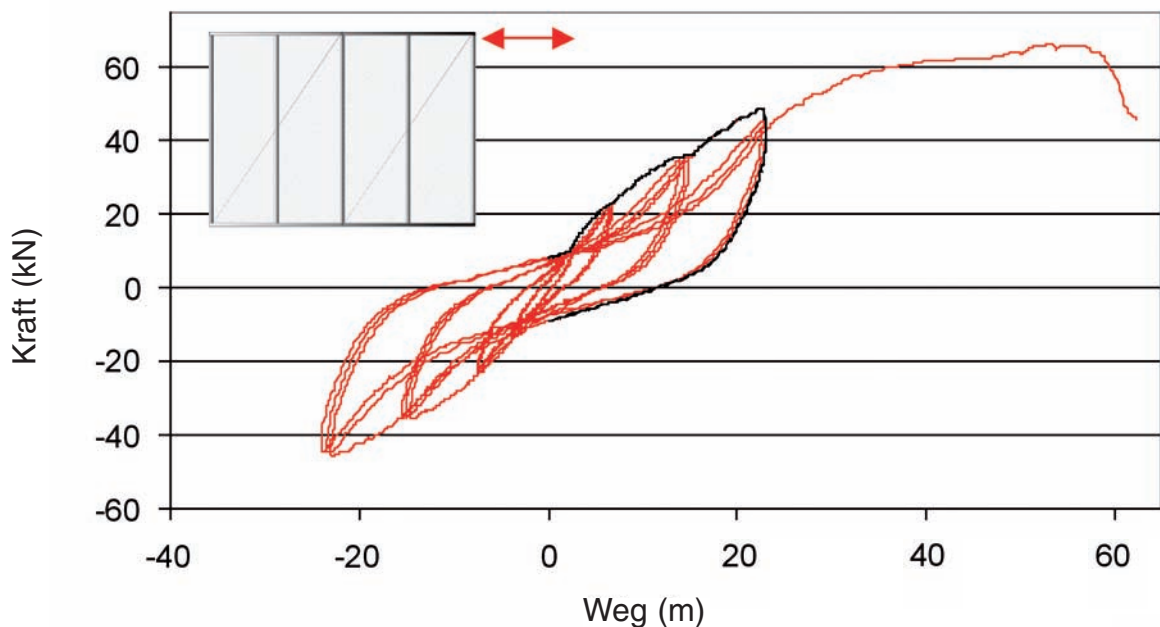


Abb. 2-15: Exemplarisches Tragverhalten einer tragenden Holzständerwand mit Gipsplattenbekleidung unter dynamischer Beanspruchung

Besondere Bedeutung kommt dabei der Wahl der Verbindungsmittel zu. Eine Korrelation zwischen Lochleibungsfestigkeit und der volumenbezogenen Masse der Gipsplatten ist gegeben. Dass die Lochleibungsfestigkeit aber nicht ausschließlich von der Rohdichte des Gipskerns als maßgebendem Parameter der volumenbezogenen Masse abhängt, zeigt die vergleichbare Lochleibungsfestigkeit von Gipskartonplatten mit hohen Rohdichten gegenüber Gipsfaserplatten bei geringerer volumenbezogener Masse.

Bei diesen Untersuchungen ist auch die Abnahme der Steifigkeit unter Gebrauchstauglichkeitsbedingung zu berücksichtigen. Durch zyklische Beanspruchung auch kleiner induzierter Lasten findet eine Abnahme der Steifigkeit

von Holzständerwänden mit Beplankung aus Gipswerkstoffen statt. Diese haben jedoch einen positiven Einfluss, wenn die von außen aufgezwungenen Bewegungen der Tragkonstruktion erst „allmählich“ in die Wandtafeln eingeleitet werden und deren Steifigkeit „behutsam“ aktiviert wird.



GF



GKF (-F)



GKB (-A)

Abb. 2-16: Exemplarische Versagensbilder der Plattentypen GF, GKF und GKB

2.3 Sanierung von Hochwasserschäden

Das Eindringen von Hochwasser in ein Gebäude führt im Allgemeinen zu nachhaltigen Schäden am Bauwerk und Inventar. Die Standsicherheit des Gebäudes ist dadurch in der Regel nicht gefährdet [2]. Gebäude, die einer Hochwasserbelastung ausgesetzt waren, bedürfen einer Sanierung. Wie aufwändig die erforderlichen Instandsetzungsmaßnahmen sind, hängt im Wesentlichen von folgenden Eigenschaften der eingesetzten Konstruktionen und Baustoffe ab:

- Wasserbeständigkeit (für die Dauer der Einwirkung)
- Durchfeuchtungsverhalten
- Austrocknungsverhalten
- Reinigbarkeit
- Austauschbarkeit

Wasserbeständig sind in der Regel mineralische Baustoffe auf Zement/Kalkbasis (Mauersteine, Putze, Estriche, Beton) und keramische Baustoffe (Ziegel, Fliesen) sowie Baustoffe auf Bitumenbasis (Bitumenbahnen, Gussasphalt), Stahlbauteile und Kunststoffe. Dagegen sind Porenbeton, Gipsbaustoffe (Gipsputz, Gips- und Anhydritestriche, Gipswandbauplatten, Gipsplatten) sowie Holz- und Holzwerkstoffe nicht dauerhaft wasserbeständig. Das bauweisenunabhängige Inventar (z. B. Möbel) und die Ausbaubaustoffe (Bodenbeläge, Tapeten etc.) sind in der Regel nicht dauerhaft wasserbeständig.

Allerdings ist die Wasserbeständigkeit der betroffenen Baustoffe bei der zeitlich begrenzten Hochwasserbelastung für sich alleine von untergeordneter Bedeutung. Neben der „Wasserwiderstandsfähigkeit“ ist die Erneuerbarkeit der Baustoffe und Ausbaumaterialien eine Voraussetzung für die Begrenzung der Folgen von Hochwasserschäden]. Bei wasserbeständigen Bauteilen, die eine lange Austrocknungszeit aufweisen, ist eine kurzfristige Instandsetzung und damit eine baldige Nutzung des Gebäudes nicht möglich. Unabhängig von der Wasserbeständigkeit und vom Austrocknungsverhalten muss ein Austausch verunreinigter Bauteile erfolgen, wenn eine hygienisch befriedigende Reinigung nicht möglich ist. Ein schwimmender Zementestrich, der auf einer durchfeuchteten Dämmebene liegt, eine durchfeuchtete und kontaminierte Putzschicht oder eine Mauerwerksebene mit wassergefüllten Hohlräumen (z. B. Hochlochziegel) bieten durch ihre bloße Wasserbeständigkeit keine Vorteile. Zudem sind im Massivbau Installationen in der Regel fest in die Konstruktion integriert (geschlitz und verputzt), der Ausbau und Austausch beschädigter Installationen ist mit einem Öffnen der Wände und Decken verbunden.

*Rasche Erneuerbarkeit von
Baustoffen vorteilhaft*

Hier wird die Überlegenheit von Leichtbaukonstruktionen deutlich. Der Austausch der einfach zu demontierenden Bauteile wie Plattenwerkstoffe und Dämmstoffe ist schnell, ohne „schweres Gerät“ und damit ohne großen Aufwand möglich. Die zu entsorgenden Massen sind gering. Die freigelegten Holzbauteile

können durch die direkte Belüftung schnell austrocknen und durch den offenen Zugang leicht gereinigt werden. Es verbleibt kein Schmutz oder Schlamm unsichtbar im Bauteil. Installationen können, falls erforderlich, einfach ausgetauscht werden. Wichtig ist dabei, dass die Bauteilöffnung rasch geschieht, um eingedrungene Feuchtigkeit nicht unnötig lange einzuschließen und eine Bauteilschädigung zu vermeiden. Die Standsicherheit der Holzstruktur ist auch im durchfeuchteten Zustand nicht gefährdet.

Die Erfahrungen des Hochwassers von 2002 bestätigen: Bei Leichtbauweisen ist die Trockenlegung und Schadenssanierung relativ einfach möglich. Bei zügiger Instandsetzung und günstigen Verhältnissen kann ein durch Hochwasser geschädigtes Holzhaus bereits in kurzer Zeit voll saniert und wieder bezugsfertig sein. Die Holzkonstruktion hat den Vorteil, dass sie aus zwei Gründen rasch austrocknet. Die zu trocknende Masse ist gering und durch das Öffnen der Konstruktion wird die Oberfläche vergrößert. Nach Austrocknung der Tragstruktur, welches durch Heizgebläse noch beschleunigt werden kann, werden neue Dämmstoffe eingebracht, Plattenwerkstoffe aufgebracht und die beschädigte Fassade erneuert. Dieser annähernd vollständige Austausch der Baustoffe ist bei Massivbauten nicht möglich, der Bewohner ist gezwungen, weiter mit den hochwasserbelasteten Bauteilen zu leben. Bei Gebäuden in Leichtbauweise stehen dem Nutzer nach der Sanierung in allen wesentlichen Bereichen komplett neuwertige Baustoffe zur Verfügung.

*Rasche Austrocknung bei
Holzleichtbauweisen*

Sanierungsschritte für Gebäude in Holzrahmenbauweise:

Nur durch qualifiziertes Personal und unter fachkundiger Beratung und Überwachung von Holzhausherstellern, Sachverständigen und Prüfstellen (z. B. Holzforschung Austria) durchführen.

1. Die Innenbeplankung sollte etwa 30 cm über der Hochwassermarkenlinie entfernt werden.
2. Duchnässte Wärmeisolation herausnehmen
3. Fußbodenkonstruktion inkl. Estrich herausnehmen
4. Die zum Teil verschlammte Tragkonstruktion kann mittels Hochdruckreiniger oder Gartenschlauch gereinigt werden.
5. Tragkonstruktion austrocknen lassen
6. Mehrmalige Messung der Holzfeuchte der Tragkonstruktion ($u \leq 18 \%$)
7. Neue Wärmeisolation einbringen, Wände verkleiden, Luftdichtheit wiederherstellen, eventuell Fassade erneuern und Finisharbeiten durchführen

2.4 Anhang: Vergleichsbetrachtung anhand eines „Durchschnittshauses“

Das „Durchschnittshaus“ der Fertighausbranche hat eine Netto-Grundfläche von ca. 131 m², verteilt über 2 Geschosse, wobei das Obergeschoß als Kniestock geplant ist. Errichtet wird das Haus in Holztafelbauweise mit Satteldach und sichtbaren Holzbalkendecken, es entspricht somit dem mittleren Preissegment der Fertighausbranche.

Es ergeben sich folgende Bauteilflächen:

┃ Außenwand (AW):	160 m ² , Dicke 32 cm
┃ Innenwand (IW):	130 m ² , Dicke 15 cm
┃ Decke:	131 m ² , Dicke 25 cm
┃ Dach:	190 m ² , Dicke 30 cm

Um den im Holzbau unterschiedlichen Vorfertigungsgraden gerecht zu werden, wurden drei Vorfertigungsgrade wie folgt definiert. Sie basieren alle auf den gleichen Aufbauten, die unterschiedlich weit im Werk vorgefertigt sind.

Niedriger Vorfertigungsgrad (VF niedrig):

┃ AW:	Konstruktion einseitig beplankt
┃ IW:	einseitig beplankt
┃ Decke:	Balken abgebunden, keine Elemente
┃ Dach:	Sparren abgebunden, keine Elemente

Mittlerer Vorfertigungsgrad (VF mittel):

┃ AW:	ohne Fenster, Vorsatzschale, Außenhaut und Vorinstallation = beidseitig geschlossen
┃ IW:	beidseitig 1-fach beplankt
┃ Decke:	Balken mit Sichtschalung
┃ Dach:	Sparren mit äußerer Beplankung

Hoher Vorfertigungsgrad (VF hoch):

┃ AW:	mit Fenstern, Vorsatzschale, Außenhaut und Vorinstallation
┃ IW:	beidseitig 2-fach beplankt
┃ Decke:	Balken mit Sichtschalung
┃ Dach:	mit innerer Beplankung und Lattung für die Dacheindeckung

Analog das gleiche Haus in Massivbauweise:

┃ AW:	Ziegel 36,5 cm
┃ IW:	Ziegel 17,5 cm
┃ Decke:	Ortbeton
┃ Dach:	Sparren abgebunden, keine Elemente

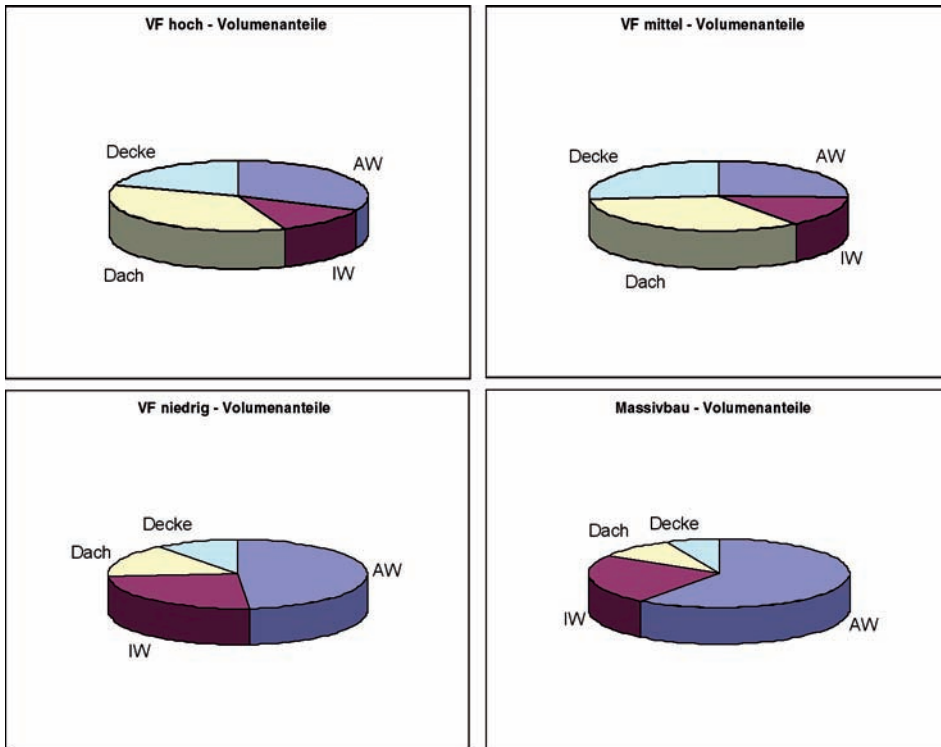


Abb. 2-17: Aufteilung der Volumenanteile auf die Bauteile Außenwand (AW), Innenwand (IW), Dach und Decke in Abhängigkeit vom Vorfertigungsgrad und der Bauweise

Im Holzhausbau müssen Lagerflächen für die Elemente eines oder mehrerer Häuser vorhanden sein. Die Größe der Lagerfläche richtet sich nach der Produktionsmenge, den Zwischenlagerzeiten und den Abmessungen der vorgefertigten Elemente, die wiederum vom Vorfertigungsgrad bestimmt werden.

Lagerflächen pro Haus in m²

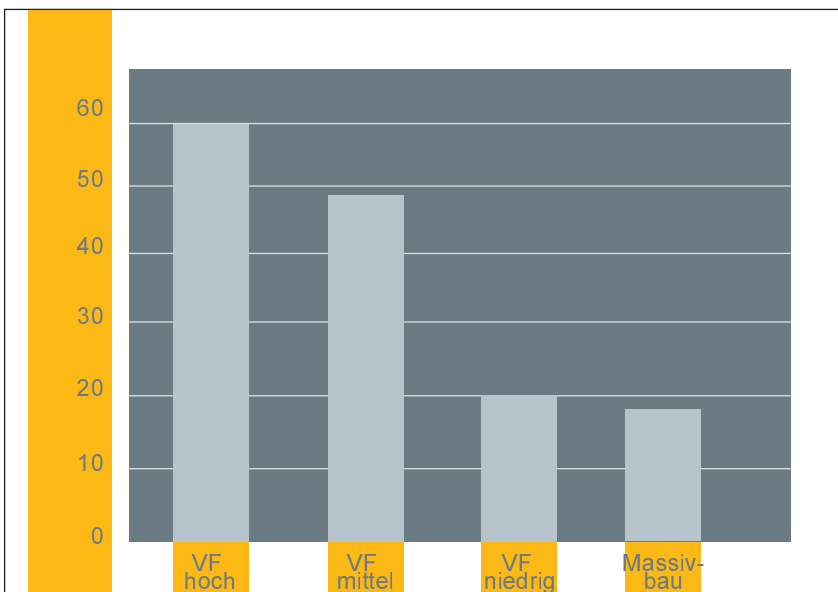


Abb. 2-18: Erforderliche Lagerflächen pro Haus in Abhängigkeit vom Vorfertigungsgrad und der Bauweise

Nicht zuletzt wirkt sich der Vorfertigungsgrad auch auf die Transportlogistik aus. Bei höherer Vorfertigung werden mehr und größere Transportmittel benötigt, welche hinsichtlich Termin und Route zu koordinieren sind (Abb. 2-19). Je nach Firmengrößen kann hier auf einen eigenen Fuhrpark zugegriffen werden, zum Teil werden die gefertigten Elemente ohne Zwischenlagerung direkt auf betriebseigene Sattelaufleger geladen. Zur Vermeidung von Stehzeiten oder teuren Zwischenlagerungen müssen die Elemente entsprechend des Ablaufes vor Ort zeitlich und räumlich sortiert werden und fristgerecht (just in time) an der Baustelle eintreffen.

Anzahl Transportmittel – Sattelaufleger bzw. 40-Tonner

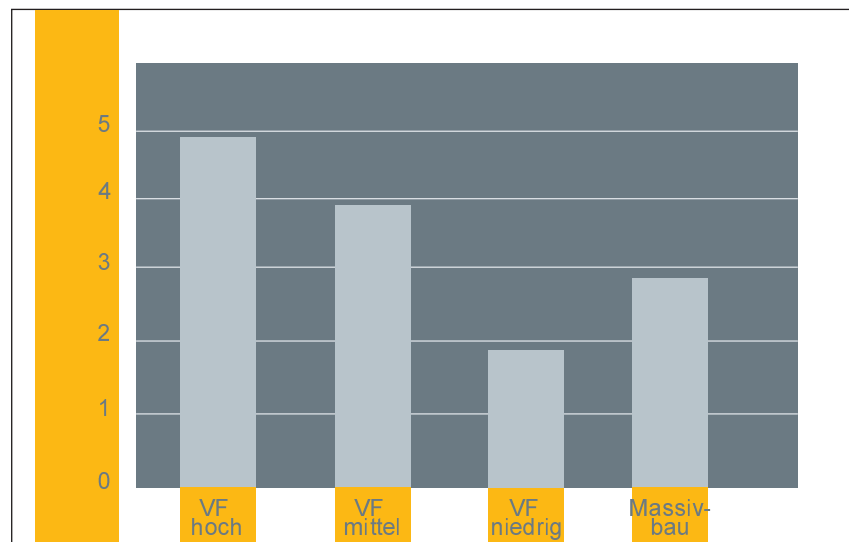
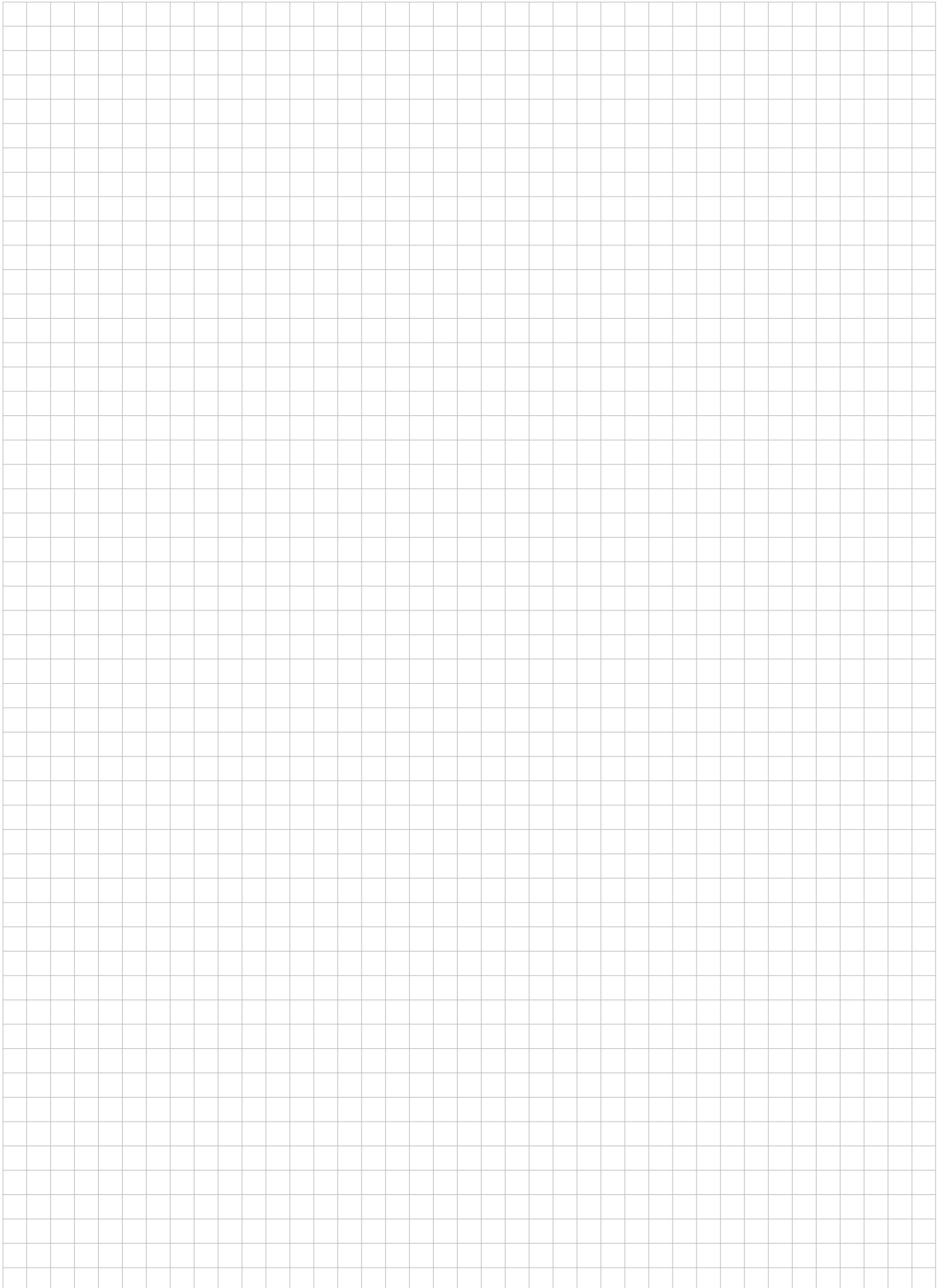
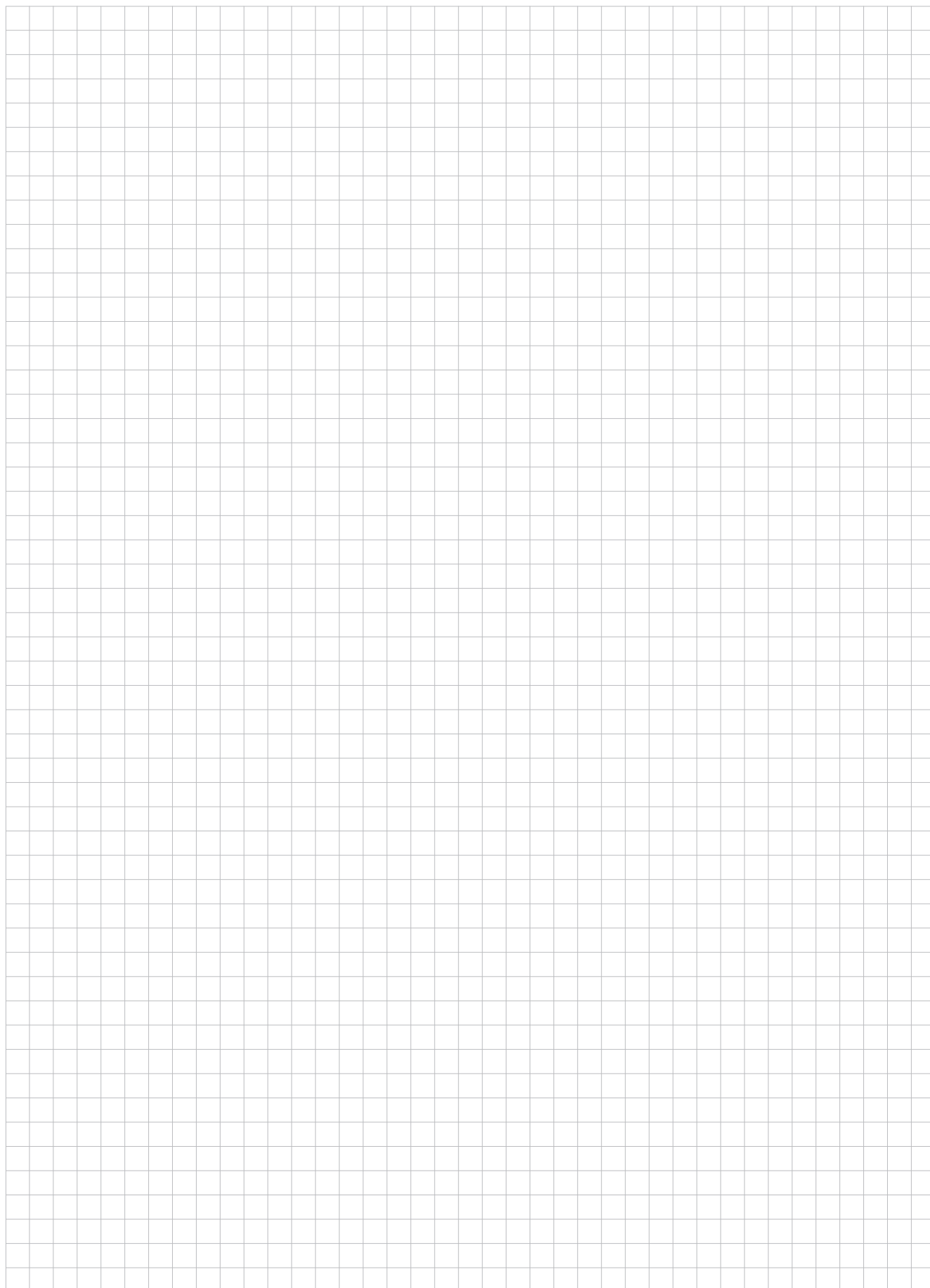


Abb. 2-19: Anzahl der Transportmittel in Abhängigkeit vom Vorfertigungsgrad und der Bauweise





Impressum

Herausgeber und für den Inhalt verantwortlich: BAU.GENIAL. BAU.GENIAL ist eine gemeinsame Initiative der acht führenden Baustoffhersteller Heraklith AG, Knauf GmbH, Lafarge Gips GmbH, Saint-Gobain Rigips Austria GesmbH, Rockwool HandelsgesmbH, Saint-Gobain ISOVER Austria GmbH, Ursa Dämmsysteme Austria GmbH und Xella Trockenbausysteme. *Fotos:* bauart. *Layout:* senft&partner, 1020 Wien. *Druck:* jork printmanagement, 1060 Wien. Wien 2007

