

**STUDIE**

## **EIGENSCHAFTEN UND POTENTIALE DES „LEICHTEN BAUENS“**

**KURZFASSUNG – 15. März 2007**

**Autoren**

DI Dr. Adolf Merl, Technische Universität Wien

Prof. Jochen Pfau, Versuchsanstalt für Holz- und Trockenbau, Darmstadt

DI Dr. Margit Pfeiffer-Rudy, Technische Universität Wien

Prof. Dr. Ing. Karsten Tichelmann, Institut für Trocken- und Leichtbau, Darmstadt

Prof. DDI Wolfgang Winter, Technische Universität Wien



Die Entwicklungen im 21. Jahrhundert führen dazu, dass alle Prozesse des Bauens zunehmend weniger unter dem Aspekt der „Schwere“ und somit der Massivbauweise geplant werden, sondern vielmehr unter den Kriterien der Leichtigkeit, der Ressourcen- und Energieeffizienz sowie der Veränderbarkeit. Unter diesem Aspekt nimmt der Leichtbau eine bedeutende Rolle ein.

Unter Leichtbau werden dabei die Bauweisen des Holz- und Trockenbaus verstanden. Diese sehr leistungsfähigen und effizienten Bauweisen werden in Österreich nicht in dem Umfang eingesetzt, wie es den technologischen, ökonomischen und ökologischen Entwicklungen entspricht. Eine Aussage zu der „technologisch-ökonomischen Leistungsfähigkeit“ verschiedener Bauweisen setzt gleiche oder zumindest vergleichbare Funktionen durch die betrachteten Baukonstruktionen voraus.

Konstruktiv unterscheiden sich Bauteile in Leichtbauweise grundlegend von Massivbauteilen, was entsprechend andere technologische Eigenschaften und ein unterschiedliches bauphysikalisches Verhalten bedingt. Diese leichtbauspezifischen Eigenarten müssen verstanden werden, wenn die hohe Leistungsfähigkeit der Bauweise ausgeschöpft werden soll. Das Ergebnis sind wirtschaftliche, hochwertige Gebäude mit überlegenen technologischen und ökologischen Eigenschaften.

Die in der Studie dargestellten Vergleiche von Leichtbauweisen gegenüber Massivbauweisen zeigen diese bauweisenspezifischen Möglichkeiten auf, die zur Umsetzung der heutigen und zukünftigen Anforderungen erforderlich sind. In der Studie „Eigenschaften und Potentiale von Leichtbauweisen“ wurden die physikalischen, technologischen, ökonomischen und ökologisch belegbaren Eigenschaften von Leichtbauweisen bewertet.

Die Studie basiert auf vorhandenen Erkenntnissen sowie weitergehenden Untersuchungen der Autoren und gliedert sich in die folgenden Themenfelder:

**1. Bauphysikalische Eigenschaften von Leichtbauweisen**

- 1.1 Wärmeschutz
- 1.2 Feuchteschutz
- 1.3 Schallschutz
- 1.4 Brandschutz

**2. Technologie und Bautechnik**

- 2.1 Herstellung, Transport und Errichtung
- 2.2 Statisch-konstruktive Eigenschaften von Leichtbauweisen

**3. Wirtschaftlichkeit**

**4. Nachhaltigkeit**

**5. Architektur**

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Studie in einzelnen Themenbereichen zusammengefasst.

## 1. Bauphysikalische Eigenschaften von Leichtbauweisen

### 1.1 Wärmeschutz

Die Wärmedämmung von Gebäuden steht im unmittelbaren Zusammenhang zum Heizenergieverbrauch, zur wirtschaftlichen Nutzung und zur Behaglichkeit innerhalb des Gebäudes. In diesem Themenfeld werden die Eigenschaften des Leichtbaus, im Besonderen des Holzbaus im Hinblick auf Wärmeschutz, Heizenergieverbrauch, Behaglichkeit und sommerlichen Wärmeschutz aufgezeigt.

Die **Wärmedämmung** in Leichtbauweisen erfolgt in der Regel „integrativ“, das bedeutet, dass zumindest eine Dämmebene in der Ebene der tragenden Konstruktion liegt. Im Gegensatz dazu erfolgt die Wärmedämmung bei Massivbauweisen „additiv“, das bedeutet, sie ist zusätzlich auf der Massivwand angeordnet. Ausgehend von einem gleichen Wärmedurchlasswiderstand führt dies bei Gebäuden in Massivbauweise zwangsläufig zu größeren Bauteildicken. Mit ansteigendem Dämmstandard hin zum Passivhaus ergeben sich bis zu 45% schlankere Außenwandquerschnitte im Leichtbau, was zu nutzbaren Flächengewinnen führt.

Daraus resultierend ist der durchschnittliche Dämmstandard von Leichtbaukonstruktionen in Österreich höher als bei massiven Gebäuden und der daraus resultierende durchschnittliche **Heizenergieverbrauch** um bis zu 22% niedriger. Der erhöhte Wärmeschutz von Leichtbauweisen bewirkt die Verringerung der Transmissionswärmeverluste und damit Heizenergieeinsparungen sowie höhere raumseitige Oberflächentemperaturen der Außenwände, wodurch ein behagliches Raumklima erreicht wird.

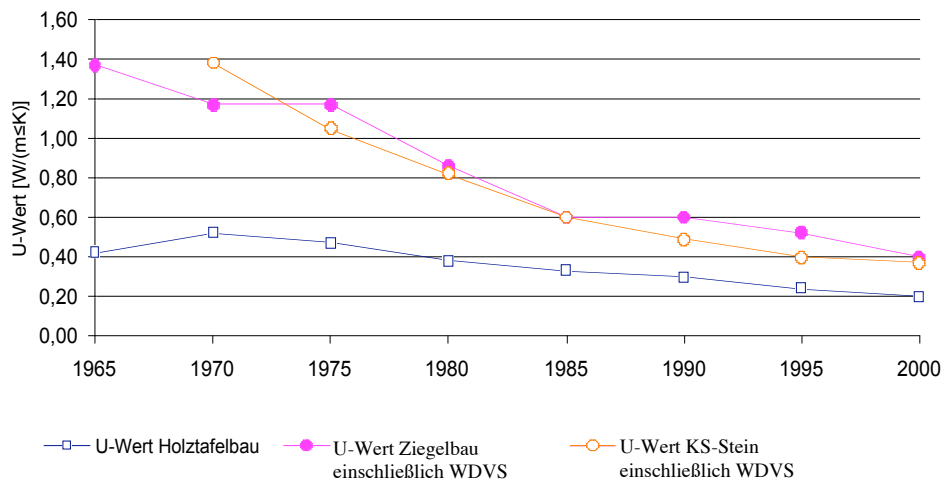
Die Auswirkungen von **Wärmebrücken** stehen im unmittelbaren Zusammenhang mit dem U-Wert der Bauteile. Die Transmissionswärmeverluste über materialbedingte und geometrische Wärmebrücken können dabei bis zu 30% betragen. Es muss vermieden werden, dass im Bereich von Wärmebrücken die Oberflächentemperatur unter 12,6° C absinkt. Die Begrenzung und Vermeidung von Wärmebrücken ist nach den langjährigen Erfahrungen und wissenschaftlichen Untersuchungen bereits bei den „klassischen“ Regelaufbauten im Holzbau unproblematisch. Bei wärmetechnisch optimierten Holzkonstruktionen sind die Einflüsse der Wärmebrücken praktisch vernachlässigbar.

Neben dem winterlichen Wärmeschutz ist der **sommerliche Wärmeschutz** für die Behaglichkeit in Gebäuden von hoher Bedeutung. Häufig werden große Speichermassen als Kennzeichen für ein klimastabiles Bauen angeführt. Dies ist für gut gedämmte Häuser irreführend. Die Ergebnisse wissenschaftlicher Untersuchungen zeigen, dass die Vermeidung sommerlicher Überwärmung nur bedingt mit der Speichermasse der Bauteile gleichgesetzt werden kann. Untersuchungen zeigen, dass intelligent geschichtete Bauteile in

Leichtbauweise die geringere Masse kompensieren und sich vergleichbare Klimastabilitäten wie im Massivbau einstellen.

Weiterhin eignen sich bei der Raumkonditionierung leichter Gebäude im Besonderen Strategien in Kombination mit dem Einsatz von **Latentwärmespeichermaterialien** (PCM = phase change materials). Das Funktionsprinzip eines PCM basiert auf der Ausnutzung seines Phasenwechsels (Änderung des Aggregatzustandes). Der Vorteil der Speicherung beim Phasenübergang liegt in einer um etwa 10- bis 20-fach größeren Speicherdichte im Vergleich zu konventionellen Wärmespeichern über „Masse“ von Wänden und Decken im Massivbau sowie in der Einspeicherung bei konstanter Temperatur. Durch den Einsatz von PCM scheint zukünftig eine Reduktion des Primärenergiebedarfes in Gebäuden in Leichtbauweise praktisch und zeitnah in einer Größenordnung von 65% möglich und auch wirtschaftlich.

**Wärmeschutz:** Entwicklung des Wärmeschutzes von Holztafel-, einschaligen Ziegel- und Kalksandsteinaußenwänden



## 1.2 Feuchteschutz

Der Feuchteschutz dient bei Gebäuden der Sicherstellung einer hygienisch einwandfreien Nutzung und ist – unabhängig von der Bauweise – wesentliche Voraussetzung für den Schutz der Baukonstruktion vor Schäden durch Feuchtigkeitseinwirkungen. Bei dem heute aus den Gesichtspunkten der Energieeinsparung erforderlichen Wärmeschutz von Außenbauteilen tritt bei üblicher Raumlufffeuchte keine **Wasserdampfkondensation an Bauteiloberflächen** auf. Durch die bei Leichtbauweisen üblichen Dämmeigenschaften ergeben sich raumseitige Oberflächentemperaturen, die deutlich über der Taupunkttemperatur der Raumluff liegen. Ein weiterer Vorteil von Leichtbauweisen ist der Einsatz von Feuchtigkeit puffernden Materialien als raumseitige Bekleidung wie z. B. Gipsplatten, verputzte Holzwolledämmplatten und Holzwerkstoffe.

Gut gedämmte Leichtbaukonstruktionen können als unbedenklich gegen Tauwasserausfall angesehen werden, da ein sehr guter Wärmeschutz gegeben ist, die innenseitige Schicht einen ausreichenden Diffusionswiderstand aufweist und die Außenbekleidung hinterlüftet oder diffusionsoffen ist. Die im Leichtbau häufig verwendeten Dampfbremsen mit variablem Diffusionswiderstand haben den Vorteil, dass im Bauteil auftretende Feuchtigkeit nach außen wie auch nach innen abgeführt werden kann.

Die **Luftdichtheit** der Gebäudehülle ist Voraussetzung für die Vermeidung von Energieverlusten (Lüftungswärmeverluste) und Bauschäden durch Kondensation. Luft- und Winddichtheitskonzepte mit bewährten Systemen stehen im Leichtbau für die Vorfertigung und die Ausführung am Bau zur Verfügung.

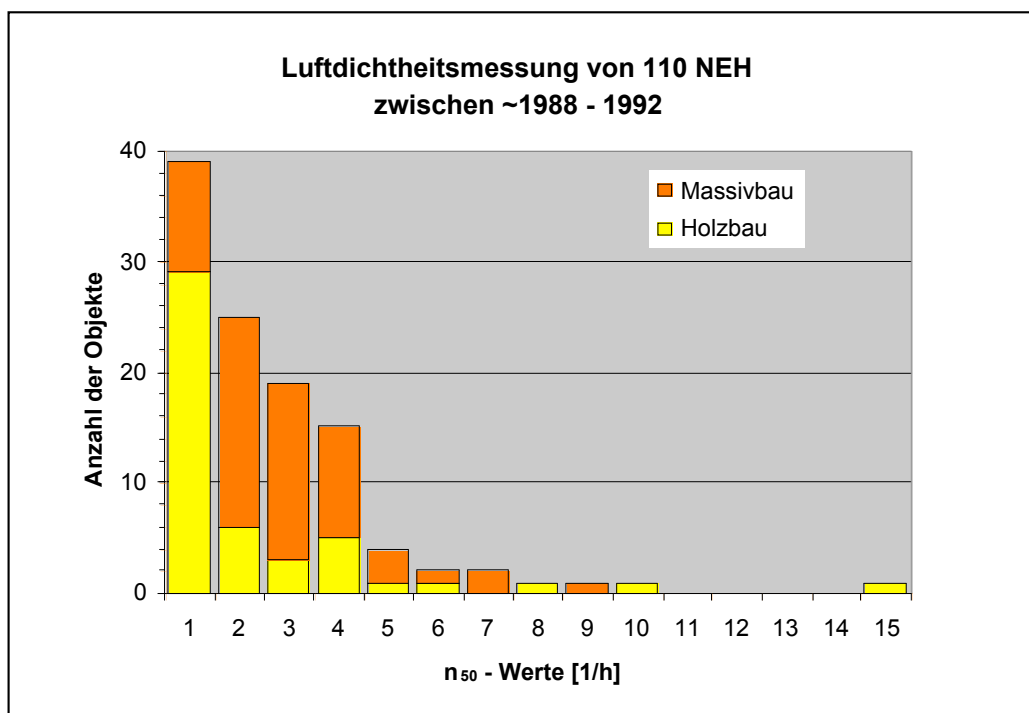
Die heute verbreiteten „hohlen“ Massivkonstruktionen (z. B. Hochlochziegel) haben mit einer monolithischen und durchgängig massiven Konstruktion nicht viel gemeinsam. In der Baupraxis sind grobe Undichtheiten überall dort festzustellen, wo der Putzauftrag fehlt oder mangelhaft ausgeführt ist. Zudem ist eine luftdichte Anschlussausbildung nur an einer glatten und trockenen Bauteiloberfläche möglich, die in der Regel bei unverputzten Mauerwerksoberflächen oder feuchtem Beton nicht gegeben ist.

Insgesamt wird durch die im Leichtbau vorhandene Sensibilität für das Thema Luftdichtheit und die vorhandenen konstruktiven und technischen Lösungen eine Luftdichtheit erreicht, die über der von herkömmlichen Massivbauten liegt. Dies wird durch unabhängige Studien belegt.

Übliche Ausführungen für den **Witterungs- und Schlagregenschutz** im Leichtbau sind, seit Jahrzehnten bewährt, Holzwolledämmplatten mit mineralischem Putz, Wärmedämm-Verbundsysteme (WDVS) mit Polystyrol und Mineralwolle und hinterlüftete Fassaden aus Brettern oder Plattenwerkstoffen. Wärmedämm-Verbundsysteme werden im Massiv- und Holzhausbau gleichermaßen eingesetzt, Holzfassaden sind seit Jahrhunderten bewährt.

Bauwerke in Massivbauweise weisen vor allem in den ersten zwei Jahren eine stark erhöhte Baufeuchtigkeit auf. Bei der Herstellung der Baustoffe (Putze, Estriche, Mörtel und Beton) wird Überschusswasser eingebracht, das im Bauteil nicht dauerhaft gespeichert werden kann und über lange Zeit in die Raumluft abgegeben wird. In der Vergangenheit waren deswegen beim Bauen Stehzeiten der Rohbauten üblich, was heute aus wirtschaftlichen Gründen nicht mehr durchführbar ist. Um eine Bauteilschädigung und Nutzungsbeeinträchtigung durch die hohe Baufeuchte zu vermeiden, sind in Neubauten in Massivbauweise besondere Maßnahmen wie die Erhöhung des Luftwechsels verbunden mit einem vermehrten Heizen zu ergreifen. Im Leichtbau wird bei trockener Bauweise kaum Neubaufeuchte eingebracht. Der Aufwand für zusätzliche Maßnahmen entfällt. Die raumklimatischen Verhältnisse sind bereits unmittelbar nach dem Bezug behaglich.

**Feuchteschutz:** Ergebnisse von Luftdichtheitsmessungen an 110 Niedrigenergiehäusern in Massiv- und Holztafelbauweise [32]



### 1.3 Schallschutz

Schallschutzanforderungen sind unabhängig von der Bauweise zu erfüllen. Bewertet man die **Schalldämmung von Leichtbauteilen** im Verhältnis zum Eigengewicht, der Bauteildicke und der Wirtschaftlichkeit, sind diese Massivbauteile deutlich überlegen. Das Schalldämmmaß von einschaligen Bauteilen im Massivbau hängt in erster Linie von ihrer flächenbezogenen Masse ab. Dagegen wird die Schalldämmung von zweischaligen Leichtbauteilen primär nicht von der Dicke und Rohdichte der eingesetzten Baustoffe sondern vom Aufbau des Bauteils bestimmt. Bedingt durch die Vielzahl der zusammenwirkenden unterschiedlichen Bauelemente und der Bedeutung der Anschlussausbildung sowie der flankierenden Bauteile müssen zweischalige Bauteile als **Gesamtsystem** betrachtet werden. Es existieren, anders als bei einschaligen Massivbauteilen, sehr wirkungsvolle Einflussmöglichkeiten auf die Schalldämmung der Bauteile.

Die positiven Einflussfaktoren addieren sich in ihrer akustischen Wirkung. Dies wird von den Systemanbietern bei der Entwicklung **bauakustisch hochleistungsfähiger Leichtbausysteme** gezielt genutzt. Werden mit Standardsystemen – je nach Variation des Aufbaus – Schalldämmmaße bis 60 dB erreicht, so sind mit Sondersystemen Schalldämmmaße bis 80 dB zu erzielen. Vergleichbare Schalldämmmaße sind mit einschaligen Massivbauteilen baupraktisch nicht wirtschaftlich umsetzbar. Erreicht wird dies im Leichtbau durch bauakustisch optimierte Bauteilaufbauten, die Sonderprofile, Schallschutzplatten, mehrschalige Beplankungen und Entkopplungsmaßnahmen miteinander kombinieren, wobei die Masse und die Dicke der Bauteile dadurch nur unwesentlich verändert werden.

Die Entscheidung für die Ausführung von Trennbauteilen kann sich – neben dem geforderten Schallschutz – an den Kosten, dem Raumbedarf, ökologischen Gesichtspunkten, Vorgaben des Bauherrn und bauphysikalischen Anforderungen orientieren. Derartige „Stellschrauben“ existieren bei monolithischen massiven Bauweisen nicht. Die Forderung nach einer Erhöhung des Schallschutzes resultiert automatisch in einem dickeren und/oder schwereren Bauteil mit den entsprechenden Konsequenzen für den Flächenbedarf oder die Belastung der Tragstruktur.

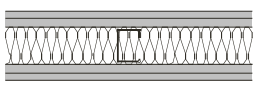
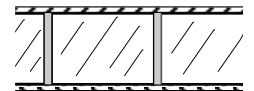
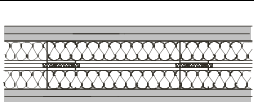
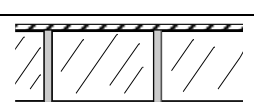
Für die **Anordnung von Sanitär-Installationen** in Massivbauten werden Mindestwerte für die flächenbezogene Masse von Installationswänden vorgegeben, was zu entsprechend schweren Konstruktionen führt. Aus diesem Grund haben sich auch im Massivbau die Vorwandinstallationen in Leichtbauweise weitgehend durchgesetzt. Hierbei – wie auch bei reiner Leichtbauweise – werden Anforderungen an niedrige Installationsgeräuschpegel durch einfache konstruktive Maßnahmen realisiert. Die erforderlichen Flächengewichte werden durch innovative Lösungen in Leichtbauweise substituiert.

**Raumakustische Maßnahmen**, vor allem mit dem Ziel der Nachhallzeitverkürzung und Lärminderung (Schallabsorption), werden fast ausschließlich mit leichten Ausbausystemen realisiert. Herkömmliche mas-



sive Systeme sind für diese Aufgaben durch ihre schallharten Oberflächen nicht geeignet, ihre raumakustischen Aufgaben beschränken sich auf Schallreflexion und Schallstreuung.

**Schallschutz:** Vergleich der Schalldämmung, der Bauteildicke sowie des flächenbezogenen Gewichtes von Leichtbauwänden mit nichttragenden Mauerwerkswänden. Alle Wände erreichen die Anforderung EI 90

Systembeschreibung		Dicke [mm]	Masse [kg/m <sup>2</sup> ]	Schallschutz R <sub>w</sub> [dB]	Brandschutz
	Ständerwand CW 50 2 x 12,5 mm GKF Dämmstoff 50 mm	100	49	48	EI 90
	Ziegelwand 115 mm Gipsputz 2 x 10 mm	135	135	42	EI 90
	Ständerwand CW 50+50/155 2 x 12,5 mm GKF Dämmstoff 2 x 50 mm	155	50	60	EI 90
	Kalksandstein 1,8 115 mm Gipsputz 2 x 10 mm	135	218	50	EI 90

#### 1.4 Brandschutz

In Österreich sind – wie auch in anderen europäischen Ländern – Entwicklungen in den baurechtlichen Bestimmungen vorhanden, die die verstärkte Verwendung von Holz und Holzwerkstoffen ermöglichen. Beispiele dafür sind der Entwurf der Harmonisierung der Bautechnikvorschriften (OIB-Richtlinie 2 „Brandschutz“, 2006) in Österreich, die Einführung der Musterrichtlinie für Brandschutzanforderungen an hochfeuerhemmende Bauteile in Holzbauweise („Muster-Holzbaurichtlinie“) von 2002 in Deutschland und die Brandschutznorm der Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen (2005) in der Schweiz.

Diese Entwicklungen zeigen ein Umdenken in der **brandschutztechnischen Bewertung** von Holz- und Leichtbauweisen. Das Niveau der brandschutztechnischen Anforderungen an Leichtbaukonstruktionen, vor allem mit brennbaren Baustoffen z. B. in Holzbauweise, wird häufig aus dem brandschutztechnischen Verhalten von Massivkonstruktionen abgeleitet. Dabei legt man das bauartbezogene Brandverhalten der Massivbauweise als ein konstruktionsneutrales „Sicherheitsniveau“ zu Grunde.

Eine solche Betrachtungsweise ist technisch möglich, lässt aber die jeweiligen bauweisenspezifischen Eigenschaften und Einflussfaktoren von intelligenten Konstruktionen, wie sie im Holz- und Trockenbau ausgeführt werden, unberücksichtigt. Bei diesen Konstruktionen nehmen die Vielfalt der verwendbaren Baustoffe, deren Schichtung und die Ausführung einen signifikanten Einfluss auf das Bauteilverhalten und somit auf das globale Bauwerksverhalten. Diese Fragestellungen wurden im Rahmen umfangreicher Forschungsvorhaben untersucht.

In der Vergangenheit wurde publiziert, dass die Verwendung von brennbaren Baustoffen im Bauwesen zwangsläufig zu einer Erhöhung des Brandrisikos führt. Dabei wurde fälschlicherweise assoziiert, dass die mit den Baustoffen der Tragkonstruktion eingetragenen Brandlasten unmittelbar und in vollem Umfang einem Brand zur thermischen Umsetzung zur Verfügung stehen und somit der thermische Einfluss und die Brandparallelerscheinungen der **Brandlasten** der Tragkonstruktion den Brandlasten des Mobiliars gleichgesetzt werden können.

Bei der Bewertung vorhandener immobilier Brandlasten ist zu berücksichtigen, ob und in welcher Form diese aktiviert werden können. Das Zusammenwirken von geschützter und ungeschützter Brandbelastung berücksichtigen auch technische Regelungen. Der Einfluss von brandschutztechnisch wirksamen Bekleidungen und die verzögerte Freisetzung von Brandlasten brennbarer Baustoffe wurden untersucht. Werden die Trag- und Ausbaukonstruktionen mit Plattenwerkstoffen, z.B. Gipsplatten bekleidet, werden die Brandlasten und die damit einhergehenden Brandparallelerscheinungen wie die Rauchgasentwicklung und thermischen Festigkeitsreduktion zeitlich verzögert wirksam.

Es konnte im Rahmen von großmaßstäblichen Brandversuchen gezeigt werden, dass die Entzündung der Holztragkonstruktion durch geeignete „brandschutztechnisch wirksame Bekleidungen“ verhindert wird. Zudem konnte bewiesen werden, dass Anschlüsse im Holz- und Trockenbau eine gute Rauchdichtigkeit aufweisen.

Es gibt nachgewiesenermaßen keinen Zusammenhang zwischen der Anzahl von Brandopfern und –verletzten in Abhängigkeit von dem Verhältnis der fixen mobilen Brandlasten zu immobilen Brandlasten. Unter Berücksichtigung des grundlegenden Verhaltens von Bauarten weisen Leichtbaukonstruktionen keine erhöhten Risiken auf. Es wurde nachgewiesen, dass der Aspekt der erhöhten immobilen Brandlasten von Holzhäusern bei brandschutztechnischen Bekleidungen vernachlässigbar ist und durch den baurechtlich nicht beeinflussbaren Anteil der mobilen Brandlasten bei weitem übertroffen wird. Die verwendeten Baustoffe einer Bauweise verlieren im Rahmen einer Risikoabschätzung im Hinblick auf den Personenschutz weiter an Bedeutung, wenn die mobilen Brandlasten in die Betrachtungen einbezogen werden.

## 2. Technologie und Bautechnik

### 2.1 Herstellung, Transport und Errichtung

Die 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.

Wegen des geringen Gewichts und der trockenen Verarbeitung aller Konstruktions- und Ausbaustoffe sind Leichtbauweisen für eine **Vorfertigung** prädestiniert. Die Herstellung unterliegt einer permanenten Überwachung und kann witterungsunabhängig durchgeführt werden. Durch hohe Vorfertigungsgrade und die dadurch realisierbare **schnelle Montage** eines Gebäudes auf der Baustelle wird eine Reduktion des Zeit-, Material- und Energieeinsatzes erreicht. Die Montage der Leichtbauteile ab Oberkante Kellerdecke oder Fundamentplatte kann im Leichtbau innerhalb von wenigen Tagen erfolgen. Danach wird der weitere Ausbau witterungsunabhängig zügig durchgeführt.

Um baustellenbedingte Einflüsse zu minimieren, erfolgt im Leichtbau eine detaillierte **Vorplanung des Montageprozesses**. Damit gelingt es, die Montage von Gebäuden in Leichtbauweise zu einem quasi industriellen Prozess mit klar strukturierten Abläufen zu machen. Durch den 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. Die Ausbauarbeiten sind werkseitig vorbereitet, der Ausbau erfolgt ohne Eingriffe in den Rohbau, Schnittstellenprobleme und daraus resultierende Mängel werden vermieden. Der Ausbau mit Leichtbausystemen ist schnell und trocken auszuführen, ohne das Gebäude bzw. den Bauablauf durch Feuchteintrag, Wartezeiten und Gewicht zu belasten. Nicht zuletzt vergrößert sich im Leichtbau mit dem Grad der Vorfertigung auch der Aktionsradius der Firmen. Bei kurzer Montagedauer spielt die Entfernung zur Baustelle keine übergeordnete Rolle.

Dem gegenüber wird der Mauerwerksbau heute im Wesentlichen noch Stein auf Stein auf der Baustelle mit geringen Vorfertigungsanteilen erstellt. Die Konstruktion ist ungeschützt der Witterung ausgesetzt, was die Qualität und Dauer der Arbeiten wesentlich beeinflusst. Die Gesamtbauzeit, der Personaleinsatz sowie die Anzahl der Anfahrten zur Baustelle liegen deutlich höher als bei Gebäuden in Leichtbauweise.

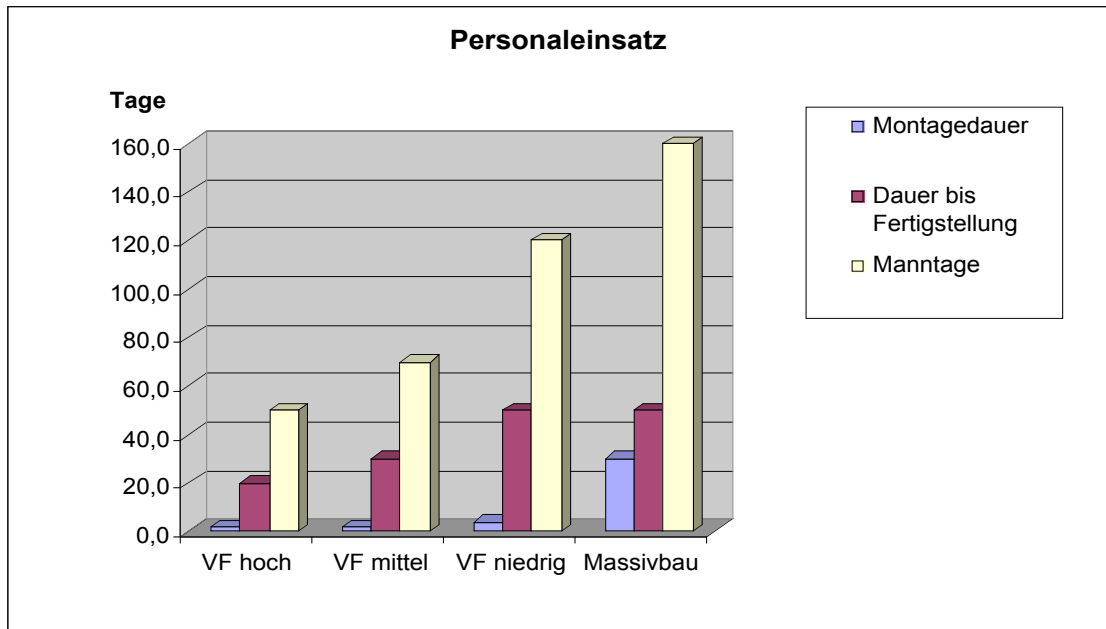
Vorgefertigte Wand- und Deckenelemente mit hölzerner Tragkonstruktion unterliegen einer Kennzeichnungspflicht und damit einer **regelmäßigen Fremdüberwachung** durch eine vom Österreichischen Institut für Bautechnik (OIB) akkreditierte, notifizierte Prüfanstalt. Die Bauteile werden mit den Zeichen ÜA oder CE vom Hersteller gekennzeichnet. Durch die Vorfertigung der Elemente in einem Produktionswerk erfolgt die Herstellung unter geregelten Randbedingungen. Die Umsetzung einer Wareneingangskontrolle, einer Fertigungsplanung und von Abnahmen mit klar strukturierten Abläufen und Verantwortlichkeiten ist, im Gegen-

satz zu einer Baustellenfertigung, einfach möglich. Dieser präzise geregelte Ablauf garantiert einen hohen Qualitätsstandard.

**Montage, Transport, Fertigung:**

Personaleinsatz in Abhängigkeit vom Vorfertigungsgrad und der Bauweise

VF: Vorfertigungsgrad



## 2.2 Statisch-konstruktive Eigenschaften von Leichtbauweisen

Dieser Teil der Studie widmet sich dem Tragverhalten von Leichtbaustrukturen. Die zielgerichtete Anwendung der Leichtbauweise erzeugt im Tragverhalten hochleistungsfähige Systeme. Das vorteilhafte Verhältnis des Eigengewichts zu der Tragfähigkeit solcher Systeme zeichnet Leichtbauweisen aus. Während beispielsweise bei biegebeanspruchten Massivbauweisen das Eigengewicht immer höher als die aufnehmbare Gesamtbelastung ist, verhält es sich im Leichtbau umgekehrt. Bei konsequenter Weiterentwicklung der Leichtbauprinzipien des Materialleichtbaus, des Strukturleichtbaus und des Systemleichtbaus im Bauwesen sind weitere **Effizienzsteigerungen der Tragfähigkeit** möglich – wirtschaftlich und zeitnah bis zu einem Verhältnis von einem Fünftel des Eigengewichts zur Tragfähigkeit.

Zur Beurteilung einer Bauweise im Hinblick auf die Eignung für **erdbebensicheres 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 und die Duktilität („Zähigkeit“) des Tragwerks.

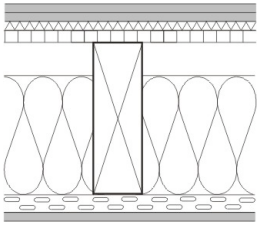
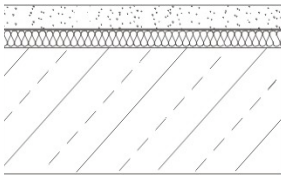
Für die kritische Beanspruchung eines Tragwerks bei Erdbebeneinwirkung sind vorrangig die entstehenden Horizontalkräfte verantwortlich, deren Größe von der bewegten Masse abhängt. Auch hier verhalten sich Leichtbauweisen mit Ihrem niedrigen Eigengewicht und der daraus resultierenden **geringen Masse des Gesamtgebäudes** günstig. Die entsprechenden Ersatzlasten aus Erdbebeneinwirkungen sind entsprechend kleiner als z.B. jene im Massivbau. 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.

Die **Duktilität**, das nicht-lineare Verformungsvermögen der Tragstruktur mit seinen so genannten Überfestigkeiten, begünstigt das Gesamtverhalten einer Bauweise unter Erdbebeneinwirkung. Die Reserven, die durch plastisches Verformungsvermögen aktiviert werden, verhelfen dem Tragwerk zur Möglichkeit der „Energiedissipation“, der Umwandlung der einwirkenden Bewegungsenergie des Erdbebens in andere, nicht zerstörende Energieformen. Leichte Ständerwandsysteme mit Plattenbekleidung und leichte Deckensysteme, wie diese im Leichtbau eingesetzt werden, sind sehr geeignete Bauweisen für das Bauen in Erdbebengebieten. Sie sind leicht und besitzen gute elastische und plastische Verformungseigenschaften.

Nichttragende Wände in Massivbauweise zu errichten und Wandflächen im Skelettbau mit Mauerwerk zu schließen, ist für die Abtragung von Erdbebenkräften ungeeignet, auch wenn dies weltweit verbreitet ist. Ausmauerungen weisen unter dynamischer Beanspruchung ein negatives Verhalten auf, da sich diese Wandelemente spröde verhalten und schlagartig versagen. Füllungen mit Betonscheiben haben den Nachteil des hohen Flächengewichtes. Dies erhöht die Masse und somit die Erdbebenlasten auf das Bauwerk.

Weiterhin können sich spröde Ausmauerungen lösen und herabfallen. Fassadenelemente in Leichtbauweise weisen 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.

**Statisch – Konstruktive Eigenschaften:** 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.

Bauart	Aufbau	Eigengewicht $g$	Verhältnis Eigengewicht $g$ zur Gesamtbeanspruchung ( $g + p$ )
	Trockenestrich 30 mm Trittschalldämmung 20 mm Holzwerkstoffplatte 22 mm Deckenbalken 10/26 cm, $e = 62,5 \text{ cm}$ Hohlraumbedämpfung Federschine Gipsplatte 12,5 mm	84 kg/m <sub>2</sub>	0,30
	Zementestrich 35 mm Trittschalldämmung 20 mm Stahlbetondecke 200 mm	515 kg/m <sub>2</sub>	0,72

### 3. Wirtschaftlichkeit

Ein **Vergleich der „Leistungsfähigkeit“ verschiedener Bauweisen** setzt die Erfüllung gleicher oder vergleichbarer Funktionen durch die betrachteten Bauteile voraus. Ein ganzheitlicher technischer Vergleich betrachtet die weiteren Eigenschaften des Bauteils, z.B. Dicke, Gewicht, weitere bauphysikalische Eigenschaften, Montagedauer, usw. Man spricht auch von vergleichbaren „Dienstleistungen“ einer Bauart bzw. Bauweise. Mit welcher Qualität und zu welchen Kosten die genannten „Dienstleistungen“ über eine gegebene Grundanforderung hinaus erfüllt werden, kann als Bewertungskriterium für eine Bauweise herangezogen werden.

Die **Herstellkosten** von Gebäuden in Leichtbauweise in ihren Kern-Einsatzgebieten entsprechen denen vergleichbarer Mauerwerksbauten. Das „Stück Haus“ liegt im deutschsprachigen Markt, unabhängig von der Bauweise, bei gleicher Nutzung und Ausstattung, auch preislich in derselben Größenordnung. Die den gleichen Kosten zugrunde liegenden **Qualitäten** sind allerdings unterschiedlich, der Wärmeschutzstandard ist bei preisneutralen Gebäuden in Leichtbauweise durchwegs höher und die Wohnfläche bei gleicher Grundfläche größer. Die Basis der üblichen Vergleiche ist unterschiedlich, bei Bezug auf identische Qualitäten/Eigenschaften stellt sich das Gebäude in Leichtbauweise als kostengünstiger heraus.

Tragende und nichttragende Wände in Leichtbauweise erfüllen die an sie gestellten statischen und bauphysikalischen Anforderungen bei geringerer Wanddicke und Masse als vergleichbare massive Systeme. Aus dem geringeren Flächenbedarf der Leichtbauteile resultiert ein **Gewinn an Nettonutzfläche** in Gebäuden. Bei Einfamilienhäusern ergibt sich bei gleicher Grundfläche eine um 5 –10% höhere Wohnfläche. Bei Mehrfamilienhäusern oder einer Büronutzung beträgt der Flächengewinn ca. 6–8%. Für den Vermieter oder Verkäufer von Wohn- und Nutzflächen erhöht sich durch den kostenneutralen Nettoflächengewinn der erzielbare Miet- oder Verkaufserlös. Aus Sicht des Mieters/Käufers werden die auf den Quadratmeter bezogenen Kosten für Miete bzw. Kauf günstiger. Durch die **geringere Masse der Bauteile** ergeben sich in Summe geringere Anforderungen an die Tragfähigkeit der Fundamente. Bei Sanierungs-, Umnutzungs- und Aufstockungsmaßnahmen kann vielfach auf Tragwerksverstärkungen verzichtet werden.

Durch die Vorfertigung im Leichtbau werden die Bauzeiten deutlich verkürzt, die ausgebauten Gebäude sind sofort nutzbar. Dadurch lassen sich für den Investor/Bauherrn **Zwischenfinanzierungszeiten** und parallele Mietkosten reduzieren, bei Mietobjekten ist die Vermietung entsprechend früher möglich. Abhängig von den jeweiligen Randbedingungen (Miethöhe, Bauzeitverkürzung) liegen die Einsparungen bei ca. 3–5%.

Die Anpassbarkeit von Gebäuden an wechselnde Nutzungsbedingungen ist eine wesentliche Voraussetzung für die langfristige Vermietbarkeit, Werterhaltung und damit Lebensdauer von Immobilien. Mit Leichtbausystemen ist eine **Flexibilität** zu erreichen, die sich mit massiven Systemen nicht realisieren lässt. Sie sind



installationsfreundlich. In den Hohlräumen der Systeme lassen sich Installationen führen und einfach nachrüsten, Einbauten werden in die Bauteiloberfläche integriert. Eine Vereinfachung bei Wartungsarbeiten und Nachinstallationen ist gegeben.

Durch die Weiterentwicklung der Leichtbauweise in den letzten 40 Jahren wurden die **technische Lebensdauer**, die Gesamtnutzungsdauer und damit auch der Wert einer Immobilie entscheidend positiv beeinflusst. Die nachgewiesene hohe Qualität von Holzhäusern, die zunehmende Bedeutung bestimmter Bewertungskriterien (z.B. Wärmeschutz, Flexibilität, ökologische Kriterien) und die beim Leichtbau in besonderem Maße vorhandenen positiven Eigenschaften (Bauphysik, Nachhaltigkeit, etc.) führen zu einer **positiven Bewertung** von Gebäuden in Leichtbauweise. Die technische Lebensdauer und die Gesamtnutzungsdauer entsprechen der von Häusern in Massivbauweise.

#### 4. Nachhaltigkeit

Im Abschnitt „Nachhaltigkeit“ werden Grundlagen wie relevante Begriffsdefinitionen, politische Regulative bzw. Vorgaben auf Basis der Nachhaltigkeit und Grundzüge von Verfahren zur ökologischen Bewertung aufgezeigt.

Anschließend werden die Auswirkungen des verstärkten Einsatzes von Holzleichtbauweisen anstatt massiver Bauweisen auf ausgewählte Indikatoren der Nachhaltigkeit vergleichend präsentiert. Dabei werden Rohstoffverbrauch, Energieverbrauch und daraus resultierende Umweltwirkungen gegenüber gestellt. Abschließend erfolgt eine Analyse zur Recyclingfähigkeit von Holzleichtbauweisen.

**Nachhaltigkeit** beinhaltet eine ökonomische, ökologische und soziokulturelle Komponente. Im Bericht der Brundtland-Kommission wird die folgende Formulierung verwendet: *„Eine Gesellschaft wirtschaftet dann nachhaltig, wenn sie die Bedürfnisse der gegenwärtigen Generation angemessen befriedigt, ohne die Möglichkeiten von zukünftigen Generationen zu beschränken, ihren eigenen Bedürfnissen nachzukommen.“* Das Bauwesen steht durch den hohen **Ressourceneinsatz** besonders mit der ökologischen Säule der Nachhaltigkeit in enger Wechselwirkung.

Auf europäischer Ebene sind derzeit Normen und Richtlinien zur Umsetzung von Nachhaltigkeit im Entstehen begriffen, welche innerhalb der nächsten Jahre in der Baupraxis Veränderungen verursachen werden. Gleichzeitig werden mittels politischer Regulative und Vorgaben, wie beispielsweise der Wohnbauförderung, auf nationaler und auch regionaler Ebene Rahmenbedingungen geschaffen, welche eine verstärkte Berücksichtigung der Nachhaltigkeit in die Baupraxis erfordern. Verfahren zur breiten Erfassung, Bewertung und Steuerung der durch das Bauwesen verursachten Materialflüsse und deren Umweltwirkungen wurden in Form von Ökobilanzmethoden in den letzten Jahren entwickelt und stehen zur praktischen Anwendung zur Verfügung. Auf Basis einer Gegenüberstellung gängiger Bauweisen des Wohn- und Bürobaus mit Szenarien forcierten Einsatzes von Holzleichtbauweisen ergeben sich folgende Schlüsse:

Um die Ziele der Nachhaltigkeit zu erreichen, ist auch die Ausschöpfung des regenerierbaren Rohstoffpotentials von Bedeutung. Holz als einer der mengenmäßig wichtigsten nachwachsenden Rohstoffe spielt bei der Umsetzung von Nachhaltigkeit eine Schlüsselrolle, die Berücksichtigung regionaler Potentiale ist wichtig. Die Massenströme an Baumaterialien können durch den Einsatz von Holzleichtbauweisen um bis zu 50% reduziert werden. Der Anteil erneuerbarer Material- und Energieanteile wird erhöht. Demontierbare Systeme ermöglichen eine effiziente Bewirtschaftung der in den Gebäuden eingebauten Baustoffe in Form von Materialrecycling und thermischer Verwertung. Diese Aspekte müssen bereits in der Planung Berücksichtigung finden. Sorgfältige Planung und Qualität in der Ausführung sind Schlüsselprozesse für Nachhaltiges Bauen.

Eine zunehmende Verwendung von Holz in Gebäuden bewirkt einen temporären Positiveffekt gegen den Klimawandel durch verstärkte Kohlenstoffbindung. Mittels thermischer Verwertung von Altholz aus Gebäuden können fossile CO<sub>2</sub>-Emissionen substituiert werden, wodurch der Treibhauseffekt reduziert werden kann. Holzleichtbauweisen haben ein geringeres Abfallaufkommen und damit einen geringeren Bedarf an Deponievolumen. Sie verursachen im Vergleich zu Massivbauweisen beim Treibhauseffekt, stratosphärischen Ozonabbaupotential und Photooxidantienpotential geringere Effekte, beim Versauerungs- und Eutrophierungspotential (Überdüngung) liegen die Wirkungen aller Bauweisen in etwa im gleichen Bereich. Aus diesen Gründen schneiden Holzleichtbauweisen bei bestimmten momentan in der Praxis angewendeten Ökokennzahlen besonders gut ab. Zum Beispiel wird der Ökoindex für Baukonstruktionen (OI<sub>3kon</sub>) aus den drei Indikatoren PEI<sub>ne</sub> (Bedarf an Primärenergie aus nicht erneuerbaren Energieträgern), GWP 100 (Treibhauspotential) und AP (Versauerungspotential) berechnet. Ein hoher OI<sub>3kon</sub> bedeutet eine hohe durch die Baukonstruktion hervorgerufene Umweltbelastung, wobei die Wahl der Systemgrenzen bei der Ermittlung der drei Umweltwirkungsgrößen eine bedeutende Rolle spielt.

## 5. **Architektur**

In diesem Teil der Studie werden zuerst die Arbeitsprozesse der am Planungsprozess Beteiligten beschrieben, um die praktische Relevanz des Themas **Leichtbau** für die Architektur abzuleiten. Im Normalfall eines Bauvorhabens werden folgende Inhalte, in Projektphasen aufbauend, behandelt: die *konzeptionelle Vorentwurfsphase* (basierend auf einer Programmanalyse), die schematische Entwurfsphase, die Entwicklungsphase und die Baudurchführung. Diese Phasen zielen auf eine zunehmende Konkretisierung und somit Verbindlichkeit des Bauvorhabens ab.

Über die Fertigstellung eines Bauwerks hinaus erstrecken sich Veränderungsprozesse der Architektur über ihren gesamten Lebenszyklus als Bestandteil der gebauten Umwelt, wo das Ergebnis eines Planungsprozesses die Einwirkungen einer Vielzahl anderer „gestaltender Hände“ erfährt. Schwerpunkt dieser Betrachtungen ist es daher, den im Abschnitt 4 ausführlich dargelegten Begriff der **Nachhaltigkeit** um die planerisch relevanten Ebenen der „**Flexibilität**“ zu erweitern. In diesem Sinne ist Flexibilität als Anpassungsfähigkeit an sich verändernde Randbedingungen und als Ausdruck langfristig erweiterter Möglichkeiten zu verstehen – sowohl in den Planungsphasen wie auch während aller Nutzungsphasen eines Bauwerks. Zwei maßgebliche Kriterienebenen des Themenkomplexes architektonischer Flexibilität werden vergleichend auf das Thema Leichtbau bezogen: die technisch-funktionale sowie die psychologisch-gestaltwirksame.

Die grundsätzliche Wahl einer Bauweise bestimmt nicht nur die wirtschaftlichen, sondern auch die konstruktiven und gestalterischen Entwicklungsfolgen des Entwurfs. Überlegungen zu den Nutzungsmöglichkeiten der zur Auswahl stehenden Konstruktionen bringen den gesamten Entwurfsprozess wieder zurück zum Menschen, zu den eigentlichen **Konsumenten** der Bauwerke, die mit den von den Planenden bestimmten Bausystemen leben müssen (oder dürfen). Für die **Benutzer/innen** sind die technischen Eigenschaften der Konstruktion sowie die Gestaltungsintentionen der Architektur bestenfalls zweitrangig. Sie benötigen ein Gebäude, das ihres ist und das sie sich über ihr alltägliches Nutzungsverhalten als Lebensumfeld aneignen können.

Unabhängig von der wirtschaftlichen Interessenslage des Projektauftraggebers, die sich in Bauträgerkonstellationen meist nur auf die Herstellung des Bauwerks beschränkt, obliegt die Verantwortung dafür, eine ganzheitliche Betrachtung des gesamten Gebäudebestands inklusive **Nutzungsfaktoren** zu vertreten, letztendlich den Planern. Integrative Branchenentwicklungen von Seiten der Betreiber und Erhaltungskostenträger (Facility Management) zeigen einen wachsenden Bedarf an Veränderbarkeit von Gebäuden unter den Aspekten der Planungssicherheit und Werthaltigkeit über einen betrachteten Nutzungszeitraum.

Abgesehen von einer möglichst leicht adaptierbaren Konstruktionsart erfordern flexible Nutzungsansprüche vor allem veränderungstolerante Räume mit flexiblen Grundrissen. Der Leichtbau an sich ist durch eine stabförmige Tragkonstruktion, die meist in einem Raster eingebettet ist, sowie die Verwendung von nichttragenden, raumabschließenden Elementen gekennzeichnet. Solche Bauweisen bieten eine große Gestaltungsfreiheit und variable Grundrissgestaltung; ein modulares System und die Vorfertigung reduzieren die Kosten, ohne die **Gestaltungsmöglichkeiten** zu beschränken. In Mischbauweisen, die eine massive und nur bedingt veränderbare Primärstruktur aufweisen, erhöht der Einsatz von Leichtbauweisen in der Sekundärstruktur immer die Flexibilität des Gesamtgebäudes.

In Hinblick auf gestalterische Flexibilitätskriterien wird argumentiert, dass Leichtbauweisen grundsätzlich erweiterte Möglichkeiten der Gestaltung offen lassen und somit Wirkungsmöglichkeiten gewährleisten, die beim Massivbau – technisch bedingt – bereits in frühen Entwurfsphasen praktisch ausgeschlossen werden. Entsprechend der Fragestellung: „Was unterscheidet den Leichtbau von den anderen Bauweisen?“ wurde eine repräsentative Bauwerksmenge in zwei Gruppen eingeteilt und deren Polaritätenprofile mittels Korrelationsrechnungen ausgewertet. Obwohl der aktuelle Stand der verfügbaren Profildaten (Stabilität) das einzige Basiskriterium für die Auswahl war, zeigt die Partitionsverteilung einen auffälligen Überhang an Leichtbauten, der sich aus dem grundsätzlichen Zweck der Datenbank (*architectura*) als Basisressource für Forschung und Lehre in der Architektur erklärt. Dass ein Großteil dieser als „spannend“ identifizierten Bauwerke in Leichtbauweise ausgeführt wurde, kann für sich schon als deutliche Aussage gewertet werden. In der Feinanalyse einzelner Polaritäten ergeben sich detaillierte Korrelationen, die das Gestaltwirkungsspektrum des Leichtbaus von anderen Bauweisen definitiv unterscheiden.

ENDE