

# Schwerpunkt Nachhaltigkeit

## Eigenschaften und Potentiale des Leichtbaus

# Schwerpunkt Nachhaltigkeit

## 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](http://www.baugenial.at)

## 4 Nachhaltigkeit

*Grundsätzliches*

In diesem Kapitel werden nach einer allgemeinen Einleitung die Grundlagen der Nachhaltigkeit wie relevante Begriffsdefinitionen, politische Regulative bzw. Vorgaben auf Basis der Nachhaltigkeit und Grundzüge von Verfahren zur ökologischen Bewertung vorgestellt. Schließlich werden die Auswirkungen des Holzleichtbaues auf die Nachhaltigkeit in den Kapiteln Rohstoffverbrauch, Energieverbrauch, dadurch erzeugte Umweltwirkungen und in einer abschließenden Analyse zur Recyclingfähigkeit von Holzleichtbauweisen mittels Ergebnissen aus einer konkreten Vergleichsstudie begründet.

### 4.1 Einleitung

*langfristig ökonomisch, ökologisch  
und gesellschaftlich tragfähig*

Der Begriff „Nachhaltige Entwicklung“ (Sustainable Development) hat unter dem Eindruck von Umwelt- und Entwicklungsproblemen in nahezu allen Bereichen des menschlichen Handelns als Grundsatz Einzug gehalten und nimmt mittlerweile einen wichtigen Stellenwert ein. Es handelt sich dabei um die Zukunftsfrage, wie Voraussetzungen geschaffen werden können, um eine langfristige ökonomische, ökologische und gesellschaftliche Tragfähigkeit menschlichen Handelns sicherzustellen. Der steigende Ressourcenbedarf durch globales Wachstum und die dadurch bewirkte Veränderung natürlicher Gleichgewichtszustände, wie beispielsweise die globale Erwärmung, sowie soziale Bedrohungen und humanitäre Katastrophen, vor allem in den Entwicklungsländern, erfordern neue Strategien und Technologien in einem globalisierten System, um den Lebensstandard in der entwickelten Welt zu erhalten und gleichzeitig bisher benachteiligten Gesellschaften einen

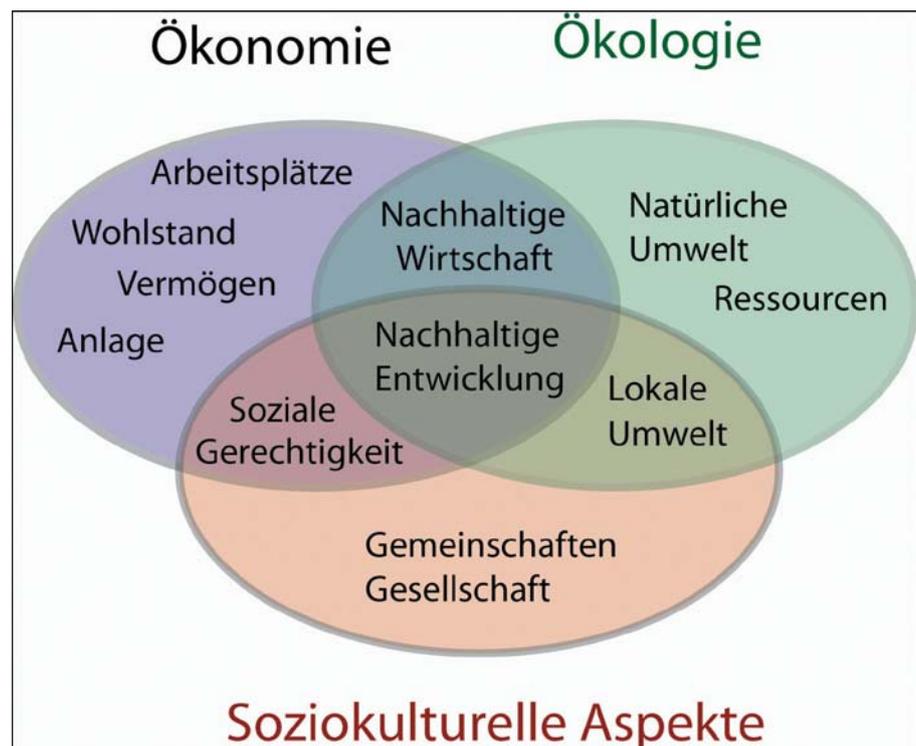


Abbildung 0-1 Die drei Säulen der Nachhaltigkeit (Merl 2006)

Ausgleich zu bieten. Das Bauwesen steht in Wechselwirkung mit der soziokulturellen, der ökonomischen und der ökologischen Säule der Nachhaltigkeit. Als Wirtschaftsbereich hat es einen Anteil von über 7 % am Bruttoinlandsprodukt und ist mit vielen anderen Wirtschaftsbereichen eng verknüpft. In allen damit verknüpften Sektoren werden von der Rohstoffgewinnung bis zur Entsorgung große Mengen an Ressourcen umgesetzt. Die daraus resultierenden Umweltwirkungen verursachen großen Druck auf die ökologische Säule der Nachhaltigkeit. Studien zeigen, dass pro Einwohner jährlich rund 10 t an Material bewegt werden und knapp 60 % des Abfallaufkommens aus dem Bauwesen stammen. Gleichzeitig verändern sich die Anforderungen an Bauwerke. Bei Wohnbauten wird eine Nutzungsdauer von 80 bis 100 Jahren angesetzt. Bei Bürobauten sind es mit abnehmender Tendenz 30 bis 50 Jahre Nutzungsdauer und bei Produktionsstätten sind es oft nur 10 Jahre oder weniger (Maydl 2005). Diese veränderten Rahmenbedingungen erfordern flexiblere Konstruktionen, die so gestaltet werden, dass eine hochwertige Verwertung möglich ist. Leichtbauweisen sind dafür bei entsprechender Gestaltung der konstruktiven Details geeignet. Auf der ökonomischen Seite müssen dabei die Lebenszykluskosten betrachtet werden. In der Literatur wird für die Errichtungskosten ein Anteil von durchschnittlich 20 % an den gesamten Lebenszykluskosten angegeben.

Ein weiterer Aspekt ist die Verwendung regional verfügbarer Ressourcen. Damit können Arbeitsplätze gesichert werden, die Wertschöpfung bleibt in der Region und Transporte werden reduziert. Die optimierte stoffliche Nutzung des Rohstoffes und Energieträgers Holz bis hin zur thermischen Verwertung und die bestmögliche Verwendung von Sekundärressourcen kann daher für die Umsetzung einer nachhaltigen Entwicklung in ökonomischer, ökologischer und soziokultureller Hinsicht von Bedeutung sein.

### **Auswirkungen des Holzleichtbaus auf die Nachhaltigkeit**

Auf Basis einer Gegenüberstellung (Merl 2005) der gängigen Bauweisen des Wohn- und Bürobaus in Wien mit zwei weiteren Szenarien, in denen die gängigen Bauweisen durch Holzleichtbauweisen ersetzt werden, können folgende Schlüsse gezogen werden:

- Die Massenströme an Baumaterialien können um bis zu 50 % reduziert werden.
- Regenerierbare Material- und Energieanteile werden erhöht, wobei eine Versorgung aus regional verfügbaren Quellen ökologisch und ökonomisch sinnvoll ist.
- Demontierbare Systeme ermöglichen eine effiziente Bewirtschaftung der in den Gebäuden gespeicherten Materialien, womit die Ressourceneffizienz erhöht werden kann.
- Eine vermehrte Holzverwendung bewirkt einen temporären Positiveffekt gegen den Klimawandel durch die Kohlenstoffbindung im eingebauten Holz und stellt ein energetisch und stofflich verwertbares Potential dar.
- Mittels thermischer Verwertung von Altholz aus Gebäuden können fossile

*7 % des Bruttoinlandsprodukts*

*60 % des Abfallaufkommens*

*unterschiedliche Nutzungsdauer  
von Gebäuden*

*Vermehrter Einsatz von Holz für  
mehr Nachhaltigkeit im Bauwesen*

CO<sub>2</sub>-Emissionen substituiert werden, wodurch sich der Treibhauseffekt reduzieren lässt.

- Holzleichtbauweisen haben ein geringeres Abfallaufkommen, wodurch Deponieraum geschont werden kann. Verwertungsorientierte Planung kann die Ressourceneffizienz weiter steigern.
- Holzleichtbauweisen verursachen bei den Umweltwirkungen Treibhauseffekt, stratosphärisches Ozonabbaupotential und Photooxidantienpotential geringere Effekte, beim Versauerungs- und Eutrophierungspotential liegen die Wirkungen aller Bauweisen im etwa gleichen Bereich.

## 4.2 Grundlagen

### 4.2.1 Begriffsdefinitionen

#### Nachhaltigkeit

Der Nachhaltigkeitsbegriff wurde in der Forstwirtschaft begründet. Daher stammt der produktionsbezogene Grundsatz, in einem bestimmten Zeitraum nicht mehr Holz aus dem Wald zu entnehmen, als im selben Zeitraum wieder neu gebildet wird (Carlowitz 1713).

Seitdem die Begrenztheit der verfügbaren Ressourcen stärker in das öffentliche Bewusstsein gerückt ist, werden die Notwendigkeiten einer nachhaltigen Entwicklung auf internationaler Ebene verstärkt diskutiert. Ein Beispiel ist der Bericht der Brundtland-Kommission mit folgender Definition des Nachhaltigkeitsbegriffs (WCED 1987): „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.“ Beim UN-Umweltgipfel 1992 einigten sich die Teilnehmer auf folgende Formulierung: „Wirtschaftsprozess, der langfristig aufrechterhalten werden kann, ohne das Ökosystem Erde zu überlasten“. Es herrscht allgemeiner Konsens, dass folgende ökologische Kriterien als Voraussetzung für eine nachhaltige Entwicklung eingehalten werden müssen (IUCN et al. 1980; WCED 1987):

1. Die biologische Vielfalt der Erde darf durch menschlichen Einfluss nicht verkleinert werden, die genetische Vielfalt muss erhalten werden.
2. Die Nutzungsrate von Ressourcen darf deren Regenerationsrate nicht überschreiten, das Ressourcenkapital muss erhalten werden.
3. Die Rate der Schadstoffemissionen darf die Kapazität zur Schadstoffadsorption der Umwelt nicht übersteigen, zukünftige Altlasten müssen verhindert werden.

Diese Kriterien bedeuten, dass menschliche Aktivitäten den über Millionen von Jahren gebildeten Gleichgewichtszustand in der Natur nicht ins Schwanken bringen dürfen. Beispielsweise ist die Loslösung von nicht erneuerbaren, fossilen Energieträgern ein wichtiges Anliegen. Die auf nicht erneuerbaren Ressourcen beruhenden „fossilen Technologien“ müssen durch auf erneuerbaren Ressourcen basierende „solare Technologien“ ersetzt werden. Dabei sind ökonomische, ökologische oder soziale Zusammenbrüche zu vermei-

*Nachhaltigkeit ist ein  
Wirtschaftsprozess, der langfristig  
aufrechterhalten werden kann,  
ohne das Ökosystem Erde zu  
überlasten.*

den. Die regenerativen stofflichen und energetischen Ressourcen und deren effiziente Nutzung spielen daher bei der Umsetzung von Nachhaltigkeit eine Schlüsselrolle.

### **Bauökologie, Baubiologie**

Die Begriffe „Baubiologie“ und „Bauökologie“ werden in der Literatur unterschiedlich definiert. Die Biologie wird als „Lehre von der lebendigen Natur“ bezeichnet. Die Ökologie stellt ein Teilgebiet der Biologie dar und beschreibt die Wechselwirkungen zwischen den Lebewesen (Lebensgemeinschaften) mit den abiotischen („unbelebten“) und biotischen („belebten“) Faktoren ihres Lebensraums.

Die Bauökologie als Teilgebiet der Ökologie untersucht die Wechselbeziehungen des Menschen und der Umwelt mit den in die natürliche Umwelt eingebetteten Bauwerken. Das „Maß“ (Indikatoren) sind die damit verbundenen Umweltwirkungen. Die Quantifizierung der Umweltwirkungen erfolgt mittels Erfassung der Stoffflüsse des Bauwesens sowie damit verbundener Lagerbildungen. Es handelt sich somit um eine Betrachtung des Bauwesens (Baumaterialien, Bauwerke, Städte, Regionen) über genau definierte zeitliche und räumliche Systemgrenzen hinweg. Dabei muss der gesamte Lebenszyklus der untersuchten Systemteile von ihrer „Wiege“ bis zur „Bahre“ einbezogen werden. Bauökologie ist somit die ökologische Dimension der Nachhaltigkeit. Im Wesentlichen stehen damit drei Schutzziele in Verbindung:

- ▮ Schutz der Gesundheit des Menschen sowie dessen Lebensraum.
- ▮ Schutz der Umwelt (Ökosysteme, Artenvielfalt von Pflanzen und Tieren etc.) und der darin eingebetteten Infrastruktur mit ihren Kulturgütern und Bauwerken.
- ▮ Schonung der Ressourcen Boden, Wasser, Luft, Rohstoffe und Energieträger.

Die Umsetzung der Bauökologie im Rahmen des nachhaltigen Bauens erfordert die Einbeziehung mehrerer wissenschaftlicher Disziplinen und kann je nach Zielsetzung und Fragestellung folgende Bereiche umfassen:

- ▮ Qualität in Planung und Ausführung als Grundvoraussetzungen für nachhaltiges Bauen.
- ▮ Wirtschaftlichkeit hinsichtlich individueller Leistbarkeit und volkswirtschaftlicher Aspekte.
- ▮ Ressourcen und deren Verfügbarkeit bzw. Belastbarkeit im lokalen und globalen Kontext.
- ▮ Die Wahl von Material und Konstruktion und deren Einfluss auf den Ressourcenverbrauch und die regionale Wertschöpfung.
- ▮ Der Innenraum (Raumklima) und dessen Einfluss auf die menschliche Gesundheit.
- ▮ Energie und Technik und die dazugehörigen haustechnischen Anlagen wie Heizung und Kühlung, Be- und Entlüftung, Belichtung und Beleuchtung, energieeffizientes Nutzerverhalten etc.
- ▮ Die Prozess- und Ablaufgestaltung von der Errichtung bis zur Entsorgung

*Quantifizierung der Umweltwirkungen durch Erfassen der Stoffflüsse des Bauwesens*

*interdisziplinäre Betrachtungsweise*

eines Gebäudes, mit den Aspekten Arbeitsplatzqualität, Sicherheit, Abfallvermeidung inklusive Wiederverwendung/Recycling bis hin zur Entsorgung nicht vermeidbaren Abfalls.

■ Der städtische und ländliche Raum mit den Aspekten Raumplanung, Verkehr, Infrastruktur, Sicherheit, Barrierefreiheit, Umgebungsrisiken (Naturkatastrophen).

■ Vermeidung von Angsträumen und genderorientiertes Bauen.

Bauökologische Betrachtungen weisen Überschneidungsbereiche mit technischen, ökonomischen und soziokulturellen Aspekten auf. Ganzheitliche, momentan in Entwicklung befindliche Bewertungsmethoden verwenden neben den mittlerweile klassischen ökologischen Bewertungsindikatoren (Treibhauseffekt, Versauerung, Bewertung von Materialflussmengen, Ressourcenverfügbarkeit etc.) zunehmend auch sozioökonomische Indikatoren (Lebenszykluskosten, Arbeitsplätze in der Region bzw. pro umgesetzter Rohstoffeinheit, Wertschöpfung pro verbrauchter Ressourceneinheit, Effekte auf verfügbare Arbeitsplätze, Anteil beschäftigter Frauen, Unfallhäufigkeit, Gesundheitsaspekte etc.).

#### 4.2.2 Normen und Richtlinien

Um in Zukunft die Anforderungen nachhaltigen Wirtschaftens besser umsetzen zu können, wurden bzw. werden eine Reihe von Normen und Richtlinien unter der Federführung von ISO (Internationale Organisation für Normung) und CEN (Comité Européen de Normalisation – Europäisches Komitee für Normung) ausgearbeitet.

*Normen und Richtlinien für Nachhaltigkeit*

#### ISO TC/59; CEN/TC 350

Die nachfolgende Tabelle 0-1 gibt einen Überblick über die internationale Normungsarbeit.

ISO TC/59	WG 1 / ISO CD 15392 General Principles – ISO TR 21932 Terminology
	WG 2 / ISO TS 21 929 Sustainability Indicators – Part 1: Framework for development of indicators for buildings
	WG 3 / ISO DIS 21930 – Environmental declaration of building products
	WG 4 / ISO TS 21931 Framework for methods of assessment for environmental performance of construction works – Part 1: Buildings
CEN/TC 350	Task Force: Framework document – WG 1: Environmental performance / Calculation methods for environmental performance / Use of EPD
	WG 2: Building Life Cycle
	WG 3: Product Category Rules / Communication formats / Generic Data

Tabelle 0-1 Überblick über die internationale Normungsarbeit (AUB 2006)

Im CEN/TC 350 werden die Regeln für ökologische Produktdeklarationen (EPD) für alle europäischen Bauprodukte festgelegt. EPD sollen zukünftig für Planung, Ausschreibung und Beschaffung für den Neubau und die Sanierung jenen Datenbestand bilden, den Planer und Architekten für die Bewertung von Gebäuden hinsichtlich der Nachhaltigkeit benötigen. Die Einhaltung der Normungsgrundsätze und die Datenqualität sollen von unabhängigen Dritten geprüft werden. Die Tabelle 0-2 gibt einen Überblick über Arbeits- und Zeitplan des Europäischen Komitees für Normung (CEN) der Arbeitsgruppe CEN/TC 350. Da es sich dabei um einen Entwicklungsprozess handelt, soll der hier abgebildete Zeitplan lediglich einen Überblick über die Themenbereiche geben, im Detail sind laufend Änderungen möglich (Information im Internet: <http://www.normapme.com/english/Construction.htm#mark9>)

	Environmental	Health & Comfort	Life Cycle Cost	document	priority/step	date (DAV)	WG
Framework level	Framework for Integrated Performance of Buildings			EN TN	1	2006 2009	TC ad hoc G
	Description of Building Life Cycle			TR	1	2007	WG 2
Building level	Environmental Performance	Health & Comfort Performance	Life Cycle Cost Performance	TS EN	2	2007 2009	WG 1
	Use of EPDs			EN	2	2009	WG 1
Product level	Communication Format			EN	2	2008	WG 3
	Product Category Rules for EPDs			EN	1	2008	WG 3
	Generic Data			EN	2	2007	WG 3

Tabelle 0-2 CEN Arbeitsprogramm und Zeitplan (Ilomäki 2005)

In der Arbeitsgruppe werden die Regeln für Umweltdeklarationen der einzelnen Produktgruppen (Product Category Rules) aufgestellt und die Rahmenbedingungen der Inventardaten für Ökobilanzen von Baumaterialien und die Beschreibung des Gebäudelebenszyklus erarbeitet.

#### Environmental Product Declarations (EPD) – Ökologische Produktdeklarationen

Dabei handelt es sich um die ÖNORM EN ISO Normen 14020 (environmental labeling), 14021 (EPD II), 14024 (Ecolables I) und die ÖNORM ISO 14025 (EPD III).

Bei den für Bauprodukte relevanten Typ-III-Umweltdeklarationen nach ÖNORM ISO 14025:2006 werden die Daten hinsichtlich der Umweltwirkungen mittels einer Lebenszyklusanalyse gemäß der ÖNORM EN ISO 14040ff ermittelt. Bei Bedarf können weitere qualitative oder quantitative Informa-

*Umweltdeklarationen von Bauprodukten*

tionen hinsichtlich technischer und bauphysikalischer Eigenschaften oder dem Emissionsverhalten der Baustoffe während der Nutzungsphase etc. beigefügt werden.

Die Umweltdeklarationen einzelner Bauprodukte sollen auch die Grundlage für die gesamte Gebäudebewertung im „Baukastensystem“ bilden. Die Deklaration macht Aussagen zum Energie- und Ressourceneinsatz und in welchem Ausmaß ein Produkt zu Treibhauseffekt, Versauerung, Überdüngung, Zerstörung der Ozonschicht und Sommersmogbildung beiträgt. Außerdem werden Angaben zu technischen Eigenschaften gemacht, die für die Einschätzung der Leistungsfähigkeit des Bauproduktes im Gebäude benötigt werden, wie Lebensdauer, Wärme- und Schallisolierung oder der Einfluss auf die Qualität der Innenraumluft.

**ISO/FDIS 21930 „Sustainability in building construction – Environmental declaration of building products“ – Stand 31.1.2007**

Die ISO/FDIS 21930 beschreibt die branchenspezifische Vorgehensweise bei der Deklaration von Bauprodukten. In diesem Normenentwurf werden ganz konkret zu berücksichtigende Materialflüsse und Umweltwirkungen gemäß Tabelle 0-3 aufgelistet und die Regeln für das Vorgehen bei einzelnen Produktgruppen festgelegt (PCR – Product Category Rules).

Indikatoren Ressourcenabbau	[Einheit]
Materialverbrauch nicht erneuerbar (MI abiotisch)	[kg]
Materialverbrauch erneuerbar (MI biotisch)	[kg]
Materialeinsatz Recyclingstoffe	[m³]
Wasserverbrauch	[m³]
Landverbrauch	[m³]
Indikatoren Energie	[Einheit]
Primärenergieinhalt nicht erneuerbare Energieträger (KEA ne)	[MJ, kg]
Primärenergieinhalt erneuerbare Energieträger (KEA e)	[MJ, kg]
Indikatoren Abfall	[kg]
Gefährlicher Abfall	[kg]
Indikatoren Umweltwirkungen (LC impact categories)	[Einheit]
Treibhauseffekt (GWP)	[kg CO <sub>2</sub> - Eq.]
Ozonabbau (ODP)	[kg - CFK - Eq.]
Sommersmog (POCP)	[kg Ethen - Eq.]
Versauerung (AP)	[kg SO <sub>2</sub> - Eq.]
Eutrophierung (NP)	[kg PO <sub>4</sub> - - Eq.]
Humantoxizität (HTP)	[kg 1,4 – DCB – Eq.]
Ökotoxizität (AETP, TETP)	[kg 1,4 – DCB – Eq.]
Indikatoren Raumluftqualität	[Einheit]
Raumluftqualität (verschiedene Indikatoren)	z. B. [TVOC]

Tabelle 0-3 Vorgeschlagene Indikatoren gemäß dem Normenentwurf ISO/FDIS 21930 (point 8.2.2–8.2.4, declaration of environmental impacts, use of resources and generation of waste, actual Draft 16, Sept 20, 2006)

Für die Richtigkeit, Qualität und Aktualisierung der für eine Bauproduktdeklaration erforderlichen Daten sind die Produkthersteller verantwortlich. Das heißt, die Basisdaten für eine Ökobilanz werden vom Baustoffproduzenten zur Verfügung gestellt und diese müssen die in den Normen geforderten Kriterien erfüllen.

#### 4.2.3 Politische Regulative und Vorgaben

Die gängigen Instrumente zur Erreichung von Nachhaltigkeit auf nationaler und internationaler Ebene sind übergeordnete Politikziele, Strategien für nachhaltige Entwicklung und Aktionspläne zu deren Umsetzung. Unter der Schirmherrschaft internationaler Institutionen wurden Nachhaltigkeitsstrategien entwickelt, die gemeinsam mit den Nationalstaaten umgesetzt werden sollten. So werden nationale Programme zur Umsetzung der globalen Ziele unter Berücksichtigung der regionalen Möglichkeiten entwickelt.

Zur Umsetzung von Nachhaltigkeit im Bauwesen gibt es verschiedene Programme, welche großteils von der öffentlichen Hand finanziert werden. Es gibt Systeme mit finanziellem Anreiz (z. B. Wohnbauförderung) für die Anwendung nachhaltiger Bauweisen. Bei der Ausschreibung von Forschungsprogrammen nimmt Nachhaltigkeit einen wichtigen Platz ein bzw. ist es oft Voraussetzung für den Zuschlag einer Forschungsförderung.

Umwelt- und gesundheitsrelevante Kriterien werden sich zunehmend auch im Baurecht finden. In Deutschland kann beispielsweise beobachtet werden, dass diese Kriterien in der Muster Bauordnung (MBO), welche die Basis für allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen des Deutschen Instituts für Bautechnik ist, zunehmend Eingang finden.

Baumaterialien und Bauweisen aus nachwachsenden Rohstoffen spielen aufgrund der Regenerierbarkeit und der günstigen Energiebilanz eine wichtige Rolle.

*finanzielle Anreize für  
Nachhaltigkeitsprogramme*

#### **klima:aktiv**

klima:aktiv ist als Teil der Österreichischen Klimastrategie eine Initiative des Lebensministeriums und läuft bis 2012. Ziel ist es, mittels Erhöhung der Energieeffizienz und der Forcierung erneuerbarer Energien zum Klimaschutz beizutragen:

- ▮ Energieverbrauch senken und die CO<sub>2</sub>-neutrale Energienutzung forcieren.
- ▮ Verbesserung der Startchancen und Erhöhung der Marktanteile für Produkte und Dienstleistungen mit geringem Treibhauspotential.
- ▮ Stärkung des Wirtschaftsstandorts Österreich durch Innovationsförderung.
- ▮ Aktivierung und Vernetzung der wichtigen Akteure.

Zur Erfüllung dieser Grundsätze bergen Holzbauweisen ein großes Potential in sich. Folgende Programme wurden im Baubereich gestartet und sind daher für den Holzleichtbau von Interesse (aus [www.klimaaktiv.at](http://www.klimaaktiv.at)):

- ▮ **bundesgebäudecontracting** unterstützt die Modernisierung von Bundesgebäuden.

*Erhöhung der Energieeffizienz und  
Forcierung erneuerbarer Energien  
zu mehr Klimaschutz*

**I ecofacility** unterstützt bei der Sanierung von privaten Dienstleistungsgebäuden.

**I energieeffiziente betriebe** hilft Betrieben, ihren Energieeinsatz zu optimieren.

**I energieeffiziente geräte** unterstützt bei der energieeffizienten Gerätebeschaffung.

**I klima:aktiv haus** steht für ökologischen und energieeffizienten Neubau.

**I klima:aktiv leben** ist die Energiesparoffensive für Haushalte.

**I topprodukte.at** ist die Internetplattform für energieeffiziente Geräte.

**I wohnmodern** unterstützt bei der Modernisierung großer Wohngebäude.

Der aktuelle Stand des Programms kann unter [www.klimaaktiv.at](http://www.klimaaktiv.at) abgerufen werden.

### Österreichische Wohnbauförderung – Nachhaltigkeitskriterien

Die Wohnbauförderung wird auch als Instrument zur Umsetzung politischer Zielsetzungen wie der Nachhaltigkeit gesehen. Zurzeit haben Beiträge zur Umsetzung des Kyoto-Protokolls besonders hohen politischen Stellenwert. In sämtlichen Bundesländern gibt es Förderungs- und Finanzierungsmodelle zur Erreichung bestimmter ökologischer Gebäudestandards im Neubau- und Sanierungssegment, vor allem auf die Bereiche energetische Gebäudequalität, Haustechnik, Alternativenergie und den Einsatz ökologischer Baustoffe fokussierend (FGW 2006).

Beispiele für Förderungen auf Basis ökologischer Kennzahlen sind das „Vorarlberger Modell des ökologischen Wohnbaus“ sowie das „Niederösterreichische System der Wohnbaufinanzierung“. In Wien gibt es einen Grundstücksbeirat und es werden Bauträgerwettbewerbe durchgeführt, bei denen bestimmte Anforderungen hinsichtlich Architektur, Ökonomie und Ökologie erfüllt werden müssen. Bei der Umsetzung werden Bauaufsicht und Bauausführung hinsichtlich Einhaltung der geforderten Kriterien von der Förderungsstelle überwacht.

*Modelle aus den Bundesländern*

### EU-Gebäuderichtlinie

Die Richtlinie behandelt die Anforderungen an die thermisch-energetische Qualität von Gebäuden (Richtlinie 2002/91/EG vom 16.12.2002 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden). Die Umsetzung in nationales Recht ist im Gange. Die EU-Gebäuderichtlinie verlangt die „Festlegung von Anforderungen an die Gesamtenergieeffizienz“ von Gebäuden zumindest auf Ebene der Endenergie. Gleichzeitig regt sie an, auch den Gesamt- bzw. Primärenergiebedarf und/oder die CO<sub>2</sub>-Emissionen, die auf die Nutzung des Gebäudes zurückzuführen sind, zu berücksichtigen, ohne diese Ebenen jedoch verpflichtend vorzuschreiben. Damit soll über die Nutzungsphase eines Gebäudes eine energetische Optimierung und damit ein Beitrag zu ökologischer Nachhaltigkeit erreicht werden.

*thermisch-energetische  
Anforderungen*

### Forschungsinitiativen

Zur Erlangung von Forschungsgeldern ist die Berücksichtigung von Nachhal-



Abbildung 0-2 Quelle: Vortrag Oberstadtbaurat DI Dr. Christian Pöhn, präsentiert im Rahmen einer Vortragsreihe zum Thema Gebäuderichtlinie; Veranstalter: Saint-Gobain ISOVER Austria

tigkeitsaspekten oft Voraussetzung. Ein Beispiel ist das „Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften“.

### Nachhaltigkeit in der Wirtschaft

Von Immobilieninvestoren werden zunehmend Nachhaltigkeitsprofile für Objekte gefordert. Diese müssen ökologische, ökonomische und soziokulturelle Gesichtspunkte über den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes umfassen:

- ▮ Geringe Lebenszykluskosten.
  - ▮ Minimierte Schadwirkungen auf Mensch und Umwelt.
  - ▮ Gesundheitliche Aspekte und Behaglichkeit müssen berücksichtigt werden.
- Aus diesen Initiativen und Programmen ist zu schließen, dass sich zu all den bisher bestehenden Kriterien des Bauwesens (Tragfähigkeit, Ästhetik, bauphysikalische Belange etc.) die Aspekte der Nachhaltigkeit als fixer Bestandteil im gesamten Bauprozess von der Projektentwicklung bis zur endgültigen Entsorgung etablieren werden.

*Lebenszyklus von Gebäuden entscheidet über Nachhaltigkeit*

### 4.2.4 Verfahren zur Bewertung und zum Vergleich von Baustoffen, Bauteilen und Gebäuden

Die Entwicklung der Methodik für die Erstellung von Produktökobilanzen (Life Cycle Assessment – nachfolgend als LCA bezeichnet) begann vor mehr als 30 Jahren für relativ einfache und kurzlebige Produkte. Für die Erfassung und Bewertung komplexerer und langlebigerer Produktgruppen wie Gebäude hat die Entwicklung in den 1980er-Jahren eingesetzt. Die Methodik der LCA dient der Erhebung und Bewertung der Umweltrelevanz von Dienstleistungen, Produkten und Produktsystemen über ihren Lebenszyklus. Dabei werden alle Prozesse von der „Wiege“, beginnend bei der Rohstoffexploration bzw. bei den Planungsprozessen, bis zur „Bahre“, der Entsorgung aller im untersuchten Produktsystem integrierten Materialien, in die Untersuchung einbezogen. Zur Beurteilung der Umweltrelevanz muss ein Vergleich mit dem Nutzen

*Life Cycle Assessment  
in Ausarbeitung*

*Erfassung und Bewertung  
von Ökobilanzen*

eines Produktsystems erstellt werden. Dies geschieht mittels der Definition einer funktionellen Einheit, welche im Baubereich beispielsweise 1 m<sup>2</sup> eines Bauteiles (Wand, Decke etc.) oder 1 m<sup>2</sup> Wohnfläche sein kann. Nur Vergleiche zwischen Referenzsystemen, die den gleichen Nutzen erfüllen, sind möglich. Erst bei Erfüllung einer Funktion (z. B. auf Bauteilebene 1 m<sup>2</sup> Wand mit definierten identischen technischen Eigenschaften der zu vergleichenden Systeme) können Vergleiche aussagekräftig getätigt werden. Das CEN/TC 350 arbeitet derzeit an einem Normenpaket zur Life Cycle Assessment von Bauprodukten und Gebäuden. Mit dem Erscheinen dieses Normenpakets ist 2010 bis 2012 zu rechnen.

Durch die inzwischen weitgehend abgeschlossenen Arbeiten zur Normierung des Vorgehens im Rahmen von ISO 14.040ff und mit der Weiterentwicklung der Bewertungsmethodik von LCAs stehen heute standardisierte Vorgehensweisen zur ökologischen Bewertung von Produkten zur Verfügung. Die Aussagekraft einer Erfassungs- und Bewertungsmethode hängt hauptsächlich von der Wahl der Systemgrenzen ab. Diese müssen alle relevanten Prozesse über den gesamten Lebenszyklus enthalten. Diese breite Erfassung und Bewertung der Umweltrelevanz mittels LCA weist Vorteile im Vergleich zu einseitig auf energetische Aspekte ausgerichteten Betrachtungen (z. B. Primärenergieverbrauch) oder reinen Massenbetrachtungen ohne Berücksichtigung von deren Umweltrelevanz (z. B. Gewicht der ökologischen Rucksäcke) auf. Eine kombinierte Anwendung der Materialflussanalyse und der LCA gewährleistet ein Maximum an Information und bietet so eine gute Basis für Optimierungsmaßnahmen aller Art. Gegenwärtig werden LCAs eingesetzt, um einerseits ökologische Optimierungsmöglichkeiten eines Produktes herzuleiten, andererseits, um die Wahl eines Produktes mit den geringsten Umweltwirkungen zu unterstützen. Transparenz und Nachvollziehbarkeit bei der Vorgehensweise sind von zentraler Bedeutung. Dies besonders deshalb, da die Systemgrenzenwahl in der Praxis oft nicht einheitlich erfolgt bzw. unterschiedliche Verfahren bzw. Datenquellen angewendet werden. Eine direkte Vergleichbarkeit ist daher oft nicht gegeben. Ein Ziel des TC 350 ist die Schaffung einer europaweit einheitlichen Erfassung und Bewertung bei der Anwendung von Ökobilanzen.

Bis zum heutigen Zeitpunkt wurde eine Vielzahl an verschiedenen Methoden entwickelt, deren vollständige Aufzählung den Rahmen sprengen würde. In der Praxis existieren momentan im Wesentlichen drei Ansätze:

1. Ganzheitliche, grundlagenorientierte Ansätze.
2. EDV-Werkzeuge als Arbeits- und Orientierungshilfe für den Planer.
3. Qualitative Checklisten als Orientierungshilfe für den Planer.

*Ganzheitliche,  
grundlagenorientierte Ansätze*

#### **Ganzheitliche, grundlagenorientierte Ansätze**

Dabei wird eine komplette Systemanalyse gemacht und entsprechend der Zielsetzung und Fragestellung modelliert. Damit können wahlweise einzelne Baustoffe, Bauteile, Gebäude oder Regionen abgebildet werden. Der Vorteil besteht in der zielgenauen Anwendbarkeit auf spezielle Fragestellungen, regionale Rahmenbedingungen und Zielsetzungen. Dementsprechend kann

die Systemgrenzen- und Prozesswahl sowie die Untersuchungstiefe variiert werden. Diese Methoden liefern die Grundlagen und Datensätze für EDV-Tools sowie für Leitfäden zur praktischen Anwendung in der Planung. Ein weiterer Anwendungsbereich ist die lebenszyklusweite Produktoptimierung (Life Cycle Engineering). Dabei wird die Ökobilanz noch um ökonomische und technische Kriterien erweitert und hat das Ziel der ökonomisch-ökologisch-technischen Optimierung, der Verhinderung von Problemverschiebungen im Produktlebenszyklus und der Risikominimierung („Ökodesign“).

Beispiele für Datenbanken im deutschen Sprachraum, welche auch Bauprozesse enthalten, sind die ganzheitliche Bilanzierung (GaBi 2006; Eyerer & Reinhardt, 2000) samt Datenbank für LCA-Modellierungen oder die ecoinvent 2000 Datenbank (Jungbluth und Frischknecht, 2004). Damit können verschiedene Bewertungsmethoden angewendet werden.

Seitens der Europäischen Kommission ist ein Datenbanksystem (LCA – Data System ELCD) über ökologische Wirkungsgrößen (LCI-Daten: Life Cycle Impact Data – Umweltwirkungsgrößen) im Aufbau, welches durch unabhängige Dritte evaluiert und geprüft wird (<http://lca.jrc.ec.europa.eu/lcainfohub/datasetArea.vm>).

#### **EDV-Werkzeuge**

Mittels EDV-Werkzeugen können die Daten eines Objekts parallel zum Planungsprozess, oft in vorbereitete Masken oder Listen, eingegeben werden. Die Bewertung erfolgt aufgrund verschiedenster im Hintergrund arbeitender Datensätze. Die Aussagekraft ist eingeschränkt. Bei EDV-Tools werden neben den Auswirkungen auf die Umwelt oft auch Kosten, Architekturqualität, Standort, Infrastruktur etc. erfasst und bewertet. Dabei handelt es sich häufig um subjektiv beeinflusste Vorgehensweisen. Manche Instrumente wenden auch Punktesysteme an, die jedoch vielfach kontrovers diskutiert werden.

*EDV-Werkzeuge*

#### **Qualitative Checklisten als Orientierungshilfe für den Planer**

Für die jeweiligen Planungsphasen eines Projekts von der Entscheidung des Baubedarfs und der Standortwahl über die Planung bis zur Ausschreibung und Baudurchführung gibt es Checklisten auf rein qualitativer Ebene, welche verschiedenste Kriterien, Entscheidungsmöglichkeiten und daraus folgende Konsequenzen auflisten.

Durch den Committee Draft ISO/FDIS 21930 wird bereits ein breites Indikatorenbündel vorgegeben. Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Wahl der Systemgrenzen und damit verbunden der inkludierten Prozesse. Viele Ökobilanzergebnisse verwenden unvollständige Systeme, d. h., wichtige umweltrelevante Prozesse sind aus verschiedensten Gründen nicht im Untersuchungsrahmen enthalten und liefern somit unvollständige Ergebnisse. Daher ist die in der ÖNORM EN ISO 14040 geforderte Transparenz und Nachvollziehbarkeit einer Ökobilanzstudie von großer Bedeutung. Eine kritische Prüfung einer unabhängigen dritten Partei ist daher für die Seriosität von großer Bedeutung.

*Qualitative Checklisten*

## **4.3 Bewertung und Vergleiche**

### **4.3.1 Ressourcenverbrauch**

Unter Ressourcen sind einerseits die natürlichen Ressourcen Boden, Wasser und Luft gemeint und andererseits die zum Bauen in einem vergleichsweise großen Ausmaß benötigten erneuerbaren und nicht erneuerbaren Rohstoffe sowie erneuerbare und nicht erneuerbare energetische Ressourcen. Die damit verbundenen Umweltwirkungen werden mittels Lebenszyklusanalysen erfasst, bewertet und können in weiterer Folge gesteuert werden. Der Lebenszyklus kann im Bauwesen in folgende Bereiche untergliedert werden:

- **Gewinnungsphase und Produktion:** Im Wesentlichen sind darin je nach Ressource die Prozesse Exploration, Rohstoffgewinnung, Rohstoffveredelung, Produktion des Produkts sowie alle dazu erforderlichen Transportprozesse enthalten.
- **Errichtungsphase:** Vorfertigungsprozesse, Errichtung vor Ort und alle dazu erforderlichen Transportprozesse.
- **Nutzungsphase:** Betrieb des Gebäudes, Wartung und Sanierung inklusive dazugehöriger Vorketten – dieser Prozess kann wenige Monate bis hin zu Jahrhunderten dauern, daher ist an dieser Stelle auch das Gebäude als „Ressourcenlager“ mit möglichen, über die Zeit entstehenden Umweltwirkungen zu berücksichtigen.
- **Rückbau und Entsorgungs- bzw. Verwertungsphase:** Abbruch oder geordneter Rückbau, Sammlung und Verteilung der Rohstoffe in die verschiedenen Verwertungs- (stofflich mit regional unterschiedlichen Optionen bzw. energetisch mit regional unterschiedlichen Standards) oder Entsorgungsschienen (Deponie, Müllverbrennungsanlage) unter Berücksichtigung aller damit verbundenen Transporte.

Je nach verwendeten Materialien, deren Anwendung und Verwertung sowie finalen Entsorgung entstehen unterschiedlich hohe Umweltbelastungen durch diverse Emissionen und Abfälle aus den einzelnen Prozessen der Lebenszykluskette.

### **4.3.2 Beispiele ökologischer Kennzahlen für einzelne Materialien**

Die durch den Ressourcenverbrauch erzeugten Güterflüsse bzw. Stoffflüsse und alle damit verbundenen Aktivitäten (Gewinnungs-, Veredelungs-, Verarbeitungs- und Transportprozesse) über den gesamten Lebenszyklus verursachen Umweltwirkungen. Diese Umweltwirkungen können in ökologischen Kennzahlen, wie in der nachfolgenden Tabelle 0-4 (IBO 1999) angeführt, quantitativ dargestellt werden. Die angeführten Zahlen beinhalten alle Umweltwirkungen von der Rohstoffgewinnung bis zur Auslieferung ab Werkstor. Die Baumaterialbezeichnungen wurden aus dem ökologischen Bauteilkatalog entnommen und sind bewusst allgemein gehalten, da die Werte Durchschnittsgrößen repräsentieren, spezifische Baumaterialien können von diesen Werten abweichen. Die nachfolgenden Prozesse Transport, Einbau, Nutzung sowie Rückbau und Entsorgung sind nicht enthalten.

Ökologische Kennwerte sind als Richtwerte zu sehen. Abhängig von individu-

Material	Dichte [kg/m <sup>3</sup> ]	Primärenergieinhalt PEI ne [MJ/kg]	Treibhauseffekt GWP 100 [kg CO <sub>2</sub> – Äquiv./kg]	Versäuerung [g SO <sub>2</sub> – Äquiv./kg]
<b>Metallische Baumaterialien</b>				
Armierungsstahl	7800	13	0,8	3,6
Stahl niedrig legiert (Baustahl)	7800	43	2,9	14
Aluminium Blech eloxiert	2700	127	7,19	61,73
<b>Mineralische Materialien</b>				
Porosierter Hochlochziegel	750	2,6	0,13	0,4
Vollziegel	1800	2,7	0,25	0,9
Normalbeton	2000	0,8	0,13	0,5
Gipskartonplatte	850	5,1	0,3	0,8
Glas, unbeschichtet	2450	14,4	1,0	2,3
<b>Kunststoffe</b>				
PVC	1340	63	2,2	16
Polyethylen	940	97	2,6	19
<b>Nachwachsende Materialien</b>				
Schnittholz	450	3,3	-1,55	1,95
Brettschichtholz	450	11,3	-1,74	4,81
Spanplatte	650	6,5	-1,3	3,2

Tabelle 0-4 Ökologische Kennzahlen für verschiedene Baumaterialien gemäß IBO-Bauteilkatalog (1999) (point 8.2.2-8.2.4, declaration of environmental impacts, use of resources and generation of waste, actual Draft 16, Sept 20, 2006).  
Quelle: IBO – Österreichisches Institut für Baubiologie und -ökologie

ellen Produktionsbedingungen sind bei allen Materialien Schwankungen möglich. Beispielsweise ist bei Holz der Bedarf an nicht erneuerbarer Energie und damit auch der Treibhauseffekt stark von der Art der Trocknungsmethode abhängig. Der Energieinhalt von Holz beträgt 20,4 MJ pro kg Trockenmasse, dieses energetische Potenzial kann nach dem Lebenszyklusende genutzt werden.

Neben den ökologischen Kennwerten sind für eine ganzheitliche Beurteilung alle weiteren Kenngrößen, wie beispielsweise Festigkeit, Wärmeleitfähigkeit, spezifische Wärmekapazität, Dampfdiffusionswiderstandszahl etc., abhängig von der geplanten Verwendung einzubeziehen. Die einzelnen Werte sind untereinander nicht vergleichbar, da jeweils ein Kilogramm eines Materials unterschiedliche Funktionen erfüllen kann und für die Verwendung im Bauwesen im Regelfall für die Erfüllung einer Funktion (z. B. 1 m<sup>2</sup> Wand mit einer bestimmten Leistungsfähigkeit) eine Kombination aus mehreren Materialien erforderlich ist. Daher werden im nachfolgenden Abschnitt Gegenüberstellungen vorgenommen, welche Bauteile bzw. Bauweisen identischer Funktion miteinander vergleichen.

### 4.3.3 Bauteilvergleich – Beispiele aus dem Ökologischen Bauteilkatalog

Aus dem Ökologischen Bauteilkatalog (IBO 1999) werden drei verschiedene Wandaufbauten exemplarisch gegenübergestellt angeführt (Tabelle 0-5). Dabei wurde versucht, aus der Beispielsammlung des Bauteilkatalogs möglichst funktional äquivalente Bauteile auszuwählen. Aufgrund der unterschiedlichen Grundcharakteristik der in den einzelnen Aufbauten verwendeten Materialien ist es aber kaum möglich, vollkommen identische bauphysikalische Kenngrößen in allen Kategorien zu erreichen. Daher wird neben dem ökologischen auch das bauphysikalische Datenprofil (Tabelle 0-6) des Aufbaus angeführt.

Tabelle 0-5 zeigt, dass für die Leichtbauweise pro m<sup>2</sup> Wandfläche im Vergleich zur Ziegelbauweise nur ca. 38 % und im Vergleich zur Betonbauweise nur ca. 22 % an Materialmasse benötigt werden. Der Primärenergiebedarf nicht erneuerbarer Energieträger, das Treibhauspotential und das Versauerungspotential sind beim Leichtbausystem gemäß den ausgewählten Beispielen aus dem Ökologischen Bauteilkatalog (Systemgrenze Werkstor) am günstigsten. Die endgültige Bilanz am Lebenszyklusende hängt vom erforderlichen Transport der Materialien ab Werkstor zur Baustelle, von der Lebensdauer, von den Sanierungszyklen, dem Rückbau und der gewählten Verwertung bzw. Entsorgung ab.

*Schwierige Vergleichbarkeit von ökologischen Kennwerten*

Bauphysik – Baukonstruktion	Einheit	AW02 – „Ziegel“	AW07 – „Beton“	AW11 – „Holz“
Gesamtdicke	[cm]	37	27	27
Wärmedurchgangskoeffizient	[W/m <sup>2</sup> K]	0,29	0,30	0,27
Bew. Schalldämmmaß RW	[dB]	47	56	47
Feuerwiderstandsklasse		F90	F90	F60
Kondensat / Austrocknung	[kg/m <sup>2</sup> a]	0,29/3,63	-/2,9	-/0,37
Speicherwirksame Masse innen	[kg/m <sup>2</sup> ]	85	190	24

Tabelle 0-6 Bauphysikalische Kennwerte der drei gegenübergestellten Wandaufbauten (IBO 1999). Quelle: IBO – Österreichisches Institut für Baubiologie und -ökologie

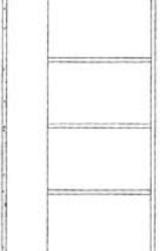
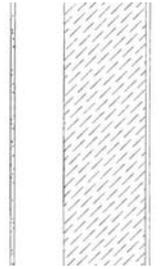
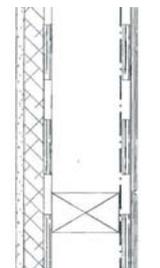
Aufbau außen – innen	Schichtaufbau von außen nach innen	Masse [kg/m <sup>2</sup> ]	PEI ne [MJ/m <sup>2</sup> ]	GWP 100 a [kg CO <sub>2</sub> -Äquiv.]	AP [g SO <sub>2</sub> -Äquiv.]
<b>AW02 Hochlochziegel Mauerwerk mit Wärmedämmverbundsystem – „Ziegel“</b>					
	1 cm Silikatputz mit Kunstharzzusatz	18,0	92,0	4,5	27,0
	Glasfaserarmierung	0,2	4,0	0,2	1,0
	10 cm Polystyrol expandiert (EPS)	1,8	171,0	4,2	36,0
	Kunstharzkleber	10,0	40,0	3,9	15,0
	25 cm porosierter Hochlochziegel	187,5	493,0	25,2	71,0
	Leichtmörtel	12,0	30,0	3,4	11,0
	1 cm Kalkputz	12,0	18,0	2,2	3,0
	<b>37 cm Wandstärke, Summe AW02</b>	<b>241,5</b>	<b>848,0</b>	<b>43,6</b>	<b>164,0</b>
<b>AW07 Ortbetonwand mit Wärmedämmverbundsystem – „Beton“</b>					
	1 cm Silikatputz mit Kunstharzzusatz	18,0	92,0	4,5	27,0
	Glasfaserarmierung	0,2	4,0	0,2	1,0
	10 cm Polystyrol expandiert (EPS)	1,8	171,0	4,2	36,0
	Stahl, niedrig legiert (Dübel)	0,3	13,0	0,9	4,0
	Kunstharzkleber	10,0	40,0	3,9	15,0
	Armierungsstahl	12,0	156,0	9,2	44,0
	15 cm Normalbeton	356,3	278,0	47,0	163,0
	1 cm Kalkputz	12,0	180,0	2,2	3,0
	<b>27 cm Wandstärke, Summe AW07</b>	<b>410,6</b>	<b>772,0</b>	<b>72,1</b>	<b>292,0</b>
<b>AW11 Holzständerwand mit Putzfassade „Holz“</b>					
	1 cm Silikatputz mit Kunstharzzusatz	18,0	92,0	4,5	27,0
	Glasfaserarmierung	0,2	4,0	0,2	1,0
	2,5 cm Holzwole-Dämmpl., zementgeb.	14,0	57,0	1,2	24,0
	2,4 cm Schnittholz, Sparschalung	10,8	39,0	-16,7	21,0
	Schnittholz, Kantholz 8/16	12,0	56,0	-18,6	26,0
	16 cm Zellulosefasern	7,5	31,0	-1,1	19,0
	0,02 cm Polyethylen-Bahn	0,3	26,0	0,7	5,0
	2 cm Holzlattung	1,5	7,0	-2,3	3,0
	3 cm GKF-Brandschutzplatten 2-lagig	27,0	136,0	6,8	20,0
	<b>27 cm Wandstärke, Summe AW11</b>	<b>91,3</b>	<b>385,0</b>	<b>-23,6</b>	<b>133,0</b>

Tabelle 0-5 Gegenüberstellung von drei Wandaufbauten laut Ökologischem Bauteilkatalog (IBO 1999)  
Quelle: IBO – Österreichisches Institut für Baubiologie und -ökologie

## 4.4 Bauweisenvergleich – Fallstudie Wien

Anhand einer Untersuchung des Büro- und Wohnbaus der Stadt Wien (Merl 2005) wurden der im Jahr 2001 durchschnittlichen Bauweise (nachfolgend Szenario 1) zwei Szenarien unterschiedlich intensiven Einsatzes von Holzbauweisen (Szenario 2 und Szenario 3) gegenübergestellt. Die Umweltwirkungen für die drei Szenarien wurden berechnet und verglichen. Die Ergebnisse dieser „Fallstudie Wien“ beziehen sich auf die funktionelle Einheit von 1.182.339 m<sup>2</sup> Wohn- und Büronutzfläche, welche 2001 in Wien laut Statistik Austria (2003) errichtet wurden. Weitere Informationen zu den drei Szenarien gibt es im Anhang.

*Ist-Stand 2001*

**Szenario 1** zeigt den Ist-Stand des Jahres 2001 mit dem durchschnittlichen Materialmix für den Wohn- und Bürobau (siehe Tabelle 0-7), welcher 2001 tatsächlich eingebaut wurde.

*Maximal möglicher Holzeinsatz  
bis zu 5 Geschoßen*

**Szenario 2** simuliert den gemäß Bauordnung maximal möglichen Holzeinsatz im 2001 errichteten Gebäudebestand. Alle Gebäude mit bis zu fünf Geschoßen werden in Holzbauweisen konstruiert, Gebäude mit mehr als fünf Geschoßen bleiben gegenüber Szenario 1 unverändert. Damit werden ca. 50 % der Nutzflächen in geeigneten Holzbauweisen hergestellt, Beton- und Ziegelbauweisen werden dementsprechend substituiert (siehe Tabelle 0-7).

*Ausschließlich Holz- und  
Holzmischbauweisen*

**Szenario 3** simuliert die Errichtung der 2001 hergestellten Büro- und Wohnfläche ausschließlich in Holz- und Holzmassivmischbauweisen in maximal fünfgeschoßigen Gebäuden unter Einhaltung der Wiener Bauordnung. Damit wird der maximal mögliche Substitutionseffekt erreicht (siehe Tabelle 0-7).

Diese Studie bildet die Basis für die nachfolgend angeführten Vergleiche. Es werden im Anschluss der Rohstoffverbrauch und die damit verbundenen Materialflüsse vergleichend diskutiert. Anschließend wird der Energieverbrauch für die einzelnen Materialien dargestellt. Die Konsequenzen aus Rohstoff- und Energieverbrauch, nämlich die Umweltwirkungen daraus, werden abschließend verglichen und diskutiert.

### 4.4.1 Rohstoffmengen, Güterflüsse, Stoffflüsse

#### 4.4.1.1 Gewinnung und Produktion

Im Fallbeispiel Wien wurden im Jahr 2001 für den Büro- und Wohnbau für Szenario 1 über 2,25 Mio. t an Baumaterialien, für Szenario 2 ca. 1,94 Mio. t und für Szenario 3 rund 1,35 Mio. t an Baumaterialien aus dem Hinterland nach Wien transportiert (Tabelle 0-7).

*Substitutionseffekte durch  
verstärkten Einsatz von Holz*

Abbildung 0-3 visualisiert die unterschiedlichen Materialflüsse der Szenarien 1 und 3 und zeigt die Substitutionseffekte durch den verstärkten Einsatz von Holzleichtbauweisen, welche unterschiedliche Umweltwirkungen nach sich ziehen. Verbunden mit diesen Materialimporten aus dem Hinterland ist ein Ressourcenverbrauch für die Gewinnung der Rohstoffe und die Produktion der Baumaterialien. Diese Materialmengen müssen über bestimmte Strecken zu den Baustellen transportiert werden. Durch die Verwendung von

Material	Szenario 1 [t]	Anteil [%]	Szenario 2 [t]	Anteil [%]	Szenario 3 [t]	Anteil [%]
Holz u. Holzwerkstoffe	25.827	1,14	89.748	4,62	178.406	13,19
Beton, Estrich	1.855.991	82,24	1.543.804	79,50	899.316	66,48
Stahl	53.481	2,37	44.824	2,31	27.859	2,06
Ziegel	90.601	4,01	40.064	2,06	13.311	0,98
Sonstige mineralisch	213.913	9,48	202.065	10,41	206.621	15,28
Dämm- u. Kunststoffe	9.467	0,42	13.833	0,71	19.717	1,46
Verpackungen etc.	7.440	0,33	7.440	0,38	7.440	0,55
<b>Summe</b>	<b>2.256.719</b>	<b>100,0</b>	<b>1.941.778</b>	<b>100,0</b>	<b>1.352.671</b>	<b>100,0</b>

Tabelle 0-7 Baumaterialmengen für die drei Szenarien in die wichtigsten Materialgruppen zusammengefasst.

Holzleichtbauweisen verringert sich die zu transportierende und einzubauende Masse um über 300.000 t (Szenario 2) bzw. rund 900.000 t (Szenario 3) im betrachteten Jahr. Die Nutzung regionaler Potentiale und die damit verbundene Transportminimierung können einen weiteren Beitrag zur Senkung von Umweltbelastungen leisten. Bei Entscheidungen über den Rohstoffeinsatz ist daher die Kenntnis der regionalen Situation (Rohstoffverfügbarkeit, Infrastruktur etc.) von Bedeutung.

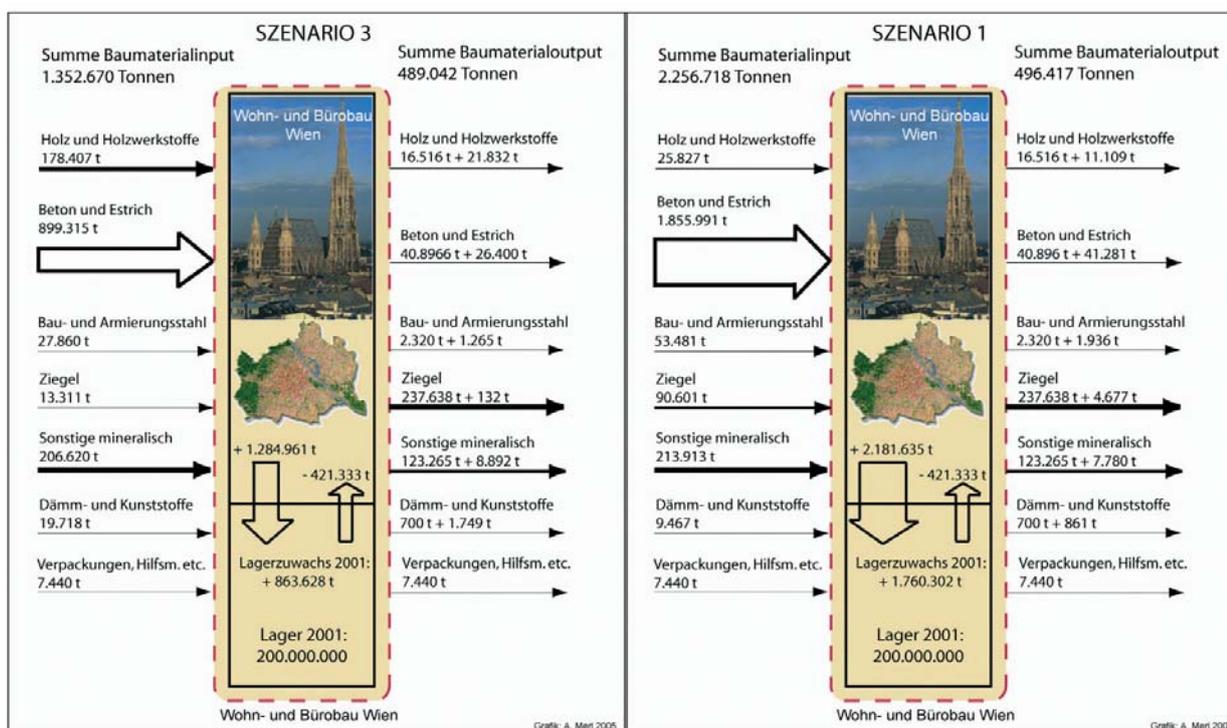


Abbildung 0-3 Grafische Gegenüberstellung der Szenarien 1 und 3 (Merl 2005)

Bei der Analyse des regionalen Ressourcenpotentials für die Stadt Wien wurde ermittelt, dass die Wälder in den Bundesländern Niederösterreich und Steiermark für die Abdeckung des zusätzlichen Holzbedarfs genügend

Potential haben. Bei nachwachsenden Rohstoffen sind die natürlichen Grenzen der Materialverfügbarkeit durch die zur Verfügung stehende Anbaufläche gesetzt. Durch die zunehmende Bedeutung der Energieproduktion aus Holz, die Bedürfnisse der Papierindustrie sowie Import- und Exportaktivitäten ist ein zukünftiges Rohstoffmanagement für Holz und Holzprodukte über alle möglichen Nutzungskaskaden erforderlich.

#### **Schlussfolgerungen für den Leichtbau:**

- Um die Ziele der Nachhaltigkeit zu erreichen, ist die Ausschöpfung des regenerierbaren Rohstoffpotentials von Bedeutung. Holz als einer der mengenmäßig wichtigsten nachwachsenden Rohstoffe spielt bei der Umsetzung von Nachhaltigkeit eine wichtige Rolle.
- Verstärkter Einsatz von Leichtbauweisen reduziert die Massenflüsse an Baumaterialien und damit die ökologischen Rucksäcke.
- Die Berücksichtigung regionaler Potentiale ist wichtig.

#### 4.4.1.2 Errichtung und Nutzung

Im Zuge des Errichtungsprozesses wird der Großteil der angelieferten Baumaterialien verbaut (städtisches Gebäudelager – Rohstofflager) und ein kleiner Teil fällt in Form von Verlust, Verschnitt etc. als Abfall auf der Baustelle an. Holzabfälle können zur Energiegewinnung in Biomassekraftwerken verwendet werden.

Der Anteil von Holz und Holzprodukten ist bei Szenario 1 mit ca. 1,14 % gering. Für Szenario 2 erhöht sich der Anteil auf knapp über 4,6 % und für Szenario 3 beträgt der Massenanteil von Holzprodukten knapp 13,2 %. Der Einsatz von Sekundärressourcen (Recyclingmaterial) zur Einsparung von Primärressourcen (Rohmaterialien) ist im gängigen Wohn- und Bürobau kaum ausgeprägt. Leichtbauweisen im Zusammenhang mit (lokalen) Sekundärressourcenmanagementsystemen könnten dazu zukünftig einen wichtigen Beitrag leisten.

Die Gebäude der Stadt Wien bilden ein bedeutendes Rohstofflager. 2001 waren im Wohn- und Bürobau insgesamt ca. 200 Mio. t an Baumaterialien eingebaut. Das entspricht in etwa der 100-fachen Menge der jährlich in den Wohn- und Bürobau fließenden Baumaterialien. Für alle drei Szenarien ergibt sich ein Wachstum des Rohstofflagers, da der jährliche Output nur ca. ein Viertel bis ein Fünftel des jährlichen Inputs beträgt. In den nächsten hundert Jahren errechnet sich für Szenario 1 nahezu eine Verdoppelung des Lagers in Gewichtseinheiten, bei Szenario 2 wächst das Lager um ca. 70 % und bei Szenario 3 ergibt sich ein Lagerwachstum von knapp 50 %, jeweils verglichen mit dem Bestand von 2001 (siehe Abbildung 0-4).

Die in das Lager eingebauten Materialien verbleiben über einen langen Zeitraum in den Bauwerken und gelangen danach wieder in das Sekundärressourcenmanagement. Je einfacher sortenrein trennbar die Konstruktionen heute gestaltet werden, desto effizienter wird eine zukünftige Nutzung dieses Ressourcenpotentials und damit verbundene Primärressourcenschonung

*Berücksichtigung regionaler  
Ressourcen*

*Rohstoffmanagement für Holz und  
Holzprodukte erforderlich*

möglich sein. Dementsprechende strategische Initiativen hinsichtlich Planung und erforderlicher Infrastruktur zur späteren Nutzung müssen daher gestartet werden, um einen Beitrag zu erhöhter Ressourceneffizienz leisten zu können. Bei Leichtbauweisen ist eine entsprechende Umsetzung wirtschaftlich und ökologisch effizient umsetzbar.

*Leichtbauweisen dienen der  
Einsparung von Primärressourcen*

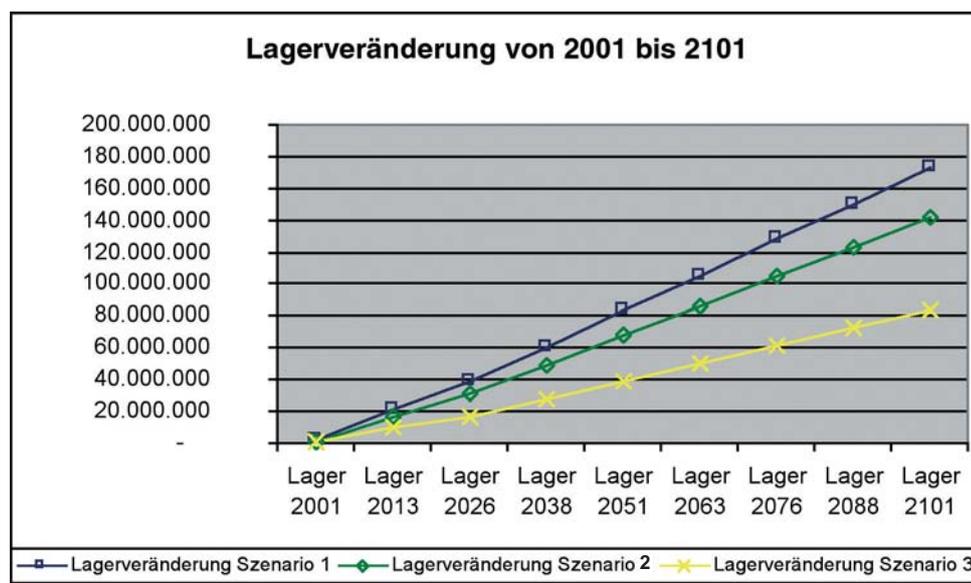


Abbildung 0-4 Lagerveränderung des Wiener Büro- und Wohnbaus von 2001 bis 2101, berechnet über alle im System betrachteten Materialien

Das Holzlager (Abbildung 0-5) in den Tragwerken Wiens kann mit 3,5 Mio. t abgeschätzt werden, wobei dieses Holz meist unbehandelt ist, in großen Querschnitten zur Verfügung steht und somit ein hohes stoffliches, aber auch energetisches Verwertungspotential darstellt. In den Ausbaubereichen (Fenster und Türen, Bodenbeläge, Vertäfelungen etc.) befinden sich weitere 0,8 Mio. t an meist behandeltem Holz.

*CO<sub>2</sub>-Äquivalent des in Wiener  
Bauwerken gespeicherten Holzes  
entspricht der 7-fachen Menge der  
jährlich hier erzeugten Fernwärme.*

An die gespeicherte Holzmenge gekoppelt sind die Menge an gespeicherten CO<sub>2</sub>-Äquivalenten und der Energieinhalt. Die 8 Mio. t gespeicherten CO<sub>2</sub>-Äquivalente entsprechen ca. einer Jahresemission der Stadt Wien, welche ca. 9 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalente beträgt. Mit dem gespeicherten Holz könnte mehr als die siebenfache Menge an jährlich in Wien erzeugter Fernwärme (laut MA 66 2002 3,25 Mio. MWh) produziert werden (83.211 TJ, das entspricht ca. 23,1 Mio. MWh). Die Entwicklung des Holzlagers wird anhand der gespeicherten CO<sub>2</sub>-Äquivalente für die nächsten 100 Jahre in Abbildung 0-6 für die drei Szenarien gezeigt.

Szenario 1 zeigt einen langsamen Abbau des im 19. und 20. Jahrhundert aufgebauten Kohlenstofflagers. Die damit verbundenen CO<sub>2</sub>-Emissionen hängen von der Art der Verwertung ab. Energetische Verwertung des Altholzes bewirkt die Substitution fossiler Energieträger, damit ersetzt temporär gespeicherter klimaneutraler Kohlenstoff fossile CO<sub>2</sub>-Emissionen. Die Szenarien 2 und 3 würden einen Zuwachs der gespeicherten CO<sub>2</sub>-Äquivalente bedeuten. Bei Szenario 2

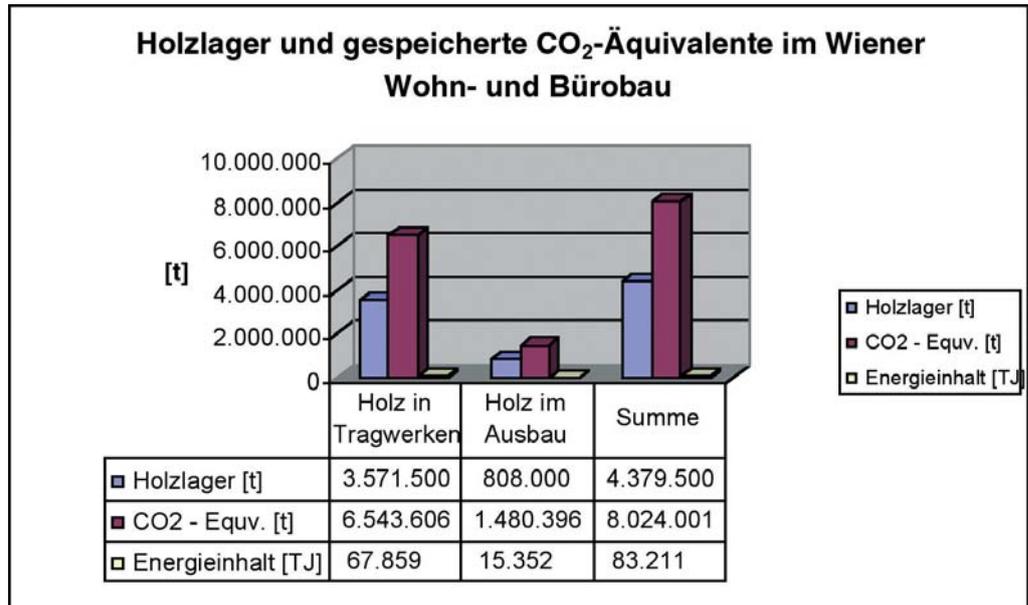


Abbildung 0-5 Gespeichertes Holz im Wiener Wohn- und Bürobau sowie die darin enthaltenen CO<sub>2</sub>-Äquivalente und der Energieinhalt

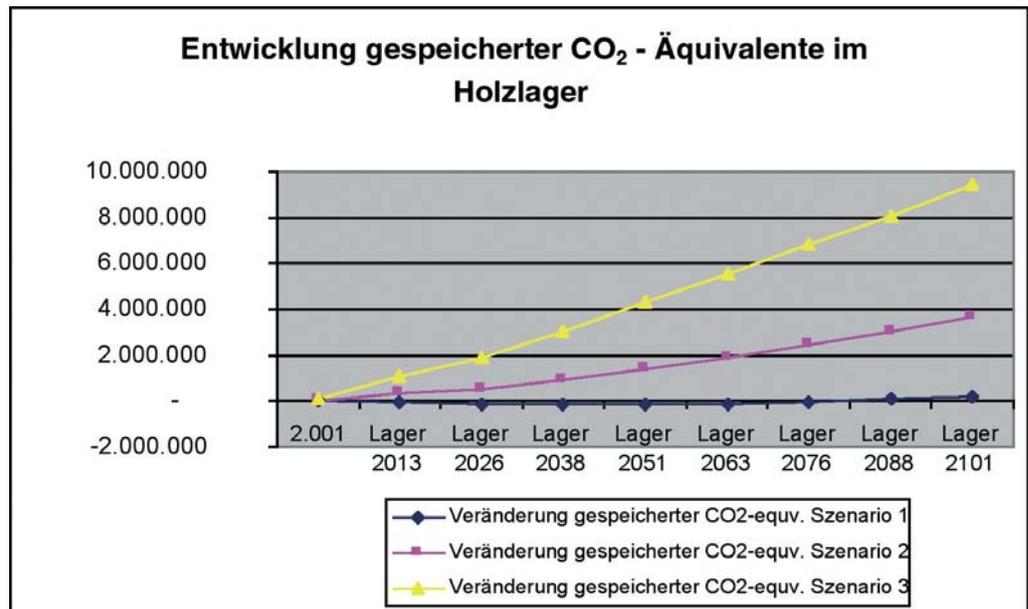


Abbildung 0-6 Veränderung der gespeicherten CO<sub>2</sub>-Äquivalente im Holzlager der Tragwerke im Wiener Büro- und Wohnbau

werden in 100 Jahren zusätzlich ca. 3,7 Mio. t an CO<sub>2</sub>-Äquivalenten in den Bauwerken gebunden, bei Szenario 3 über 9,4 Mio. t an CO<sub>2</sub>. Das bedeutet, dass zusätzlich zum Substitutionseffekt von CO<sub>2</sub>-Äquivalenten bei Holzbauweisen gegenüber Massivbauweisen auch ein Speichereffekt auftritt. Dieser Effekt beträgt bei Szenario 2 pro Jahr ca. 37.000 t an CO<sub>2</sub>-Äquivalenten (0,4 % Abschwächung des Treibhauseffekts für Wien) und bei Szenario 3 knapp 100.000 t an CO<sub>2</sub>-Äquivalenten (knapp 1 % Reduktion des Treibhauseffekts für Wien). Das bedeutet, dass wachsende Holzlager im Gebäudebestand eine temporäre

Abfederung des Treibhauseffekts bewirken, da über den Nutzungszeitraum des Gebäudes die für die Holzernte erforderlichen Waldflächen wieder Holz bilden, wodurch sich der Gesamtspeichereffekt in Wald und Gebäudebestand erhöht. Schließlich kann dieses Holz bei energetischer Verwertung die Emission treibhauswirksamen fossilen Kohlenstoffs, welcher vor ca. 400 Millionen Jahren gebunden wurde, vermeiden. Die Umweltwirkungen für den Betrieb von Gebäuden, welche beispielsweise von der thermischen Qualität der Gebäudehülle, der verwendeten Haustechnik, der verwendeten Energieträger, dem Reinigungsaufwand und dem Wartungs- bzw. Erneuerungsaufwand abhängen, sind bei sorgfältiger Planung und qualitativ hochwertiger Ausführung für alle drei Szenarien identisch und werden in diesem Kapitel nicht angeschnitten. Diese sind im Kapitel Wärmeschutz inkludiert.

#### Schlussfolgerungen für den Leichtbau:

- Sorgfältige Planung und Qualität in der Ausführung sind besonders wichtig für einen weitgehend wartungsarmen Betrieb (Instandhaltung).
- Bereits in der Planung muss die spätere Nutzung von Sekundärressourcen (stofflich oder energetisch) bedacht werden, Leichtbauweisen haben dafür ein hohes Potential.
- Verstärkter Einsatz von Holzleichtbauweisen erhöht den Kohlenstoffspeicher im Gebäudebestand. Dadurch und mittels späterer Substitution fossiler Energieträger kann der Treibhauseffekt reduziert werden.

#### 4.4.1.3 Geordneter Rückbau – Abbruch

Bei der Analyse des Abfallaufkommens zeigt sich für die Szenarien verstärkter Anwendung von Holzbauweisen eine Reduzierung des Abfallaufkommens. Zudem weisen die Abfälle aus diesen ein hohes stoffliches und energetisches Verwertungspotential auf, die Verwertungseffizienz kann durch die Entwicklung verwertungsgerechter Bauweisen weiter erhöht werden. Die Materialwahl von „heute“ beeinflusst die Abfälle von „morgen“, daher ist bereits im Planungsprozess dafür zu sorgen, Materialien so einzubauen, dass diese am Lebenszyklusende leicht verfügbar sind und optimal stofflich wiederverwendet („Design für Recycling“) oder energetisch genutzt („Design für Energie“) werden können. In diesem Zusammenhang weisen leichte Bauweisen einen Vorteil auf, da sie leichter manipuliert und im Idealfall demontiert sowie als komplettes Bauteil hochwertig wiederverwendet werden können.

*Materialwahl von heute beeinflusst  
Abfälle von morgen.*

Bei Holz steht ganz zum Schluss die energetische Verwertung und die daraus entstehenden Effekte der Substitution fossiler Energieträger. Leichtbauweisen haben somit ein hohes Potential zur Einsparung materieller und energetischer Ressourcen. Besonders bei der immer kürzer werdenden Lebenszyklusdauer von Gebäuden wird das in Zukunft noch wichtiger werden. Ein Vergleich des Verbrauchs an Deponievolumen (Abbildung 0-8) zeigt Vorteile für Holzleichtbauweisen.

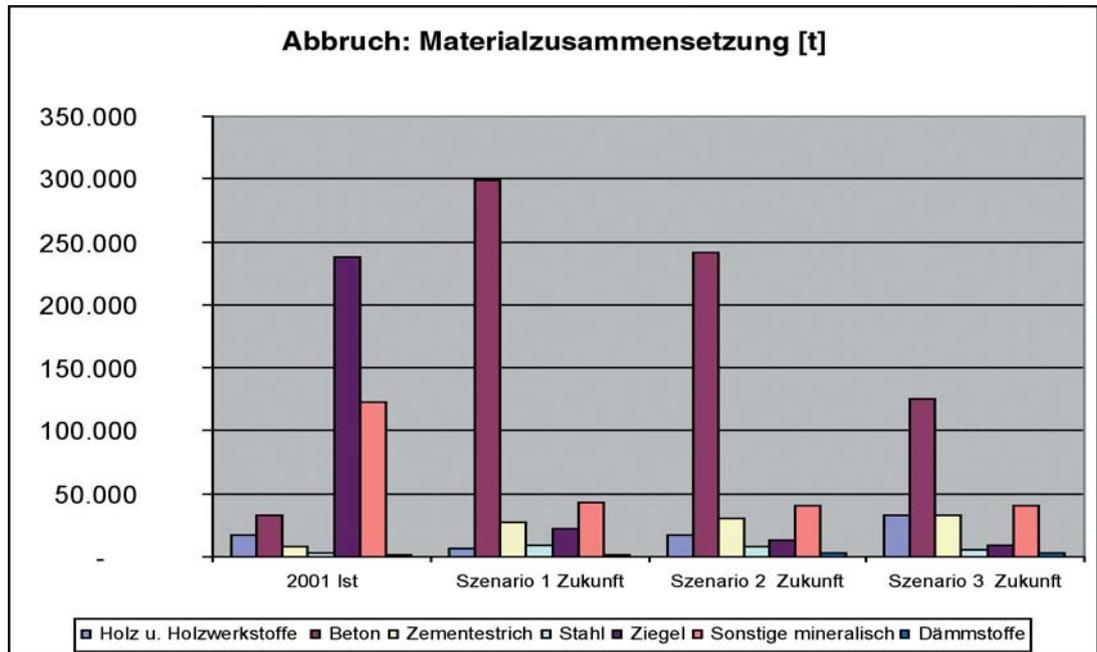


Abbildung 0-7 Materialzusammensetzung der Baurestmassen aus dem Abbruch 2001 im Vergleich zur abgeschätzten zukünftigen Zusammensetzung für die drei Szenarien

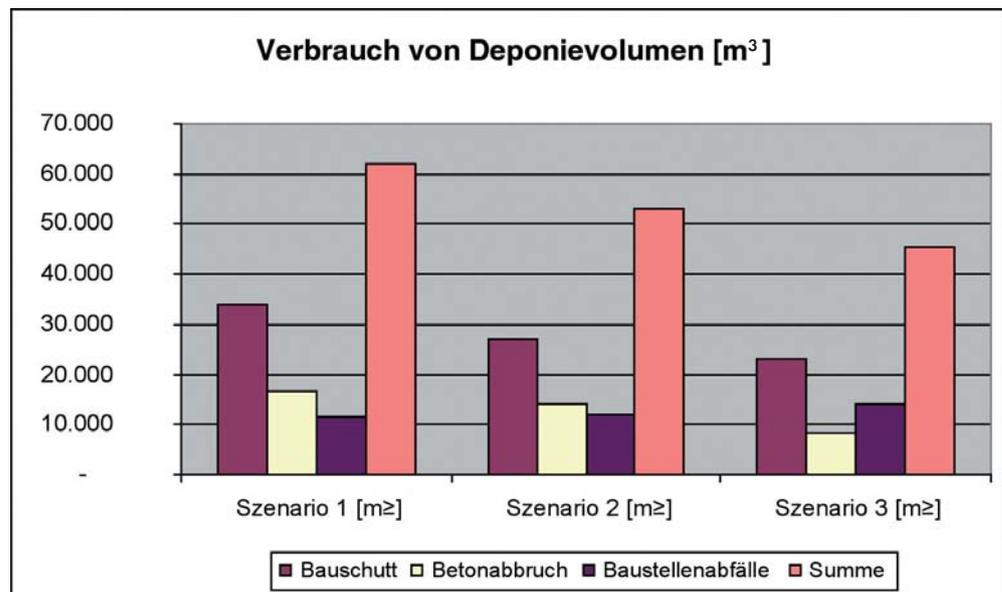


Abbildung 0-8 Zukünftiger Bedarf an Deponievolumen der drei Szenarien

Der Deponieraumbedarf beträgt für Szenario 1 über 62.000 m<sup>3</sup>, für Szenario 2 knapp 53.000 m<sup>3</sup> (Reduktion von ca. 15 % gegenüber Szenario 1) und für Szenario 3 ca. 45.500 m<sup>3</sup> (Reduktion um ca. 27 % gegenüber Szenario 1). Die Reduktion wird vor allem im Bereich des Bauschutts und des Betonabbruchs erreicht, bei den Baustellenabfällen fallen bei Szenario 2 und 3 hingegen höhere zu deponierende Mengen an. Die Realisierung zusätzlicher Recyclingpotentiale könnte in allen Szenarien den Deponieraumbedarf mittels verwertungsorientierter Planung weiter senken.

**Schlussfolgerungen für den Leichtbau:**

- Verstärkter Einsatz von Leichtbauweisen reduziert das Abfallaufkommen und schont damit Deponievolumen.
- Optimale Verwertung erfordert die Möglichkeit zerstörungsfreier sortenreiner Trennung sowie die Vermeidung von problematischen Stoffen. Der Leichtbau kann mittels geeigneter Tragwerks- und Materialwahl diese Voraussetzungen erfüllen.
- Holzbauweisen haben am Lebenszyklusende ein hohes Verwertungspotential, mittels verwertungsorientierter Planung ist hochwertige Wiederverwendung möglich. Dadurch werden Ressourceneffizienz und Wertschöpfung pro Rohstoffeinheit erhöht.

**4.4.2 Energie**

Zur Bestimmung des Energiebedarfs über den gesamten Lebenszyklus eines Produkts oder einer Dienstleistung stehen verschiedene Methoden zur Verfügung, die sich hauptsächlich in der Ziehung der Systemgrenzen unterscheiden. Dabei werden der direkte und der indirekte („graue“) Energieverbrauch berücksichtigt (Frischknecht & Jungbluth 2004). Für die Fallstudie Wien wurde die Methode des Kumulierten Energieaufwandes (KEA) [VDI, 1997] herangezogen. Beim KEA werden alle Primärenergieaufwendungen, die im Zusammenhang mit der Herstellung (KEAH), Nutzung (KEAN) und Entsorgung (KEAE) eines Produktes stehen, erfasst. D. h., beim KEA werden neben den energetisch genutzten Energieressourcen auch die stofflich genutzten Energieressourcen (z. B. Erdöl für Plastik, Holz – Photosynthese) mit dem dazugehörigen oberen Heizwert berücksichtigt (Frischknecht & Jungbluth 2004). Der KEA ist somit keine Umweltwirkungsgröße, sondern eine Stoffgröße, welche erst einer Bewertung unterzogen werden muss. Die Auswirkungen der damit verbundenen stofflichen In- und Outputs aufgrund der Art der Energieerzeugung werden in einer Ökobilanz bei der Ermittlung der Umweltwirkungen berücksichtigt.

*Berücksichtigung des direkten und indirekten Energieverbrauchs*

**4.4.2.1 Kumulierter Energieaufwand erneuerbar**

Die bedeutendsten Prozesse sind bei allen Szenarien die Produktion (der Prozess Produktion inkludiert bei allen Beispielen auch die gesamte Vorkette der Rohstoffgewinnung) und die Kraft-Wärme-Kopplung im Zuge der thermischen Verwertung des Abbruchholzes. Einen kleinen Anteil hat noch der Stromanteil aus dem Errichtungsprozess aufgrund des in Österreich hohen Anteils an Wasserkraft. Die in der Kraft-Wärme-Kopplung eingesetzte Energie aus der thermischen Verwertung des Bau- und Abbruchholzes wird in der Modellrechnung zur Gewinnung von Fernwärme verwendet, wobei Erdöl substituiert wird. In Szenario 1 werden ca. 88,2 GWh, in Szenario 2 rund 99,3 GWh und in Szenario 3 ca. 119 GWh an Fernwärme und Strom erzeugt. Dadurch wird, wie in Abbildung 0-9 durch die in den negativen Bereich gehenden Balken angezeigt, fossile Energie substituiert. Das heißt, Emissionen aus der Verbrennung von Erdöl in einer modernen Kraft-Wärme-Kopplung werden durch Emissionen aus der Verbrennung von Holz in einer modernen Kraft-Wärme-Kopplung ersetzt.

*Kraft-Wärme-Kopplung bei thermischer Verwertung von Altholz*

4.4.2.2 Kumulierter Energieaufwand nicht erneuerbar

Der kumulierte Energieaufwand nicht erneuerbarer Energieträger ist bei allen Szenarien deutlich höher als der kumulierte Energieaufwand erneuerbarer Energieträger, die Verteilung ist aber spiegelverkehrt zu KEA erneuerbar. Szenario 1 weist den höchsten und Szenario 3 den geringsten Wert für KEA nicht erneuerbar auf, wie in Abbildung 0-10, bezogen auf 1 m<sup>2</sup> Wohnnutzfläche, grafisch dargestellt wird.

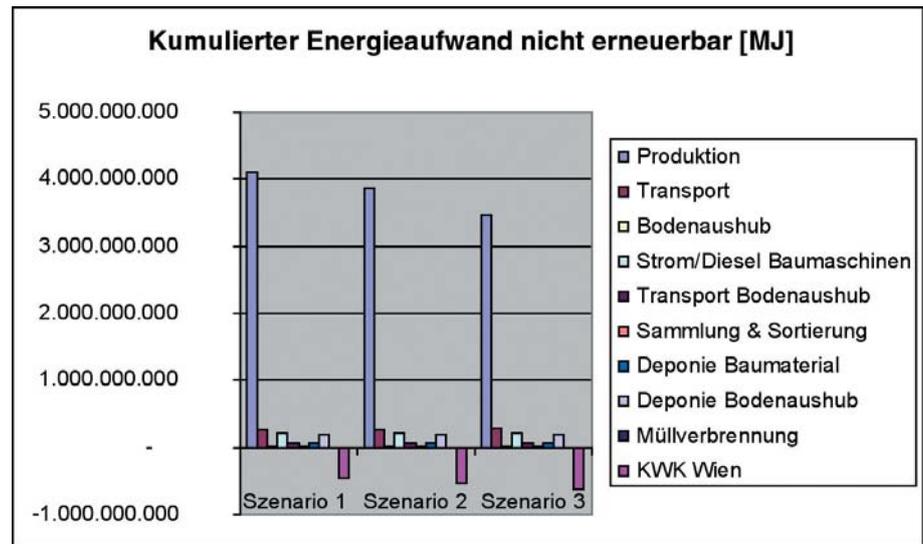


Abbildung 0-9 Darstellung des nicht erneuerbaren kumulierten Energieaufwands für die einzelnen Prozesse der drei Szenarien der Fallstudie Wien

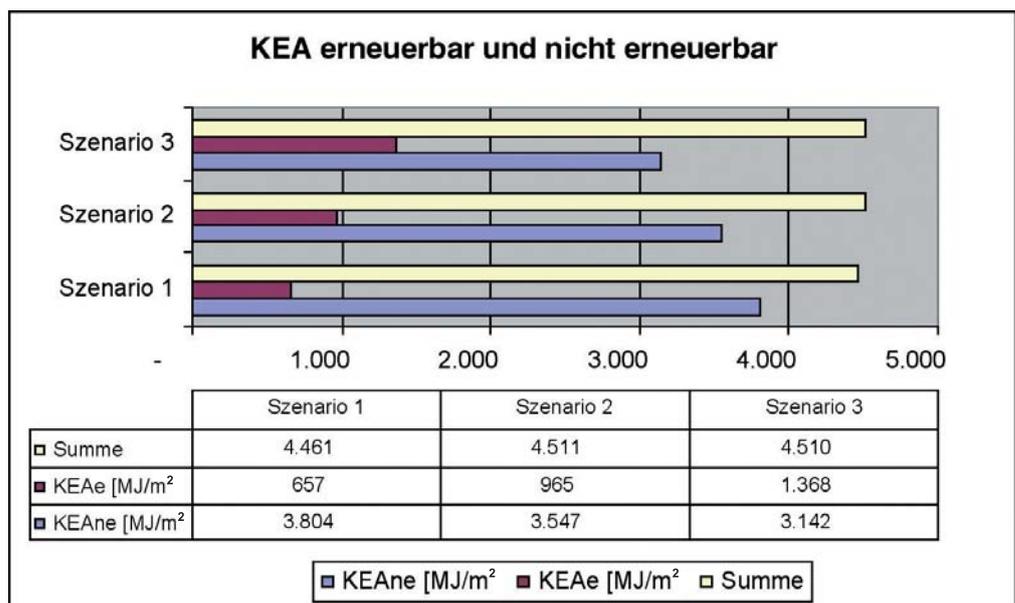


Abbildung 0-10 Vergleich des erneuerbaren und nicht erneuerbaren kumulierten Energieaufwands und Summendarstellung, bezogen auf einen Quadratmeter Nutzfläche

Die Summe des kumulierten Energieaufwands ist für alle drei Szenarien ähnlich (4.461 MJ/m<sup>2</sup> für Szenario 1, rund 4.510 MJ/m<sup>2</sup> für die Szenarien 2 und 3). Allerdings ist die Zusammensetzung unterschiedlich. Szenario 1 hat einen Anteil von ca. 15 % erneuerbarer Energie und 85 % nicht erneuerbarer. Szenario 2 hat einen Anteil von über 21 % erneuerbarer Energie und 79 % nicht erneuerbarer. Szenario 3 hat einen Anteil von über 30 % erneuerbarer Energie und knapp 70 % nicht erneuerbarer. Die Forcierung von Holzbauweisen kann, wie diese Zahlen zeigen, den Anteil erneuerbarer Energieträger wesentlich erhöhen. Dadurch werden die Umweltwirkungen positiv im Sinne von geringerer Umweltbelastung beeinflusst und nicht erneuerbare Ressourcen geschont. Die Erhöhung der erneuerbaren Energieträger ist somit ein wichtiger Schritt in Richtung Nachhaltigkeit im Bauwesen.

*mit Holzbauweisen  
Anteil erneuerbarer  
Energie steigern*

Im Schnitt beträgt der kumulierte Energieaufwand für die Errichtung ca. 4.500 MJ/m<sup>2</sup> Wohnnutzfläche, das sind ca. 1.250 kWh/m<sup>2</sup>. Setzt man das jetzt in Relation zum Nutzungsaufwand, welcher im gut gedämmten Standardwohnbau 2001 mit ca. 50 kWh/m<sup>2</sup> Nutzfläche angesetzt werden kann, dann zeigt sich, dass in ca. 25 Jahren der Nutzungsaufwand gleich dem Herstellungsaufwand ist. Wird der Passivhausstandard herangezogen, so wäre dieser Zeitpunkt, ungeachtet des Mehraufwands in der Produktion für Wärmedämmungen, erst in mehr als ca. 85 Jahren erreicht. Das heißt, dass der Energieaufwand für die Herstellung in der gleichen Größenordnung wie der Energieaufwand für die Nutzung liegt und daher bei der zukünftigen Realisierung von energetischen Einsparungspotentialen von Bedeutung ist.

#### **Schlussfolgerungen für den Leichtbau:**

- Durch die Forcierung von Holzbauweisen wird der Anteil erneuerbarer Energie im Gesamtsystem erhöht.
- Die energetische Verwertung von Abbruchholz kann fossile Energieträger substituieren und damit den Treibhauseffekt reduzieren.
- Im Passivhausbau kann eine weitere Optimierung nur mehr über Einsparungen in Produktion, Wiederverwendung, thermischer Verwertung und in der Entsorgung erzielt werden.

### **4.4.3 Ausgewählte Umweltwirkungen am Beispiel der Fallstudie Wien**

Die Verwendung von Ressourcen energetischer und stofflicher Natur verursacht Güter- bzw. Stoffflüsse. Jeder dieser Stoffflüsse verursacht Umweltwirkungen. Nachfolgend wird der Einfluss der verstärkten Anwendung von Holzleichtbauweisen im Vergleich zu den gängigen Bauweisen des Jahres 2001 in der Stadt Wien auf diese Umweltwirkungen dargestellt.

*Umweltwirkungen  
verschiedener Stoffflüsse*

#### **4.4.3.1 Treibhauspotential**

In der umweltpolitischen Diskussion wird dem Treibhauseffekt besondere Beachtung gezollt. Holz weist in diesem Zusammenhang mehrere Vorteile auf. Bei der Holzbildung wird durch den Prozess der Photosynthese unter

*Holz als temporärer CO<sub>2</sub>-Speicher*

Nutzung der natürlichen Sonnenenergie CO<sub>2</sub> der Atmosphäre entzogen. So wird der Kohlenstoff über den Zeitraum des Wachstums und bei weiterer Verwendung als Bauprodukt über die gesamte Nutzungsperiode temporär im Holz gespeichert. Gleichzeitig werden durch die Substitution von Baumaterialien, welche unter Einsatz fossiler Energieträger produziert werden oder prozessbedingte CO<sub>2</sub>-Emissionen hervorrufen, weitere treibhauswirksame Emissionen dauerhaft vermieden. Wird Holz nach der letzten stofflichen Nutzung energetisch verwertet, so entweicht der temporär gespeicherte Kohlenstoff in Form von CO<sub>2</sub>, zugleich können fossile Energieträger und damit verbundener Ausstoß fossil gebundenen Kohlenstoffs substituiert werden. Voraussetzung dafür ist ein regional mittels kurzer Transportwege erreichbares Kraft-Wärme-Kopplungskraftwerk, welches für Altholz geeignet ist und einen hohen Wirkungsgrad aufweist. Diese Annahme wurde für die Fallstudie Wien getroffen. Wie Abbildung 0-11 zeigt, ist der Prozess Produktion mit über 80 % Anteil der bedeutendste Prozess.

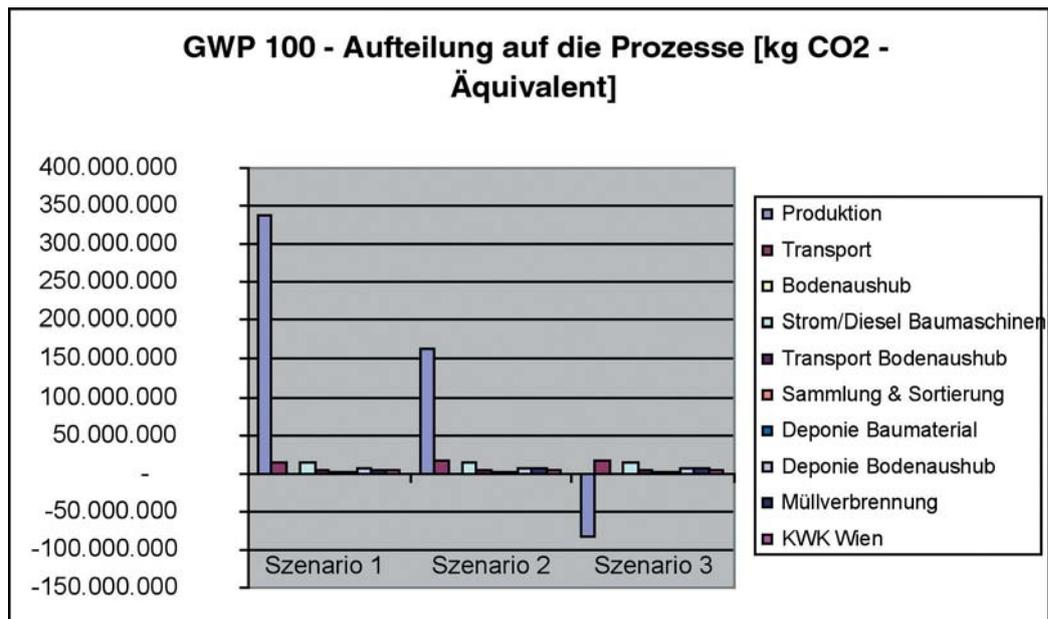


Abbildung 0-11 Darstellung des Treibhauseffekts der einzelnen Prozesse für die drei Szenarien

*Anteil von Transport und Errichtung verursachen nur 10 % der Emissionen*

Transporte und Errichtung haben insgesamt einen Anteil von etwa 10 %, die verschiedenen Entsorgungs- und Verwertungsschienen verursachen die restlichen Emissionen. Zum Transport ist anzumerken, dass für alle Szenarien und alle Materialien die Annahme getroffen wurde, dass die Anlieferung vom jeweils Wien am nächsten gelegenen Produktionsstandort erfolgt. Steigerungen um den Faktor 10 sind in der Praxis möglich, womit der Anteil des Transports in die Größenordnung der Produktion rücken würde. Mit knapp 400.000 t an CO<sub>2</sub>-Emissionen in Szenario 1 hat der Büro- und Wohnbau einen Anteil von knapp 5 % an den Gesamtemissionen an CO<sub>2</sub>-

Äquivalenten in Wien (9 Mio. t). Im Vergleich zu Szenario 1 werden im Szenario 2 ca. 221.000 t an CO<sub>2</sub>-Äquivalenten emittiert (Reduktion um knapp 180.000 t) und bei Szenario 3, wo durch die Speicherung im Holz des stark wachsenden Gebäudelagers die Bilanz negativ ausfällt, werden um ca. 410.000 t an CO<sub>2</sub>-Äquivalenten weniger emittiert. Die Differenz ist eine Folge der Speicherung von CO<sub>2</sub> im Produkt, der Substitution von Zement, Ziegel und Stahl in der Produktion und die Substituierung fossiler Energieträger am Lebenszyklusende. Das Klimaschutzprogramm der Stadt Wien strebt eine Reduktion der treibhauswirksamen Emissionen um 2 Mio. t pro Jahr an. Mit Szenario 2 könnte dazu ein Beitrag von knapp 10 % und mit Szenario 3 ein Beitrag von ca. 20 % geleistet werden. Holzbauweisen können demnach zur Verbesserung der Treibhausbilanz nennenswert beitragen.

Die grafische Darstellung des Prozesses Produktion (Abbildung 0-12) für die drei Szenarien zeigt die Verteilung der Treibgasemissionen auf die einzelnen Baumaterialgruppen. Forcierter Holzeinsatz speichert CO<sub>2</sub>-Äquivalente über die Lebensdauer im Holz, gleichzeitig werden durch die Substitution von Massivbauweisen fossile CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Produktion der anderen Materialgruppen vermieden.

Die Art der Verwertung bzw. Entsorgung ist für die Treibhausbilanz bei Holzprodukten von entscheidender Bedeutung. Für den Klimaschutz ist daher eine effiziente energetische Verwertung am Ende der Produktlebenskette wesentlich.

*Art der Verwertung bzw. Entsorgung für Treibhausbilanz von entscheidender Bedeutung*

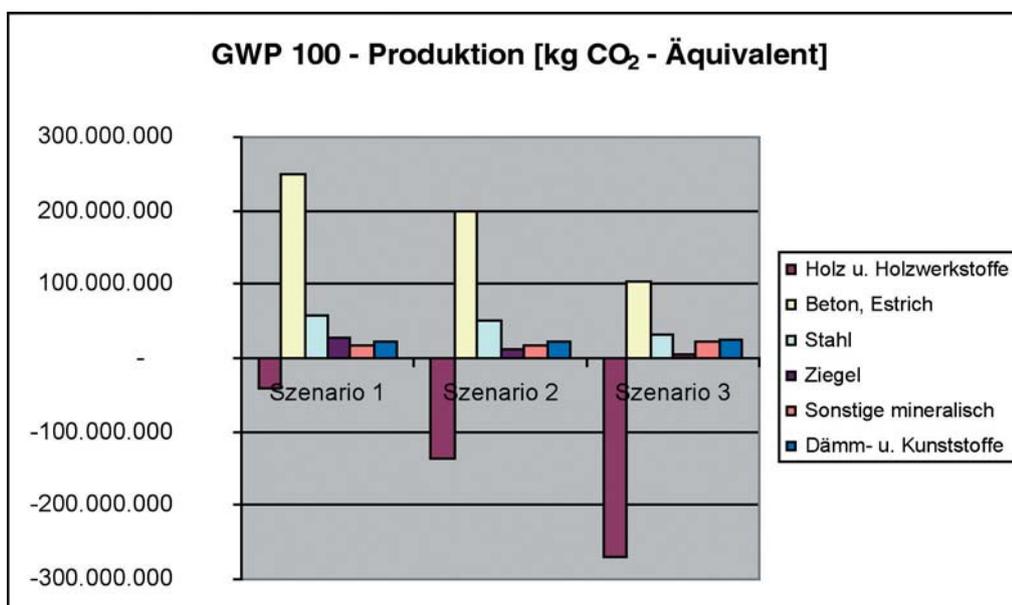


Abbildung 0-12 Beitrag des Prozesses Produktion zum Treibhauspotential für die drei Szenarien

*Die betrachteten Materialien in allen Szenarien sind keine bedeutenden Emissionsquellen beim ODP*

**4.4.3.2 Stratosphärisches Ozonabbaupotential**

Der Wohn- und Bürobau ist seit dem Verbot von stratosphärisches Ozon abbauenden Substanzen in den Treibmitteln von Dämmstoffen in allen untersuchten Szenarien keine bedeutende Quelle mehr. Szenario 1 bewirkt insgesamt die Emission von rund 76 kg R11-Äquivalenten, Szenario 2 von 58 kg R11-Äquivalenten und Szenario 3 von rund 30 kg R11-Äquivalenten. Der verstärkte Einsatz von Holzbauweisen bringt in dieser Kategorie eine Verringerung der Umweltwirkung. Seit der weitgehenden Verbannung von Ozon abbauenden Treibmitteln in Dämmmaterialien ist das Bauwesen im Bereich des Neubaus keine bedeutende Emissionsquelle mehr.

**4.4.3.3 Photooxidantienpotential (Bildung bodennahen Ozons)**

Szenario 1 bewirkt die Emission von 300 t Ethylen-Äquivalenten, Szenario 2 von rund 228 t und Szenario 3 von knapp 132 t Ethylen-Äquivalenten. Die Produktion ist mit einem Anteil von 90–95 % die bedeutendste Quelle für die Bildung bodennahen Ozons. Der forcierte Holzeinsatz bewirkt bei dieser Umweltwirkungskategorie eine Reduktion um 24 % bei Szenario 2 bzw. um 56 % bei Szenario 3 im Vergleich zu Szenario 1. Bei der Analyse des dominierenden Prozesses Produktion tragen die einzelnen Baumaterialien wie in Abbildung 0-13 dargestellt zum Photooxidantienpotential bei.

*Bis zu 56 % weniger Potential bei Bildung bodennahen Ozons*

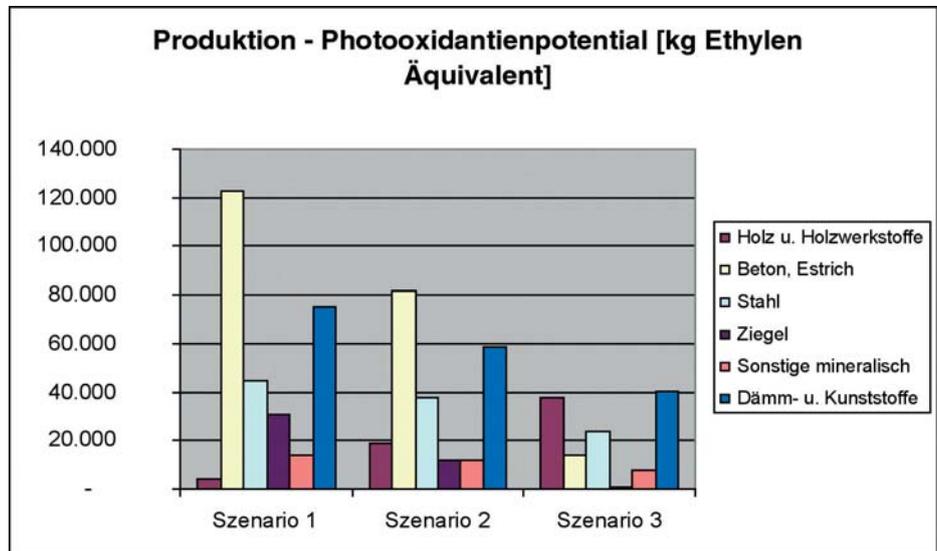


Abbildung 0-13 Darstellung des Photooxidantienpotentials, verursacht durch die einzelnen Materialgruppen des Prozesses Produktion für die drei Szenarien

**4.4.3.4 Versauerungspotential**

Das Versauerungspotential liegt bei allen Szenarien in derselben Größenordnung, Szenario1 verursacht die Emission von rund 2.074 t an SO<sub>2</sub>-Äquivalenten, Szenario 2 von ca. 2.038 t (98 % im Vergleich zu Szenario 1) und Szenario 3 verursacht knapp 1.975 t an SO<sub>2</sub>-Äquivalenzemissionen (95 % im Vergleich zu Szenario 1). Der verstärkte Einsatz von Holzbauweisen wirkt sich in dieser Umweltwirkungskategorie leicht reduzierend aus.

*Versauerungspotential in allen Szenarien ähnlich*

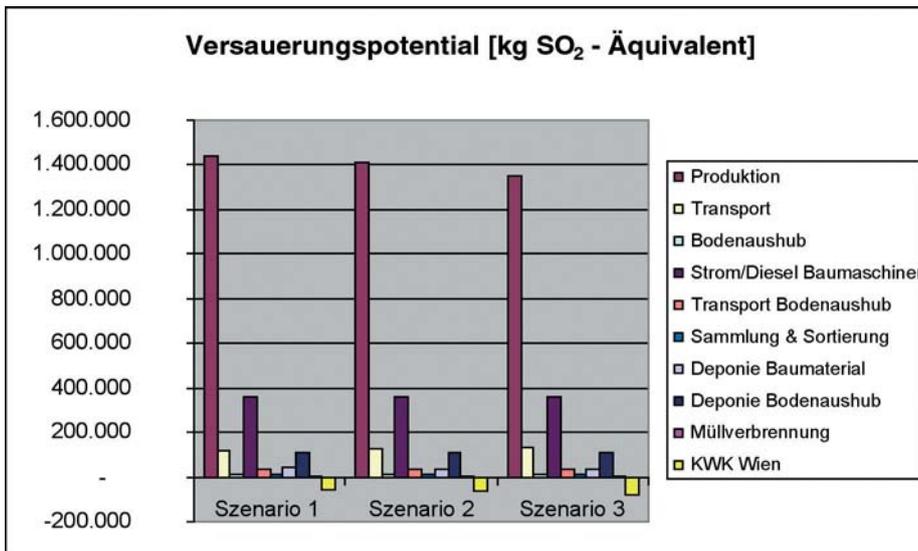


Abbildung 0-14 Beiträge der einzelnen Prozesse zum Versauerungspotential für die drei Szenarien

Der bedeutendste Prozess ist wiederum die Produktion, welche bei Szenario 1 jährlich ca. 1.444 t, bei Szenario 2 knapp 1.410 t und bei Szenario 3 rund 1.352 t beträgt. Einen weiteren nennenswerten Beitrag liefert der Strom- und Dieserverbrauch der Baumaschinen mit jeweils knapp 360 t an SO<sub>2</sub>-Äquivalenzemissionen, womit der Anteil jeweils bei rund 18 % liegt. Jeweils knapp über 5 % tragen die Transporte und die Deponierung des Bodenaushubs bei.

#### 4.4.3.5 Eutrophierungspotential

Auch bei der Eutrophierung (Überdüngung) ist der Produktionsprozess mit jeweils über 60 % Anteil an Emissionen von PO<sub>4</sub>-Äquivalenten am bedeutendsten. Etwas mehr als 20 % Anteil hat jeweils der Errichtungsprozess aufgrund des Strom- und Dieserverbrauchs und knapp 10 % Anteil haben alle

*Kaum Abweichungen bei Potential zur Überdüngung*

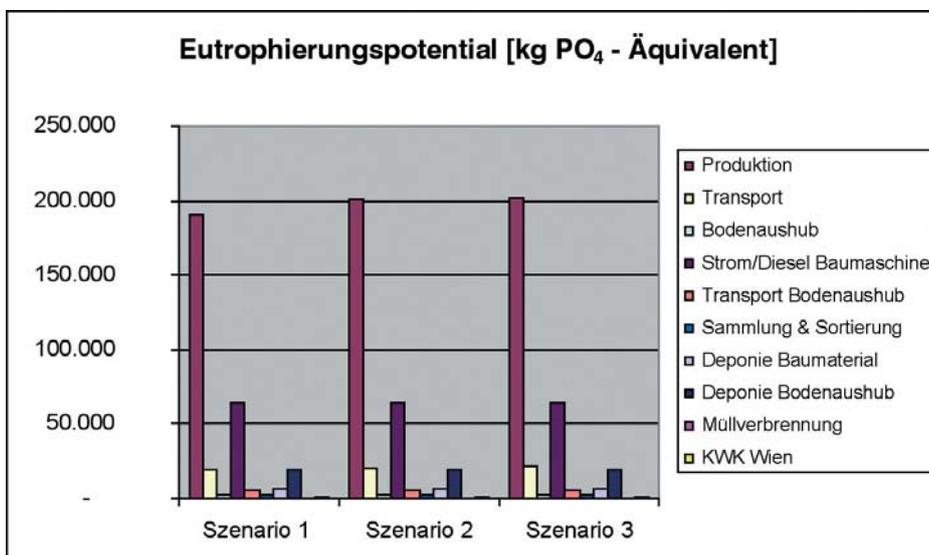


Abbildung 0-15 Anteil der einzelnen Prozesse am Eutrophierungspotential für die drei Szenarien

anteiligen Transporte. Alle Szenarien liegen in der gleichen Größenordnung, Szenario 1 liefert den geringsten Anteil mit ca. 312 t pro Jahr, Szenario 2 knapp 323 t (3,5 % mehr als Szenario 1) und Szenario 3 knapp 326 t an Emissionen von PO<sub>4</sub>-Äquivalenten (4,5 % mehr als Szenario 1).

#### **Schlussfolgerungen für den Leichtbau:**

- Holzleichtbauweisen verursachen bei den Umweltwirkungen Treibhauseffekt, stratosphärisches Ozonabbaupotential und Photooxidantienpotential geringere Effekte, beim Versauerungs- und Eutrophierungspotential liegen die Wirkungen aller Bauweisen in etwa im gleichen Bereich.
- Besonders beim Treibhauseffekt weist der Holzbau große Vorteile auf und kann über die gesamte Prozesskette durch Substitutionseffekte zur Minderung des Treibhauseffekts beitragen. Das sollte in Strategien gegen den Klimawandel berücksichtigt werden.
- Am Ende der stofflichen Verwertung von Holz muss eine energetische Verwertung mit hoher Effizienz erfolgen. Damit werden nicht erneuerbare Ressourcen geschont und es wird ein Beitrag gegen den Klimawandel geleistet.
- Transportwege müssen über die gesamte Prozesskette minimiert werden.
- Für eine Optimierung der Hochbauprozesse muss das Gesamtsystem betrachtet und es müssen die regionalen Potentiale genutzt sowie die dazu erforderliche Infrastruktur zur Verfügung gestellt werden. Damit wird auch die Wertschöpfung in der Region erhöht und Arbeitsplätze werden gesichert.

## **4.5 Recyclingfähigkeit und Leichtbauweise**

Bei den Möglichkeiten des Einsatzes von Holz als Sekundärrohstoff können folgende Möglichkeiten unterschieden werden (Abbildung 0-16)

Folgende Faktoren, die meist schon in der Planungsphase entscheidend beeinflusst werden, limitieren die Möglichkeiten der Wiederverwertung von Altholz aus dem Bauwesen:

- Abmessungen des Bauteiles.
- Zeitaufwand für den sorgfältigen, zerstörungsfreien Rückbau, Auslösbarkeit der Einzelteile und damit verbundene ökonomische Aspekte.
- Optischer Zustand (Risse, Schadstellen infolge mechanischer Einwirkungen, Perforierungen durch Holzverbindungsmitel, Verfärbungen etc.). Maydl (1995) und Brandstätter (1994) kommen bei der Untersuchung von 100 Jahre altem Fichten- und Tannenholz aus Gründerzeithäusern hinsichtlich Oberflächenbehandlungen (Beizen, Lacke) zum Ergebnis, dass es keinen gravierenden Unterschied zu Neuholz bezüglich Eindringverhalten von Flüssigkeiten gibt. Altholz ist allerdings, in unterschiedlicher Intensität, generell dunkler als Neuholz.
- Schädlingsbefall (Tiere, Pilze). Besonders der Befall von Pilzen kann durch entsprechende Maßnahmen gegen Wasserzutritt vermieden werden – kon-

*Faktoren, die schon in der Planungsphase zu beachten sind*

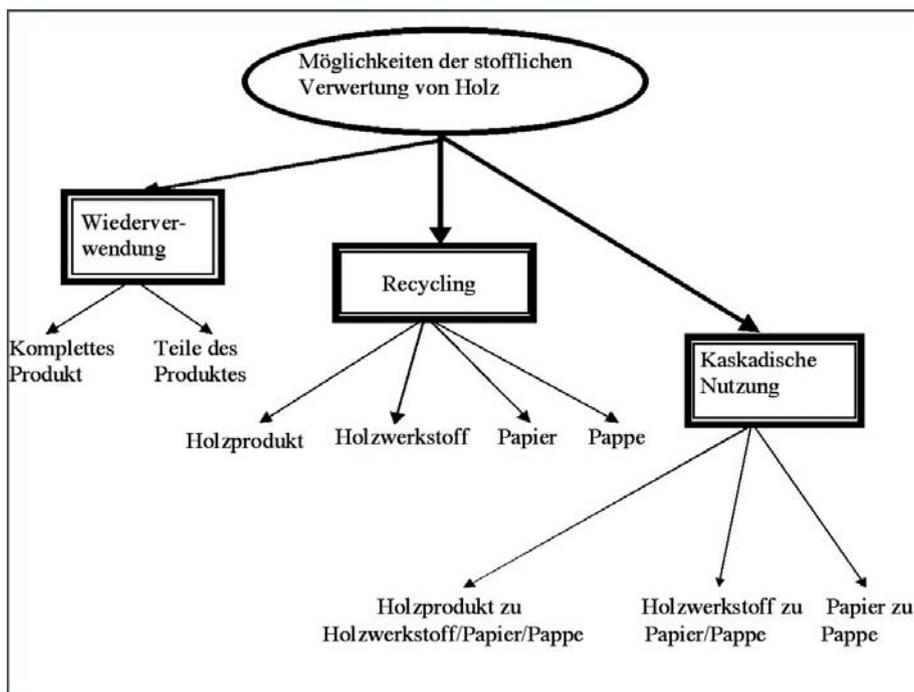


Abbildung 0-16 Systematik der stofflichen Verwertung von Holz (Jungmeier & Merl, 2001)

struktiver Holzschutz. Maydl (1995) und Brandstätter (1994) kommen zum Ergebnis, dass es beim Resistenzverhalten gegen pflanzliche Schädlinge (Pilze) und gegen tierische Schädlinge (Insekten) keinen signifikanten Unterschied gegenüber Neuholz gibt.

- Festigkeitseigenschaften. Versuche an 190 Jahre alten Holzelementen (Gaisberger et al. 2003) haben ergeben, dass die Festigkeitseigenschaften des alten Holzes zumindest mit Bauholz der Sortierklasse S10 gleichgesetzt werden kann. Im Zuge einer Untersuchung von Holz aus Gründerzeithäusern (Maydl 1995) wurde für 100 Jahre altes Fichten- und Tannenholz festgestellt, dass hinsichtlich Druck-, Scher-, Zug- und Biegezugfestigkeit die Gleichwertigkeit mit Neuholz gegeben ist. Das Quell- und Schwindverhalten gleicht jenem bei Neuholz.
  - Metallische Verbindungsmittel im Holz (Schrauben, Nägel, Dübel, Metallplatten etc.).
  - Vermischung mit toxikologisch problematischen Stoffen chemischer Natur wie Holzschutz (Brandschutz, Schutz gegen tierische und pflanzliche Schädlinge, Oberflächenvergütung, Anstriche, Klebstoffe etc.), Leimholz (Brettschichtholz, Sperrholz, verleimte Plattenelemente etc.), diverse Holzwerkstoffe (Spanplatten, OSB-Platten etc.).
  - Keine Möglichkeit der einfachen Identifizierung der Qualität von Bau- und Abbruchholz hinsichtlich stofflicher Kontaminationen durch verschiedene chemische Substanzen.
  - Holz in schwer lösbarem Verbund mit anderen Materialien.
  - Vermischung mit anorganischen Materialien (z. B. anhaftender Mörtel etc.)
- Das Bau- und Abbruchholz stellt ein nutzbares Ressourcenpotential für die

*Bewirtschaftung des städtischen,  
eingebauten Holzlagers*

stoffliche oder energetische Verwertung dar. Vor allem in tragenden, der Witterung nicht ausgesetzten und somit immer trockenen Strukturen ist es möglich, auf chemischen Holzschutz zu verzichten. Besonders die großen Querschnitte in tragenden Strukturen eignen sich für stoffliche Wiederverwendung. Dass sich diese Bewirtschaftungsform des städtischen Holzlagers auch ökonomisch rechnet, zeigt das Beispiel des Wiener Sägewerks Schuh, das jährlich ca. 3.000 m<sup>3</sup> Abbruchholz aus dem Lager der Stadt Wien zu hochwertigem Schnittholz einschneidet. Dieser Verwertungsprozess ist auch ökonomisch interessant und zeigt, wie die regionale Wertschöpfung mit Sekundärressourcen erhöht werden kann (Schuh 2004). Der jährliche Input in das Sägewerk beträgt durchschnittlich 3.000 m<sup>3</sup> Bau- und Abbruchholz, die Kosten dafür liegen bei Euro 60–70 pro m<sup>3</sup>, was eine Gesamtsumme von Euro 180.000 – 210.000 ergibt. Die Entsorgungskosten für 1 m<sup>3</sup> Holz werden mit Euro 130 angegeben (Euro 390.000). Der jährliche Output an Produkten beträgt ca. 2.000 m<sup>3</sup> an Schnittholz für die Erzeugung von Möbeln, Fußböden etc. Die erzielten Erlöse liegen zwischen Euro 200 und 300 pro m<sup>3</sup> (für Spezialware auch höher), was in Summe Euro 400.000–600.000 an Umsatz ergibt. Die Fallstudie Wien zeigt, dass allein das von den Baustellen und Abbruchprozessen stammende Altholz ein jährliches Substitutionspotential von 50.000 t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten aufweist. Abbildung 0-17 zeigt die Möglichkeiten der energetischen Verwertung von Holz. Es ist zu erwarten, dass in Zukunft weitere Technologien zur energetischen Altholzverwertung zur Verfügung stehen werden.

*Verwendung von Abbruchholz  
substituiert 50.000 t  
CO<sub>2</sub>-Äquivalent*

Auch für die thermische Verwertung gilt, dass unbehandeltes und damit mit weniger Stoffen aller Art belastetes Altholz mit geringeren Kosten energetisch genutzt werden kann. Asche und Filterstäube weisen dadurch geringere Belastungen auf.

Abhängig von regionalen Gegebenheiten sollte die Nutzungskaskade von der stofflichen Verwendung von Holz bis zur finalen energetischen Nutzung bereits in der Planungsphase bedacht werden. Planer müssen sich im Entwurfsprozess bewusst sein, dass eingebaute Materialien in Zukunft wieder als Ressource für weitere Produkte („Design for Recycling“) und schließlich zur Energieerzeugung genutzt werden können („Design for Energy“). Die Bauwerke stellen somit ein großes Ressourcenreservoir für die Zukunft dar, deren zukünftige Nutzung wesentlich von der Art des Einbaus abhängt. Bei der Wiederverwendung von 2,5 m<sup>3</sup> Altholz als Schnittholz kann 1 Hektar Primärwald „ersetzt“ werden. So zeigt das Beispiel der Stadt Wien, dass mit der stofflichen Nutzung des jährlich anfallenden Bau- und Abbruchholzes aus dem Büro- und Wohnbau mittels der „forstlichen Nutzung“ des Lagers bis zu 15.000 Hektar Primärwald substituiert werden könnten.

Ein verwertungsgerechter Einsatz von Holzleichtbauweisen kann somit im Vergleich zur momentan gängigen Praxis über den gesamten Lebenszyklus Umweltwirkungen minimieren. Am Lebenszyklusende stellen die Sekundärressourcen aus dem Rückbauprozess ein bedeutendes Potential als materielle und energetische Ressourcen dar. Damit kann mittels des Einsatzes von

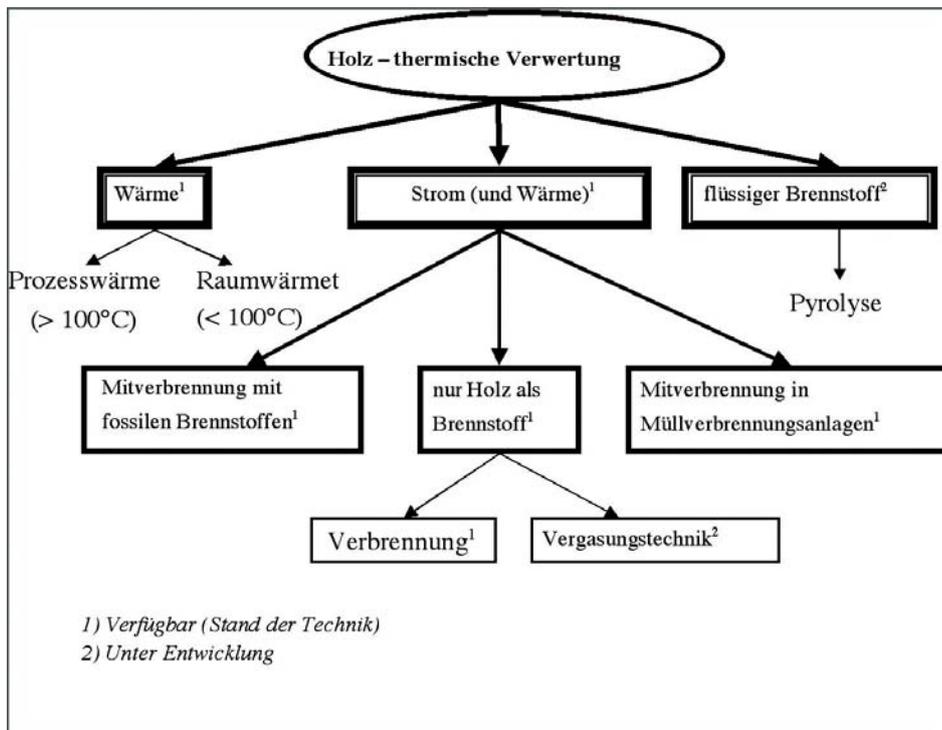


Abbildung 0-17 Systematik der energetischen Verwertung von Holz (Jungmeier &amp; Merl, 2001)

regional verfügbaren nachwachsenden Ressourcen ein großer Schritt in Richtung Nachhaltigkeit getätigt werden.

#### 4.5.1 Nutzung der Holzasche nach der thermischen Verwertung

Nach der Verbrennung stellt die anfallende Holzasche einen potentiellen Rohstoff dar. Die Asche ist als Dünger (Nährstoffrecycling) oder als Rohstoff in der Produktion neuer Baustoffe wie Ziegel einsetzbar. Voraussetzung ist die Freihaltung des Holzes von schädlichen Stoffen wie Schwermetallen und dergleichen, Schadstoffaustrag ist zu vermeiden. Damit könnte Holz als sich ständig neu bildender Material- und Energieträger in den regionalen Stoffhaushalt integriert werden, ohne dass gefährliche Schadpotentiale aufgebaut werden. Die Verwendung von Holzleichtbauweisen kann zur Realisierung nachhaltigen Wirtschaftens einen wesentlichen Beitrag leisten.

#### Schlussfolgerungen für den Leichtbau:

- Leichtbauweisen haben ein großes, in Zukunft vergleichsweise ökonomisch interessant erfassbares Verwertungspotential.
- Hochwertige Wiederverwendung mit hoher Wertschöpfung von Altholz und Gipsplattenrecycling werden bereits praktiziert.
- Wichtig sind die Kontaminationsfreiheit und die Möglichkeit des sortenreinen schnellen Rückbaus, die Voraussetzungen dafür werden bereits in der Planung geschaffen.
- Mehrere stoffliche Verwertungszyklen erhöhen den Nutzen und damit die Wertschöpfung sowie den Beschäftigungseffekt, Primärressourcen und

Naturraum werden geschont. Nach dem letzten Lebenszyklus schont energetische Verwertung nicht erneuerbare Energieträger und trägt zur Abschwächung des Treibhauseffekts bei.

- Die Verbrennungsrückstände können wieder als Rohstoff verwendet werden, Voraussetzung ist eine schadstofffreie Produktgestaltung.

#### 4.6 Anhang: Zusammensetzung der Szenarien (Merl 2005)

Auf Basis der von Statistik Austria (Volksbefragung 2001, dazugehörige Wohnbaustatistik 2001) zur Verfügung stehenden Daten ergibt sich die Zuteilung der Gesamtwohnflächen auf die einzelnen Bauweisen.

Mit 257.422 m<sup>2</sup> wurde der Anteil für die Kellergeschoßflächen abgeschätzt. Dieser in Betonbauweise ausgeführte Anteil wurde in allen Szenarien gleich behandelt. Dies ist auch ein Grund des relativ hohen Betonanteiles in Szenario 3. Das Delta der einzelnen Szenarien wird dadurch nicht berührt. Holzbauweisen laut Bauordnung 2001 in Wien bedeutet unter anderem, dass bei 3- bis 5-geschoßigen Gebäuden das Sockelgeschoß in Massivbauweise auszuführen ist. Das bedeutet, dass auch in Szenario 3 ca. 20 % der über Erdniveau liegenden nutzbaren Wohnfläche in Massivbauweise ausgeführt sind. Außerdem sind sämtliche Vertikalerschließungen in unbrennbarer Massivbauweise ausgeführt. Aus diesen Gründen ist der Massenanteil an Beton auch in Szenario 3 relativ hoch. Würde allerdings die Betrachtung nach Raummaß durchgeführt werden, so würde sich das Bild entsprechend verschieben, ist doch Beton nahezu fünf Mal schwerer als Holz. Für den Bürobau wurden folgende Ansätze ermittelt:

Bauweise	Anzahl der Gebäude	Anteil [%]	Bürofläche [m <sup>2</sup> ]	Max. Substitutionspotential Holz [m <sup>2</sup> ]
Ziegelbauweise	k.A.	17	69.530	17.383
Leichtbausteine	k.A.	-	0	0
Beton- u. Ziegelfertigteile	k.A.	22	89.980	22.495
Betonmauerwerk	k.A.	45	184.050	46.012
Holzbauweisen	k.A.	4	16.360	0
Sonstige Bauweisen	k.A.	12	49.080	12.270
<b>Summe Bürobauten</b>	<b>k.A.</b>	<b>100</b>	<b>409.000</b>	<b>98.160</b>

Tabelle 0-8: Darstellung der 2001 in Wien errichteten 409.000 m<sup>2</sup> Büroflächen getrennt nach Bauweisen und der durch Holzkonstruktionen substituierbaren Büroflächen.

Für den Wohnbau wurden folgende Ansätze ermittelt:

Bauweise	Anzahl d. Gebäude	Wohnungsanzahl	Durchschnitt Wohnfläche pro Wohnung [m <sup>2</sup> ]	Wohnfläche gesamt [m <sup>2</sup> ]	Substitutionspotential Szenario 2 [m <sup>2</sup> ]
Ziegelbauweise	318	333	95	31.635	31.635
Leichtbausteine	7	7	95	665	665
Beton- u. Ziegelfertigteile	50	52	95	4.940	4.940
Betonmauerwerk	62	62	95	5.890	5.890
Holzbauweisen	216	217	95	20.615	0
Sonstige Bauweisen	7	7	95	665	665
<b>Summe Ein- u. Zweifamilienhäuser</b>	<b>660</b>	<b>678</b>	<b>95</b>	<b>64.410</b>	<b>43.795</b>
Ziegelbauweise	33	204	73	14.892	14.892
Leichtbausteine	0	0	0	0	0
Beton- u. Ziegelfertigteile	0	0	0	0	0
Betonmauerwerk	0	0	0	0	0
Holzbauweisen	1	3	73	219	0
Sonstige Bauweisen	0	0	0	0	0
<b>Summe Wohngebäude mit 2 Geschoßen</b>	<b>34</b>	<b>207</b>	<b>73</b>	<b>15.111</b>	<b>14.892</b>
Ziegelbauweise	19	254	73	18.542	14.834
Leichtbausteine	0	0	0	0	0
Beton- u. Ziegelfertigteile	15	463	73	33.799	27.039
Betonmauerwerk	57	1590	73	116.070	92.856
Holzbauweisen	0	0	0	0	0
Sonstige Bauweisen	0	0	0	0	0
<b>Summe Gebäude mit 3–5 Geschoßen</b>	<b>91</b>	<b>2307</b>	<b>73</b>	<b>168.411</b>	<b>134.729</b>
Ziegelbauweise	0	0	0	0	0
Leichtbausteine	0	0	0	0	0
Beton- u. Ziegelfertigteile	15	463	73	33.799	0
Betonmauerwerk	27	695	73	50.735	0
Holzbauweisen	0	0	0	0	0
Sonstige Bauweisen	18	625	73	45.625	0
<b>Summe Gebäude mit mehr als 6 Geschoßen</b>	<b>60</b>	<b>1783</b>	<b>73</b>	<b>130.159</b>	<b>0</b>
<b>Summe Wohngebäude neu</b>	<b>845</b>	<b>4.975</b>	<b>76</b>	<b>378.091</b>	<b>193.416</b>

Bauweise	Anzahl d. Gebäude	Wohnungsanzahl	Durchschnitt Wohnfläche pro Wohnung [m <sup>2</sup> ]	Wohnfläche gesamt [m <sup>2</sup> ]	Substitutionspotential Szenario 2 [m <sup>2</sup> ]
Wohnungen in sonstigen Gebäuden	k. A.	512	73,5	37.632	18.816
Dachausbau	k. A.	262	73,5	19.257	19.257
Auf-, Zu- Umbau	k. A.	580	73,5	42.630	42.630
Summe sonstige Wohnungen	k. A.	1.354	73,5	99.615	49.757
<b>Summe</b>	<b>mind. 845</b>	<b>6.329</b>	<b>75,5</b>	<b>477.694</b>	<b>243.173</b>

Tabelle 0-9: Darstellung der 2001 in Wien errichteten Wohngebäude und deren Wohnfläche getrennt nach Ein- und Zweifamilienhäuser, Häuser mit 3 und mehr Wohnungen bis zu fünf Geschossen (Bereich der durch Holz substituierbaren Konstruktionen) und Gebäuden mit mehr als fünf Geschossen. Substitutionspotential für Szenario 2 wird angegeben, für Szenario 3 beträgt es 100 %.

Für die Szenarien 1 bis 3 wurden folgende Materialmengen und Bauweisen eingesetzt:

Bauweise	Ist-Stand 2001 Szenario 1			Szenario 2 „Holzeinsatz unter Ausnützung der Bauordnung“ 2001			Szenario 3 „Alles in Holzbauweise“ 2001		
	Nutzfläche [m <sup>2</sup> ]	Summe Material [t]	[kg/m <sup>2</sup> ]	Nutzfläche [m <sup>2</sup> ]	Summe Material [t]	[kg/m <sup>2</sup> ]	Nutzfläche [m <sup>2</sup> ]	Summe Material [t]	[kg/m <sup>2</sup> ]
Betonbau Keller	257.422	543.818	2.113	257.422	543.818	2.113	257.422	543.818	2.113
<b>Summe unter Erdniveau</b>	<b>257.422</b>	<b>543.818</b>	<b>2.113</b>	<b>257.422</b>	<b>543.818</b>	<b>2.113</b>	<b>257.422</b>	<b>543.818</b>	<b>2.113</b>
Ziegelbauweise	158.691	252.046	1.588	59.117	93.894	1.588	0	0	-
Beton-, Ziegel-									
Fertigteile	287.835	565.614	1.965	215.817	424.006	1.965	0	0	-
Betonmauerwerk	423.712	784.373	1.851	220.620	408.410	1.851	0	0	-
Holzbauweisen	54.678,5	35.783	654	429.363	397.539	926	924.917	741.143	801
<b>Summe über Erdniveau</b>	<b>924.917</b>	<b>1.637.816</b>	<b>1.771</b>	<b>924.917</b>	<b>1.323.849</b>	<b>1.391</b>	<b>924.917</b>	<b>741.143</b>	<b>801</b>
<b>Summe</b>	<b>1.182.339</b>	<b>2.181.635</b>	<b>1.844</b>	<b>1.182.339</b>	<b>1.867.667</b>	<b>1.578</b>	<b>1.182.339</b>	<b>1.284.961</b>	<b>1.087</b>

Tabelle 0-11: Eingebaute Baumaterialmengen für den Ist-Stand, Szenario 1 und Szenario 2 für das Jahr 2001

Bei den Holzbauweisen wurde angenommen, dass 50 % in einer leichten Holzbauweise (Holzrahmen bzw. Holzskelettbau) und 50 % in einer schweren Holzbauweise (Brettstapelbauweisen für Wände und Decken) hergestellt werden. Zusammenfassend wird der für die Fallstudie Wien berücksichtigte Gebäudebestand 2001 angeführt:

Gebäudeart	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Faktor	Geschoßhöhe [m]	Umbauter Raum [m <sup>2</sup> ]
Kellergeschoße Wohnbau	192.483	1	3	577.449
Kellergeschoße Bürobau	40.000	1	3	120.000
Parkgaragen	24.939	1	3	74.817
Ein- und Zweifamilienhäuser	64.410	1,15	3	222.215
Wohngebäude mit 2 Geschoßen	15.111	1,3	3	58.933
Wohngebäude mit 3-5 Geschoßen	168.411	1,3	3	656.803
Wohngebäude mit 6 und mehr Geschoßen	130.159	1,3	3	507.620
Sonstige Gebäude, Dachgeschoße, Um-, Auf- u. Zubauten	99.519	1,3	3	388.124
Sonstige Nutzflächen in Wohngebäuden	38.366	1,3	3	149.627
Bürobauten	409.000	1,3	3	1.595.100
<b>Summe</b>	<b>1.182.398</b>			<b>4.350.688</b>

Tabelle 0-12: 2001 in Wien umbauter Raum im Hochbau, gegliedert nach Gebäudearten

Für die Fallstudie wurden folgende Gebäudetypen im Rahmen von Diplomarbeiten analysiert und funktional äquivalent in unterschiedlichen Bauweisen durchkonstruiert. Diese Gebäudeanalysen dienen gemeinsam mit der statistischen Wohn- und Büroflächenanalyse als Basis der Modellierung der Güterflüsse und der Berechnung des Lagers.

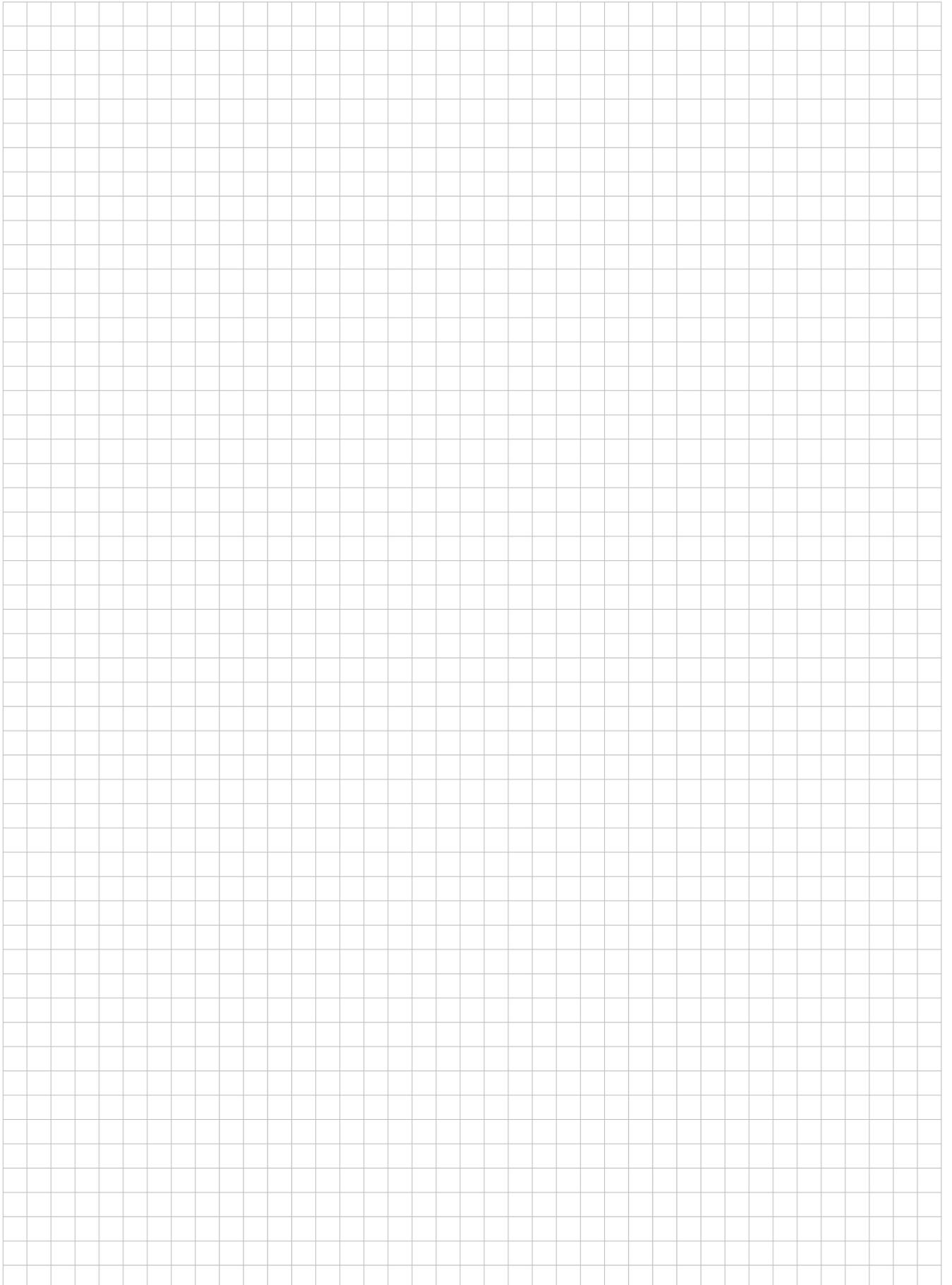
Systemgrenze Bauweise	G <sup>1</sup>	Masse/ Nutzfläche über Niveau [kg/m <sup>2</sup> ] <sup>2</sup>	Masse/ Nutzfläche gesamt [kg/m <sup>2</sup> ] <sup>3</sup>	Masse/ BGF über Niveau [kg/m <sup>2</sup> ] <sup>4</sup>	Masse/ BGF gesamt [kg/m <sup>2</sup> ] <sup>5</sup>	Masse/ Gebäude- volumen über Niveau [kg/m <sup>2</sup> ] <sup>6</sup>	Masse/ Gebäude- volumen gesamt [kg/m <sup>2</sup> ] <sup>7</sup>	Masse/ Gebäude- volumen über Niveau [kg/m <sup>2</sup> ] <sup>8</sup>
	1	2	3	4	5	6	7	8
Holzskelettbauweise	3	558	1413	465	883	135	266	343
Holzrahmenbauweise	3	559	1415	466	885	136	266	344
Brettstapel/Beton (Decken) Bauweise	3	858	1735	698	1058	203	318	411
Ziegel/Beton Bauweise	3	1588	2488	1258	1479	367	445	574
Durchschnittliche Bauweise vor 1945 <sup>9</sup>	4	2022	2694	1551	1653	460	501	613
Beton System Katzenberger kleine Spannweite	5	1851	2673	1203	1390	363	426	523
Beton System Katzenberger große Spannweite	5	1965	2758	1325	1487	399	456 (528)	559
Holzskelett/Massiv- holz, Brandabsch. mineral. getr.	5	745	1496	487	783	134	240	294
Holzmassiv/ Brettstapel, Brandabsch. mineral.	5	1037	1804	705	981	208	301	369

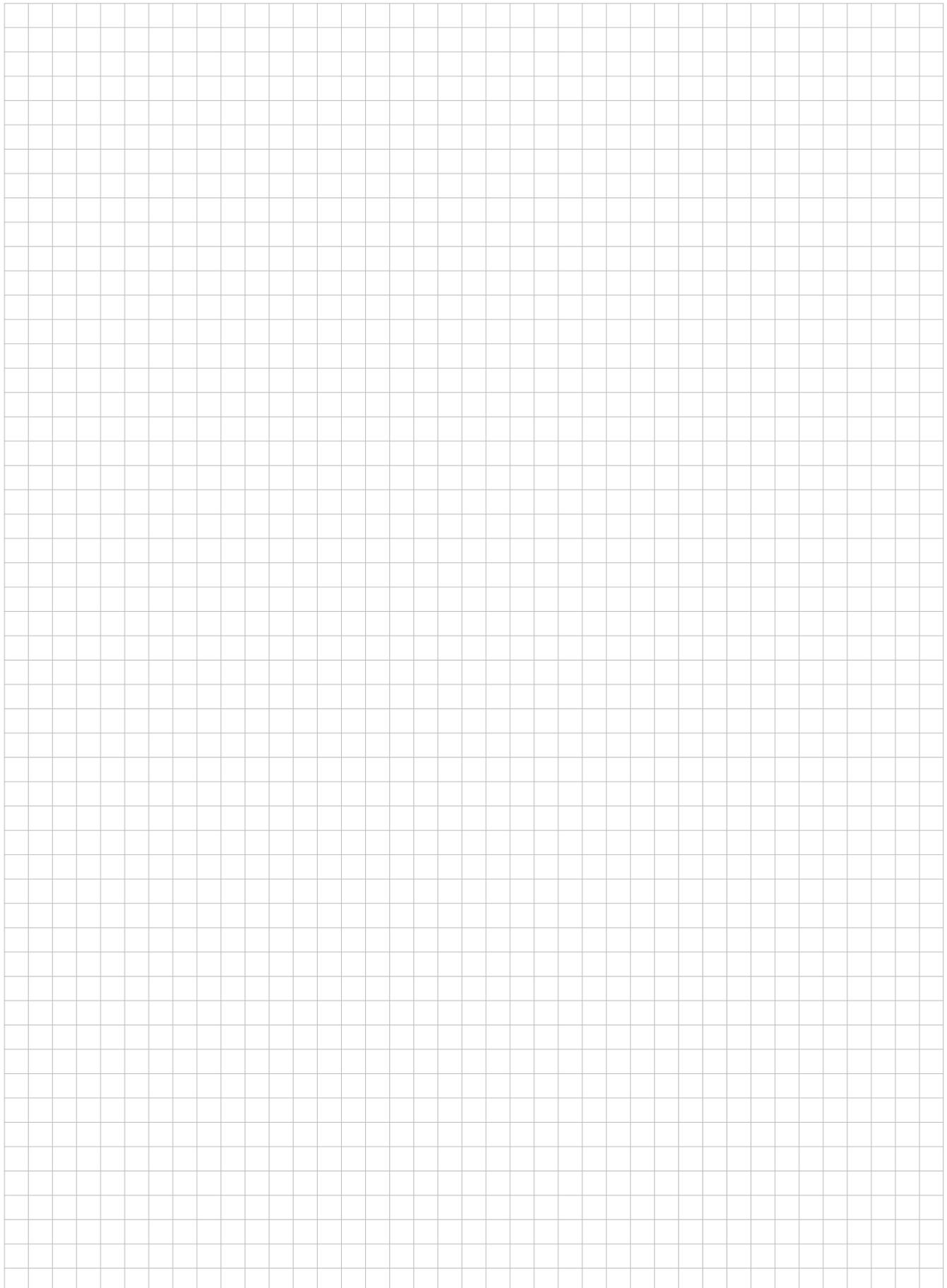
Tabelle 0-10: Flächen- und Raumgewichte der untersuchten Gebäude in verschiedenen Bauweisen. Die Spalten 2 bis 8 repräsentieren die Flächen- und Raumgewichte unterschiedlich gewählter Systemgrenzen.

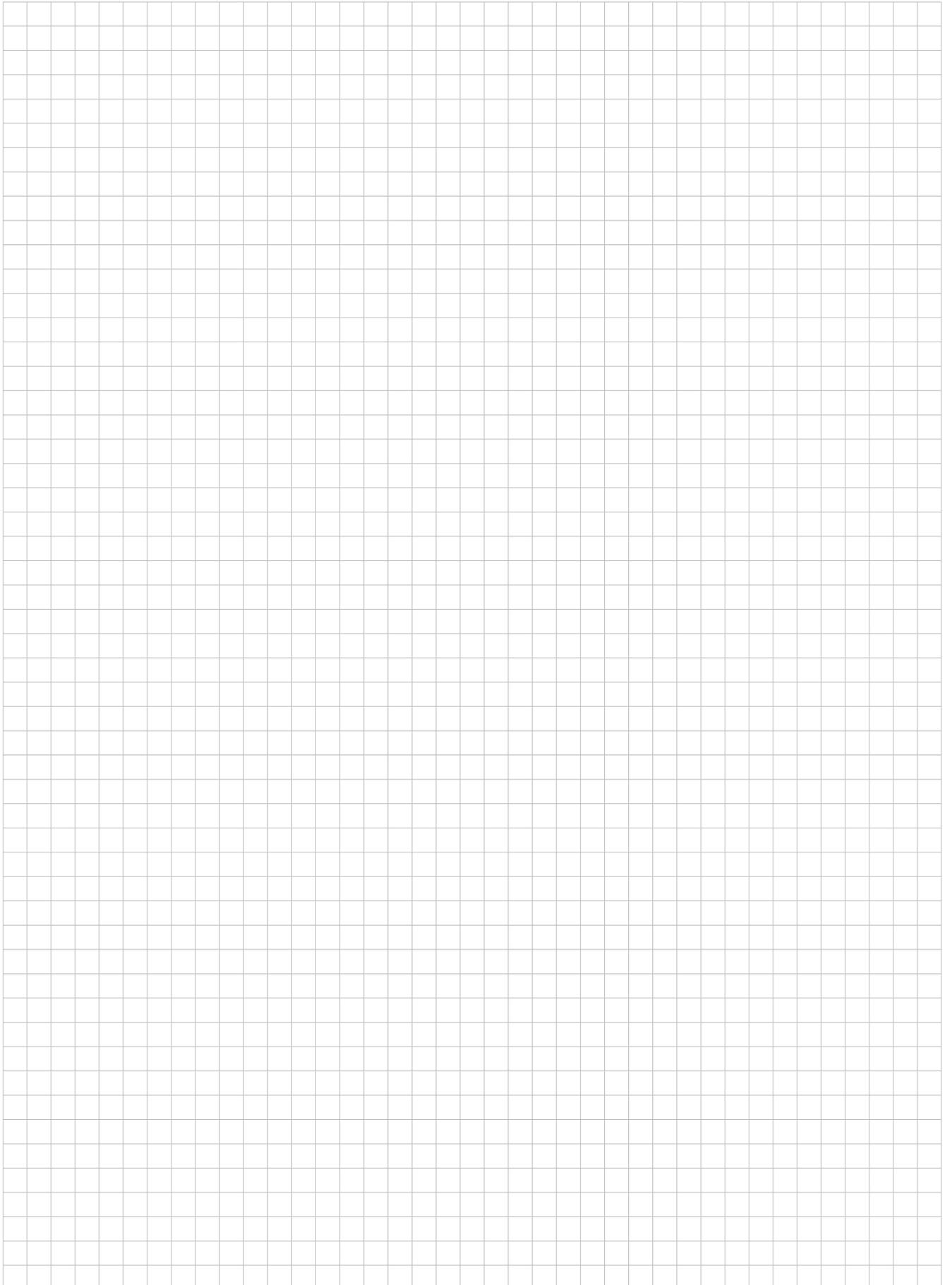
- 1) Anzahl der Geschoße über Niveau.
- 2) Systemgrenze Massenermittlung: Unterkante der Decke zwischen KG und EG – Masse des darüber liegenden Baukörpers; Systemgrenze Fläche: Wohnnutzfläche; Masse des Baukörpers über Niveau pro Wohnnutzfläche.
- 3) Systemgrenze Massenermittlung: Gesamtbaukörper; Systemgrenze Fläche: Wohnnutzfläche; Masse des Gesamtbaukörpers pro Wohnnutzfläche.
- 4) Systemgrenze Massenermittlung: Unterkante der Decke zwischen KG und EG; Systemgrenze Fläche: Bruttogeschoßfläche (BGF), Masse des Baukörpers über Niveau pro BGF über Niveau.
- 5) Systemgrenze Massenermittlung: Gesamtbaukörper; Systemgrenze Fläche: BGF des Baukörpers über Niveau; Masse des Gesamtbaukörpers pro Bruttogeschoßfläche über Niveau.
- 6) Systemgrenze Massenermittlung: Unterkante der Decke zwischen KG und EG – Masse des darüber liegenden Baukörpers, Systemgrenze Volumen: Masse des Baukörpers über Niveau pro Gebäudevolumen oberhalb der Kellerdeckenunterkante.
- 7) Systemgrenze Massenermittlung: Gesamtbaukörper, Systemgrenze Volumen: Gesamtbaukörper; Masse des Gesamtbaukörpers pro Volumen des Gesamtbaukörpers.
- 8) Systemgrenze Massenermittlung: Gesamtbaukörper; Systemgrenze Volumen: Gebäudevolumen oberhalb der Kellerdeckenunterkante. Masse des Gesamtbaukörpers pro Gebäudevolumen über Kellerdeckenunterkante.
- 9) [Maydl, 1994] kommt bei der Analyse von 7 Gründerzeitbauten in Wien und Linz auf einen Mittelwert von ca. 428 kg pro m<sup>3</sup> Bruttorauminhalt

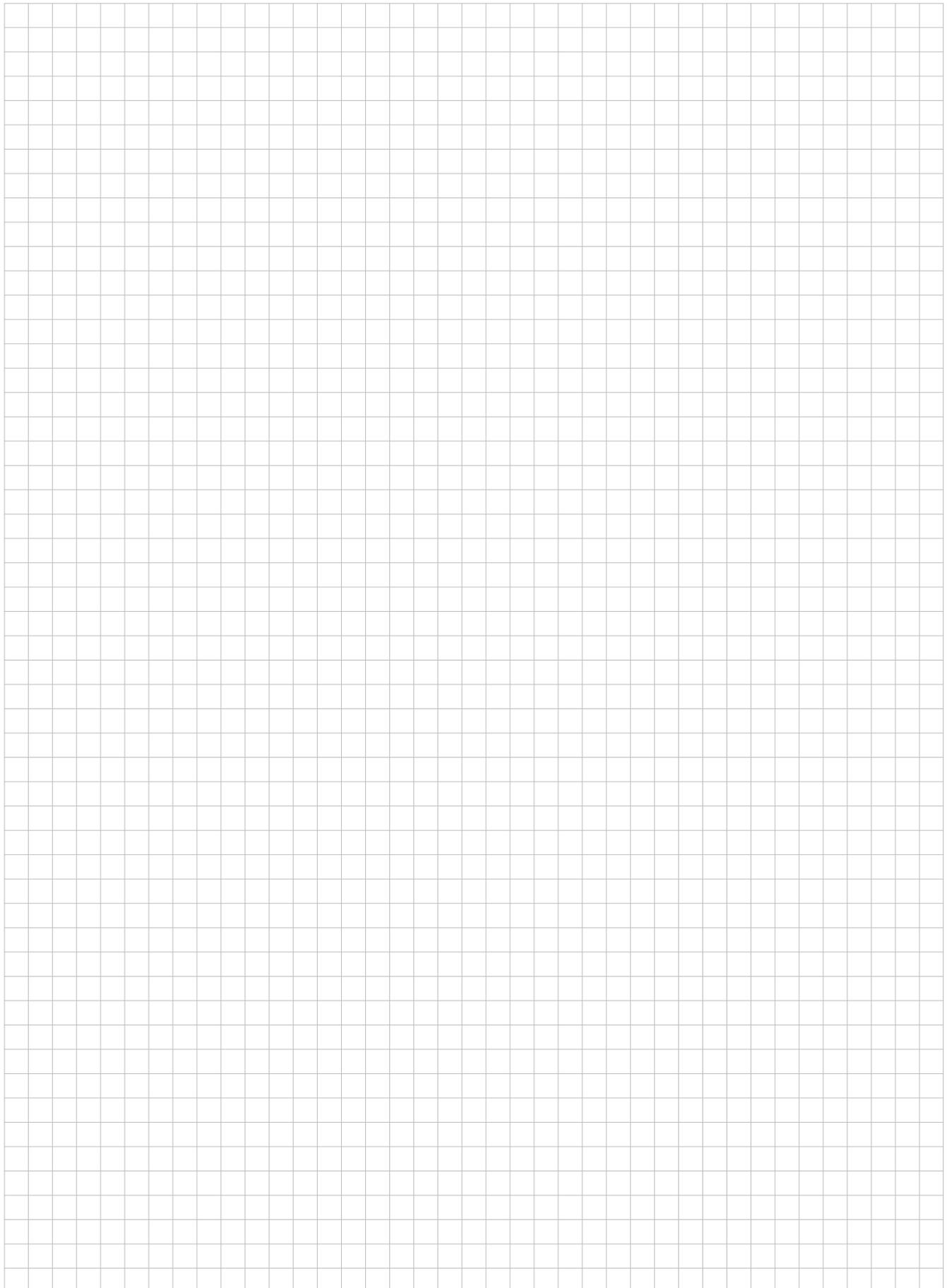
## Quellen

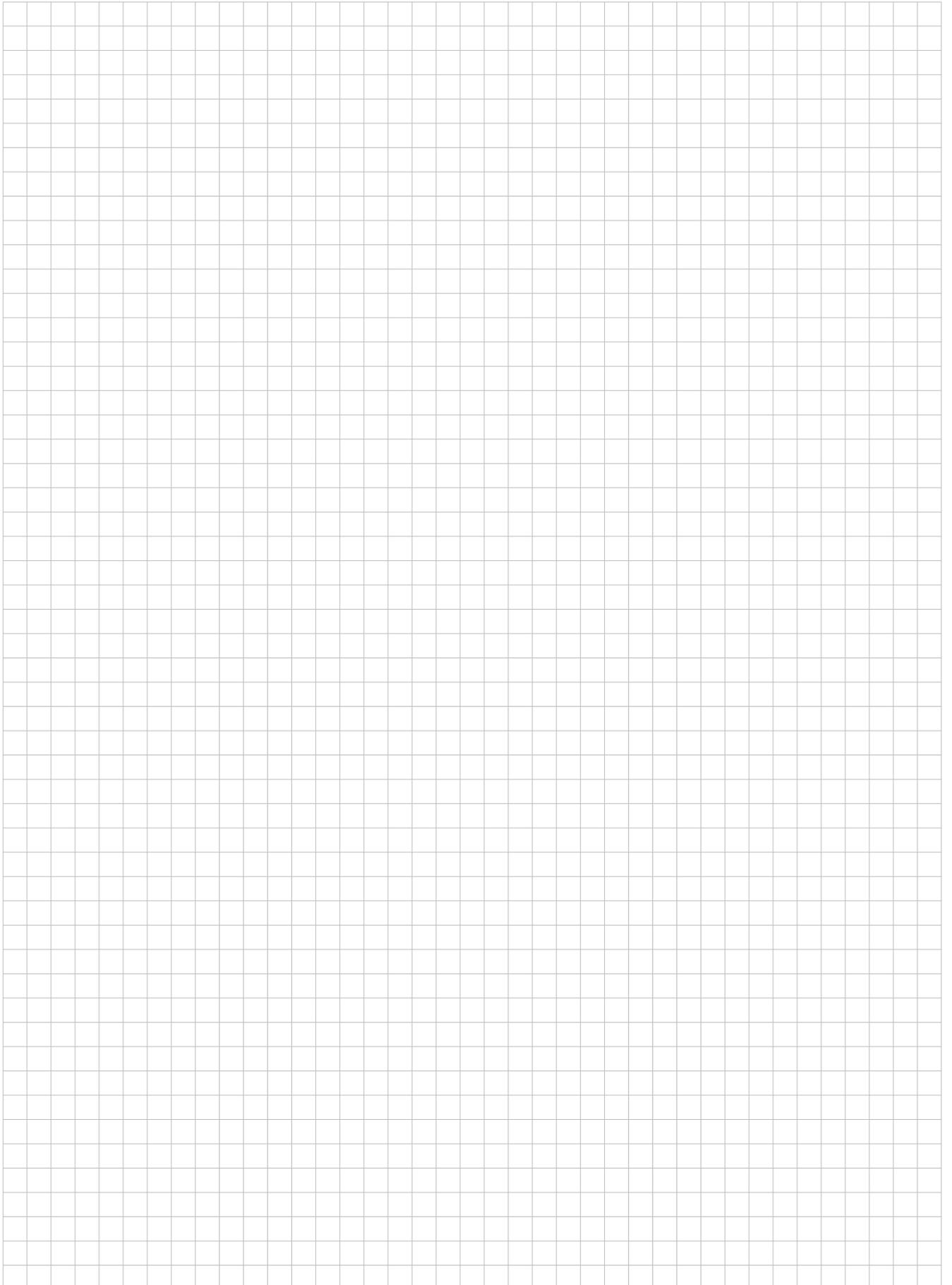
- AUB (2006):** Arbeitsgemeinschaft Umweltverträgliches Bauprodukt e.V. Newsletter 1 und 2 2006.
- Brandstätter M. (1994):** Untersuchungen zu Fragen der Wiederverwendbarkeit von altem Konstruktionsholz – Insektenresistenz, Oberflächenbehandlung, Quellen und Schwinden. Im Auftrag des Österreichischen Baustoff-Recycling-Verbandes, des Fachverbandes der Bauindustrie und der Bundesinnung Baugewerbe.
- Carlowitz H.C. von (1713):** „Sylvicultura Oeconomica“. Oder hauswirthliche Nachricht und naturgemässe Anweisung zur wilden Baum-Zucht etc. Leipzig.
- Eyerer P., Reinhardt H.-W., (2000):** Ökologische Bilanzierung von Baustoffen und Gebäuden. Wege zu einer ganzheitlichen Bilanzierung. Unter Mitarbeit von: J. Kreißig, M. Baitz, M. Betz, H. Schöch. Basel; Boston; Berlin; Birkhäuser, 2000 (Baupraxis) ISBN 3-7643-6207-3
- FGW (2006):** Benchmarking Nachhaltigkeit in der Wohnbauförderung der Bundesländer. A. Oberhuber, W. Amann und S. Bauernfeind. Herausgeber. Berichte aus Energie- und Umweltforschung 32/2005, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Radetzkystraße 2, 1030 Wien.
- Frischknecht R., Jungbluth N., Althaus H.-J., Doka G., Heck T., Hellweg S., Hischier R., Nemecek T., Rebitzer G., Spielmann M. (2004):** Overview and Methodology. ecoinvent report No. 1. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, 2004. www.ecoinvent.ch.
- Guineé J., M. Gorrée, R. Heijungs, G. Huppes, R. Kleijn, A. de Koning, L. van Oers, A.W. Sleeswijk, S. Suh, H.A.U. de Haes, H. de Bruijn, R. van Duin, M.A.J. Huijbregts, E. Lin-deijer, A.A.H. Roorda, B.L. van der Ven and B.P. Weidema (2001):** Life cycle assessment – An operational guide to the ISO standards. Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment and Centre of Environmental Science -Leiden University, 2001.
- IBO (1999): Waltjen, T. et. al. (1999):** Ökologischer Bauteilkatalog. Bewertete gängige Konstruktionen. ISBN 3-211-83370-6 Springer-Verlag Wien New York.
- Illomäki (2005):** SETAC Europe 13th LCA Case Studies Symposium. Proceedings Environmental Product Declarations (EPD) 7-8 December, Stuttgart, Germany.
- Jungmeier & Merl (2001):** G. Jungmeier, A. Merl with contributions from: C. Gallis, C. Hohen-thal, F. McDarby, A.K. Petersen, K. Spanos: "End of Use and End of Life Aspects in LCA of Wood Products – Selection of Waste Management Options and LCA Integration. In: Achievements of COST Action E9 Working Group 3 "End of Life: Recycling, Disposal and Energy Generation". G. Jungmeier (eds.) Joanneum Research Report No.: IEF-B-11/01, p. 4/1 – 4/25, Graz, 23.11.2001, Austria.
- Maydl P. (1995):** Technisch-wirtschaftliche Wiederverwertung von Hochbaurestmassen. Schlussbericht. Im Auftrag der ILBAU Ges.m.b.H. Direktion 33 Tiefbau. In Zusammenarbeit mit dem Österreichischen Baustoff-Recycling-Verband. Fachverband der Bauindustrie. Bundesinnung Baugewerbe. Wien, März 1995.
- Maydl P. (2005):** Educating for a Sustainable Built Environment. p. 147 – 155. Proceedings. Committing Universities to Sustainable Development. Graz, April 20 – 23, 2005.
- Merl A. (2005):** Bau-Ressourcenmanagement in urbanen Räumen. Fallstudie Wien. Nachhaltiger Einsatz von Holz im Rohbau. Dissertation. Institut für Architekturwissenschaften: Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau. Fakultät für Bauingenieurwesen. Technische Universität Wien.
- Schuh (2004):** Telefoninterview 2004 mit Herrn Schuh, Besitzer des Abbruchholzverarbeitenden Sägewerks Schuh in Wien 23.
- Statistik Austria (2003):** Wohnbautätigkeit. Bewilligungen & Fertigstellungen 2001. Wohnbaukosten 2000. Für den Inhalt verantwortlich: Kurt Vollmann. Herausgegeben von Statistik Austria. ISBN 3-901400-92-3. Wien 2003.
- VDI (1997):** Kumulierter Energieaufwand – Begriffe, Definitionen, Berechnungsmethoden, Düsseldorf.
- WCED (1987):** Der Brundtland-Report 1987: „Unsere gemeinsame Zukunft (Our Common Future). Vorsitz: Gro Harlem Brundtland. WCED (World Commission on Environment and Development). Genf, London 1987.

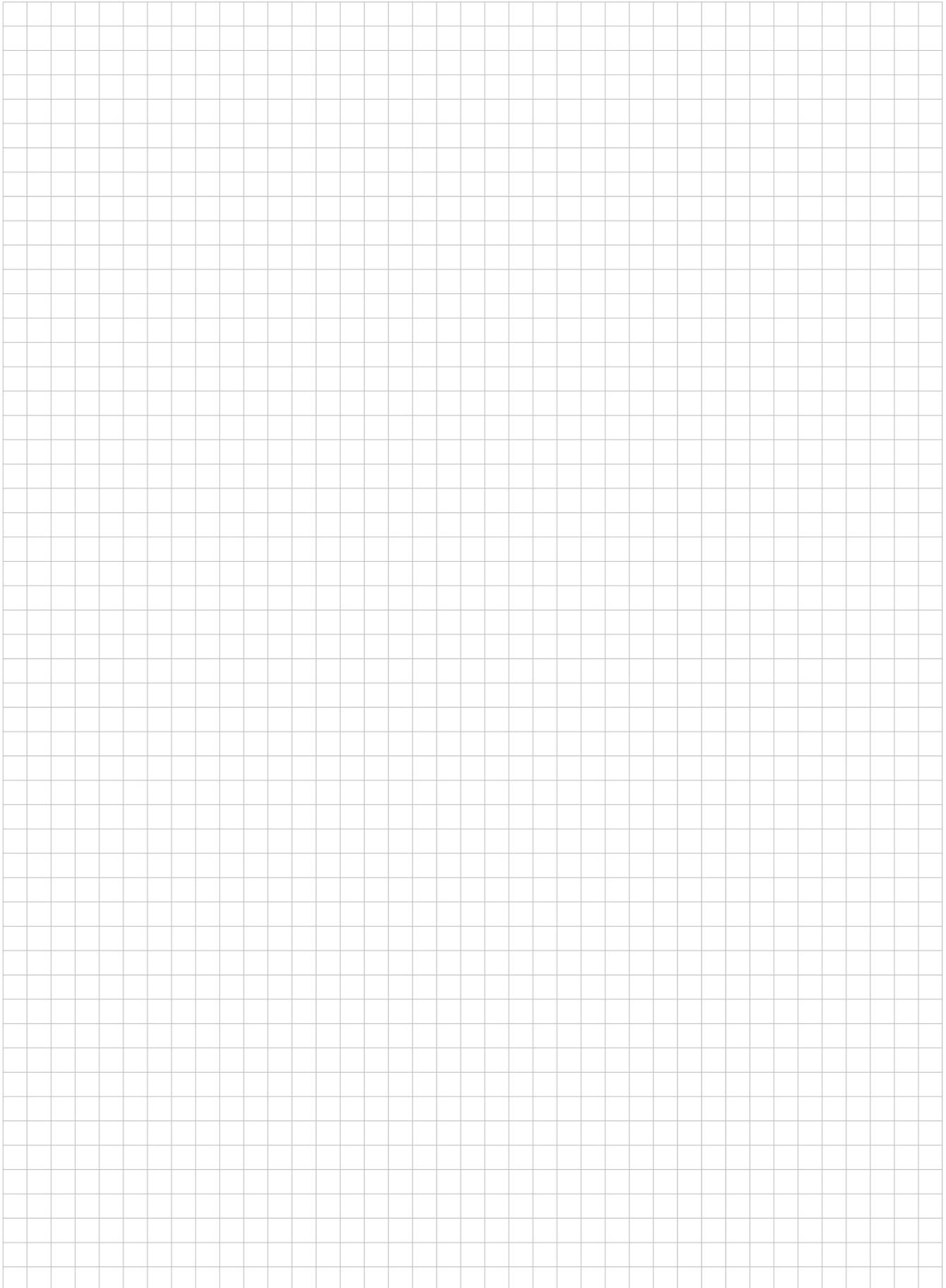












## Impressum

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 GmbH, Rockwool HandelsgesmbH, Saint-Gobain Isover Austria GmbH, Ursa Dämmsysteme Austria GmbH und Xella Trockenbausysteme. Layout: senft&partner, 1020 Wien. Druck: jork printmanagement, 1060 Wien. Wien 2007

