

**„Es kommt nicht darauf an, die Zukunft vorherzusagen,  
sondern auf die Zukunft vorbereitet zu sein.“**

Perikles (493-429 v. Chr.)

## **Nachhaltiger Massivbau**

Vorstudie im Auftrag der  
Wirtschaftskammer Steiermark  
Sparte Industrie.

Bewerbungsunterlage zum

## **Österreichischen Bau-Preis 2005**

**F-6-11/2005**

**P. Maydl, J. Prabitz, M. Lenz, A. Passer, K. Pregartner**

Institut für Materialprüfung und Baustofftechnologie  
mit angeschlossener TVFA für Festigkeits- und Materialprüfung  
Technische Universität Graz

## Hintergrund und Anlass

Die österreichische Bauwirtschaft ist seit einiger Zeit in einer schwierigen Situation, die sich in nächster Zeit auch nicht grundlegend ändern wird:

- **Geringe Umsatzrentabilität** verbunden mit einem extremen **Preisdruck**, sowohl auf Planungsleistungen als auch auf das ausführende Gewerbe sowie die Bauprodukte erzeugende Industrie.
- Erhebliche Einschränkungen durch das aktuelle **Vergaberecht** im Falle öffentlicher Auftraggeber, immer **kürzere Planungsvorläufe** sowie eine nahezu unüberschaubar gewordene **Vielfalt an technischen Regelwerken**, die nicht zuletzt aus der europäischen Normung resultieren.
- Fast jedes neu zu errichtende Gebäude wird „**neu erfunden**“, dazu kommen steigende Ansprüche der Auftraggeber sowie zunehmende Forderungen aus dem Titel der **Gewährleistung** oder des **Schadenersatzes**. Zum Teil **extreme Terminvorgaben** sowie die mäßige Qualifikation vieler am Bau tätiger Subunternehmen haben auch nicht zu einem Rückgang der meist vermeidbaren **Bauschäden** geführt.

Zu diesen vielfach beklagten Umständen kommen neuerdings **Forderungen des Umweltschutzes**. Viele negative Umweltauswirkungen wurden in der Vergangenheit oft pauschal „der Bauwirtschaft“ zugeschrieben, was zu einem negativen Image als „Betonierer“ der Bauschaffenden geführt hat. Gleichzeitig sind **neue Trends** wie ökologisches Bauen, Bauen mit der Sonne, intelligente Fassaden, Wechselwirkungen zwischen Fassade und technischem Ausbau anzutreffen. Auf Drängen von Nutzern und Betreibern von Gebäuden ist zunehmend auch die **Nutzungsphase** in die Planungsüberlegungen einzubeziehen, dazu kommt die vielfach erhobene Forderung nach Einsatz nachwachsender Rohstoffe, der Verwendung so genannter „gesunder“ Baustoffe sowie Forderungen des Klimaschutzes etc.

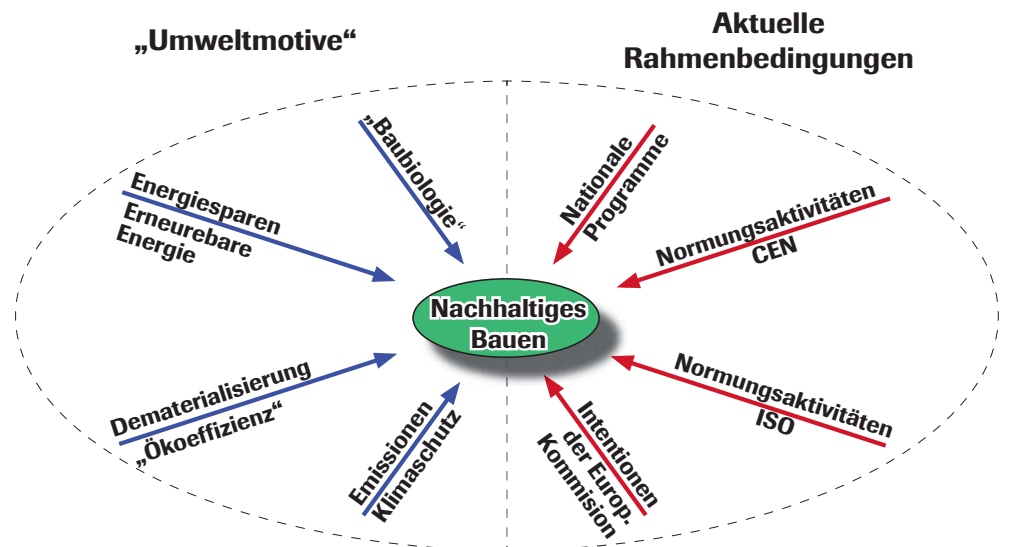
Diesen aktuellen Entwicklungen folgend punktet bei oberflächlicher Betrachtung beispielsweise der Holzbau durch die Verwendung eines nachwachsenden Rohstoffes, verbunden mit niedrigen CO<sub>2</sub>-Emissionen sowie kurzer Bauzeit durch einen hohen Vorfertigungsgrad, vor allem im Fertighaussektor. Eine umfangreiche PR-Tätigkeit erweckt vielfach den Eindruck, dass der Massivbau unter dem Gesichtspunkt des ökologischen Bauens in die Defensive gerät. Zum Teil werden dabei rationale Argumente in die Diskussion eingebracht wie Energieinhalt, CO<sub>2</sub>-Emissionen etc., aber auch emotionale Vorurteile durch Schlagworte wie „unbehaglich“, „kalt“, „zubetoniert“ etc.

Die heute zunehmend festzustellende **umfassende Betrachtung des gesamten Lebensweges** eines Gebäudes stellt einen **Paradigmenwechsel** für den Bausektor dar:

**Paradigmenwechsel: umfassende Betrachtung des gesamten Lebensweges**

Ist man vor über hundert Jahren dazu übergegangen, handwerkliche Regeln durch mathematisch-mechanische Modelle zur **Vorhersage des Tragverhaltens** von Gebäuden zu ersetzen, so hat sich erst vor knapp 50 Jahren die **Bauphysik** als eigenständige Ingenieurdisziplin begonnen zu etablieren: erst seit wenigen Jahrzehnten ist es zum Stand der Technik geworden, Fragen des Wärme- und Schallschutzes, des Brand- oder Feuchteschutzes in der Planung zu berücksichtigen und das Verhalten der Gebäude rechnerisch vorherzusagen. Seit etwa 20 Jahren wird – bislang von einer wachsenden Minderheit – gefordert, **ökologische Aspekte** bei der Planung von Gebäuden zu berücksichtigen, was primär aus Gründen des Gesundheitsschutzes erfolgt ist, in jüngerer Zeit zunehmend auch aus Gründen der Energieeinsparung; nicht zuletzt die Diskussion um die Passivhäuser zeigt, dass alle Maßnahmen nur auf die Reduktion der Heizenergie ausgerichtet waren.

Die **Nachhaltigkeit im Bauwesen**, also die Umsetzung der Grundsätze nachhaltigen Wirtschaftens bei der Errichtung von Bauwerken ganzheitlich betrachtet in ökologischer, ökonomischer und soziokultureller Hinsicht ist also etwas völlig Neues, auch wenn sich bei näherer Betrachtung dabei oft zeigt, dass alte Weisheiten (wieder)entdeckt werden.



## Ziel

Mit dieser Studie wird versucht, die Stärken und Schwächen der in Österreich gebräuchlichen Bauweisen ganzheitlich zu erfassen. Unter Vorwegnahme der voraussehbaren Entwicklung werden Ansatzpunkte für eine zukunftsfähige Bewertung und Positionierung dieser Bauweisen entwickelt. Weiters wird der Forschungs- und Handlungsbedarf aufgezeigt.

Unter den in Österreich gebräuchlichen Bauweisen werden die Leichtbauweise (Holzrahmenbauweise) und die Massivbauweise verstanden. Massivbaustoffe sind Beton (unbewehrt, Stahlbeton, Ortbeton, Fertigteile, Betonsteine oder Leichtbeton), Mantelbeton (Mantelsteine, Plattenbauweise) oder Ziegel in Form von Hochlochziegel.

## Rahmenbedingungen und aktuelle Trends

Auf internationaler Ebene haben sich seit einiger Zeit zahlreiche und kaum mehr überschaubare Aktivitäten zum Thema „Nachhaltiges Bauen“ (engl. Sustainable Construction) etabliert, die im Wege europäischer Normen auch für Österreich Bedeutung erlangen werden. Die **internationale Normungsorganisation ISO** hat 2005 zahlreiche Normentwürfe zum Thema „Sustainable Construction“ herausgegeben, die derzeit im Rahmen der europäischen Normung geprüft und bearbeitet werden. Es ist davon auszugehen, dass 2008 europäische **Regelwerke zur ökologischen Bewertung von Bauprodukten** sowie für eine **Umweltdeklaration für Bauprodukte** vorliegen werden. Auch wenn hier der Grundsatz der Freiwilligkeit gilt, ist doch davon auszugehen, dass diese europäischen Normen als ÖNORMEN Eingang in sämtliche Bauverträge finden werden.

Die politischen Ziele der Europäischen Kommission zum Thema „Nachhaltiges Bauen“ sind 2004 in der **„Thematischen Strategie für städtische Umwelt“** definiert worden. Dazu zählen u.a.

- die Entwicklung einer gemeinsamen Methodik für die Bewertung der **Gesamtnachhaltigkeit von Gebäuden** einschließlich Indikatoren für die Lebenszykluskosten,
- die Erstellung **nationaler Programme für Nachhaltiges Bauen** durch die Mitgliedsstaaten,
- die Formulierung von Anforderungen an die Nachhaltigkeit bei der **Ausschreibung und Vergabe von Bauleistungen** durch die öffentliche Hand einschließlich der Schaffung **steuerlicher Anreize**,
- die Maßnahmen zur Verringerung der zunehmenden Mengen von **Bauschutt**,
- die **Umweltzertifizierung** von Baustoffen und Gebäuden.

**Europäische Kommission: Thematische Strategie für städtische Umwelt**

In Österreich ist seit einiger Zeit ein klarer Trend zur Berücksichtigung von **Umweltaspekten im geförderten Wohnbau** zu erkennen. Nahezu alle Bundesländer sind dabei, ihre **Wohnbauförderungsrichtlinien** vom reinen Energiesparen in Richtung ökologische Nachhaltigkeit umzustellen. Die jüngste „§15a-Vereinbarung“ zur Berücksichtigung des Klimaschutzes in der Wohnbauförderung forciert den Einsatz so genannter „ökologisch-verträglicher, ökologisch-vorteilhafter oder ökologisch-günstiger“ Baumaterialien sowie die Vermeidung der Emission treibhausrelevanter Gase.

**Österreich: Strategieprogramm der Bundesregierung, „Ökologisierung“ der Wohnbauförderung**

## Nachhaltigkeit und Immobilienbewirtschaftung

Der zunehmende Trend zur Berücksichtigung der Nutzungsphase macht auch vor der Immobilienwirtschaft nicht halt. Erfordernisse eines effizienten Facility Managements sind bereits in die Planung zu integrieren. Bei der Bewertung von Gebäuden werden neben der langfristigen Attraktivität des Standorts künftig auch die Betriebskosten zufolge Instandhaltung, Reinigung, Energieeinsatz für Heizung, Klimatisierung und Lüftung an Bedeutung gewinnen.

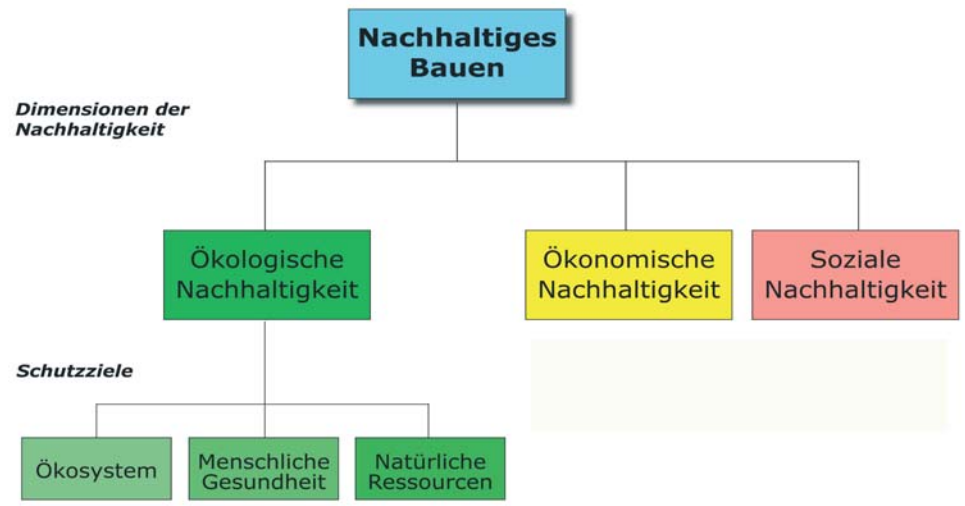
Der Gebäudeenergieausweis entsprechend der **EU-Gebäude-richtlinie**, wird den Verkehrswert von Immobilien nachhaltig beeinflussen, stellt aber aufgrund der reinen Fokussierung auf die Gesamtgebäudeenergieeffizienz, erst einen ersten Schritt dar, ein Erweiterung auf Gesamtnachhaltigkeit wird folgen. Dies sind beispielsweise Fragen der Reparierbarkeit oder Austauschbarkeit von hoch beanspruchten Bauteilen, der Adaptierbarkeit und geänderte Erfordernisse sowie die Flexibilität und Variabilität eines Gebäudes gegenüber Nutzungsänderungen berücksichtigt werden. Bei kurzlebigen Gewerbebauten - mit deutlich reduzierter kalkulatorischer Nutzungsdauer- wird auch insbesondere auf die Demontierbarkeit und Rückbaufähigkeit des Gebäudes bedacht genommen werden müssen. All das werden zunehmend Faktoren sein, die die Attraktivität einer Immobilie beeinflussen, ihre langfristige Rendite, und damit den Verkehrswert.

**„Nachhaltige Immobilienbewirtschaftung“**

## Nachhaltige Entwicklung im Bausektor

Nachhaltigkeit ist keine objektiv messbare Größe, sondern ein **Leitbild**, keine Zielvorgabe, sondern ein ständiger Entwicklungsprozess. **Umwelt** (ökologische Nachhaltigkeit), **Wirtschaft** (ökonomische Nachhaltigkeit) und **Gesellschaft** (soziokulturelle Nachhaltigkeit) werden als **gleichberechtigte Dimensionen** angesehen.

Nachhaltiges Bauen bedeutet die langfristig erwarteten Funktionen zu erfüllen und dies mit minimalen negativen Umweltauswirkungen und Lebenszykluskosten. Der **gesamte Lebenszyklus**, beginnend mit der Herstellung der Baustoffe, der Errichtung, Nutzung und dem Rückbau bis zur Entsorgung muss berücksichtigt werden. Die Abbildung 2 zeigt die 3 Dimensionen „Nachhaltigen Bauens“ und die **3 Schutzziele** der ökologischen Nachhaltigkeit.



3 Dimensionen „Nachhaltigen Bauens“

**3 Dimensionen der Nachhaltigkeit: ökologisch, ökonomisch, sozial**

## Bedeutung des Bausektors

Die Bauwirtschaft stellt in Europa einen der größten Wirtschaftszweige dar. In Österreich betrug der Anteil der Bauwirtschaft am Bruttoinlandsprodukt 2003 8,4% (18,9Mrd. Euro), der Anteil der Beschäftigten 6,1% (234.000 Beschäftigte).

**Ein bedeutender Wirtschaftssektor: 8% des BIP, 6% der Arbeitsplätze**

Dem Bausektor kommt aufgrund seiner enormen **Stoffflüsse** im Hinblick auf eine langfristig verträgliche Entwicklung in ökonomischen, ökologischen und sozialen Belangen eine besondere Bedeutung zu. Einige Zahlen sollen belegen, welchen Stellenwert Baumaßnahmen und damit die Bauwirtschaft für die Volkswirtschaft und die Umweltschutz-Problematik im Allgemeinen einnehmen.

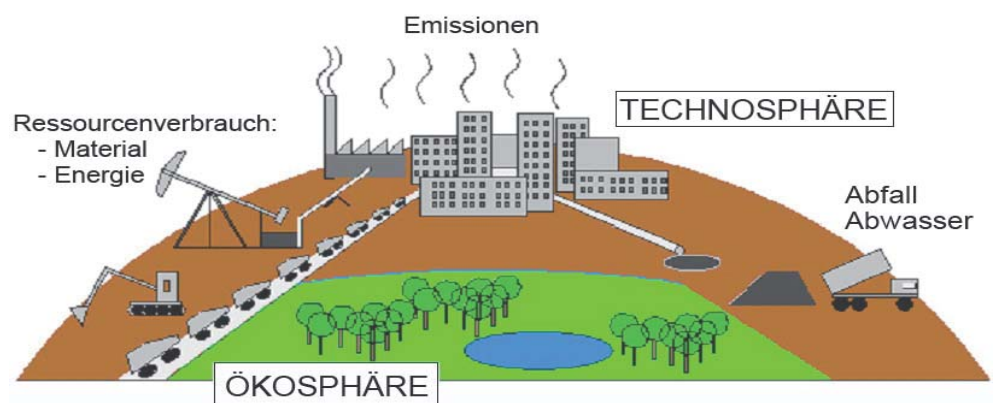
## Bausektor: größter Stoff- und Energieverbraucher

**Über 50% des gesamten Abfallaufkommens** in Österreich resultieren aus Bauaktivitäten, unter Berücksichtigung der Nutzungsphase stellt der Bausektor einschließlich der von ihm errichteten Bauwerke den **größten Energieverbraucher** dar.

### Umweltwirkungen von Baumaßnahmen

Ein beispielhafter Überblick der Auswirkungen von Baumaßnahmen auf die Umwelt ist in Abbildung 1 dargestellt. Diese resultieren aus dem Austausch von Stoffen zwischen Ökosphäre und Technosphäre. Die Umweltwirkungen können in folgende Kategorien eingeteilt werden:

- **Ressourcenverbrauch:** erneuerbare und nicht erneuerbare Rohstoffe und Energieträger
- **Verbrauch an Bodenoberfläche:** Bodenversiegelung, Zersiedelung
- **Emissionen:** feste Abfälle, flüssige Abfälle (Abwasser), gasförmige Emissionen (z.B. treibhausrelevante Gase, Ozonabbau, Sommersmog, Versauerung oder Eutrophierung)



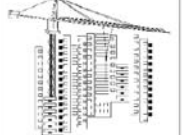



Umweltwirkungen von Baumaßnahmen

**Umweltwirkungen: Verbrauch an Ressourcen und Bodenoberfläche, Emissionen**

## Der Lebensweg eines Gebäudes

Die Abbildung 3 stellt die wesentlichen Abschnitte im Lebenszyklus eines Gebäudes und deren wesentliche Einflussparameter auf die Umwelt dar. Unter dem Begriff Lebenszyklus (besser **Lebensweg**, da hier eigentlich nicht von einem Kreislauf gesprochen werden kann) versteht man alle Phasen, die ein Objekt „durchlebt“. Diese sind lt. ÖNORM B 1801-1 Objektentwicklung, Objekterrichtung, Objektnutzung und Objektbeseitigung.

	Bauprodukt	Bauwerk		Beseitigung
				
	- Rohstoffabbau - Transport zum Produzent - Produktion	- Transport zur Baustelle	- Bauwerkerrichtung	- Nutzung - Instandhaltung, Instandsetzung und Erneuerung
				- Abbruch/ Rückbau - Transport - Entsorgung/ Recycling/ Therm. Verwertung
Material	●	-	-	○
Energie	●	●	○	●
Abfall	●	○	●	○
Emissionen	●	●	●	●
Fläche	●	●	●	○

● relevant, ○ wenig relevant, - nicht relevant

© IMBT 2005

**„Lebensweg“ eines Gebäudes: Objektentwicklung, -errichtung, -nutzung, -beseitigung**

## Ökologische Nachhaltigkeit

Die 3 Schutzziele der ökologischen Nachhaltigkeit sind der Schutz der Ökosysteme, der menschlichen Gesundheit, und der Schutz der natürlichen Ressourcen. Unter dem Schutz der Ökosysteme sollen die Auswirkungen auf die lokalen, regionalen und globalen Ökosysteme überlegt werden. Zum Schutz der menschlichen Gesundheit muss die Belastungen durch Emissionen, sowohl bei der Herstellung der Bauprodukte, als auch während der Nutzungsdauer und bei der Entsorgung beachtet werden.

Unter dem Schutz der natürlichen Ressourcen wird die Minimierung des Verbrauchs von Energieträgern, Rohstoffen und Bodenoberfläche verstanden. Wichtig ist die Ausgewogenheit des Einsatzes an erneuerbaren, nicht erneuerbaren und unerschöpflichen Ressourcen. Die Abwägung sollte in quantitativer und qualitativer Hinsicht erfolgen.

Aufgrund der verhältnismäßig langen Nutzungsdauern im Bauwesen greift eine Betrachtung - ausschließlich fokussiert auf die Herstellungsphase - zu kurz. Im Sinne der ökologischen Nachhaltigkeit gilt es, immer den gesamten Lebenszyklus zu betrachten.



## Ökonomische Nachhaltigkeit

Ökonomische Nachhaltigkeit im Bauwesen bedeutet, dass der gesamte **Lebenszyklus eines Gebäudes** wirtschaftlich optimiert werden soll. Zur Untersuchung können Lebenszykluskostenanalysen oder Kosten-Nutzen-Untersuchungen herangezogen werden. Diese ermöglichen Aussagen über die längerfristige Rentabilität einer Investition und deren Nutzen. Zu beachten ist, dass im Hochbau die **Folgekosten** (Nutzungskosten und Beseitigungskosten) dominierend sind, sie übertreffen in der Regel die Anschaffungskosten bei weitem. Die ÖNORM B 1801-1 unterscheidet bei den Lebenszykluskosten Entwicklungskosten, Anschaffungskosten und Folgekosten, die wiederum in Nutzungs- und Beseitigungskosten unterteilt werden.

Die wesentlichen **Ziele** der ökonomischen Nachhaltigkeit im Hochbau sind:

- **Minimierung der Lebenszykluskosten** von Gebäuden (Errichtung, Betrieb, Erhaltung, Beseitigung);
- **Effiziente Gebäudebewirtschaftung** (Facility-Management): Wartung, Instandhaltung, Heizung/ Kühlung, Reinigung, Adaptierung und Umbaufähigkeit;
- **Geringe Nachnutzungskosten**: dazu zählen Rückbau und Entsorgung der anfallenden Baurestmassen, Entsorgung schädlicher Stoffe sowie Wertminderung der Liegenschaft durch Kontamination mit giftigen Stoffen;
- Langfristig **attraktive Standortwahl** entsprechend gegenwärtiger und künftiger Nutzungsarten, Verkehrserschließung, usw.;
- Langfristige **Werterhaltung bzw. -steigerung**;

**Lebenszykluskosten = Kosten für Entwicklung, Anschaffung, Nutzung und Beseitigung**

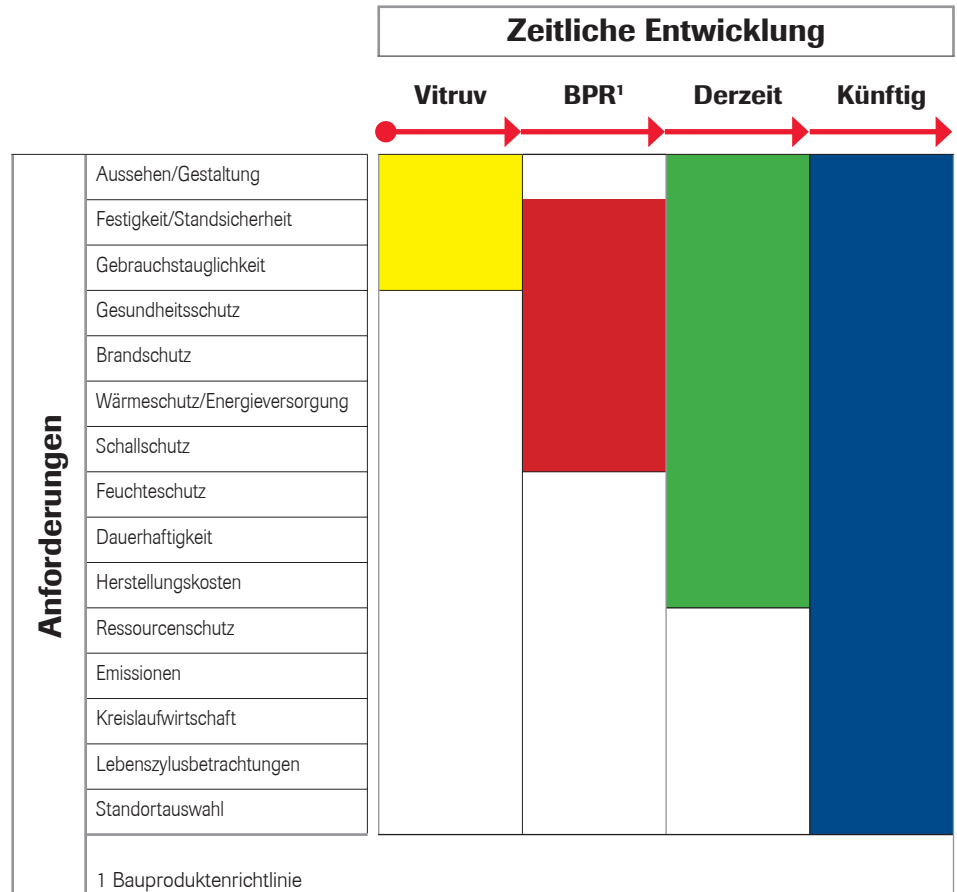
## Soziale Nachhaltigkeit:

Soziale (auch soziokulturelle) Aspekte basieren auf der intergenerativen Ethik (Auswirkungen auf künftige Generationen) und würdigen den inhärenten Wert der Ökosysteme, Traditionen und Kulturen. Überlegungen müssen auf die Grundlagen der menschlichen Bedürfnisse und Menschenrechte abgestimmt sein, sowie Überlegungen zur Lebensqualität beinhalten (ISO/DIS 21930).

## Von Vitruv zur Bauproduktenrichtlinie – wie geht es weiter?

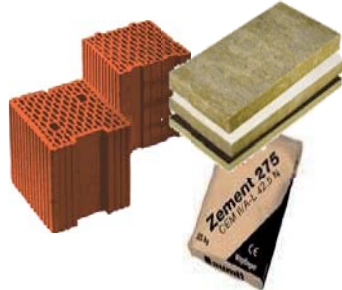
Während die von Vitruv vor 2000 Jahren formulierten Anforderungen an Gebäude dem Grundsatz nach auch heute unverändert Gültigkeit haben, ist es bei den Anforderungen an Gebäude bzw. Bauprodukte in den letzten Jahrzehnten zu einer dynamischen Erweiterung des Anforderungsprofils gekommen. Ein Ende dieser Entwicklung ist nicht in Sicht.

Einige dieser Anforderungen bzw. Eigenschaften können am **Bauprodukt** bewertet werden, einige nur auf Ebene der aus mehreren Bauprodukten zusammengesetzten **Bauteile**, einige nur, wenn das **gesamte Gebäude** betrachtet wird.



**Steigende Anforderungen an Bauprodukte**

### Bauprodukt



### Anforderungen

Festigkeit/Standsicherheit  
Dauerhaftigkeit  
Aussehen/Gestaltung  
Herstellungskosten  
Brandschutz  
Feuchteschutz  
Gesundheitsschutz  
Ressourcenschutz  
Emissionen  
Kreislaufwirtschaft  
Lebenszyklusbetrachtungen

### Beispiel

Festigkeitsklassen, Bruchverhalten  
Witterungsbeständigkeit  
Materialoberfläche  
Produktkosten  
Brennbarkeitsklasse  
Feuchtigkeitsbeständigkeit  
Materialbestandteile  
Ressourcenvorkommen  
Herstellungsemissionen  
Trennbarkeit, Rezyklierbarkeit  
Wiederverwendbarkeit

### Bauteil



### Anforderungen

Festigkeit/Standsicherheit  
Dauerhaftigkeit  
Aussehen/Gestaltung  
Herstellungskosten  
Gebrauchstauglichkeit  
Brandschutz  
Wärmeschutz/Energieversorgung  
Schallschutz  
Feuchteschutz  
Gesundheitsschutz  
Kreislaufwirtschaft  
Lebenszyklusbetrachtungen

### Beispiel

Traglast  
Lebensdauer  
Oberfläche  
Systemkosten  
Funktionalität  
Brandwiderstandsklasse  
Speichermasse, Wärmedurchgang  
Tritt/Luftschallschutz  
Dampfdiffusion  
Klebstoff  
Demontierbarkeit  
Lebensdauer, Austauschzyklen

### Gebäude



### Anforderungen

Standsicherheit  
Aussehen/Gestaltung  
Anschaffungskosten  
Gebrauchstauglichkeit  
Brandschutz  
Wärmeschutz/Energieversorgung  
Schallschutz  
Gesundheitsschutz  
Kreislaufwirtschaft  
Lebenszyklusbetrachtungen  
Standortauswahl

### Beispiel

Standsicherheit  
Architektur, Identifikation  
Bauwerkskosten  
Nutzungsflexibilität  
Gebäudebrandschutz  
Gebäudegesamtennergieeffizienz  
Raumakustik, Nebenwege  
Gebäuelüftung und Nutzerverhalten  
Rückbaufähigkeit  
Nutzungsdauer  
Infrastruktur

**Ökologische Bewertung auf versch. Ebenen: Bauprodukt  
– Bauteil – Gebäude**

## Umweltaspekte von Bauprodukten

Standen bisher **bautechnische** und **wirtschaftliche Eigenschaften** im Vordergrund des Interesses, gewinnen seit wenigen Jahren **Umweltaspekte** von Bauprodukten zunehmend an Bedeutung. Dies schlägt sich auch in Kürze im nationalen und internationalen Regelwerk nieder: in den nächsten drei bis vier Jahren ist eine Reihe europäischer Normen zum Thema „Nachhaltiges Bauen – Sustainable Construction“ zu erwarten, die damit auch österreichische Normen werden. So ist in etwa zwei Jahren eine **Umweltdeklaration von Bauprodukte** zu erwarten, in deren Rahmen jedes Bauprodukt ca. 15 bis 20 Umweltindikatoren offen legen muss. Auch wenn dieses Regelwerk nicht verpflichtend sein wird, so ist aufgrund der Marktgegebenheiten zu erwarten, dass sich kein Bauprodukteerzeuger diesen Forderungen entziehen kann.

**ISO und CEN: Regelwerke zu „Sustainable Construction“ bis 2008 ... 2010**

## Analyse von fünf Außenwandaufbauten

Um nun die **künftige Position der Massivbaustoffe** sowie deren Stärken und Schwächen in diesem Segment besser einschätzen zu können, wurden fünf in der Praxis häufig anzutreffende **Außenwandaufbauten** bezüglich ihres Umweltverhaltens untersucht und einer vergleichenden Bewertung unterzogen. Dabei wurde versucht, solche Aufbauten auszuwählen, die über einen gleichen U-Wert (also Wärmeschutz) verfügen sowie annähernd gleiche Tragfähigkeit. Selbstverständlich müssen alle diese Wandaufbauten die sonstigen Anforderungen der Bauvorschriften erfüllen.

Ziel war nicht, die Umweltwirkungen der Wandaufbauten möglichst exakt abzubilden, sondern die Konstruktionen unterschiedlicher Tragschicht (Massivbauweise – Leichtbauweise) untereinander zu vergleichen, die Position des Massivbaus zu bestimmen und dabei die derzeit angewandten Bewertungsmethoden zu hinterfragen. Die Wandaufbauten wurden in Anlehnung an derzeit gängige Bauweisen ausgewählt. Die Vergleichbarkeit der bautechnischen Eigenschaften (v.a. annähernd gleiche U-Werte von ca.  $0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) wurde angestrebt. Alle Ergebnisse beziehen sich auf einen  $\text{m}^2$  Außenwand.

Die Methode zur Abbildung von Umweltwirkungen bezeichnet man als **ökologische Bewertung** (engl. **life cycle assessment**). Beim Vergleich von Produkten untereinander, ist die jeweilige Dienstleistung (der zu erfüllende Nutzen) klar zu definieren (funktionale Einheit). Die Bewertung im Bauwesen kann auf unterschiedlichen Ebenen erfolgen, die in Abbildung 4 dargestellt sind. Derzeitige Bewertungen beschränken sich i.d.R. auf die Ebene der Baustoffe und Bauprodukte und berücksichtigen nur die Herstellungsphase. Im Rahmen dieser Studie wird der **gesamte Lebenszyklus** (Herstellung, Nutzung und Beseitigung) auf der Ebene von Bausystemen bewertet.

### Wandaufbau Ziegel

	Baustoff	Stärke [mm]	Masse [kg/m <sup>2</sup> ]	Dichte [kg/m <sup>3</sup> ]
1	Mineral. Putz	20	26	1800
2	Hochlochziegel	380	287	755
3	EPS	60	1	17
4	Kunststoffputz	4	7,2	1800

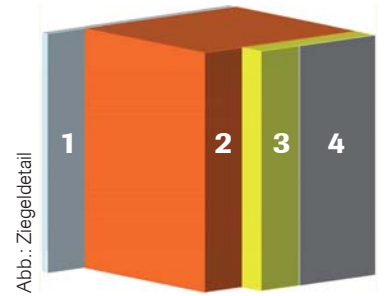


Abb.: Ziegeldetail

### Wandaufbau Mantelbeton

	Baustoff	Stärke [mm]	Masse [kg/m <sup>2</sup> ]	Dichte [kg/m <sup>3</sup> ]
1	Mineral. Putz	20	26	1800
2	Holzmantelstein	300	120	
	Normalbeton	200	357	2300
	Bewehrung		0,3	7850
3	EPS	100	1,7	17
4	Kunststoffputz	4	7,2	1800

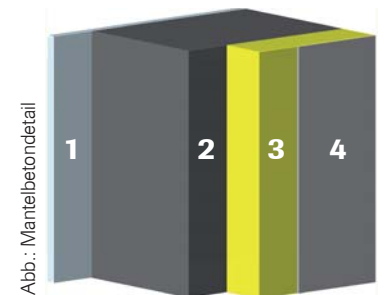


Abb.: Mantelbetondetail

### Wandaufbau Ortbeton

	Baustoff	Stärke [mm]	Masse [kg/m <sup>2</sup> ]	Dichte [kg/m <sup>3</sup> ]
1	Mineral. Putz	20	26	1800
2	Normalbeton	200	460	2300
3	EPS	150	2,6	17
4	Kunststoffputz	4	7,2	1800

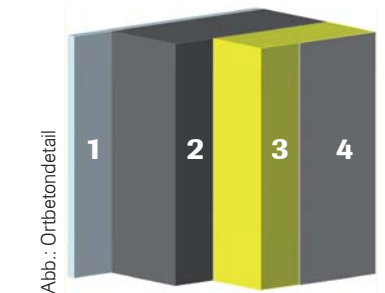


Abb.: Ortbetondetail

### Wandaufbau Leichtbeton

	Baustoff	Stärke [mm]	Masse [kg/m <sup>2</sup> ]	Dichte [kg/m <sup>3</sup> ]
1	Spachtelung	2		
2	Leichtbeton	60	105	1755
3	Kernbeton	65	151	2300
4	Normalbeton	55	128	2300
5	EPS	140	2,4	17
6	Kunststoffputz	4	7,2	1800

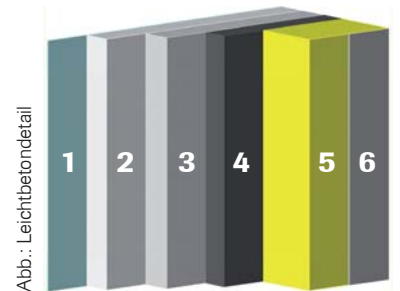


Abb.: Leichtbetondetail

### Wandaufbau Holz

	Baustoff	Stärke [mm]	Masse [kg/m <sup>2</sup> ]	Dichte [kg/m <sup>3</sup> ]
1	Gipsfaserplatte	10	12	1180
2	Dampfbremse	0,3	0,3	980
3	Steinwolle	160	5	33
4	Gipsfaserplatte	15	18	1180
5	Holzwoleleicht- bauplatte	50	20	400
6	Kunststoffputz	4	7,2	1800

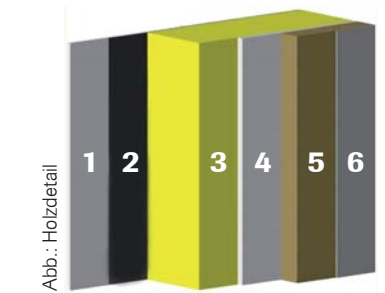


Abb.: Holzdetai

## Berechnung der Umweltwirkungen

Die Eingangsdaten wurden der Schweizer Datenbank **Ecoinvent** entnommen. Diese Daten (ökologische Kennwerte) dienen als Grundlage für die Berechnungen und liegen für jeden Baustoff in der Einheit kg Äquivalent pro kg bzw. m<sup>3</sup> vor. Über den Bauteilaufbau mit den Schichtdicken werden die Massen je funktionaler Einheit (m<sup>2</sup> Außenwand) ermittelt.

Die Multiplikation der Kennwerte mit den Massen ergibt dann die Umweltwirkung bezogen auf die funktionale Einheit pro Bauteilschicht. Bildet man noch die Summe der Bauteilschichten über die Umweltwirkungen, so erhält man als Ergebnis die Umweltwirkungen des gesamten Wandaufbaus (pro m<sup>2</sup>).

$$\begin{array}{rcl} \text{Masse der Bauteilschicht} & \times & \text{Umweltindikator} = \text{Umweltwirkung} \\ \text{[kg/m}^2\text{]} & & \text{[kg Äquiv./kg]} \quad \cdot \quad \text{[kg Äquiv./m}^2\text{]} \end{array}$$

Eine Nutzungsdauer von 80 Jahren wurde den Berechnungen zugrunde gelegt. D.h. eine Lebensdauer der Tragschicht von 80 Jahren wird bei allen Aufbauten mit vorausgesetzt, da ansonsten die Bauweise, welche dieses Kriterium nicht einhält, prinzipiell in Frage zu stellen ist. Für die anderen Bauteilschichten wurden die Lebensdauern entsprechend den Angaben in Rechnung gestellt. Besonderes Augenmerk muss hier aber auf das Risiko bzw. die Schadensanfälligkeit durch Feuchtigkeit und Brand gelegt werden.

**Ökologische Bilanzierung:  
Bauteilmasse x Umweltindikator = Umweltwirkung**

## Auswertung

Aus der Fülle der erhaltenen Informationen wurden die folgenden Ergebnisse beispielhaft ausgewählt:

Diagramm 1 zeigt die Ermittlung der Umweltwirkungen am Beispiel des Teibhauspotentials für die Phase Herstellung, Nutzung und Beseitigung. Wandaufbau 1 schneidet demnach in der Herstellung am besten ab, in der Nutzungsphase am schlechtesten. Dieses Beispiel macht deutlich, dass eine ökologische Bewertung nur der herstellungphase zur verfälschten Ergebnissen führt. Die hohe Lebens- und Nutzungsdauer von Bauprodukten sowie die damit zusammenhängenden Austauschraten von Bauteilen erfordern jedenfalls eine Bewertung des gesamten Lebensweges („**from cradle to grave**“).

Diagramm 2 zeigt, am Beispiel eines Wandaufbaus (20cm Beton + 15cm WDVS), nicht nur alle 9 untersuchten ökologischen Indikatoren, sondern auch die unterschiedlichen Anteile der Bauteilschichten an den einzelnen Umweltwirkungen. Daraus ist auch zu erkennen, dass eine Aggregation der verschiedenen Umweltwirkungen in Form einer Einzahl-Angabe unzulässig ist. Eine hohe Lebensdauer eines Bauprodukts kann daher höhere Umweltwirkungen in der Herstellung zumindest kompensieren.

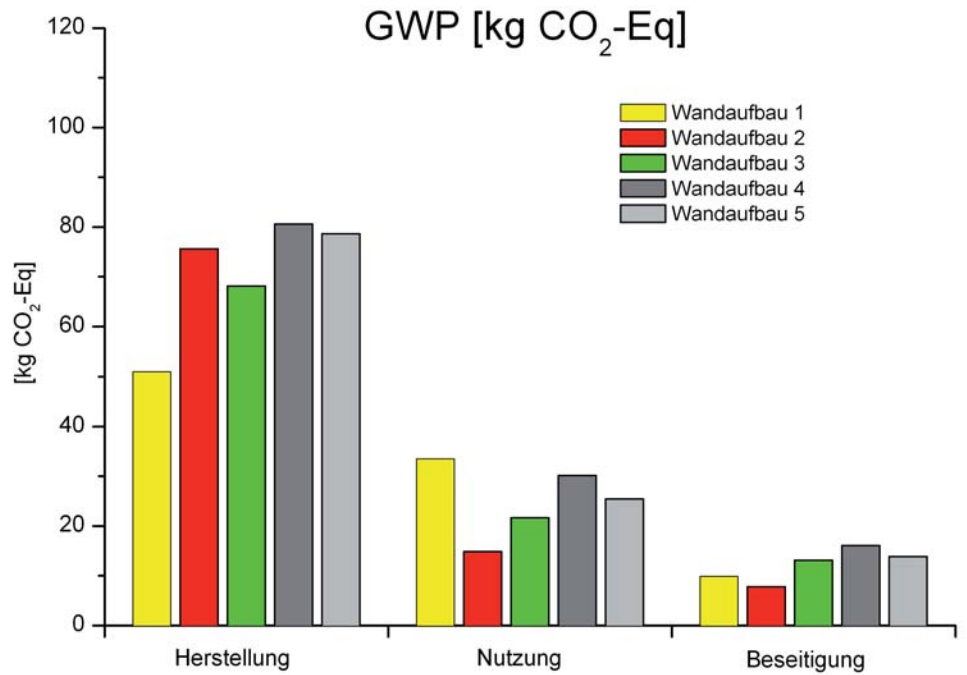


Diagramm 1

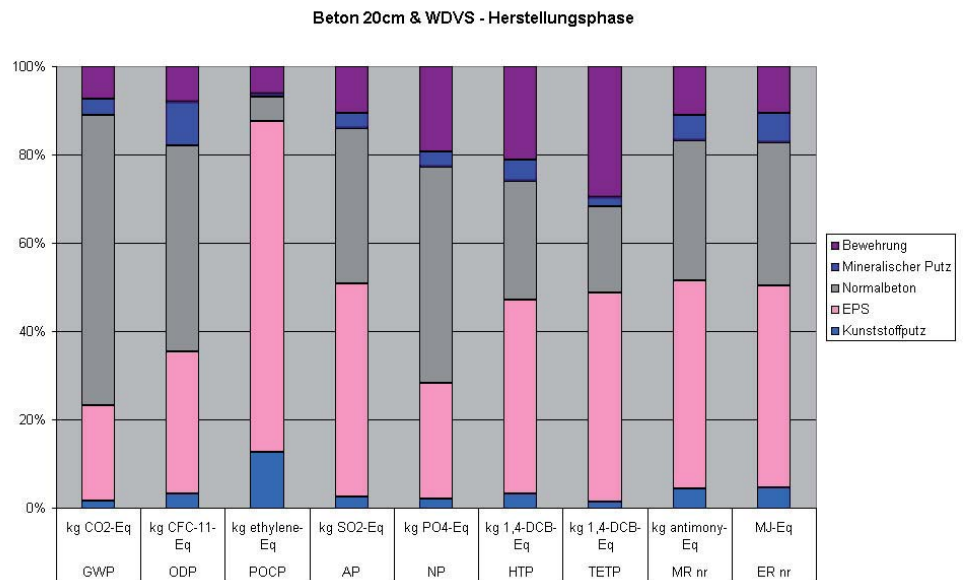


Diagramm 2

**Keine Aggregation von ökologischen Indikatoren!**

## Erläuterung der Ergebnisse

### Grundsätzliches

Die folgenden Schlussfolgerungen stellen einen Auszug der wichtigsten Erkenntnisse dar. Sie sind dem Grunde nach **allgemein gültig**, wurden jedoch am Beispiel der Massivbaustoffe im Detail dargestellt. Damit kann aufgezeigt werden, wie sich **Bauprodukte** in dem sich rasant verändernden Umfeld des Bausektors künftig **positionieren** sollten, um langfristig wettbewerbsfähig zu bleiben.

Ökologische Bewertungen von Bauprodukten enden meistens beim Werkstor des Erzeugers. Bewertungen ganzer Gebäude bilden in der Regel auch nur die Summe der verwendeten Bauprodukte ab, ohne den Transport- und Montageaufwand zu berücksichtigen. Dies gilt insbesondere aber für die gesamte Nutzungs- und Entsorgungsphase, wo nicht nur Daten für die Instandhaltung oder den Rückbau fehlen, sondern auch vielfach Annahmen über Nutzungsdauer und Entsorgungstechnologien getroffen werden müssen.

Für umfassende ökologische Bewertungen sind jedoch **nur vollständige Lebenszyklusanalysen** geeignet, die den gesamten Lebensweg der Bauprodukte und des daraus hergestellten Gebäudes erfassen.

### Vollständige Lebenszyklusanalysen!

Dies betrifft auch den weiterhin zunehmenden Marktanteil der **Sanierungen**, wo sich in Zukunft vermehrt die Frage stellt, ob eine **Sanierung oder ein verwertungsorientierter Rückbau** mit anschließendem **Neubau** in Abhängigkeit vom jeweiligen Standort und der zu erwartenden Restnutzungsdauer ökologisch und ökonomisch sinnvoller ist.

### Sanierung oder Rückbau und Neubau?

### Gebäudebewirtschaftung

Das Schadensrisiko bei außerplanmäßigen Einwirkungen (z.B. Hochwasser, Feuer) ist durch Ökobilanzen nicht abzubilden; dies erforderte eine **Kombination aus ökologischen Bewertungen und Risikoanalysen**, wofür jedoch derzeit brauchbare Instrumente fehlen.

Generell ist ein **Trend zur verstärkten Berücksichtigung von Langzeitaspekten**, insbesondere der Nutzungsphase, in der Bewertung von Immobilien durch institutionelle Investoren zu beobachten. Für die **nachhaltige Bewirtschaftung von Immobilien** resultiert daraus: Lebensdauer, Reparaturfähigkeit, Instandhaltungsaufwand, Demontierbarkeit, Erscheinungsbild und Reinigungsaufwand der Oberflächen etc. als Grundlage der Wertentwicklung einer Immobilie. Die Langzeitaspekte der Baustoffe gewinnen an Bedeutung.



## Kreislaufwirtschaft

Das Bestreben, einen hohen Anteil der verbauten Rohstoffe im Kreislauf zu halten, kann niemals zu einer vollständigen Substitution der Primärrohstoffe führen. Nach aktuellen Schätzungen kann aufgrund der derzeit anfallenden Baurestmassen rund 10% des Bedarf an Rohstoffen für Bauprodukte durch Recyclingbaustoffe ersetzt werden. Mineralische Rohstoffe bieten den Vorteil in Österreich in großen Mengen mit hoher Qualität langfristig verfügbar zu sein.

Erneuerbare Rohstoffe liegen derzeit „im Trend“ und sind vom Standpunkt ökologischer Nachhaltigkeit auch vielfach sinnvoll, jedoch sind dabei einige Einschränkungen zu beachten:

- Sie sind vom ökologischen Standpunkt nur dann als sinnvoll zu betrachten, wenn sie langfristig entsprechend dem Bedarf **in großen Mengen regional verfügbar** sind;
- Als erneuerbar im weiteren Sinne sind nicht nur organische Stoffe wie Holz, Stroh, Flachs etc. zu betrachten, sondern auch mineralische Rohstoffe, wenn sie aufgrund natürlicher Erosionsvorgänge (zufolge Temperaturwechsel, Wasser- und Frosteinwirkung) über Wildbäche und Flüsse ins Meer transportiert werden; eine konsequente und ökologisch nachhaltige Bewirtschaftung dieser „erneuerbaren Ressourcen“ ist bislang noch zu wenig erfolgt, zumal örtliche Verfügbarkeit, Materialeigenschaften und Anforderungen nicht immer korrelieren;
- Mineralische Rohstoffe für die Bauwirtschaft wie z.B. Gesteinskörnungen sind aufgrund der Zusammensetzung der Erdkruste **langfristig in großen Mengen verfügbar**;
- Auch die **Begleitmaßnahmen zur Gewinnung** von erneuerbaren und nicht erneuerbaren Rohstoffen sind zu berücksichtigen: bei mineralischen Rohstoffen kann der Aufwand über die Auswirkungen (etwa auf das Landschaftsbild) bei entsprechendem Bewusstsein gering gehalten werden (bei Steinbrüchen nur mit Einschränkungen), auf der anderen Seite erfordert auch die Holzbringung vor allem im alpinen Raum ein dichtes Forststraßennetz, wofür ebenfalls mineralische Rohstoffe notwendig sind und eine Beeinträchtigung des Landschaftsbildes erfolgt;
- Aufgrund der kostenintensiven Holzgewinnung im alpinen Raum sind zunehmend Holzimporte über große Entfernungen (> 500 km) zu beobachten, was im Gegensatz zu mineralischen Rohstoffen mit hoher Rohdichte zu vergleichsweise großen, aber offenbar noch wirtschaftlich vertretbaren **Transportradien** führt.

Wenn Bauwerke künftig als Rohstofflagerstätten fungieren sollen, **ist deren Kreislauffähigkeit zu planen**; dazu zählen

- Die Trennbarkeit der Baustoffe sowie die Demontierbarkeit der Bauteile,
- Die Verwendung rezyklierbarer (Primär-) Baustoffe,
- Die Verwendung von Sekundärbaustoffen (also Recyclingbaustoffen);

**Kreislauffähigkeit planen!**

## Besonderheiten mehrschichtiger Konstruktionen

Die vergleichenden Analysen von Wandaufbauten haben Besonderheiten von Leichtkonstruktionen gezeigt, die meist unberücksichtigt bleiben:

- Eine Massenermittlung ausschließlich aus dem Regelquerschnitt bildet nicht vollständig den tatsächlichen Materialverbrauch ab, da die konstruktive Durchbildung (z.B. von Ecken, Deckenrosten etc.) sowie die Verbindungsmittel gerade bei Leichtbauweisen nicht vernachlässigbare, **zusätzliche Massen** zur Folge haben; dazu zählt auch der montagebedingte Verschnitt;
- Die **Austauschbarkeit einzelner Bauteile bzw. Bauteilschichten**: die konstruktive Durchbildung insbesondere von industriell vorgefertigten Leichtbauweisen besteht zur Erfüllung aller technischen Anforderungen aus deutlich mehr Schichten als jene von Massivbauweisen; es ist jedoch fraglich, ob beschädigte Schichten (zufolge kürzerer Lebensdauer oder außerplanmäßiger Einwirkungen wie z.B. Wasser oder Feuchtigkeit) ohne erhebliche Zerstörung des Gesamtbauteils (z.B. Außenwand) herausgelöst werden können; dadurch kann sowohl die technische als auch die wirtschaftliche Lebensdauer eines Gebäudes drastisch reduziert werden, was sich mit Ökobilanzen nicht abbilden lässt.

## Integrated Environmental Performance of Buildings (Integrierte Umwelleistung von Gebäuden)

Um die von der EU künftig geforderte Umwelleistung mit hochwertiger Architektur zu kombinieren, benötigen Architekten Planungsinstrumente, die eine entwurfbegleitende Bewertung gestatten.

Ziel der Kommission ist eine bessere Vergleichbarkeit zwischen Gebäuden in ganz Europa, sowie der Austausch von „best practice“ Modellen.

Mit dem Instrument der Lebenszyklusanalyse bzw. der Ökobilanzierung können auf Basis der derzeitigen Datenlagen die Umweltwirkungen von Bauprodukten abgeschätzt werden. Damit kann die Bauproduktauswahl unter ökologischen Gesichtspunkten objektiviert werden.

Um die Zuverlässigkeit der Ergebnisse, vor allem für den direkten Produktvergleich zu steigern, bedarf es aber noch weiterer Informationen:

- Transportradien der Vorprodukte und der Bauprodukte zur Baustelle,
- Montageaufwand bei der Bauwerkerrichtung,
- Nutzungsphase:
  - Nutzungsdauer des Gebäudes
  - Lebensdauer der Bauteile
  - Austauschbarkeit einzelner Bauteilschichten (insbesondere im mehrschichtigen Leichtbau)
  - Instandhaltungsaufwand
  - Schädigungsrisiko zufolge außerplanmäßiger Einwirkungen (Brand, Hochwasser, etc.)
- Entsorgungsphase:
  - Methoden und Technologien zu Rückbau und Verwertung
  - Entsorgungsart: Recycling, thermische Verwertung, Deponierung
  - Transportradien Abbruchstelle – Entsorgungsstelle

## Fazit

Ökologisch optimierte Bauprodukte allein ergeben jedoch noch kein „nachhaltiges Gebäude“. Architektonische Entwurfsqualität in Kombination mit intelligenter Konstruktion werden auch weiterhin Grundvoraussetzung zukunftsfähiger Gebäude sein. Auch an den Forderungen Vitruvs hat sich bis heute nichts geändert.

**Die Technik entwickelt sich vom Primitiven  
über das Komplizierte zum Einfachen.**

(Antoine de Saint Exupery zugeschrieben)

