

# Einfamilienhaus in moderner Holzbau- oder Massivbauweise: eine Öko- und Energiebilanz

Autor(en): **Brunner, Freddie**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **114 (1996)**

Heft 14

PDF erstellt am: **26.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-78942>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Freddie Brunner, Ebnat-Kappel

# Einfamilienhaus in moderner Holzbau- oder Massivbauweise

## Eine Öko- und Energiebilanz

**Im folgenden Artikel wird eine Studie vorgestellt, in der ein Vergleich zwischen einem Einfamilienhaus in moderner Holzbauweise und einem vergleichbaren Einfamilienhaus in Massivbauweise erarbeitet wurde. Die durch die HTL Chur ausgeführte Arbeit gibt einen Überblick über die geschichtliche Entwicklung, die verschiedenen Entscheidungshilfen und Bewertungsmodelle der Energie- und Schadstoffbilanzierung, die Datenbasis und die Datenverknüpfung, Variantenvergleiche und Schlussfolgerungen.**

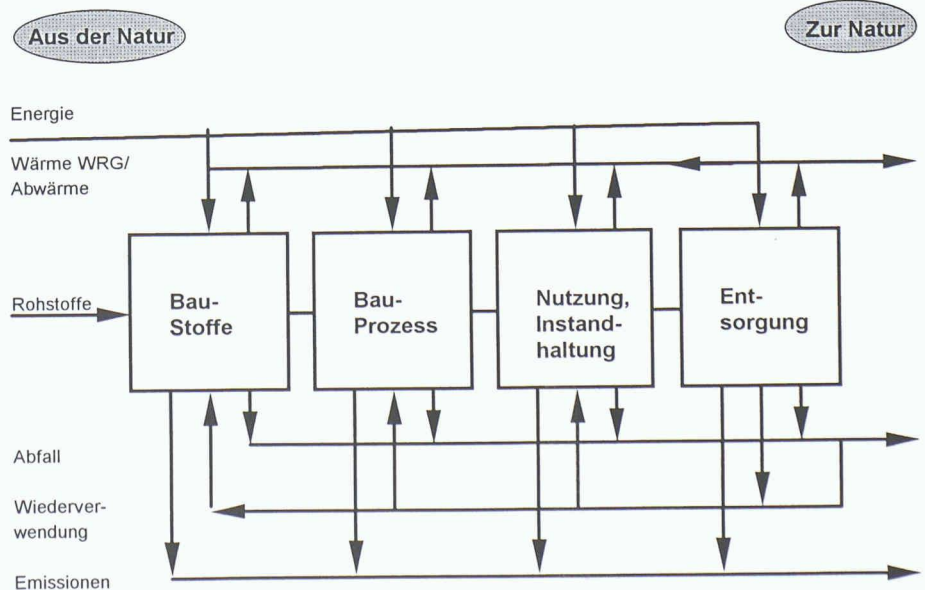
Die zunehmende Inanspruchnahme der natürlichen Ressourcen und die Beeinträchtigung der Regenerationsfähigkeit der Natur gründen einerseits in der steigenden Wohnbevölkerung (Asien, Afrika, Lateinamerika) und andererseits in verstärktem Masse im steigenden Pro-Kopf-Konsum von Umweltgütern in Nordamerika und Europa. Dieser Pro-Kopf-Umweltkonsum ist eine Kehrseite des wachsenden materiellen Wohlstandes. Die Folgen sind heute unübersehbar, und es herrscht weitgehende Übereinstimmung, diesen Trend brechen zu wollen. Alle gesellschaftlichen Ebenen sind gefordert:

- Jedes Individuum ist aufgefordert, seine Werthaltungen und Gewohnheiten bezüglich ökologischer Verträglichkeit zu überprüfen und gleichzeitig die Basis für demokratische, umweltverträgliche Veränderungen zu schaffen
- Unternehmen müssen ihre Wertschöpfung mit weniger Energie- und Materialdurchsatz erbringen
- die politischen Gemeinwesen und gesellschaftlichen Institutionen müssen die Voraussetzungen für umweltgerechtes Handeln schaffen: durch ökologische Reformen von Steuerrecht, Raumplanung, Umwelt- und Wirtschaftspolitik und Ausbildungsangeboten
- auch international sind die Voraussetzungen für umweltgerechtes Verhalten zu schaffen, wie dies beispielsweise an der Konferenz für Umwelt und Entwicklung in Rio begonnen wurde.

	Holzhaus	Massivhaus
Aussenwand	0.24	0.30
Dach	0.24	0.36
Fenster	1.30	1.30
Boden EG	0.54	0.54
Boden UG	0.60	0.60
Wand gegen Erdreich	0.80	0.80

1

Daten zu Energie- und Materialflüssen müssen erarbeitet werden, um die Schwachstellen oder Verbesserungsmöglichkeiten herauskristallisieren zu können. Mit diesen Grundlagen können ökologisch richtige Entscheidungen gefällt werden. Die HTL Chur hat deshalb einen Vergleich zwischen zwei gleichwertigen Einfamilienhäusern angestellt, eines in moderner Holzbauweise, das andere in Massivbauweise. Die nun abgeschlossene Studie bietet nebst Hintergrundinformationen zum Thema Energie- und Ökobilanzen auch eine Kurzfassung der heute allgemein akzeptierten Bewertungsmethoden und -modellen, Erläuterungen zu weiteren Entscheidungshilfen, die Besprechung der Resultate des Vergleiches, einen Überblick über die gegenwärtigen Aktivitäten in der Forschung zu diesem Thema sowie einen kurzen Ausblick in die nähere Zukunft.



2

## Grundlagen

Bilanziert wird ein grösseres Einfamilienhaus mit einem Gebäudevolumen von etwa 532 SIA m<sup>3</sup> und einer Energiebezugsfläche nach SIA 380/1 von 217 m<sup>2</sup>. Das Untergeschoss ist in konventioneller Massivbauweise mit Stahlbeton und Kalksandstein für die Zwischenwände erstellt. Ab der Decke ist die Fassade aus komplett vorfabrizierten Holztafelementen erstellt worden. Die Wärmedämmung wurde konsequent um die Gebäudehülle geführt, so dass kaum Wärmebrücken entstehen konnten. Den Wetterschutz erbringt die hinterlüftete Fassade. Die Fussböden sind mit einer Balkenlage gebildet und mit Hartfaserplatten beplankt. Holzrahmen wurden für die doppelverglaste Wärmeschutzfenster eingesetzt. Die kreuzverleimten Dachbalken gewährleisten einen bewegungsarmen Aufbau des Daches und rissefreie Anschlüsse an die Kniewände.

Um einen bestmöglichen Vergleich herstellen zu können, ist als Pendant ein hypothetisches Haus in konventioneller Massivbauweise mit den gleichen Ausmassen gewählt worden. Der Unterbau entspricht demjenigen des Holzbaus. Die Aussenwände des Oberbaus bestehen aus einem beidseitig verputzten Zweischalen-Mauerwerk aus Modulbacksteinen mit 10 cm Mineralfaser als Kompaktkernwärmedämmung. Das Dach wurde mit 12-cm-Mineralfaserplatten zwischen den Sparren wärmedämmung. Die Böden wurden in Beton angenommen. Die Fenster sowie die Wärmeerzeugungsanlage sind identisch.

Für den Vergleich sind die Bauten gleich gross und mit dem gleichen Ausbaugrad definiert. Der Standort liegt im

1  
k-Werte in  $W/m^2K$

2  
Dynamisches Flussmodell eines Gebäudes  
während seiner Lebensdauer [4]

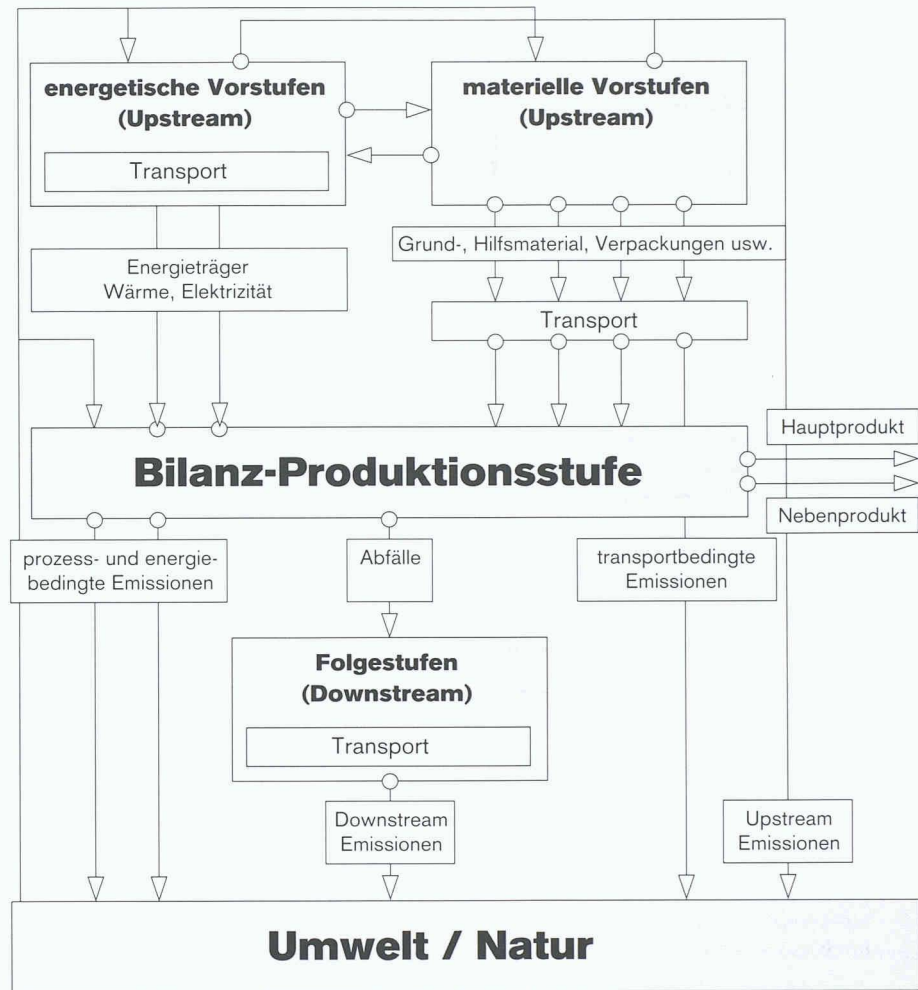
3  
Bilanzmodell [1]

Kanton Appenzell Innerrhoden. Die gesetzlichen wärmetechnischen Anforderungen sind hier noch nicht so streng wie zum Beispiel im Kanton Zürich. Die bauphysikalischen Daten sind in (1) ersichtlich.

Die Gebäudehüllen des Holzhauses und des Massivbaus sind bauphysikalisch unterschiedlich. So ist das Massivhaus energetisch schlechter verglichen mit dem in unserer Arbeit untersuchten Holzbau. Während der angenommenen (theoretischen) Lebensdauer von 80 Jahren wird der Mehrverbrauch an Heizenergie zu 565 GJ (157 MWh oder 15 700 l Heizöl) veranschlagt.

Als Grundlage der Berechnungen lag eine Materialliste gemäss NPK Bau 2000 für die Zimmerarbeiten vor. Weitere Angaben waren zu den einzelnen Bauprozessen erhältlich. Aufgrund des Materialauszuges für den Massivbau konnten die fehlenden Angaben über die Baumeisterarbeiten ergänzt und vervollständigt werden. Weitere Informationen mussten von örtlichen Handwerkern in Erfahrung gebracht und zusammengetragen werden. So ist auch der Materialverbrauch, Prozessaufwand und das Transportvolumen für die Spengler-, Blitzschutz-, Dachdecker- und Malerarbeiten aufgeführt. Im Innenausbau wurden die Materialien, Transporte und Prozesse für die elektrischen Installationen, Heizung, Sanitär mit Hilfe von Baufachleuten abgeschätzt und berücksichtigt.

Alle Zahlen wurden mit den Literaturangaben verglichen und auf die Plausibilität hin überprüft. Die erhobenen und errechneten Daten beziehen sich auf die ganze Lebensdauer des Gebäudes mit Berücksichtigung der unterschiedlichen Nutzungsdauern der einzelnen Elemente. Diese wurden entsprechend der Lebenserwartung in die Berechnung eingesetzt. Die Belastungen der einzelnen Baustoffe und Prozesse beinhalten alle vor- und nachgelagerten Prozesse, sozusagen von der Wiege bis zur Bahre (oder erneuten Wiege?) eines Baustoffes, eines Energieträgers oder eines Prozesses. Bilanziert wurde nur der Normalbetrieb, der Brandfall ist nicht einbezogen worden. Die Risiken aus der Bauprozess- oder Nutzungsphase, der Energiebereitstellung usw. wurden nicht berücksichtigt oder bewertet.



3

Die Wärmeerzeugung geschieht mittels einer modernen LowNO<sub>x</sub>-Ölheizanlage. Der mittlere Verbrauch liegt heizgradtagbereinigt bei 700 kg Heizöl extra leicht für das Holzhaus und wurde als Basis für die Berechnungen benützt.

### Umwelt-Modell

Es ist wohl kein Geheimnis, dass mit der Wahl der Annahmen und Bilanzgrenzen das Resultat einer Ökobilanz-Untersuchung stark beeinflusst werden kann. Deshalb werden im Bericht die Grundlagen in separaten Kapiteln ausführlich erläutert. Es gilt, bestmögliche Transparenz zu schaffen, damit die Untersuchung nachvollzogen werden kann.

Grundsätzlich wurden die Richtlinien der Koordinationsgruppe des Bundes für Energie- und Ökobilanzen [1,2] als Basis genommen. Dieser Vorschlag gibt eine bestmögliche Vereinheitlichung in der Datenbeschaffung und Bilanzierungsgrenzen, lässt aber Raum für die Anwendung verschiedener Bewertungsmodelle.

Im Bericht werden in einem umfangreichen Kapitel die verschiedenen Entscheidungshilfen und Bewertungsmodelle

der Energie- und Stoffflussbilanzierung erläutert und gewürdigt. Ein Gebäude und seine lange Lebensdauer (angenommen 80 Jahre) ist in einer solchen Bilanzierung für die Methodik komplex. Um die nötige Transparenz gewährleisten zu können, wurden für die Darstellung zwei Ressourcennutzungen, sechs Abfallkategorien sowie sieben Bewertungsmodelle gewählt:

- Energie
- Wasser
- Abfälle in Inertstoffdeponie
- Abfälle in Reaktordeponie
- Abfälle in Reststoffdeponie
- Abfälle in KVA
- Abfälle in SAVA
- Abfälle total
- Kritisches Luftvolumen
- Kritisches Wasservolumen
- Umweltbelastungspunkte
- Treibhauseffekt
- Säurebildung
- Photochem. Oxidationsbildung
- Externe Kosten

Jede dieser Methoden stellt für die gleiche Bilanzierung eine Sicht unter verschiedenen dar. Auf eine weitere Aggregation (Zusammenfassung) der verschiedenen

Methoden wird in dieser Arbeit zugunsten der nötigen Transparenz verzichtet.

Gestützt auf die neusten Erkenntnisse der Stoffflussbilanzierung wurde das dynamische Flussmodell (2), kombiniert mit dem Bilanzmodell für die einzelnen Produktionsstufen (3), gewählt.

Nach der Erfassung aller relevanten Stoffströme und Massenflüsse müssen diese mit den «Umweltdaten» verknüpft werden. Die Umweltdaten sind in verschiedenen Publikationen und Datenbanken zugänglich. Für die vorliegende Arbeit wurden die Daten einer Datenbank der Uni Karlsruhe und dem LESO (Laboratoire d'Énergie Solaire) des EPFL benützt. Wo diese für die vorliegende Aufgabenstellung ungenügend waren, konnte mit den kürzlich veröffentlichten Daten der Ökoinventare für Energiesysteme [3] ergänzend gearbeitet werden.

**Resultate**

Für die Darstellung der Resultate sind drei Fälle untersucht worden:

- Herstellung Holzhaus - Massivhaus
- Mehraufwand an Heizenergie des Massivhauses
- Substitution dieser Heizenergiemenge durch zusätzliche Wärmedämmung

Die Tabelle (4) zeigt die spezifischen Belastungen des Holzhauses und des Massivhauses pro m<sup>2</sup> Energiebezugsfläche, aufgeschlüsselt nach den Bewertungsmethoden. Diese Werte weichen von den Resultaten des Schlussberichtes der Studie Energie- und Stoffflussbilanzen von Gebäuden während ihrer Lebensdauer [4] zum Teil stark ab. Dies ist bedingt durch die unterschiedliche Definition des Untersuchungsgegenstandes. Jene behandelt den ganzen Gebäudebestand der Schweiz, wohingegen die vorliegende Studie ein Einzelgebäude zum Ziel hat.

Die Herstellung des untersuchten Holzhauses schneidet bei fast allen benützten Bewertungsmethoden besser ab als ein «handelsübliches» Massivhaus. Einzig bei Abfällen in die Reaktordeponie erreicht der Massivbau günstigere Werte als der Holzbau. Wird die zusätzliche Heizenergie des Massivhauses dazugezählt (entspricht dem Vergleich energetisch gleichwertiger Gebäude), ist der Unterschied zugunsten des Holzhauses noch deutlicher (5).

Wird der Mehrverbrauch an Heizenergie des Massivhauses durch zusätzliche Wärmedämmung substituiert, so schlagen die Belastungen bei der Verwendung von Mineralfaserplatten mit weniger als 0,3% der Belastungen aus der Herstellung des Massivbaus zu Buche, mit Poly-

		Holzhaus	Massivhaus
Wasser	[t/m <sup>2</sup> EBF]	669	732
Energie	[GJ/m <sup>2</sup> EBF]	7	10
Abfälle in Inertstoffdeponie	[kg/m <sup>2</sup> EBF]	79	110
Abfälle in Reaktordeponie	[kg/m <sup>2</sup> EBF]	0.2	0.1
Abfälle in Reststoffdeponie	[kg/m <sup>2</sup> EBF]	3.7	7.2
Abfälle in KVA	[kg/m <sup>2</sup> EBF]	0.13	0.13
Abfälle in SAVA	[kg/m <sup>2</sup> EBF]	0.06	0.08
Abfälle total	[kg/m <sup>2</sup> EBF]	83	118
Kritisches Luftvolumen	[10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> EBF]	2476	3541
Kritisches Wasservolumen	[10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> EBF]	0.6	0.7
Umweltbelastungspunkte	[1000 UBP/m <sup>2</sup> EBF]	446	624
Treibhauseffekt	[kg/m <sup>2</sup> EBF]	402	573

4

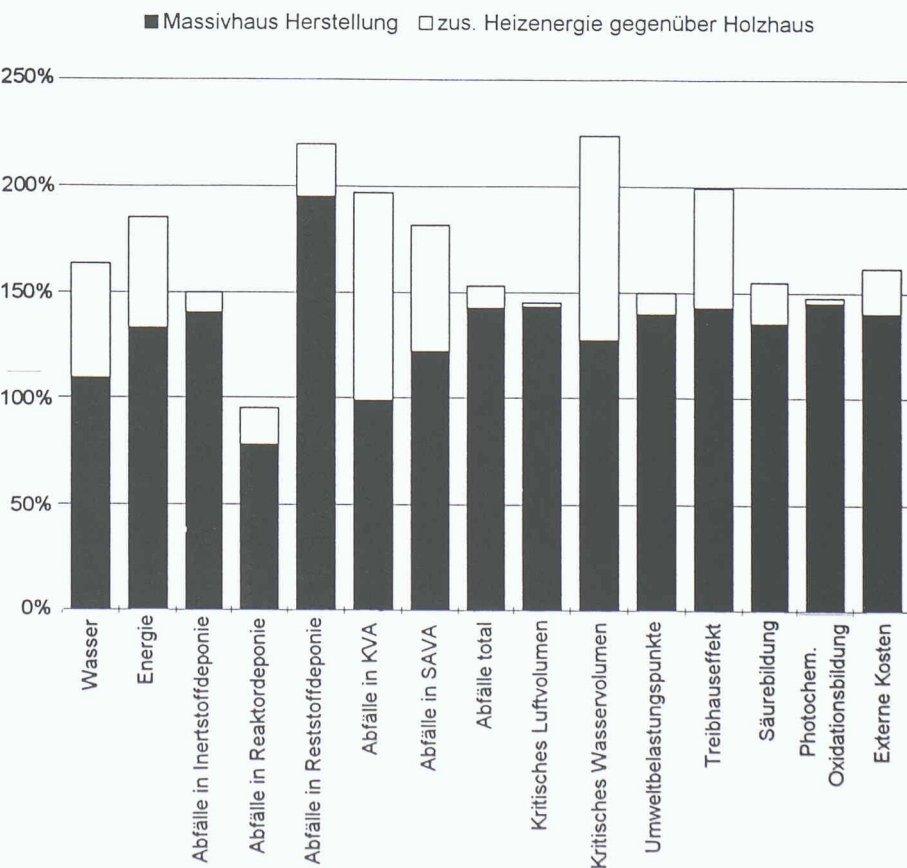
4  
Spezifische Belastungen pro m<sup>2</sup> Energiebezugsfläche nach SIA 380/1

5  
Belastungen je Bewertungsmethode des Massivhauses und zusätzlicher Heizenergiebedarf für die energetisch schlechtere Gebäudehülle (100% als Referenz für das Holzhaus)

6  
Zusätzliche Belastungen aus der zusätzlichen Wärmedämmung (Mineralfaser und Polystyrol) verglichen mit den Belastungen aus der Herstel-

lung/Erneuerung des Massivhauses (=100% als Referenz). Die Darstellung zeigt nur den Ausschnitt bis 1%, die Herstellungsbelastungen des Massivhauses sind aber 100%

7  
Belastungen aus der zusätzlichen Wärmedämmung (Mineralfaser und Polystyrol) verglichen mit den Belastungen aus dem Mehrverbrauch an Heizenergie (=100% als Referenz). Die Darstellung zeigt nur den Ausschnitt bis 7%

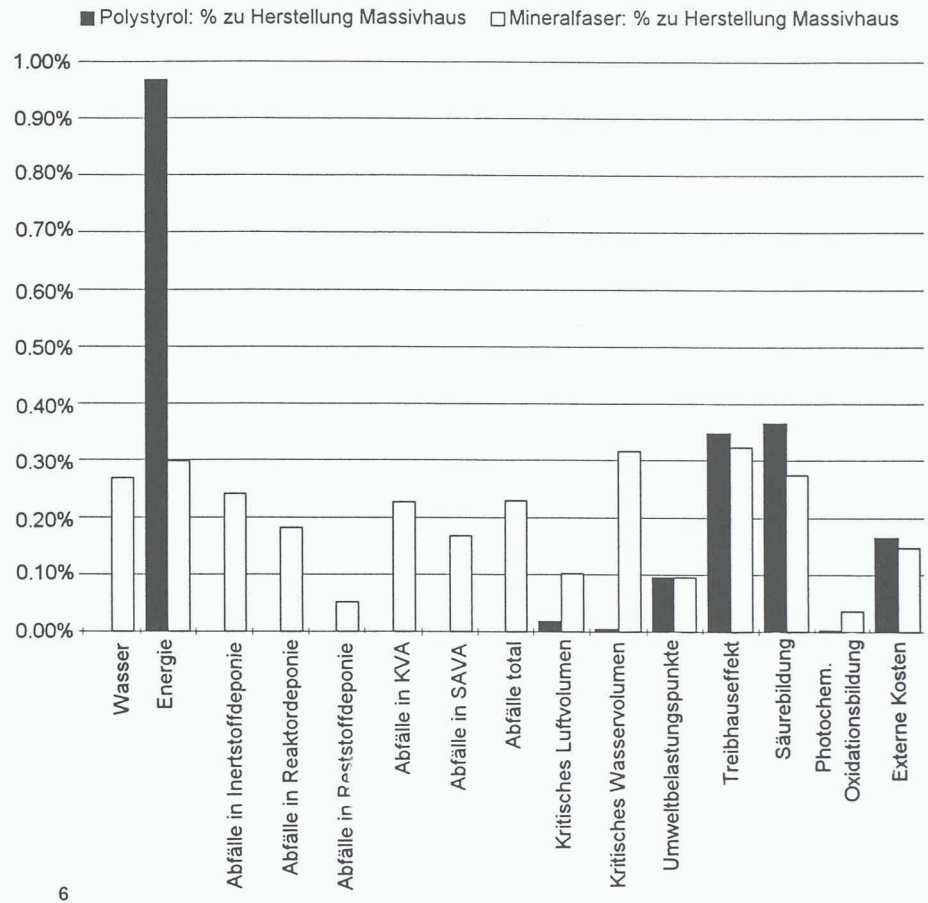


5

styrolplatten unter 1% (6). Sinnvollerweise werden die Belastungen der zusätzlichen Wärmedämmung den Belastungen des Heizenergieverbrauchs gegenübergestellt. Dies zeigt das Diagramm in (7). Auch hier schwanken die Belastungen der zusätzlichen Wärmedämmung nur zwischen 0,2% und maximal 6,6% (beim kritischen Luftvolumen). Mit einer unwesentlichen Mehrbelastung durch Verbesserung der Wärmedämmung über die üblichen 10 bis 12 cm kann sehr viel an Umweltbelastung eingespart werden.

Damit ist aus ökologischer Sicht die Substitution von Heizenergie mit zusätzlicher Wärmedämmung gleich welcher Materialwahl in jedem Fall sinnvoll.

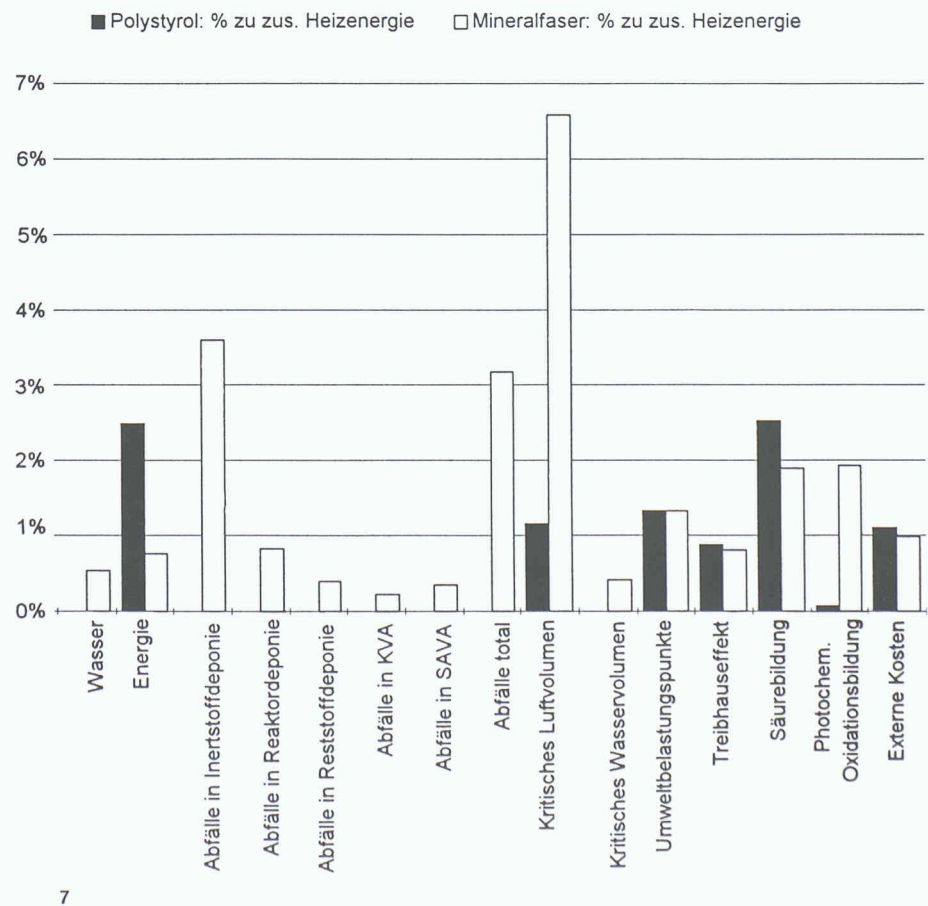
Bleibt noch die (zwar theoretische) Frage, wie stark die zusätzliche Wärmedämmung (ausgehend von einem k-Wert von 1.0 W/m<sup>2</sup>K) aus rein ökologischer Sicht sein kann, damit die Belastungen aufgrund des Einsatzes von Wärmedämmmaterial die Belastungen aus dem Verbrauch von fossiler Heizenergie grösser wird. Die Werte zeigt die Tabelle (8). Ökonomische, bauphysikalische oder wohngyienische Aspekte sind bei diesen Werten nicht berücksichtigt.



**Verbesserungsvorschläge**

Folgende Kriterien sind unter anderen bei der Planung und beim Betrieb von Gebäuden unbedingt vermehrt zu beachten:

- Substitution der Heizenergie durch die (passive) Sonnenenergienutzung
- Speichermassen im Gebäudeinnern nutzen und bewirtschaften (Benutzerverhalten beeinflussen)
- Vermehrte Nutzung von Basisprodukten (wenige hochveredelte Baumaterialien verwenden)
- Holz natürlich (vor-)trocknen (wenig technische Holz Trocknung verwenden)
- Minimieren von Transporten (Herstellung, Betrieb, Rückbau usw.)
- Konstruktive Wetterschutzmassnahmen vorsehen
- Strategie des dauerhaften Bauens beachten
- Bauteile mit gleicher Lebensdauer zu Elementen gliedern
- Renovationszyklen und mögliche Umnutzungen planen
- Rückbaufähigkeit prüfen (wenige Komposite verwenden)
- Bauvolumen und Standort (Pendlertransporte) überdenken
- Ökologische Materialwahl sowohl bei der Herstellung des Gebäudes als auch beim Innenausbau



6

8

Kritische Wärmedämmstärke (Belastungen Materialverbrauch = Belastungen Heizenergieeffizienz) in Abhängigkeit der Bewertungsmethode, Materialwahl und Energieträger

**Literatur:**

[1]

N. Kobler, M. Holliger, T. Lützendorff: Methodische Grundlagen für Energie- und Stoffflussanalysen 1992, ENET 9100186/2

[2]

N. Kobler, M. Holliger, T. Lützendorff: Regeln zur Datenerfassung für Energie- und Stoffflussanalysen 1992, ENET 9100186/3

[3]

R. Frischknecht et al: Ökoinventare für Energiesysteme 1994, ENET 30164

[4]

N. Kobler: Energie- und Stoffflussbilanzen von Gebäuden während ihrer Lebensdauer 1994, ENET 30185

Bewertungsmethode	kritische Wärmedämmstärke [cm]			
	Mineralfaser		Polystyrol	
Wasser	9562	5410	0	0
Energie	6773	6411	2086	1975
Abfälle in Inertstoffdeponie	1441	2484	0	0
Abfälle in Reaktordeponie	6306	426	0	0
Abfälle in Reststoffdeponie	12913	5502	0	0
Abfälle in KVA	22517	13030	0	0
Abfälle in SAVA	15134	1613	0	0
Abfälle total	1633	2535	0	0
Kritisches Luftvolumen	784	317	4494	1829
Kritisches Wasservolumen	12382	728	879477	51979
Umweltbelastungspunkte	3881	1988	3880	1987
Treibhauseffekt	6371	4915	5922	4568
Säurebildung	2735	905	2057	681
Photochemische Oxidationsbildung	2679	769	70102	20202
Externe Kosten	5265	3227	4666	2859

**Schlussfolgerungen**

Durch die verbesserte Wärmedämmung sinkt die Betriebsenergie eines Gebäudes stark. Dadurch wirkt sich die Herstellung und der Rückbau des Gebäudes auf die Umwelt belastender aus. Eine genauere Bilanzierung lohnt sich hier besonders. Ein modern fabrizierter Holzbau ist einem konventionellen Massivbau in fast allen Bewertungsmodellen überlegen. Verbesserungsmöglichkeiten sind bei den typischen Schwachstellen des Holzhauses möglich, vor allem bei der passiven Sonnenenergienutzung durch den bewussten Einbau von Speichermassen. Der Ständer kann mit Grünlingen zu Zwischenwänden aus Lehm ausgefacht werden. Dies begünstigt zusätzlich das Innenklima.

Die Stärke der Wärmedämmung ist aus rein ökologischer Sicht kein Thema, da die Belastungen aus dem Energieverbrauch wesentlich höher sind als die Belastungen der zusätzlichen Wärmedämmung.

Durch konstruktive Ausbildung des Wetterschutzes können die Oberflächenbehandlungen minimiert werden. Hochveredelte Baumaterialien sind Energiever(sch)wender und umweltbelastend.

Die Tendenz sollte zur vermehrten Nutzung von Basismaterialien gehen. Lebenszyklen einzelner Bauteile und Elemente sollten aufeinander abgestimmt und bei der Planung gebührend berücksichtigt werden. Eine Strategie des dauerhaften Bauens muss von der Vorprojektierung an konsequent verfolgt werden.

Gegenwärtig werden 2 bis 3% des Gebäudeparks der Schweiz jährlich erneuert. Der Zeitpunkt ist günstig, ökologische Gesichtspunkte jetzt einfließen zu lassen, damit in 50 Jahren dauerhafte und gesunde Wohn- und Beschäftigungsstätten unserer Kindern überlassen werden können. Man bedenke zudem die enorme Abfallproblematik der Schweiz, wo in der Bauwirtschaft jährlich 75 Millionen Tonnen (!) Baustoffe für Neu- und Umbauten verbraucht und der geschätzten schweizerischen Baumasse von 2300 Millionen Tonnen dazugefügt werden. 7,1 Millionen Tonnen jährlich (etwa 10% des Inputs) fällt als Bauabfall wieder an. Davon werden bescheidene 5% recyclet. Hier liegt ein enormes Potential an Einsparmöglichkeiten und Ressourcenschonung.

In naher Zukunft wird die SIA-Dokumentation 0123 veröffentlicht, worin eine grosse Auswahl von Hochbaukon-

struktionen nach den gleichen ökologischen Kriterien bewertet und beschrieben werden.

Trotz den bekannten Schwachstellen als Leichtbau bietet das untersuchte Holzhaus ökologische Vorteile gegenüber dem Massivbau. Durch Verwendung von Holz kann - auf tieferem Energieniveau - die regionale Waldwirtschaft begünstigt werden, womit auch in diesem Einflussgebiet eine langfristige, nachhaltige Nutzung ermöglicht wird. Die belastenden Transporte können reduziert werden. Der Rückbau ist bei einer guten Planung ebenfalls kein grosses Problem (CO<sub>2</sub>-neutral, sofern nachhaltig bewirtschaftet).

Adresse des Verfassers:

Freddie Brunner, dipl. Ing. HTL, Thurastrasse 48A, 9642 Ebnet-Kappel