

Graue Energie - ein wesentlicher Faktor zur Energieoptimierung von Gebäuden

G. Wind

panSolar - Technisches Büro für Physik, 7000 Eisenstadt, Österreich

Ch. Heschl

Fachhochschulstudiengänge Burgenland GmbH, A-7423 Pinkafeld, Österreich

ABSTRACT: During the whole lifecycle of a low-energy and passive house the required production energy can be higher as the necessary heating energy. The main reason therefore is the high energy demand for the production of the used insulating materials. Consequently the development of modern buildings should consider the heating energy saving as well as the energy for the production of the insulating. Hence in this paper a methodic will be presented which can be used to determine the optimum insulating thickness under consideration of the „Embodied Energy“.

KURZFASSUNG: Während des gesamten Lebenszykluses eines Niedrigenergie- und Passivhauses kann der Herstellungsenergiebedarf wesentlich höher als der erforderliche Heizenergiebedarf sein. Hauptverantwortlich dafür sind Bau- und Dämmstoffen, welche in zahlreichen energieintensiven Umwandlungsschritten hergestellt wurden, wie z.B. Dämmstoffe auf Kunststoffbasis, gebrannte Ziegel. Eine Bewertung der Herstellungsenergie und das durch die Wärmedämmung vorliegende Einsparpotential sollte somit bei der Planung und Entwicklung zukunftsweisender Gebäuden Berücksichtigung finden. Innerhalb der vorliegenden Arbeit wird daher eine Möglichkeit vorgestellt wie optimale Dämmstärken unter Berücksichtigung der „Grauen Energie“ effizient bestimmt werden können.

1 EINLEITUNG

Mit dem Trend zur Niedrig(st)- und Passivhausbauweise stand bisher der Heizenergiebedarf und zuletzt auch der Kühlenergiebedarf im Mittelpunkt der Betrachtung, was sich auch in den Richtlinien zur Berechnung der Energiekennzahlen für den Gebäudeausweis niederschlägt.

Für die Energieoptimierung stellt sich auch die Frage nach dem Herstellungsenergiebedarf:

- Wie viel Energie wird zur Herstellung des Gebäudes eingesetzt?
- Wird der Mehraufwand an Herstellungsenergie, der zur Verbesserung der thermischen Qualität eingesetzt wird, letztlich wieder durch den verminderten Heiz- und Kühlenergiebedarf eingespielt?
- Wie weit ist es sinnvoll, eine Gebäudegeometrie mit ungünstigem Hüllflächen/Nutzflächen-Verhältnis durch größere Dämmstärken auszugleichen, um eine günstigere Energiekennzahl zu erzielen?

Der Energiebedarf zur Herstellung eines Gebäudes hängt von den eingesetzten Baustoffen ab. Im ungünstigen Fall kann die „graue Energie“ für die Gebäudeerrichtung mehr als das 100-fache des jährlichen Heizenergiebedarfs eines Passivhauses betragen. Insbesondere bei den nicht erdberührten Bauteilen beträgt das Verhältnis von energetisch günstigen Konstruktionen zu den ungünstigen bis zu 1:5 (siehe Tabelle 3).

Da die erwartete Lebensdauer eines Passivhauses kürzer als 100 Jahre ist, hat die graue Energie bei Passivhäusern mehr Einfluss auf den Gesamtenergiebedarf als die Heizenergie selbst. Bei der „grauen Energie“ besteht ein erhebliches Einsparungspotenzial, das derzeit jedoch bei der Beurteilung von Gebäudeentwürfen und innerhalb aktueller Fördersysteme kaum Beachtung findet.

2 UMWELTEIGENSCHAFTEN

Grundlage der ökologischen Bewertung sind Ökobilanzen entsprechend ISO 14040. Damit kann die ökologische Baustoffwahl auf wissenschaftliche Erkenntnisse abgestützt werden.

Hierbei werden folgende 3 Umweltgrößen berücksichtigt [1]:

1. Primärenergieaufwand PEI - „Primary Energy Input“: Der gesamte nicht erneuerbare Primärenergieaufwand für die Herstellung eines Baustoffes oder einer Baukonstruktion unter Einbeziehung aller Stoff- und Energieflüsse, samt Nebenprodukte, Abfälle.
Angabe in MJ/kg_{Bausubstanz}.
2. Treibgaspotenzial GWP - Global Warming Potential: erfasst sämtliche klimawirksame Emissionen im gesamten Produktzyklus. Diese Emissionen werden auf die Leitsubstanz CO₂ umgerechnet.
Angabe in kg_{CO₂-equ}/kg_{Bausubstanz}.
3. Versäuerungspotenzial AP (Acidifikation Potential): Die bei der Herstellung, Verarbeitung anfallenden Luftschadstoffe verursachen Säurebildung in der Luft bzw. im Boden („saurer Regen“). Es wird für jede säurebildende Substanz das Potenzial relativ zum Säurebildungspotenzial von Schwefeldioxid angegeben.
Angabe in g_{SO₂-equ}/kg_{Bausubstanz}.

Grundsätzlich gilt: je weniger ein Baustoff bei seiner Herstellung bearbeitet, Wärmebehandlungen unterzogen bzw. chemisch verändert werden, umso niedriger sind die umweltrelevanten Belastungen (AP, GWP, PEI).

Tabelle 1: Umweltrelevante Daten für Grundbaustoffe zur Herstellung von Decken und Wänden. Der PEI wird exemplarisch masse- und volumsbezogen angegeben. [2]

Baustoff	Dichte kg/m ³	AP g/kg	GWP100 kg CO ₂ -eq/kg	PEI massebez. MJ/kg	PEI volumsbez. MJ/m ³
Betonhohlstein	1200	0,428	0,135	0,872	1046,4
Natursteinmauerwerk (zementarm gebunden)	2400	1,24	0,0278	0,45	1080
Ziegel - Hochlochziegel 1200 kg/m ³	1200	0,541	0,19	2,5	3000
Ziegel – porosiert < 600 kg/m ³	600	0,541	0,19	2,5	1500
Ziegel - Klinkerziegel	2000	1,33	0,352	3,58	7160
Porenbeton	400	1,41	0,475	4,24	1696
Normalbeton	2300	0,414	0,132	0,796	1830,8
Stahlbeton	2400	0,55	0,167	1,22	2928

Bei den Grundbaustoffen in Tabelle 1 ist ersichtlich, dass zementarm gebundene Beton- und Naturmauersteine im Bezug auf Umwelteigenschaften deutlich besser abschneiden als der gebrannte Ziegel. Je länger der Brennprozess dauert (z.B. Klinkerziegel), umso schlechter sind die Umwelteigenschaften. Zu beachten ist, dass die Angaben nicht rein massebezogen betrachtet werden dürfen; vielmehr ist der für die Baukonstruktion erforderliche Massenanteil relevant. Massebezogene Werte sind für reine Speichermassen und statisch

beanspruchte Bauteile aussagekräftig. Bei porosierten Baustoffen sind die volumsbezogenen Umweltdaten aufgrund der Masseinsparung günstiger.

Da im Holz im Zuge seines Wachstums CO₂ aus der Atmosphäre bindet, ist der GWP100-Wert (Treibgasemission) von wenig weiterverarbeitetem Holz negativ. Der Primärenergieaufwand von Holz-Baustoffen steigt jedoch rasch mit der Bearbeitungsintensität an („Kammertrocknung“, Verleimen, Hobeln, Zerspanen usw.). Vor allem die künstliche Trocknung und ein hoher Kunstharz-Leimanteil lassen den PEI-Wert rasch ansteigen (siehe Tabelle 2).

Tabelle 2: Umweltrelevante Daten für Holz und holzbasierte Baustoffe [2]

Baustoff	Dichte kg/m ³	AP g/kg	GWP100 kg CO ₂ -eq/kg	PEI MJ/kg
Holz - Schnittholz Fichte rauh, luft-trocken	450	0,335	-1,8	0,716
Holz - Schnittholz Fichte gehobelt, techn.getrock.	450	1,51	-1,63	3,21
Holz-Spanplatte zementgeb.	1250	0,00234	0,255	3,98
Holzwolleplatte magnesitgeb.	400	0,00209	-0,243	5,69
Holz - Massivholzplatte PF 3Schicht	450	2,25	-1,38	7,58
Holz-Spanplatte V100	600	0,00308	-1,24	12,2
Holz-Hartfaserplatte	1000	0,02	-0,42	24,6

Da die Baustoffe oft mehrere und verschiedene Funktionen übernehmen (Statik, Wärmedämmung, Brandschutz) ist ein direkter Vergleich der spezifischen Werte (masse- oder volumsbezogen) nicht sinnvoll. Eine objektive Beurteilung kann daher nur unter Berücksichtigung der Gesamtkonstruktion erfolgen. In den folgenden Tabellen sind Außenwandkonstruktion mit stark unterschiedlichem Herstellungsenergieaufwand dargestellt.

Tabelle 3: Außenwandkonstruktion in Holzriegelbauweise mit niedrigem Herstellungsenergieaufwand PEI-Wert; berechnet mit dem Öbox-Bauteilrechner [3]

Schichten von innen nach aussen	Dicke [cm]	Wärmeleitfähigkeit [W/mK]	Wärme-widerstand [m ² K/W]	PEI [MJ/m ²]	GWP [kg CO ₂ /m ²]	AP [kg SO ₂ /m ²]
Lehmputz 1700 kg/m ³	1	0,81	0,012	8,4	-0,956	0,0026
Lehmbauplatte	2	0,14	0,143	33,1	-0,83	0,0057
Lattung	4	0,204	0,206	2,3	-5,85	0,0011
OSB-Platte	2	0,13	0,154	97,4	-14,80	0,0514
Zellulosefaserdämmstoff zwischen Holzstaffel vertikal	20	0,049	4,266	93,5	-13,76	0,0485
Zellulosefaserdämmstoff zwischen Holzstaffel horizontal	12	0,047	2,670	50,5	-6,30	0,0268
Lattung und Holzbeplankung gehobelt	2,4	0,12	0,200	34,7	-17,60	0,0163
Gesamtes Bauteil	43,4			320	-60,1	0,155

(U=0,128 W/m²K)

Tabelle 4: Ziegelaußenwand mit EPS-Dämmung: hoher Herstellungsenergieaufwand PEI-Wert; berechnet mit dem Öbox-Bauteilrechner [3]

Schichten von innen nach aussen	Dicke [cm]	Wärmeleitfähigkeit [W/mK]	Wärme-widerstand [m ² K/W]	PEI [MJ/m ²]	GWP [kg CO ₂ /m ²]	AP [kg SO ₂ /m ²]
Kalkputz	1,5	0,70	0,021	32,51	3,99	0,0047
Hochlochziegel 1200kg/m ³	25	0,38	0,658	751,0	57,03	0,1623
EPS-F	28	0,04	7,000	599,4	20,21	0,1769
Silikonharzputz	0,5	0,70	0,007	53,6	1,64	0,0127
Gesamtes Bauteil	55,0			1437	82,9	0,357
(U=0,127 W/m²K)						

Tabelle 5: Betonziegel-Außenwand mit Zellulosedämmung in Vorsatzschale – der Herstellungsenergieaufwand ist viel niedriger als bei der Ziegelwand mit EPS; (Öbox-Bauteilrechner [3])

Schichten von innen nach aussen	Dicke [cm]	Wärmeleitfähigkeit [W/mK]	Wärme-widerstand [m ² K/W]	PEI [MJ/m ²]	GWP [kg CO ₂ /m ²]	AP [kg SO ₂ /m ²]
Lehmputz 1700 kg/m ³	1,5	0,81	0,019	12,64	-1,43	0,0038
Betonhohlstein aus Normalbeton	25	0,550	0,455	261,71	40,50	0,1284
OSB-Platte	2	0,13	0,154	97,4	-14,80	0,0514
Zellulosefaserdämmstoff zwischen Holzstaffel vertikal, lufttr.	18	0,045	4,122	43,3	-9,59	0,0262
Zellulosefaserdämmstoff zwischen Holzstaffel horizontal	12	0,047	2,654	29,1	-8,37	0,0175
Baupapier	0,1	0,170	0,003	26,0	0,84	0,0067
Holzfaserverplatte 250kg,m ³	3,2	0,05	0,640	153,0	-7,75	0,0546
Silikatputz armiert	0,5	0,8	0,006	17,3	1,56	0,00550
Gesamtes Bauteil	60,2			543	15,8	0,243
(U=0,124 W/m²K)						

3 UMWELTRELEVANTE DATEN VON WÄRMEDÄMMUNGEN

Die umweltrelevanten Daten müssen bei Dämmstoffen auf deren Dämmfähigkeit bezogen werden, da sich die Dämmstoffe hinsichtlich Wärmeleitfähigkeit und Dichte deutlich unterscheiden. In den nachfolgenden Tabellen ist der Primärenergieaufwand für unterschiedliche Dämmstoffe nach Anwendungen kategorisiert dargestellt.

Während Zellulose deutlich am besten abschneidet (siehe Tabelle 6 und Tabelle 7), fällt auf, dass Holzwolle-Dämmplatten bedingt durch die hohe Dichte (Raumgewicht) deutlich schlechter abschneiden als das für seine schlechten Umwelteigenschaften bekannte Polyurethan (PU). Aus der Sicht des Umweltschutzes sind Holzwolleplatten nur dort einzusetzen, wo sie mehrere Funktionen gleichzeitig erfüllen, z.B. als Unterspanntafel (regendichte Schalung, Winddichtung – daher: minimal erforderliche Schichtdicke wählen).

Tabelle 6: Primärenergiebedarf von Fassadendämmstoffen. Für den Vergleich der Dämmstoffe ist der PEI auf die Dämmfähigkeit zu beziehen (rechte Spalte) [2]

Dämmstoff	Wärmeleitzahl, W/(m.K)	Dichte, kg/m ³	PEI, MJ/kg	PEI bezogen auf Dämmfähigkeit 10 ⁶ .J ² /(m ⁴ .s.K)
EPS	0,04	18	119	86
EPS plus	0,032	15	119	57
PU-Platten	0,03	40	102	122
Flachsdämmplatte	0,04	30	33,2	40
Mineralwolle	0,033	50	32,5	54
Steinwolle	0,04	33	22,2	29
Kork	0,048	120	7,19	41
Calciumsilikat-Platte	0,045	115	4,8	25
Schilf /Strohplatte unverputzt	0,056	190	3,9	41
Holzfaserplatte putzf.	0,045	190	19,1	163
Zellulose (in Holzkonstruktion)	0,039	55	4,24	9

Tabelle 7: Primärenergiebedarf von Hohlraumdämmstoffen. Für den Vergleich der Dämmstoffe ist der PEI auf die Dämmfähigkeit zu beziehen (rechte Spalte). [2]

Dämmstoff	Wärmeleitzahl, W/(m.K)	Dichte, kg/m ³	PEI, MJ/kg	PEI bezogen auf Dämmfähigkeit 10 ⁶ .J ² /(m ⁴ .s.K)
EPS lose	0,044	10	119	52
Flachs	0,04	20	33,2	27
Mineralwolle Dämmfilz	0,035	15	32,5	24
Holzfaser unbelastet	0,039	45	19,1	34
Korkschröt expandiert	0,05	100	7,19	36
Korkschröt natur	0,06	160	7,19	69
Perlite	0,042	85	10,2	36
Perlite hydrophobiert	0,053	145	10,2	78
Schafwolle Dämmfilz	0,04	30	8,77	11
Zellulose	0,039	55	4,24	9

Tabelle 8: Primärenergiebedarf von Dämmstoffen für den Einsatz in erdberührten Bauteilen. Für den Vergleich der Dämmstoffe ist der PEI auf die Dämmfähigkeit zu beziehen (rechte Spalte). [2]

Dämmstoff	Wärmeleitzahl W/(mK)	Dichte kg/m ³	PEI MJ/kg	PEI bezogen auf Dämmfähigkeit 10 ⁶ J ² /(m ⁴ s K)
Schaumglas <= 105 kg/m ³	0,041	105	21,8	94
Schaumglas <= 120 kg/m ³	0,045	120	21,8	118
Schaumglas <= 160 kg/m ³	0,05	160	21,8	174
XPS	0,036	38	107	146
Schaumglasschotter - erdfeucht (keine Staunässe)	0,145	300	21,8	948

4 GESAMTENERGIEBILANZ VON WÄRMEDÄMMUNGEN

Um eine Gesamtenergiebilanz einer Wärmedämmung zu erhalten, werden Herstellungsenergiebedarf für den gesamten Lebenszyklus (Herstellung bis Entsorgung) und Heizenergiebedarf für jeweils 1m² Bauteilfläche addiert. In den folgenden Beispielen wird der Klimastandort Eisenstadt (HGT=3252 K.d/a) und eine Nutzungsdauer von 30 Jahren angenommen. Der zu dämmende Bauteil hat einen Ausgangs-U-Wert von 1 W/(m²K).

Abbildung 1 zeigt die Gesamtenergiebilanz einer Bauteildämmung während der Nutzungsdauer in Abhängigkeit von der Dämmstärke. Die erforderliche Heizenergie nimmt mit zunehmender Dämmstärke zunächst stark ab und wird dann immer flacher. Die Herstellungenergie ist proportional zur Dämmstärke. Dadurch durchläuft die Gesamtenergie ein Minimum, dessen Wert umso niedriger ist, je kleiner der auf die Dämmfähigkeit bezogene Herstellungenergiebedarf ist. Dieser Wert entspricht der optimalen Dämmstärke aus gesamtenergetischer Sicht und zugleich auch der maximalen sinnvollen Dämmstärke. Wird mehr gedämmt, so können die äußeren Dämmstoffschichten den Primärenergieaufwand nicht mehr während der Nutzungsdauer einsparen und verursachen auch unnötig höhere Kosten. Bei kleineren Dämmstärken verursacht der Wärmeverlust eine Erhöhung des Gesamtenergiebedarfs.

Wird die Nutzungsdauer erhöht oder auch bei kälterem Klima, verschiebt sich auch die Lage des energetischen Optimums in Richtung größerer Dämmstärke.

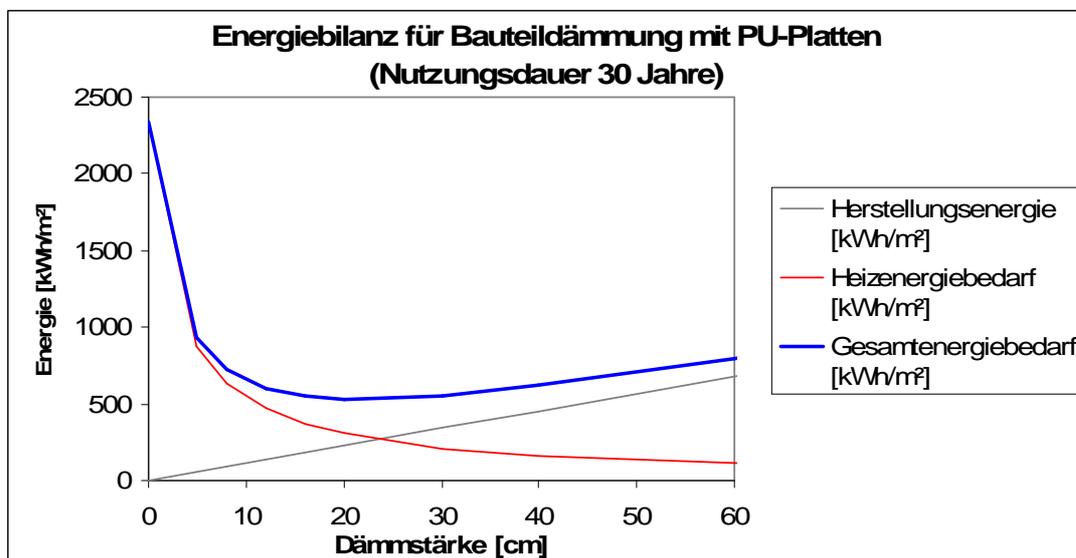


Abbildung 1: Ein Bauteil mit einem U-Wert=1 wird mit Polyurethanplatten (relativ hoher Primärenergieaufwand!) gedämmt. Der Gesamtenergieaufwand erreicht daher bereits bei 20cm Dämmstärke ein Minimum – das entspricht einem U-Wert von ca. 0,13 W/m²K. (Klimastandort: HGT = 3252 K.d/a)

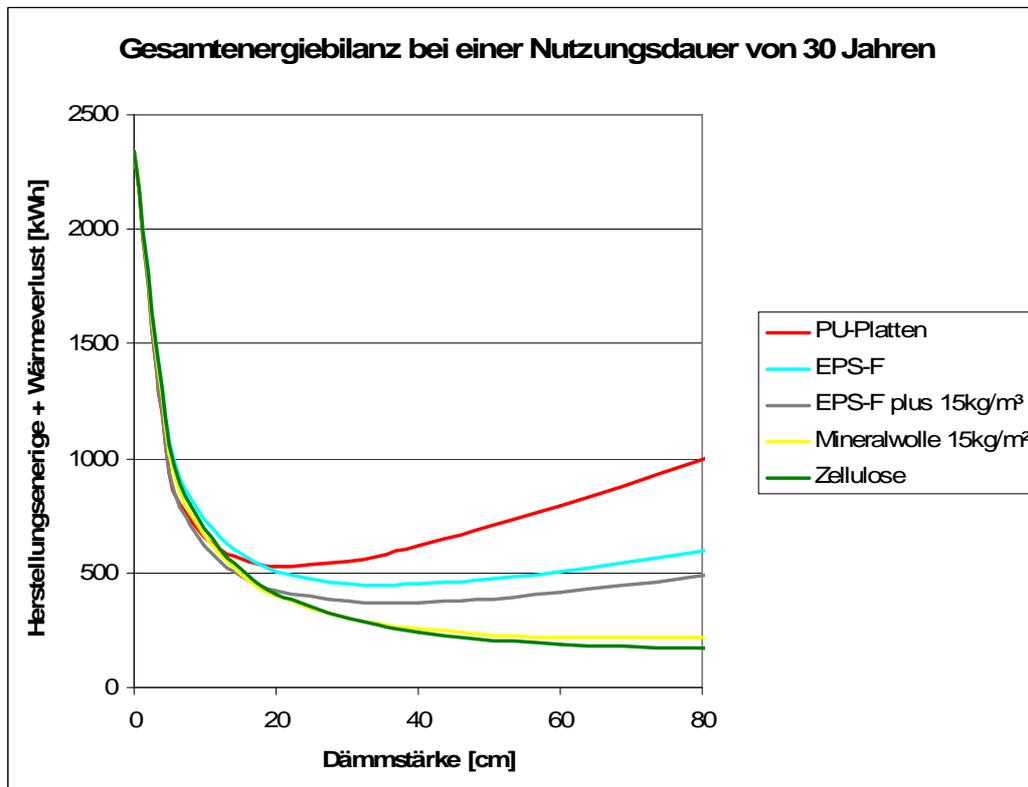


Abbildung 2: Vergleich der Gesamtenergiebilanz verschiedener Dämmstoffe bei einer Nutzungsdauer von 30 Jahren (Klimastandort: HGT = 3252 K.d/a). Das Minimum von Zellulose liegt bei über 1m Dämmstärke.

Die maximale energetisch sinnvolle Dämmstärke (minimal sinnvoller U-Wert) ist dann erreicht, wenn die äußerste Dämmschicht im Laufe seiner Nutzungsperiode gerade soviel Energie einspart, als für deren Herstellung und Entsorgung aufgewendet werden muss.

Der Vergleich verschiedener Dämmstoffe zeigt (siehe Abbildung 2), dass man Dämmstoffe mit niedrigem Herstellungsenergieaufwand (z.B. Cellulose, leichte Mineralwolle - PEI-Werte siehe z.B. Tabelle 6) mit größeren Dämmstärken anwenden darf und dadurch den Gesamtenergieaufwand stärker reduzieren kann.

5 ENERGETISCHE RÜCKLAUFZEIT VON DÄMMSTOFFEN:

Als energetische Rücklaufzeit wird jener Nutzungszeitraum bezeichnet in der die Wärmedämmung soviel Energie eingespart wie für dessen Herstellung erforderlich ist. Sie ist daher nicht nur vom eingesetzten Material und vom Klima des Einsatzortes abhängig, sondern auch von der Dämmungstärke, d.h. vom vorhandenen U-Wert des Bauteils, der durch die Dämmung noch weiter verbessert werden kann bzw.soll.

Zur Veranschaulichung des Sachverhaltes dienen folgende Überlegungen:

- Der Wärmeverlust durch ein Bauteil ist proportional zum U-Wert (Proportionalitätsfaktor hängt nur vom Klima ab)
- Für eine kleine Verbesserung eines schlecht gedämmten Bauteils mit $U=1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ auf $U=0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ (Verbesserung um 0,1) reichen weniger als 0,4cm EPS-Dämmstoff. Möchte man dieselbe Energieeinsparung bei einem gut gedämmten Bauteil mit $U=0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ erzielen, benötigt man 20cm Dämmstoff (gleiche Verbesserung um 0,1). In beiden Fällen

ist die Energieeinsparung gleich, jedoch wird im zweiten Fall 20x mehr Dämmmaterial und ebenso mehr Herstellungsenergie benötigt.

- Je niedriger der U-Wert ist, umso länger dauert es bis die in der Herstellungskette benötigte Energie (PEI) wieder „eingespielt“ wird. Die Wirkung des ersten Dämmstoffzementers ist somit deutlich höher als die des letzten.

Mathematische Berechnung der energetischen Rücklaufzeit:

Für die Ermittlung der energetischen Rücklaufzeit ist es zweckmäßig die Abhängigkeiten in differentieller Form darzustellen.

Wird bei einem Bauteil die Dämmstärke um die Dicke dx erhöht, so nimmt der Wärmewiderstand um dR wie folgt zu:

$$dR = \frac{1}{\lambda} \cdot dx \quad \lambda \dots \text{Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffs} \quad (1)$$

Da der U-Wert der Kehrwert des Wärmewiderstandes ist ($U = \frac{1}{R}$, gilt unter Vernachlässigung der Wärmeübergangszahlen und für eine einschichtige ebene Wand) erhält man für die Ableitung

$$\frac{dU}{dR} = -\frac{1}{R^2} \quad (2)$$

Durch Einsetzen von Gleichung (1) und Ersetzen von R durch $1/U$ erhält man die Änderung des U-Wertes in Abhängigkeit vom U-Wert des Bauteils und der Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffes:

$$dU = -\frac{U^2}{\lambda} \cdot dx \quad (3)$$

Die Energieeinsparung durch Änderung des U-Wertes um dU nach t-Jahren erhält man aus:

$$dQ = dU \cdot A \cdot \frac{84600}{10^6} \cdot HGT \cdot t = -U^2 \cdot \frac{dx}{\lambda} \cdot A \cdot \frac{84600}{10^6} \cdot HGT \cdot t \quad (4)$$

Wobei HGT in Kd/a angegeben wird.

Der zusätzliche Primärenergieaufwand für die Dämmstärke dx beträgt:

$$dQ_p = q_{\text{primär}} \cdot \rho \cdot A \cdot dx \quad (5)$$

Durch Gleichsetzen der Beträge von (4) und (5) erhält man die **energetische Rücklaufzeit t** in Jahren für die äußerste Dämmschicht in Abhängigkeit vom U-Wert des Bauteils:

$$t[a] = \frac{\lambda \left[\frac{W}{m \cdot K} \right] \cdot q_{\text{primär}} \left[\frac{MJ}{kg} \right] \cdot \rho \left[\frac{kg}{m^3} \right]}{HGT \left[\frac{K \cdot d}{a} \right] \cdot 0,0846 \left[\frac{Ms}{d} \right] \cdot U^2 \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]} \quad (6)$$

Tabelle 9: Energetische Rücklaufzeit in Jahren von Fassadendämmstoffen in Abhängigkeit vom U-Wert, der mit dem Dämmstoff erzielt werden soll (die statische Wandkonstruktion wird dabei nicht berücksichtigt, Klimadaten: HGT = 3252 Kd/a) – Möchte man eine Wand mit einem U-Wert=0,1 verbessern, so dauert es mit dem Dämmstoff EPS 31 Jahren bis die äußerste Dämmschicht die Herstellungsenergie wieder eingespart hat. Bei Zellulose sind es hingegen nur rund 3 Jahre (ohne Berücksichtigung der zugehörigen Holzkonstruktion).

U-Wert	EPS-F	EPS-F plus	PU-Platten	Kork	Mineralwolle FDPL	Mineralwolle 15kg/m ³	Schilf, Stroh	Zellulose	Holzfaserverplatten
W/(m ² K)	[Jahre]	[Jahre]	[Jahre]	[Jahre]	[Jahre]	[Jahre]	[Jahre]	[Jahre]	[Jahre]
0,20	8	5	11	4	5	2	4	1	14
0,18	10	6	14	5	6	2	5	1	17
0,16	12	8	17	6	8	3	6	1	21
0,15	14	9	20	7	9	3	7	2	24
0,14	16	11	23	8	10	3	8	2	28
0,13	18	12	26	9	12	4	9	2	33
0,12	22	14	31	10	14	5	10	2	38
0,11	26	17	37	12	16	6	12	3	45
0,10	31	21	44	15	19	7	15	3	55
0,09	38	26	55	19	24	8	19	4	68
0,08	49	32	70	24	30	11	24	5	86

Die energetische Rücklaufzeit sollte kürzer als die erwartete Einsatzdauer des Dämmstoffes sein. Wie die Tabelle 9 zeigt, ist man im ungünstigen Fall mit geschäumten Kunststoffen (EPS, PU) bei U=0,11 bereits im Bereich von 25 Jahren Amortisationszeit (etwa die Nutzungsdauer von Fassaden). Weiters ist ersichtlich, dass Holzfaserverplatten für große Dämmstärken aus ökologischen Gründen ungeeignet sind. Günstig ist wieder die Zellulose.

6 SCHLUSSFOLGERUNG, ZUSAMMENFASSUNG

Die Dämmung bis zum Passivhausstandard (U-Wert um 0,1 W/(m²K)) ist für die meisten Dämmstoffe ökologisch sinnvoll. Mit PU-Platten und herkömmliches EPS ist man jedoch bereits nahe am Grenzbereich.

Für manche „Ökofreaks“ auf den ersten Blick überraschend, haben Holzwolle-Fassadendämmplatten eine sehr lange energetische Rücklaufzeit im Bereich von 50 Jahren, was auf deren hohes Raumgewicht zurückzuführen ist.

Es ist aber ökologisch/energetisch sinnlos, eine stark zergliederte Gebäudehülle mit herkömmlichem EPS auf U=0,08 „hinunterzudämmen“, nur um Passivhausstandard zu erreichen, da hierbei die energetische Rücklaufzeit rasch vergrößert wird.

Der erste Ansatz zur Minimierung der Grauen Energie ist eine kompakte Gebäudehülle. Mit der Minimierung der Gebäudehüllfläche werden Baumaterialien gespart. Bei Dämmstoffen sogar doppelt: um einen vorgegebenen Dämmstandard zu erreichen, darf bei kleiner werdender Hüllfläche der U-Wert etwas größer werden ($\dot{Q} \propto U \cdot A$) – d.h. neben Fläche wird auch Dicke gespart. Anderes ausgedrückt: 10% mehr Hüllfläche erfordert 21% mehr Dämmstoff (quadratische Zunahme), um wieder auf dieselbe Energiekennzahl zu kommen.

Schließlich muss ausdrücklich darauf hingewiesen werden, dass auch bei Passivhäusern im Dämmstoff im Allgemeinen viel weniger „Graue Energie“ als in den übrigen Gebäudeteilen

verbaut wird. Daher muss vor allem auch bei übrigen Gebäudeteilen (Innenwänden, Decken, Fußböden, Einrichtung, ...) die mit installierte „Graue Energie“ minimiert werden.

Zur Beurteilung von Gebäudeentwürfen sollten daher in Zukunft folgende Kriterien verstärkt Einzug halten:

1. Beurteilung eines kompakten Entwurfes (Hülleflächen/Nutzflächen-Verhältnis).
2. Einsatz von Materialien mit geringer „Grauer Energie“

LITERATUR

- [1] ÖKOLOGISCHE BAUMATERIALWAHL MITTELS ÖKOINDEX3, Energieinstitut Vorarlberg, Bmst. Harald Gmeiner
 - [2] „Öbox“-Informationsplattform, www.oebox.at/
 - [3] Bauteilrechner der Öbox, www.oebox.at/btr/
-