

Claus Meier*

Gebäudewärmedämmung im Spannungsfeld zwischen Wirtschaftlichkeit und Umweltschutz

Die Aktivitäten zur Dämmstoffmaximierung nehmen zu. Neuerdings wird dabei dem Umweltschutz eine immer größere Bedeutung zuerkannt. Zur Umweltverbesserung soll noch mehr Energie eingespart werden, das Thema „Niedrigenergiehaus“ wird wieder verstärkt zur Sprache gebracht. Kann nun eine überproportionale Gebäudedämmung tatsächlich die vermuteten großen Schadstoffentlastungen erbringen oder werden hier nicht Hoffnungen geweckt, die am Ende zu großen Enttäuschungen und Verbitterungen führen müssen?

Building insulation: the stretch between cost-saving and environmental protection

Efforts to optimize insulation effectiveness continue to advance along with the growing attention to the importance of environmental considerations. Improvements in environmental quality require even greater conservation of energy, and the „low-energy-house“ is once more an important topic of discussion. Can building insulation that exceeds the norm actually produce the expected great reductions in harmful emissions, or are expectations being created which, in the end, will only lead to extreme disappointment and embitterment?

L'isolation thermique de bâtiment et le difficile problème pour concilier économie et protection de l'environnement

Les activités qui tendent à obtenir le meilleur résultat possible des matériaux isolants prennent de plus en plus d'importance. On accorde également une importance de plus en plus grande à la protection de l'environnement. Pour améliorer notre environnement, il faut réduire encore davantage notre énergie, le sujet „maison à faible consommation d'énergie“ est plus que jamais à l'ordre du jour. Une isolation des constructions à un niveau surdimensionné peut-elle alors vraiment apporter les importantes améliorations que l'on suppose en ce qui concerne les substances polluantes ou cet espoir n'est-il pas si fort qu'il puisse entraîner finalement de sévères déceptions et de grandes amertumes?

1. Einleitung

Maßgebend für sinnvolles Handeln sollte nach [2] sein:

- a) die wirtschaftliche Vertretbarkeit,
- b) die wirkungsvolle Entlastung beim Umweltschutz.

Beide Aspekte sind voneinander nicht zu trennen, wenn maßvolles Vorgehen zur Richtschnur überlegten Handelns gemacht werden soll.

2. Die Wirtschaftlichkeit

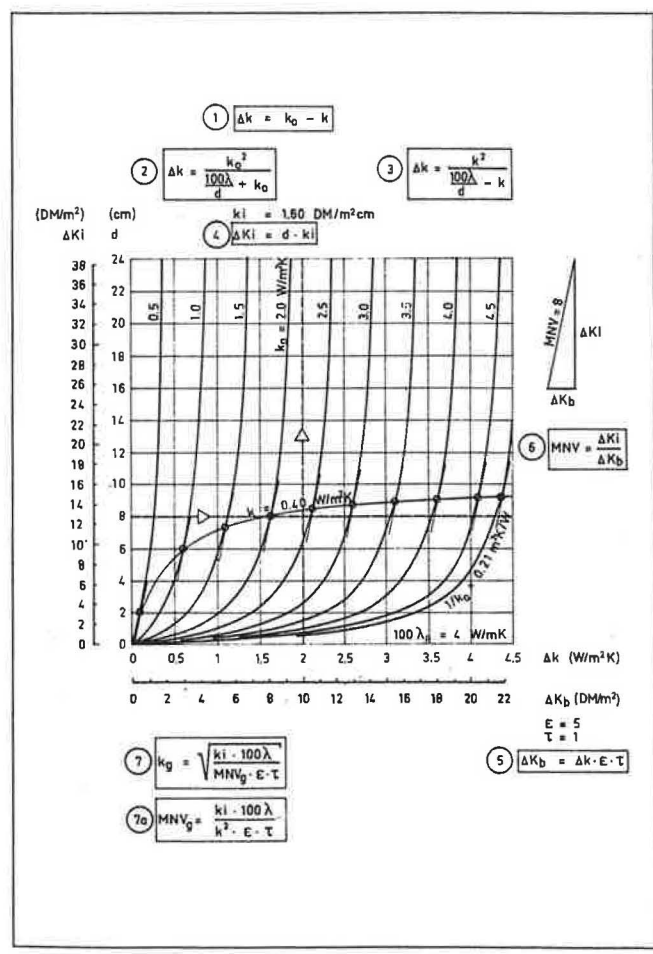
Um über Wirtschaftlichkeit urteilen zu können, muß zunächst einmal gesagt werden, was darunter zu verstehen ist [3].

2.1. Definition von Wirtschaftlichkeit

Wirtschaftlichkeit ist das Beziehungssystem von einmaligem Aufwand und jährlichem Nutzen, beide gleichen sich kapitalmäßig im Laufe der Zeit aus – oder auch nicht. Der Zeitpunkt des Ausgleiches von Aufwand und Nutzen ist der Amortisationszeitpunkt (s. a. in [3], Bild 4.12 und in [4], Abb. 3.6). Es sind dabei insgesamt vier Bereiche einer wirtschaftlichen Wertung zu unterscheiden, wobei die Zuordnung des Mehrkostennutzenverhältnisses (MNV) bei einem etwa 8 %igen Zinssatz und einer 2 bis 4 %igen Verteuerung der Energiekosten erfolgt (s. in [3], Bild 4.22 und in [4], Abb. 3.7):

1. Als *wirtschaftlich* kann eine Maßnahme gelten, wenn maximal etwa 10 bis 12 Jahre Amortisationszeit anzusetzen sind, dies bedeutet ein MNV von unter 8 bis 10.
2. Dann ergibt sich eine *Grenzzone* (12 bis 20 Jahre Amortisationszeit), in der die Wirtschaftlichkeit fraglich wird (Lebensdauer von Maschinen und Aggregaten, schwierige Prognose von Zinssatz und jährlicher Teuerung). Die Grenzzone entspricht einem MNV von 8 bis 15.
3. Eine Maßnahme kann als *unwirtschaftlich* angesehen werden, wenn mehr als 20 Jahre Amortisationszeit ermittelt werden, das entspricht dann einem MNV von über 12 bis 15.
4. Dann gibt es noch den *Divergenzbereich*, in dem sich die beiden Barwertkurven Aufwand und Nutzen überhaupt nicht schneiden. Eine Amortisation findet niemals statt. Divergenz liegt vor bei einem MNV von über 20 bis 25.

Diese vier Bereiche sind in Bild 3 besonders markiert. Das Mehrkostennutzenverhältnis (MNV) wird damit zum allumfassenden Maß für Wirtschaftlichkeit; in der augenblicklichen Phase einer gewissen Konsolidierung der Energiepreise kann von einem MNV von etwa 8 ausgegangen werden.



* Manuskript eingereicht Januar 1990

Bild 1 Wirtschaftliche Grenze von Wärmedämmstoffen

2.2 Die wirtschaftliche Grenze von Wärmedämmstoffen

Wenn bei Gebäudedämmungen die Festlegung der Dämmstoffdicke ansteht, so werden in der allgemeinen Vorstellung über Energieeinsparung meist Größenordnungen genannt, die zu hoch angesetzt sind. Zur Klärung der funktionellen Beziehungen dient Bild 1, ein Wärmeleitkoeffizient λ von 0,04 W/mK ist dabei als konstanter Wert mit eingearbeitet. Es gelten die Formeln 1, 2 und 3 auf Bild 1.

Dem Bild 1 kann entnommen werden:

1. Ein gleicher Aufwand von z. B. 8 cm Dämmung erbringt:
 - a) bei einer schlechten Ausgangskonstruktion (großer k_o -Wert) einen großen k-Wert Unterschied, also einen großen Nutzen,
 - b) bei einer guten Ausgangskonstruktion (kleiner k_o -Wert) einen kleinen k-Wert Unterschied, also einen geringen Nutzen.

Bisherige Energiesparer haben es, wirtschaftlich gesehen, also schwer, die vorhandene relativ gute Konstruktion weiter zu verbessern, bisherige Energieverschwender dagegen erzielen einen gewaltigen Nutzen und können damit leichter den Nachweis der Wirtschaftlichkeit führen.

2. Ein gleicher Nutzen (z. B. ein Δk von 2 W/m² K) wird erreicht:
 - a) bei einer schlechten Ausgangskonstruktion (großer k_o -Wert) durch einen geringen Aufwand, also durch wenig Dämmung,
 - b) bei einer guten Ausgangskonstruktion (kleiner k_o -Wert) durch einen großen Aufwand, also durch viel Dämmung.

Fazit: Viel Dämmung kann wenig Nutzen erbringen, wenig Dämmung kann viel Nutzen erbringen [5].

Bei einer solchen Prämisse ist die Frage durchaus berechtigt, wo denn nun eigentlich die wirtschaftliche Grenze von Dämmstoff liege?

Als Aufwand gelten hier nur die Kosten der Dämmung (Formel 4 auf Bild 1), als Nutzen die Heizkostensparnisse pro Jahr (Formel 5 auf Bild 1). Damit ergeben sich parallele Skalen zu d und Δk . Die ΔKi -Skala gilt für Dämmstoffkosten von 1,60 DM/m² cm, die ΔK_b -Skala für ein ϵ von 5 und ein τ von 1 (Erläuterung von ϵ und τ s. [4] und [6]). Das Mehrkostennutzungsverhältnis zeigt Formel 6 auf Bild 1. Bei einem MNV von 8 als wirtschaftliche Grenze ergibt sich in Bild 1 ein bestimmter Neigungswinkel (bei gleichem Kostenmaßstab dann 1:8).

Wird nun dieser Neigungswinkel jeweils an die einzelnen k_o -Wert-Kurven gelegt, so werden verschiedene Punkte, die Dämmstoffdicken zwischen 2 und 9 cm signalisieren, gefunden.

Bedeutsam jedoch ist, daß die Schar der Tangentenpunkte identisch ist mit der k-Wert-Kurve von 0,4 W/m²K. Trotz unterschiedlicher Ausgangskonstruktionen wird immer das gleiche Ergebnis erzielt; die Willkürlichkeit einer guten oder schlechten Ausgangskonstruktion wird damit aber eliminiert.

Das heißt:

Die wirtschaftliche k-Wert-Grenze von Wärmedämmstoffen wird beschrieben durch:

1. die Kosten k_i des Dämmstoffes (im Beispiel 1,60 DM/m² cm)
2. der Wärmeleitkoeffizient λ des Dämmstoffes (im Beispiel 0,04 W/mK),
3. den Energiekostenkoeffizienten ϵ (im Beispiel 5),
4. den Temperaturkoeffizienten τ (im Beispiel 1) und
5. das Mehrkostennutzungsverhältnis MNV (im Beispiel 8).

Den funktionellen Zusammenhang zeigt Formel 7 auf Bild 1 [4] [6], sie ist in [4], Abb. 4.1, grafisch dargestellt. Die umgestellte Formel liefert das Mehrkostennutzungsverhältnis, das bei einem bestimmten k-Wert erzielt wird (Formel 7a auf Bild 1). Bei Anwendung der Formel 7 wird der Grenzwert k_g :

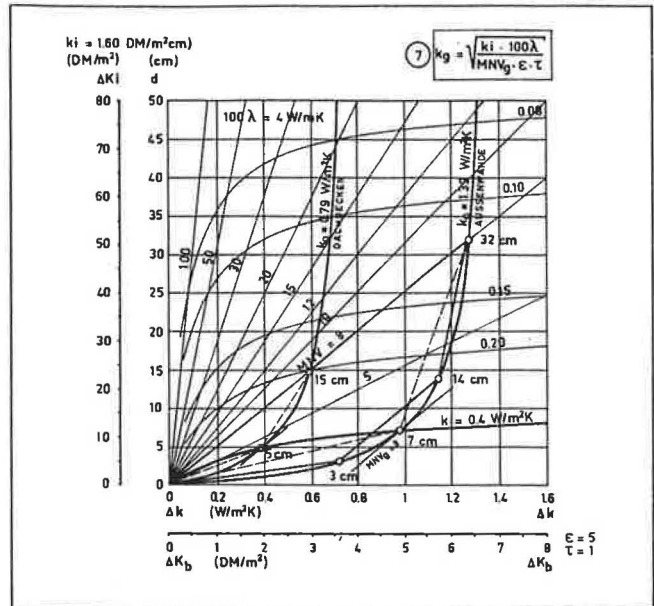


Bild 2 Grenzwertrichtung der Wirtschaftlichkeit

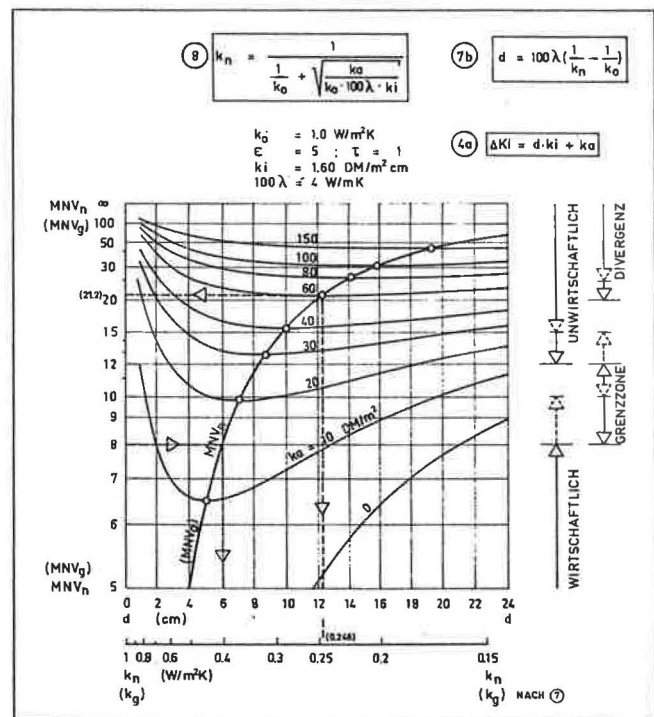


Bild 3 Die wirtschaftliche Grenze von Wärmedämm-Maßnahmen

$$k_g = \sqrt{\frac{1,60 \cdot 4}{8 \cdot 5 \cdot 1}} = 0,4 \text{ W/m}^2\text{K (s. a. Bild 1)}$$

Das bedeutet:

Ein kleinerer k-Wert als 0,4 W/m²K würde bei diesen Randbedingungen wirtschaftlich nicht zu vertreten sein, es ergäbe sich ein größeres Mehrkostennutzungsverhältnis.

Weswegen aber werden dann unverdrossen immer wieder große Dämmstoffdicken propagiert? Hier sind es einseitige Interpretationen, die eine dicke Wärmedämmung als wirtschaftlich erscheinen lassen. Das Bild 2 gibt darüber Auskunft.

Die Randbedingungen sind wiederum: $k_i = 1,60 \text{ DM/m}^2\text{cm}$, $100\lambda_R = 4 \text{ W/mK}$, $\epsilon = 5$ und $\tau = 1$. Als praxisorientierte Ausgangswerte k_o sind die in der DIN 4108, Teil 2, Tab. 1, Zeile 8.2: „Decken

1. Zunächst wird der wirtschaftlich zu vertretende k_g -Wert des „Dämmstoffes an sich“ mit Formel 7 bestimmt.
2. Dann wird gem. Bild 3 der für den Optimalpunkt charakteristische k_n -Wert mit Formel 8 errechnet.
3. Ist der k_n -Wert größer oder gleich dem k_g -Wert, dann ist die Maßnahme wirtschaftlich.

Für eine Lösung auf grafischem Wege wird auf [4], Abb. 4.1 (Formel 7) und auf [4], Abb. 4.3 (Formel 8) verwiesen.

3. Der Umweltschutz

In letzter Zeit wird der Slogan „Wärmeschutz ist Umweltschutz“ immer populärer. Eine Verringerung des Energieverbrauches durch die Raumheizung bedeutet natürlich auch eine geringere Belastung der Umwelt durch Emissionen. Generell muß aber gesagt werden, daß nur eine *merkbar*e Energieeinsparung auch dem Umweltschutz dient. Umweltschutz sind also bauliche Investitionen, wenn dadurch zumindest ein normaler Nutzen erzielt wird.

Da Wirtschaftlichkeit der Quotient von Aufwand und Nutzen ist, können dies sein:

- a) Wirtschaftliche Maßnahmen mit einem normalen Aufwand,
 - b) Unwirtschaftliche Maßnahmen mit einem erhöhten Aufwand.
- Im letzteren Falle müßte geprüft werden, inwieweit der Umweltschutzgedanke nicht Priorität verdient.
- Im Gegensatz dazu verlieren Umweltschutzargumente jedoch ihre Überzeugungskraft, wenn nur *kaum merkbar*e Energieeinsparungen, d. h. ein sehr kleiner Nutzen, erzielt werden.
- Bei einer wirtschaftlichen Würdigung solcher Maßnahmen können dies sein:
- c) Unwirtschaftliche Maßnahmen mit einem normalen Aufwand,
 - d) Wirtschaftliche Maßnahmen mit einem sehr geringen Aufwand.

Der letzte Fall mag überraschen, doch muß auch dies der Vollständigkeit halber mit erwähnt werden. Wirtschaftlichkeit ist also *kein* Indiz für Umweltschutzrelevanz. Es gilt also, die Spreu vom Weizen zu trennen und Lösungen auszuwählen, die nur einen geringen Nutzen, eine geringe Heizmengensparnis erbringen.

3.1 Absolute Heizmengenveränderung

Bei einer Verbesserung der Dämmung wird eine bestimmte Heizölmenge eingespart. Grafisch zeigt dies Bild 4, dabei beschreiben die Sekanten der k_o -Kurven die gem. Formel 9 eingesparte Heizölmenge ΔV_b , bezogen auf den Dämmaufwand d . Die Neigung der Sekante wird damit zum Maß der Effektivität.

Die Außenwand mit einem k_o von $1,39 \text{ W/m}^2\text{K}$ z. B. wird bei einer 3-cm-Dämmung eine Ersparnis von rund 9 l Heizöl erbringen (3 l/cm), dieser günstige Wert wird durch eine steile Sekante angezeigt. Eine weitere Verbesserung um 11 cm (von 3 auf 14 cm) erbringt nur noch eine weitere Ersparnis von rund 5 l Heizöl (0,45 l/cm), der Sprung von 14 auf 32 cm Dämmstoff ($\Delta d = 18 \text{ cm}$) bewirkt jedoch lediglich eine Ersparnis von rund 1,5 l Heizöl (0,08 l/cm).

Die Sekanten werden bei den einzelnen Schritten immer flacher, der Zugewinn an erspartem Heizöl wird immer kleiner, die Effektivität nimmt rapide ab.

Da jedoch diese Sekantenbetrachtung wie bei der Wirtschaftlichkeit zu völlig unterschiedlichen und absurden Ergebnissen führt, muß auch hier die Tangente betrachtet werden. Beim Grenzübergang wird somit die Sekante zur Tangente der k_o -Kurve, zum Verbesserungsmaß V_b [7], [8]. Als Grenzwert der Effektivität soll eine Heizölmenge V_b von $0,5 \text{ l/m}^2 \text{ cm}$ angenommen werden. Dieser Wert ist gerechtfertigt, da

- a) Verbesserungsmaße von 5 bis $8 \text{ l/m}^2 \text{ cm}$ durchaus vorkommen und somit $0,5 \text{ l/m}^2 \text{ cm}$ schon ein recht kleiner Wert ist.
- b) bei einem Mengenverbrauch von etwa 10 l/m^2 dies ca. 5% bedeuten würde.

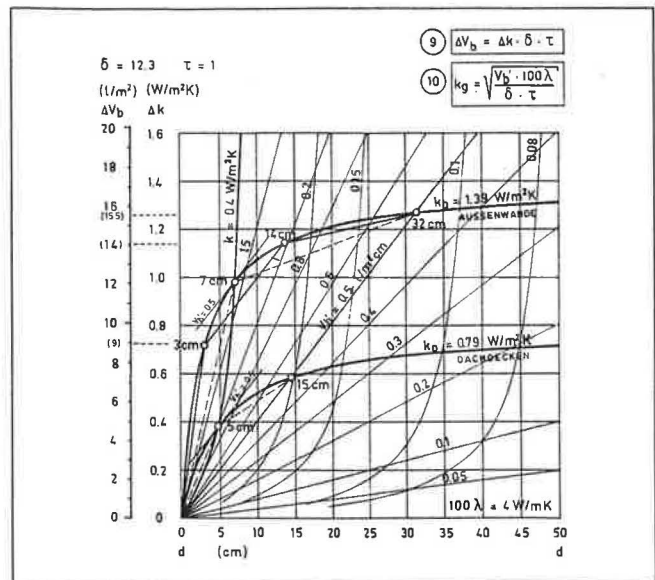


Bild 4 Grenzwertrichtung der absoluten Heizmenge

Wird nun dieser V_b -Wert als Tangente an die k_o -Kurven gelegt, so ergibt sich für die Außenwand ($k_o = 1,39 \text{ W/m}^2\text{K}$) und für die Dachdecke ($k_o = 0,79 \text{ W/m}^2\text{K}$) eine Dämmstoffverbesserung, die jeweils zu einem k -Wert von $0,40 \text{ W/m}^2\text{K}$ führt. Das Verbesserungsmaß V_b kann also unabhängig von willkürlichen Randbedingungen, ähnlich wie bei der Wirtschaftlichkeit, recht genau den Grenzwert k_g fixieren (Formel 10 auf Bild 4) [8].

Bild 5 zeigt grafisch die Zusammenhänge, wobei für den Energiemengenkoeffizienten δ die Formel 11 gilt.

Handhabung von Bild 5

Die in Bild 4 erzielten Ergebnisse können hier nachvollzogen werden. Eine Gradtagzahl GTZ von 4100 Kd (rechte Skala) und der Gesamtwirkungsgrad η der Heizungsanlage von 0,8 (obere Skala) ergeben einen Energiemengenkoeffizienten δ von 12,3 (s. a. Formel 11 und [4]). Der Wärmedurchgangskoeffizient k_g von $0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ (untere Skala) wird daran gespiegelt und liefert die nach links gehende Gerade.

Auf der linken Seite wird zunächst der τ -Wert von 1 (obere Skala) und der Wärmeleitkoeffizient λ von $0,04 \text{ W/mK}$ (linke Skala) zum Schnitt gebracht, an der so erhaltenen Geraden $a = 4$ wird die von rechts kommende Gerade gespiegelt, man erhält das Verbesserungsmaß V_b von $0,5 \text{ l/m}^2 \text{ cm}$ (untere Skala).

Interpretation von Bild 5

Bei Einhaltung der beiden Reflexionsgeraden $\delta = 12,3$ und $a = 4$ kann das Wechselspiel zwischen k_g und V_b an den unteren waage-

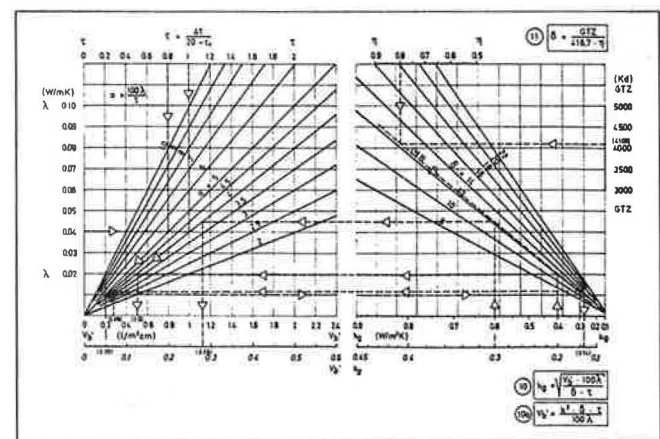


Bild 5 Absolute Heizmengenveränderung

rechten Skalen abgelesen werden. Hierfür stehen entweder die beiden oberen, senkrechten oder die beiden unteren, schrägen Skalenwerte zur Verfügung.

Ein k-Wert von z. B. 0,3 W/m²K würde eine Veränderungsmenge V_b von 0,28 l/m² cm liefern, eine verschwindend geringe Menge! Eine Veränderungsmenge von 0,05 l/m² cm (5 cl) würde bei einem Dach mit einem τ von 0,8 (a = 5) etwa einem k-Wert von 0,14 W/m²K entsprechen. Das bedeutet konkret:

Ein Verändern des k-Wertes von 0,14 W/m²K erbringt ein Heizöl einsparung von 5 cl (Schnapsglas) pro Heizperiode und Quadratmeter, eine kaum wahrnehmbare Heizmengenveränderung und deshalb für den Umweltschutz nicht relevant (beim Niedrigenergiehaus wird für das Dach immerhin ein k_D-Wert von 0,15 bis 0,20 W/m²K empfohlen [1]).

Eine Verbesserung der Wärmedämmung kann oft nur in Teilflächen erfolgen, sei es, daß nur das Dach „energiesparend“ ausgelegt werden soll, sei es, daß z. B. eine Giebelwand zur Debatte steht. In einem solchen Falle muß das auf die Gesamtläche bezogene Verbesserungsmaß V_b (Formel 10a) mit dem Faktor φ, dem Anteil der verbesserten Fläche an der Gesamtläche, vermindert werden (s. Formel 10b auf Bild 6) [8].

3.2 Relative Heizmengenveränderung

Eine Dämmverbesserung ist nur dann sinnvoll, wenn damit insgesamt eine merkbare Einsparung erzielt wird. Bei der relativen Heizmengenveränderung q_m (Formel 12a auf Bild 6) muß die Verbesserungsmenge V_b (nach Formel 10b) auf die gesamten Transmissionswärmeverluste (nach Formel 13) bezogen werden. Das Ergebnis (Formel 12) ist in Bild 6 grafisch dargestellt.

Handhabung von Bild 6

1) Der Broschüre „Wege zum Niedrigenergiehaus“ [1] kann für die Dämmverhältnisse der „WSVO 1982“ ein k_m von 0,77 W/m²K entnommen werden. Es wird ein Dach (Anteil 24 %) mit einem k-Wert von 0,3 W/m²K untersucht.

Folgende Daten sind somit in Bild 6 zu beachten:

- auf der rechten Seite: k_m = 0,77 W/m²K
- φ = 0,24
- k = 0,30 W/m²K
- auf der linken Seite: τ = 0,8 (Dach)
- λ = 0,04 W/mK } mit a = 5

Das Ergebnis ist dann: q_m = 0,66 %.

Nur um weniger als 1 % werden die Transmissionswärmeverluste verringert, wenn das Dach verbessert wird – ein blamables Ergebnis! Und dabei sind noch nicht einmal die Lüftungswärmeverluste und die unvermeidbaren Wärmebrückenverluste mit berücksichtigt, der Prozentsatz würde dann noch niedriger ausfallen!

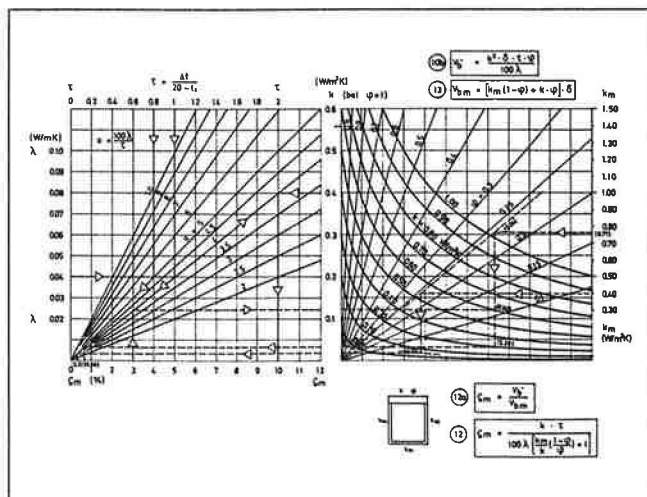


Bild 6 Relative Heizmengenveränderung

2) Wenn als Mindestverbesserung 3 % (Skonto) angesetzt (q_m = 3 %) und energetische Vollbelastung (τ = 1) angenommen werden (a = 4), dann erfüllt bei den Bedingungen der „WSVO von 1982“ (k_m = 0,77 W/m²K) und einem Anteil der zu verbessernden Fläche von rund 25 % (φ = 0,24) schon ein k-Wert von 0,60 W/m²K diese Forderung, d. h., alle besseren k-Werte liegen dann unter 3 % Einsparung.

3) In dem Informationsblatt der Bundesregierung [1] werden für das „Niedrigenergiehaus“ folgende Angaben gemacht: k_m = 0,40 W/m²K und k_D = 0,15 W/m²K. Mit diesen Randbedingungen würde das o. g. Dach (τ = 0,8 und φ = 0,24) ein relatives Verbesserungsmaß q_m von 0,3 % erbringen – eine unvorstellbar kleine Veränderung!

Exkurs:

Dieser Prozentsatz an Energie würde gewonnen werden, wenn verbessert wird. Genauso gilt aber auch: dieser Prozentsatz an Energie würde verloren gehen, wenn der k-Wert nachgelassen wird. Ein Verringern der Superdämmung bedeutet damit eine kaum wahrnehmbare Energieerhöhung, jedoch eine wesentliche Kosteneinsparung in einer Größenordnung, die weit über 0,3 % der Transmissionswärmeverluste liegt. Im Interesse eines kostensparenden Bauens müssen deshalb derartige unnütze Investitionen für Superdämmungen, besonders in Teilbereichen, unterbleiben. Wenn die relative Heizmengenveränderung einer Gesamtläche untersucht wird (φ = 1), dann kann in Bild 6 direkt von der Mittelskala ausgegangen werden.

4. Schlußbemerkung

Wenn durch Energieeinsparungsmaßnahmen keine merkbaren Heizmengen einsparungen erzielt werden, dann wird auch nicht viel für den Umweltschutz getan.

Sowohl absolute als auch relative Heizmengen einsparungen zeigen, daß effektive Umweltentlastungen schon bei k-Werten erzielt werden, die bei 0,40 W/m²K liegen. Superdämmungen, noch dazu nur in Teilbereichen wie den Dachflächen, erfüllen nicht die Erwartungen an einen effektiven Umweltschutz.

Insofern ist es bedauerlich, wenn immer wieder die konstruktive Dämmstoffmaximierung ins Gespräch gebracht wird. Superdämmungen sind sowohl aus wirtschaftlichen als auch aus Gründen der Effektivität nicht gerechtfertigt, sie erbringen für den Umweltschutz nicht den Nutzen, den man allorts glaubt vorgeben zu müssen. Gute Dämmungen zu verbessern ist also auch aus Umweltschutzgründen nicht zu empfehlen.

Abschließend kann gesagt werden:

Wer sinnvollen Wärmeschutz betreibt (k-Werte von 0,40 bis 0,65 W/m²K – 5 bis 8 cm Dämmstoff), der hilft auch sinnvoll dem Umweltschutz. Wer sinnlose Dämmstoffpakete fordert, der erreicht kaum ein Mehr an Umweltschutz, sondern belastet damit nur die Bemühungen für ein kostensparendes Bauen!

Literatur:

- [1] Informationsblatt „Wege zum Niedrigenergiehaus“ des Bundesministers für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau.
- [2] Vierter Immissionsschutzbericht der Bundesregierung (v. 28. 7. 1988).
- [3] Meier, C.: Investitions- und Folgekosten bei Bauvorhaben. Ehningen/Böblingen: expert verlag 1988.
- [4] Meier, C.: Wärmeschutzverordnung und sinnvoller Gebäudewärmeschutz. Wiesbaden und Berlin: Bauverlag 1987.
- [5] Wirtschaftlichkeit von Wärmedämm-Maßnahmen. RG-Bau Merkblatt Nr. 62, 6236 Eschborn.
- [6] Meier, C.: Die wirtschaftliche Gebäudedämmkonzeption. Bauphysik 1986, H. 1, S. 14–19.
- [7] Meier, C.: Energieeinsparung in der Zukunft – bedeutet das die Superdämmung? Bundesbaublatt 1981, H. 9, S. 544–549.
- [8] Meier, C.: Die Grenzwertdämmung als Maß der Effektivität. Berliner Bauwirtschaft 1983, H. 16, S. 372–375.