Die Wärmedämmung von Neubauten nach wirtschaftlich optimalen Gesichtspunkten

Autor(en): **Weiersmüller, René**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **98 (1980)**

Heft 9

PDF erstellt am: **28.03.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-74060

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.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Die Wärmedämmung von Neubauten nach wirtschaftlich optimalen Gesichtspunkten

Von René Weiersmüller, Schlieren

Die Ausrüstung eines Neubaues mit optimalen Wärmeschutzmassnahmen bietet Gelegenheit, mit geringen zusätzlichen Investitionen beträchtliche Einsparungen an Energie und damit an Heizkosten zu realisieren. Spätere Nachisolationen erfordern sehr viel grössere finanzielle Aufwendungen und stellen dann doch nur bestenfalls noch einen Kompromiss dar.

Der nebenstehende Beitrag ist die veränderte und aktualisierte Fassung eines im Mai 1977 in Bern vor der Schweiz. Vereinigung für Gesundheitstechnik (SVG) gehaltenen Vortrags. Die Lage auf dem Energiesektor und somit auch im Bereich der Wärmedämmung hat uns veranlasst, den Text zu veröffentlichen, obschon er bereits in der «Gesundheitstechnik» erschienen ist. Die Ausführungen werden vielen extrem erscheinen; immerhin enthalten sie nach unserer Meinung genügend Substanz für eine kritische und angeregte Diskussion.

Die Planung eines Neubaues erfordert u. a. die Festlegung des Wärmeleistungsbedarfs. Dieser kann durch Addition der Einzelverluste von Aussenwand, Boden, Dach, Türen und Fenstern sowie des Lüftungswärmeverlustes entsprechend der SIA-Empfehlung 380 ausgerechnet werden (Bild 1).

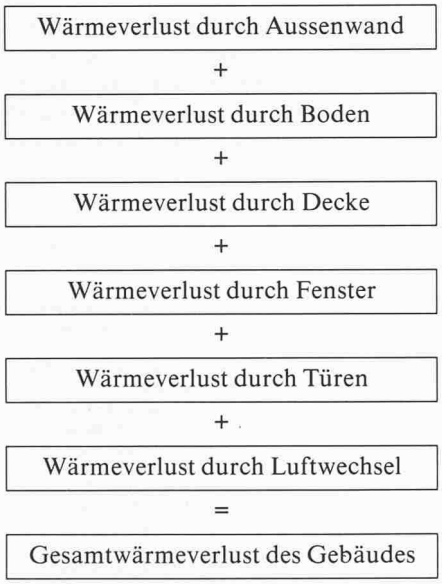


Bild 1. Wärmeleistungsbedarf von Gebäuden

Die Aufsummierung der Verluste ist nur unter der Voraussetzung zulässig, dass die Einzelverluste unabhängig voneinander auftreten, was in der Praxis auch angenähert der Fall ist. *Die Behauptung, die Kette sei so stark wie das schwächste Glied, ist aus diesem Grunde nicht angebracht.* Diese Fehlinterpretation verführt leider allzu oft zur falschen Meinung, «der Hebel sei dort anzusetzen, wo viel zu holen ist», was zu Investitionen verleitet, die im krassen Missverhältnis zum Nutzen stehen.

Die optimale Wärmedämmung eines gegebenen Gebäudes setzt sich aus der Summe aller Einzeloptima zusammen; sie ist also nur durch die wirtschaftlich bestmögliche Verminderung der einzelnen Verluste zu erreichen. Die Berechnungen der Einzeloptima werden zweckmässigerweise an einer Fläche von einem Quadratmeter durchgeführt. (Sofern z. B. das ganze Dach so isoliert wird wie der betrachtete Quadratmeter, ist selbstverständlich sowohl der Quadratmeter wie die ganze Dachfläche «im Optimum»).

Die wirtschaftlich optimale Wärmedämmung bedeutet minimale jährliche Gesamtkosten, bestehend aus den jährlichen Rückzahlungskosten der zusätzlichen Investitionen und den jährlichen Heizkosten. Die Koppelung dieser beiden Kosten ist unbedingt notwendig, da es beim heutigen Stand der Technik ohne weiteres möglich ist, Gebäude ohne Rücksicht auf die Kosten mit einer Wärmedämmung zu versehen, die den Wärmeleistungsbedarf auf einen Bruchteil der üblichen Werte hinunterdrückt.

Bis zu einer gewissen Isolationsstärke sind die Applikationskosten einer Wandisolation, gleich wie die Ausrüstung eines Gebäudes mit Doppel- oder Dreifachverglasung, annähernd konstant, sofern ein statisch ausreichend dimensionierter Maueraufbau ausgewählt wurde, der ohne Änderung mit verschiedenen Isolationsdicken bzw. Verglasungen ausgerüstet werden kann. Variabel sind lediglich die Kosten des Isoliermaterials oder die zusätzlichen Kosten der Dreifachverglasung. *Der Vergleich beschränkt sich daher auf die Erfassung der Mehrkosten einer zusätzlichen Wärmedämmung sowie die daraus resultierenden Ersparnisse.*

Aussenwand

Die folgenden Ausführungen setzen den Willen zur Anbringung einer Wärmedämmschicht voraus, was heute eigentlich eine Selbstverständlichkeit sein sollte. Es geht also um die Beantwortung der Frage, welche Isolationsstärke auf Grund der Randbedingungen (Wärmepreis, Klimalage, Isolationsmaterialpreis und Wärmedämmwirkung des Isolationsmaterials) die kostengünstigste Variante ergibt (Wenn isolieren, dann so!). Ein einfaches Beispiel einer Optimierungsrechnung zeigt Tabelle 1.

Das Kostenminimum liegt bei einer Isolationsstärke von etwa 4 cm. Bei einer Standzeit von 14 Jahren werden aber die jährlichen Tilgungsraten der Isolationsmaterialkosten bedeutend kleiner; die Gesamtkosten liegen daher bei allen Dicken wesentlich tiefer (Tabelle 2). Das Optimum ist nun schon bei etwa 12 cm.

Aus Anschaulichkeitsgründen sind bei beiden Beispielen zwei Einflüsse, mit denen beim normalen Häuserbau zu rechnen ist, übergangen worden: Die Wärmedämmwirkung der Mauer ohne Isolation sowie die Wärmeübergangszahlen Luft / Mauer und Mauer / Luft. Beides kann durch gedanklichen Ersatz der Mauer und den beiden Wärmeübergangszahlen mit einer wärmedämmend gleichwertigen (äquivalenten) Isola-

Tabelle 1. Optimierungsrechnung (Erstes Beispiel)

Metallhäuschen, Standzeit 1 Jahr
Wärmepreis Fr. 0.05/kWh (Heizöl Fr. 43.50/100 kg, Ofenwirkungsgrad 0,75)
4000 Heizgradtage, entspricht 96 000 Heizgradstunden
Isoliermaterialkosten Fr. 1.– pro m² und cm Dicke
Isoliermaterial λ = 0,03 W/mK
Vereinfachung: Nur Wärmeleitung, keine Wärmeübertragungseinflüsse.

Isolation cm	*Wärmeverlust* W/m²K	*Kosten Isolations-Material* Fr./m²	*Heizkosten* Fr./m²	*Gesamtkosten* Fr./m²
0	hoch	0	hoch	hoch
1	3,00	1,—	14,40	15,40
2	1,50	2,—	7,20	9,20
3	1,00	3,—	4,80	7,80
4	0,75	4,—	3,60	7,60
5	0,60	5,—	2,88	7,88

Tabelle 2. Optimierungsrechnung (Zweites Beispiel)

Randbedingungen wie bei Bsp. 1, aber Standzeit 14 Jahre. Für die Kosten des Isoliermaterials müssen, inklusiv 5% Zins, jährlich rund 10% der Investitionen zurück bezahlt werden.

Isolation cm	*Wärmeverlust* W/m²K	*Kosten Isolations-Material* Fr./m² · Jahr	*Heizkosten* Fr./m²	*Gesamtkosten* Fr./m²
0	hoch	0	hoch	hoch
2	1,500	—.20	7.20	7.40
4	0,750	—.40	3.60	4.—
6	0,500	—.60	2.40	3.—
8	0,375	—.80	1.80	2.60
10	0,300	1.—	1.44	2.44
12	0,250	1.20	1.20	2.40
14	0,214	1.40	1.03	2.43
16	0,188	1.60	0.90	2.50

tionsdicke $d_{äq}$ berücksichtigt werden. So entspricht der Wärmedurchgang einer unisolierten, dünnen Mauer etwa einem Wärmeableitungsvermögen von 2 cm Isolationsmaterial. Bezogen auf das Beispiel nach Tabelle 2 würde das bedeuten, dass die kostengünstigste Lösung bei 12 cm–2 cm = 10 cm Isolationsstärke liegt. Die Gesamtkosten kommen dadurch, dass ein kleiner Teil der Wärmedämmung von der für die Statik des Gebäudes notwendigen Mauern übernommen wird, auf Fr. 2.20 je m² an Stelle von Fr. 2.40 je m² herunter. (Das sollte allerdings nicht dazu verführen, eine stärkere Mauer als für die Statik unbedingt notwendig vorzusehen, da dieser scheinbare Gewinn sehr teuer bezahlt werden muss.) Das Optimum wird durch den Einbezug der Mauer usw. nicht verschoben, da ja die Isolationsverstärkung gesucht wird, die noch mehr bringt als kostet. Bei konstanter Kostenzunahme des Isolationsmaterials (nach Tabelle 2 Fr. –.20/je Jahr und m² für 2 cm) bedeutet das die Suche nach dem Heizkostenunterschied pro «Isolationsschritt», welcher mindestens gleichviel einbringt.

Selbstverständlich nimmt der Preis für das Isoliermaterial nicht linear zu (2 cm sind teurer als der vierte Teil von 8 cm); für Optimierungsrechnungen kann aber mit genügender Genauigkeit ein Zehntel des Preises der 10 cm-Platte eingesetzt werden, da in den meisten Fällen eine Stärke in dieser Grössenordnung erhalten wird.

Die genaue Abhängigkeit der Gesamtkosten bei verschiedenen Randbedingungen und variablen Isolationsstärken zeigen die Bilder 2 und 3. Beide Kurvenscharen sind mit

- einer Annuität von 0,08 (Laufzeit 20 Jahre, 5% Zins)
- einem spezifischen Isolationsmaterialpreis von Fr. –.85/cm · m²
- einer Wärmeleitzahl von 0,04 W/m²K
- einem Kesselwirkungsgrad von 0,75
- einem Mauer-*k*-Wert von 1,4 W/m²K (unisoliert) berechnet worden.

Mit zunehmender Isolationsdicke kommen die Gesamtkosten bei einem Heizölpreis von Fr. 37.50/100 kg ziemlich rasch auf eine flache Talsohle hinunter (Bild 2). Eine weitere Verstärkung der Isolation ergibt, bedingt durch die Zunahme der Isolationsmaterialkosten, wieder einen geringen Anstieg der Gesamtkosten. Die Kostenminima liegen, je nach der Anzahl Heizgradtagen, bei verschiedenen Dicken. Wegen des flachen Kurvenverlaufs können für alle drei Klimalagen einige Stärken eingesetzt werden, die selbst im ungünstigsten Fall eine Erhöhung von weniger als 5% der Gesamtkosten ergeben (z. B. 12, 13, 14, 15 cm), was vor allem für eine evtl. Gesetzgebung von grosser Wichtigkeit ist.

Bei gleichen, nicht dem Mimimum entsprechenden Kosten sind stets zwei Isolationsstärken einsetzbar. So ergibt im Falle Klosters eine 9 cm- und eine 25 cm-Isolation die gleichen jährlichen Gesamtkosten.

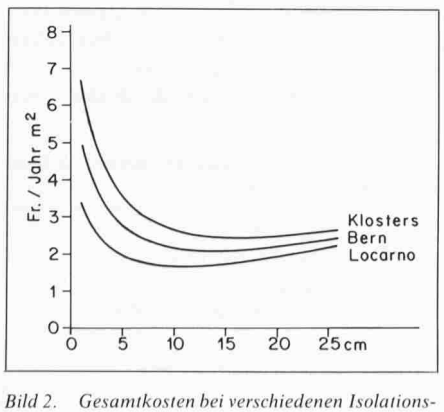


Bild 2. Gesamtkosten bei verschiedenen Isolationsstärken und Klimalagen

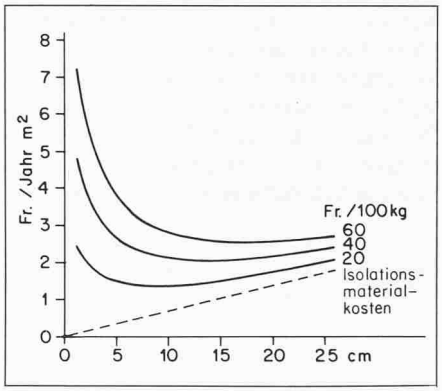


Bild 3. Gesamtkosten bei verschiedenen Isolationsstärken und Heizölpreisen

Die Abhängigkeit der Gesamtkosten bei 4000 Heizgradtagen als Funktion der Isolationsdicke mit verschiedenen Brennstoffpreisen zeigt Bild 3. Bei kleineren Stärken bestehen die Gesamtkosten vorwiegend aus den nicht konstanten, aber langfristig sicher steigenden Brennstoffkosten; die stabilen Rückzahlungskosten für die Isolation sind dagegen klein. Eine fünfzig-prozentige Erhöhung der Brennstoffkosten (und damit ist langfristig zu rechnen!) führt annähernd zu einer gleich grossen Erhöhung der Gesamtkosten, während sich die Gesamtkosten bei verantwortungsbewusster Bauweise, bedingt durch den grossen Anteil an gleichbleibenden Rückzahlungskosten, nur teilweise erhöhen.

Die Vergrösserung des überbauten Volumens ist in den Gesamtkosten nicht berücksichtigt. Ein Einbau der zusätzlichen Landkosten wäre zwar über den Isoliermaterialpreis möglich. Der grössere Landbedarf sollte aber besserwie grosse Schlafzimmer, Rabatten und Wiesen usw. als «komfortbedingte» Investition angesehen werden. Die Weitergabe dieser Kosten an die Mieter oder an den Käufer eines Spekulationsobjektes ist so ohne weiteres möglich. Der etwa um 15 cm geringere Abstand zum Nachbarhaus wurde auch damals nicht hochgespielt, als man glaubte, die Wärmedämmung durch besonders dikke Mauern erbringen zu müssen, Objektspezifisch könnten auch die Faktoren

- kleinere Heizanlage / evtl. kleineres Brennstofflager
- kleinere Heizflächen (z. B. Radiatoren) und / oder tiefere Vorlauf- und Rücklauftemperaturen, bei geeigneten Voraussetzungen verbunden mit einem höheren Heizkesselwirkungsgrad
- tiefere, als angenehm empfundene Raumtemperatur im Winter bzw. angenehmere Temperaturen im Sommer
- Verminderung von finanziellen Risiken bei steigenden Energiekosten

einbezogen werden; sie sollten aber besser als willkommene Nebenerscheinungen betrachtet werden.

Die optimale Isolationsstärke kann auch auf mathematischem Weg bestimmt werden. Dazu ist es notwendig, die Heizkosten (sinkend bei Zunahme der Isolationsstärke) und die Rückzahlungskosten des Isoliermaterials (steigend bei Zunahme der Isolationsstärke) als Funktion auszudrücken.

Die jährlichen Heizkosten (HK, je m²) betragen:

$$(1)\quad HK = k \cdot HZ \cdot 24 \cdot \frac{P_k}{1000 \cdot \eta_{Kessel}}$$

HK: Fr./Jahr · m²

k: Wärmedurchgangszahl (W/m²K)
HZ: Heizgradtage je Jahr (°C · Tage)
P_k: Brennstoffpreis je kWh(Fr./kWh)
η_{Kessel}: Kesselwirkungsgrad

Der k-Wert kann, wie oben erwähnt, durch die äquivalente Isolationsstärke $d_{äq}$ und die zusätzliche Isolationsstärke d_I ersetzt werden:

$$(2)\quad k = \frac{\lambda \cdot 100}{d_{äq} + d_I} = \frac{\lambda \cdot 100}{d'_{tot}} \quad (W/m^2K)$$

$d_{äq}$: Äquivalente Isolationsdicke in cm
d_I: Dicke der zusätzlichen Isolation in cm
d'_{tot}: $d_{äq} + d_I$ Scheinbare Gesamtstärke
λ: Wärmeleitzahl des Isoliermaterials (W/mK)

Die Substitution von k in Gleichung (1) führt zu

$$(3)\quad HK = \frac{2{,}4 \cdot \lambda \cdot HZ \cdot P_k}{d'_{tot} \cdot \eta_{Kessel}} \quad (Fr./Jahr \cdot m^2)$$

Die jährlich aufzubringenden Kosten (Rückzahlung) für das Isolationsmaterial (IK, je m²) betragen:

$$(4)\quad IK = d_I \cdot I \cdot a$$
$$= (d'_{tot} - d_{äq})\, I \cdot a \,(Fr./Jahr \cdot m^2)$$

I: spez. Isolationsmaterialpreis je cm und m²
a: Jährlich gleichbleibender Rückzahlungsfaktor bei x % Zins und einer Laufzeit von y Jahren.

Die jährlich aufzubringenden Gesamtkosten (GK, je m²) sind:

$$(5)\quad GK = HK + IK \quad (Fr./Jahr \cdot m^2)$$
$$= \frac{2{,}4 \cdot \lambda \cdot HZ \cdot P_k}{d'_{tot} \cdot \eta_{Kessel}} + d'_{tot} \cdot I \cdot a - d_{äq} \cdot I \cdot a$$

Das Differenzieren und Nullsetzen der Ableitung von Gleichung (5) führt zur scheinbaren Stärke,

welche die minimalen jährlichen Gesamtkosten ergibt.

$$(6)\quad d'_{tot} = \sqrt{\frac{2{,}4 \cdot \lambda \cdot HZ \cdot P_k}{I \cdot a \cdot \eta Kessel}} \quad (cm)$$

Die tatsächliche optimale Isolationsmaterialdicke $d_{I\,opt}$ wird erhalten, wenn von der scheinbaren Stärke die äquivalente Dicke subtrahiert wird.

$$(7)\quad d_{I\,opt} = \sqrt{\frac{2{,}4 \cdot \lambda \cdot HZ \cdot P_k}{I \cdot a \cdot \eta Kessel}} - d_{äq}\ (cm)$$

Böden

Die Erdtemperaturen verlaufen im Gegensatz zu den Aussentemperaturen stark gedämpft und erreichen, besonders unter einem Gebäude, keine besonders tiefen Werte. Eine genaue Erfassung der mittleren Temperaturdifferenz ist sehr komplex und mit grossen Fehlern behaftet. Bei Böden auf dem Erdreich oder über unbeheizten, in der Erde liegenden Kellerräumen kann die optimale Isolationsstärke bei genügender Genauigkeit mit dem halben Wert der entsprechenden Heizgradzahl nach Gleichung (7) ausgerechnet werden.

Dächer

Bei an geheizten Räumen angrenzenden Dächern muss die vertikale Temperaturverteilung der Räume berücksichtigt werden. Eine approximative Annäherung ist auch hier möglich, indem das 1,2fache der entsprechenden Heizgradzahl in Gleichung (7) eingesetzt und so die optimale Stärke berechnet wird.

Fenster und Türen

Mit Recht werden die Fenster als die eigentlichen Schwachstellen im Wärmehaushalt eines Gebäudes bezeichnet, liegen doch die Wärmeverluste je m² rund eine Zehnerpotenz höher als bei einer optimalen isolierten Aussenwand. Der Hinweis auf die teilweise Nutzbarkeit der Sonneneinstrahlung ist höchstens ein mit vielen Fragezeichen versehenes Argument zur Rechtfertigung von grossen Fensterflächen und kein Grund, auf eine besonders wärmedämmende Verglasung zu verzichten, da sich der Wärmeverlust aus der Wärmedurchgangszahl der Fenster ergibt, welche unabhängig von gleichzeitiger Sonneneinstrahlung ist. (Gewinn bei 2- und 3fach-Verglasung etwa gleich, Verluste bei 2fach-Verglasung grösser). Der Heizaufwand (Transmissionsverlust abzüglich Einstrahlung) bei Fenstern ist während den heizintensivsten Monaten November bis Februar besonders gross, da in den normalerweise kälteren und auch noch sehr langen Nächten weder mit direkter, noch mit diffuser Sonnenstrahlung gerechnet werden kann. Nicht unerwähnt sollen hier auch die Lüftungswärmeverluste durch undichte Fenster- und Türenfugen bleiben. Nach verschiedenen Meinungen erübrigen sich spezielle Fugendichtungen, da die Fugenverluste einen ausreichenden Luftwechsel gewährleisten. Abgesehen von dem damit verschlechterten Schallschutz stört ein Luftwechsel aber durch undichte Fensterfugen das subjektive Wohlbefinden des Bewohners (Zugluft-einflüsse), was nur durch Anhebung der Raumtemperatur *verbunden mit wesentlich höheren Transmissionsverlusten*, behoben werden kann. *Ausserdem bewirken die Fugenverluste auch in unbenützten Räumen einen unnötig hohen Luftwechsel.* Fenster (und Haustüren) sind deshalb mit speziellen Falzdichtungen auszurüsten; der Luftwechsel sollte beeinflussbar, gewollt und selektiv sein.

Optimierungsrechnungen bei Verglasungen sind aufgrund der unterschiedlichen Fensterausführungen sowie den verschiedenen *k*-Werten der Fenster nicht ohne weiteres möglich. Bei einem Neubau- (und auch bei Altbausanierungen) ist es empfehlenswert, sich sonst gleichwertigen Fenstern mit Zwei- oder Dreifach-Verglasung (oder andere speziell wärmedämmende Fenster) offerieren zu lassen. Die Mehrkosten sind mit den Einsparungen zu vergleichen. Auf einfache Art kann dieser Vergleich mit Hilfe des Nomogrammes (Bild 4) bei bestimmten Randbedingungen durchgeführt werden. Durch Einsetzen der Kostendifferenz je m² sowie der *k*-Wert-Verbesserung wird direkt der Brennstoffpreis erhalten, der die zusätzlichen Investitionen noch rechtfertigt. Nicht berücksichtigt ist dabei die Raumbehaglichkeit (Oberflächentemperatur der Raumumschliessungsflächen), deren Gewichtung jedem einzelnen überlassen werden muss.

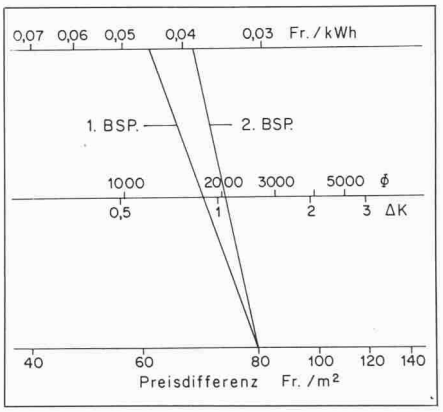


Bild 4. Vergleichsnomogramm

Bei 4000 Heizgradtagen, einem Kesselwirkungsgrad von 0,75 und einer Annuität von 0,065 (30 Jahre, 5% Zins) kann direkt der *k*-Wert-Unterschied eingesetzt werden. Bei anderen Annahmen ist der Wert ∅ auszurechnen und einzusetzen:

$$\varnothing = 0{,}024 \cdot \frac{HZ}{\eta Kessel \cdot a} \cdot \Delta k$$

1. Beispiel

$\Delta k = 0{,}9$ W/m²K

Mehrpreis der Fenster: Fr. 80.–/m²

Ab ~ 0,045 Fr./kWh sehr empfehlenswert

2. Beispiel

Δk	= 0,9 W/m²K
HZ	= 5000 Gradtage
ηKessel	= 0,7
a	= 0,075 (25 Jahre, 5% Zins)

Mehrkosten Fenster Fr. 80.–/m²

∅ **= 2060**

Ab ~ 0.038 Fr./kWh sehr empfehlenswert

Optimierungsrechnung für ein Mehrfamilienhaus

Anschaulicher als die m²-Betrachtung ist die Anwendung der Optimierung auf ein gegebenes Gebäude (Bild 5). Ein Vergleich mit üblichen Wärmeschutzmassnahmen gegenüber einer wirtschaftlich optimalen Ausführung ist insofern etwas problematisch, da durch die Wahl des Mustergebäudes sowie dessen Grundisolation (zum Beispiel mässig wärmegeschütztes Einfamilienhaus im rauhen Klima) die Gesamtkostenunterschiede in weiten Bereichen manipuliert werden können.

Als Mustergebäude wurde deshalb ein

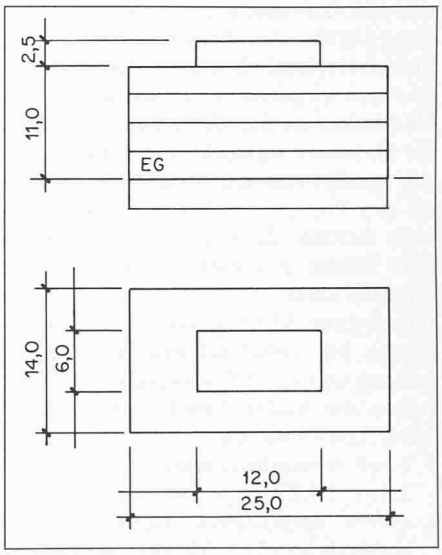


Bild 5. Mehrfamilienhaus (unbeheizter Dachaufbau, unbeheiztes Untergeschoss)

Tabelle 3. Maximal zulässige mittlere k-Werte nach SIA 180/1 ab 1982

$\bar{k}_{zul.} = 0{,}663$ W/m²K
(4000 Gradtage ≙ Zürich 14/22°)

$\bar{k}_{zul.} = 0{,}724$ W/m²K
(4000 Gradtage ≙ St. Gallen 12/20°)

$\bar{k}_{zul.} = 0{,}765$ W/m²K
(3660 Gradtage ≙ Zürich 12/20°)

$C_0 = 0{,}75$ W/m²K

Tabelle 4. Wärmeschutz nach SIA 180/1 ab 1982; $\bar{k}_{SIA}$ = 0,699 W/m²K

Element	*k-Wert unisol.* *[W/m²K]*	*Isolationsdicke* *[cm]*	*k-Wert total* *[W/m²K]*	*Isolationsmaterialkosten* *[Fr./Jahr]*	*Heizkosten* *[Fr./Jahr]*	*Gesamtkosten* *[Fr./Jahr]*
Aussenwand 723 m²	1,5	4	0,600	197.–	2393.–	2590.–
Dach 350 m²	1,5	6	0,462	143.–	892.–	1035.–
Boden 350 m²	1,5	2	0,857	48.–	828.–	876.–
Fenster (2fach) 135 m²			3,1		2309.–	2309.–

normales Mehrfamilienhaus vorgesehen, das die vom SIA ab 1982 «empfohlenen» Wärmeschutzmassnahmen übertrifft. Die zulässigen mittleren *k*-Werte sind in Tabelle 3 aufgeführt, die notwendigen Isolationsmassnahmen und -kosten in Tabelle 4.

Randbedingungen:

P_k = 0,043 Fr./kWh (Fr. 50.–/100 kg Oel)
η_{Kessel} = 0,75
HZ = 4000° d (~ Zürich 14/22°)
I = 0,85 Fr./cm · m²
λ_I = 0,04 W/m²K
a = 0,08 (Laufzeit 20 Jahre, 5% Zins)

Besonders auffallend ist das Missverhältnis zwischen den jährlichen Isolationsmaterialkosten und den Heizkosten. *Die Heizkosten sind im Mittel zehn mal grösser als die Isolationsmaterialkosten.* Bei steigenden Energiekosten wird das Verhältnis noch ungünstiger. Der mittlere *k*-Wert des so wärmegedämmten Gebäudes beträgt 0,747 W/m²K ohne Einbezug der Besonnungsfaktoren und 0,699 W/m²K mit Einbezug der Besonnungsfaktoren.

Der optimale Wärmeschutz sieht selbst ohne Berücksichtigung einer Heizölteuerung tiefgreifendere Massnahmen vor (Tabelle 5). Die jährlichen Isolationsmaterialkosten sind durchwegs in der gleichen Grössenordnung wie die Heizkosten. Es muss aber nochmals betont werden: Die Vergleiche sind nur zulässig, wenn für die doch recht dicke Isolation keine baulichen Veränderungen notwendig werden. Von verschiedenen Stellen ist aber praktisch und theoretisch bewiesen worden, dass die Verarbeitung von solchen Isolationsschichten ohne weiteres möglich ist (vergleiche auch Lit. [8 und 9]). In nordischen Ländern sind solche Massnahmen nichts Aussergewöhnliches; die wenigen Probleme sind dort offenbar – und nicht nur bei Leichtbauten – gelöst worden. Es würde daher den Fachverbänden und den Vereinen wohl anstehen, wenn hier in Sachen Ausbildung mehr getan würde als nur auf grösstenteils imaginäre Schwierigkeiten hinzuweisen. Es muss bei der zu erwartenden Energieverknappung als sicher gelten, dass die hier angeführten, extrem scheinenden Isolationsmassnahmen über kurz oder lang gefordert werden müssen – trotz Widerständen und Salamitaktiken von Interessengruppen. Anstelle einer Verunsicherung der Architekten durch bestenfalls Halbwahrheiten (Wärmespeicherfähigkeit, Bauschäden usw.) hat daher die Erarbeitung von einwandfreien und narrensicheren Lösungen zu treten.

Ein C_o-Wert von 0,75 – dies zeigt der Vergleich mit den für den optimalen Fall errechneten mittleren *k*-Werten deutlich – stellt noch nicht die letzte Weisheit dar. Selbst durch die Verwendung von Doppelverglasung in der optimalen Variante liegt der mittlere *k*-Wert noch wesentlich unter dem zulässigen *k*-Wert.

Eine weitere Verminderung des C_o-Wertes würde aber – und das ist ein weiterer Nachteil der Methode – in geographisch höheren Lagen bei gesteigerten Temperaturansprüchen die Fensterflächen trotz Riesenisolationen sehr stark beschneiden. Dies muss allerdings nicht gegen eine weitere Absenkung des C_o-Wertes sprechen; denkbar wäre beispielsweise auch die Abschaffung oder Änderung der Klima- und Temperaturfaktoren bei einer gleichzeitigen, deutlichen Verminderung von C_o. Als Grundsatz sollte aber nicht gelten, wegen einigen Spezialfällen keinen Mut zu rechten Empfehlungen für die überwiegende Zahl von Normalfällen zu haben. Diese Spezialfälle können immer noch mit einer Ausnahmeregelung gelöst werden.

Doch zurück zum Vergleich: Er beschränkt sich auf die auftretenden Transmissionsverluste. Bei der Berechnung des Gesamtwärmeverlustes eines Gebäudes müssen selbstverständlich auch die Erfassung der Lüftungswärmeverluste erfasst werden. Sie sind im Normalfall wesentlich kleiner als die Summe der Transmissionsverluste, da die tagsüber unbenutzten Räume und nachts (Aussentemperaturen nachts normalerweise tiefer als tagsüber) praktisch das gesamte Gebäude, einigermassen dichte Fenster und Türen vorausgesetzt, einen Luftwechsel von gegen Null aufweisen.

Tabelle 6. Für das Mustergebäude aufsummierte Kosten (Fr./Jahr)

	Isol.-Materialkosten	*Heizkosten*	*Gesamtkosten*
Übliche Variante	388.—	6422.—	6810.—
Optimale Variante	2317.—	2949.—	5266.—

				m²
A_w	Wandflächen	11,00×	78,00	
	abzüglich A_f		135,00	723
A_f	Fensterflächen nach Plan			135
A_d	Dachfläche durchgehend gerechnet	14,00×	25,00	350
A_b	Bodenfläche über unbeheiztem Untergeschoss			350

Die Behauptung, dass der aus dem Wärmeverbrauch resultierende Luftwechsel kleiner sein muss, als vielerorts angenommen wird, kann am Beispiel der Stadt Zürich untermauert werden. Der jährliche Heizölverbrauch der Stadt, reduziert durch die Anteile für die Warmwasserbereitung und Industrie, reicht bei einem Wirkungsgrad von ηKessel = 0,65 nicht einmal ganz zur Deckung für einen durchgehend zweifachen Luftwechsel je Stunde des mit Heizöl beheizten Gebäudeinhalts (das heisst ohne Keller und Dachgeschoss); die Transmissionsverluste von Fenstern, Türen, Aussenwänden, Böden und Dächern sind dabei noch nicht berücksichtigt.

Für den umweltbewussten Bauherrn ist der Unterschied der Heizkosten, die ja den Ölverbrauch und damit die Umweltbelastung repräsentieren, von besonderem Interesse (Tabelle 6). Auch kann mit ziemlicher Sicherheit angenommen werden, dass die Anzahl an

Tabelle 5. Optimaler Wärmeschutz; $\bar{k}_{SIA}$ = 0,314 W/m²K

Element	*k-Wert unisol.* *[W/m²K]*	*Isolationsdicke* *[cm]*	*k-Wert total* *[W/m²K]*	*Isolationsmaterialkosten* *[Fr./Jahr]*	*Heizkosten* *[Fr./Jahr]*	*Gesamtkosten* *[Fr./Jahr]*
Aussenwand 723 m²	1,5	16	0,214	787.–	855.–	1642.–
Dach 350 m²	1,5	18	0,194	428.–	374.–	802.–
Boden 350 m²	1,5	10	0,316	238.–	305.–	543.–
Fenster (3fach) 135 m²			1,9	864.–	1415.–	2279.–

Kohlen- respektive Koksfeuerungen in den nächsten Jahrzehnten wieder zunehmen wird. Bei der Verbrennung von Koks an Stelle von Öl muss mit einem rund dreimal höheren Ausstoss an Schwefeldioxid gerechnet werden; die lufthygienische Bedeutung von Wärmeschutzmassnahmen braucht deshalb nicht besonders herausgestrichen zu werden.

Geldverschiebung je Jahr und Mustergebäude

Die Senkung der Gesamtkosten durch zusätzliche Wärmeschutzmassnahmen ergibt neben dem Geldzufluss für die Schweiz auch einen verminderten Abfluss ins Ausland. Unter der Annahme, dass 20% der Mehrkosten für Wärmeschutzmassnahmen ins Ausland fliessen und 20% der Heizkosten im Inland bleiben, bewirkt eine Ausführung des Musterhauses in der «optimalen Variante» mit Dreifach-Verglasung gegenüber der üblichen Variante Geldverschiebungen (in Fr. pro Jahr), siehe Tabelle 7.

Die Berechnungen erheben keinen Anspruch auf absolute Genauigkeit, zeigen jedoch klar die volkswirtschaftliche Bedeutung einer optimalen Wärmedämmung.

Tabelle 7. Geldverschiebung, bewirkt durch ein «Musterhaus» gegenüber einem konventionellen Haus

	Bauherr bzw. Mieter	*Inland*	*Ausland*
Zusätzliche Aufwendungen für Wärmeschutz	+1929	+1543 (80%)	+386 (20%)
Einsparungen an Brennstoffkosten	−3473	− 695 (20%)	−2778 (80%)
	−1544	+848	−2392

Es ist nicht zu erwarten, dass die auf den Empfehlungen des Bundes aufbauenden Erlasse der Kantone dem Hauseigentümer die für ihn optimale Lösung vorschreiben, da bei einer Gesetzgebung auch noch andere Interessengruppen als die Hauseigentümer, die Energiesparer und die Umweltschützer zu berücksichtigen sind. Die treibende Kraft für eine wohnkostenminimale Wärmedämmung wird daher in naher Zukunft der Bauherr selbst sein.

Literatur

[1] *Attlmayr E.:* «Baukostenminimaler Wärmeschutz» *Heizung - Lüftung - Haustechnik, Heft 10 (1974)*

[2] *Attlmayr E.:* «Wärmespeichervermögen und Wärmeschutz im Wohnungsbau» *Bauindustrie, Heft 3 (1977)*

[3] *SIA-Empfehlung 380:* «Wärmeleistungs-Bedarf von Gebäuden»

[4] *SIA-Empfehlung 180/1:* «Winterlicher Wärmeschutz im Hochbau»

[5] *Weiersmüller R.:* «Die wirtschaftlich optimale Wärmedämmung von Neubauten - Ein Vorschlag für eine Optimierungsrechnung»: *Schweizerische Bauzeitung, 1/2 (1977)*

[6] *Bargetzi S., Hartmann P., Pfiffner I.:* «Messungen des natürlichen Luftwechsels in nicht klimatisierten Wohnräumen» Schweizerische Bauzeitung, 14 (1977)

[7] *H. Mazan und H. Lendi:* «Wirtschaftlichkeit von Wärmeschutzmassnahmen bei Hochbauten» *Temperatur Technik Juli/August (1976)*

[8] *Venosta F.:* «Unsere 30 Jahre Erfahrung im Bau von hochisolierten Wohnungen», SIA-Wettbewerb 1976

[9] *Balzari - Blaser - Schudel:* «Beurteilung von Varianten für Wärmeisolationsvorschriften». Unveröffentlichte Studie für das Eidg. Amt für Energiewirtschaft.

Adresse des Verfassers: *R. Weiersmüller*, Industriestr. 11, 8952 Schlieren

Bauphysik

Die Messung des *k*-Wertes am Bau

Von Jürgen Blaich, Dübendorf

Die *k*-Wert-Messung am Bau durch eine punktweise durchgeführte Ermittlung des Wärmeflusses muss aufgrund theoretischer Überlegungen und vorliegender Messresultate in vielen Fällen als unzuverlässig beurteilt werden. Zuverlässigere Methoden zur Ermittlung des *k*-Wertes sind entweder die Berechnung, beispielsweise nach Norm SIA 180, oder, insbesondere bei inhomogenen Bauteilen, die Messung auf Prüfständen. Der *k*-Wert von Bauteilen ist zwar nicht das einzige, jedoch ein wichtiges Beurteilungskriterium für den Wärmebedarf eines Gebäudes. Die *k*-Wert-Messung am Bau entspricht daher einem Bedürfnis, insbesondere des Bauherrn. Die EMPA Dübendorf versucht diesem Bedürfnis zu entsprechen, indem durch ein laufendes Forschungsprogramm die Möglichkeit für eine zuverlässige *k*-Wert-Messung am Bau untersucht werden sollen.

Im Gefolge von Energieverteuerung und neuem Energiebewusstsein im Bauwesen sind Messgeräte auf dem Markt erschienen, mit denen angeblich der *k*-Wert von Bauteilen am Bau gemessen werden kann. Die Messung beruht bei diesen Geräten auf der *punktweise durchgeführten Ermittlung des Wärmeflusses*. Ebenfalls im Gefolge der Energieverteuerung wurden die vom SIA empfohlenen *k*-Werte für Gebäude in der soeben erschienenen Ausgabe der SIA-Empfehlung 180/1 verschärft.

Es scheint naheliegend, die Möglichkeit der *k*-Wert-Messung am Bau zur Überprüfung der Einhaltung der SIA-Empfehlung zu verwenden. Diese insbesondere für den Bauherrn begrüssenswerte Möglichkeit muss jedoch aufgrund von *Versuchsmessungen*, die von der EMPA Dübendorf durchgeführt wurden, in vielen Fällen *in Frage gestellt* werden. Weder die heute bei handelsüblichen Geräten angewandten Messmethoden, noch der Stand der Erkenntnisse zu den erforderlichen bzw. tolerierbaren Messbedingungen sind ausreichend, um zur Zeit eine zuverlässige *k*-Wert-Messung am Gebäude zu ermöglichen.

Die von der EMPA durchgeführten Messungen an Gebäuden erstrecken sich auf einen Zeitraum von insgesamt *550 Mess-Stunden*. Es wurde sowohl in klimatisierten als auch in nichtklimatisierten Gebäuden der *k-Wert von Aussenwänden* ermittelt. Für die Messungen wurde ein handelsübliches Gerät verwendet, das die Messergebnisse auf einem Punktschreiber registrierte.

Bei den Messungen wurden erhebliche *Abweichungen zwischen dem rechnerischen und dem am Bau gemessenen k-Wert* festgestellt. Die gemessenen Werte lagen zwischen dem 3. Teil und dem 3fachen der Rechenwerte. In diesem Streubereich sind vereinzelt gemessene negative *k*-Werte, die wegen Umkehrung des Wärmeflusses bei nächtlicher Reduktion von Heizungen auftraten, nicht berücksichtigt. *Schwankungen* der Messwerte waren besonders ausgeprägt bei Bauteilen mit hohem