Zur Bestimmung der optimalen Wärmedämmung

Autor(en): **Arbenz, Benno**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **100 (1982)**

Heft 25

PDF erstellt am: **29.03.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-74825

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

Zur Bestimmung der optimalen Wärmedämmung

Von Benno Arbenz, Zürich

Die Erfahrungen zeigen, dass zu den wichtigsten Energiesparmassnahmen eine optimale Wärmedämmung der Gebäudehülle gehört, eine Erkenntnis, die sich in den letzten Jahren allgemein durchgesetzt hat. Der SIA hat sich schon frühzeitig diesem Problem angenommen und entsprechende Empfehlungen ausgearbeitet. Mehrere Kantone haben im Baugesetz oder in einem Energiegesetz Vorschriften über minimale Anforderungen an die Wärmedämmung erlassen, und bei den meisten andern Kantonen sind solche in Vorbereitung. Häufig stützen sich diese Vorschriften auf die «Musterverordnung für kantonale Wärmedämmvorschriften» des Bundesamtes für Energiewirtschaft vom April 1980, die ihrerseits die SIA-Empfehlung 180/1 «Winterlicher Wärmeschutz im Hochbau» (Ausgabe 1980) als Bestandteil enthält. Allen Vorschriften gemeinsam ist, dass sie Mindestanforderungen festlegen, aber naturgemäss kein Verfahren zur Optimierung der Wärmedämmung darstellen. So steht auch in der SIA-Empfehlung 180/1 im Abschnitt «Zweck und Geltungsbereich» unter Punkt 01 der Satz: «Diese Methode ersetzt die Wirtschaftlichkeitsberechnungen nicht.»

Es besteht ein Interesse, über ein Verfahren zu verfügen, das auf einfache Art erlaubt, die *optimale* Wärmedämmung zu bestimmen. Im folgenden soll daher ein Verfahren dargestellt werden, mit dem für beliebige Energiepreise die minimalen «Benutzungskosten», bestehend aus Kosten für Wärmeverluste, Amortisation und Verzinsung des untersuchten Bauteils, leicht zu ermitteln sind. Wo notwendig, können auch noch die jährlichen Unterhaltskosten einbezogen werden.

Die Wärme, die jährlich durch ein Bauteil an die Aussenluft abgegeben wird, kann durch die Formel

$$(1) \quad Q = k \cdot 24 \cdot G \cdot F$$

dargestellt werden, wobei k der Wärmedurchgangskoeffizient (k-Wert), G die Heizgradtagzahl und F die Fläche bedeutet [1]. Wird der Energiepreis je Energieeinheit mit P (Fr./Wh) bezeichnet und die Nutzenergie mit dem Wirkungsgrad η erzeugt, so betragen die für den Wärmeverlust aufzubringenden Energiekosten E:

$$(2) \quad E = Q \cdot \frac{P}{\eta} = k \cdot 24 \cdot G \cdot F \cdot \frac{P}{\eta}$$

Werden die Kosten für das Bauteil mit Ko bezeichnet und muss diese Investition in n Jahren amortisiert sein, so kann dies so erfolgen, dass ein jährlich gleichbleibender Betrag für Amortisation und Verzinsung des investierten Kapitals bezahlt wird. Hierfür gilt die Formel der *Annuitätentilgung* [2], nach der sich die jährlich zu bezahlenden Beträge A bei einem Zinssatz von p % wie folgt berechnen lassen:

$$(3) \quad A = Ko\, q^n \frac{q-1}{q^n-1} \text{ mit } q = 1 + \frac{p}{100}$$

Müssen für Unterhaltsarbeiten während n Jahren Beträge von total Un aufgewendet werden, so betragen die durchschnittlichen jährlichen Unterhaltskosten

$$(4) \quad U = \frac{U_n}{n}$$

Die gesamten jährlichen Kosten (aus 2, 3 und 4) sind damit durch

$$K = E + A + U = k \cdot 24 \cdot G \cdot F \cdot \frac{p}{\eta} + Ko\, q^n \frac{q-1}{q^n-1} + \frac{U_n}{n}$$

gegeben, oder auf die Flächeneinheit bezogen:

$$(5) \quad \frac{K}{F} = k \cdot 24 \cdot G \cdot \frac{p}{\eta} + \frac{Ko}{F} q^n \frac{q-1}{q^n-1} + \frac{U_n}{n \cdot F}$$

Der erste Summand in dieser Formel (5) ist eine lineare Funktion des Energiepreises P und hängt im weitern von der Wärmedurchgangszahl k des Bauteils der Heizgradtagzahl G des Ortes und dem Wirkungsgrad η des Heizsystems ab. Der zweite Summand ist nur abhängig vom Preis der gewählten Konstruktion und dem Zinssatz. Der dritte Summand schliesslich ist im wesentlichen nur abhängig von der gewählten Konstruktion und der Höhe der Arbeitskosten.

Die Kosten für zwei verschiedene Wandkonstruktionen sind als Beispiel in den Tabellen 2 und 3 zusammengestellt. In den gleichen Tabellen sind auch die Kosten für Amortisation und Verzinsung aufgeführt, und zwar für eine Amortisationszeit von 25 Jahren und einen Zinssatz von 5%. Schliesslich sind darin auch noch die Wärmedurchgangskoeffizienten (k-Werte) dargestellt.

In Bild 1 lässt sich nun die Kostenfunktion leicht darstellen. Dies wird in der Abbildung durch die blauen Linien dargestellt.

Die Energiekosten für eine Wand, z. B. 2-Schalen-Mauerwerk mit 8 cm Wärmedämmung, mit dem k-Wert von 0,35 W/m² K für den Ort Zürich mit G = 3660 Heizgradtage, werden durch eine Gerade dargestellt, die vom Null- zum Schnittpunkt führt, der durch die Abszissen- und Ordinatenabschnitte von G = 3660 Gt (Grad-Tage) und k = 0,5 W/m² K gebildet wird.

Die Kosten für Unterhalt, Amortisation und Verzinsung, die gemäss dem 2.

Tabelle 1. Kosten für Aussenwandkonstruktion pro m² (2-Schalen-Mauerwerk)

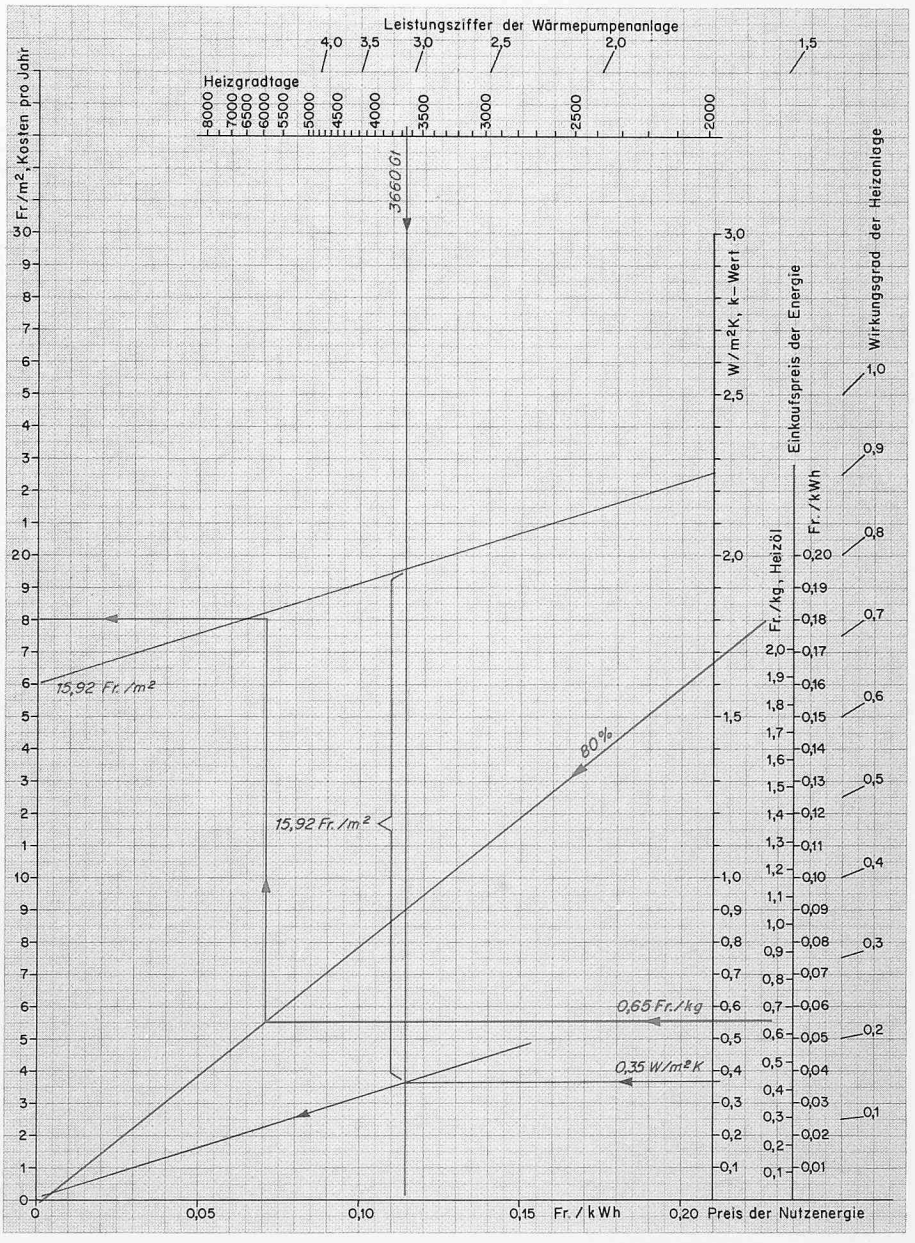
Dicke der Wärmedämmung (aus Steinwolle oder Glasfaser)	3 cm	4 cm	5 cm	6 cm	8 cm	10 cm	12 cm (2×6)	16 cm (2×8)	20 cm (2×10)
Innenputz 1,5 cm	18.–	18.–	18.–	18.–	18.–	18.–	18.–	18.–	18.–
Mauerwerk 15 cm Backstein	71.50	71.50	71.50	71.50	71.50	71.50	71.50	71.50	71.50
Wärmedämmung Mineralfaserplatte Anker	8.50 9.50	10.50 9.50	12.40 9.50	14.20 9.50	18.– 9.50	23.– 9.50	28.40 9.50	36.– 9.50	43.50 9.50
Mauerwerk 12 cm Backstein	61.–	61.–	61.–	61.–	61.–	61.–	61.–	61.–	61.–
Aussenputz 2 cm	46.50	46.50	46.50	46.50	46.50	46.50	46.50	46.50	46.50
Total	215.–	217.–	218.90	220.70	224.50	229.50	234.90	242.50	250.–
Jahreskosten für Amortisation (25 Jahre) und Verzinsung (5%)	15.25	15.39	15.53	15.66	15.92	16.28	16.67	17.21	17.74
k-Wert W/m²K	0,63	0,55	0,48	0,43	0,35	0,30	0,26	0,21	0,17

Tabelle 2. Kosten der Aussenwandkonstruktion pro m² (Beton mit vorgehängter Alu-Fassade)

Dicke der Wärmedämmung (aus Steinwolle oder Glasfaser)	3 cm	4 cm	5 cm	6 cm	8 cm	10 cm	12 cm (2×6)	16 cm (2×8)	20 cm (2×10)
Innenputz 1,5 cm	18.—	18.—	18.—	18.—	18.—	18.—	18.—	18.—	18.—
Beton 20 cm inkl. Schalung und Armierung	109.—	109.—	109.—	109.—	109.—	109.—	109.—	109.—	109.—
Wärmedämmung Mineralfaserplatte	18.—	20.—	22.—	24.—	26.—	29.—	42.—	48.—	54.—
* Alu-Platten-Fassade inkl. Unterkonstruktion und Anschlüsse (für Bürogebäude)	350.—	350.—	355.—	355.—	360.—	360.—	365.—	365.—	370.—
Total	495.—	497.—	504.—	506.—	513.—	516.—	534.—	540.—	551.—
Jahreskosten für Amortisation (25 Jahre) und Verzinsung (5%)	35.12	35.26	35.76	35.90	36.40	36.61	37.89	38.31	39.09
k-Wert in W/m² K	0,95	0,77	0,65	0,56	0,43	0,36	0,30	0,23	0,19
* Variante Profilblech inkl. Unterkonstruktion und Anschlüsse (für Industriebau)	100.—	100.—	105.—	105.—	110.—	110.—	115.—	115.—	120.—
Total	245.—	247.—	254.—	256.—	263.—	266.—	284.—	290.—	301.—
Jahreskosten für Amortisation und Verzinsung	17.38	17.53	18.02	18.16	18.66	18.87	20.15	20.58	21.36

* Die Kosten für die Metallfassaden sind stark von Form und Fenstereinteilung abhängig, mittlere Preise

Bild 1. Diagramm zur Bestimmung der optimalen Wärmedämmung



und 3. Summand berechnet werden, im Beispiel Fr. 15.92 je m² und Jahr (unter Vernachlässigung der Unterhaltskosten), können als fester Betrag nun zur Geraden für die Energiekosten addiert werden. Damit wird eine parallele Gerade erhalten, die nun für jeden beliebigen Energiepreis die gesamten jährlichen Kosten je m² angibt. In Bild 1 wird durch die roten Linien dargestellt, wie bei einem Preis für Heizöl EL von 0,65 Fr./kg und einem Wirkungsgrad der Heizanlage von $\eta = 80\%$ der Preis der genutzten Energie bestimmt wird. Der Schnittpunkt der Wirkungsgradlinie (die durch den Nullpunkt führt) mit der horizontalen Linie für den Einkaufspreis der Energie liefert den Preis der Nutzenergie. Dieser kann auf der senkrecht unter dem Schnittpunkt liegenden Skala abgelesen werden. Nun kann aus dem Diagramm der Betrag der gesamten Jahreskosten je m², d. h. der Betrag von *K/F* (unter Vernachlässigung der Unterhaltskosten) abgelesen werden, indem senkrecht nach oben bis zur Geraden für die gesamten jährlichen Kosten gefahren und an der Skala links der Wert abgelesen wird. Für andere Energieträger als Heizöl EL, zum Beispiel für Gas, Holz, Kohle oder Fernwärme usw., können die Kosten unter Verwendung der Skala für den Einkaufspreis der Energie in Fr./kWh ermittelt werden. Da diese, im Gegensatz zur Fr./kg-Skala, unabhängig vom Heizwert je kg immer gilt, darf die Fr./kWh-Skala für jeden beliebigen Energieträger verwendet werden.

Bild 2. 2-Schalen-Mauerwerk

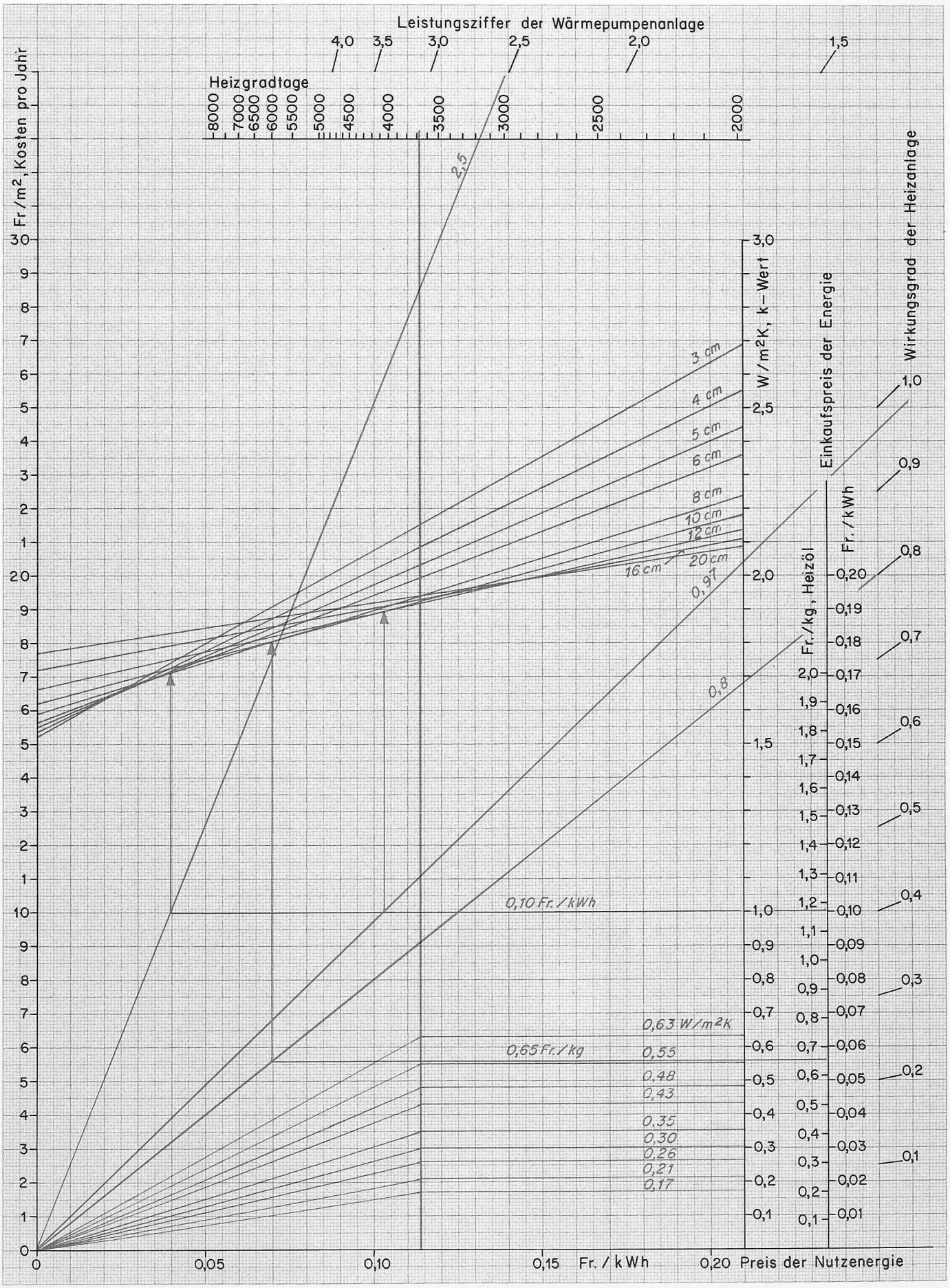
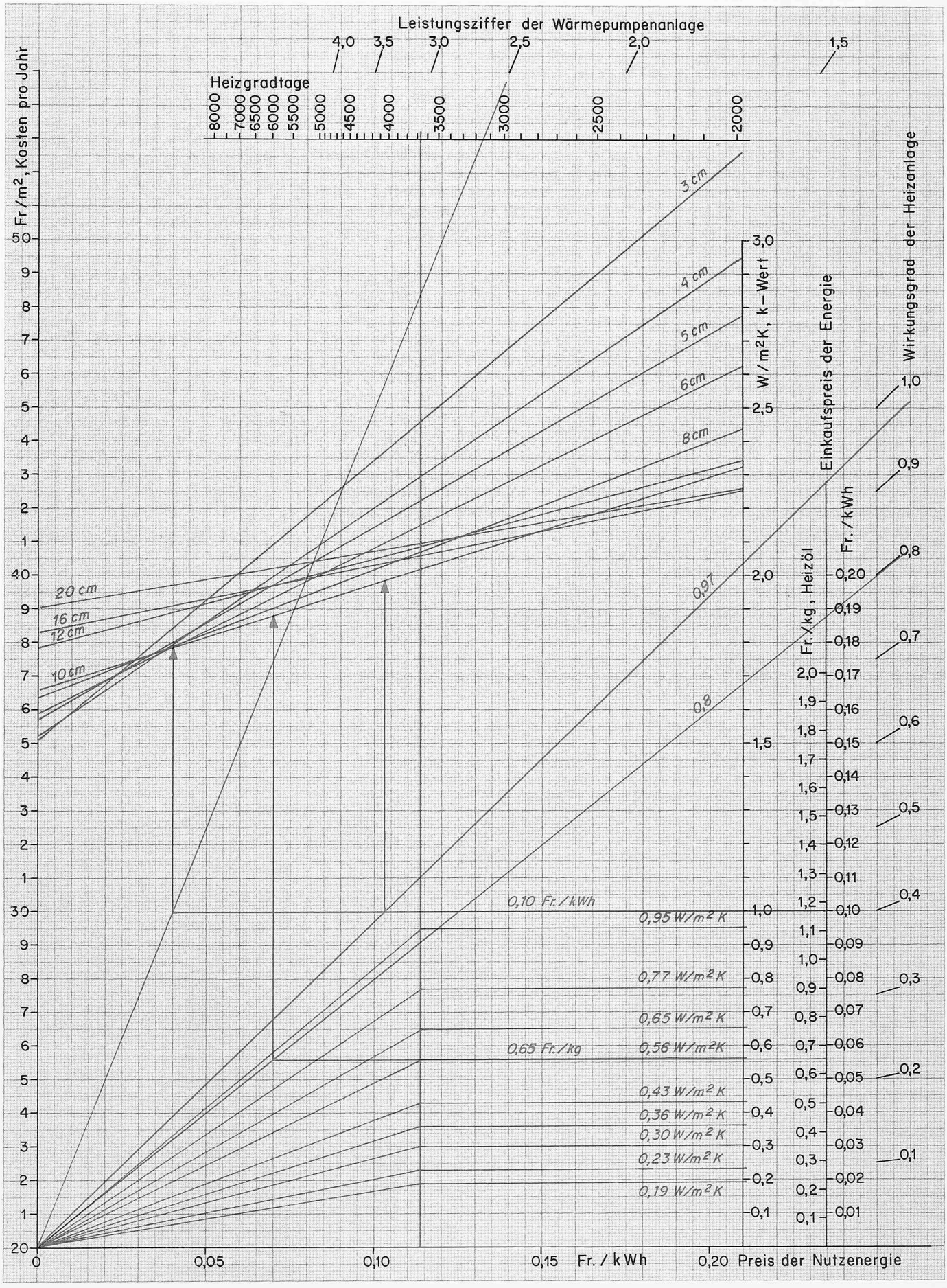


Bild 3. Betonkonstruktion mit vorgehängter Alu-Fassade



Werden Wandkonstruktionen mit verschieden starken Wärmedämmschichten (Tabellen 1 und 2), wie vorgängig beschrieben, dargestellt, so entsteht eine Schar von Geraden (Bilder 2 und 3). Für einen bestimmten Energiepreis kann nun leicht abgelesen werden, welche Variante die geringsten «Nutzungskosten» bringt. Gleichzeitig kann jedoch aus dieser Darstellung auch entnommen werden, wie sich die «Nutzungskosten» ändern, wenn der Energiepreis sich ändert. (Wie sich der Energiepreis künftig ändern wird, ist bei einigen Energieträgern sehr ungewiss.) Gut ersichtlich ist daraus, welch grosse Auswirkungen auf die «Benutzungskosten» eine zu geringe Wärmedämmung hat. Im gerechneten Beispiel einer Betonkonstruktion mit vorgehängter Alu-Fassade ist bei einer Wand mit einem k-Wert von nur 0,95 W/m² K im Fall eines Anstiegs des Preises der Nutzenergie von 0,70 Fr./kWh auf 1,40 Fr./kWh der Anstieg der «Nutzungskosten» rund das 3,6fache grösser als bei einer für heute optimal isolierten Wand mit k = 0,36 W/m² K (Bild 3).

Bei den Untersuchungen zur Optimierung der Wärmedämmung einer Wand genügt es auch, wenn an Stelle der Kosten für Unterhalt, Amortisation und Verzinsung nur die *Mehrkosten* dieser Posten gegenüber einer Basisversion in die Betrachtung einbezogen werden.

Sollen gleichzeitig auch *verschiedene Heizsysteme*, z. B. Ölheizung und Wärmepumpe, verglichen werden, so sind bei den Kosten für Unterhalt, Amortisation und Verzinsung auch jene für die Heizsysteme einzurechnen. Dabei ist zu erwarten, dass für ein Gebäude mit Wärmepumpe, infolge des kleineren Energieverbrauchs, eine etwas geringere Wärmedämmung optimal ist als für ein Gebäude mit Ölheizung. Trotzdem ist es denkbar, dass die Wirtschaftlichkeit des optimal wärmegedämmten Gebäudes mit Ölheizung besser ist, da die Anlagekosten geringer sind. Aufschluss über diese Frage kann das Diagramm geben, wenn die Daten der konkreten Fälle eingezeichnet werden. Im folgenden soll jedoch nur der Einfluss des Heizsystems auf die optimale Wärmedämmung an zwei Beispielen untersucht werden.

Untersucht werden, neben dem schon erwähnten Fall mit Ölzentralheizung, eine Variante mit elektrisch angetriebener Wärmepumpe und eine Variante mit elektrischer Direktheizung. Für beide Varianten mit Elektrizität als Energie wird angenommen, dass je die Hälfte des Stromverbrauchs in die Hochtarif- und in die Niedertarifzeit fällt, so dass bei einem Hochtarif-Preis von -.13 Fr./kWh und einem Niedertarif-Preis von -.07 Fr./kWh ein mittlerer Preis von -.10 Fr./kWh in Rechnung zu stellen ist.

Aus Bild 2 ist ersichtlich, dass die optimale Wärmedämmung beim 2-Schalen-Mauerwerk im Fall eines Heizsystems mittels elektrischer Wärmepumpe bei einer Dicke der Wärmedämmschicht von 6 bis 8 cm, im Fall einer Ölheizung bei 8 (bis 10) cm und im Fall der elektrischen Direktheizung bei 10 (bis 12) cm liegt.

Wird die gleiche Rechnung für eine andere Wandkonstruktion durchgeführt, so können sich andere Resultate ergeben. In Bild 3 ist dies für eine Betonkonstruktion mit vorgehängter Alu-Fassade (Bürogebäude) durchgeführt. Da hier die Kosten mit zunehmender Dicke der Wärmedämmung in unregelmässigen Sprüngen wachsen, gibt es Dicken, die über einen weiten Bereich des Energiepreises optimal sind, und andere, die nur in einem schmalen Bereich oder sogar bei keinem Energiepreis optimal sind. Dies hat beim gewählten Beispiel zur Folge, dass die wirtschaftliche Wärmedämmung im Fall der Wärmepumpe bei 6 bis 10 cm Isolationsdicke liegt, im Fall der Ölzentralheizung bei 10 cm und im Fall der elektrischen Direktheizung ebenfalls bei 10 cm.

Es zeigt sich, dass die optimale Wärmedämmung abhängig ist sowohl von der Konstruktion wie auch vom gewählten Heizsystem. Sie muss daher für jede Variante separat untersucht werden.

Literatur

[1] *Recknagel, Sprenger:* «Heizung + Klimatechnik»
[2] *Köhler, H.:* «Finanzmathematik»

Adresse des Verfassers: Dr. sc. tech. *B. Arbenz*, Amt für technische Anlagen und Lufthygiene des Kantons Zürich, Leiter der Abteilung Energietechnik, 8090 Zürich.