Bestimmung der Heizkosteneinsparung mit der HK-Scheibe

Autor(en): **Weiersmüller, René**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

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

Heft 48

PDF erstellt am: **12.03.2021**

Persistenter Link: http://doi.org/10.5169/seals-74901

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

Bestimmung der Heizkosteneinsparung mit der HK-Scheibe

Von René Weiersmüller, Schlieren

Mit der hier beschriebenen Berechnungsscheibe lässt sich die Heizkostenverminderung durch wärmetechnische Massnahmen an der Gebäudehülle für den weitaus grössten Teil aller Fälle direkt bestimmen. Durch die Beschränkung auf die wesentlichen Einflussgrössen Klima, Raumlufttemperatur und Heizölpreis ist die Kosteneinsparung je Quadratmeter Bauteilfläche als Funktion der *k*-Wertdifferenz mit einer einzigen Einstellung gegeben. Die Resultatsgenauigkeit hält den Vergleich mit der konventionellen Berechnungsmethode stand, vor allem auch wegen der richtigen Berücksichtigung von praxisnahen, mittleren Wärmegewinnen aus Sonneneinstrahlung und inneren Abwärmen.

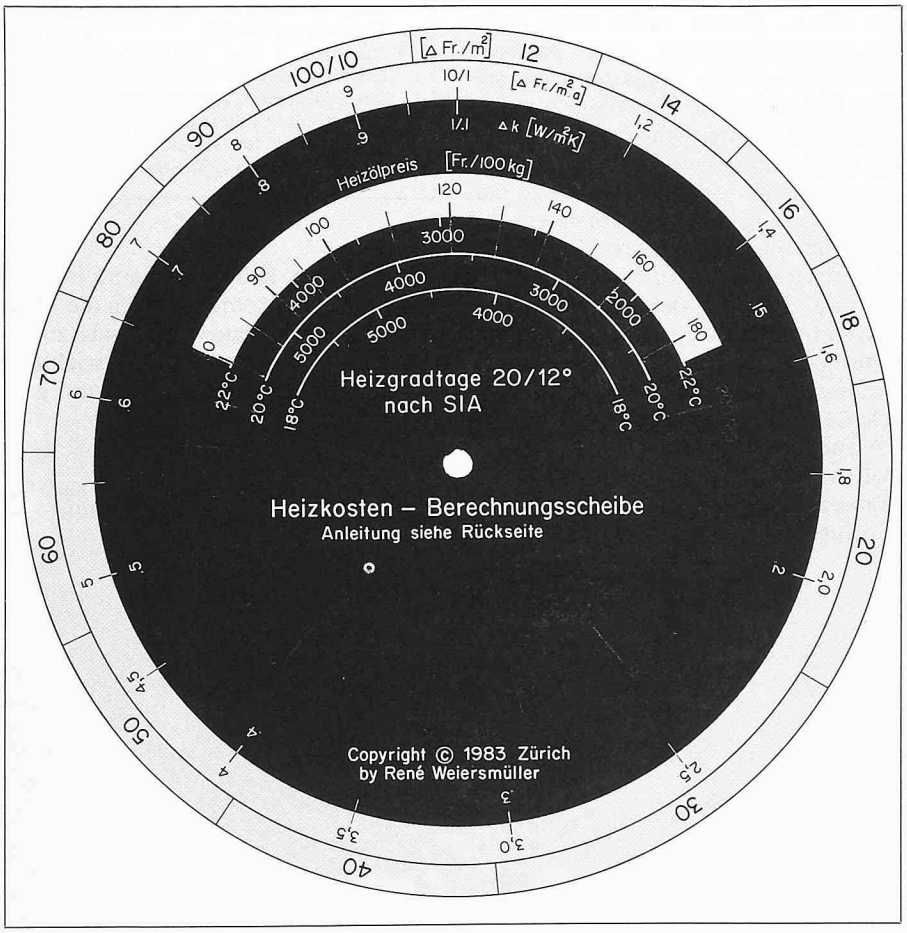
Bei wärmetechnischen Sanierungen ist es für den Architekten *und* für den Bauherrn von Interesse zu wissen, welche Heizkosteneinsparung von einer bestimmten Massnahme erwartet werden kann. Im Falle der Wärmedämmung sind zumindest die *meisten Architekten* in der Lage, die Einsparung bei bestimmten Randbedingungen aus Tabellen oder Kurven [1] zu entnehmen; individuelle Werte sind z.B. auch nach vorgegebenen Schemata berechenbar [2].

Der *Auftraggeber* hingegen hat im allgemeinen keine Möglichkeit, diese Berechnungen zu überprüfen; er muss den Angaben (meist Prozente!) einfach Glauben schenken. Die nachfolgend beschriebene Berechnungsscheibe (Bild 1) ist aber primär nicht für diese Personen gedacht; sie soll vielmehr dem Bauschaffenden eine rasche und genaue Beurteilung einer Massnahme bei unterschiedlichen Randbedingungen gestatten. Ausserdem ist z.B. die Bestimmung der optimalen Isoliermaterialdikke und mit Vorbehalten die Abschätzung der absoluten Heizkosten eines Bauteils möglich.

Die einfache Heizkostenberechnung

Dazu wird der *k*-Wert mit den Heizgradstunden (Heizgradtage nach SIA mal 24) multipliziert. Der so erhaltene Jahresenergiebedarf je Quadratmeter Bauteil, dividiert durch den Jahreswirkungsgrad der Heizanlage, ergibt den entsprechenden Jahresenergieverbrauch, der z.B. auf den jährlichen Heizölverbrauch je Quadratmeter (oder den jährlichen Heizkosten je Quadratmeter Bauteilfläche) umgerechnet wird.

Bild 1. Vorderansicht der HK-Scheibe



Die genauere Heizkostenberechnung

Bei der genaueren Berechnung ist zu unterscheiden, ob diese für die Festlegung des totalen Wärmeverlustes (*absoluter Verlust*) eines Bauteils oder für die Berechnung eines Minderverbrauchs aufgrund von Wärmedämmassnahmen (*relativer Verlust*) vorgesehen ist. Dementsprechend sind die Energiegewinne aus Sonneneinstrahlung und inneren Abwärmen unterschiedlich zu gewichten. Dazu einige Bemerkungen zu den einzelnen Einflussgrössen sowie Hinweise, wie diese für die Heizkostenberechnung mit der HK-Scheibe berücksichtigt werden.

Die Heizgradtage

Die tabellierten Werte sind auf eine Raumlufttemperatur von 20 °C und eine Heizgrenze von 12 °C bezogen. Nach langjährigen Untersuchungen kann als erwiesen betrachtet werden, dass der Unterschied von acht Grad zwischen Heizgrenze und Raumlufttemperatur zu hoch ist; eine Differenz von sechs Grad entspricht im Mittel *eher* den tatsächlichen Verhältnissen [3, 4]. In der *Bundesrepublik Deutschland* wird übrigens mit einer Differenz von fünf Grad gerechnet, und auch in der neuen Empfehlung SIA 381/3 wird aufgeführt, wie die Standardangaben auf eine andere Heizgrenze umzurechnen sind.

Wird die *Heizanlage* erst bei Erreichen einer Aussentemperatur von 14 °C eingeschaltet, muss demnach durch den Anteil Sonnenenergie plus innere Abwärme die Differenz auf die 20 °C Raumlufttemperatur gedeckt werden. Dieser Anteil dürfte im Mittelland Ende Dezember/Anfang Januar den Tiefstwert von noch rund einem Drittel des Wertes wie in der Nähe der Heizgrenze erreichen, d.h. für die Berechnung der *absoluten* Verluste eines Bauteils müssen die auf eine Heizgrenze von 14 °C umgerechneten Heizgradtage 20/12 °C um durchschnittlich 4 °C vermindert werden. Dies gilt allerdings nur, wenn die zusätzlichen Wärmegewinne aus Sonneneinstrahlung durch die transparenten Bauteile und die inneren Abwärmen *gleichmässig* allen

Bauteilen wie Fenster, Aussenwänden, Dach usw. sowie dem Luftwechsel zugeordnet werden. Unter diesen Voraussetzungen ist auch der *absolute* Heizkostenaufwand mit der HK-Scheibe abschätzbar. Dieser ist dann als Differenz zu k = Null W/m² K bestimmbar, und die abgelesene Heizkosteneinsparung, vermindert um etwa einen Viertel, entspricht bei realistischer k-Wertberechnung dem absoluten jährlichen Heizkostenaufwand je Quadratmeter Bauteilfläche.

Wärmegewinn aus Sonneneinstrahlung auf nichttransparente Bauteile

Den Wärmeverlusten aus k-Wert und der Temperaturdifferenz steht im Normalfall bei den nichttransparenten Bauteilen zusätzlich ein Wärmegewinn aus der Sonnenbestrahlung dieses Bauteils entgegen. Die *absolute* Grösse dieses Gewinnes wird, ausser von der Strahlungsintensität (Himmelsrichtung und Abschattung beachten!), in erster Linie durch den Absorptionskoeffizienten der Oberfläche, durch die äussere Wärmeübergangszahl sowie durch den k-Wert des Bauteils beeinflusst [5]. Der *relative* Gewinn aus der Bestrahlung ist aber unabhängig vom k-Wert (sowie der Wärmespeicherfähigkeit des Bauteils!) und liegt im Mittelland durchschnittlich bei etwa 10 Prozent, was bei der Verlustrechnung durch einen Abzug von der aufsummierten Temperaturdifferenz während der Heizperiode berücksichtigt werden muss. Die so reduzierte Heizgradzahl ist auch die Basis für die Berechnung der optimalen Isolationsstärke. Die anteilmässigen Gewinne aus inneren Abwärmen (Licht, Kühlschrank, Fernsehgerät, Menschen) sowie aus der Sonneneinstrahlung aus Verglasungen dürfen hingegen bei Optimierungen nicht einbezogen werden: Sofern die Gewinne nicht grösser sind als die Verluste (Heizgrenze), entspricht jede Verminderung des k-Wertes über die reduzierte Heizgradzahl direkt dem Anteil der erreichbaren Energieeinsparung (Bild 2).

Anders liegen die Verhältnisse in der Nähe der Heizgrenze. Ausgenommen beim sommerlichen Wärmeschutz, wirkt sich im Normalfall nur hier die Wärmespeicherkapazität des Bauteils und allenfalls des Gebäudes aus: Ein Gebäude mit grosser Wärmespeicherkapazität verwertet kurzzeitige Spitzengewinne durch Sonneneinstrahlung infolge des dämpfenden Einflusses besser, die sich bei Leichtbauten schneller einstellende Übertemperatur muss nicht durch Lüften abgebaut werden. Zumindest theoretisch wird deshalb der Massivbau eine etwas kürzere Heizperiode aufweisen als der Leichtbau. Genau genommen ist aber nicht die Gebäudeträgheit allein massgebend, sondern das Verhältnis Gebäudeträgheit zu den mittleren Wärmeverlusten. Die Unterscheidung von Normal- und Leichtbauten bezüglich den minimalen Auslegungstemperaturen für Heizanlagen nach SIA 384/2 ist deshalb nicht ganz stichhaltig. Ein sehr schweres Gebäude mit schlechter Wärmedämmung hat nämlich ein ähnliches instationäres Temperaturverhalten wie ein Leichtbau mit gutem Wärmeschutz; beim letzten kommt allerdings den thermischen Eigenschaften der transparenten Bauteile sowie der Grösse des Lüftungswärmeverlustes eine erhöhte Bedeutung zu.

Ausser beim Extremfall - «Wellblechbaracke» mit schlechtem k-Wert und geringer Wärmespeicherfähigkeit - sind die Auswirkungen der Speicherfähigkeit auf den Energieverbrauch in der Praxis normalerweise gering und mehr von theoretischem Interesse. So wäre zum Beispiel auch noch zu berücksichtigen, dass die nutzbare Sonnenwärme nur verwertet oder wegen der Regelhysterese nur teilweise verwertet werden kann, wenn eine Innenthermostatregelung vorhanden ist bzw. richtig eingestellte Heizkörperthermostatventile installiert sind. Mit der üblichen witterungsabhängigen Vorlauftemperaturregelung oder voll aufgedrehten Thermostatventilen (übrigens sehr oft anzutreffen, wenn die Vorlauftemperatur nicht allzu hohe Reserven aufweist und die gewünschte Temperatur am Drehknopf nicht arretiert bzw. begrenzt ist) ist deshalb mit der Speicherfähigkeit kein einziges zusätzliches Kilojoule einsparbar!

Wärmegewinn von verglasten Flächen durch Direkteinstrahlung

Einig ist man sich in der Fachwelt nur darüber, dass die Fenstertransmissionsverluste dem k-Wert entsprechend sind. Die meist höheren Raumlufttemperaturen hinter den Scheiben (verursacht durch die darunter stehenden Heizkörper) werden zwar fast immer bei der Festlegung der Verluste vernachlässigt, nicht jedoch der Sonneneinstrahlungsgewinn. Über die Höhe des Gewinns gehen die Meinungen allerdings stark auseinander, besonders auch infolge der z.T. exotischen Randbedingungen und Voraussetzungen. Damit der Heizaufwand durch die im Mittelland während des Winters allerdings meist bescheidene Sonneneinstrahlung überhaupt gemildert wird, braucht es - wie bereits erwähnt - etwas mehr als nur eine witterungsabhängige Vorlauftemperaturregelung mit einem Aussenfühler auf der Gebäudenordseite. Da aber gerade in solchen Fällen nennenswerte Übertemperaturen im Mittelland vorwiegend nur am Rande der Heizperiode (mit ohnehin kleinem Heizaufwand!) zu beobachten sind, gilt es, die *Wirkung der Sonne für den Normalfall* realistisch zu beurteilen. Insbesondere darf bei einem (freistehenden!) Gebäude der Anteil der Fensterfläche an der Fassadenfläche gar nicht zu gross sein, sonst führt eine kurzzeitig auftretende Sonneneinstrahlung sofort zu Überhitzungen, d.h. das Strahlungsangebot wird grösser als der Verlust, und die optimale Nutzung ist damit nicht mehr möglich.

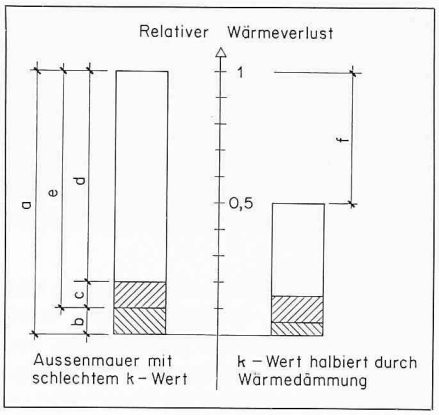


Bild 2. Relativer Wärmeverlust eines Bauteils bei k-Wertverminderung
a Wärmeverlust aus k-Wert und Temperaturdifferenz
b Gewinn aus Sonnenenergie durch direkte Bestrahlung
c Anteilmässiger Gewinn aus inneren Abwärmen und Sonneneinstrahlung durch Fenster
d Durch Heizanlage zu deckender Verlust
e Wärmeverlust für Optimierungen bzw. Wirtschaftlichkeitsberechnungen
f Effektive Energieeinsparung an Heizanlage ohne Berücksichtigung des veränderten Teillastwirkungsgrades

Für die Berechnung der Heizkosteneinsparung bleibt der tatsächliche Sonnenenergiegewinn bei verglasten Flächen belanglos, entspricht doch auch hier die Verkleinerung der Verluste nahezu dem geringeren Heizaufwand. Allerdings ist im allgemeinen die k-Wertverbesserung (dritte Scheibe, Spezialverglasung) mit einer etwas verringerter Sonnenstrahlungsdurchlässigkeit verbunden. Eine Heizkostenverminderung um 10 Prozent - wie sie sich bei den nichttransparenten Bauteilen infolge Sonnenstrahlung einstellen - ist daher ebenfalls angebracht und die HK-Berechnungsscheibe somit für transparente und nichttransparente Bauteile anwendbar.

Zum Wirkungsgrad der Heizanlage

Besonders in Einfamilienhäusern mit alten und fast immer viel zu leistungsstarken Kombikesseln (vorwiegend Doppelbrandkesseln) ist der Jahreswirkungsgrad meist sehr bescheiden [6]. Für die Berechnung der Wirtschaftlichkeit von Sanierungsmassnahmen, die zwanzig oder mehr Jahre halten sollen,

ist der Einbezug des jetzigen (schlechten) Jahreswirkungsgrades vielleicht nicht angebracht. Vielmehr ist früher oder später mit einer Sanierung der Heizanlage und somit mit einem besseren Jahreswirkungsgrad zu rechnen, weshalb in der Berechnungsscheibe ein relativ hoher Wert von 0,85 einbezogen ist.

Mit Vehemenz ist der Behauptung entgegenzutreten, besonders bei stark überdimensionierten Heizanlagen sinke der Jahreswirkungsgrad z.B. infolge Wärmedämmung der Gebäudehülle soweit ab, dass der eigentlich zu erwartende Minderverbrauch durch den schlechter werdenden Jahreswirkungsgrad wieder zunichte gemacht werde. Der Jahreswirkungsgrad sinkt doch wegen der *geringeren Brennerauslastung,* und diese geringere Brennerauslastung bedeutet unabhängig vom Wirkungsgrad einen *kleineren Brennstoffverbrauch!* Sonst wäre es ja empfehlenswert, die Brennerauslastung und damit den Jahreswirkungsgrad durch dauerndes Öffnen aller Fenster anzuheben. Also: Besser 5000 kg Heizöl mit einem Wirkungsgrad von 0,7 statt 10 000 kg mit einem Wirkungsgrad von 0,95 verfeuern! Im übrigen dürfte der vernachlässigbar absinkende Jahreswirkungsgrad etwa durch die theoretisch ebenfalls unwesentlich kürzer werdende Heizperiode kompensiert werden.

Die Berücksichtigung der Heizölkosten

Üblich sind bei Wirtschaftlichkeitsberechnungen vor allem zwei Berechnungsarten. In einem Fall wird von einem über *Jahre hinweg gleichbleibenden Energiepreis* ausgegangen und die Heizkostenverminderung mit den Kapitalkosten der Massnahme (Verzinsung und Amortisation der Investition) verglichen. Bei der zweiten Möglichkeit wird zusätzlich noch mit einer *jährlichen Energieteuerung* gerechnet. Die zweite Methode hat drei *Nachteile*:

- Ein *Energiepreisanstieg* ist zwar langfristig eher *wahrscheinlich* als ein Preissturz. Die Energieteuerungsrate ist aber eine *Grösse, die niemand voraussagen kann.*
- Die jährliche Energiepreisteuerung wirkt sich *kumulativ* auf das Endergebnis aus, d.h. kleinere «Ungenauigkeiten» in der Voraussage führen sofort zu ganz anderen Resultaten. Die Manipulationsmöglichkeiten in bezug auf die Beurteilung «wirtschaftlich oder nicht» sind somit gross.
- Bei der heute noch üblichen Form des Teuerungsausgleiches nach Massgabe des Landesindexes der Konsumentenpreise bedeutet ein Energiepreisanstieg *real noch keinen Mehrpreis,* weil nämlich die Löhne ähnlich steigen wie die Energiepreise. Man vergleiche dazu die durchschnittlichen Löhne und die Energiepreise ab 1950! Allerdings ist ungewiss, ob dieser Teuerungsausgleich auch für die Zukunft in dieser Form zugestanden wird.

Aus den obengenannten Gründen sollte bei solchen Berechnungen auf den Einbezug einer jährlichen Energiepreisteuerung verzichtet werden. Immerhin ist es ohne weiteres jedem Einzelnen überlassen, bei Wirtschaftlichkeitsrechnungen einen höheren als den heute gültigen Energiepreis einzusetzen oder allenfalls die Preise aufzurunden. Die Berechnung bleibt aber so bei überblickbaren Auswirkungen auf das Ergebnis immer transparent!

Beispiele und Genauigkeit der HK-Scheibe

Die Scheibe ist direkt auf die Fälle anwendbar, wo ein beheizter Bauteil mit dem Aussenklima in Berührung kommt, also für Aussenwände, Fenster, Dächer über beheizten Räumen, Böden über Aussenklima usw. Für an unbeheizte Estriche angrenzende Decken oder Erdreich berührende Böden ist die tatsächliche Heizkosteneinsparung ein abzuschätzender Anteil der abgelesenen Einsparung.

1. Beispiel. Raumlufttemperatur 20 °C, Klima 4500 Gradtage (°d), Heizölpreis Fr. 90.–/100 kg. Eine schlecht erhaltene Backsteinmauer wird von k = 1,2 W/m²K auf 0,3 W/m²K isoliert. Mit der Scheibe wird bei einem k-Wertunterschied von 0,9 W/m²K eine jährliche Heizkostenverminderung von Fr. 8.30 je Quadratmeter Bauteilfläche erhalten. Nach kaufmännischen Überlegungen würde diese Einsparung etwa einer Investition von Fr. 95.–/m² (6 Prozent Zins, 20 Jahre Laufzeit) entsprechen. Die Mauer müsste aber sowieso saniert werden. Wenn daher die Mehrkosten für die zusätzliche Wärmedämmung nicht wesentlich grösser als die obigen Investitionskosten sind, ist die Wärmedämmung bei den angenommenen Heizölpreisen sehr zu empfehlen.

2. Beispiel. Raumlufttemperatur 20 °C, Klima 4000 °d, angenommener Heizölpreis Fr. 110.–/100 kg. Die Fenster müssen ersetzt werden. Eine Dreifachverglasung mit einem k-Wert von 2,0 W/m²K würde gegenüber einer Doppelverglasung mit k = 3,1 W/m²K Mehrkosten von Fr. 40.–/m² verursachen. Mit der Scheibe wird die jährliche Heizkosteneinsparung bei einer k-Wertdifferenz von 1,1 W/m²K (bei 0,11 W/m²K nachschauen und Ergebnisse mit zehn multiplizieren, da logarithmische Skalen!) zu Fr. 11.–/m² bzw. die entsprechenden wirtschaftlichen Investitionskosten zu Fr. 130.–/m² bestimmt. Die Dreifachverglasung ist somit bei den angenommenen Randbedingungen rentabel.

Zur Abschätzung der Genauigkeit der HK-Scheibe kann angenommen werden, dass die Heizgradtage auf etwa 10 Prozent genau das tatsächliche Klima beschreiben (*extreme* Mikroklimen sind in den meisten Fällen bekannt und somit zusätzlich berücksichtigbar). Der Anteil der inneren Abwärmen und des Gewinnes durch Sonneneinstrahlung dürfte hingegen stärker streuen. Da aber im Normalfall für die einzelnen Gebäude selbst bei extremer Wärmedämmung nicht allzugrosse Unterschiede in den Heizgrenzen zu beobachten sind (der Einfluss des Benutzerverhaltens scheint besonders im Einfamilienhaus eine dominantere Rolle zu spielen), dürfte eine Streuung von ±25 Prozent realistisch sein. Für den zukünftigen Jahreswirkungsgrad wird zudem ein Streubereich von ±7 Prozent angenommen.

Unter Berücksichtigung der drei einzelnen Ungenauigkeiten muss somit für 95 Prozent aller Fälle mit einer Resultatabweichung von höchstens etwa ±20 Prozent gerechnet werden. In Anbetracht der Unsicherheit mit der k-Wertberechnung (diese gibt meistens etwas zu hohe Werte!), der Genauigkeit der Raumlufttemperatur und der nicht voraussagbaren Heizölpreise ist eine solche Genauigkeit für den Praktiker *und* für den Theoretiker genügend gross.

***

Die HK-Scheibe ist *zurzeit noch nicht erhältlich.* Gefertigte Exemplare stehen demnächst zur Verfügung.

Literatur

[1] *Weiersmüller, R.:* «Die Wirtschaftlichkeit einer nachträglichen Wärmedämmung». Schweizer Baublatt, 83, 1982

[2] «Planung und Projektierung, Handbuch für die wärmetechnische Gebäudesanierung», herausgegeben vom Bundesamt für Konjunkturfragen, Bern, Jan. 1980

[3] *Weiersmüller, R.:* «Dimensionierungsprobleme bei Heizanlagen in der Stadt Zürich». Schweiz. Bauzeitung, Heft 26, 1978

[4] *Weiersmüller, R.:* «Abbau der Energieverschwendung: Anpassen der Kesselleistung mit der Bemessungsscheibe». Schweizer Ingenieur und Architekt, Heft 27/28, 1980

[5] *Weiersmüller, R.:* «Die Beeinflussung von Energiebilanzen durch Sonneneinstrahlung auf nichttransparente Bauteile». Heizung Klima, 2, 1979

[6] *Weiersmüller, R.:* «Der Jahreswirkungsgrad von öl- oder gasbefeuerten Heizanlagen». Schweizer Ingenieur und Architekt, Heft 42, 1982

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