

Bild 19. Wie Bild 18 aber mit einem zweifachen Unterdruck über Dach.

Darin sind für eine Windrichtung die Ergebnisse der angehöhrten Berechnungsmethode, die der genauen Berechnungsmethode und die Resultate des Analogongeräts angegeben. Bild 18 bezieht sich auf denselben Grundriß; es wurden aber dabei für die verschiedenen Fenster nicht dieselben Widerstandscharakteristiken angenommen, ferner wurde das Vorhandensein eines Lüftungskanals berücksichtigt. Diese Situation eignet sich nicht für eine Berechnung. Auch Bild 19 bezieht sich auf denselben Grundriß, aber diesmal wurde angenommen, daß das Druckniveau über dem Dach von dem an der vom Wind abgekehrten Seite vorkommenden abweicht.

Wie aus den Bildern ersichtlich, führen die Berechnungen von Krischer und die Messungen mit dem Analogongerät zu sehr guten, übereinstimmenden Ergebnissen. Wir glauben also, daß das Analogongerät die Möglichkeit bietet, für holländische Verhältnisse auf diese Weise Daten zu sammeln, die eine Grundlage für eine brauchbare Rechnungsmethode bezüglich des Wärmeverlustes durch Lufttransport sein werden.

Anschr. d. Verff.: Den Haag (Holl.), Koningskade 12

## Die dänischen und schwedischen Verfahren zur Berechnung des Wärmebedarfs von Gebäuden

Von Dr. techn. Poul BECHER, Kopenhagen

Bis in die dreißiger Jahre hat man sich in Skandinavien in hohem Grade auf die deutschen Erfahrungen und Versuche über das Dimensionieren von Heizungsanlagen gestützt, namentlich wie sie im „Rietschel“ enthalten sind. Abgesehen vom Holzhausbau im nördlichen Teil Skandinaviens kam der Wohnungsbau weitgehend dem norddeutschen gleich, d. h. Ziegelbauten mit Holzbalkendecken und, jedenfalls in den größeren Städten, mit 4 bis 6 Stockwerken. Aber in den Jahren seit 1939 traten allmählich große Änderungen im Wohnungsbau ein. Früher wurde der Wohnungsbau zum großen Teil von kleineren privaten Bauherren und Handwerkerkonsortien finanziert, die Häuserblöcke umfaßten in der Regel 40 bis 60 Wohnungen. Dies reichte jedoch nicht aus, und der Staat war genötigt, weitgehend die Finanzierung des Wohnungsbaus zu übernehmen. Dies ermöglichte das Bauen viel größerer Einheiten bis zu 1000 Wohnungen. In den großen Wohnbauten wurde es wirtschaftlich möglich, dem zunehmenden Verlangen der Menschen nach Komfort und Einrichtungen zu entsprechen. Es ergab sich die Notwendigkeit, die Planung und die Beaufsichtigung der Bauausführung durch hoch qualifizierte Architekten und Ingenieure ausführen zu

lassen. Gleichzeitig trat eine Änderung in der Ausgestaltung der Wohnbauten ein. Sie wurden nunmehr in kleineren 3 geschossigen Blöcken mit 12 bis 36 Wohnungen erbaut; der Flächeninhalt nahm bedeutend zu (von 30 bis 60 m<sup>2</sup> auf 70 bis 90 m<sup>2</sup> Bruttfläche). Neue Baustoffe in Leichtbeton kamen, isolierende Mauersteine und Stahlbeton fanden immer größere Anwendung. Dadurch wurden die Häuser leichter, und eine schwedische Untersuchung ergab, daß das Haus von 1939 je m<sup>3</sup> um 40 vH weniger wiegt als das Haus aus 1883; heute dürfte das Gewicht noch weiter abgenommen haben. Die Fenster wurden größer. Die Sitten der Bewohner änderten sich ebenfalls; sie verlangten mehr oder weniger bewußt eine einheitliche höhere Raumtemperatur in der ganzen Wohnung, und gleichzeitig wurde die Bekleidung zu Hause leichter. Ich möchte die Bemerkung nachtragen, daß fast alle neuen Wohnungen in Skandinavien in den letzten 25 Jahren mit Zentralheizung ausgestattet worden sind, und daß die Projektierung von privaten, beratenden Ingenieuren gemacht wird.

All dies änderte die Voraussetzungen für die alten Verfahren zur Berechnung des Wärmeverlustes der Gebäude; es wurde

Tabelle 1.

Gebiet	Wand ausschließlich aus Ziegelsteinen <sup>1)</sup> mit Raumgewicht über 1,4 kg/dm <sup>3</sup>	Wand ausschließlich aus Ziegelsteinen <sup>1)</sup> mit Raumgewicht zwischen 1,1 und 1,4 kg/dm <sup>3</sup> oder Beton mit Außenisolierung	Sonstige Wand aus überwiegendem Steinmaterial <sup>2)</sup> mit Gewicht mindestens 100 kg/dm <sup>3</sup>	Holzwand oder Wand aus anderem Material mit Gewicht unter 100 kg/dm <sup>3</sup>	Decke				Fußboden		
					gegen ungeheizten Außenraum		an Außenluft		über Keller üblicher Ausführung mit frei verlegten Heizleitungen	gegen ungeheizten Außenraum <sup>3)</sup> unmittelbar auf Erdreich	an Außenluft
					aus Steinmaterial	aus Holz	aus Steinmaterial	aus Holz			
Zone 1	0,85	0,75	0,65	0,45	0,55	0,45	0,45	0,35	0,60	0,45	0,35
Zone 2	0,95	0,85	0,75	0,55	0,55	0,45	0,45	0,35	0,60	0,45	0,35
Zone 3	1,05	0,95	0,85	0,65	0,65	0,55	0,55	0,45	0,70	0,55	0,45
Zone 4	1,15	1,05	0,95	0,75	0,65	0,55	0,55	0,45	0,70	0,55	0,45

<sup>1)</sup> Für Fassadenmauer mit Hintermauerung aus leichteren Ziegelsteinen gilt die für Wand ausschließlich aus der leichteren Ziegelsorte eingetragene Wärmeleitzahl. Bei Berechnung des Raumgewichtes wird hier der Rauminhalt des Steins ohne Abzug für Löcher benutzt.

<sup>2)</sup> Als „Sonstige Wand aus überwiegendem Steinmaterial“ wird gerechnet u. a. Beton- oder Ziegelwand mit Innenisolierung sowie Wand aus Leichtbeton.

<sup>3)</sup> Als „ungeheizter Außenraum“ wird gerechnet u. a. normal belüfteter Außenraum ohne Abzug, Speisewarenkeller o. dgl.

üblich, daß die Ingenieure die Verfahren nach ihren eigenen Erfahrungen „verbesserten“. Während des Krieges hatte sich außerdem die Auffassung allgemein verbreitet, daß der Wohnungsbau eine soziale Aufgabe sei, und daß es sich volkswirtschaftlich lohne, *so gut wie möglich zu bauen und für einen rationellen Wärmeschutz der Häuser zu sorgen*. Da die Finanzierung durch den Staat erfolgte, war auch er daran interessiert, daß das Pfandgut, das Haus, eine möglichst hohe Qualität aufwies, so daß an die mit öffentlicher Unterstützung gebauten Häuser strengere Forderungen gestellt wurden.

Schweden ging in dieser Beziehung voran, wird doch bereits in der Stockholmer Bauordnung von 1934 eine höchste Wärmedurchgangszahl von  $0,95 \text{ kcal/m}^2 \text{h}^\circ\text{C}$  für freistehende Außenwände gefordert. Es war das erste Mal, daß eine Bauordnung eine zahlenmäßige Forderung für den Wärmeschutz enthält. Die Bestimmung ist später erweitert worden, und ein Anhang [2] aus 1950 zum schwedischen Baugesetz von 1947 mit Gültigkeit für das ganze Land enthält die heute geltenden Bestimmungen für Wärmeschutz (Tabelle 1). Die entsprechende Zoneneinteilung zeigt Bild 1. In Dänemark wurde 1947 bei den Forderungen an Bauvorhaben mit staatlicher Unterstützung eine höchste Wärmedurchgangszahl von  $k = 1,0 \text{ kcal/m}^2 \text{h}^\circ\text{C}$  für Außenwände verlangt; in den Forderungen von 1956 sind die in Tabelle 2 angeführten Bestimmungen über Wärmeschutz enthalten [3].

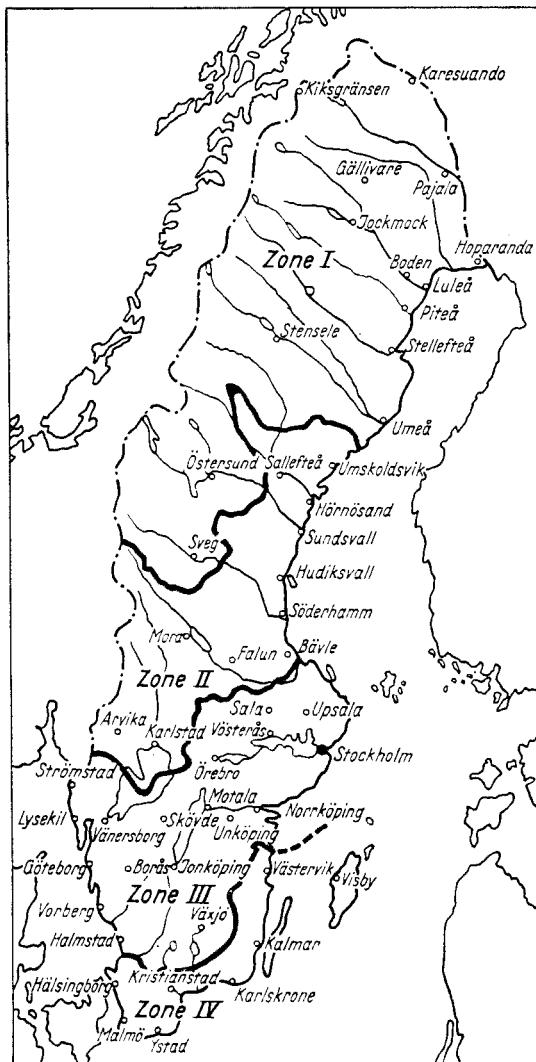


Bild 1. Zoneneinteilung in Schweden für die Wärmeisolierung.  
Die Verhältnisse in Dänemark entsprechen der Zone IV.

Tabelle 2.

<i>a) Außenwände</i>				
Ziegelsteinmauern . . . . .	$k = 1,2$	$\text{kcal/m}^2 \text{h}^\circ \text{C}$		
Leichtbetonmauern . . . . .	$k = 1,05$	"		
Eisenbeton- und Grobbetonwände mit Isolierung . . . . .	$k = 1,05$	"		
Andere Wände als obengenannte . . . . .	$k = 0,9$	"		
<i>b) Innenwände</i>				
gegen ungeheizte Räume innerhalb der eigentlichen Wohnung . . . . .	$k = 1,7$	"		
<i>c) Dächer und Dachwände gegen Dach</i> . . . . .	$k = 1,7$	"		
<i>d) Geschöfdecken</i>				
gegen nicht besonders kalte, ungeheizte Räume, z. B. Keller, durch welche isolierte Heizleitungen verlegt sind . . . . .	$k = 0,65$	"		
über dem Freien oder gegen besonders kalte Räume, wie Toreingänge, Mülleinräume, Kohlenkeller, Trockenräume und Durchgänge, sowie unmittelbar auf Erdreich oder gegen besonders warme Räume, wie Kesselräume und Bäckereien . . . . .	$k = 0,5$	"		

Der gemeinnordische Rat für Finnland, Dänemark, Island, Norwegen und Schweden arbeitet jetzt an Regeln ähnlich den schwedischen, die in die Baugesetze dieser fünf Länder aufgenommen werden sollen.

## Die dänischen Regeln

Der Verein Dänischer Ingenieure ergriff im Jahre 1948 die Initiative und setzte einen Ausschuß zur Ausarbeitung von Regeln für die Berechnung des Wärmeverlustes von Gebäuden ein. Diese Arbeit wurde 1951 abgeschlossen, die Regeln erschienen in einer vorläufigen Ausgabe, die etwa ein Jahr im Gebrauch war, bis die endgültige Ausgabe 1953 vorlag. Diese Regeln werden jetzt seit 7 Jahren verwendet und haben sich meines Wissens bestens bewährt. Es ist dies um so bemerkenswerter, als die neuen Regeln in wesentlichen Punkten von der früheren Praxis abweichen. Zwar ist es unmöglich, sich über die Genauigkeit des dänischen Berechnungsverfahrens auszulassen, aber im allgemeinen brauchen nur bescheidene Forderungen an eine Berechnung des Wärmeverlustes gestellt zu werden. Bei einer Heizungsanlage kommt nicht, wie z. B. bei tragenden Konstruktionen, ein Sicherheitskoeffizient in Frage, sondern es geht darum, ein Gleichgewicht in der Anlage herzustellen. Sofern der prozentuale Fehler überall der gleiche ist, und die übrigen Faktoren wie Kesselbelastung und Wärmeabgabe der Heizkörper, die bei der Dimensionierung mitberücksichtigt werden, dem System angepaßt sind, ist alles gut. Dies ist natürlich nur mit einer gewissen Annäherung richtig; bei komplizierteren Bauobjekten und gemischten Anlagen fällt es dem Ingenieur zu, die Regeln eigenen Erfahrungen anzupassen. Die dänischen Regeln sind absichtlich möglichst kurz gehalten, weil man doch nicht alle Sonderfälle berücksichtigen kann. Die Anhänge zu den Wärmedurchgangszahlen und -verlusten sind deshalb auf ein Mindestmaß beschränkt worden.

## Fugenverlust

Der Wärmeverlust zerlegt sich anteilmäßig in den *Durchgangsverlust* und den *Fugenverlust*. Der Durchgangsverlust ist die Wärmemenge, die über die Wärmeleitung durch feste Gebäudeteile abfließt, während der Fugenverlust die Wärmemenge ist, die durch Hereinströmen kalter Luft durch Fugen der einen oder anderen Art verloren geht. Von dem Fugenverlust, also der Wärmemenge, die durch *natürlichen Luftwechsel* eingebüßt wird, hatte man sich früher ein Bild auf Grund des Rauminhalts des Zimmers gemacht, indem mit einem größeren Wert je  $m^3$  gerechnet wurde, sobald das Zimmerfenster in mehreren Wänden hatte oder eine anderswie ungeschützte Lage besaß. Als Paradoxon kann man sagen, es genüge, den Wärmeverlust von den einzelnen Räumen zu schätzen, wenn eben richtig geschätzt wird. Richtig muß aber sein, den *natürlichen Luftwechsel* auf die Fugen und andere Undichtheiten zu beziehen. Für

die Berechnung des Fugenverlustes ist erforderlich, daß die Fenster- und Türtypen bekannt sind, auch die Wärmeisolierung muß bekannt sein. Der schwerwiegendste Einwand gegen das Berechnungsverfahren ist, daß die Qualität der Fenster nicht bekannt ist und die Breite der Fugen sich mit der Zeit ändert. Die Versuchsergebnisse über den Fugenverlust bei Fenstern weisen bekanntlich große Streuungen auf. Diese Unsicherheit besteht doch nicht, wenn man Dichtungsleisten verwendet, wie es jetzt meistens üblich ist.

Wir haben kurzerhand folgende Werte für den *Fugenverlust* in  $\text{m}^3/\text{h}$  je  $\text{m}$  Fuge bei einem Druckunterschied von  $1 \text{ mm Wassersäule}$  gewählt:

Einfachfenster	1,3
Verbundfenster	1,2
Doppelfenster	0,9

Für die Berechnung der Luftmengen in Abhängigkeit vom Druck wird folgende Formel benutzt:

$$V = K \cdot p^n$$

Darin bedeutet:

- $V$  die Luftmenge,
- $K$  die Fugenverlust,
- $p$  der Druckunterschied und
- $n$  eine Konstante, die gleich 0,75 gesetzt ist.

Die *Verteilung des Druckabfalls im Gebäude* ist ein weiteres Problem. Einige Normen rechnen damit, daß der Druckabfall sich gleichmäßig auf die Fuge, durch die die Luft hereintritt, etwaige Fugen in Innentüren, die passiert werden müssen, und die Fuge auf der Leeseite, wo die Luft entweicht, verteilt. Nach den Messungen, die in Dänemark von *Nøkkentved* und *Irminger* und in England von *Dick* unternommen wurden, liegt der Druckabfall bis zu 96 vH an der Fuge in der Windseite; in den dänischen Regeln ist so gerechnet worden.

Für die *Abhängigkeit des Lufteinfalls von der Lage des Gebäudes* wurden folgende Windgeschwindigkeiten zugrunde gelegt:

geschützte Lage	4 m/s	dynamischer Druck 1 mm WS
freie Lage	6 m/s	dynamischer Druck 2,3 mm WS
ausgesetzte Lage	8 m/s	dynamischer Druck 4,1 mm WS
besonders		
ausgesetzte Lage	10 m/s	dynamischer Druck 6,4 mm WS

Die *Lageklassen* sind wie folgt definiert (Bild 2):

Geschützte Lage, wenn der Windschutz die Decke des Raumes um mehr als  $\frac{1}{3}$  seiner Entfernung von dem Gebäude überragt.

Freie Lage, wenn der Windschutz die Decke des Raumes überragt, aber um weniger als  $\frac{1}{3}$  der Entfernung.

Ausgesetzte Lage, wenn kein wesentlicher Windschutz vorhanden ist.

Besonders ausgesetzte Lage, wenn das Haus auf einer Anhöhe, unmittelbar an der Küste o. dgl. liegt.

Als Windschutz kommen meist Häuserreihen in Frage, aber auch Baumgruppen und anderes können mitgerechnet werden. Aus der Aufteilung ist ersichtlich, daß geschützte Lage meist in Städten in den unteren Stockwerken nach engen Höfen und Straßen normaler Breite vorkommt. Freie Lage gilt für die oberen Stockwerke, Häuser an offenen Plätzen und Boulevards sowie Häuser, die eine Straße abschließen. Ausgesetzte Lage gilt für Häuser, die höher als ihre Umgebungen sind, frei liegende Landhäuser usw. Bei sehr hohen Häusern liegen die oberen Stockwerke immer besonders ausgesetzt und werden deshalb zur Klasse 4 gerechnet.

Der *Fugenverlust* errechnet sich aus der Formel:

$$Q_f = f \cdot L \cdot (t_i - t_u)$$

Hierin ist

$Q_f$  der Fugenverlust in  $\text{kcal}/\text{h}$ ,

$f$  die Fugenzahl in  $\text{kcal}/\text{m}^3 \text{h}^\circ\text{C}$ ,  $f = V \cdot 0,3$

$L$  die Fugenlänge in  $\text{m}$  und

$t_i$  und  $t_u$  die Innen- und die Außentemperatur.

Für die Fugenzahl gilt Tabelle 3.

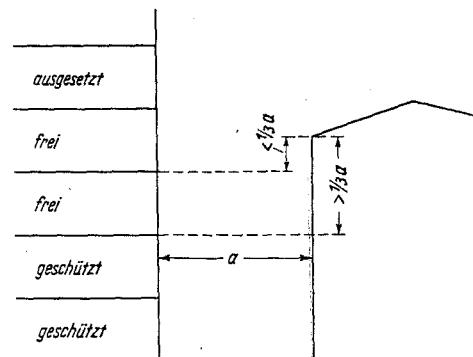


Bild 2. Lageklassen in bezug auf den Windangriff zur Berechnung des Fugenverlustes.

Tabelle 3.

	Lage			
	1	2	3	4
Einfachfenster	0,4	0,8	1,2	1,7
Verbundfenster	0,4	0,7	1,1	1,5
Doppelfenster	0,3	0,5	0,8	1,1

Bei Räumen mit Fenstern oder Türen in mehreren Außenwänden wird mit Fugenverlust in allen Wänden gerechnet. Der Anteil der Wand, bei der die Fugenverluste am kleinsten sind, wird jedoch um 50 vH reduziert. Ebenso werden zwar Eckfenster behandelt, aber dabei hervorgehoben, daß bei vorstehenden und zurückweichenden Fassadenteilen (Erker, Balkone usw.) keine Reduktion erfolgen darf, auch wenn Fensterecken vorkommen, weil der Winddruck sich über die ganze Fassade einschließlich Einbauchungen u. dgl. auswirken wird. Die *Fugenlänge* eines Fensters wird als die Summe der Längen der einzelnen Fugen gemessen, wobei die Fuge zwischen Rahmen und Wand mit ihrer halben Länge mitgerechnet wird. Für Türen dient dieselbe Fugenzahl wie für entsprechende Fenster, wird aber mit 2 multipliziert (ausgenommen die Blendrahmenfuge).

Zum Fugenverlust sind folgende Zuschläge zu rechnen, je nach der Lage:

Süd, Südwest	0 vH
Südost, West, Nordwest	15 vH
Nord, Nordost, Ost	30 vH

Ist der Fugenverlust kleiner als  $10 \text{ kcal}/\text{m}^2$  Bodenfläche, so wird der Fugenverlust des Raumes mit Rücksicht auf den erforderlichen Luftwechsel mit diesem Wert angesetzt.

#### Innentemperaturen

In den dänischen Regeln ist einzig für Wohnräume und Schlafzimmer die Innentemperatur mit  $+20^\circ\text{C}$  vorgeschrieben; die Temperatur anderer Räume ist in jedem Einzelfall festzulegen (übliche Praxis  $15^\circ\text{C}$  für Wohnküchen). In ungeheizten Räumen wird die Temperatur schätzungsweise festgesetzt und im Zweifelsfall durch Nachrechnen kontrolliert. Bei Heizkörpern an der Außenwand wird die Temperatur im Zwischenraum mit  $50^\circ\text{C}$  angenommen, es sei denn, daß eine genaue Berechnung durchgeführt wird. Vorausgesetzt ist, daß eine Warmwasseranlage benutzt wird, was in Dänemark weitaus am häufigsten ist. Die Temperatur unter der Decke wird um  $2^\circ\text{C}$  höher und die Temperatur am Fußboden um  $2^\circ\text{C}$  niedriger als die Mitteltemperatur des Raumes gerechnet. Ist die Raumhöhe wesentlich über 3 m, so wird die Deckentemperatur um  $1^\circ\text{C}$  höher je zusätzlichen Meter angesetzt.

In Räumen mit besonders vielen kalten Flächen, z. B. mehreren Außenwänden, wird eine Person, die sich in diesem Raum aufhält, in der Regel mehr Wärme durch Ausstrahlen an die kalten Flächen abgeben als normal, und es wird in solchen Räumen eine

lebhaftere Luftbewegung sein. Wenn das Wohlbefinden wie in normalen Räumen sein soll, muß die Wärmeabgabe durch Konvektion herabgesetzt werden, d.h., die Lufttemperatur muß in einem solchen Raum höher sein. Dies ist in den Regeln berücksichtigt worden. Aus praktischen Gründen wird jedoch nicht mit einer höheren Lufttemperatur gerechnet, sondern man gibt dafür einen prozentualen Zuschlag zum ganzen Wärmeverlust.

Hat ein Raum mehr als eine kalte Wandfläche<sup>2)</sup>, so kommt ein Zuschlag von 3 vH zum gesamten Wärmeverlust für jede zusätzliche kalte Wandfläche hinzu. In einem Eckzimmer im Dachgeschoß sind im allgemeinen drei kalte Wandflächen; der Zuschlag beträgt also 6 vH. Als kalte Wandflächen gelten:

Außenwände,

Fußböden über ungeheizten Kellern, Torräumen, Läden u. dgl., Decken unter massiven Dächern und ungeheizten Dachräumen u. dgl.,

Innenwände, die voraussichtlich besonders kalt sein werden (Treppenhäuser).

### Außentemperaturen

In Dänemark darf bei der Wärmeverlustrechnung überall mit der gleichen Außentemperatur gerechnet werden. Die Erfahrung zeigt, daß bei der Wahl von  $-15^{\circ}\text{C}$  Heizungsanlagen von passender Größe und Leistungsfähigkeit entstehen. Diese Zahl ist rein empirisch; sie kann nach meiner Ansicht keinen tiefgehenden meteorologischen Erwägungen unterworfen und muß nur nach der geographischen Lage korrigiert werden. Mit  $-15^{\circ}\text{C}$  wird allgemein gerechnet. Der Ausschuß, der die Regeln bearbeitete, ließ es nach längerer Überlegung mit ihr sein Bewenden haben.

Vielleicht wäre es folgerichtiger, mit der Mitteltemperatur der Heizungssaison (in Dänemark  $+3,9^{\circ}\text{C}$ ) oder womöglich einer etwas niedrigeren Temperatur als Dimensionierungsgrundlage für Heizkörper und Rohrleitungsnetze zu rechnen, weil es am wichtigsten ist, bei dieser Temperatur die Heizungsanlage im Gleichgewicht zu haben. Die Kesselanlage sollte natürlich nach wie vor so dimensioniert werden, daß auch für kalte Perioden genügend Kesselleistung vorhanden ist.

Nach Bild 3 wird im Durchschnitt nur an einem Tag alle siebzehn Jahre die mittlere Tagstemperatur niedriger sein. Die Heizkörper werden gewöhnlich für eine Vorlauftemperatur von 90 bis  $95^{\circ}\text{C}$  bei  $-15^{\circ}\text{C}$  Außentemperatur dimensioniert; die Vorlauftemperatur kann (namentlich bei automatisch gesteuerten Anlagen und Kesseln) auf 100 bis  $105^{\circ}\text{C}$  erhöht werden.

<sup>2)</sup> In Fällen, wo Wände, Decken oder Fußböden nicht als völlig dicht angenommen werden können, wie in Dachwohnungen mit Holzkonstruktionen, erfolgt ein zusätzlicher Zuschlag für Undichtheiten in Höhe von 10 bis 15 vH vom gesamten Wärmeverlust des Raumes.

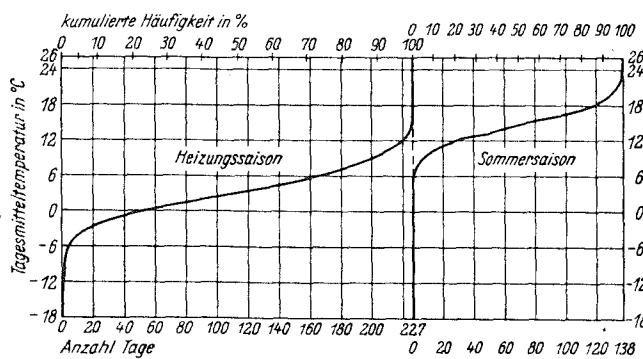


Bild 3. Summenkurve über die Tagesmitteltemperatur in Dänemark an den 227 Tagen der Heizungssaison vom 24. September bis 8. Mai links und an den 138 Tagen der Sommersaison rechts.

Nur in einem Fall enthalten die dänischen Regeln hierzu eine Korrektur, nämlich bei Flächen, die freie Ausstrahlung an den Himmelraum haben. Dies erfolgt durch einen Zuschlag zum Wärmedurchgangsverlust:

bei schrägen Flächen und Dächern . . . . . 10 vH Zuschlag,  
bei waagerechten Flächen . . . . . 15 vH Zuschlag.

Die dänischen Regeln sehen keinen Zuschlag für *unterbrochenen Betrieb* vor. In der Bezugsaußentemperatur von  $-15^{\circ}\text{C}$  liegt genügende Sicherheit; in kalten Perioden kann Tag und Nacht eine konstant hohe Kesseltemperatur gehalten werden.

Im übrigen ist es äußerst mühsam, mit unterbrochenem Betrieb zu rechnen. Prozentuale Zuschläge zum Wärmeverlust o. dgl. sind sinnlos, weil bei unterbrochenem Betrieb die Wärmeaufspeicherung in Innenwänden und Möbeln mindestens eine ebenso große Rolle spielt wie die Wärmespeicherung der Außenwände.

### Wärmedurchgangszahl

Bei der Berechnung der Wärmedurchgangszahl  $k$  wird die übliche Formel benutzt:

$$\frac{1}{k} = m_i + m_u + m_e + \frac{e_1}{\lambda_1} + \frac{e_2}{\lambda_2} + \dots$$

Darin bedeutet:

$m$  die Übergangswiderstände an der Innenseite und Außenseite der Wand und der Widerstand in etwaigen Luftsichten,  
 $e$  die Schichtdicken und  
 $\lambda$  die Wärmeleitzahlen dieser Luftsichten.

Tabelle 4. Wärmeübergangswiderstände in  $^{\circ}\text{C} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^2/\text{kcal}$

Fläche	$m_i$	$m_u$	$m_i + m_u$
Außenwände oder andere Flächen ans Freie . . . . .	0,15	0,05	0,20
Innenwände, Geschoßdecken usw. . . . .	0,15	0,15	0,30
Einfachfenster . . . . .	0,10	0,05	0,15
Doppelfenster und Verbundfenster . . . . .	0,12	0,05	0,17

Tabelle 5. Widerstandszahlen in  $^{\circ}\text{C} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^2/\text{kcal}$  für Luftsichten

Dicke der Luftsicht	$m_l$
bei punktweiser Berührung der Flächen, gedrückte Fuge . . . . .	0,05
0,5 bis 1,0 cm . . . . .	0,10
1,1 bis 1,9 cm . . . . .	0,15
mindestens 2,0 cm . . . . .	0,20
mindestens 2,0 cm, aber etwas belüftet, entsprechend den Hohlräumen bei Doppelfenstern . . . . .	0,15

Bei Kleinhäusern werden in ausgedehntem Maße 30 cm hohle Außenmauern verwendet, mit Stahldrahtbügeln und voll gemauert um Türen und Fenster und an den Geschoßdecken. Hier wird die Fläche zu 30 vH als voll gemauert gerechnet. Bei 35 cm hohlen Mauern mit festen Binderkolonnen werden 40 vH als voll gemauert gerechnet. Dies spielt namentlich eine Rolle, wenn der Hohlrbaum mit einem gut isolierenden Stoff gefüllt wird.

### Wärmeleitzahl

Alle Baustoffe kommen in der Praxis mit einem größeren oder kleineren Feuchtigkeitsgehalt vor, und da die Wärmeleitzahl mit dem Feuchtigkeitsgehalt stark zunimmt, ist es notwendig, diesen in der Wärmeverlustrechnung zu berücksichtigen (Tabelle 6 bis 9. Mit den Auszügen von den dänischen Tabellen).

Die „inneren“ Wärmeleitzahlen gelten für Materialien mit dem Feuchtigkeitsgehalt, mit dem man normalerweise in Innenwänden und Einschüben sowie im inneren Teil von Außenwänden an geheizten Räumen rechnen kann. Die „äußeren“ Wärmeleitzahlen gelten für Materialien mit dem Feuchtigkeitsgehalt, der normalerweise im äußeren Teil von Außenwänden an geheizten Räumen oder in der ganzen Wanddicke bei Räumen mit niedrigerer Temperatur

Tabelle 6. Wärmeleitzahlen für Mauerwerk aus Steinen in Normalformat, in Kalkmörtel vermauert.

Art der Mauersteine	Mauerwerk hergestellt aus den Mauersteinen			
	„Trockenes“ Raumgewicht einschl. Fugenmaterial kg/m <sup>3</sup>	Wärmeleitzahl $\lambda$ kcal/m · h · °C in der Praxis verwendbar		
		Innen	Außen	Äußerer halber Stein einer Hohlmauer
Ziegelsteine, klinkergebrannt	1930	1,0	1,2	—
Ziegelsteine, schwere Vormauerziegel	1780	0,65	0,76	0,82
Ziegelsteine, geflammt	1700	0,55	0,65	0,70
Leichte Ziegelsteine	1620	0,46	0,55	0,58
Leichte Ziegelsteine	1470	0,42	0,48	0,50
Leichte Ziegelsteine	1300	0,38	—	—
Molersteine	1000	0,28	—	—
Klinkerbetonmauersteine	1000	0,30	0,4	—
Klinkerbetonmauersteine	850	0,25	0,35	—
Schlackenbeton-Mauersteine	1300	0,45	0,55	—
Kalksandsteine	1900	1,0	1,2	—
Kalksandsteine	1780	0,75	0,9	—
Vielochsteine mit 78 Löchern 0,8 × 0,8 cm				
Raumgewicht der Ziegelmasse:				
1800 kg/m <sup>3</sup>	1500	0,46	0,55	0,58
1600 kg/m <sup>3</sup>	1350	0,42	0,48	0,50
1400 kg/m <sup>3</sup>	1270	0,38	0,43	0,44
1200 kg/m <sup>3</sup>	1120	0,3	—	—

Tabelle 7. Wärmeleitzahlen für Mauerwerk aus massiven Blöcken, ca. 25 × 50 cm, mit Kalkzementmörtel vermauert.

Art der Blöcke	Mauerwerk hergestellt aus den Blöcken			
	„Trockenes“ Raumgewicht einschl. Fugenmaterial kg/m <sup>3</sup>	Wärmeleitzahl $\lambda$ in der Praxis verwendbar kcal/m · h · °C		
		Innen	Außen	
Schlackenbeton	1450	0,5	0,6	
Schlackenbeton	1230	0,45	0,55	
Leichtbetonblöcke		s. Bild 5 Kurve 3	s. Bild 5 Kurve 1	
Natursteine, dichte	—	—	3	
Natursteine, poröse	—	—	1,4	
Molerplatten		0,20	—	

Tabelle 8. Wärmeleitzahlen für homogene Materialien.

Material	Wärmeleitzahl $\lambda$ in der Praxis verwendbar kcal/m · h · °C			
	Innen	Außen		
Materialien in großen Platten oder Blöcken mit Knirschfugen ohne Mörtel oder an Ort und Stelle betoniert:				
Stahlbeton	1,4	1,8		
Beton	1,2	1,4		
Schlackenbeton	0,45	0,55		
Schlackenbeton	0,4	0,5		
Leichtbeton		s. Bild 5 Kurve 4	s. Bild 5 Kurve 2	
Molerbeton		0,25	0,35	
Molerbeton		0,2	0,3	
Putz und Mörtel:				
Zementmörtel	1,0	1,2		
Kalkzementmörtel	0,8	1,0		
Kalkmörtel	0,6	0,8		
Gips	0,45	—		
Isoliermörtel	0,12	—		
Rohr und Kalkputz	0,3	—		
Holz:				
Nadelholz, rechtwinklig zu den Fasern	0,13	0,16		
Nadelholz, parallel zu den Fasern	0,25	—		

angenommen werden kann. Bei „massiven Außenwänden aus Mauerwerk aus Steinen im Normalformat“ wird mit der „äußeren“ Wärmeleitzahl für die Vormauerschichten (Bild 4) und mit der „inneren“ für den Rest der Mauer gerechnet. Für andere massive homogene Außenwände rechnet man mit dem Mittel der „äußeren“ und der „inneren“ Wärmeleitzahl.

Für Füllstoffe, Platten usw. ist folgende Wärmeleitzahl zu verwenden:

Tabelle 9. Wärmeleitzahlen für homogene Materialien

Material	Wärmeleitzahl $\lambda$ in der Praxis verwendbar kcal/m · h · °C	
	Innen	Außen
Isolierplatten mit Holz als Hauptbestandteil:		
Holzfaserplatte, hart	0,12	0,15
Holzfaserplatte, halbhart	0,07	0,08
Holzfaserplatte, weich	0,045	0,055
Holzwolle-Betonplatten 2,5 cm	0,10	0,12
Holzwolle-Betonplatten 5 cm	0,08	0,09
Holzwolle-Betonplatten 10 cm	0,07	0,075
Isoliermatte und -platten:		
Glaswollmatten in Papier oder Stoff	0,032	0,036
Rockwoolmatten in Papier oder Stoff	0,032	0,036
Rockwool-Batts	0,035	0,04
Füllstoffe:		
Betonklinker, lose, 10 bis 20 mm	0,07	0,09
Betonklinker, lose, 3 bis 10 mm	0,075	0,09
Betonklinker, lose, 0 bis 3 mm	0,09	0,12
Glaswolle und Rockwool in waagerechten Schichten	0,032	0,036
Glaswolle und Rockwool in senkrechten Hohlräumen	0,035	0,04
Vermiculite	0,055	0,06

Bei Geschoßdecken in den mittleren Geschossen die „innere“ Wärmeleitzahl,

bei Geschoßdecken ans Freie der Mittelwert der beiden Wärmeleitzahlen und

für Füllstoffe in hohen Außenwänden die „äußere“ Wärmeleitzahl.

Waagerechte Schichten von körnigen oder granulierten Materialien, die nicht mit Holzdielen o. dgl. abgedeckt werden, sollten anderswie abgedeckt werden, z. B. mit schwerem Papier. Körnige oder granulierte Materialien sollten nicht in kleineren Schichtdicken als der zweifach durchschnittlichen Korngröße verwendet werden. Der Unterschied zwischen den Kurven im Bild 5 ist teils auf unterschiedlichen Feuchtigkeitsgehalt, teils — bei den vermauerten Materialien — auf den Einfluß der Fugen zurückzuführen, weil hier mit 10 vH Fugenfläche gerechnet ist.

Die Kurven 1 und 3 werden auf vermauerte Blocksteine angewendet, sei es, daß diese eine selbständige Wand bilden, sei es, daß sie als Isolation z. B. an einer Wand von Eisenbeton vermauert sind. Die Kurven 2 und 4 beziehen sich teils auf Blöcke oder Platten, die in Verschalung mit Knirschfugen aufgesetzt sind, teils auf Platten, die an Ort und Stelle vergossen sind.

#### Ausführung der Berechnungen

In den „Regeln“ ist eine lange Reihe von Wärmedurchgangszahlen angeführt, die nach den vorerwähnten Richtlinien berechnet sind. Ferner enthalten die Regeln ein Berechnungsbeispiel und ein Schema, das bei der Berech-

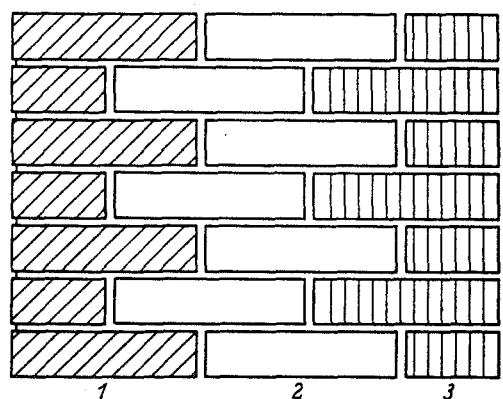


Bild 4. Massive Mauer aus Ziegelsteinen im dänischen Normalformat 23 × 11 × 5,5 cm. Für die Blendschichten 1 wird die äußere und für den Rest der Mauer die innere Wärmeleitzahl gerechnet.

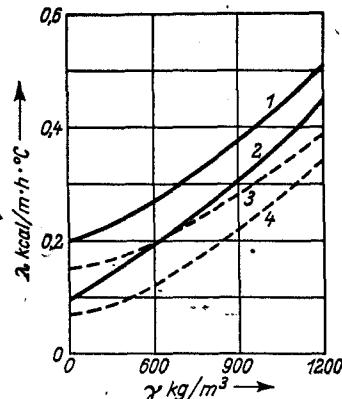


Bild 5.  
Wärmeleitzahlen für Leichtbeton in Blöcken oder Platten 1 außen aufgemauert, 2 außen in Verschalung aufgesetzt, 3 innen aufgemauert, 4 innen in Verschalung aufgesetzt.

nung benutzt werden kann, was beim „Verein Dänischer Ingenieure“ erhältlich ist.

### Schwedische Erfahrungen

In Schweden existieren bisher keine Regeln für die Berechnung des Wärmeverlustes von Gebäuden. Das Baugesetz enthält nur Vorschriften in Verbindung mit den in Tabelle 1 angegebenen Forderungen. Der schwedische „Wärme-, Lüftungs- und Sanitärtechnische Verein“ hat die Frage jetzt aufgegriffen. In einem vorbereiteten Handbuch wird ein Normenkapitel über die Berechnung des Wärmeverlustes enthalten sein. Die Arbeit wird vom Schwedischen Bauforschungsamt geleitet (Kungliga Tekniska Högskolan, Stockholm 70). Soweit heute ein Überblick möglich ist, wäre folgendes zu sagen:

#### Lüftungsverlust

Der natürliche Luftwechsel wird auf die Fenster bezogen und voraussichtlich proportional zur Fensterfläche gerechnet werden.

Viele Messungen über Wind- und Regendichtheit von Fenstern und Holzwänden sind durchgeführt worden [5]. Die mittlere Windgeschwindigkeit in Schweden ist recht niedrig (2 bis 6 m/s) und dies namentlich bei strenger Kälte. Dafür sind aber die in Schweden üblichen Absaugkanäle aus jedem Raum zu berücksichtigen. Die Kanäle werden in der Regel zusammen mit dem Schornstein herausgeführt, so daß sie warm liegen und einen guten Abzug geben.

Der thermische Unterdruck in den Wohnungen wird dieselbe Größenordnung aufweisen wie der dynamische Druck des Windes; man kann vermutlich mit einem Druckunterschied über die Außenwände von weniger als 2 mm WS bei einem dreigeschossigen Haus rechnen. Dieser Druckunterschied gibt keinen besonders großen Lufteinfall. Auch wenn man die Luftmengen hinzurechnet, die direkt durch die Wände dringen, wird der natürliche Luftwechsel nur etwa 0,2 mal je Stunde sein; das ist als zu niedrig anzusehen. Es ist bedeutend weniger, als in dänischen Wohnungen gemessen worden ist (geringere Windgeschwindigkeit in Schweden, gute Qualität der schwedischen Fenster).

Bei der Wärmeverlustberechnung wird es notwendig sein, einen Mindestluftwechsel festzusetzen unter Berücksichtigung der durchgeföhrten Messungen [6] sowie physiologischer und hygienischer Forderungen. Wahrscheinlich muß mit einem 0,5 bis 0,7 maligen Luftwechsel stündlich durch natürliche Lüftung gerechnet werden. Da in Schweden weitgehend künstliche Absaugung in gewöhnlichen Wohnungen betrieben wird, sind im Baugesetz die Mindestluftmengen festgelegt worden, die bei der Dimensionierung von Ventilatoren und Luftkanälen zugrunde zu legen sind (Tabelle 10). Bei der Wärmeverlustberechnung ist es nicht notwendig, mit so hohen Werten zu rechnen, da die Luftmengen in Kälteperioden nach unten reguliert werden können.

Tabelle 10. Mindestforderungen für den Luftwechsel bei der Dimensionierung von Lüftungsanlagen in Wohnungen.

Raum	Luftwechsel m <sup>3</sup> /h
Wohnräume $\geq 8 \text{ m}^2$ Bodenfläche	45
Wohnräume $\geq 8 \text{ m}^2$ Bodenfläche	25
Offener Herd	150
Küche an Wohnung	80
Kochschrank	60
Badezimmer an Wohnung	60
Abort an Wohnung	30
Fahrstuhl-Antriebsraum bei Wohnungen	45
Waschraum für jeweils eine Familie	8 Luftwechsel/h
Bügelstube für jeweils eine Familie	4 Luftwechsel/h
Speisewarenkeller	½ Luftwechsel/h
Aufbewahrungsraum im Keller	½ bis 1 Luftwechsel/h
Arbeitsräume, Versammlungssäle o. dgl.	½ bis 30 m <sup>3</sup> /h und Person

#### Innentemperaturen

In Schweden ist es bisher üblich gewesen, in den Wohnräumen mit einer Innentemperatur von 20 °C zu rechnen. Es besteht eine Tendenz zur Anhebung, so daß Innentemperaturen von 20 bis 22 °C herauskommen.

#### Außentemperaturen

Infolge der Ausdehnung des Landes (Nord—Süd 1600 km) müssen in Schweden unterschiedliche maßgebende Außentemperaturen für die einzelnen Gegenden zugrunde gelegt werden ( $-35^{\circ}\text{C}$  im Norden,  $-12^{\circ}\text{C}$  im Süden). In Schweden besteht ein großer Teil der Wohnungsbauten aus Holzhäusern. Es ist deshalb notwendig, Außentemperaturen sowohl für leicht als auch schwer gebaute Häuser unter Berücksichtigung ihres weit verschiedenen Wärmespeicherungsvermögens festzulegen.

Wenn ein Gebäude einer Temperatur ausgesetzt wird, die niedriger ist als die, für welche seine Heizungsanlage dimensioniert ist, wird die Innentemperatur zu sinken beginnen. Allmählich wird sie um so viel Grad absinken, wie der Unterschied zwischen der jeweiligen Außentemperatur und der zugrundegelegten Außentemperatur beträgt. Die Geschwindigkeit dieses Absinkens wird teils von dem Wärmeschutz des Gebäudes, teils von der Wärme, die das Gebäude beim Absinken der Innentemperatur abgibt, abhängig sein. Angenähert beträgt der Rückgang der

Innentemperatur nach  $T$  Stunden [7]:  $\Delta t_u (1 - e^{-\frac{T}{R}})$  (es bedeutet  $\Delta t_u$  das Absinken der Außentemperatur unter die maßgebende Außentemperatur und  $R$  die Zeitkonstante des Gebäudes in Stunden) und  $R = \frac{Q_1}{\Sigma k \cdot F + W_v}$  ( $Q_1$  ist der effektive Teil der Wärmespeicherung des Gebäudes, der freigegeben wird, wenn die Temperatur um  $1^{\circ}$  gesenkt wird.  $\Sigma k \cdot F$  und  $W_v$  sind die Wärmeverluste durch die Außenwände und durch Lüftung bei  $1^{\circ}$  Temperaturunterschied innen, und außen).

Für leichte Häuser wird  $R = 24$  Stunden und für schwere Häuser  $R = 80$  Stunden gerechnet. Aus einer statistischen Analyse der meteorologischen Temperaturbeobachtungen über eine längere Reihe von Jahren sind die relativen Frequenzen für extrem niedrige Außentemperaturen für 1- und 5-Tage-Perioden berechnet worden. An Hand dieser Zeitkonstanten werden die maßgebenden Außentemperaturen für die verschiedenen Orte als die Temperaturen bestimmt, wo die Innentemperatur einmal alle 30 Jahre die normale Temperatur beispielsweise um  $3^{\circ}\text{C}$  unterschreitet. In Schweden ist es üblich, die Innentemperatur die ganzen 24 Stunden hindurch zu halten, so daß die Heizungsanlage kontinuierlich betrieben wird. Man kennt mithin keinen Zuschlag für unterbrochenen Betrieb.

#### Wärmedurchgangszahl

Als Wärmeübergangszahlen an Wänden und Decken wird mit den üblichen Werten gerechnet. Unter Zugrundelegung der von Brown [8] durchgeföhrten Messungen wird bei der Berechnung des Wärmedurchgangsverlustes bei Dächern ein Zuschlag von mindestens 10 vH gegeben. Bei mehrstöckigen Häusern sollte dieser Zuschlag jedoch größer

sein, damit bei mildem Wetter sich nicht eine niedrigere InnenTemperatur im oberen Stockwerk als in den unteren ergibt. Bei mehrstöckigen Häusern ohne belüftete Dachräume soll der Zuschlag ca. 15 vH betragen. Ist der Dachraum belüftet, so wird bei der Berechnung des Durchgangsverlustes durch die obere Geschoßdecke angenommen, daß die Temperatur im Dachraum die gleiche ist wie die Außentemperatur.

### Nicht unterkellerte Häuser

Es wird in den skandinavischen Ländern gebräuchlich, Kleinhäuser ohne Keller unmittelbar auf die Erde zu stellen. Die Oberfläche des Fußbodens wird ein wenig über Gelände Höhe gelegt (in Dänemark 30 cm). In Schweden durchgeführte Untersuchungen [10] an solchen Fußböden haben die in Tabelle 11 [11] angeführten Wärmedurchgangszahlen ergeben.

Tabelle 11. Wärmewiderstand und Wärmedurchgangszahl für rohe Betonfußböden unmittelbar über Erdreich, gerechnet von Raumluft an Außenluft.

Teil des Fußbodens	Mitte	1 m Randzone
Geschätzter Wärmewiderstand von Raumluft an Außenluft $m^2 \cdot h^{-1} \cdot ^\circ C / kcal$ . . . . .	1,10	0,85
Wärmedurchgangszahl ohne zusätzliche Isolierung	0,9	1,2
Dicke in mm von zusätzlicher Isolation mit $\lambda = 0,04$ zur Erzielung einer Wärmedurchgangszahl $k = 0,4$ .	40	50

### Literatur

- [1] Bergvall, L.: Värmeisolering av bostadshus (Wärmeschutz von Wohnbauten). Meddelanden från Statens Byggnadslänebyrå Nr. 5A—1943, Stockholm 1943.  
 [2] Anvisningar till byggnadsstadgan (Anleitungen zum Bau-gesetz). Kungl. Byggnadsstyrelsens publikationer 1950:1, Stockholm 1950.

- [3] Tekniske krav og vejledning, etagebyggeri (Technische Forderungen und Anleitung, Geschoßbauten). Boligministeriet, Kopenhagen 1956.  
 [4] Regler for beregning af varmetab fra bygninger (Regeln für die Berechnung des Wärmeverlustes von Gebäuden). Dansk Ingenørforening, 2. Aufl., Kopenhagen 1955.  
 [5] Birkeland, O.: The Design of Multi-layer Walls, Norges Byggforskningsinstitut, Rapport 24, Oslo 1957.  
 [6] Rydberg, J. und Arnell, A.: Ventilationens storlek i bostäder (Größe der Lüftung in Wohnhäusern). Statens kommitté för byggnadsforskning, Meddelanden 15, Stockholm 1949.  
 [7] Adamson, B., Brown, G., und Hovmöller, E.: Dimensionerande utetemperatur (Maßgebende Außentemperatur). Statens byggnadsbesparingsutredning, Stockholm 1957.  
 [8] Brown, G.: Värmeövergång vid byggnadens yttertytor (Wärmeübergang an den Außenflächen von Gebäuden). Statens nämnd för byggnadsforskning, Handliger 27, Stockholm 1956.  
 [9] Becher, P.: Døgnmiddeletemperaturernes fordeling over året (Verteilung der Tagesmitteltemperaturen über das Jahr). Statens Byggeforskningsinstitut, Sonderdruck 42, Kopenhagen 1954.  
 [10] Jansson, J., Holmqvist, N., und Henriksson, P.: Isolering av golv och liggplatser i djurställar (Isolierung von Fußboden und Liegeplätzen in Viehställen). Statens forskningsanstalt för lantmannebyggnader, Meddelande 38, Lund 1957.  
 [11] Becher, P., und Petersen, H.: Gulve direkte på jord (Fußböden unmittelbar auf Erdreich). Statens Byggeforskningsinstitut, anvisning 40, Kopenhagen 1958.

Anschr. d. Verf.:

Statens Byggeforskningsinstitut, Kopenhagen K., Borgergade 20.

## Die französischen und schweizerischen Regeln

Von Ing. Hans KAMM, Bern

### I. Berechnung des Wärmebedarfes von Gebäuden in Frankreich

Wenn ich, als Schweizer, über die französischen Berechnungsmethoden berichte, so läßt sich dies dadurch rechtfertigen, daß ich — anlässlich der Bearbeitung der neuen schweizerischen Berechnungsregeln — auch die französischen Methoden und die umfangreiche französische Fachliteratur eingehend studiert habe und durch Teilnahme an französischen Kongressen wertvollen Kontakt mit den maßgebenden französischen Fachleuten erhielt, was die Einfühlung in die französische Methodik erleichtert haben mag. Wenn es auch möglich ist, daß einiges übersehen wurde, wird sich dennoch ein Überblick ergeben. In Frankreich ist eine ganze Reihe hervorragender Arbeiten über das Gebiet der Wärmebedarfsberechnung publiziert worden. Da die französischen Ingenieure in der Regel ausgezeichnete Mathematiker sind — als Folge ihrer entsprechenden Schulung — so ist es verständlich, daß ein großer Teil ihrer Arbeiten dem nichtstationären Wärmedurchgang gewidmet ist, dem man bekanntlich nur mit umfangreichen mathematischen Operationen beikommt. Nicht minder wertvoll sind aber auch ihre Arbeiten über die empfundene Temperatur, über die sogenannte resultierende Temperatur.

#### Die „Methode de calcul“

Die „Méthode de calcul des déperditions thermiques des locaux en régime continu“ ist im Jahr 1949 in Paris erschienen, und sie wurde herausgegeben von der „Association des ingénieurs de chauffage et de ventilation de France“ und vom „Institut technique du bâtiment et des

travaux publics, Paris“. Es ist ein Werk im Umfang von etwa 70 Seiten [1].

In einem ersten Teil der französischen Regeln wird die Wärmetransmission behandelt, mit Tabellen über die Innen- und Außentemperaturen und über die Zuschläge. In einem zweiten Teil wird die Berechnung des Wärmebedarfes zu folge des Kaltlufteinfallen gezeigt, mit Tabellen über die Zuschläge hierfür. Man findet auch ausführliche Anleitungen zur Behandlung von Spezialfällen, wie beispielsweise die Berechnung des Wärmeflusses in das Erdreich und durch unendlich dicke Mauern, man findet ferner Berechnungsmethoden für die natürliche Ventilation von Räumen als Folge der Temperaturunterschiede. Eine Sammlung von  $k$ -Werttabellen beschließt das Werk.

#### 1. Die Formel

Wie bereits angedeutet, wird die französische Berechnungsmethode zweigeteilt, erstens in die Berechnung des Wärmebedarfes durch die Transmission und zweitens in die Ermittlung des Wärmebedarfs durch den natürlichen Luftwechsel. Beide Teile erhalten Zuschläge zur Erfassung der verschiedenenartigen Einflüsse von Wind und Wetter. Wenn wir versuchen, die französische Methode in eine Formel zu kleiden, so sieht diese etwa wie folgt aus:

$$Q_h = \sum_n F_n \cdot k_n (t_L - t_A)_n \cdot z_n + 0,31 \cdot n \cdot V (t_L - t_A) \cdot z_{LW}. \quad (1)$$