

S O N D E R D R U C K

aus den

VERÖFFENTLICHUNGEN AUS DEM INSTITUT
FÜR HOCHBAU FÜR BAUINGENIEURE DER
TECHNISCHEN HOCHSCHULE WIEN

Heft 2

Juli 1974

Der Windeinfluss auf den Wärmebedarf von
Wohnbauten

von

H. Stöcher

Nachdruck der Vervielfältigung nur mit Genehmigung des Institutes und Quellenangabe gestattet.

Redaktion und für den Inhalt verantwortlich, Herausgeber, Eigentümer und Verleger:
Institut für Hochbau für Bauingenieure der Technischen Hochschule Wien,
Karlsplatz 13, 1040 Wien.

Für den Inhalt verantwortlich der Verfasser.

Druck: A. u. E. Redl OHG, Heiligenstädter Straße 2, 1090 Wien, Telefon 34 63 85

DER WINDEINFLUSS AUF DEN WÄRMEBEDARF VON WOHNBAUTEN

Ein Beitrag zu einer zuverlässigeren Heizanlagenbemessung

Für die Bemessung einer Heizanlage sowie für die Berechnung des Wärmebedarfes pro Heizsaison kommen in Österreich die folgenden Normen und Richtlinien zur Anwendung:

- ÖNORM M 7500. Heizanlagen. Berechnung des Wärmebedarfes. Wien, Juli 1959.
- DIN 4701. Regeln für die Berechnung des Wärmebedarfes von Gebäuden. Berlin, Januar 1959.
- VDI Richtlinie 2067. Richtwerte zur Vorausberechnung der Wirtschaftlichkeit verschiedener Brennstoffe (Koks, Kohle, Heizöl, Gas) bei Warmwasser-Zentralheizungsanlagen. Düsseldorf, Jänner 1957. bzw. in Anlehnung daran:
- HEA-Richtlinie. Elektrische Raumheizung. Richtwerte zur Vorausberechnung der Wirtschaftlichkeit von Elektroheizungsanlagen. Richtlinien des Hauptausschusses für Elektroanwendung (HEA). Essen, März 1969.

Im Folgenden soll nun gezeigt werden, daß bei üblicher, verhältnismäßig undichter Ausbildung der Gebäudeaußenhaut die obigen Bemessungsverfahren unzulängliche Werte liefern können und daß für eine zuverlässige Bemessung von Heizanlagen präzise meteorologische Informationen über das gemeinsame Auftreten von Lufttemperatur und Windgeschwindigkeit erforderlich sind.

1. Analyse der herkömmlichen Bemessungsverfahren:

1.1 ÖNORM M 7500:

Die zur Aufrechterhaltung einer gleichmäßigen Innenraumtemperatur bei winterlichem Außenklima erforderliche Leistung einer Heizanlage beträgt:

$$Q = F_f \cdot k_f \cdot (t_i - t_a) + F_w \cdot k_w \cdot (t_i - t_a) + I \cdot k_i \cdot (t_i - t_a)$$

Q Wärmebedarf in kcal/h

k_f Wärmedurchgangszahl für Fenster bzw. Türen in kcal/m².h.°C

k_w Wärmedurchgangszahl für Wände, Decken und Fußböden in kcal/m².h.°C

k_i Wärmeverlustfaktor zur Berücksichtigung des Lüftungswärmebedarfes infolge von Undichtheiten (Infiltration) in kcal/m³.h.°C

F_f Fläche der Außenfenster und -türen in m²

F_w Fläche der exponierten Wände, Decken und Fußböden in m²

I Rauminhalt in m³

t_i Berechnungs-Rauminnentemperatur in °C

t_a Berechnungs-Außentemperatur in °C

Für den Wärmeverlustfaktor gelten dabei gemäß Tabelle 3 der genannten Norm folgende Werte bei doppelt ausgeführten und abgedichteten Fenstern und Türen, in kcal/m³.h.°C:

• Räume mit Fenstern oder Außentüren an einer Seite : k_i = 0,1
• Räume mit Fenstern oder Außentüren an zwei Seiten 0,2
• Räume mit Fenstern oder Außentüren an drei Seiten 0,3
• Eingangshallen 0,3
• Sonnige Räume mit vielen Fenstern an drei Seiten 0,4

Als Berechnungs-Außentemperatur ist das durchschnittliche Jahresminimum der Temperatur anzunehmen, in den meisten Siedlungsgebieten beträgt es etwa -18°C. In stark windigen Gegenden ist das durchschnittliche Jahresminimum noch um 3°C zu verringern, man kommt dort auf etwa -21°C.

Der angeführten Bemessungsformel zufolge wirkt sich also der Windeinfluß beim Wandanteil, beim Fensteranteil und beim Lüftungsanteil der zu installierenden Leistung gleichermaßen aus, was den tatsächlichen Verhältnissen nicht entspricht.

Da der Lüftungswärmeverlust auf das Raumvolumen und nicht auf die Fensterfläche bzw. die Fensterfugenlänge bezogen ist, kommen unterschiedliche Fensterflächenanteile im Ergebnis nicht so zur Geltung, wie es der Wirklichkeit entspricht.

1.2 DIN 4701:

Bei der Neubearbeitung der DIN 4701 im Jahre 1958 wurden zur Ermittlung des Lüftungswärmebedarfes die Windanfälligkeit des Raumes und die Undichtigkeiten seiner Fenster und Türen berücksichtigt, was sich folgendermaßen darstellt:

$$Q = \sum F_i \cdot k_i \cdot (t_i - t_a) \cdot (1 + z_U + z_A + z_H) + \sum (a \cdot l)_A \cdot R \cdot H \cdot (t_i - t_a) \cdot Z_E$$

Flächen der Raumbegrenzungsbauten in m²
diesen Flächen zugeordnete Wärmedurchgangszahlen in kcal/m².h.°C
Bemessungstemperatur innen in °C
Bemessungstemperatur außen in °C, bzw. im Nebenraum in °C
Zuschlag für Unterbrechnung des Heizbetriebes
Zuschlag zum Ausgleich der kalten Außenflächen
Zuschlag für die Himmelsrichtung
 $\sum (a \cdot l)_A$ die Durchlässigkeit der angeblasenen Fenster und Türen
Raumkenngröße
Hauskenngröße
Eckfensterzuschlagfaktor

Bei 9- bis 12-stündiger Betriebsunterbrechnung kann die Summe der Zuschläge z_U und z_A mit etwa 15 % angenommen werden.

Der Himmelsrichtungszuschlag beträgt für N,NW,NO + 5 %
 für O, W 0
 für S,SW, SO - 5 %

Die Raumkenngröße kann in erster Näherung zu 0,8 angenommen werden, der Eckfensterzuschlagfaktor Z_E beträgt 1,2 falls Fenster und Außentüren unmittelbar in der Ecke zweier aufeinanderfolgender Außenwände liegen, sonst ist er 1,0.

Die Hauskenngröße ist maßgeblich vom Windeinfluß geprägt, sie beträgt:

		im Reihenhaus	im Einzelhaus
in normaler Gegend,	geschützt:	0,24	0,34
	frei :	0,41	0,58
	sehr frei :	0,60	0,84
in windstarker Gegend,	geschützt:	0,41	0,58
	frei :	0,60	0,84
	sehr frei :	0,82	1,13

Windanfall und Fensterundichtheiten sind hier also eindeutig einander zugeordnet, die Frage der Gleichzeitigkeit tiefer Temperaturen und hoher Windgeschwindigkeiten wird aber nicht angeschnitten.

1.3 VDI-2067 (und sinngemäß: HEA-Richtlinie):

(zitiert nach F. Bruckmayer : Wirtschaftlicher Wärmeschutz, Teil III, FGW Wien 1972).

$$Q = \frac{1}{24} \cdot (6,3 \cdot f_A \cdot k_A + 7,7 \cdot f_F \cdot k_F + a_F \cdot L_{FM} \cdot H + 7,5 \cdot k_D + 3,3 \cdot k_K + 1,4) \cdot B \cdot V \cdot (t_i - t_a)$$

(für Mittelwohnungen)

$$Q = \frac{1}{24} \cdot (8,5 \cdot f_A \cdot k_A + 8,5 \cdot f_F \cdot k_F + a_F \cdot L_{FE} \cdot H + 7,5 \cdot k_D + 3,9 \cdot k_K + 1,4) \cdot B \cdot V \cdot (t_i - t_a)$$

(für Eckwohnungen)

f_A Anteil der Wand an der Außenwandfläche

f_F Anteil der Fensterfläche an der Außenwandfläche

k_A Wärmedurchgangszahl der Außenwand in kcal/m².h.°C

k_F Wärmedurchgangszahl der Fenster in kcal/m².h.°C

a_F Luftdurchlässigkeit der Fenster in m³/mh. (mmWS)^{2/3}

k_D, k_K Wärmedurchgangszahl des Daches bzw. der Decke gegen Dachboden, der Kellerdecke in kcal/m².h.°C

H Faktor zur Berücksichtigung der Lage des Gebäudes

V Volumen der Wohnung in m³

L_{FE} Faktor zur Berücksichtigung des Wärmeverlustes durch Fenster- und Türfugen für Eckwohnungen

L_{FM} Faktor zur Berücksichtigung des Wärmeverlustes durch Fenster- und Türfugen für Mittelwohnungen

B Faktor zur Berücksichtigung der Heizungsbetriebsart

$(t_i - t_a)$ Differenz der Bemessungstemperaturen innen bzw. außen.

Diese Formel für den Wärmebedarf ist bemerkenswerterweise auf dem Raumvolumen aufgebaut, berücksichtigt aber durch die Fensterflächenanteile auch die Größe der Fenster - unter Annahme üblicher Raumproportionen.

Der Betriebsfaktor B schwankt nur geringfügig, zwischen 1,0 und 1,15. Einen weiten Streubereich weist jedoch - in Abhängigkeit des Fensterflächenanteiles f_F - der Fensterfugenfaktor L_{FM} bzw. L_{FE} auf.

	Eckwohnung	Mittelwohnung
$f_F = 0,1$	$L_{FE} = 1,60$	$L_{FM} = 0,86$
0,2	2,28	1,24
0,3	4,32	2,38
0,4	7,72	4,28

Die Hauskenngröße H ist in gleichem Maße wie bei der DIN abgestuft, die Werte von Reihen- und Mehrfamilienhäusern sind 0,4-0,7-1,0-1,4 und lassen daher den Wind in gleichem Maße zur Geltung kommen. Das Zusammentreffen mit tiefen Temperaturen wird gleichfalls nicht berücksichtigt.

2. Kritische Stellungnahme zu den üblichen Bemessungsverfahren

Derzeit erfolgt die Berechnung der erforderlichen Leistung einer Heizanlage also dadurch, daß zu Transmissionsverlusten (durch Außenwände, Außendecken, Außentüren und Außenfenster) ein Zuschlag für die Berücksichtigung der Wärmeverluste durch Lüftung (durch undichte Fensterfugen, durch stoßweise Fensterlüftung, durch kontinuierlich betriebene Lüftungsanlagen) hinzugefügt wird:

die Berechnung des Energiebedarfes pro Heizsaison

erfolgt entweder mit Hilfe einer fiktiven Vollbetriebsstundenanzahl (bezogen auf eine extreme Bemessungstemperatur, meist das durchschnittliche Jahresminimum der Außen-temperatur) oder durch eine Heizgradtagzahl (das Integral der jeweiligen Temperatur-differenz zwischen der Außentemperatur und 20 K Innentemperatur, über die gesamte Heizsaison).

Beide Verfahren sind sehr praktisch, weil sie einfach zu handhaben sind, falls man die entsprechenden Daten (Zuschlagsfaktoren, Bemessungstemperatur, Vollbetriebs-stunden oder Heizgradtagzahl) kennt; und dies ist durchwegs der Fall.

Drei besondere Umstände geben aber Anlaß, die beiden Verfahren neu zu überdenken und verbesserte Bemessungsprozeduren vorzuschlagen:

- die mangelhafte Berücksichtigung besonderer Umweltbedingungen, insbesondere der Wahrscheinlichkeit des Zusammentreffens tiefer Außentemperaturen und hoher Windgeschwindigkeiten; (ein Temperaturzuschlag für Wind an kalten Tagen genügt nicht; es soll gezeigt werden, daß dadurch die Anlagen für die Gebäudeheizung in der Regel weit unterbemessen werden)
- die mangelhafte Berücksichtigung der besonderen Ausbildung der Fensterkonstruktionen, die je nach Fugendurchlässigkeit und Fugenlänge, sowie Wärmedämmung und Fensterflächenanteil ganz unterschiedliche Einflüsse auf die gesamten Wärmeverluste und - wie gezeigt werden soll - auch auf die Werte der maßgeblichen Bemessungsparameter haben.
- die fehlende Aussage über die Zuverlässigkeit der Heizanlage hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit für Bewältigung ungünstiger klimatischer Verhältnisse. Es soll durch das neue Verfahren eine Möglichkeit geboten werden, die Anlagenzuverlässigkeit - wie man will - entweder direkt als Ergebnis abzulesen, oder als Anfangsforderung in die Heizanlagenbemessung einzubauen.

Das dazu erforderliche Bemessungsverfahren soll auf den folgenden Seiten beschrieben und auf den anliegenden Diagrammen erläutert werden.

Die erforderlichen meteorologischen Informationen liegen als Meßdaten bereits bei den meteorologischen Stationen auf; ihre Weiterverarbeitung für die gegenständlichen Zwecke bedarf noch einiger Arbeit.

3. Die Berechnung der kritischen Heizleistung

3.1 Vorbemerkung über vereinfachende Annahmen

Bei der Berechnung der Heizleistung, die zur Bewältigung ungünstiger klimatischer Verhältnisse erforderlich ist, werden einige vereinfachende Annahmen getroffen, die jedoch das Ergebnis nicht wesentlich verschieben:

- Zur Zeit der klimatisch ungünstigen Verhältnisse kann nicht mit der Ergänzung der Heizleistung durch Einstrahlung von Sonnenenergie durch die Fenster gerechnet werden; (wie gezeigt werden wird, sind durchwegs klimatische Bedingungen mit hoher Windgeschwindigkeit für den kritischen Bemessungszustand maßgeblich; diese Winde treten in unseren Breiten im Talbereich fast ausschließlich bei bewölktem Himmel auf)
- Während der kritischen Phase ist - wegen der hohen Windgeschwindigkeiten, die dabei auftreten - so gut wie keine zusätzliche Lüftung erforderlich, da der Luftwechsel durch die Fensterfugen mehr als ausreichend den Frischluftbedarf deckt. Ausnahmen bestehen derzeit nur im Bürobau bei vollklimatisierten Bauwerken, wo wenig Fensterfugen vorkommen.
- Die für die Heizanlagenbemessung kritische Phase dauert so lange an, daß durch das instationäre Verhalten des Bauwerks in der Regel keine Überbrückungs-

Q_L Energieverlust zufolge Lüftung

Beim Ansatz für den Energieverlust zufolge Lüftung wurde - wie schon unter 3.1 festgestellt - mit zulässiger Vereinfachung angenommen, daß in den kritischen (kalten und gleichzeitig windigen) Tagen die Frischluftzufuhr ausschließlich durch die undichten Fugen in den Fenstern und Außentüren gedeckt wird. Diese Vereinfachung kann für den Wohnungsbau zugelassen werden.

$$Q_L = V \cdot \Delta h$$

Auf Grund von Versuchen von Reiher, Fraaß und Settele (1) an Fensterfugen, läßt sich das Lüftungsvolumen V folgendermaßen berechnen:

$$V = \left(\sum_F a \cdot l \right) \cdot (\Delta p)^{2/3}$$

$$\sum_F a \cdot l \quad \text{Summe der Fugendurchlässigkeiten über alle Fensterfugen}$$

$$a \quad \text{Fugendurchlässigkeit} \quad [m^3/h \cdot m \cdot Pa^{2/3}]$$

$$l \quad \text{Fugenlänge} \quad [m/m^2]$$

wobei zur Umrechnung der alten Fugenkennwerte gilt:

$$a [m^3/h \cdot m \cdot Pa^{2/3}] = \frac{a_{ALT}}{0,218} [m^3/h \cdot m \cdot (mm WS)^{2/3}]$$

Zur einfacheren Schreibung wird außerdem gesetzt:

$$\sum_F a \cdot l = A \quad \text{Fugendurchlässigkeiten der Öffnungen auf der vom Wind angeströmten Seite}$$

$$\sum_{FB} a \cdot l = B \quad \text{Fugendurchlässigkeiten der Öffnungen auf der dem Wind abgekehrten Seite}$$

$$\frac{A}{B} = \varphi^{2/3} \quad \text{Fugendurchlässigkeitsverhältnis}$$

$$\Delta p \quad \text{Luftdruckdifferenz zwischen außen und innen.} \quad [Pa]$$

Die an der Gebäudeaußenseite vorherrschenden Druckverhältnisse können auf Grund aerodynamischer Untersuchungen leicht ermittelt werden, bzw. sie sind in den einschlägigen Normen enthalten. Sie können mit den Beiwerten c_A bzw. c_B (für Luv- bzw. Leeseite) aus den Staudrücken q ermittelt werden.

Für geschlossene Baukörper gilt dabei $c_A - c_B = 1,2$, wobei die Luvkomponente etwa $c_A = 0,7$ und die Leekomponente $c_B = -0,5$ beträgt; Druck mit positivem Vorzeichen.

Der Luftwechsel bei niedrigen Windgeschwindigkeiten ($v = 2 \text{ m/s}$), der sich entweder zufolge der Temperaturdifferenz zwischen Innen- und Außenluft einstellt oder durch Öffnen der Fenster erreicht wird, wurde hier in erster Näherung vernachlässigt, wäre aber bei einer exakten Ableitung in Rechnung zu stellen.

Wenn man den Einfluß von Innenwänden – unter der Annahme meist offener oder schlecht schließender Innentüren – vernachlässigt, so kann man folgende Bilanz zwischen den einströmenden und den ausströmenden Luftmengen für eine Wohnung bzw. einen Raum ziehen:

$$V_A = V_B$$

$$\sum_A a.l.(\Delta p_A)^{2/3} = \sum_B a.l.(\Delta p_B)^{2/3}$$

$$A \cdot (c_A \cdot q - p_i)^{2/3} = B \cdot (p_i - c_B \cdot q)^{2/3}$$

Aus dieser Bilanz läßt sich die Größe des unbekannten Innendruckes p_i unschwer ermitteln:

$$\left(\frac{A}{B}\right)^{3/2} = \frac{\Delta p_B}{\Delta p_A} = \frac{p_i - c_B \cdot q}{c_A \cdot q - p_i} = \varphi$$

$$p_i - c_B \cdot q = c_A \cdot q \cdot \varphi - p_i \cdot \varphi$$

$$p_i = \frac{\varphi \cdot c_A + c_B}{1 + \varphi} \cdot q = \frac{\left(\frac{A}{B}\right)^{3/2} \cdot c_A + c_B}{1 + \left(\frac{A}{B}\right)^{3/2}} \cdot q$$

Für den Sonderfall, daß die Durchlässigkeiten auf der Luv- und auf der Leeseite gleich groß sind ($A = B$, $\varphi = 1$) wie er bei Reihenhäusern und Wohnblöcken mit schachtelartiger Anordnung der Wohnungen angenommen werden kann, ergibt sich richtigerweise, daß

$$p_i^* = \frac{c_A + c_B}{2} \cdot q$$

Die in den Innenraum durch undichte Fugen einströmende Luftmenge läßt sich somit berechnen zu:

$$V_A = A \cdot (\Delta p_A)^{2/3} = A \cdot (c_A \cdot q - p_i)^{2/3} = A \cdot \left(q \cdot \frac{c_A - c_B}{1 + \left(\frac{A}{B}\right)^{3/2}}\right)^{2/3} =$$

$$= \sum_A a.l. q^{2/3} \cdot \left(\frac{c_A - c_B}{1 + \varphi}\right)^{2/3}, \quad \text{mit } \varphi = \left(\frac{\sum_A a.l.}{\sum_B a.l.}\right)^{3/2}$$

Der Staudruck q lässt sich wiederum aus der Windgeschwindigkeit vor dem Bauwerk errechnen, wofür näherungsweise die meteorologische Windgeschwindigkeit eingesetzt wird (deren Messung erfolgt etwa 10 m über dem Gelände; das entspricht etwa den Werten für höhere Gebäudeteile; für niedere Teile müßte ein geringfügiger Abzug vorgenommen werden).

$$q = \frac{\rho \cdot v^2}{2} \doteq 0,64 \cdot v^2 \quad [\text{Pa}] \quad \text{Staudruck}$$
$$\rho \quad \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \quad \text{Dichte der Luft}$$

Der nachfolgende Klammerausdruck

$$\left(\frac{c_A - c_B}{1 + \varphi} \right)^{2/3}$$

berücksichtigt die Winddruck- und Strömungsverhältnisse in- und außerhalb des Gebäudes; er kann in zwei Komponenten zerlegt werden:

Der Zähler $(c_A - c_B)^{2/3}$ berücksichtigt die Windströmung außerhalb des Gebäudes und kann in Analogie zu DIN 4701 als Hauskenngröße H' bezeichnet werden.

Der Nenner $(1 + \varphi)^{2/3}$ berücksichtigt die Windströmung innerhalb des Gebäudes und kann in Analogie zu DIN 4701 als Raumkenngröße R' bezeichnet werden.

Beide Werte lassen sich hinreichend genau einengen: sie sind beide größer als 1 : $\therefore (c_A - c_B) = 1,2$ bis $1,5$; $(1 + \varphi) = 2$ unter der weiteren Annahme, daß die unterschiedliche Durchlässigkeit auf Luv- und Leeseite in der Regel durch wechselnde Windrichtungen ausgeglichen wird.

Für mittlere Verhältnisse ergibt sich somit als einströmende Luftmenge:

$$V = \sum_A a \cdot l \cdot (0,64 \cdot v^2)^{2/3} \cdot \left(\frac{1,2}{2} \right)^{2/3} = \sum_A a \cdot l \cdot (0,64 \cdot 0,6)^{2/3} \cdot v^{4/3} =$$
$$= 0,53 \cdot \sum_A a \cdot l \cdot v^{4/3}$$

Dieser Wert ist immerhin um etwa 30 % niedriger als er bei Einsetzung des vollen Staudruckes ermittelt worden ist. (vgl. Lit.(3)).

Für die Größe der Differenz der Enthalpie der einströmenden Luft und der Raumluft muß ebenfalls eine näherungsweise Berechnung erfolgen, und zwar aus zweierlei Gründen:

- Bei winterlichen Verhältnissen ist die Feuchtigkeit der Außenluft weitgehend konstant, die Enthalpie der Außenluft kann also mit großer Exaktheit als Abhängige der Außenlufttemperatur bestimmt werden. Bei der Innenraumluft

ist aber die Luftfeuchtigkeit und damit auch der Energieinhalt der Luft sehr schwankend. Dem Autor scheint es jedenfalls nicht gerechtfertigt, die Enthalpie der Innenraumluft nur auf die Lufttemperatur zu beziehen und sie somit als die zur Erwärmung der Außenluft erforderliche Energiemenge zu berechnen. Zur Gewährleistung physiologisch ausreichender Luftfeuchtigkeit ist es bei Außen-temperaturen unterhalb von etwa 8°C notwendig, die Luft zu befeuchten und damit zusätzliche Energie zuzuführen.

- Wie aus Abb. 2 ersichtlich ist, lässt sich dafür kein linearer Zusammenhang angeben, sondern es wird der für die Erwärmung der trockenen Luft erforderliche Energieaufwand mit einem Zuschlag für die Erwärmung der zugeführten Feuchtigkeit versehen, der mit 75 % angesetzt wird.

Wenn man, wie dies auf Abb. 2 für den Fall $t_A = 0^\circ\text{C}$ geschehen ist, unter Annahme eines gewünschten Innenraumklimas von $t_I = 22^\circ\text{C}$ und $\varphi_I = 60\%$ und einer Außenluftfeuchtigkeit von 85 % für Außenlufttemperaturen zwischen +5 und -15°C den für die Befeuchtung der Frischluft zusätzlich zur Erwärmung erforderlichen Energieaufwand ermittelt, so erhält man Werte von 78 bis 62 % für die häufigsten Außen temperaturwerke im Winter etwa 75 %.

$$\Delta h = (1+z) \cdot c \cdot \Delta t \quad [\text{W.h/m}^3] \quad \text{Enthalpiedifferenz}$$

$$z = 0,75 \quad \text{Zuschlag 75 \% für Befeuchtung}$$

$$c = 0,36 \quad [\text{W.h/m}^3 \cdot \text{K}] \quad \text{spezifische Wärme der Luft}$$

$$\Delta h = 1,75 \cdot 0,36 \cdot \Delta t = 0,63 \cdot \Delta t \quad [\text{W.h/m}^3]$$

Der lüftungsbedingte Energiebedarf ergibt sich somit zu:

$$Q_L = V \cdot \Delta h = 0,53 \cdot \sum_A a_A \cdot l_A \cdot v^{4/3} \cdot 0,63 \cdot \Delta t = 0,33 \cdot \sum_A a_A \cdot l_A \cdot \Delta t \cdot v^{4/3} \quad [\text{W/m}^2]$$

$$\text{bzw. für "alte" Fugenkennwerte: } Q_L = 0,072 \cdot \sum_A a_A \cdot l_A \cdot \Delta t \cdot v^{4/3} \quad [\text{W/m}^2]$$

Der gesamte Energieverlust durch die Außenwand ergibt sich zu:

$$\begin{aligned} Q &= Q_W + Q_F + Q_L = \Delta t \cdot (q_{W_F} + q_F + q_L) = \\ &= \Delta t \cdot \left(f_F \cdot \frac{1}{R_W + \frac{1}{8+4v}} + f_F \cdot \frac{1}{R_F + \frac{1}{8+4v}} + 0,072 \cdot \sum_A a_A \cdot l_A \cdot v^{4/3} \right) \end{aligned}$$

dabei wurde für den Anteil des Wärmedurchgangswiderstandes das Zeichen R_W bzw. R_F gesetzt.
$$\left(\frac{1}{\lambda_i} + \sum \frac{d}{\lambda} \right)$$

Man kann nun – in Abhängigkeit der Parameter f_W , f_F , R_W , R_F , a und 1 – den auf die Einheitstemperaturdifferenz bezogenen Energieverlust berechnen und als Funktion der Windgeschwindigkeit auftragen (vgl. Abb. 3). Hieraus kann man ersehen, daß bei den häufig vorkommenden Wandaufbauten (25 % Fensterflächenanteil mit doppelter Verglasung, Fugen mit einer Durchlässigkeit von $a = 3$, und einer massiven Wand mit einer k -Zahl von etwa $1 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot {}^\circ\text{C}$) bei den mittleren Windgeschwindigkeiten von 2 bis 3 m/s der Wärmeverlust durch die Fugen, durch die Fensterflächen und durch die massiven Wandteile annähernd gleich groß und jeweils etwa $1 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ (dieses Mal auf die gesamte Wandfläche bezogen) beträgt.

Mit höheren Windgeschwindigkeiten nimmt nun der Energieverlust durch die Fensterfugen rasant zu, während die Energieverluste durch die Fensterflächen und durch die massiven Wandflächen so gut wie konstant bleiben.

Man kann nun noch den Einfluß der Temperaturdifferenz zwischen der jeweiligen Außentemperatur und der – mit $+22 {}^\circ\text{C}$ konstant angenommenen – Innenraumtemperatur auf den Wärmeverbrauch gemäß obiger Gleichung mitberücksichtigen und die dabei erhaltenen Werte als Kurvenscharen über einem Achsenkreuz Lufttemperatur/Windgeschwindigkeit auftragen. Man erhält somit für jeden Zustand der Außenluft – ausgedrückt durch die Parameter Lufttemperatur und Windgeschwindigkeit – den Wärmeverlust von 1 m^2 Außenwand. (vgl. Abb. 4).

Wie man aus meteorologischen Aufzeichnungen entnehmen kann, treten diese Werte paare Außenlufttemperatur/Windgeschwindigkeit an einem bestimmten Ort mit einer bestimmten Häufigkeit auf. Man kann nun die Summenhäufigkeit des gemeinsamen Auftretens von Windgeschwindigkeit v und Außenlufttemperatur t in der winterlichen Heizperiode für einen bestimmten Ort über demselben Achsenkreuz wie für die Darstellung des Energieverlustes der Außenwand (Abb. 4) auftragen und erhält damit ein wichtiges Kriterium für die Bestimmung der kritischen Heizanlagenleistung an einem bestimmten geographischen Ort. (vgl. Abb. 5).

Man kann nun die beiden Kurvenscharen – nach Abb. 4, Wärmeverluste Außenwand von einer bestimmten konstruktiven Ausbildung, und nach Abb. 5 Summenhäufigkeit des gemeinsamen Auftretens der Parameter Lufttemperatur und Windgeschwindigkeit an einem bestimmten Ort – überlagern (worauf schon Valko (5) hingewiesen hat).

- (1) Die für die Bemessung einer Heizanlage maßgebliche Kombination von v und t liegt dort, wo für eine angenommene Eintrittswahrscheinlichkeit f die maximalen Energieverluste zu verzeichnen sind, und das ist dort, wo sich die Kurvenscharen quasi berühren. (vgl. Abb. 6)
- (2) Für unterschiedliche Anforderungen an die Zuverlässigkeit der Heizanlage (zu messen an den Kurven der Summenhäufigkeit) läßt sich also eine Linie der ungünstigsten Bemessungszustände ermitteln, indem man die fiktiven Berührungspunkte miteinander verbindet. (vgl. Abb. 6, strichlierte Linie).

- (3) Wenn man diese Prozedur für eine Reihe von unterschiedlichen Wandaufbauten bei ein und demselben klimatischen Ort durchführt, so erhält man Bereiche der kritischen Bemessungszustände einerseits für fensterlose Wände, andererseits für Wände mit Fenstern üblicher Größe und Bauart. (Abb. 7).
- (4) Es zeigt sich, daß der Haupteinfluß auf die Situation des kritischen Bemessungszustandes im (v, t) -Diagramm davon abhängt, ob in der Wand Fugen vorkommen und wie dicht diese sind. (Abb. 7, strichlierte Linien)
- (5) Wenn man umgekehrt in dieses Diagramm die bei der Bemessung einer Heizanlage tatsächlich berücksichtigte klimatische Information (v, t) einträgt und entlang einer Kurve $Q = \text{const.}$ soweit forschreitet, bis man zur maximalen Kurve der Summenhäufigkeit gelangt, so kann man dort jene Häufigkeit ablesen, mit der die Anlage unzureichend bemessen ist, bzw. – als Ergänzung des Prozentsatzes auf 100 – das Maß für die Zuverlässigkeit der Anlage hinsichtlich der Bewältigung der kritischen Betriebsverhältnisse. (vgl. Abb. 6, strichpunktierter Linie, $f = 16\%$)
- (6) An jedem kritischen Punkt läßt sich nicht nur die Zuverlässigkeit der Anlage, sondern gleichzeitig auch die zu installierende maximale Heizleistung ablesen. (Abb. 6)
- (7) Es zeigt sich, daß für übliche Bauarten von Außenwänden im Wohnungsbau eher mittlere Außentemperaturen bei hohen Windgeschwindigkeiten maßgeblich sind. (z.B. 0°C , 9 m/s nach Abb. 6 für $f = 5\%$)
- (8) Bei Bemessung nach der hergebrachten Methode kann es bis zu einer zweifachen Unterbemessung der Anlage (gegenüber der Bemessung für 99%ige Zuverlässigkeit) kommen, bzw. zu einer verminderten Zuverlässigkeit von etwa 80 %, d.h. in jeder Heizperiode ist die Heizanlage an etwa 20 Tagen unzureichend.
- (9) Durch Integration der Heizleistung über das aufgespannte Wahrscheinlichkeitsfeld $\int Q \cdot dp$ läßt sich der mittlere Wärmebedarf pro Heizsaison ermitteln. Die numerische Auswertung erfolgt dabei für abgegrenzte Felder Δt , $\Delta p = \text{const.}$ mit der Formel

$$Q_{\text{ges}} = \sum Q_i \cdot \Delta p_i = \sum Q_i \cdot (p_{lo} + p_{ru}) - (p_{ro} + p_{lu})$$

4. Weiterführung der vorliegenden Studie

Im Zuge einer Weiterführung der vorliegenden Studie bzw. einer genaueren Behandlung vorläufig vernachlässigter Einflüsse soll auf folgende Probleme noch näher eingegangen werden:

- 4.1 Verfolgung der Arbeiten der deutschen und österreichischen Normungsausschüsse, denen die Neubearbeitung der DIN 4701 bzw. der ÖNORM M 7500 obliegt. (Lit. 9, 10, 11)
- 4.2 Diskussion der in der DIN 4701 vorgesehenen Zuschläge (Lit. 12 - 17)
- 4.3 Untersuchung des instationären Einflusses bei Heizungsunterbrechungen bzw. Sonneneinstrahlungen (Lit. 18)
- 4.4 Beschaffung relevanter meteorologischer Informationen (Summenhäufigkeiten für t-v-Kombinationen) für ausgewählte österreichische Siedlungsgebiete und Anwendung des Verfahrens auf diese Unterlagen.
- 4.5 Untersuchung der Fugendurchlässigkeit der gegenwärtig installierten bzw. im Handel erhältlichen Fensterkonstruktionen.
- 4.6 Versuch der Herleitung eines vereinfachten grafischen und/oder rechnerischen Bemessungsverfahrens, eventuell unter Überspringung der kritischen Klimadaten (Außenlufttemperatur und Windgeschwindigkeit).
- 4.7 Hinweise für eine Gestaltung ökonomischer Außenwandkonstruktionen, eventuell unter Einbeziehung eines Optimierungskriteriums und mit Kapitalisierung der Betriebskosten.
- 4.8 Ausdehnung des Zuverlässigkeitsskriteriums auf die Heizkostenberechnung.
- 4.9 Auswertung der meteorologischen Daten für die Zwecke der Heizanlagenbemessung und Heizkostenberechnung unter Anwendung automatisierter Datenverarbeitungsanlagen.

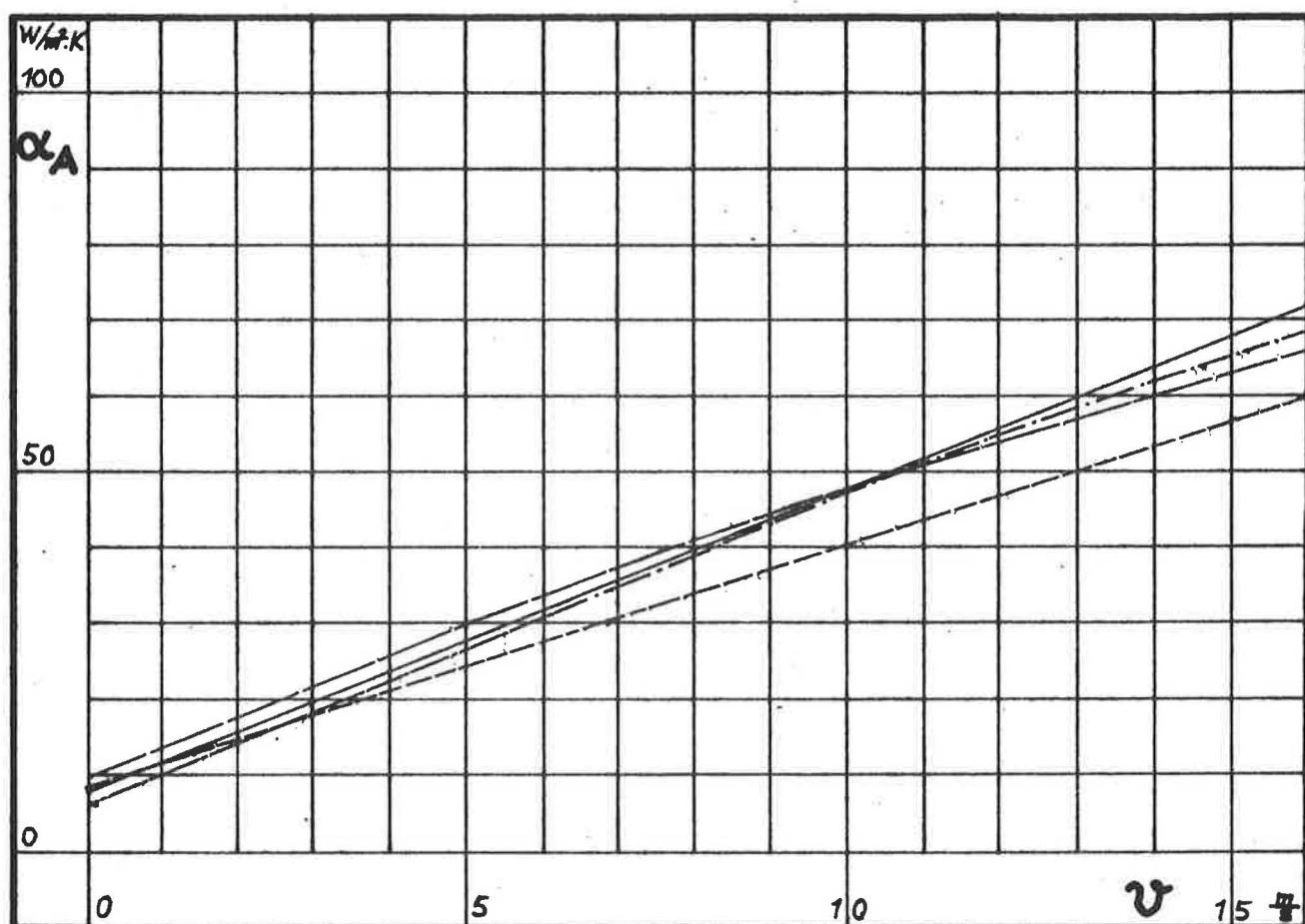
L I T E R A T U R

- (1) **Reiher, H. / Fraäß, K. / Settele, E.**
Über die Frage der Luft- und Wärmedurchlässigkeit von Fenstern.
Wärmewirtschaftliche Nachrichten 1932/33
- (2) **Rögelein, W.**
Ermittlung des windbedingten Lüftungswärmebedarfes bei Hochhäusern.
Heizung-Lüftung-Haustechnik 18 (1967) 12, p.454-461
- (3) **Stöcher, H.**
Die Berücksichtigung des Windeinflusses bei der Bemessung von
Heizanlagen.
Beitrag B 3 in Heft 5 des Forschungsberichtes "Die Optimierung von
Wandkonstruktionen", Wien, 1974.
- (4) **Kionka, U. / Sitzler, R.**
Der Einfluß des Außenklimas auf den Wärmebedarf.
PEK 16 (1968) 1/2, p.8-12
- (5) **Valko, P.**
Meteorologische Planungsunterlagen für eine wirtschaftliche Klimatechnik.
Unveröffentlichtes Manuskript der Schweizerischen
Meteorologischen Zentralanstalt, Zürich, 1973
- (6) **Rietschel / Raiß**
Heiz- und Klimatechnik.
Berlin, Heidelberg, New York 15/1970
- (7) **Spaeth, K.**
Erläuterungen zur DIN 4701/59.
Düsseldorf 5/1973
- (8) **Blodau, A.**
Optimierungssystem zur Betriebskostenreduzierung von Heizungs- und
Klimaanlagen in Nicht-Wohnbauten.
Heizung-Lüftung-Haustechnik 21 (1970) 9, p. 306-308
- (9) **Esdorn, H.**
Die Neubearbeitung der DIN 4701.
Stand der Arbeiten.
Ges.-Ing. 94 (1973) 1, p.18-23
- (10) **Kollmar, A.**
DIN 4701 - Prinzipien und korrespondierende Anwendungsbereiche.
Ges.-Ing. 93 (1972) 1, p.1-10

- (11) **Gerber, E.**
Wärmebedarfsrechnung ganzer Gebäude?
Heizung-Lüftung-Haustechnik 17 (1966) 4, p. 121-122
 - (12) **Zöld, A.**
Untersuchungen des Himmelsrichtungszuschlages.
HLH 22 (1971) 8, p. 265-268.
 - (13) **Kollmar, A.**
DIN 4701: Zuschlag z_A - Ausgleich der kalten Außenflächen.
Ges.-Ing. 91 (1970) 2, p.33-41
 - (14) **Kast, W.**
Überlegungen zu den Zuschlägen für Betriebsunterbrechungen
und kalte Außenflächen der DIN 4701.
Ges.-Ing. 91 (1970) 9, p.252-257
 - (15) **Preußker, H.**
Ermittlung des Lüftungswärmebedarfes.
HLH 22 (1971) 8, p.269-270.
 - (16) **Gerber, E.**
Wärmebedarfsberechnung neu?
HLH 21 (1970) 9, p.326-332
 - (17) **Knabe, G.**
Ermittlung des Wärmebedarfs strahlungsbeheizter Räume.
Stadt- und Gebäudetechnik (1974) 3, p.64-70
 - (18) **Franke, H.**
Temperaturverteilung und Wärmefluß in mehrschichtigen Wänden bei
instationären Umgebungslufttemperaturen und Sonnenbestrahlung.
Die Bautechnik (1970) 7, p.244-248; 8, p.273-279

Verfasser Dipl.-Ing. Herbert Stöcher
Wissenschaftl. Oberkommisär,
Lehrbeauftragter der Technischen Hochschule Wien,
Karlsplatz 13 1040 Wien.

Abb. 1 Die äußere Wärmeübergangszahl α_A in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit v , nach Angabe diverser Fachautoren.



— $\alpha_A = 10,3 + 4,0 v$ ($v \leq 5$ m/s) nach Jürges
 $\alpha_A = 4,5 + 7,1 v^{0,78}$ ($v > 5$)

Lit.: Recknagel-Sprenger :
 Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik.
 München-Wien, 1972. p.120.

— $\alpha_A = 8,7 + 3,2 v$ (Wand // Wind) nach Gerhart
 $\alpha_A = 8,7 + 2,6 v$ (Wand \neq Wind)

Lit.: Gerhart, K.:
 Modellversuche über die Verteilung des konvektiven Wärmeübergangs an Gebäudefassaden.
 Kältetechnik (1967)5, p. 122-128.

— $\alpha_A = 6,2 + 4,2 v$ ($v \leq 5$ m/s)
 $\alpha_A = 7,5 \cdot v^{0,8}$ ($v > 5$ m/s)

Lit.: Hütte. Des Ingenieurs Taschenbuch.
 Band I. Theoretische Grundlagen.
 Berlin 28/1955, p.499.

— $\alpha_A = 8 + 4 v$
 Vereinfachende Annahme, deren Gültigkeit bis etwa 15 m/s gegeben ist.

Abb. 2 Für die Befeuchtung zusätzlich erforderlicher Wärmebedarf

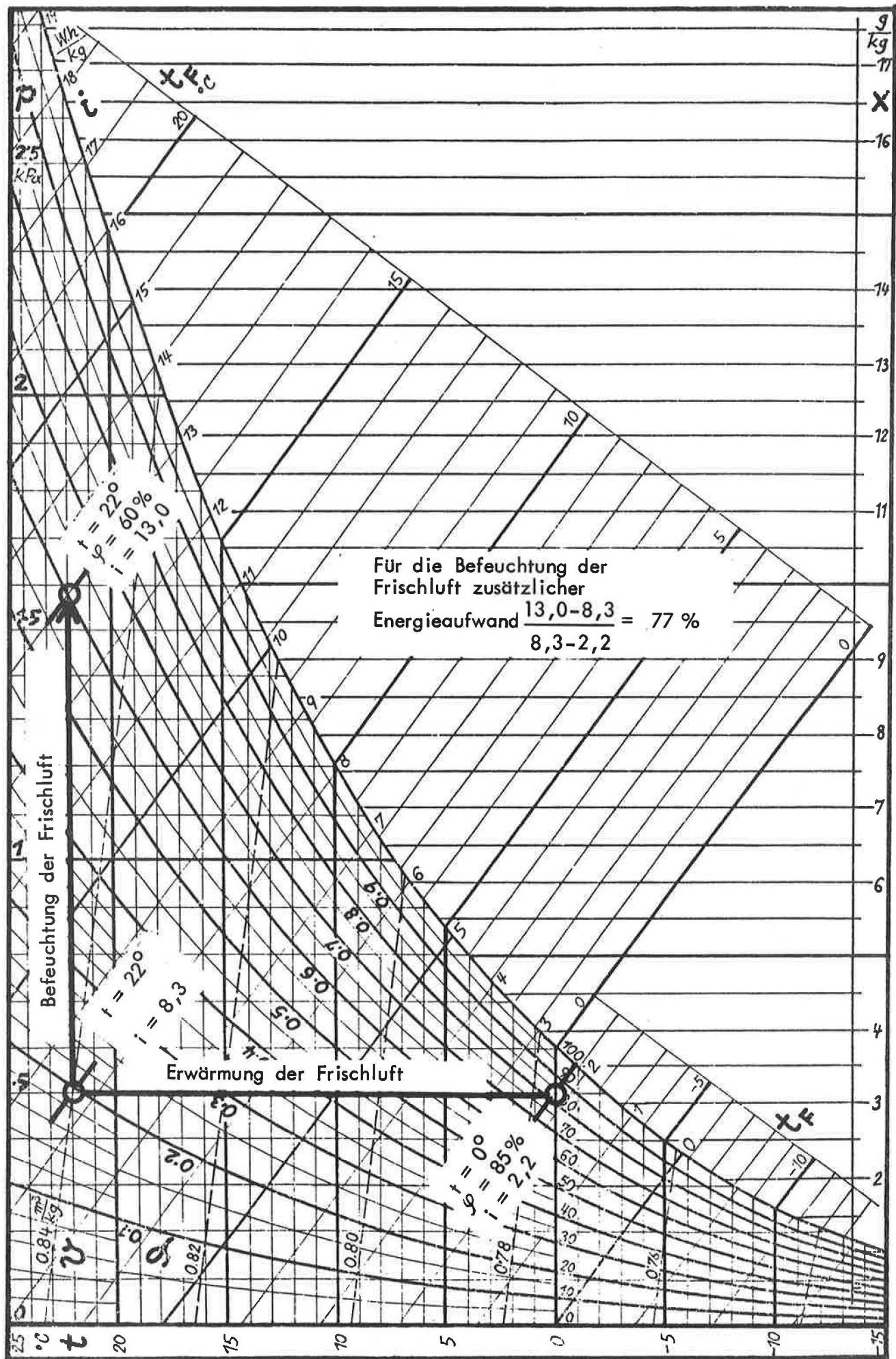


Abb. 3 Wärmeverluste q einer Außenwand in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit

$$\text{FALL } n \quad f_w = 0,75 \quad R_w = \frac{m^2 \cdot K}{0,75 \cdot W} \quad f_p = 0,25 \quad R_p = 0,25 \frac{m^2 \cdot K}{W} \quad l_p = 1,0 \quad \frac{m}{m^2} \quad \alpha = 3 \quad \frac{m^3}{h \cdot m \cdot \frac{K \cdot W}{m^2}}$$

$$q = \frac{Q}{\Delta t} = q_w + q_f + q_L = 0,75 \cdot \frac{1}{0,75 + \frac{1}{8+4v}} + 0,25 \cdot \frac{1}{0,25 + \frac{1}{8+4v}} + 0,072 \cdot 1,3 \cdot v^{4/3}$$

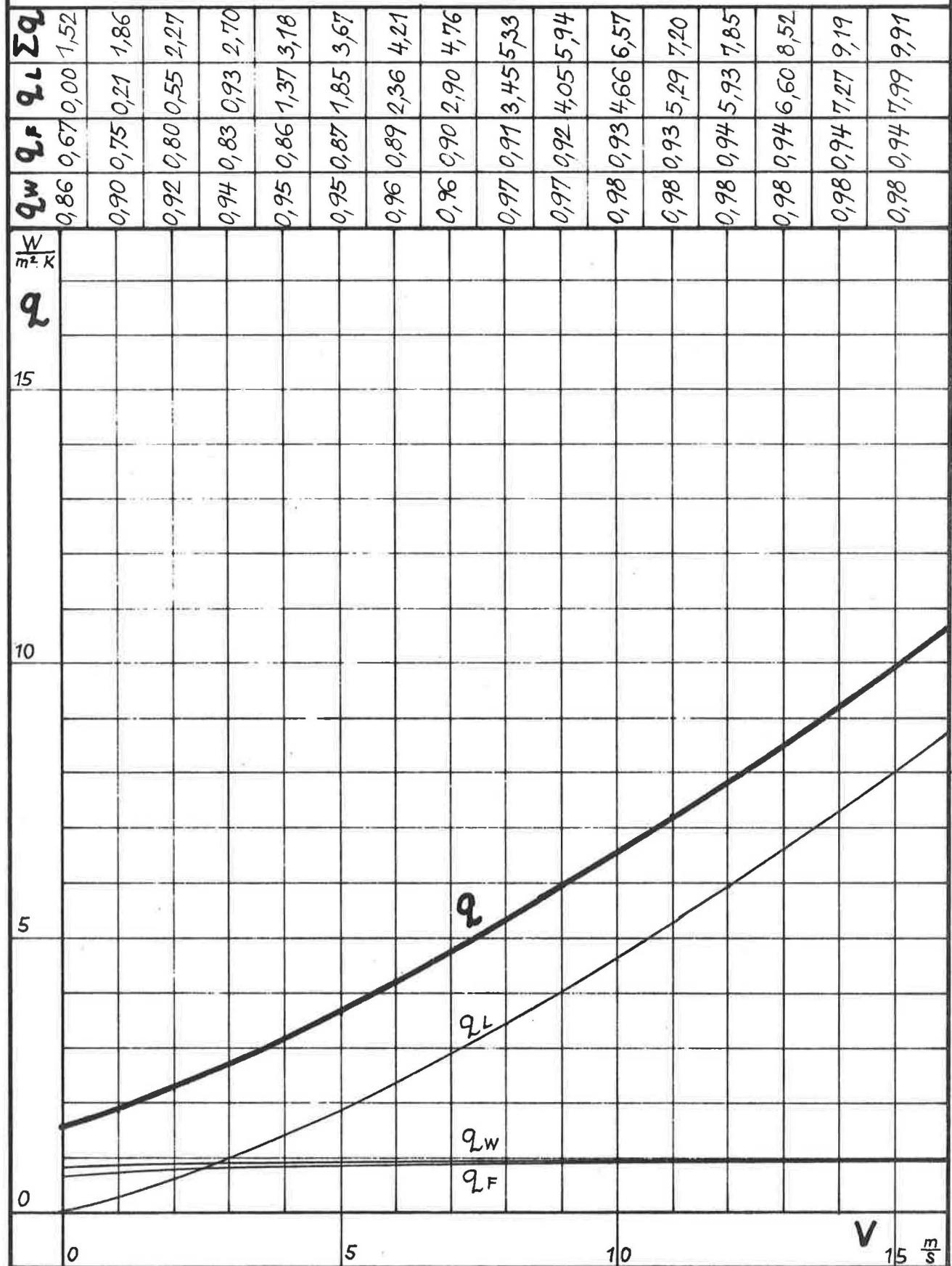


Abb. 4 Wärmeverluste Q einer Außenwand von 1 m^2 in Abhängigkeit von der Außen-temperatur t und der Windgeschwindigkeit v

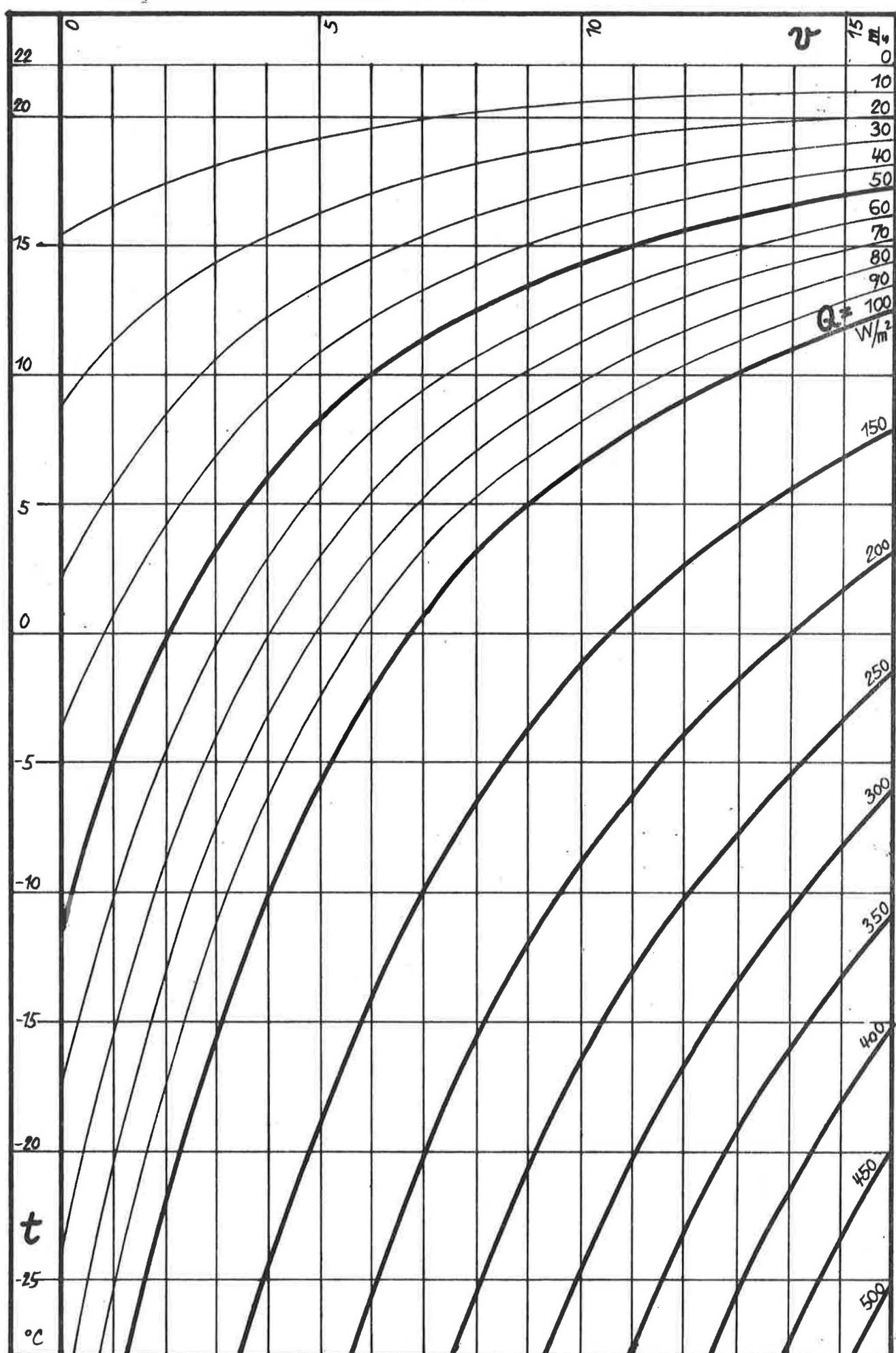


Abb. 5 Die Summenhäufigkeit des gemeinsamen Auftretens von Windgeschwindigkeit v und Lufttemperatur t (milde Lage)

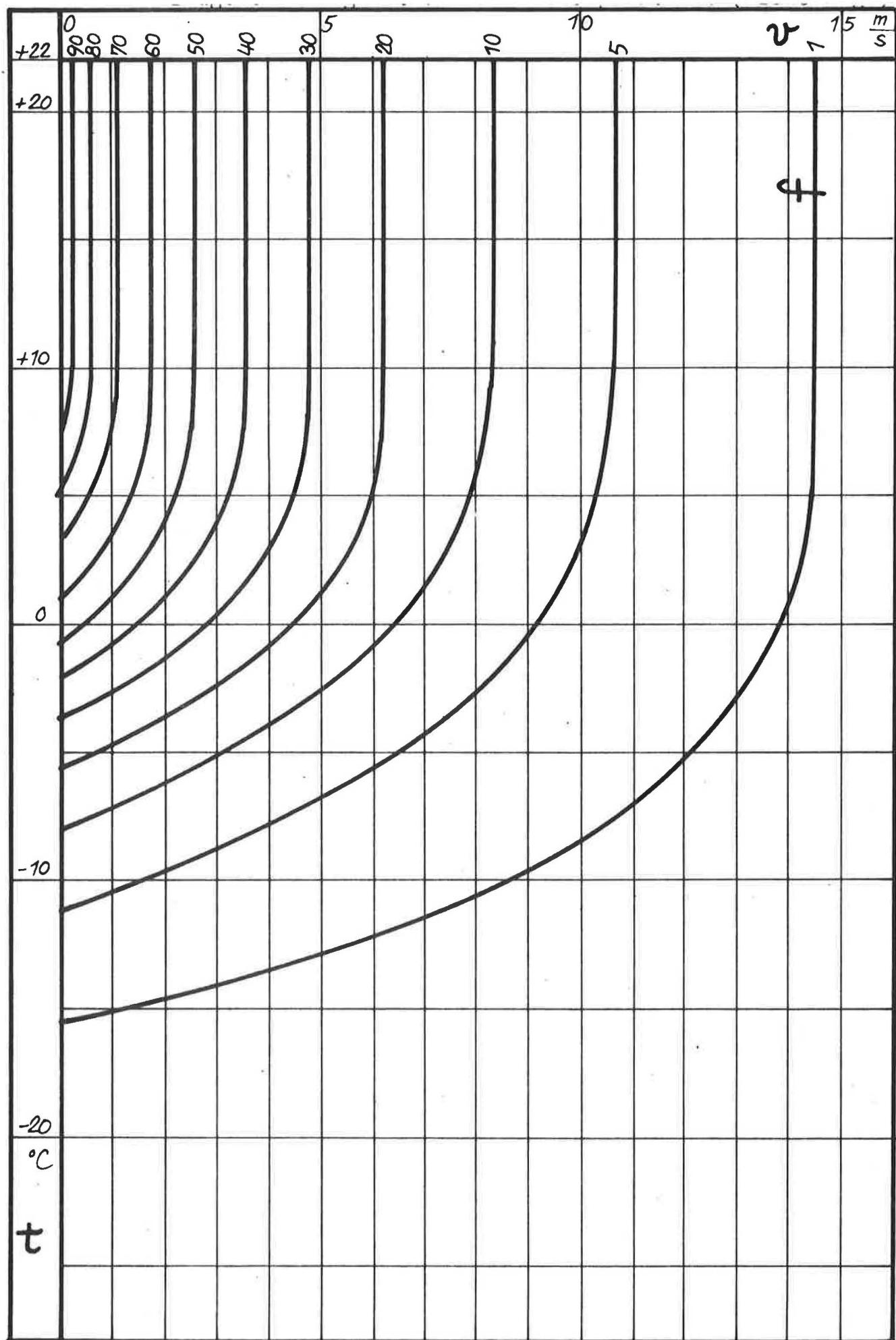


Abb. 6 Die für die Bemessung der Heizanlage kritischen Kombinationen der Werte
Außenlufttemperatur/Windgeschwindigkeit

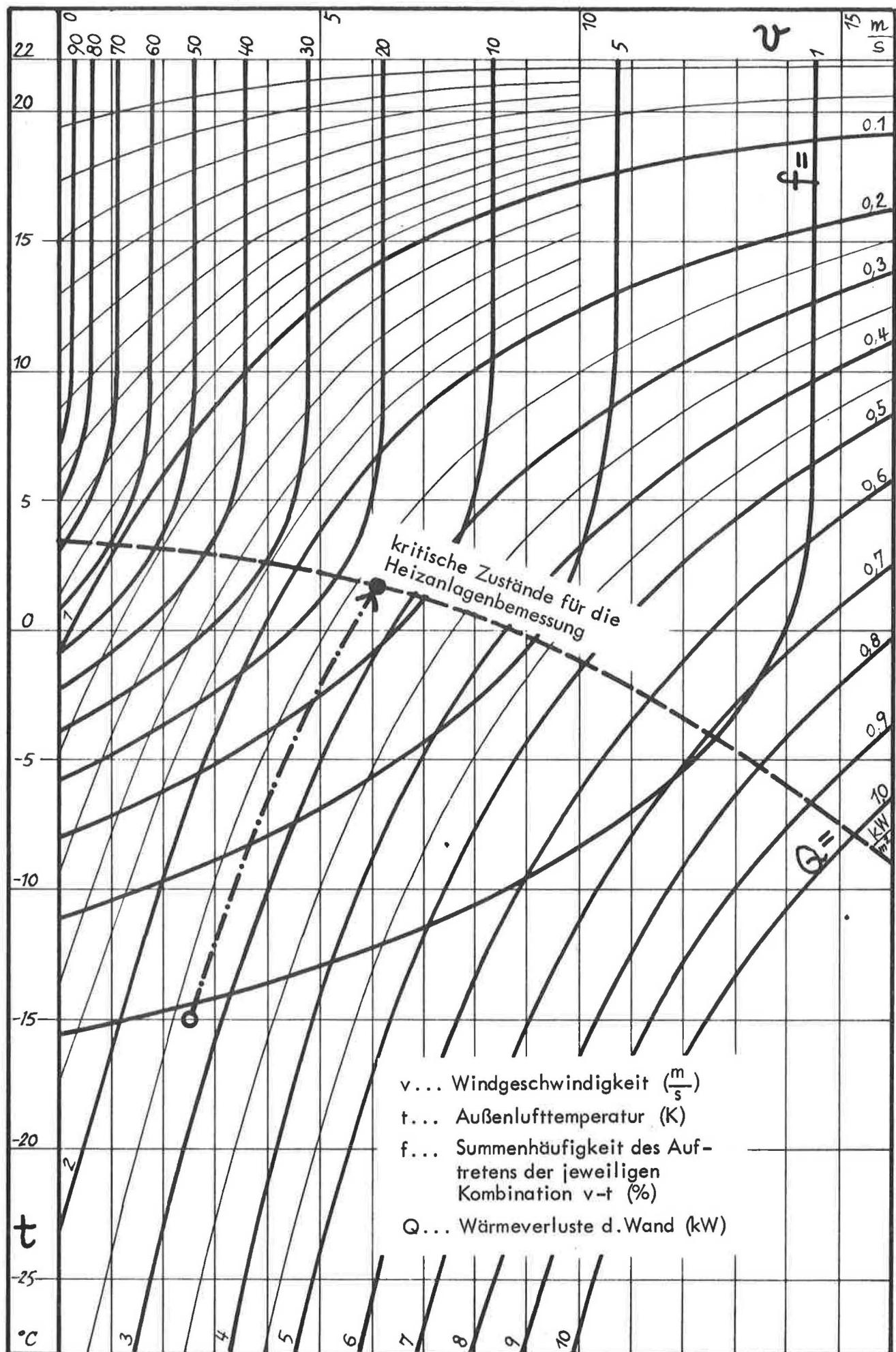


Abb. 7 Für die Bemessung von Heizanlagen kritische Kombination von Außentemp. t und Windgeschw. v in Abh. der Zuverl. f

