

HEIZTECHNISCHE BESCHREIBUNG VON GEBÄUDEN NACH DEM ÄHNLICHKEITSVERFAHREN

A. ZÖLD

Institut für Baukonstruktionen und Bauinstallationen, Lehrstuhl für Heizung,
Lüftung und Bauinstallation II, TU Budapest

(Eingegangen am 15. Mai 1981)

Die Energiebilanz von mittelhohen Wohn- und Gesellschaftsfertigbauten unterscheidet sich qualitativ von derselben herkömmlicher Bauten für ähnliche Zwecke.

Diese qualitative Änderung läßt sich mit der Klarlegung des energetischen Zusammenhanges und der Wechselwirkung zwischen baulichen und haustechnischen Mitteln beweisen.

Das wichtigste Merkmal dieser qualitativen Änderung ist das Vorherrschen immer anderer, voneinander praktisch unabhängig sich ändernder Komponenten der Energiebilanz mit Änderung der Randbedingungen.

Die Energiebilanz in Bauten ergibt sich aus Änderungen, Summierungen von sechs solcher Komponenten, u.zw.:

- der durch die äußere Umgrenzung mit Wärmedurchgang entweichende äußere Transmissions-Energiestrom;
- der innere Transmissions-Energiestrom (zwischen benachbarten Räumen);
- Energiestrom aus der Besonnung der Verglasungen;
- konvektive Energieströme aus Filtrationsluftwechsel;
- Quellenintensität; und
- Wärmespeicherung.

Es sollen einige Beispiele der qualitativen Änderung zum Nachweis dieser Behauptung angeführt werden:

Die Bedeutung des Energiestroms aus der Besonnung der Verglasungen erhöht sich zufolge der besseren Wärmedämmung der zeitgemäßen Wand- und Deckenkonstruktionen, seine Proportion im Verhältnis zum äußeren Wärmedurchgangs-Energiestrom ist auch bei durchschnittlichen Bedingungen beträchtlich.

Der Filtrationsluftwechsel hängt nicht von den Kennwerten der einzelnen Konstruktionen oder Räumen ab: im Verlauf des Luftwechsels spielen sämtliche Türen und Fenster, Belüftungskanäle und Räume, ferner ihre Verbindungen, aber auch die Zahl der Stockwerke, die Abmessungen und Umriss des Gebäudes eine Rolle. Dieser Luftwechsel, Funktion mehrerer,

voneinander unabhängig wechselnden Mengen ist im Raum und Zeit äußerst differenziert, oft der Größenordnung der äußeren Transmissionsenergieströme.

Die Erfassung der spontanen Quellen (sog. innere Wärmebelastungen aus mit der bestimmungsgemäßen Verwendung zusammenhängenden Tätigkeiten, aus den nicht ausgesprochenen Heizeinrichtungen, z.B. Beleuchtung) ist in der Bemessung der Klimaanlage ein Teil der Entwurfspraxis, und ihre Wirkung läßt sich natürlich unabhängig von der Entwurfsmethode, auch in der Heizsaison merken; bei einer guten Wärmedämmung beträgt sie einen beträchtlichen Anteil der äußeren Transmissions-Energieströme.

Eine komplexe und zweckdienliche Analyse der aufgezählten Wirkungen läßt sich nach dem Ähnlichkeitsverfahren ausführen [1]. Aus der Sicht der Analyse sind zwei Räume ähnlich, wenn zur Sicherung ihrer vorgeschriebenen Innentemperatur notwendige Heizleistungen in Abhängigkeit der Außentemperatur sich in gleicher Proportion ändern. Diese Formulierung der Ähnlichkeitsbedingung ist dadurch begründet, daß ihre Erfüllung einen gemeinsamen Heiz-Steuerungs- oder Regelungsumkreis für beide Räume gestattet.

Über die Anwendung des Ähnlichkeitsverfahrens

Die Ähnlichkeit ist eine Beziehung verschiedener Objekte, Systeme oder Erscheinungen laut gemeinsamer Eigenschaften. Es muß natürlich immer hinzugefügt werden, aus welcher Sicht die Ähnlichkeit besteht. In dieser Analyse werden zwei Räume als ähnlich betrachtet — nach obiger Formulierung — wenn die zur Sicherung der vorgeschriebenen Innentemperatur notwendigen Heizleistungen bei der Änderung der Außentemperatur sich in gleicher Proportion ändern. In diesem Sinne genügt es für ähnliche Räume den Wärmebedarf bloß des einen Raumes zu kennen (oder die betreffenden Kennwerte zu messen), da ja daraus der Heizbedarf bestimmt, und die Heizleistung reguliert werden können. Um über die Ähnlichkeit zweier Räume zu entscheiden, müssen die notwendigen und genügenden Bedingungen ihrer Ähnlichkeit bestimmt werden.

Jedes System kann durch seine »Antwort« auf irgendeiner äußeren Einwirkung gekennzeichnet werden. Sind zwei Systeme — in diesem Falle zwei Räume — sich ähnlich, besteht zwischen Einwirkungen und Antworten eine gegenseitige eindeutige Funktionsbeziehung. Bezüglich eines Systems erhält man die Funktionsbeziehung zwischen Einwirkungen und Antworten durch Lösung der Differentialgleichung der inneren Gesetzmäßigkeiten des Systems. Diese Funktionsbeziehung und die Einwirkungen auf das System (die Eindeutigkeitsbedingungen) stellen zusammen das mathematische Modell des Systems dar. Die notwendige und genügende Bedingung der Ähnlichkeit zweier Systeme besteht darin, daß ihre mathematischen Modelle gegenseitig und eindeutig ineinander transformierbar seien.

In dieser konkreten Auslegung der heiztechnischen Ähnlichkeit der Räume wird die Funktionsbeziehung zwischen verschiedenen Komponenten der Energiebilanz der Innentemperatur und der Heizleistung durch Gleichungen der inneren Gesetzmäßigkeiten des Systems und der Auswirkung der geometrischen Abmessungen, der Schichtpläne, der Stoffkennwerte usw. festgesetzt. Nachstehend können diese Beziehungen nicht allseitig genau besprochen werden — übrigens würde die Anwendung eines genaueren Modells wegen der großen Anzahl der Ähnlichkeitskriterien zu schwer übersichtlichen Ergebnissen führen, oder zu einer Näherungsmodellierung zwingen. Die in Betracht genommenen Beziehungen widerspiegeln jedoch die Wirkung der bedeutendsten Faktoren und liefern aus der Sicht der Untersuchung genügend genaue Ergebnisse.

Aber trotz der beschriebenen Vereinfachungen soll die Zeitabhängigkeit der Randbedingungen, die praktisch unabhängige und zufallsbestimmte Änderung der einzelnen Faktoren in Betracht genommen werden, sodaß man eigentlich nur mit statistischen Kennwerten (Erwartungswerten, Streuungen) gerechnet werden kann. Es darf sogar auch die Tatsache nicht außer Acht gelassen werden, daß das System selbst nicht deterministisch ist, seine einzelnen Kennwerte (im Laufe der Herstellung, der Installation, des Baues, der Nutzung) weichen mehr oder minder von den Auslegungswerten (leider oft mehr als unvermeidlich) ab, deshalb lassen sich diese Kennwerte auch nur mit ihren Erwartungswerten und Streuungen angeben.

Heizbedarf

Die Bilanzgleichung des Energieumlaufs eines Raumes kann mit Berücksichtigung der angeführten Komponente in folgender Form aufgeschrieben werden:

$$Q_F(z) + q_a \vartheta_a(z) + q_i \vartheta_j(z) + L(z) \rho c \dot{\vartheta}_a(z) + A_G N(z) I_{SRG}(z) + Q_B(z) + \dot{W} \frac{d\vartheta_a}{dz} = 0$$

wobei

- Q_F — Heizleistung,
 z — Zeit,
 $q_a = \Sigma F.k$ — sog. Transmissionswärmekarakteristik, Produkt der Wärmedurchgangszahl und der Oberflächen der äußeren Wände, Decken, Türen, Fenster,
 ϑ_a — Übertemperatur der Umgebung im Verhältnis zur Innentemperatur,

- q_i — sog. innere Wärmedurchgangskarakteristik, gewichteter Anteil des Produkts der inneren Raumgrenzflächen und Wärmedurchgangszahlen, im Verhältnis zum Temperaturunterschied zwischen dem untersuchten und dem benachbarten Raum,
 ϑ_j — Übertemperatur der benachbarten Räume über der Innentemperatur des untersuchten Raumes,
 L — Volumenstrom der Luft aus der Umgebung in den untersuchten Raum,
 ρ — Luftdichte,
 c — spezifische Luftwärme (unter Vernachlässigung der Temperaturabhängigkeit),
 A_G — Oberfläche der Verglasungen und/oder der transparenten Konstruktionen,
 N — Sonnenschutzfaktor,
 I_{SRG} — Wärmestrom aus der Besonnung (in gegebener Zeit und bei gegebener Flächennormale auf der Flächeneinheit der Normkonstruktion),
 Q_B — Intensität der spontanen Quellen,
 W — Wärmekapazität des Raumes.

Die Energiebilanz eines anderen Raumes wird durch eine Gleichung der Form Gl. (1) (ihre Variablen werden durch " ' " unterschieden) beschrieben:

$$\begin{aligned}
 Q'_F(z') + q'_a \vartheta'_a(z') + q'_i \vartheta'_j(z') + L'(z') \rho' c' \vartheta'_a(z') + A'_G N'(z') I'_{SRG}(z') + Q'_B(z') + \\
 + W' \frac{d\vartheta'_a}{dz'} = 0.
 \end{aligned} \quad (2)$$

Unter Anwendung der Formelzeichen für die Proportion der entsprechenden Variablen beider Systeme:

$$\gamma_{Q_F} = \frac{Q'_F}{Q_F}, \quad \gamma_{q_a} = \frac{q'_a}{q_a}, \quad \gamma_L = \frac{L'}{L} \dots \quad \gamma_W = \frac{W'}{W}$$

— in Hinsicht darauf, daß bei ähnlichen Systemen die Maßprodukte zeit- und platzunabhängig sind — Gl. (2) lautet:

$$\begin{aligned}
 \gamma_{Q_F} \cdot Q_F + \gamma_{q_a} \gamma_{\vartheta_a} \cdot q_a \cdot \vartheta_a + \gamma_{q_i} \gamma_{\vartheta_j} q_i \vartheta_j + \gamma_L \gamma_\rho \gamma_c \gamma_d L \rho c \vartheta_a + \\
 + \gamma_{A_G} \gamma_N \gamma_{I_{SRG}} A_G N I_{SRG} + \gamma_{Q_B} Q_B + \gamma_W \gamma_d W \frac{d\vartheta_a}{dz} = 0.
 \end{aligned} \quad (3)$$

Die Übereinstimmung von Gl. (1) und (2) setzt voraus, daß Gl. (3) mit aus den Maßzahlen gebildeten Beziehungen vereinfacht werden kann,

d.h., daß z.B. mit der zweiten (aus Maßzahlen gebildeten) Beziehung die übrigen dividierend, die Bedingungsgleichungen

$$\frac{\gamma_{Q_F}}{\gamma_{q_a} \gamma_{\vartheta_a}} = \frac{\gamma_{q_i} \gamma_{\vartheta_j}}{\gamma_{q_a} \gamma_{\vartheta_a}} = \frac{\gamma_L \gamma_q \gamma_c \gamma_{\vartheta_a}}{\gamma_{q_a} \gamma_{\vartheta_a}} = \frac{\gamma_{A_G} \gamma_N \gamma_{I_{SRG}}}{\gamma_{q_a} \gamma_{\vartheta_a}} = \frac{\gamma_{Q_B}}{\gamma_{q_a} \gamma_{\vartheta_a}} = \frac{\gamma_W \gamma_d}{\gamma_{q_a} \gamma_{\vartheta_a}} \quad (4)$$

gültig sind.

Einsetzen der originalen Auslegung ergibt die Invarianten:

$$P_0 = \frac{Q_F}{q_a \vartheta_a} = \text{idem}$$

$$P_1 = \frac{q_i \vartheta_j}{q_a \vartheta_a} = \text{idem}$$

$$P_2 = \frac{L_{QC}}{q_a} = \text{idem}$$

$$P_3 = \frac{A_G N I_{SRG}}{q_a \vartheta_a} = \text{idem}$$

$$P_4 = \frac{Q_B}{q_a \vartheta_a} = \text{idem}$$

$$P_5 = \frac{W}{q_a \vartheta_a} \cdot \frac{d\vartheta_a}{dz} = \frac{T}{\vartheta_a} \cdot \frac{d\vartheta_a}{dz} = \text{idem}$$

mit dem Inhalt:

- P_0 — Verhältnis zwischen Quellenintensität (Heizleistung) und dem die äußere Raumumgrenzung durchdringende Energiestrom (vorherrschend gemäß der herkömmlichen Anschauungsweise und der gegenwärtigen Planungspraxis),
- P_1 — Verhältnis der Wärmedurchgangscharakteristiken der äußeren und inneren Raumumgrenzungen, Enge der Kopplung zwischen den Räumen,
- P_2 — Verhältnis zwischen Filtrations- und Wärmedurchgangscharakteristiken,
- P_3 — Verhältnis zwischen Energieströmen aus Besonnung der Verglasungen und aus Wärmedurchgang durch die äußere Raumumgrenzung,
- P_4 — Verhältnis der spontanen Quellenintensität zum Energiestrom aus Wärmedurchgang durch die äußere Raumumgrenzung,
- P_5 — Gleichheit der Zeitkonstanten (gleichwohl der Geschwindigkeiten des Außentemperaturwechsels und der Frequenzfunktionen).

Aus der Sicht des üblichen Aufbaues der Wärmebedarfsberechnung kann die Invariante P_0 als ein kombinierter Zuschlagsfaktor betrachtet werden,

der die Wirkung aller Komponenten der Energiebilanz ausdrückt ($Q = Q_0 \cdot P_0$). Auch die übrigen Invarianten können als je ein spezieller Zuschlagsfaktor aufgefaßt werden.

Der sich ergebende formale Ausdruck

$$P_0 = 1 - P_1 + P_2 - P_3 + P_4 - P_5 \quad (5)$$

wäre aber nur für ein deterministisches System und für gesetzmäßig sich ändernden Bedingungen richtig; selbstverständlich würde sich der Wert von P_0 auch in diesem Falle in Abhängigkeit von den Randbedingungen ändern. In der Tat ändern sich die Bedingungen stochastisch, auch das System ist nicht deterministisch, so kann die Heizleistungsbedarf nur in Form

$$M(P_0) = f(M(P_1)) \dots M(P_5)$$

bestimmt werden, wo $M(P_j)$ der Erwartungswert von P_j ist.

Die verschiedenen Wetterelemente ändern sich voneinander unabhängig oder nur in einer schwachen Korrelation.

Ebenso ändern sich voneinander unabhängig und zufallsweise eine Zahl Faktoren, die die Einwirkung meteorologischer Elemente beeinflussen (z.B. Abmessungen und Luftdurchlässigkeiten der Tür- und Fensterspalten), oder mit anderen Komponenten des Energietransports zusammenhängen (z.B. Intensität der spontanen Quellen).

In Zusammenhang mit der Wetterdatenverarbeitung und den daraus zu ziehenden wichtigeren Folgerungen heißt für Ungarn und die meisten mitteleuropäischen Länder:

Die Verteilungsfunktion der Tages- und Stundenmittelwerte der Außentemperatur (für Jahres- und Monatsabschnitte) und eine Zahl weitere Angaben stehen aus einer langen (hundertjährigen) Datenreihe zur Verfügung.

Die Differenzen der Tagesmitteltemperaturen der nacheinander folgenden Tagen sind bekannt.

Zahl und Dauer der Abkühlungsperioden um das Jahresminimum der Außentemperatur, sowie Erwartungswerte und Streuung der Abkühlung (nach Zeitdauer und Anfangstemperatur geordnet) stehen zur Verfügung.

Die wichtigeren statistischen Kennwerte der Windgeschwindigkeit sind bekannt, es gibt keine wertbare Korrelationsbeziehung zwischen Windgeschwindigkeit und Außentemperatur (es sei denn für Küstenregionen).

Die Intensität der globalen und der diffusen Bestrahlung und die Häufigkeit der Besonnungsdauer sind für Monatsperioden (aus kürzerer Datenreihen) bekannt.

Bezüglich der einzelnen Kennwerte der Baukonstruktionen soll nicht nur mit den sog. Auslegungswerten, sondern auch mit den Erwartungswerten und mit der Streuung gerechnet werden.

Hinsichtlich der Erwartungswerte und der Streuung der spontanen Quellenintensität ist man zufolge der meist unzulänglichen statistischen Verarbeitung auch auf Schätzungen und energetische Analyse der angenommenen Nutzungsgewohnheiten angewiesen.

Es kann festgestellt werden, daß im vorliegenden Falle die Zahl der Wahrscheinlichkeitsveränderlichen groß ist, und die Wahrscheinlichkeitsveränderlichen voneinander unabhängig sind oder nur in schwacher Korrelation zueinander stehen.

Deshalb tendiert — im Sinne des zentralen Grenzwertungssatzes — die Verteilungsfunktion ihrer Summen (die Standardisierte) zur normalen (standarden) Verteilungsfunktion, d.h. der Erwartungswert der Summe tendiert zur Summe der Erwartungswerte, und die Varianz der Summen zur Summe der Varianzen.

Diese Behauptung kann (für diesen Fall) mathematisch nicht vollwertig bewiesen werden. Die große Anzahl und die Unabhängigkeit der Wahrscheinlichkeitsveränderlichen sind unzweifelbar, jedoch sind ihre Verteilungsfunktionen — mit Ausnahme der der wichtigsten Veränderlichen — meist konkret nicht bekannt, bei einigen Veränderlichen muß sogar zur Feststellung des Typus ihrer Verteilungsfunktion zu Hypothesen gegriffen werden. Die Zahl der auch datenmäßig untersuchbaren Veränderlichen ist zwar vom Gesichtspunkt der Verarbeitung und der Analyse beträchtlich, aber aus der Sichtpunkt der Verwendung des Grenzwertverteilungssatzes gering. In der Tat werden jedoch auch Veränderlichen untersucht, die schon von vornherein die gemeinsame Wirkung mehrerer Wahrscheinlichkeitsveränderlichen ausdrücken. Die Annehmbarkeit dieser Behauptung beruht in erster Reihe auf dem positiven Endergebnis der Normalitätsuntersuchungen der bisher aufgearbeiteten etwa anderthalb Millionen Daten aus in acht verschiedenen, bewohnten Wohnbauten im Zeitraum von 1966 bis 1980 durchgeführten (bzw. teilweise noch laufenden) Heizleistungs- und Innentemperaturmessungen in jedem Gebäude, jeder Sektion und Heizsaison [2].

Aufgrund dieser Erwägung läßt sich der Erwartungswert

$$M(P_0) = f(M(P_1) \dots M(P_5))$$

errechnen. Die in Betracht genommenen Veränderlichen können mit einer einzigen Gemischverteilung gekennzeichnet werden, deren Streuung $D(P_0)$ die zu verschiedenen Risikostufen gehörenden Konfidenzintervalle $K(P_0)$ bestimmen läßt.

Die Methode der Analyse

Aufgrund der Beziehung (5) wurde die Berechnung der Energiebilanz und die Bestimmung der statistischen Kennwerte P_0 für verschiedene Räume in mehreren tausend Variationen durchgeführt [3]. Die angewandte Methode war wie folgt:

Die Temperaturen benachbarter Räume wurden mit ihren Erwartungswerten und deren Streuung in Betracht genommen.

Als erste Näherung wurden die Wärmedurchgangscharakteristiken als deterministische Werte betrachtet.

Hinsichtlich der Änderung der Speicherwärme wurde mit dem Erwartungswert der täglichen Außentemperaturdifferenzen, der die Witterungsverhältnisse in Ungarn gekennzeichnet, und seiner Streuung gerechnet.

Die Größe der transparenten Verglasungsflächen wurde als konstanter Wert, der Sonnenschutzfaktor als deterministisch, aber bei unbeweglichen Beschattungen (z.B. Loggien) und Sonnenschutzvorrichtungen als zeitabhängig (Einfallswinkel) aufgefaßt. Bewegliche Sonnenschutzvorrichtungen (z.B. Vorhänge) wurden als offenstehend angenommen. Die Intensität wurde mit einem, für das ungarische Klima kennzeichnenden Erwartungswert und seiner Streuung in Betracht genommen.

Zur Bestimmung der Luftmassenfiltrationsströme mußten die untersuchten Räume in verschiedenen Variationen zu Gebäude organisiert werden. Der Filtrationsluftwechsel wurde dann mit Berücksichtigung der Wirkung des Auftriebes, der Entlüftung und des Windes für das ganze Gebäude berechnet [4]. (Zur Analyse wurden die Angaben von etwa zweihundert Bautenvariationen herangezogen.) Die Einwirkung der mechanischen Entlüftung wurde als konstant, die Druckunterschiede aus dem Auftrieb je Raum als übertemperaturabhängig betrachtet. Die vorherrschende Windrichtung wurde angenommen, die absolute Windgeschwindigkeit wurde mit dem Erwartungswert und seiner Streuung in Betracht genommen. Auch die Streuung des Luftdurchlässigkeitswertes der Türen und Fenster wurde beachtet.

Die spontane Quellenintensität wurde mit dem Erwartungswert und seiner Streuung in Betracht genommen.

Zu den drei Kategorien der zu untersuchenden Räume wurden die charakteristischen Abmessungen und wärmetechnischen Kennwerte der »herkömmlichen«, der gegenwärtigen Praxis entsprechenden »vorgefertigten«, und als die Entwicklungstendenz angesehenen »mit erhöhter Wärmedämmung versehenen« Bauweisen beigeordnet. Die Grundlagen für weitere Variationen sind die Geschoszahl, der Stock, wo der untersuchte Raum sich befindet, seine Lage im Grundriß, bei Verteilung nach Treppenabsätzen die Zahl der Wohnungen je Geschos, die Orientierung und die Bebauungsweise.

Die Gebäudevarianten wurden aus mehrzählig errichteten Bauten und aus Typenentwürfen ausgewählt.

Bei herkömmlichen Gebäuden wurden vier bis fünf Stock hohe Bauten mit offenem Spindelraum-Treppenhaus und Laubengang, vom Gesichtspunkt der Baukonstruktion wurden Tragwände und Hintermauerung aus Ziegel, herkömmliche (z.B. Bohn-) Decken und hölzerne Türen und Fensterrahmen als typisch betrachtet.

Für Großplattenbauten wurden fünf- bis zehnstöckige Einzelhäuser und Reihen-Sektionenhäuser gewählt. Bei allen Abmessungen und wärmetechnischen Angaben wurde von den gegenwärtigen ungarischen Gegebenheiten ausgegangen.

Bei Gebäuden mit »erhöhter Wärmedämmung« wurden eine ähnliche Grundrißanordnung, Geschosßzahl und Bebauungsweise angenommen, wie bei den Großplattenbauten. Der gegenwärtigen Entwicklungstendenz entsprechend wurde mit größeren Spannweiten, erhöhter Wärmedämmung und luftdichteren Fenstern gerechnet.

Übersicht der Rechenergebnisse in Räumen

Nach der herkömmlichen und grundsätzlich auch heute noch herrschenden Ansicht, wird der Heizwärmebedarf primär und überwiegend durch den Transmissionswärmeverlust der äußeren Raumumgrenzung bestimmt, und ist mit der äußeren (Über-) Temperatur verhältnismäßig. Diese Auffassung spiegelt sich in den gültigen Bemessungsvorschriften, in den Kennkurven der Regulierung der Vorlauftemperatur, und sogar in einigen Typen der automatischen Steuer- oder Reguliereinrichtungen. Dabei bereiten die Betriebserfahrungen, sowie die große Streuung der an Ort und Stelle registrierten Innentemperaturwerte zumindest Zweifel über das Vorherrschen der Transmissionswärmeverluste durch die äußere Raumumgrenzung.

Um dieses Problem genauer zu klären, wurde für jede der untersuchten Räume der Erwartungswert von P_0 , sowie seine Werte für das $\pm 5\%$ -ige Risiko-Niveau aufgrund der Mischverteilungsstreuung bestimmt. Typische Ergebnisse sind in Abb. 1 dargestellt.

Aus den Ergebnissen können folgende wichtigere Folgerungen gezogen werden.

Der Erwartungswert der Invarianten P_0 ändert sich zwischen ziemlich weiten Grenzen, auch wenn nur die Teilmenge der zur selben Übertemperatur ϑ_a gehörenden Werte $M(P_0)$ in Betracht genommen wird, aber sogar wenn von diesen Teilmengen jene für $\vartheta_a = -35$ K gewählt wird, obzwar offensichtlich spielt der Transmissionswärmeverlust der äußeren Raumumgrenzung im letzteren Falle die größte Rolle.

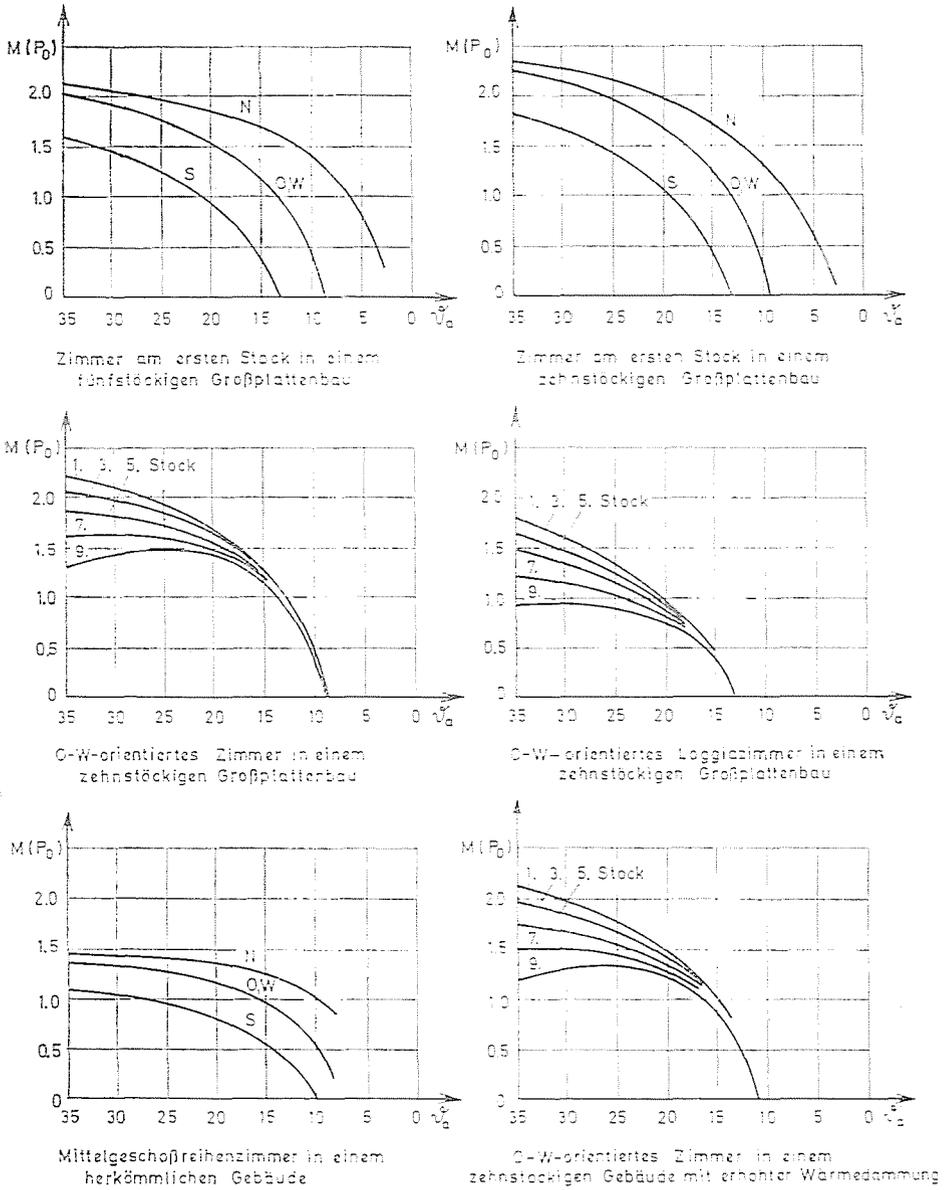


Abb. 1. Beispiele für die Funktionsbeziehung $M(P_0) - f(\theta)$

Das Vorkommen gleichwohl von 0,98 und 2,36 zwischen den $M(P_0)$ -Werten bei $\theta_a = -35$ K Übertemperatur für die der derzeitigen Praxis entsprechend ausgestalteten Großplatten-Wohnräumen zeigt die Unüberwiegenheit des äußeren Transmissionswärmeverlustes sogar bei einem so hohen

Temperaturunterschied (Extremwert in den derzeitigen Bemessungsvorschriften). Wohnräume der herkömmlichen Bauart sind einheitlicher, mit $M(P_0)$ -Werten zwischen 1,00 und 1,43.

Die $M(P_0)$ -Werte für $\vartheta_a = -20$ K sind noch unterschiedlicher. Auch in diesem Falle ändern sie sich systematisch in Abhängigkeit der Invarianten P_2 und P_3 ; die Abweichungen sind jedoch viel größer: unter den $M(P_0)$ -Werten der Großplattenbauweise kommen 0,09 und 1,93 gleichwohl vor. (Bei der herkömmlichen Bauart liegen die $M(P_0)$ -Werte zwischen 0,80 und 1,36.) Offensichtlich nimmt mit Abnahme des Temperaturunterschiedes sowohl der Absolutwert des Transmissionswärmeverlustes durch die äußere Raumumgrenzung, als auch seine Bedeutung für die ganze Energiebilanz ab; das beweisen auch die für die herkömmliche Bauweise erhaltenen Werte. Bei Großplattenbauten und solcher mit erhöhter Wärmedämmung steht bereits die Unbedeutendheit des Energiestroms durch die äußere Raumumgrenzung im Verhältnis zu den übrigen Komponenten der Energiebilanz klar. Es muß betont werden, daß die äußeren Übertemperaturwerte um $\vartheta_a = -20$ K der nahezu durchschnittlichen Außentemperatur der Heizsaison entsprechen, das ist also der meist kennzeichnende Zustand!

In der Menge der zu $\vartheta_a = -15$ K gehörenden $M(P_0)$ -Werte kommt auch $M(P_0) = 0$ vor, d.h. es gibt keinen Heizleistungsbedarf, der Erwartungswert der Heizungsgrenztemperatur in diesen Räumen fällt in das Bereich $t_a = (0 \text{---} +5 \text{ }^\circ\text{C})$. Bei Großplatten kommt jedoch auch $M(P_0) = 1,78$ vor. (Bei der herkömmlichen Bauweise liegen die $M(P_0)$ -Werte zwischen 0,52 und 1,34.)

Im allgemeinen sind die $M(P_0)$ -Werte der herkömmlichen Bauweise bei jeder ϑ_a Übertemperatur ≈ 1 und weichen viel weniger voneinander ab, als bei Großplatten und bei einer höheren Wärmedämmung, das (teilweise als natürliche Folge der nach der obigen Reihenfolge steigenden Wärmedämmung) die Bedeutung der Transmissionswärmeverluste als Komponente der Energiebilanz des Raumes schon unter den gegenwärtigen architektonischen und Baukonstruktionsbedingungen der Massenwohnbauten (und nach der Tendenz der Weiterentwicklung noch mehr) sogar bei einer niedrigen Außentemperatur herabsetzt.

Die von 1 stark abweichenden, in einem sehr weiten Bereich streuenden $M(P_0)$ -Werte der Großplattenbauten und solcher mit erhöhter Wärmedämmung beweisen eindeutig, daß neben dem, und anstatt des Wärmedurchgangs durch die äußere Raumumgrenzung sonstige Komponente für die Energiebilanz bestimmend sind, u.zw. in Raum und Zeit äußerst differenziert.

Diese Tatsache stellt qualitativ neue konstruktions-, haustechnische und architekturelle Probleme, deren Grundlage größtenteils auch aus den vorgelegten $M(P_0)$ -Werten erscheint.

Ist ein gegebener Wert des äußeren Wärmedurchgangs für den Ist-Heizbedarf nicht maßgebend, so besteht zwischen den Änderungen der Außentemperatur und des Heizbedarfs kein enger Zusammenhang.

Bei herkömmlichen Bauten, $M(P_0) \approx 1$, also ändert sich der Heizbedarf im großen und ganzen verhältnismäßig mit der äußeren Übertemperatur ($M(P_0) = 1$ wäre die Bedingung der geraden Proportion), eine Änderung der Außentemperatur ruft eine ziemlich gleiche Reaktion bei den Räumen hervor. Das größte Problem bei Großplattenbauten und Bauten mit erhöhter Wärmedämmung ist nicht, daß Außentemperatur und Heizbedarf nicht verhältnismäßig sind — das könnte ja mit einer nichtlinearen Leistungsregelungsfunktion behoben werden — sondern, daß bei einer Änderung der Außentemperatur die Räume sehr unterschiedlich reagieren. So fehlt nicht nur die Möglichkeit, einen guten Heizbetrieb durch einen außentemperaturabhängigen Heizleistungssteuerung zu gewährleisten, sondern grundsätzlich lassen sich aus mehreren verschiedenen Räumen organisierte Systeme nicht mit einer gemeinsamen — wenn auch so komplizierten — Heizleistungssteuerung in Betrieb halten.

Die angegebene $M(P_0)$ -Werte beweisen sehr gut diese Behauptung, nämlich die $M(P_0) = f(\vartheta_a)$ -Beziehungen für die einzelnen Räume zeigen die verschiedensten Änderungen; es können monoton wachsende und nicht wachsende Funktionen gleichwohl vorhanden sein, die 0-Punkte (Erwartungsgrenztemperaturwerte der Heizung) der Funktionen liegen in einem äußerst weiten Bereich, $M(t_{ag}) = (+2 - +14^\circ\text{C})$.

Beziehungen zwischen Ähnlichkeit der Räume, Betriebs- und Bemessungsfragen

Die Differenziertheit der für den Erwartungsheizbedarf kennzeichnenden $M(P_0)$ -Werte bereitet vielerlei Probleme sowohl bei der Bemessung, als auch im Betrieb, die aus der unterschiedlichen Änderung des Heizwärmebedarfs (d.h. des Heizleistungsbedarfs) der einzelnen Räume, in Verhältnis zu den Werten der Invarianten P_0 , herrühren. Die Leistung der Heizeinrichtungen, die aus diesen Räumen organisierten Mengen (Bauten, Sektionen, Zonen) bedienen, kann sich aber in jedem Raum (von Einzelregelungen abgesehen) nur nach einer gegebenen Funktion, verhältnismäßig ändern. Änderte sich die Leistung des Heizsystems nach den $M(P_0)$ -Mittelwerte, so wäre offensichtlich die eine Hälfte der Räume unterheizt, die andere überheizt. Das sich daraus ergebende etwa 50%-ige »Unzufriedenheitsniveau« wäre aber unhaltbar. Deshalb muß der Inbetriebhalter die Heizleistung dem jeweiligen höchsten $M(P_0)$ -Wert — oder einige Prozent »Unzufriedenheitsniveau« riskierend, einem naheliegenden Wert — anpassen. (Im letzten Falle kann, in Kenntnis von

$D(M(P_0))$ zum gegebenen Risiko-»Unzufriedenheitsniveau« der maßgebende $M(P_0)$ -Wert errechnet werden.) Ein solcher Betrieb ergibt in den meisten Räumen eine Überheizung. (Messungen an Ort und Stelle in einem zehnstöckigen Großplattenbau bewiesen, daß beinahe ein Drittel der verbrauchten Heizenergie auf diese Überheizung fiel [3]).

Heizkörper für die einzelnen Räume lassen sich durch Zusammenpassung der meteorologischen Bemessungswerte, der Parameter des Wärmeträgers, und der P_0 -Zahlenwerte bemessen. Die Wahl des Bemessungszustandes bedeutet also gleichzeitig das Festhalten einer P_0 -Reihe für die gegebenen Räume.

Die hochgradige räumliche Differenziertheit der P_0 -Werte der Invarianten in Abhängigkeit der Orientierung, des Verglasungsanteils, Anordnung nach Grundriß und Geschoßhöhe (d.h. der Invarianten P_1, \dots, P_5) der einzelnen Räume erfordert »bloß« eine sehr differenzierte Bemessung der Heizflächen.

Eine viel größere Schwierigkeit bereitet die Wahl der »Auslegungs«- P_0 -Reihe. Nach der üblichen Anschauungsweise und den gültigen Vorschriften soll nämlich die Bemessung für einen extremen Zustand erfolgen, die Wahrscheinlichkeit dessen Unterschreitung gering ist und vernachlässigt werden kann. Dazu kommt noch, daß nicht aus den $M(P_0)$ -Erwartungswerten, sondern aus dem $M(P_0)$ -Erwartungswert und der Streuung $D/M(P_0)$ errechneten P_0 -Werten mit einem gegebenen (z.B. 5%-igen) Risikoniveau ausgegangen wird.

Aus dieser Beschaffenheit folgt einerseits, daß diese P_0 -Reihe noch differenzierter ist, als die $M(P_0)$ -Reihe, und ganz andere Heizflächenverhältnisse ergibt, andererseits, daß — eben zufolge der Anschauungsweise bei dieser Wahl — die Wahrscheinlichkeit des Vorkommens einer solchen P_0 -Reihe praktisch Null ist. Dahingegen schon im Falle, wo die Außentemperatur extrem, aber die anderen Faktoren es nicht sind — also wenn der Zustand der $\vartheta_{a,\max}$ beigeordneten $M(P_0)$ -Reihe besteht — entsprechen die laut Obigem bestimmten Proportionen der Heizflächen und der ihnen beigeordneten Heizleistungen den der $M(P_0)$ -Reihe zugehörigen (z.B. aufgrund der 5%-igen Risikoniveau festgelegten) Proportionen nicht. Die Abweichungen werden noch größer, wenn nicht die der extremen, sondern anderen, z.B. der häufigsten Außentemperatur beigeordneten P_0 -Reihen in Betracht genommen werden.

Der gegenwärtigen Anschauungsweise entsprechend werden aus drei verschiedenen Ebenen — teils im Interesse der Planungssicherheit, teils wegen einer »Zwangslage«, Verfahren angewendet, die miteinander verbunden und ihren Wirkungen gegenseitig stärkend-modifizierend, die Überheizung der meisten Räume verursachen, namentlich:

— als Auslegungswert wird der Extremwert der Außentemperatur von einer vernachlässigbar geringen Wahrscheinlichkeit gewählt,

- sogar zu dieser extremen Außentemperatur wird nicht der $M(P_0)$ -Erwartungswert des Heizwärmebedarfs sondern, sämtliche Faktoren ebenfalls als extrem angenommen, die dem Null-Wahrscheinlichkeitszustand entsprechenden Heizleistungsbedarfswerte $K(P_0)$ beigeordnet,
- bei Änderung der Randbedingungen wird die Heizleistung in jedem Raum in der Proportion aus der zur momentanen Außentemperatur gehörigen P_0 -Werte ausgewählten Höchstwerte geändert.

Folgerungen aus der Analyse von Ähnlichkeits-Invarianten

Haustechnische und architektonische Lösungen des industrialisierten Wohnmassenbaues, mit seinen Fertigteilen, Typenkonstruktionen, erhöhten Bauabmessungen, mit nebeneinander und übereinander gereihten Raumzellen haben konstruktionsell, funktionell und ästhetisch einen Übermaß aus geometrischer Ähnlichkeit, Einförmigkeit, Monotonie erreicht, die zum gesellschaftlichen Problem wurde; gleichzeitig entstand eine wärmetechnische Mannigfaltigkeit der Räume, die eine qualitative Änderung der Energiebilanz in diesen Bauten ergab.

In der Energiebilanz der heutigen mehrstöckigen, mittelhohen und Hochbauten nehmen der mit dem Filtrationsluftwechsel verbundene konvektive Energiestrom, der Energiestrom aus der Besonnung der Verglasungen aber sogar der innere Wärmedurchgang, die Intensität der spontanen Quellen, und die Änderung der Speicherwärme kommensurabel mit dem durch die äußere Raumumgrenzung durchdringenden Energiestrom teil. Die angeführten Komponenten der Energiebilanz hängen von sich voneinander unabhängig und zufallsbestimmt ändernden Faktoren ab, mit Änderung der Randbedingungen ändern sich auch ihre Bedeutung und Rolle.

Zwischen dem Ist-Heizbedarf und der Änderung der äußeren Über-temperatur besteht keine allgemeingültige, eindeutige und enge Funktionsbeziehung. Der Heizwärmebedarf von Räumen eines Gebäudes von der gleichen äußeren Transmissionswärmecharakteristik als eine, von vielen, voneinander unabhängigen Faktoren abhängige Wahrscheinlichkeitsvariante kann bei einer gegebenen Außentemperatur voneinander bedeutend abweichende Werte — sogar mit entgegengesetzten Vorzeichen — haben. Sein von der Außentemperatur abhängiger Erwartungswert ändert sich entlang der verschiedensten Kurven, deren Nullpunkte (die Heizgrenztemperatur) in einem sehr weiten Bereich der Außentemperature liegen.

Der Betrieb der Zentralheizungssysteme wird vom wärmetechnischen Vielerlei der Räume besonders erschwert, geradezu unmöglich gemacht. Bei den heutigen technischen, architektonischen, konstruktionsellen, haustechnischen Bedingungen besteht das Abweichen der Innentemperatur vom Norm-

wert praktisch in Überheizung und damit in Energiemehrverbrauch (unvermeidlich sogar bei sonst regelrechtem und fehlerlosem Entwurf und Ausführung).

Bleiben die grundlegenden Lösungen, die Anschauungsweise im Entwurf und die Auslegungsmethoden unverändert, so werden mit erhöhten Bautenabmessungen und Geschosßzahlen, mit besserer Wärmedämmung, die Streuung der Innentemperaturwerte und der auf die Überheizung entfallende Anteil des Energieverbrauches immer höher.

Die Streuung der Innentemperatur und der auf die Überheizung entfallende Anteil des Energieverbrauches können nur mittels vielseitiger, gut zusammengestimmter Regelungseingriffe herabgesetzt werden.

In diesem Sinne kann der Nutzeffekt verbessert werden, indem aufgrund der Analyse der einzelnen Komponenten der Energiebilanz die reellen Vorgänge genauer beschreibende Bemessungsbeziehungen und Auslegungsgrunddaten angewendet werden, die das Anpassen der Heizleistung an den Heizwärmebedarf in erster Linie in den häufigsten Betriebszuständen gewährleisten.

Die Betriebsbedingungen können durch Aufteilung des Heizsystems auf Zonen aus wärmetechnisch mehr oder weniger ähnlichen Räumen, die eine gemeinsame Steuerung oder Regelung der Heizleistung gestatten, verbessert werden.

Aus architektonischer Sicht können die angeführten Probleme durch bessere Wärmedämmung der Dachhaut, der Decken, durch ausgeglichene Lüftung, durch Trennen der Treppenhäuser in vertikalen Sektionen, oder durch Ausgestaltung offener Treppenhäuser gemäßigt werden.

Aus den Analysen erscheint es unrichtig, die wärmetechnischen Ähnlichkeitsbedingungen an abstrakten, dem Gebäude entrissenen Räumen zu untersuchen. Statistische Kennwerte der Ähnlichkeitsinvarianten lassen Fragen der Heizregelung, der Änderung von Heizleistung und Heizwärmebedarf, die baukonstruktionellen und architektonischen Lösungen in allgemeiner Form beurteilen.

Zusammenfassung

Die Energiebilanz mehrstöckiger und mittelhoher Wohn- und Gesellschaftsfertigbauten unterscheidet sich mengenmäßig von derjenigen der herkömmlichen Bauten. Der Transmissionswärmeverlust durch die Außenwände wird nicht mehr ausschlaggebend, während die Bedeutung anderer Komponente der Energiebilanz — Filtrationswärmeverlust, Besonnung — erhöht sich.

Das Ähnlichkeitsverfahren wurde zur allgemeinen Beschreibung der Energiebilanz herangezogen. Aus den für eine Anzahl Varianten errechneten Ähnlichkeitsinvarianten stellt sich heraus, daß der Heizwärmebedarf sich in Raum und Zeit äußerst unterschiedlich ändert, das eine ziemliche Mehrenergieverbrauch verursacht. Eine Herabsetzung ist aus der Veränderung des Bemessungsverfahrens und einer mehr differenzierten Regelung zu erwarten.

Literatur

1. SZÜCS, E.: Das Ähnlichkeitsverfahren und seine Anwendung in der Bauindustrie.* Doktorarbeit, Budapest 1972.
2. ZÖLD, A.: Auswertung der Daten des Versuchswohngebäudes Ó.9.* Forschungsbericht, Budapest 1973.
3. ZÖLD, A.: Gemeinsame Anwendung von baulichen, konstruktionellen und haustechnischen Mitteln zur Rationalisierung des Energieaufwandes.* Doktorarbeit, Budapest 1980.
4. ZÖLD, A.: Berechnung des Filtrationsluftaustausches in Gebäuden. Heizung, Lüftung, Haustechnik. H.6. 1973. S. 245—247.

Prof. Dr. András ZÖLD, H-1521, Budapest

* In ungarischer Sprache