

Energierrelevante Luftströmungen in Gebäuden

Claude Alain Roulet

1. Einleitung

Die heutigen Gebäude weisen einen immer besseren Wärmeschutz und eine immer höhere Luftdichtigkeit auf. Der Energieverbrauch sinkt und die Behaglichkeit nimmt zu. Die Qualität der Außenluft und der Innenluft wird jedoch immer schlechter und stellt vermehrt physiologische wie auch psychologische Probleme. Es treten deshalb immer mehr Mängel entweder an der Innenluftqualität oder an Energieverbrauch für Lüfterneuerung auf.

Um die Kenntnisse auf diesem Gebiet zu erweitern und planenden Ingenieuren neue Berechnungsmethoden zur Verfügung stellen zu können, wird zur Zeit in der Schweiz ein großangelegtes Forschungsprojekt in Angriff genommen. Dieses Projekt wird von den Hochschulen wie auch von privaten Planungsbüros verwirklicht und dies in Zusammenarbeit im Rahmen der Internationalen Energieagentur.

Die Luftströmungen in Einzelräumen, die Wechselwirkung zwischen den Einzelräumen und mit der Umgebung des Gebäudes sind heute noch wenig erforscht. Die Vorgänge sind dreidimensional, zeitabhängig und spielen sich bei komplexen Randbedingungen (Witterung, Benützerverhalten, räumliche Begrenzung) ab. Die Auslegung der haustechnischen Anlagen beruht daher vor allem auf Erfahrung und muß wegen der immer noch vorhandenen Unsicherheiten mit Sicherheitszuschlägen versehen werden. Um einen niedrigen Energieverbrauch bei gleichzeitigem Komfort der Raumbenützer zu gewährleisten, sollten die Mechanismen der Luftströmungen, des damit verbundenen Wärme- und Stofftransportes (Schadstoffe) und die Kriterien des Wohlbefindens besser bekannt sein. Mit den heute verfügbaren Mitteln der numerischen Strömungssimulation und der Meßtechnik bestehen gute Aussichten, vertiefte Einsichten in die Vorgänge zu gewinnen. Diese können dann in der Planung von Gebäuden von haustechnischen Anlagen eingesetzt werden und führen damit zu besseren und wirtschaftlicheren Systemen, die gute Luftqualität und hohe Sicherheit bei optimalem Energieeinsatz garantieren.

2. Rechenmodelle

Die bestehenden Rechenmodelle [1] erlauben es, den Luftwechsel durch den Lufteintritt durch Leckstellen (Fugen, Risse) an geschlossenen Gebäuden zu berechnen. Dies geschieht über die Berechnung von Druckunterschieden zwischen innen und außen, die durch Temperaturunterschiede und durch Wind verursacht werden.

Der durch den Wind verursachte Druck δp_v wird normalerweise wie folgt berechnet:

$$\delta p_v = \frac{1}{2} \mu C_p v^2 \tag{1}$$

dabei bedeuten μ die Luftdichte, v die Windgeschwindigkeit in einem gewissen Abstand zum Gebäude und C_p ein Druckkoeffizient der von der Gebäudeform, der Umgebung und der Windrichtung abhängig ist. Dieser Koeffizient wird normalerweise in Windkanalversuchen an Modellen ermittelt.

Der Druck, der durch die Temperaturunterschiede zwischen Innen und Außen verursacht wird, berechnet sich wie folgt:

$$\delta p_t = \delta \mu g z \tag{2}$$

dabei bedeutet g die Beschleunigung der Schwerkraft, z den Höhenunterschied zwischen der Öffnung und der neutralen Zone und $\delta \mu$ den Dichteunterschied zwischen der Luft (proportional zur Differenz der Umkehrwerte der absoluten Temperatur):

$$\delta \mu / \mu_0 = 1/T - 1/T_0 \tag{3}$$

Für jede Gebäudeöffnung, Windsituation und Temperatur werden dann die Druckunterschiede summiert

$$\delta p = \delta p_v + \delta p_t \tag{4}$$

und es wird zum Schluß eine Beziehung zwischen diesem totalen Druckunterschied δp und dem Luftstrom Q benutzt. Diese Beziehung kann entweder [nach 2]

$$Q = C \delta p^n \tag{5}$$

oder aber

$$\delta p = A Q + B Q^2 \tag{6}$$

sein, wobei C, n, A, B empirische Koeffizienten sind, die auf Grund von Messungen an verschiedenen Gebäuden in verschiedenen Lagen und für unterschiedliche Arten von Luftströmungen gemessen wurden.

Diese zwei Beziehungen zeigen, daß der Luftstrom durch die Öffnung entweder laminar oder turbulent sein kann.

Gebäude mit mehreren Räumen werden durch Knotenmodelle modelliert. Jeder Raum wird als homogen betrachtet und als Knoten dargestellt und diese Knoten werden durch Widerstände verbunden, die durch die Parameter C und n oder A und B charakterisiert werden. Die Gleichungen für alle definierten Knoten zusammen ergeben ein gekoppeltes System von Differentialgleichungen für das dann noch die wirklichen meteorologischen Randbedingungen (Windrichtung und Windgeschwindigkeit, Außentemperatur) vorgegeben werden müssen. Dieses System kann mit finiten Differenzen gelöst werden.

Selbst die raffiniertesten existierenden Rechenmodelle können die Luftströmungen durch große Öffnungen nicht erfassen. Auch können sie den Lufteintritt, im Falle sich alle Öffnungen auf der einen Seite des Hauses befinden, nicht genau voraussagen und vernachlässigen die Zusammenhänge zwischen thermischen Phänomenen und Luftbewegungen außerhalb der Gebäude.

Im weiteren verfügt man praktisch über keine Vergleiche zwischen Meßwerten in bestehenden Gebäuden und Rechenwerten. Die fehlende Gültigkeitsüberprüfung erklärt sich daraus, daß die notwendigen Meßmethoden z. T. überhaupt noch in Entwicklung sind und daß der Aufwand für die Validationen sehr groß ist.

3. Neue Meßmethoden

Physikalische Meßgrößen

Sowohl zur Modellvalidierung als auch als Eingabewert für Berechnungen müssen verschiedene physikalische Größen besser bekannt sein. Es handelt sich dabei vor allem um:

Meteodaten: Windgeschwindigkeit und Windrichtung
Innen- und Außentemperatur
Sonneneinstrahlung

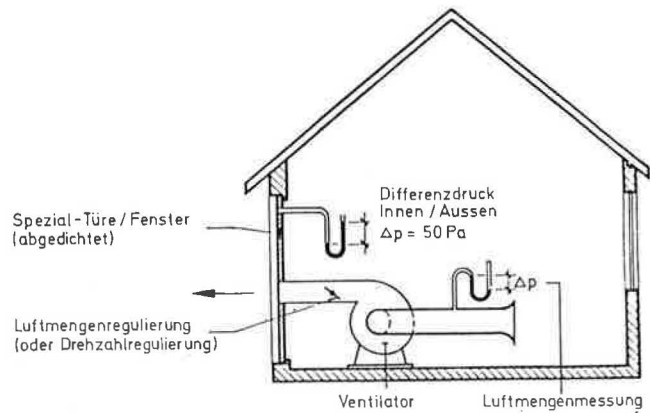
Gebäudedaten: Druckkoeffizienten C_p
Luftdurchlässigkeitskoeffizienten (C, n, A, B) aller inneren Trennwände

Luftströmungsdaten: Luftströmung von außen
Luftströmung zwischen Innenräumen
Luftwechsel
Druckdifferenz

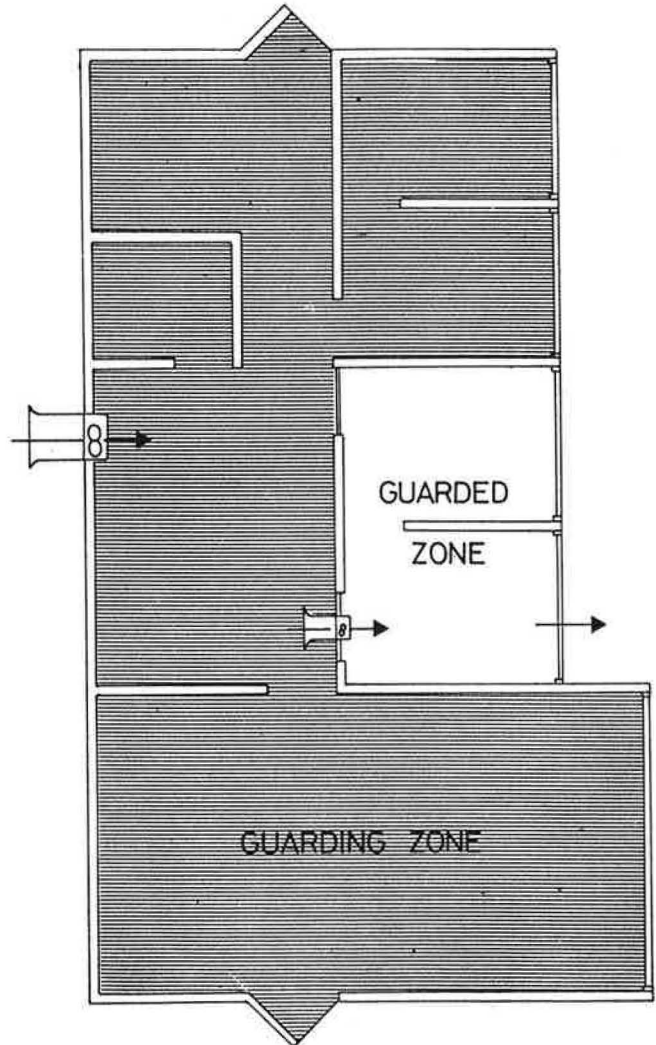
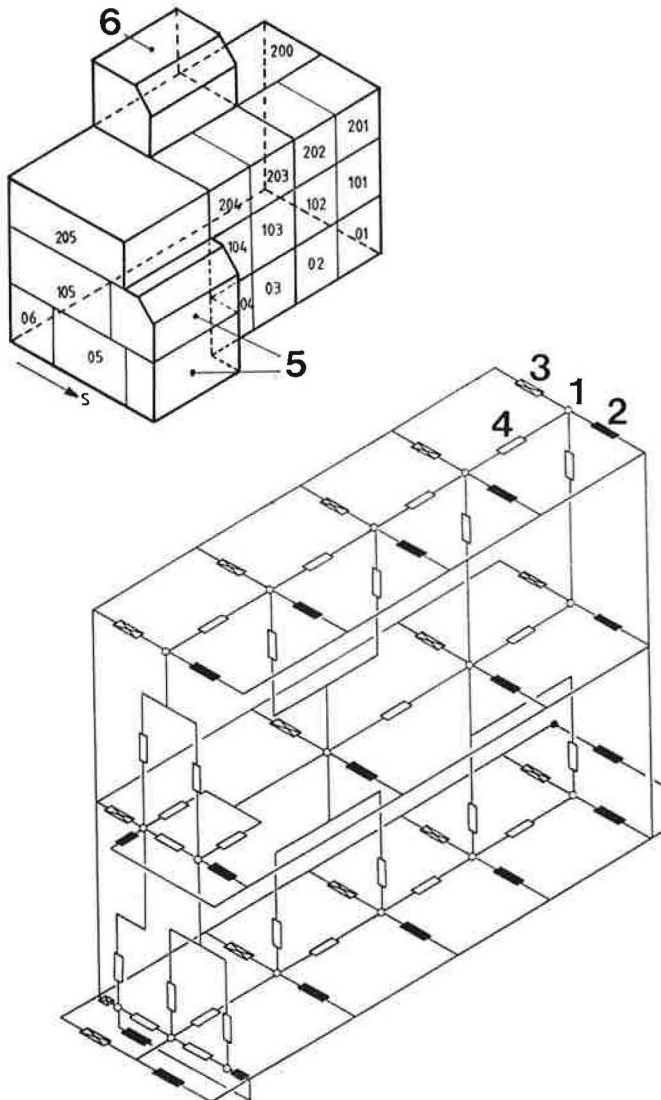
Zur Ermittlung dieser Größen gibt es die notwendigen Meßgeräte. Er wird im folgenden auf bekannte und neuere Geräte hingewiesen.

Luftdurchlässigkeitsmessungen

Um die Luftdurchlässigkeitskoeffizienten C, n, A und B zu messen, wird ein Teil des Gebäudes oder das ganze Gebäude in Über- oder Unterdruck versetzt mit Hilfe eines Ventilators (Abb. 1). Der zur Einhaltung eines gewünschten Druckunterschiedes (z. B. von 10 bis 70 Pa in Stufen von 10 Pa) notwendige Luftstrom Q wird gemessen. Man erhält dadurch eine Anzahl Punkte und kann eine der beiden Beziehungen (5) oder (6) angleichen. Zur Bestim-



1 Meßanordnung zur Bestimmung der Luftdurchlässigkeit der Gebäudehülle



2 Schutzzonentechnik. (Die schützende Zone wird auf dem gleichen Druckniveau gehalten wie die zu schützende Zone, in der die Messungen durchgeführt werden.)

3 LBSO-Gebäude mit Luftdurchlässigkeitsnetz
◀ 1 Raumnknoten, 2 Widerstand Innen – Außen, 3 Widerstand Innen – Treppenhaus, 4 Widerstand zwischen Räumen, 5 Wintergarten, 6 Treppenhaus

mung der Luftdurchlässigkeit von Innenwänden muß man über mindestens zwei Ventilatoren verfügen und die Schutzzonentechnik anwenden (Abb. 2).

Unsere Gruppe hat ein solches Meßgerät entwickelt und das Gebäude des Laboratoriums für Sonnenenergieforschung wird zur Zeit komplett ausgemessen (Abb. 3).

Es ist im weiteren möglich, eine dynamische Methode anzuwenden die darin besteht, in der Meßzone eine alternative Volumenänderung mit schwacher Amplitude und einer Frequenz von 1 bis 5 Hz zu erzeugen. Ein Mikrophon erlaubt es, die kleinen Druckunterschiede zu messen und die akustische Impedanz des Volumens, und damit seine Verluste, abzuleiten. Diese Methode ist jedoch noch im Entwicklungsstadium.

Luftstrommessungen

Indem man einem Volumen eine bekannte Menge eines gefahrlosen und leicht meßbaren Spurgases beigibt und dann die Konzentrationsänderung mißt, kann man die dem Volumen zugeführte Frischluftmenge bestimmen. Da die Luftmasse und die Gasmasse konstant sind, kann man für jede Gebäudezone die folgende Differentialgleichung aufstellen [4]:

$$V_i \dot{C}_i = q_i + Q_{ai} (C_a - C_i) + \sum_j (C_j - C_i) Q_{ji} (1 - \delta_{ij}) \quad (7)$$

wobei V das Volumen der betreffenden Zone bedeutet, C die Spurgaskonzentration (\dot{C} ist die Ableitung in bezug zur Zeit) und Q die Luftströme. Der Index i bezeichnet die Zonen, der Index j die Nachbarzonen und den Außenraum. $(1 - \delta_{ij})$ nimmt den Wert 0 an für $i = j$ und den Wert 1 im gegenteiligen Fall.

Im Falle man nur eine Zone hat oder wenn die Zonen voneinander unabhängig sind ($Q_{ij} = 0$) vereinfacht sich die Gleichung:

$$V \dot{C} = q + Q_a (C_a - C) \quad (8)$$

Indem man die Konzentration und den Gasstrom dauernd mißt, kann man die Gleichung lösen und erhält den momentanen Luftstrom Q_a . Zur Erleichterung der Interpretation der Meßresultate wurden verschiedene Methoden entwickelt.

Die Methode der logarithmischen Ableitung kann angewandt werden, wenn der Luftstrom konstant ist. Nachdem eine gewisse Ausgangskonzentration erreicht ist (C_0) wird die Spurgasbeigabe beendet ($q = 0$). Die Konzentration fällt dann exponentiell ab:

$$C = C_0 \exp(-n_L t) \quad (9)$$

wobei der Exponent n_L der Luftwechsel ist und durch die folgende Gleichung definiert wird:

$$n_L = Q_a/V \quad (10)$$

Unter ähnlichen Bedingungen kann mittels einer konstanten Spurgasabgabe der Frischluftstrom ermittelt werden durch

$$Q_a = q/C \quad (11)$$

Eine ähnliche Methode, die jedoch einfacher und billiger ist, besteht im Einbringen eines konstanten Spurgasflusses durch Diffusion des Gases aus einer durchlässigen Kapsel [5]. Nach Durchmischung mit der Raumluft wird das Spurgas in einer zweiten Kapsel durch ein poröses Material absorbiert. Diese Kapsel kann dann im Labor ausgemessen werden.

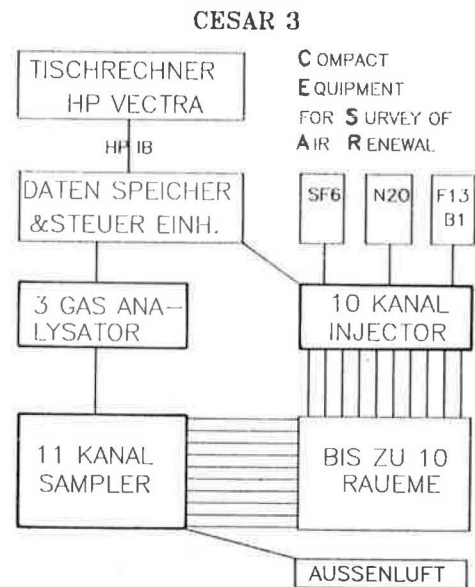
Diese Methode erlaubt es, in einer Vielzahl von Wohnungen Messungen durchzuführen. Da der Frischluftstrom jedoch nicht konstant ist, wird tatsächlich die mittlere Konzentration von im Raum produzierten Schadstoffen ermittelt. Die Messung betrifft also eher den Schadstoffgehalt als die Lüfterneuerung [6].

Die Gleichungen (10) und (11) gelten nur für ein konstantes Q_a , was in der Praxis nie der Fall ist. Im weiteren kann die Methode mit der logarithmischen Ableitung (Konzentrationsabfall) bei reell bewohnten Gebäuden mit mehreren untereinander verbundenen Zonen nicht angewandt werden. In diesem Fall erlaubt nur die Methode der konstanten Konzentration [7] den momentanen effektiven Luft-

wechsel zu ermitteln. Ist die Konzentration des Spurgases wirklich konstant trotz den Schwankungen der Frischluftzufuhr, so kann die Gleichung (10) angewandt werden und ergibt den momentanen Wert von Q_a . In Wirklichkeit ist die Konzentration nie ganz konstant, es ist jedoch möglich, diesen Effekt zu korrigieren [8].

Um verschiedene, miteinander verbundene Zonen erfassen zu können, muß man über die gleiche Anzahl von Gasen wie von Zonen verfügen [9].

Die Forschungsgruppe für Sonnenenergie hat ein computergesteuertes Meßinstrument zur Ermittlung des Luftwechsels mittels der Methode der konstanten Konzentration entwickelt [10 bis 13]. Das Gerät ist seit drei Jahren im Betrieb und wurde an andere schweizerische Laboratorien verkauft. Ein neues Meßinstrument, das 3 verschiedene Gase angewendet (N_2O , CF_3Br und SF_6), ist in Entwicklung (Abb. 4).



4. Validierung der Rechenprogramme

Rechenprogramme müssen in jedem Falle durch Messungen abgesichert, d. h. validiert werden (Abb. 5). Man muß dazu über vollständige und gesicherte Meßdaten verfügen, die sowohl die Eingabedaten für die Rechenprogramme als auch Werte für die Resultate, die das Programm liefert, enthalten. Solche Angaben müssen für verschiedene Gebäude existieren.

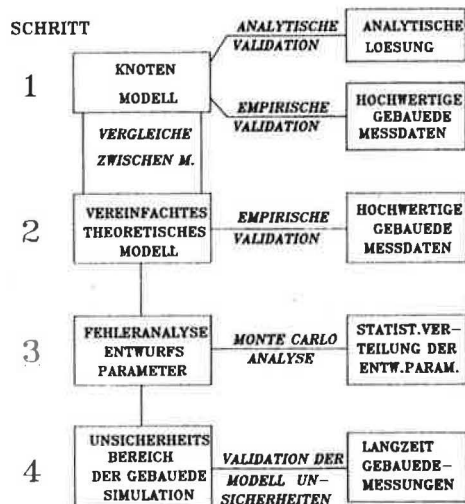
Mittels dieser Datensätze können dann die Rechenprogramme, die zur Zeit nur in der Forschung auf Großcomputern eingesetzt werden und sehr viele Eingabedaten benötigen, abgesichert werden (Abb. 5, 1. Schritt).

Die vereinfachten Programme, die auf Tischrechnern laufen, sind als Planungshilfsmittel vorgesehen. Sie sollen dem planenden Ingenieur erlauben, im Projektstadium festzustellen, ob die Räume genügend durchlüftet sind. Die Validierung dieser Programme geschieht durch den Vergleich mit den Resultaten eines (durch Messungen validierten) Großprogrammes (Abb. 5, Schritt 2). Um jedoch wirklich in der Praxis angewandt werden zu können, sind noch zusätzliche Schritte notwendig (Abb. 5, Schritt 3). Die in das Programm eingehenden Parameter nehmen keinen genauen einmaligen Wert an, es handelt sich meist vielmehr um eine gewisse statistische Verteilung, um einen Mittelwert. Die wirklichen Gebäudeparameter sind deshalb leicht verschieden von den für die Berechnung angenommenen Werten.

Es wird dadurch möglich, dem Planer nicht nur Auslegungswerte zu liefern, sondern ihm auch noch die Zuverlässigkeits-

intervalle dieser Werte zu geben (Abb. 5, Schritt 4). Dieses logische und vollständige Vorgehen ist zwar in verschiedenen Forschungszweigen bereits eingebürgert [3], im Bauwesen jedoch erst am Anfang.

VALIDATIONS METHODE



5. Forschungsprogramme

Istzustand

Sowohl auf internationaler Ebene, im Rahmen der Internationalen Energieagentur, als auch in verschiedenen Ländern, darunter der Schweiz, sind heute große Forschungsprogramme auf diesem Gebiet im Anlaufen oder bereits im Gange. Gemeinsames Ziel ist es, den Planern benutzerfreundliche und zuverlässige Rechenhilfsmittel zur Erfassung von energierelevanten Luftströmungen in Gebäuden zur Verfügung zu stellen. Diese Hilfsmittel sollten es erlauben, Luftströmungen sowohl in Räumen wie auch zwischen verschiedenen Räumen, unter Einbezug der natürlichen und der künstlichen Konvektion, zu erfassen.

Die Erarbeitung von Rechenmodellen, Datensätzen von Meßdaten und die Validierung von Rechenprogrammen kann nur in enger Zusammenarbeit zwischen den verschiedenen Spezialisten sowie zwischen Forschung, Entwicklung und Praxis geschehen.

Arbeiten des GRES

Die Forschungsgruppe für Sonnenenergie und Bauphysik an der ETHL (GRES) wurde im Rahmen dieser Forschungsprojekte mit folgenden Teilaufgaben beauftragt.

1. Erarbeitung neuer Modelle betreffend des Einflusses von Wind und Temperaturunterschieden auf den Luftwechsel in Gebäuden.
2. Neue Meßmethoden zur Ermittlung der Luftdurchlässigkeit von Gebäuden.

3. Aufbereitung von vollständigen Meßdatensätzen von verschiedenen Gebäuden zur Validierung der Rechenprogramme.
4. Studie für den Wärmetransport durch natürliche Konvektion zwischen Wintergärten und Wohnungen.
5. Verschiedene Messungen in neuen Klimaanlagen.

Die vier ersten Projekte haben im September 1987 begonnen, das Projekt 5 beginnt Ende 1988. Resultate werden für 1990 erwartet.

6. Schlußfolgerungen

Die Kenntnisse auf dem Gebiet der energierelevanten Luftströmungen in Gebäuden sind noch relativ rudimentär. Beträchtliche Forschungsanstrengungen sind jedoch im Gange und werden in den nächsten 5 Jahren zu entscheidenden Fortschritten führen. Nach der Beherrschung der Verluste durch Wärmeleitung und der Gewinne durch Sonneneinstrahlung werden dann auch die konvektiven Phänomene in Gebäuden unter Kontrolle sein und eine höhere Stufe von energiebewußtem Bauen erlauben.

Literatur

- [1] M. Liddament: Air Infiltration Calculation Techniques. An Application Guide. Air Infiltration and Ventilation Center, Bracknell, UK, 1986. H. E. Feustel & W. M. Keidon: Infiltration Models for Multicellular Structures. A Literature Survey. LBL report 17588, 1985.
- [2] H. E. Feustel: Beitrag zur theoretischen Beschreibung der Druck- und Luftmassenstromverteilung in natürlich und maschinell gelüfteten Gebäuden. Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf, 1984.
- [3] J.-L. Scartezzini, H. E. Feustel & C. A. Roulet: Data Needs for the Purpose of Air Infiltration Computer Codes Validation. Proc. of 8th AIVC Conf., Überlingen, FRG, 1987.
- [4] M. D. A. E. S. Perera: Review of Techniques for Measuring Ventilation Rates in Multi-celled Buildings. Proc. of E. C. contractors meeting on natural ventilation, Bruxelles, 1983.
- [5] R. N. Dietz, R. W. Goodrich, E. A. Cole & R. W. Wieser: Detailed Description and Performance of a Passive Perfluorocarbon Tracer System for Building Ventilation and Air Exchange Measurement. BNL report 36327, 1985. ASHRAE Symposium on Measured Air Leakage Performance of Buildings, Philadelphia, 1984.
- [6] M. H. Sherman: Analysis of Errors Associated with Passive Ventilation Measurement Techniques. LBL report 23088, 1987.
- [7] P. F. Collet: Continuous Measurements of Air Infiltration in Occupied Dwellings. 2nd AIC conference, AIVC, Bracknell, 1981.
- [8] C. A. Roulet & J.-L. Scartezzini: Measurement of Air Change Rate in an Inhabited Building with a Constant Concentration Tracer Gas Technique. ASHRAE Trans. vol. 93, part 1, 1987.
- [9] M. H. Sherman: Air Infiltration Measurement Techniques. First ICA conference, AIVC, Bracknell, 1980.
- [10] C. A. Roulet & J.-L. Scartezzini: Mesure du taux de renouvellement d'air dans la villa Roulet, Apples. Rapport GREED-EPFL 84-01-10, Lausanne, 1984.
- [11] J.-L. Scartezzini: CESAR: dispositif compact de mesures multichambres du renouvellement d'air par gaz traceur. GRES-EPFL internal report, Lausanne, 1985.
- [12] J.-L. Scartezzini, C. Roecker & D. Quévit: Continuous Air Renewal Measurements in an Occupied Solar Office Building. Klima 200 proc. Copenhagen, 1985.
- [13] J.-L. Scartezzini, C. A. Roulet & O. Jolliet: Continuous Air Renewal Measurements in Different Inhabited Buildings. & th. AIC conference, AIVC, Bracknell, 1985.

Verfasser: Dr. ès. sc. Claude Roulet

Forschungsgruppe für Sonnenenergie (GRES)
Ecole Polytechnique Fédérale Lausanne (EPFL)/Schweiz

Material- und Energieökonomie sowie Behaglichkeit und Komfort in fernwärmeversorgten Wohnungen

Reiner Puch

1. Zielstellung

Mit zunehmender Zahl von Wohnungen wird der Wunsch nach einer den gesteigerten Ansprüchen genügenden Wohnung größer. Dieser Trend bedingt aber auch eine intensivere Abstimmung der Probleme bezüglich Energie- und Materialökonomie, Ver- und Entsorgung, Umweltschutz usw. bis hin zu kommunalen und sozialen Fragen, die mit der zunehmenden Verdichtung von Wohngebieten verbunden sind.

Aus der Sicht der Energieökonomie und des Umweltschutzes ist es beispielsweise erforderlich, innerhalb dicht bebauter Stadtgebiete künftig die Verfeuerung fester Brennstoffe in Einzelöfen wesentlich einzuschränken. Jede Rekonstruktion von Wohngebieten in Stadtzentren sollte deshalb unter dem Aspekt einer künftigen zentralen Wärmeversorgung erfolgen [1]. Für den innerstädtischen Wohnungsbau wird der Unterschied zwischen rekonstruierter Altbauwohnung und fernwärmeversorgter Neubauwohnung immer weniger eine Rolle spielen. Um den zu erwartenden Aufwand an Installationsarbeiten bei einer Umstellung so gering wie möglich zu halten, wurden in letzter Zeit Heizsysteme entwickelt, bei denen das wohnungsweise aufgebaute Warmwassersystem zunächst mit einem Kohle- oder Gaskessel betrieben wird und je nach Möglichkeit der Übergang zur Zentral-, Block- oder Fernheizung unkompliziert vollzogen werden kann [2]. Auch die im Fachhandel angebotene „Forster Heizung“ des VEB Technische Gebäudeausrüstung Forst kann zu diesen Systemen gezählt werden.

2. Systemuntersuchungen

Im Sinne einer Baukastenentwicklung für Heizungsanlagen in Alt- und Neubauten liegt es nahe, ein System mit wohnungsweiser Verteilung des Heizwassers als Ausgangsbasis zu benutzen. Wegen der zentralen Lage der Verteilungsleitungen für übereinanderliegende Wohnungen wird zusätzlich die Heizkörperaufstellung an Innenwänden in die Untersuchung einbezogen. Dem traditionellen Netzaufbau einer Warmwasserheizung 110 °C / 70 °C als Zweirohranlage mit Strängen und Heizkörpern an der Außenwand wird ein System mit zentralen Steigesträngen, wohnungsweiser Verteilung und innenliegenden Heizflächen gegenübergestellt, nachfolgend als ZWI-System bezeichnet. **Abb. 1** zeigt die Verteilungsleitungen im Keller, dargestellt für die Segmente 2, 3 und 10 der Wohnungsbaureihe BR 85 Erfurt. Eingetragen ist sowohl die übliche Ringverteilung (System Tichelmann) der traditionellen Anlage als auch die für das ZWI-System logische Linearverteilung des Heizwassers (Verästelsystem). Zusätzlich wurde bei grundsätzlich gleichbleibender Lage der Hausanschlußstation eine zangenförmige Linearverteilung an beiden Außenfronten untersucht und in die Bewertung einbezogen. Auf **Abb. 2** ist das Strangschema des ZWI-Systems für die Wohnung 1.1.7 im Segment 3 und ein üblicher Strang dargestellt. Da beim ZWI-System sämtliche horizontal in der Wohnung zu verlegenden Anschlußleitungen in Stahlrohr DN 10 ausgeführt werden können, wäre ohne weiteres die Verlegung längs der Scheuerleiste bzw. an Türen im Estrich denkbar. Für die Vergleichsrechnung wurde zunächst die Verlegung im Deckenbereich der darunterliegenden Wohnung gewählt. Diese ungewohnte Installation muß durchaus nicht nachteiliger als die durch alle Geschosse verlegten Stränge des traditionellen

Systems sein und ist auf jeden Fall technologisch einfach zu verwirklichen. Für das Segment 3 des betrachteten Gebäudes wird auf **Abb. 3** die Stellung der Heizflächen für beide Varianten angegeben. Wie zu sehen ist, liegt ein großer Teil der unter der Decke zu verlegenden horizontalen Leitungen im Flurbereich.

3. Auswertung

Eine geschlossene zusammenfassende Bewertung der beiden betrachteten Varianten aus der Sicht des Nutzwerts der Wohnung ist sehr kompliziert. Das liegt an der Unterschiedlichkeit der einzelnen Einflußfaktoren, die sich nicht ohne weiteres mit mathematischen Mitteln zusammenfassen lassen. Schon der Begriff des Nutzens oder des Nutzwerts einer Wohnung kann immer nur entsprechend der gegebenen Möglichkeiten relativ zwischen einzelnen Alternativen als Vergleichswert angegeben werden und besitzt für Nutzer, Eigentümer, Betreiber oder aus volkswirtschaftlicher Sicht in den einzelnen Aspekten unterschiedliche Bedeutung. Bei dem gegebenen Stand der Bearbeitung werden deshalb die Vor- und Nachteile auf den einzelnen betrachteten Gebieten gegenübergestellt und diskutiert.

3.1. Materialökonomie

Bezüglich der Heizflächen in den Räumen wurde für beide Varianten von gleicher Heizlast und damit gleichen Heizflächen-größen ausgegangen. Noch erfolgende Korrekturen dürften nur unbedeutende Einsparungen zugunsten des ZWI-Systems ergeben. Der Materialaufwand für Rohrleitungen wurde bezüglich Durchmesser, Länge und Gewicht mit dem Taschenrechner ermittelt und ist in **Tab. 1** zusammengestellt. Eine mit größerem Aufwand verbundene Netzoptimierung für das ZWI-System könnte dort noch Verbesserungen bringen. Trotzdem bleibt die Aussage etwa gleichen Materialgewichts für beide Vergleichsvarianten gültig. Diese Tatsache bleibt auch bei der zusätzlich gerechneten Linearverteilung des traditionellen Heizsystems erhalten. Charakteristisch für das ZWI-System ist eine Verschiebung der Rohrlängenanteile zu kleinen und mittleren Durchmesser-Nennmaßen. Beim späteren Einsatz von Präzisionsstahlrohren für DN 10 und DN 15 wird das ZWI-System eine Materialeinsparung ermöglichen.

Hinsichtlich der Armaturen stehen zwar den 16 Strangabsper-rungen des traditionellen Heizsystems nur 8 zentrale Steige-stränge beim ZWI-System gegenüber, dafür sind aber beim letztgenannten noch Armaturen für die wohnungsweise Absper-rung und die Wärmemengenmessung erforderlich. Da es sich hier jedoch um Funktionen handelt, die nur dem ZWI-System eigen sind, entbehrt ein diesbezüglicher Vergleich der realen Grundlage. Die Fragen der Materialökonomie sollten auch im Zusammenhang damit gesehen werden, daß die industriemäßige Fertigung von Heizsystemen mit zentralen Strängen und wohnungsweiser Verteilung mithilft, bei späterer Einführung von Fernwärme in zeitweise durch Etagen-, Zentral- oder Blockhei-zungen versorgten Gebäuden einen großen Anteil installierter Substanz unverändert wiederzuverwenden. Das wirkt sich auch auf die bei solchen Vorhaben meist kritische Arbeitskräftebilanz günstig aus.