



FORSCHUNGS - UND ENTWICKLUNGSSARBEITEN MIT DEM ZIEL EINER KONTROLLIERTEN LÜFTUNG

Peter Hartmann
Thomas Baumgartner
Hans Mühlbach

Eidgenössische Materialprüfungsanstalt (EMPA)
Abteilung Bauphysik
8600 Dübendorf

ZUSAMMENFASSUNG

Seit vielen Jahren hat sich die Abteilung Bauphysik der EMPA des Problemkreises Lüftungsverluste von Bauten angenommen. Nachdem anfänglich vor allem ein Bemühen zum Verständnis der Lüftungssituation in unseren Bauten im Vordergrund stand, sind es heute vermehrt Arbeiten im Hinblick auf eine kontrollierte Lüftung unter Berücksichtigung aller notwendigen Aspekte.

Im Verlauf der letzten beiden Jahren sind

- eine Untersuchung über das Fenster-Lüftungsverhalten bei typischen Mietwohnungen in Abhängigkeit vom Außenklima fertiggestellt worden (Auftrag des BUS),
- die Zusammenarbeit mit dem Lüftungsverlust-Forschungs-Zentrum (AIC) der internationalen Energieagentur (IEA) verstärkt worden (Auftrag des BEW; Informationen verfügbar für alle Interessierten),
- schliesslich einige messtechnische Entwicklungsarbeiten ausgeführt worden (z.B. Pressurization-Testmethode, Kombination dieser Methode mit der Infrarot-Aufnahmetechnik).

Von den beiden erstgenannten Arbeiten werden Resultate dargestellt. - Anschliessend erfolgt ein kurzer Ausblick auf zukünftige Arbeiten. Es wird dabei gezeigt, dass im Hinblick auf geeignete technische Empfehlungen (SIA-Normenwerk und Bauvorschriften) ein gezieltes F+E-Programm erstellt und die Arbeiten nach einer Prioritätenliste in Angriff genommen werden sollen.

1. EINLEITUNG

Im Gegensatz zur Situation vor einigen Jahren ist heute die Bedeutung der Lüftungsverluste für die Gesamt-Wärmeverluste eines Gebäudes an Fallstudien nachgewiesen worden. Als Beispiel hiezu wird in Figur 1 das Energiefluss-Diagramm für ein Wohnhaus vor und nach der Sanierung gezeigt, wie es von den Sanierungsplanern in Zusammenarbeit mit der Energiefachstelle des Kantons Appenzell aufbereitet worden ist [1]. Die nachfolgende Übersicht soll ein Bild vermitteln, bei welchen F+E-Arbeiten im Zusammenhang mit Lüftungsverlusten die EMPA beteiligt ist, abgesehen von den vielfältigen Messarbeiten, welche sie im Zusammenhang mit Produkte-Neuentwicklungen oder mit Schadenfällen durchführt:

- Abschluss eines Auftrages des Bundesamtes für Umweltschutz (BUS) über das "Fenster-Lüftungsverhalten der Bewohner zweier Mehrfamilienhäuser" (dokumentiert in EMPA-Bericht 39400 b [2])
- Tätigkeit als Kontaktstelle und Sachbearbeiter für das Air Infiltration Center (AIC), das von der internationalen Energieagentur (IEA) errichtet wurde (Auftrag des Bundesamtes für Energiewirtschaft, BEW; vgl. Publikationen [3], [6] ÷ [10] und [12])
- Durchführung von Detailmessungen betreffend Luftdurchlässigkeit an allen wesentlichen schweizerischen Fenster-Rolladen-Kombinationen (Auftrag des SIA und verschiedener Hersteller-Verbände; Resultate eingefügt in die SIA-Empfehlung 384/2, Ausgabe September 1982)
- Mitarbeit und Know-how-Vermittlung betreffend Luftaustausch-Messtechnik bei diversen Forschungsprojekten, etwa dem Sanierungsprojekt "Limmatstrasse", von dem an anderer Stelle berichtet wird oder beim vielseitigen Projekt "La Chaumière" der EPFL (vgl. [4])
- Aufnahme von Vorbereitungen im Hinblick auf einen schweizerischen Luftwechsel-Forschungsplan (Aufgabe des Bundesamtes für Energiewirtschaft), um Grundlagen für entsprechende Normen und Bauvorschriften erarbeiten zu können.

2. Forschungsunterstützung durch das AIC

Im Rahmen des Forschungsprogramms "Energy Conservation in Buildings and Community Systems" der Internationalen Energieagentur ist im Jahr 1979 ein Forschungsplan publiziert worden für den Bereich Lüftung/Lüftungsverluste (vgl. [5]). Als erstes Teilprojekt ist in der Folge ein Zentrum für Lüftungs-Forschung und Information (AIC) errichtet worden, welches dem britischen Forschungszentrum BSRIA angegliedert ist.

Über ein Dutzend Staaten unterstützt dieses Zentrum, wirkt an der Projektleitung mit und bezieht insbesonders auch geeignete Dienste des Zentrums. Es bietet eine Unterstützung jener Forschungstätigkeit an, welche das Ziel verfolgt, die Lufttransportvorgänge im Gebäude kennen zu lernen und in geeigneter Art und Weise zu kontrollieren ("Kontrollierte Lüftung" als Schlagwort für dieses Ziel).

Ein Detailbeschrieb zum Air Infiltration Center findet sich in [6] und [3].

Hier soll es darum gehen, einige Teilarbeiten herauszugreifen, die einerseits im Zusammenhang mit der zukünftigen Durchführung von Forschung auf diesem Gebiet wichtig sind, bei denen andererseits auch die EMPA einen Arbeits-Beitrag geleistet hat.

Gesamtübersicht über den Stand der Kenntnisse und laufende Projekte

Es ist den Mitarbeitern des Zentrums gelungen, in kurzer Zeit eine Übersicht zu verschaffen über weltweit vorhandene interessante Publikationen, aber auch über die laufenden Forschungsprojekte. Es sei jedem Forscher geraten, vor Aufnahme einer neuen Arbeit in diesem Fachbereich die

- "Bibliographic Database AIRBASE" (vgl. [7]) und
- die letzte Ausgabe der Forschungsübersicht (vgl. [8]) zu konsultieren.

Die Literaturdatenbank enthält nicht nur die notwendigen bibliografischen Hinweise, sondern es sind auch Zusammenfassungen gespeichert. Kopien der Berichte können innerhalb wenigen Tagen gratis bezogen werden. Ein Beispiel soll dies verdeutlichen.

#NO 905 Indoor air pollution, air quality and
ventilation requirements. (Indoorforurening
luftkvalitet og ventilationsbehov)
AUTHOR
Fanger P.O.
BIBINF
VVS (Denmark) 1982 vol.53 no.1 p.16-20 #DATE
01:01:1982 in Danish #AIC 536
ABSTRACT
Presents author's impressions from 2nd
International Indoor Climate Symposium at Amherst,
USA, where 130 new research papers were presented.
Considers pollution sources such as NO₂, CO and the
use of UF foam for thermal insulation.
KEYWORDS
air quality, pollution, formaldehyde.

Der Aufbau nach - Nummer - Titel - Autor - Publikationsangaben -Abstract - Stichwörtern ist klar zu erkennen. Es ist Aufgabe der Kontaktstelle in den einzelnen Ländern, relevante Publikationen an das AIC zur Registrierung zu liefern.

Eine gleichartige Koordinationsaufgabe kommt den Kontaktstellen zu bei der Ermittlung von Forschungsübersichten. Diese Übersicht wird alle zwei Jahre in Form eines technischen Berichtes mit Analyse der Arbeiten publiziert, in der Zwischenzeit aber ständig nachgeführt. Die Wissenschaftler des AIC stellen sich zur Verfügung, um auf Anfrage die Bedeutung eines Forschungs-Vorhabens zu beurteilen und auf allfällige Verknüpfungen zu ausländischen Projekten hinzuweisen.

Beschaffung von technischen Hilfsmitteln für die Forscher:

Nicht nur die Vermittlung von Informationen, sondern vor allem die Aufbereitung, das Überprüfen und Anbieten von technischen Hilfsmitteln ist Aufgabe des Air Infiltration Center. In Form von Stichworten seien erwähnt:

- ein Fachwörterbuch zum Bereich Lüftung (vorläufig in englischer Sprache (vgl. [9]), später in 7 Sprachen; deutsche Übersetzung durch EMPA und weiteren Sachbearbeiter abgeschlossen);
- ein sog. Reporting Format für Messresultate über den Luftaustausch in Gebäuden, Räumen (vgl. [10])
- Unterlagen über geeignete Messgeräte.
- Das AIC ist bestrebt, als wichtigstes Hilfsmittel geeignete Rechenprogramme betreffend des Luftaustausches in Räumen resp. Gebäuden zu überprüfen und zur Verfügung zu stellen, zugunsten von Programmbesitzern aber auch verifizierte Messdatensätze aufzubereiten.

Fig. 1: Energiefluss-Diagramm für ein älteres Wohnhaus vor und nach der Sanierung (zugehörige Teil-Energiekennzahlen für Heizung: 924 MJ/m² resp. 404 MJ/m²)

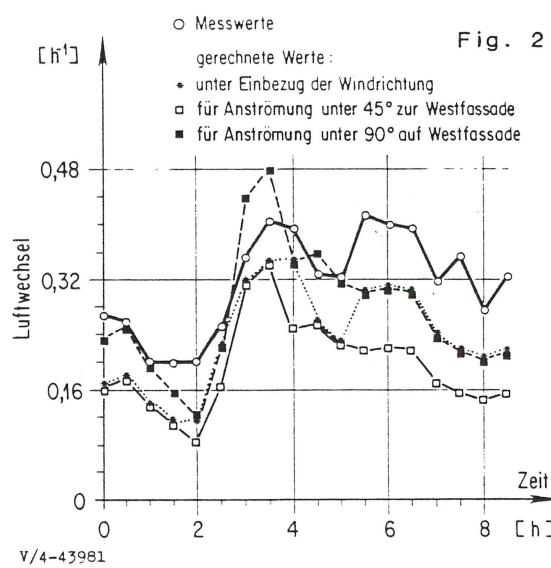
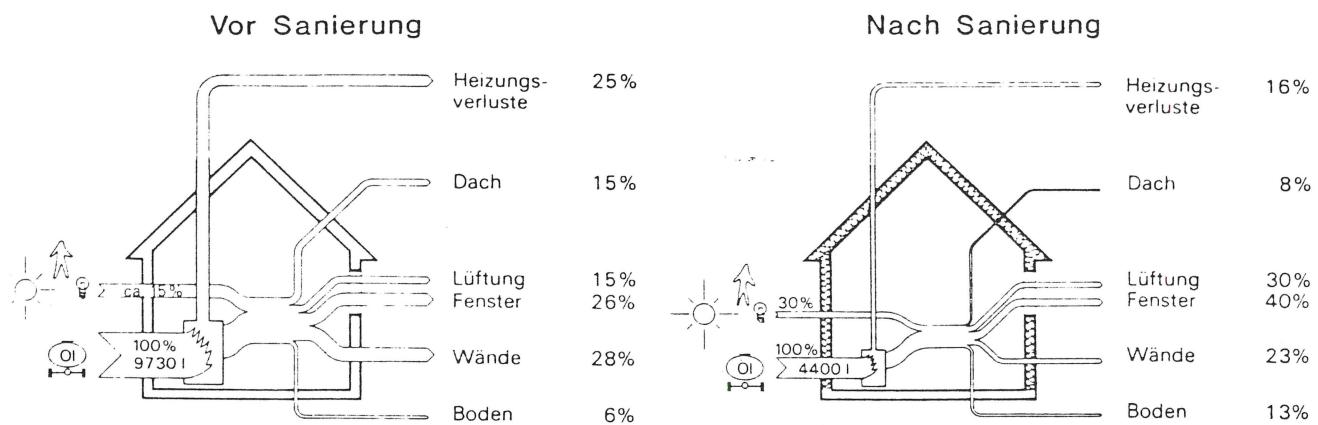
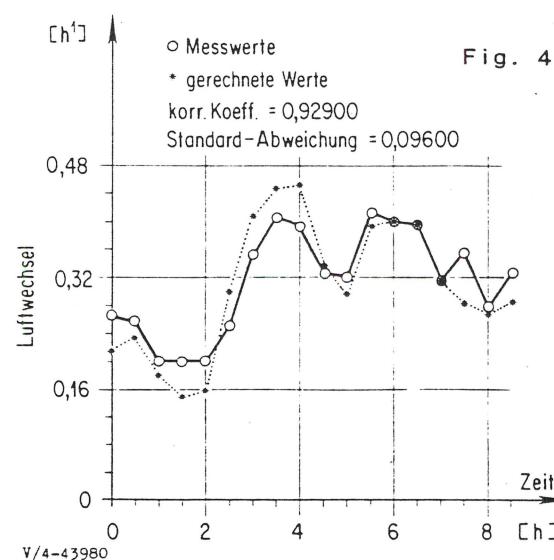
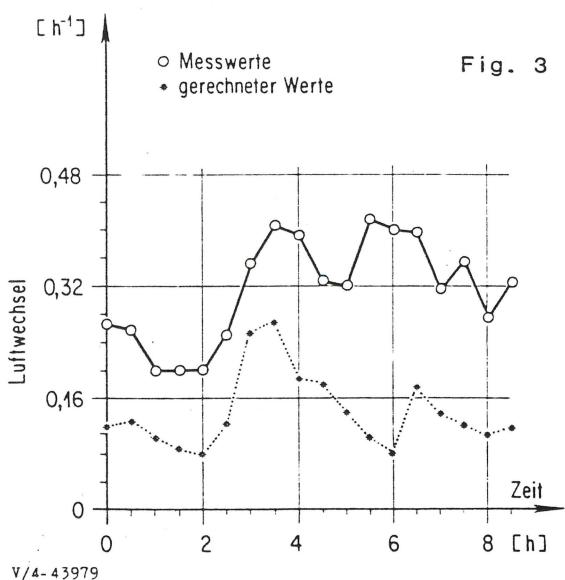


Fig. 2: Diagramm zur Illustration der Empfindlichkeit eines Luftwechsel-Berechnungsprogramms auf die Wahl der Druckverteilungs-Koeffizienten

Fig. 3: Vergleich zwischen berechneten und gemessenen Luftwechselzahlen für das Messgebäude Maugwil; als mittlere Differenzdrücke über den Fassaden wurden die Messwerte in Fassadenmitte eingesetzt

Fig. 4 : Vergleich zwischen berechneten und gemessenen Luftwechselzahlen für das Messgebäude Maugwil; die mittleren Differenzdrücke über den Fassaden wurden aus gemessenen Windgeschwindigkeiten und Druckverteilungen aus Windkanal-Untersuchungen ermittelt



Hinsichtlich der Berechnungsmethoden muss auf die grosse Diskrepanz zwischen den scheinbar einfachen Berechnungswünschen der Planer (z.B. minimale, maximale oder mittlere Luftwechsel-Daten für einen bestimmten Raum während der Heizsaison) und der Komplexität der physikalischen Vorgänge und dem grossen Aufwand für die Ermittlung geeigneter Eingabedaten hingewiesen werden.

Nur eine Simulation der Detailvorgänge erlaubt eine spätere allfällige Vereinfachung der Berechnungsgänge. Netzwerk-Berechnungsmodelle werden grundsätzlich der genannten Forderung einer Nachbildung der Vorgänge gerecht und sind auch bei verschiedenen Instituten verfügbar. Diese Modelle benötigen für die Nachbildung eines Raum-Moduls unter anderem folgende Eingabegrössen: Angaben über den Strömungswiderstand für alle wesentlichen Strömungspfade, das Raumvolumen, allfällige mechanische Lüftungsraten, die Windgeschwindigkeit und Windrichtung, die Druckdifferenz über jedem Strömungspfad (resp. die Druckverteilung auf den Aussenflächen).

An einem Beispiel, das vom AIC zusammen mit der EMPA erarbeitet wurde, sollen die Grenzen solcher Berechnungen sichtbar gemacht werden. Vom Messgebäude "Maugwil" (vgl.[11]) standen die genannten Eingabegrössen im wesentlichen zur Verfügung, zusätzlich mittlere gemessene Luftwechselraten (im Halbstunden-Takt). Die durchgeführte Empfindlichkeitsstudie zeigt, wie stark diese Rechenmodelle auf ungeeignete Approximationen reagieren. In Figur 2 kommt zum Ausdruck, wie das Rechenmodell auf die Berücksichtigung der Wind-Richtung reagiert. Jene Berechnungen, welche auf einer fixen Anströmrichtung und einer entsprechenden Druckverteilung fussen, treffen die Messresultate weit weniger genau, als diejenigen mit einer auf die Anströmrichtung abgestimmten Druck-Verteilungs-Eingabe.

Die nächsten beiden Figuren verdeutlichen, dass die von der EMPA zur Verfügung gestellten Druck-Messwerte aus den Fassadenmittnen nur unzureichend als "mittlere Drücke auf den Fassaden" eingesetzt werden können. Sie ergeben in den Berechnungen mittlere Luftwechsel-Werte, die zwar den Messwerten im Trend nachfolgen, doch wesentlich zu klein sind (Figur 3). - Werden hingegen die Druckverteilungen auf den Fassaden aus den gemessenen Windgeschwindigkeiten und aus Druckkoeffizienten, wie sie aus Windkanalmessungen an solchen Bauten in analoger Umgebung bekannt sind, errechnet und dann eingesetzt, resultiert eine sehr erfreuliche Übereinstimmung (Figur 4).

Aus diesem ersten Vergleich von Berechnungs- und Messresultaten an einem Gebäude mit einfacher Form und in ungestörter Umgebung lässt sich folgern:

- Es verbleibt noch ein längerer Entwicklungsweg, um für Gebäude jeglicher Form, in jeglicher Umgebung mit genügender Genauigkeit den resultierenden Luftwechsel errechnen zu können.
- Es sind bessere Wege zu suchen, um an Messgebäuden den effektiv wirksamen Differenzdruck zu ermitteln, speziell bei Gebäuden, wo die wesentlichen Leckstellen nicht nur in Fassaden-Zentrum, sondern an dessen Randzonen (z.B. Anschlussfugen) liegen. Spezielles Augenmerk ist auf die Druck-Mittelwertbildung zu legen, wenn stark schwankende Winde u.U. einen Druck-Vorzeichenwechsel zur Folge haben, oder wenn stark pulsierende Winddrucke wesentlich höhere Luftwechsel zur Folge haben, als im Druck-Mittelwert zum Ausdruck kommt.

Fig.5 : Fassadenansichten des Messgebäudes Maugwil, mit Kennzeichnung Differenzdruck-Mess-Stellen (▲)

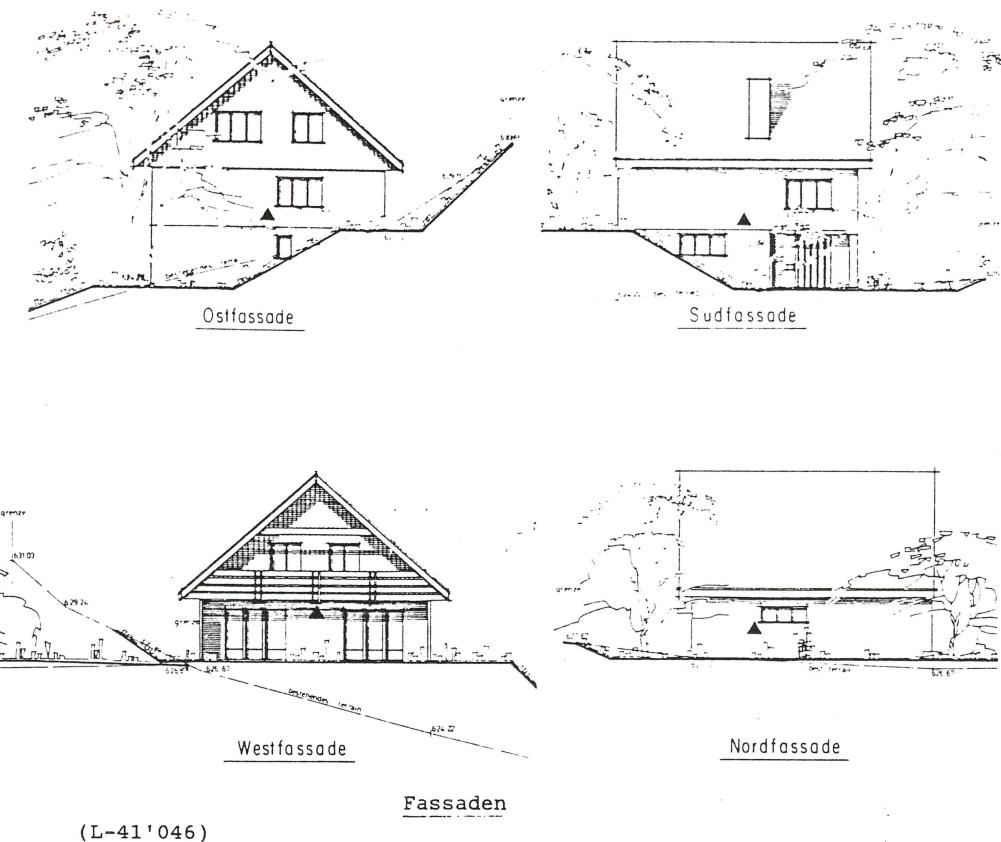
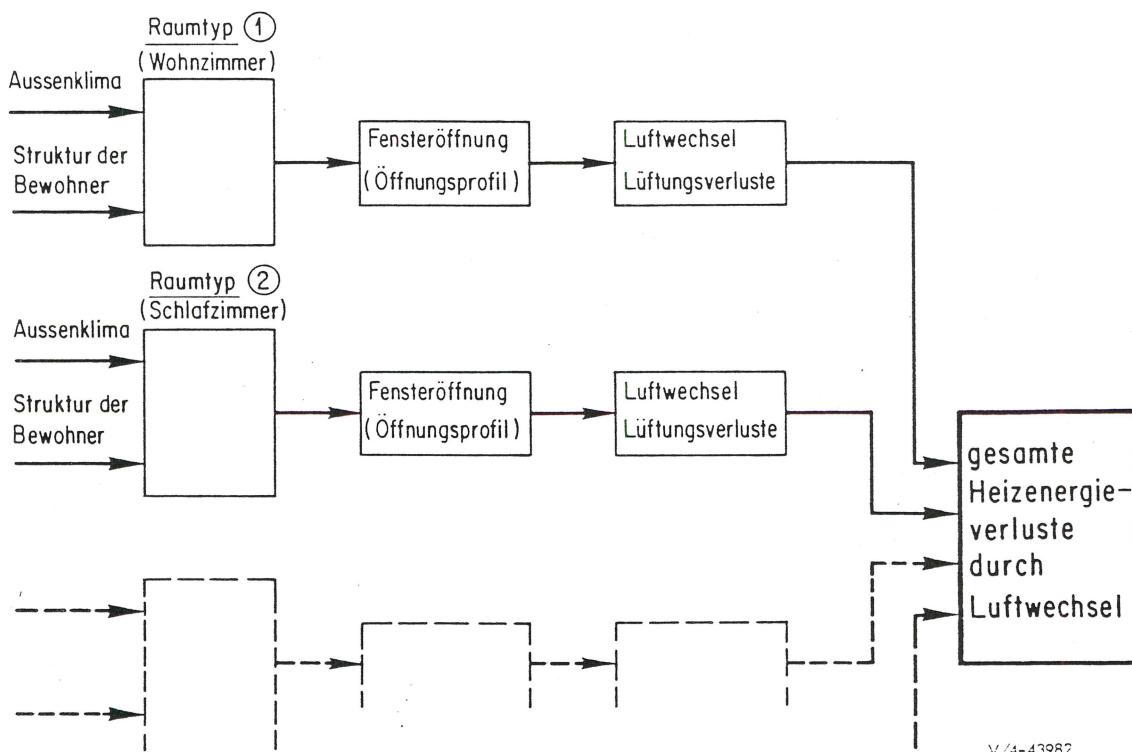


Fig.6 : Schematische Darstellungen der Teilschritte beim Messprojekt "Fenster-Lüftungsverhalten"



3. Das Fenster-Lüftungsverhalten der Bewohner zweier Wohnblöcke in Abhängigkeit vom Aussenklima, während eines Winters

In diesem Abschnitt soll auf die Resultate einer Untersuchung eingegangen werden, die zwar vor 5 Jahren konzipiert worden ist, die aber als erste Untersuchung in unserer Klimazone das Fensterlüftungsverhalten in einer grösseren Anzahl von Wohnungen über einem ganzen Winter dokumentiert [2]. Die Teilzielsetzungen der Untersuchung lassen sich in Fig. 6 erkennen.

- Das Fenster-Öffnungsverhalten soll in Abhängigkeit von den Aussenklima-Parametern ermittelt werden, gesondert nach Räumen bestimmter Nutzung;
- Anhand der Oeffnungs-Profile sollen approximativ die Luftwechselraten errechnet werden, anschliessend
- der Anteil der Lüftungswärmeverluste an den gesamten Heizwärme-verlusten.

Als Messobjekte standen zwei vierstöckige Mietbauten mit je 16 Wohnungen zur Verfügung (vgl. Figur 7), die in ebenem Gelände, windexponiert, erstellt sind. - Die beiden gleichartigen, quaderförmigen Wohnblöcke können als typische Beispiele für die Mehrfamilienhausbauten der letzten Jahrzehnte betrachtet werden (30-cm Mauerwerk, Flachdach mit 6 cm Wärmedämmung, Holzfenster mit IV-Verglasung; Warmwasser-Zentralheizung ohne Heizkörper-Thermostat-Ventile). Das Lüften der Räume geschieht durch Fensterlüftung, abgesehen von Schachtenlüftungen (Schwerkraft) in den meisten Badezimmern.

Verfahren der Beobachtung und Messung

Aus der Figur 8 ist zu erkennen, dass das Schwergewicht auf einer intensiven Erfassung der Fensterpositionen bei durchgehender Messung des Aussenklimas und des Energieverbrauchs lag. Diese Messungen wurden durch einige einmalige Messungen ergänzt, etwa eine Benutzerbefragung über Komfort und Lüftungsverhalten.

Das Beobachten der Fensterstellungen erfolgte aus einer grösseren Distanz visuell, mit der Gewissheit, dass dadurch das Benutzerverhalten nicht beeinflusst wurde. Der Beobachter setzte seine, relativ fein codierte Fenster- und Rolladenstellungs-Beobachtungen in ein Schema-blatt ein, das später numerisch verarbeitet wurde. Figur 8 zeigt, dass die Beobachtungen wöchentlich viermal, ausserdem an einem "Intensiv-Messtag" je Monat im Halbstundentakt erfolgen.

Resultate

Bei der Auswertung der Messungen gliedert man auf in

- Ermittlungen zur Quantifizierung des Lüftungs-Verhaltens, einerseits über dem Verlauf des Winters ("Wintergang") und andererseits über dem Verlauf eines einzelnen Tages ("Tagesgang"), und
- in energetischen Berechnungen betreffend der Folgen dieses Verhaltens.

Sämtliche Fenster-/Rolladenbeobachtungen wurden zunächst in einer Skala zwischen 0% (geschlossen) und 100% (geöffnet) notiert, für die weiteren Auswertungen dann aber gemäss den Angaben in Figur 9 klassiert.



Fig. 7:
Ansicht-Aufnahme des
einen der beiden Mess-
gebäude, für die
Lüftungsverhalten- Un-
tersuchung resp. dessen
Ost- und schmaler Süd-
fassade

Fig. 8:
Schematisches Messpro-
gramm für die Untersuch-
ungen "Fenster- Lüftungs-
verhalten"

	1977			1978			
	Okt.	Nov.	Dez.	Jan.	Febr.	März	April
<u>mehrfache / kontinuierliche Messungen</u>							
- Aussenklimadaten							
- Energieverbrauch							
- Fensterpos. (2x wöchentl. morgens und mittags)							
- Fensterpos. intensiv ("Intensivmessstage")	X	X	X	X	X	X	
<u>einmalige Messungen</u>							
- konstruktive Gebäudedaten				X			
- Heizungskenn-daten						X	
- nächtliche Fensterpos.					X		X
- Benutzerbefragung					X		

Fig. 9:
Klassierungstabelle für Fenster-Rolladen-Öffnungsposition; die Prozentwerte beziehen sich auf eine Skala zwischen maximal möglicher Öffnungsposition von 100 % resp. einer geschlossenen Position von 0%

Klasse	Fenster	(Beobachtungskennziffer)	Rolladen	(Beobachtungskennziffer)
I	offen	(> 50 %)	oben	(< 75 %)
II	teilw. geschlossen	(> 0 < 50 %)	oben	(< 75 %)
III	geschlossen	(0 %)	oben	(< 75 %)
IV	offen oder geschlossen (in der Regel nicht zu beobachten)	(0 - 100 %)	unten	(> 75 %)

Es konnte eindeutig gezeigt werden, dass bestimmte Gesetzmässigkeiten hinsichtlich des Benutzerverhaltens vorliegen. Allerdings ist die Streuung beim Verhalten einzelner Familien relativ gross. Einige Resultatbeispiele mögen dies verdeutlichen:

- Figur 10 lässt erkennen, dass unabhängig von allen Klimadaten am Morgen (um 10.00 Uhr) die Fenster weit häufiger geöffnet sind als am Nachmittag (um 16.00 Uhr), wo eine eigentliche kurzzeitige "Bedarfslüftung" stattfindet.
- Je nach Nutzung der Räume werden bestimmte Fenster-/Rolladenpositionen bevorzugt, was etwa aus den Anteilen der Klassen I - IV in der Figur 11 ersichtlich ist; dieselbe Figur zeigt außerdem, dass mit steigender Außentemperatur (ebenfalls, hier nicht ersichtlich, mit fallender Windgeschwindigkeit) eine Erhöhung der Fensteröffnungs-Häufigkeit auftritt.
- Schliesslich erweist sich das Lüftungsverhalten über dem Tagesgang als abhängig von der Nutzung eines bestimmten Raumes, was sich in einer bestimmten "Form" der Tagesgang-Linie ausdrückt. Diese "Form" ist mehr oder weniger unabhängig vom Außenklima; einzig die Häufigkeit der Öffnung ist abhängig vom Wind, der Temperatur im Freien und eventuell der einwirkenden Strahlung (vgl. Figur 12).

Aus den genannten Ermittlungen lassen sich nun für Einflussuntersuchungen "mittlere Öffnungs-Fahrpläne" bilden, welche ein typisches Verhalten charakterisieren.

Anschliessend erfolgte eine Berechnung der Lüftungswärme-Verluste, auf der Basis des nachfolgenden Ansatzes:

$$\underline{n_{L,o} = A + B \cdot \Delta t + C \cdot v_w^2}$$

$n_{L,o}$ = Luftwechsel unter Einfluss von Wind und Temperaturdifferenz, bei geschlossenen Fenstern

$\left. \begin{matrix} A \\ B \\ C \end{matrix} \right\}$ = Koeffizienten

Δt = Temperaturdifferenz aussen/innen

v_w = Windgeschwindigkeit

Für den Luftwechsel im bewohnten Zustand wurden zusätzlich die mittleren Öffnungskurven einbezogen, gemäss folgendem Ansatz

$n_{L,B}$ = Luftwechsel in bewohntem Zustand

z_B = Faktor wegen Benutzereinfluss

$$\underline{n_{L,B} = z_B \cdot n_{L,o}}$$

Diese in Halbstundenschritten durchgeführten Berechnungen ergaben für die 6 "Intensiv-Messtage" mittlere Luftwechsel-Zahlen im Bereich von 1,0 Luftwechsel pro Stunde. Dieser Wert mag hoch erscheinen im Vergleich zu entsprechenden Werten bei geschlossenen Fenstern (um 0,3-0,5 h^{-1}) oder im Vergleich zu Resultaten aus Untersuchungen am Messgebäude La Chaumière (vgl. [4]). Die Resultate sind aber, im Rahmen der Fehlermöglichkeiten einer solchen Abschätzung, als zutreffend zu bewerten, weil diese Untersuchungen hier zu einem Zeitpunkt stattfanden, als die Oelpreise noch wesentlich tiefer waren, weil die Windexposition dieser Bauten grösser ist und weil schliesslich die Leute durch die

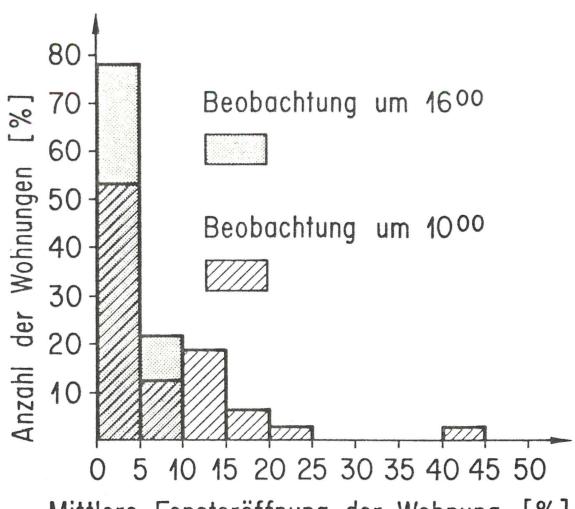


Abb.10 : Häufigkeit der mittleren Fensteröffnung in den einzelnen Wohnungen, separiert für die Beobachtungen um 10'00 und 16'00 Uhr.

Abb.11 : Häufigkeitsverteilung der Fenster-/Rolladenpositionen in Funktion der Außenluft-Temperatur (5 Klassen); es sind links die Messwerte für die Morgenbeobachtung, rechts jene für die Nachmittagsbeobachtung aufgetragen, für alle Schlafzimmer (obere Diagramme) und alle Wohnzimmer (untere Diagramme)

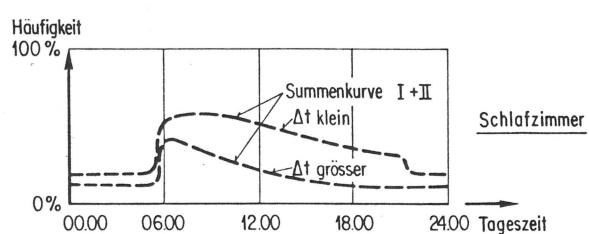
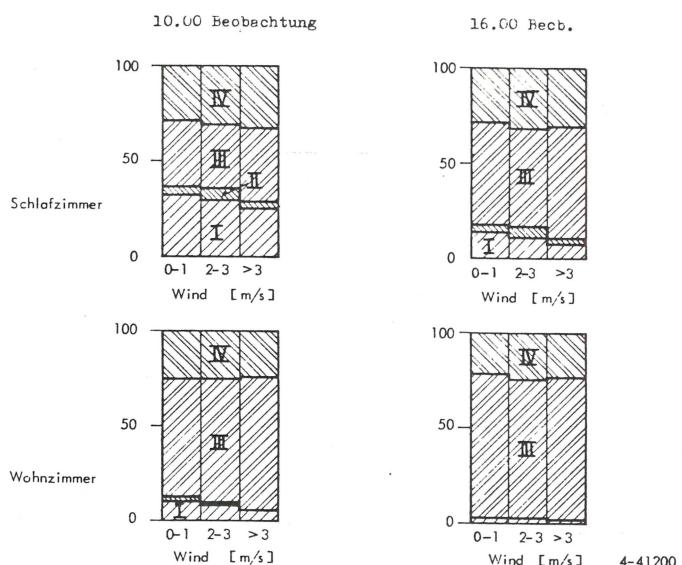
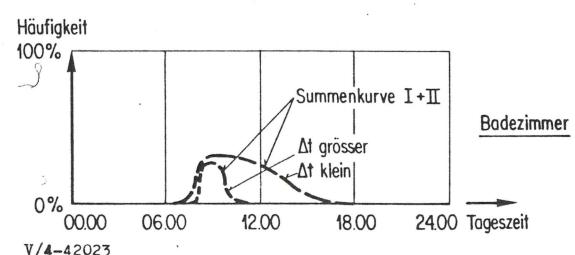


Abb.12: Schematischer Verlauf der Fensterpositionen über einem Tag, am Beispiel der Schlafzimmer und Badezimmer. Die Summenkurve (I+II) enthält all jene Fenster, die irgendwie geöffnet sind.



"Fernbeobachtungen" nicht beeinflusst waren. Eine gezielte Reduktion dieses mittleren Luftwechsels auf einen vertretbaren Wert von etwa $0,5 \text{ h}^{-1}$ ergäbe ein Sparpotential von etwa 3,5 kg Heizöl pro m^2 Wohnfläche und Jahr, was bemerkenswert ist.

4. Forschungsarbeiten in nächster Zukunft

Die Wege zu einer Verminderung der Lüftungswärmeverluste von Bauten sind prinzipiell bekannt:

- eine gezielte Verminderung der Lüftungsraten auf ein akzeptables Mindestmaß,
- Wärmerückgewinnung aus der Abluft (vgl. [13]).

Um schliesslich dem Planer und dem Benutzer Richtlinien, "Bausteine" zum Erreichen der Ziele zu geben, sind vermehrt Grundlagenarbeiten und experimentelle Untersuchungen notwendig. - Es ist unseres Erachtens untauglich, allein die Zielvorstellungen, wie z.B. eine Frischluftrate von $20 \text{ m}^3/\text{Person und Stunde}$ oder einen bestimmten Luftwechsel zu postulieren, ohne klare Empfehlungen zu vermitteln, wie dies in bestimmten Räumen zu erreichen ist. Nach der Bauausführung müsste auch mit einer geeigneten Messmethode stichprobenweise die effektiven Luftwechsel ev. Luftpertiche kontrolliert werden.

Die Unterstützung des AIC, aber auch die Erstellung eines Forschungs-Richtplans durch das BEW erscheinen als geeignete Wege für eine Aufbereitung der Kenntnisse.

5. Publikationen

- [1] Furler, G. Bodenmann H.J., Energiefachstelle Kt. Appenzell A.Rh.: Energieeinsparungen nach der Sanierung eines Mehrfamilienhauses in Herisau; Energie-Spar-Nachrichten, Nr. 27, BEW/Bern, Juli 1982.
- [2] EMPA (T. Baumgartner, P. Hartmann), Bericht 39400 b: Luftwechsel in Wohnbauten, Fenster-Lüftungsverhalten der Bewohner zweier Mehrfamilienhäuser in Abhängigkeit vom Aussenklima; Dübendorf, April 1981 (mit der Liste aller EMPA-Luftwechsel-Publikationen).
- [3] Hartmann, P.: Welche Unterstützung bietet das "Lüftungsforschungszentrum" (AIC); Schweizer Ingenieur und Architekt, Herbst 1982 (mit Liste aller AIC-Publikationen seit 1979).
- [4] Favre, P., Trachsel, Chr.: Infiltration et renouvellement de l'air, "La Chaumière"; EPFL, Juli 1981.
- [5] DOE: Air Infiltration in Buildings, Draft Programm Plan; Washington, (Dokument DOE/CS-0099 D), Okt. 1979.
- [6] AIC/EMPA: Lüftungsverlust-Zentrum der internationalen Energieagentur; Schweizer Ingenieur und Architekt, Nr. 46, 1979.
- [7] Thompson, C./AIC: A subject analysis of the AIC's bibliographic database-AIRBASE; AIC-TN-8-82.
- [8] Liddament, M./AIC: 1981 Survey of current research into air infiltration in buildings; AIC-TN-7-81.
- [9] Allen, C./AIC: AIRGLOSS, Air Infiltration Glossary (English Edition); AIC-TN-5-81.
- [10] Allen, C./AIC: Reporting format for the measurement of air infiltration in buildings; AIC-TN-6-81.
- [11] EMPA (P. Hartmann, H. Mühlbach), Bericht 39400 c: Luftwechsel in Wohnbauten, Langzeit-Untersuchungen betreffend Luftpässigkeit und Luftwechsel eines Einfamilienhauses; Dübendorf, April 1981.
- [12] AIC: (Draft): Interim report on the Air Infiltration Centre's mathematical modelling validation exercise; AIC, März 1982.
- [13] Henseler, H.-J. und Trepte, L.: Energiesparende Lüftungsmassnahmen in Wohngebäuden; Ki, Heft 7/8, 1982.