

ZWISCHENBERICHT I/2001**Über die Arbeiten gemäss Vereinbarung Nr. 79'945****Titel des Projekts:****ENERGIEEFFIZIENTE UND BEDARFSGERECHTE ABLUFTSYSTEME MIT ABWÄRMENUTZUNG (ENABL)****Zusammenfassung:**

Ziel ist es, sinnvolle Lösungen für Abluftsysteme mit WRG zu demonstrieren. In diesem Projekt sollen deshalb die bezüglich Komfort- und Schallsituation im Raum kritischen Zuluftdurchlässe durch Labormessungen und durch CFD Rechnungen evaluiert werden. Zudem sollen die verschiedenen Durchlässe in Abluftsystemen in realen Gebäuden bezüglich thermischem Komfort untersucht werden.

Die Messungen im Objekt Leuenweg sind durchgeführt. Es zeigte sich, dass der Einfluss der Luftdurchlässigkeit des Gebäudes einen grossen Einfluss hat.

Für die verschiedenen Durchlässe wurden Strömungswiderstandscharakteristiken gemessen und im Raumklimalabor für verschiedene Einbausituationen die Strömungssituation visualisiert und mit detaillierten Messungen das Zugluftrisiko bestimmt. Diese Messungen wurden durch CFD Rechnungen ergänzt.

Die weiteren Schritte sind: Abschluss der Messungen im Objekt Leuenweg, Komfortmessungen im Objekt Riedappel, Abschluss der Messungen und Rechnungen bezüglich Zugluftrisiko, akustische Messungen, Systemuntersuchungen (vor allem Einfluss der Gebäudeluftdurchlässigkeit), Erstellung des Konzeptes für die in Phase 2 zu erstellenden Planungsunterlagen.

Dauer des Projekts: vom 1. Dezember 2000 bis 31. März 2002**Beitragsempfänger:** EMPA Abteilung 175 Energiesysteme/Haustechnik, V. Dorer**Berichtersteller:** V. Dorer, A. Pfeiffer, EMPA
P. Hartmann, ZHW**Adressen:** EMPA Abt. Energiesysteme/Haustechnik
8600 Dübendorf**Telefon:** 01 823 55 11**Email:** viktor.dorer@empa.ch

1. Einleitung

Dieser Zwischenbericht gibt eine Übersicht über die bis Mitte 2001 geleisteten Projektarbeiten und Hinweise auf erste Resultate und Erkenntnisse. Nachfolgend werden die noch anstehenden Arbeiten mittels Arbeits- und Zeitplan beschrieben.

2. Projektziele bis Mitte 2001

Die Projektziele bis Mitte 2001 waren:

1. Luftmengen-, Komfort- und Energiemessungen im Objekt Leuenweg durchgeführt
2. Versuchseinrichtung in der Raumklimakammer der EMPA und erste Messungen und durchgeführt und ausgewertet.
3. Begleitende Berechnungen mit CFD (detaillierte Strömungssimulation) durchgeführt.
4. Erste Begleitgruppen durchgeführt

3. Geleistete Arbeiten und Resultate

3.1 Messungen im Objekt Leuenweg

Dank der grossen Eigeninitiative konnten die Messungen für die Energiebilanz Winter 2000/2001 im Oktober 2000 begonnen werden. Die restlichen Messungen wurden dann im November 2000 begonnen.

Messkonzept, Schwerpunkte

- Detaillierte "Abnahmemessung", insbesondere zum Verhalten der Lüftungsanlage
- Funktion Lüftungsanlage (Luftströme, Lüftungsfunktion, Komfort generell, WRG)
- Energiehaushalt Gebäude/Wohnungen
- Benutzerbefragung
- Folgerungen für Planung, Installation, Abnahme, Betrieb

Stand der Messungen gemäss oben genannten Schwerpunkten

Abnahme

Die Abnahme wurde im November 2000 durchgeführt; Diskrepanzen zwischen Planungs- und Effektivwerten wurden festgestellt bei Luftströmen, aber auch Raumlufttemperaturen. Da sich die als Folge verlangten Garantearbeiten verzögerten, wurde noch nicht ein zweites Mal kontrolliert.

Funktion Lüftungsanlage

Die Zuluftmenge durch die Durchlässe war kleiner als erwartet und derjenigen durch die Gebäudehülle höher; ausserdem war die totale Luftmenge geringer als der Planungswert. Der Aussenluftstrom je Teilraum war somit nicht zuverlässig einstellbar.

Die WRG und die entsprechende Arbeitszahl wurde zwar gemessen, ist aber noch mit einem Eichproblem behaftet.

Es wurden keine nennenswerten Komfortprobleme festgestellt (nur teilweise Ueberheizung wegen mangelhafter Regelbarkeit).

Energiehaushalt

Messdaten sind monatlich, teilweise wöchentlich erfasst worden. Die Auswertung ist im Gang. Die teilweise überheizten Räume lassen vermuten, dass die Minergiezielwerte wohl überschritten werden. Andererseits werden einzelne Wohnungen klar "unternutzt". Durch die Verzögerungen bei Abnahme und definitiver Einstellung der Anlage werden die Aussagen bezüglich Energie mit Vorsicht zu interpretieren sein.

Benutzerbefragung

Bei nach wie vor pendenter Ausführung von Garantearbeiten wird die Benutzerbefragung über Komfort und Wohlbefinden noch zurückgestellt, aber ins Auge gefasst im nächsten Winter.

Einige Kernaussagen, Erkenntnisse

1. Generell sind die betrachteten Lüftungssysteme weit empfindlicher auf Mängel bei Planung, Ausführung und auch spätere Betriebsbedingungen, als das an sich einfache Systemkonzept erwarten liesse.
2. Die Kenntnisse bei Planern, aber auch die verfügbaren Planungs-/Komponentenunterlagen sind noch ungenügend. Eine entsprechend qualifizierte Planung müsste erbracht werden, lässt sich aber beim vorhandenen Kostendruck (ohne entsprechend nachdrückliche Kontrolle) kaum erbringen.
3. Nur eine sehr tiefe Luftdurchlässigkeit der Hülle lässt das System in der geplanten Art und Weise arbeiten, d.h. die erforderlichen Luftströme je Raum erzwingen.
4. Die Situation im Bereich der Einströmöffnungen, in Kombination mit allfälligen Wärmeabgabeelementen in jenem Bereich, ist vertieft zu untersuchen und zu optimieren.
5. Eine eingehende Einregulierung und Abnahme solcher Abluftsysteme ist dringend. Dies erfordert eine rasche Integration der EN-Normen in CH-Normen und eine baldige Verbesserung der Planungshandbücher.

3.2 Versuche in der Raumklimakammer der EMPA

Ziele der Versuche

Mit Versuchen in der Raumklimakammer der EMPA sollen für verschiedene Durchlasstypen die Komfortsituation bezüglich Zugluft (Draft Risk) untersucht werden. Dabei soll der Einfluss von Position, Wärmeabgabesystem (FHB, Heizkörper) sowie Fensterbrüstung und Gardinen bestimmt werden. Die Versuche wurden meist mit einer Zulufttemperatur von 0 - 2°C durchgeführt.

Versuchsaufbau

Die Zone wurde als Raum mit einer Aussenwand mit Fenster simuliert, mit einem Zuluftdurchlass oberhalb resp. unterhalb des Fensterpanels. Die Strömungssituation bei den einzelnen Konfigurationen wurde mittels Nebel visualisiert und dann Lufttemperaturen und -geschwindigkeiten in verschiedenen Punkten detailliert ausgemessen. Für den Abgleich mit den CFD Rechnungen wurden ausgewählte Fälle das Temperatur- und Geschwindigkeitsfeld mittels Sensorbaum und Traversensystem detailliert erfasst, für die Erfassung des Zugluftrisikos wurde teilweise auch nur an 3-6 Punkten in kritischen Bereichen im Raum gemessen.



Fig. 1: Ansicht der Raumklimakammer der EMPA

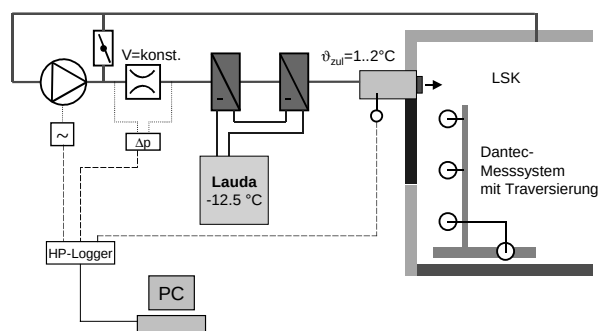


Fig. 2: Versuchseinrichtung mit Zuluftkühlung und Messsystem

Resultate

Figur 3 zeigt Resultate der Strömungsvisualisierungen für eine Auswahl von Durchlasstypen.

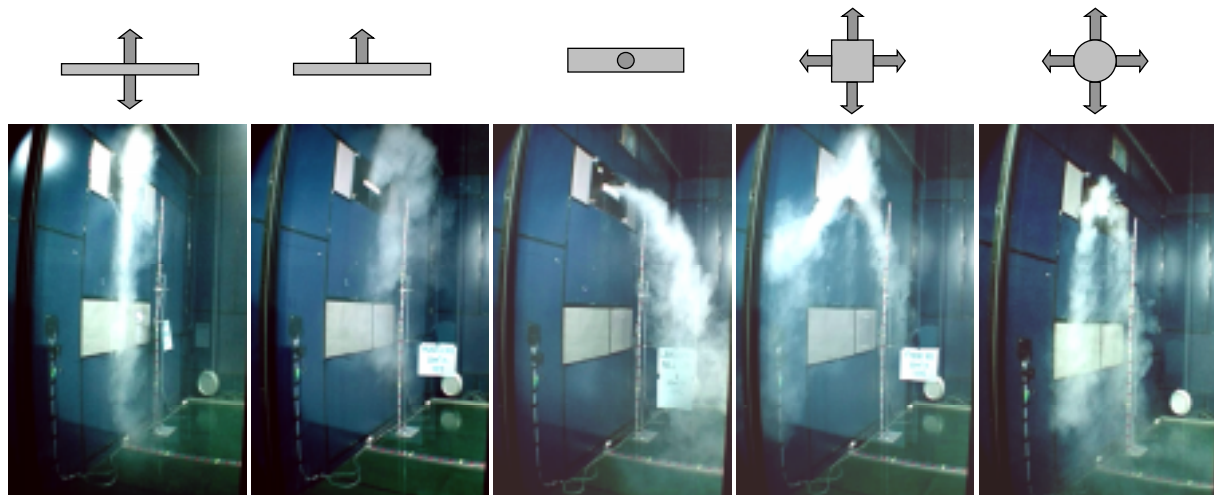


Fig. 3: Strömungsmuster für verschiedene Aussenluftdurchlässe (Temperaturdifferenz Innen- Aussenluft ca. 18K)

3.3 CFD Berechnungen

Mittels CFD-Berechnungen wurden weitere Varianten berechnet sowie das Zugluftisiko (Draft Risk) für eine Zulufttemperatur von -10°C bestimmt. Figur 4 zeigt ein typisches Resultat einer CFD Berechnung und Fig. 5 den Vergleich von Rechnung, Messung und Visualisierung.

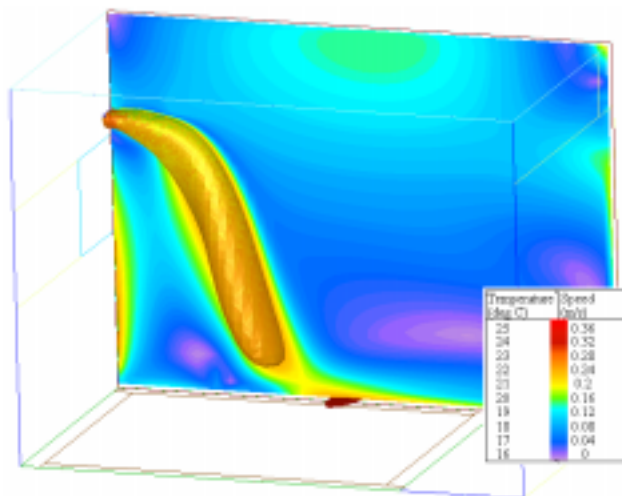


Fig. 4a: CFD-Berechnung

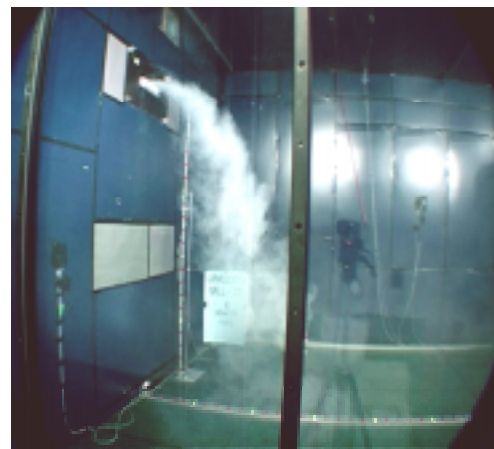


Fig. 4b: Visualisierung in der Raumklimakammer

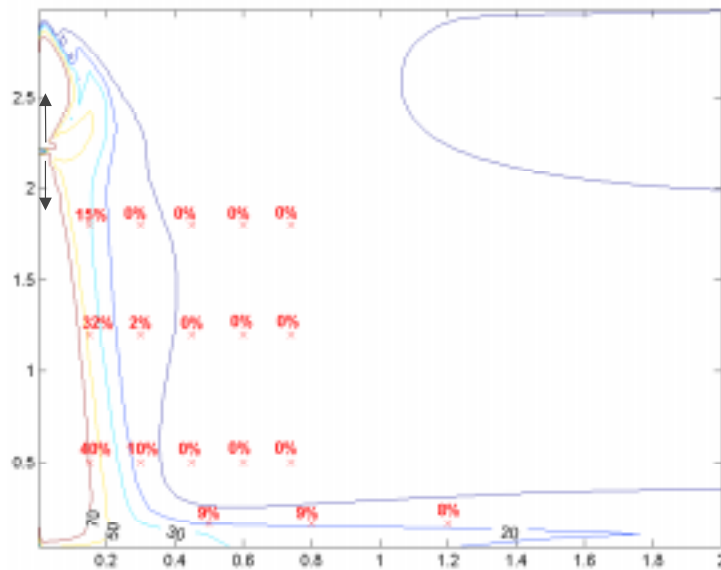


Fig 5a: Vergleich Messungen - CFD Rechnungen
Draft risk (DR), Durchlass Fresh 32



Fig 5b: Entsprechende Strömungsvisualisierung

3.4 Charakterisierung der einzelnen Durchlässe

Druck-Volumenstrom-Charakteristik

Zur Bestimmung der Druck-Volumenstrom-Charakteristik wurde eine separate Prüfeinrichtung aufgebaut. Figur 6 zeigt den prinzipiellen Aufbau. Es wurde festgestellt, dass eine eindeutige Charakterisierung eines Durchlasses Schwierigkeiten bereiten kann, da die Filter- und Schalldämmeinsätze vom Hersteller nicht immer genau spezifiziert werden, diese aber einen grossen Einfluss auf die Strömungswiderstand haben.

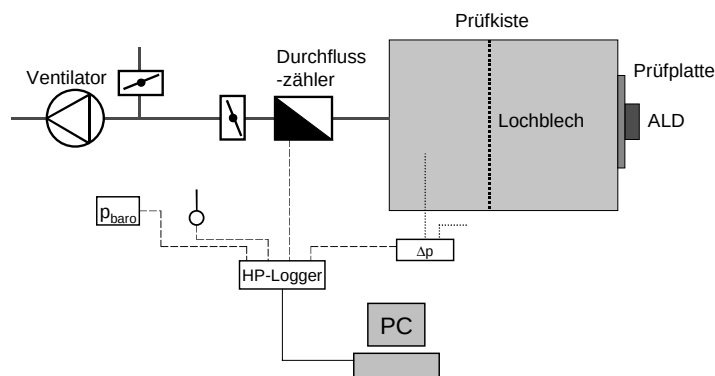


Fig.6. Aufbau Testeinrichtung für die Druck-Volumenstrom-Charakteristik

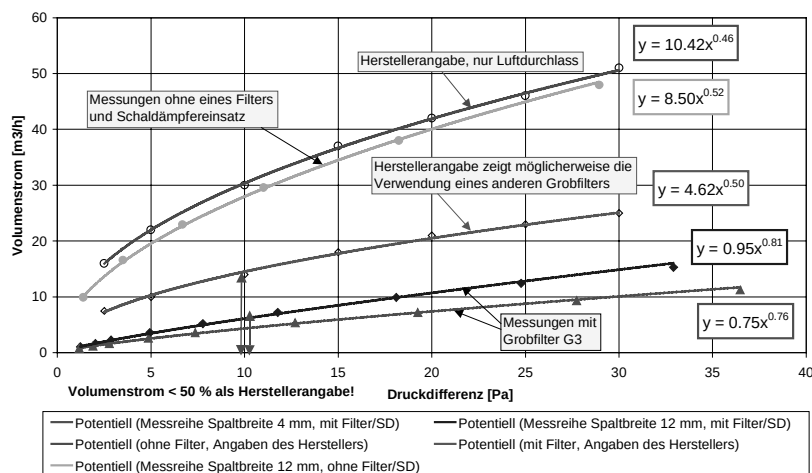


Fig 7: Typische Charakteristiken für das Durchlass-Produkt Anjos L30, das auch im Messobjekt Leuenweg verwendet wird.

Akustische Messungen

Akustische Messungen wurden noch nicht durchgeführt. Bezüglich Filter/Schalldämmeinsätze stellt sich teilweise das gleiche Problem wie bei den Messungen des Strömungswiderstandes.

3.5 Einfluss der Gebäudeluftdurchlässigkeit und weitere Systemaspekte

Bedingt durch Erkenntnisse aus den Messungen im Objekt Leuenweg wurde dem Einfluss der Gebäudeluftdurchlässigkeit auf das Systemverhalten erhöhte Aufmerksamkeit geschenkt. Mithilfe des Rechenprogrammes COMIS wurden verschiedene Gebäudetypen untersucht.

Es zeigt sich, dass bei einem sehr dichten Gebäude ($n_{L50} < 0.6 \text{ h}^{-1}$) mit ausreichend dimensionierten Durchlässen 90-100%, bei einem Gebäude mit einem n_{L50} Wert von ca. 2.0 h^{-1} und knapp dimensionierten Durchlässen aber nur noch ca. 20% der Aussenluft über die Zuluftdurchlässe einströmt.

Durch die tiefen Druckniveaus ist zudem auch der Einfluss des Kamineffektes (Stackdruck) im Gebäude recht gross. Figur 8 zeigt den Aussenluft-Volumenstrom in Abhängigkeit des Druckniveaus für verschiedene Gebäudedichtigkeiten (Beispiel: Erforderlicher Aussenvolumenstrom = $150 \text{ m}^3/\text{h}$) und Figur 9 den Verlauf des Differenzdruckes über der Fassade auf zwei verschiedenen Höhenpositionen für ein Gebäude in Zürich resp. in Davos.

Daraus ist ersichtlich, dass gerade bei mehrgeschossigen Gebäuden dem Einfluss der natürlichen Druckkräfte infolge Temperaturunterschied innen-aussen und infolge Wind grosse Beachtung geschenkt werden muss. Entsprechende Planungsunterlagen fehlen, wären aber sicher dringend nötig.

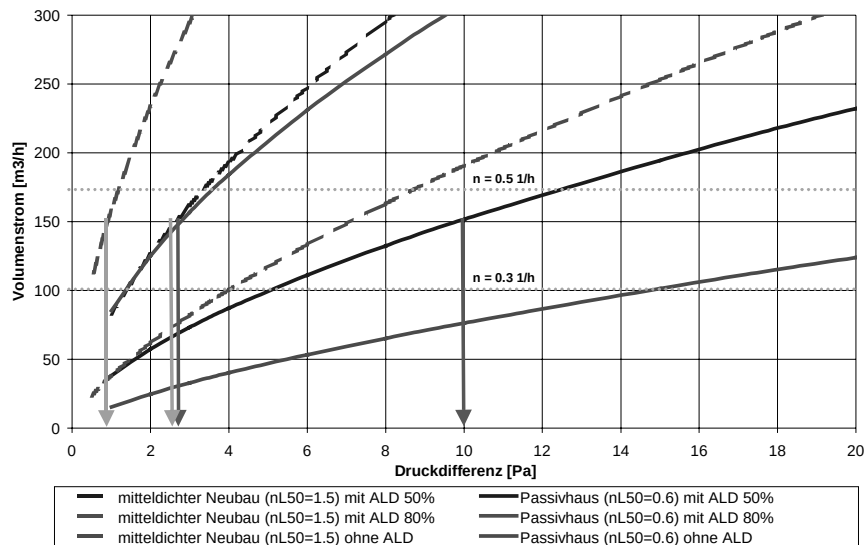


Fig. 8: Aussenluft-Volumenstrom in Abhängigkeit des Druckniveaus für verschiedene Gebäudedichtheiten (Beispiel: Erforderlicher Aussenluftvolumenstrom = 150 m³/h)

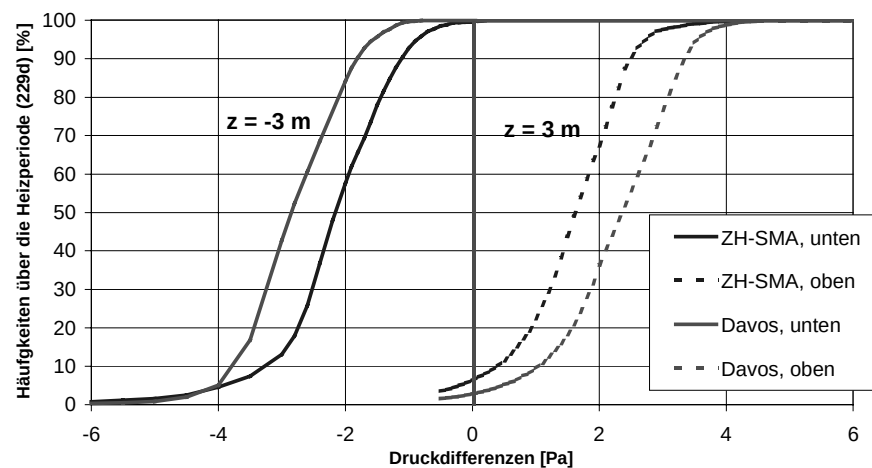


Fig. 9: Summenhäufigkeit über die Heizperiode der Druckdifferenz über die Fassade auf zwei verschiedenen Höhenpositionen für ein Gebäude in Zürich resp. in Davos

4. Umsetzung

4.1 Begleitgruppensitzung

Eine erste Begleitgruppensitzung hat am 7. Juni 2001 stattgefunden. Es wurden Resultate präsentiert und diskutiert und auch schon die in Phase 2 des Projektes geplanten Richtlinien skizziert. Damit ist eine praxisgerechte Festlegung der Ziele und der Resultate des Projektes gewährleistet.

Von Planerseite kam der Wunsch, nicht vor allem kritische Systemkonfiguration im Detail zu untersuchen, sondern vor allem gute und sinnvolle Systemlösungen zu erarbeiten und zu dokumentieren. Dieser Aspekt wurde bei der Planung der weiteren Messungen berücksichtigt.

4.2 Konzept Planungsrichtlinie

Ein erstes, auch mit der Begleitgruppe diskutiertes Konzept sieht folgende Struktur einer möglichen, im Detail in Phase 2 des Projektes zu erarbeitenden Richtlinie vor:

- *Lüftungskonzepte für EFH und MFH*
- *Unterschiede Neubau - Sanierung*
- *Druckverhältnisse im System für EFH und MFH*
- *Einfluss der Gebäudeluftdurchlässigkeit auf die Druckverhältnisse am Durchlass und im Lüftungssystem*
- *Luftmengen*
- *Luftführung Wohnung*
- *Einfluss, Lösungen für Küchenabluft*
- *Einfluss von/auf Feuerstätten*
- *Strahlausbreitung im Raum, Platzierung der Durchlässe, Einfluss von Wärmeabgabesystem und geometrischen Randbedingungen*
- *Komfortdiagramme für die verschiedenen Durchlässe*
- *Druck-Volumenstrom- Charakteristik die verschiedenen Durchlässe*
- *Dimensionierungs-Richtlinien für Durchlässe*
- *Akustische Aspekte von Durchlässen*
- *Filterwirkung*
- *Vergleich mit Komfortlüftungssystemen*

4.2 Veranstaltungen

Ein im Rahmen der Weiterbildungskurse HTA/ZEN geplanter Kurs zum Thema Abluftsysteme mit Abwärmenutzung wurde in Absprache mit dem Projektbegleiter BFE zurückgestellt, da die Voraussetzung dafür (nahtloser Übergang in die Phase 2 des Projektes, in der Richtlinien und darauf basierende Kursunterlagen erstellt werden könnten) im Moment noch nicht gegeben sind.

5. Weiteres Vorgehen

5.1 Projekthinhalt

Die Inputs der Begleitgruppe wurden bei der weiteren Planung für das Projekt und damit vor allem bei der Überarbeitung des Messplanes berücksichtigt. Die Messungen werden etwas fokussiert, andererseits wird den Systemaspekten (Gebäudeeinfluss) einen grösseren Stellenwert eingeräumt.

5.2 Arbeitsplan

Messungen Leuenweg

Folgende Arbeiten stehen noch an:

1. Erstellen Gebäudebeschrieb
2. Weitere Auswertung und Dokumentation der Messungen
3. Ggf. eine detailliertere Analyse der Gebäudeundichtigkeiten mittels IR Aufnahmen im Winter 2002 (Entscheid später)
4. Ggf. Benutzerbefragung im Winter 2002 (Entscheid später)

Messungen Riedappel

Es sind Komfort- und Aussenluftdurchflussmessungen in einer Wohnung im Okt/Nov. 2001 vorgesehen. Je nach Resultat sind ggf. noch IR Aufnahmen für Charakterisierung von Luftundichtigkeiten zu machen.

Labormessungen

Durch die Erkenntnisse im Laufe des Projektes wurden im Messplan gewisse Änderungen vorgenommen. Diese betreffen die Auswahl der Produkte, die Messanordnung sowie die zu

vermessenden Konfigurationen. Die Durchlässe wurden gemäss Strömungsmuster gruppiert und die Messvarianten entsprechend neu beurteilt und geplant (siehe Messplan im Anhang).

Produkte

Die beiden Modelle France Air VM30 und AERECO ZFHNV 30 sind geometrisch dem Modell ANJOS 30 S gleichzusetzen. Zudem kann das AERECO Modell nicht von Hand geöffnet werden. Diese Produkte wurden deshalb nicht weiter untersucht. Neu wird hingegen auch das Produkt Fresh 31 untersucht.

Messplan (Messeinrichtung und Messkonfigurationen)

Der neue Messplan ist im Anhang gegeben. Die schon vermessenen Konfigurationen sind in **fetter** Schrift bezeichnet, die in Bearbeitung stehenden oder noch durchzuführenden Konfigurationen in normaler Schrift.

Es wurde festgestellt, dass der Kaltluftabfall am Fenster nur einen untergeordneten Einfluss auf die Raumluchtströmung hat. Die Konfiguration Wandeinbau (W) wurde deshalb bei den Versuchen gleich wie Fenstereinbau oben (FO) behandelt.

Auf den separaten Parameter der Internen Lasten (IL) wurde verzichtet, da dieser im Bezug auf die Raumluchtströmung in der näheren Umgebung des Durchlasses dem Fall einer Fussbodenheizung gleichzusetzen ist.

Neu einbezogen wurde der Fenstersturz. Neu wird auch zwischen eingeschaltetem und ausgeschaltetem Heizkörper unterschieden.

Bezüglich akustischer Messungen sind die Abklärungen bezüglich Umfang, Produktvariante (Filter, Schalldämmung), Prüfverfahren und Übertragbarkeit von Herstellerangaben gemäss Prüfung nach nationalen Normen (DIN, NVN, CSTB, etc.) noch im Gange. Ebenso wird die Möglichkeit der Schlagregenprüfung für eine für ausgewählte Anzahl von Produkte noch abgeklärt. Diese Messungen sind deshalb noch nicht im Messplan eingezeichnet.

Konzept Richtlinie

Für die Ausarbeitung des Konzeptes für Richtlinie und Planungsunterlagen sollen ausgewählte Mitglieder der Begleitgruppe beigezogen werden. Das Konzept bildet dann auch die Basis für die Erstellung der Offerte für die Phase 2 des Projektes.

5.3 Zeitplan

Der Zeitplan ist im wesentlichen unverändert.

Projektphasen und Arbeiten	2000	2001				2002			
	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
Projekt Phase 1									
Projekt Phase 2									
1 Projektleitung									
2 Begleitgruppe			■		■ (■)				
3 Messungen Gebäude									
Leuenweg Energie									
Leuenweg Komfort									
Riedappel Komfort									
4 Evaluation Durchlässe									
Messungen Charakteristik									
Messungen Klimakammer									
Messungen Akustik									
CFD Rechnungen									
Ermittlung Kenngrößen									
Optimierung Durchlässe									
5 Systemevaluation									
Einfluss natürliche Kräfte									
Einfluss Betrieb, Regelung									
6 Richtlinie									
7 Dokumentation									
Projektberichte									
Publikation									
Kurs/Abschlussveranstaltung									

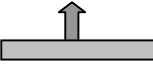
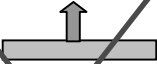
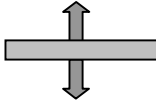
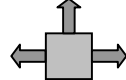
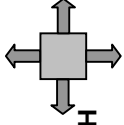
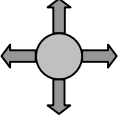
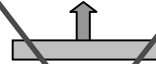
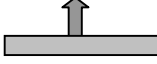
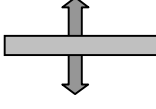
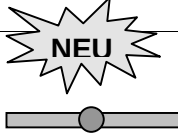
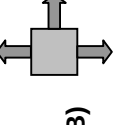
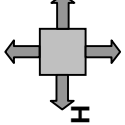
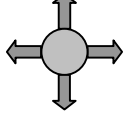
5.4 Schlussbericht

Für den Schlussbericht ist ein knapp gehaltener Hauptteil und ein Anhang mit den detaillierten Untersuchungsergebnissen geplant.

Die direkte Nennung von Produktnamen im Bericht erscheint z.Z. problematisch. Um Auseinandersetzungen mit Herstellern aus dem Wege zu gehen, werden im Schlussbericht die Produkte voraussichtlich nur verschlüsselt aufgeführt werden.

6. Berichte und Publikationen

Es liegen noch keine Publikationen vor.

Ursprüngliche Liste der zu untersuchenden Durchlässe gemäss BFE-Offerte		 ANJOS L 30 S	 AVENCO LuBo	 France Air VM 30	 LIMODOR MLL-ZE	 FRESH Fresh 32	 FRESH Fresh 90 (dB)	 FRESH Fresh 99dB H	 HELIOS ZLA 100	 AERECO ZFHW 30
Neue Liste zu untersuchenden Durchlass-Produkten		 ANJOS L 30 S	 AVENCO LuBo	 LIMODOR MLL-ZE	 FRESH Fresh 32	 FRESH Fresh 31	 FRESH Fresh 90 (dB)	 FRESH Fresh 99dB H	 HELIOS ZLA 100	
Bemerkung			noch nicht gemessen			Neu				
Messung Gebäude										
Messung	Temperaturen und Geschwindigkeiten	?	?							
Konfiguration	Einbauposition	F	W							
	Wärmeabgabesystem	FB	FB							
Messungen Raumklimalabor EMPA										
Visualisierungen	Luftströmung	V	V	V	V	V	V	V	V	V
Messung	Temperaturen und Geschwindigkeiten	DM	EM	EM	DM	DM	DM	DM	DM	DM
Konfigurationen	Einbauposition	FO	FO	FO	FO	FO	FO	FO	FO	FO
	Fenstersturz		S	S	S	S	S	S	S	S
	Wärmeabgabesystem	FB	HD on	HD on	HD off	HD on	HD off	FB	HD on	HD off
Einfluss Gardinen	Untersucht (visualisiert)			G	G					
Berechnungen CFD										
Berechnung	Temperaturen und Geschwindigkeiten	X			X			X		
Validierung	Vergleich mit detaillierter Messung	X	-10°C	-10°C	X	-10°C	-10°C	X	-10°C	-10°C
Konfigurationen	Einbauposition	FO	FO	FO	B	B	B	W	W	W
	Fenstersturz				S	S	S			
	Wärmeabgabesystem	FB	FB	HD on	FB	FB	HD on	FB	FB	HD on
Messungen Labor EMPA										
Kennlinien	Kennlinie Druck-Volumenstrom	X			X			X		X
Akustik	Schalldämm-Mass									
Geschl. Zustand	Schlagregen, Luftdichtheit									

Einbauposition	Fensterrahmen oben Brüstung oder Fenster unten Wand Fenstersturz (Fensterbrett)	FO B W S	Wärmeabgabe	Fussbodenheizung Heizkörper unter Durchlass, ein Heizkörper unter Durchlass, aus	FB HD on HD off	Messverfahren	Einfache Messung (3-6 Sensoren) Detaillierte Messung (Sensorfeld)	EM DM
----------------	--	-------------------	-------------	--	-----------------------	---------------	--	----------