

Wohnen mit Bedarfslüftung

Erfolgskontrolle Wohnsiedlung „Hausäcker“ Winterthur



Ansicht der zwei Gebäude von Norden

Ziel

Ziel dieses Pilot- und Demonstrations-Projektes (P+D) war es, Aufschluss über den energetischen und lüftungstechnischen Nutzen der Bedarfslüftung, aber auch über die Akzeptanz seitens der Mieter zu erhalten. Das Projekt wurde 1990/91 geplant und 1993/94 ausgeführt. Die Erfolgskontrolle fand 1995/96 statt.

Bauherrschaft

Stadt Winterthur vertreten durch

- Departement Bau
- Departement Kulturelles und Dienste
- Pensionskasse

Projektleitung

Departement Bau

- Abteilung Hochbauten
- Fachstelle Haustechnik

Projektausführende

Architekt und Bauleitung	Joachim Mantel Arch. ETH/SIA/SWB, Winterthur
Bauingenieur	Zumbrunn & Junker AG, Winterthur
Elektroingenieur	K. Bachmann AG, Winterthur
Heizungsingenieur	B. Del Conte, Winterthur
Lüftungsingenieur	Meierhans & Partner AG, Fällanden
Sanitäringenieur	R. Schellenberg AG, Winterthur

Kontaktadressen

Technische Information (Anfragen bitte nur schriftlich)	Mantel Architekten, Postfach 104 8411 Winterthur
Information zur Erfolgskontrolle (Anfragen bitte nur schriftlich)	Dr. P. Hartmann TWI, Postfach 805 8401 Winterthur
Berichtbestellung	EMPA-KWH, 8600 Dübendorf Fax 01/823 40 09

Erfolgskontrolle 1995-1996

Gesamtleitung

Energiehaushalt	Dr. P. Hartmann, TWI
	Dr. P. Hartmann, TWI (mit D. Kluser, H.R. Preisig)

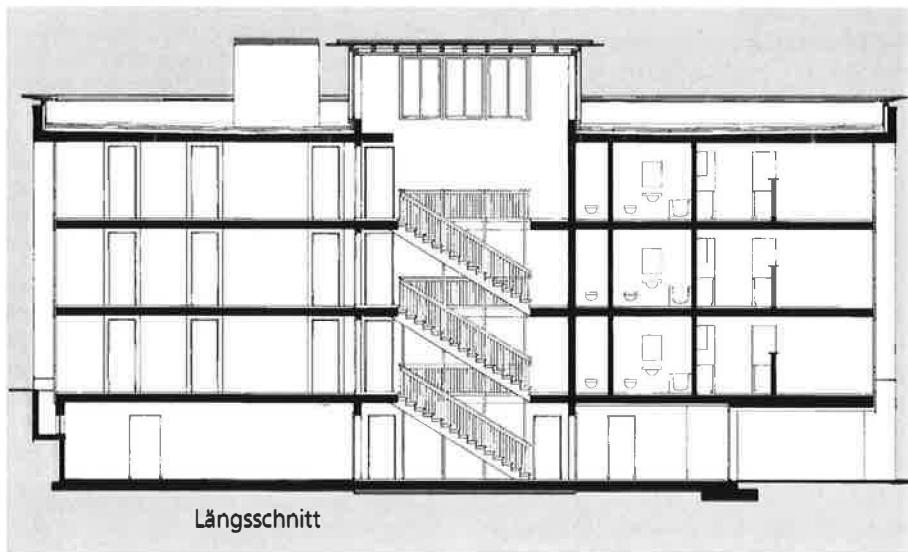
Lüftungssystem	Dr. H. Juzi, TWI (mit T. Kreidler, D. Ortiz, P. Ludwig, G. Bühler, P. Hartmann)
Lüftungsfunktion im Raum	V. Dorer, EMPA (mit D. Breer, Th. Rüegg)

Wärmetauscher Labormessungen	M. Conzett, TWI (mit T. Kreidler, G. Bühler)
Lüftung/Akustik	Dr. J. Krieg, TWI (mit A. Goldinger, W. Bachmann, H.R. Preisig)

Benutzerbefragung	Prof. H.U. Wanner, ETH (mit K. Bührer und D. Schweizer als Hauptsachbearbeitern, H.R. Preisig)
Finanzierung	Das Projekt und die Erfolgskontrolle wurden vom Bundesamt für Energiewirtschaft (BEW) und der Energiefachstelle des Kantons Zürich finanziell unterstützt.
Redaktion	Ch. Vogel, Techn. Sekretariat Bronschhofen H. Bertschinger, EMPA-KWH

Architektonisches Konzept

Die Bauherrschaft der Siedlung Hausäcker unterstützte den Architekten hinsichtlich des innovativen Denkens im Wohnkonzept, bei der Technik und den oekologischen Gesamtzusammenhängen. Sie legte Wert auf einen integralen Planungsprozess.



Bei der Überbauung handelt es sich um zwei Mehrfamilienhäuser am östlichen Stadtrand von Winterthur mit total 21 Wohnungen und einem Gemeinschaftsraum. Beide Gebäude sind 3-geschossig, weisen eine sehr einfache kubische Außenform auf und sind West/Ost orientiert.

Die Familienwohnungen sind an den Stirnseiten der Gebäudevolumen angeordnet und je 3-seitig orientiert.

Die Zone für Essen und Kochen bildet das Herz der Wohnung. Es ist der Bereich, in dem sich die Familien- oder Gemeinschaftsmitglieder treffen und miteinander kommunizieren und essen.

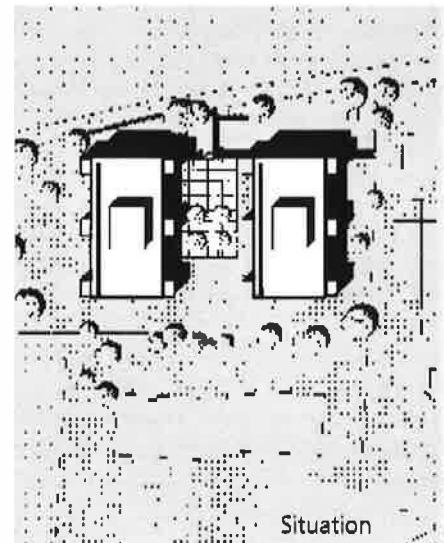
Diese direkt vom Treppenhaus über das Entrée erschlossene Zone ist räumlich grosszügig gestaltet und bietet viel Licht und eine gute Aussicht. Sie ist zentral gelegen und vielseitig nutzbar.

Um diese Kernzone der Wohnung gruppieren sich die Wohn- und Schlafräume, mit je 15.5 m^2 Bodenfläche. Diese Räume sind mittels Einzel- oder Doppeltüren schliessbar.

Die wesentlichen Konstruktionsmerkmale des Gebäudes sind aus nachfolgender Tabelle ersichtlich.

Konstruktionsmerkmale

Aussenwand	Porenbeton (Hebel) 40 cm dick (Jumbosteine 100/60/40 cm) $k = 0.3 \text{ W/m}^2\text{K}$
Innenwände	Kalksandstein und im Treppenhaus Stahlbeton
Decken	Stahlbeton
Balkone	Thermisch abgetrenntes Stahlskelett
Fenster	Holz/Metall-Fenster, 2-flügelig $k_{\text{fenster}} = 1.2 \text{ W/m}^2\text{K}$



Innovative Technik

Warum Bedarfslüftung?

Die Anforderungen an die Gebäudehülle sind in den letzten Jahren deutlich gestiegen. Die gesetzlich geforderten Wärmeschutzmassnahmen müssen erfüllt werden; auch der Komfort und die Bauschadensfreiheit sollen gewährleistet sein. Durch die erhöhten Wärmedämmdicken wird der Anteil der Transmissionsverluste kleiner und derjenige der Lüftungswärmeeverluste grösser. Das Abdichten führt zu luftdichteren und dampfundurchlässigeren Gebäudehüllen. Durch dichtere Anschlüsse und Fenster ist der Austausch von verbrauchter Raumluft mit Aussenluft nicht mehr genügend gewährleistet. Damit wird aber nicht nur zu wenig Luft zugeführt, auch Feuchtigkeit, Schad- und Geruchstoffe werden nicht mehr abtransportiert. In vielen Neubauten resultieren daraus Schäden an der Bausubstanz. Aber auch der Wohnwert sinkt durch die Beeinträchtigung der Gesundheit in manchen Fällen markant.

Wer heute in Neubauwohnungen eine gute und gesunde Luftqualität wünscht, hatte bisher die Wahl zwischen zwei Verhalten:

- dem energetisch unsinnigen, aber bequemen Dauerlüften, durch gekippte Fensterflügel;
- dem unrealistischen, periodisch durchgeführten kurzen und intensiven Stosslüften der ganzen Wohnung.

Wie die Verwendung von so vielen offenen Kippflügeln in Bädern, Küchen und Schlafzimmern auch in kältester Jahreszeit beweist, wird meistens das energetisch unsinnige Dauerlüften gewählt:
„Lieber Energieverschleiss als Mief!“

Mit einer Bedarfslüftung lassen sich diese Probleme lösen. Den Wohnungen wird gezielt eine bestimmte Menge Aussenluft zugeführt und in den Schlafzimmern und im Wohnbereich sanft eingeblasen. Die Luftmenge pro Wohnung wird aufgrund der Grösse, der Anzahl Personen, der Anzahl Raucher etc eingestellt. Die Zuluft strömt von den Zuluft- zu den Abluftöffnungen. Dabei vermischt sie sich mit der Raumluft und nimmt Feuchtigkeit, Schad- und Geruchsstoffe auf. Von den Abluftöffnungen, welche sich meist in der Küche und in den Sanitärräumen befinden, wird die belastete Luft zum Lüftungsgerät geführt.

Mit der im „Hausäcker“ realisierten Bedarfslüftung wurde nun ein neuartiger Ansatz erprobt, der im Hinblick auf Raumluftqualität und Energie günstige Möglichkeiten versprach.

Systemansatz Lüftung

Für den Basisluftwechsel in allen Wohnungen wurde eine mechanische Lüftung gewählt, das Treppenhaus hingegen wollte man mit dem Windfang natürlich belüften.

Die Luft wird aussen gefasst und durch Kunststoffrohre (Erdregister) in der Hinterfüllung der Baugrube dem zentralen Lüftungsgerät zugeführt. Dieses besitzt eine Wärmerückgewinnungsanlage (WRG), welche die Wärme aus der Abluft an die Zuluft übergibt. Der Wirkungsgrad der WRG ist sehr hoch, so dass die Zuluft ohne zusätzliche Nachwärmung mit 19 °C in die Zimmer einströmen kann.

Die benötigte Luftmenge wird vom zentralen Lüftungsgerät in den Steigschacht und von dort durch Kunststoffrohre, die vom Sanitärinstallateur in die Böden eingelegt wurden, zu den einzelnen Türzargen geführt. Alle Wohn- und Schlafräume werden einzeln mit Frischluft angespiesen. Über den Quellausslass in Bodennähe stromt die Zuluft kontinuierlich und unveränderbar mit kleiner Geschwindigkeit aus und verteilt sich im Raum. Die Zuluft hat eine bessere Qualität als die Luft, die über eine Fensterlüftung zugeführt würde, denn Filter im zentralen Lüftungsgerät halten u. a. Schwebestoffpartikel aus der Luft zurück. Gesundheitliche Risiken können so vermindert werden.

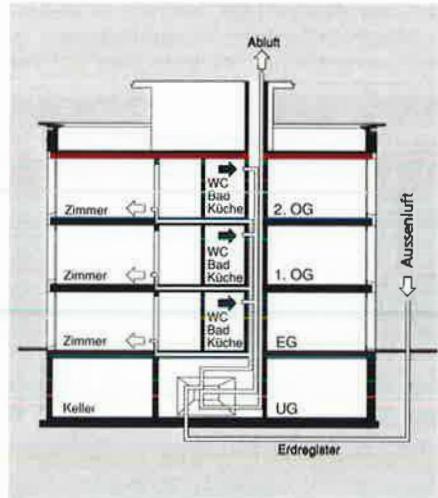
Die belastete und aufgewärmte Luft wird in den Nasszellen und in der Küchenzone abgezogen und mit separater Rohrführung pro Wohnung wieder direkt dem zentralen Lüftungsgerät mit WRG zugeführt. Anschliessend wird sie über Dach ausgeblasen.

Aus brandschutztechnischen Überlegungen und um der Gefahr von Verschmutzung der Rohre zu begegnen, wird die Abluft von der Dampfabzugshaube direkt über Dach geführt.

Grosse Aufmerksamkeit wurde dem Schallschutz in den einzelnen Wohnungen bei gemessen.

Bei individuellem Bedarf an Zusatzlüftung kann jederzeit über Fenster gelüftet werden. Die Lüftungsanlage ist wegen den innenliegenden Sanitärräumen ganzjährig in Betrieb.

Im Sommer vermag das Erdregister die Luft leicht zu kühlen. Im Winterbetrieb wird die notwendige Heizleistung durch die mechanische Lüftung und konventionelle Konvektoren an der Fassade erbracht.



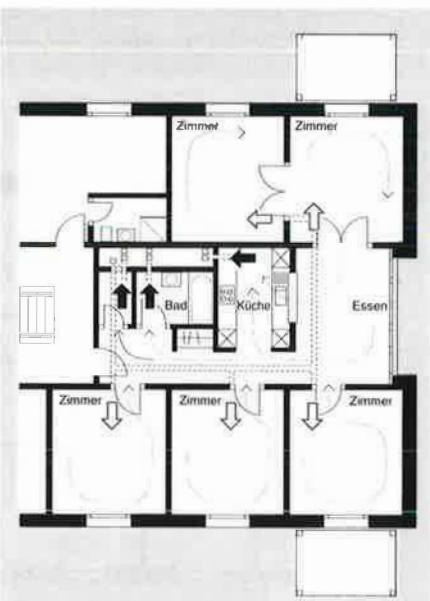
Luftführung im Gebäude

Der Mensch im Mittelpunkt

Als Architekt gilt es ganzheitliche Lösungen anzustreben. Der Mensch steht mit all seinen Wohnbedürfnissen im Mittelpunkt. Er soll sich in seiner Wohnung nicht nur wohl fühlen, er soll auch die Gewissheit haben, dass ihm sein Umfeld nicht die Gesundheit schädigt.

Neben diesen messbaren physikalischen Fakten gehören sicher auch die nicht messbaren Faktoren wie Lichteinfall, Raumproportionen und Materialreflexionen dazu.

Diese sind nicht weniger bedeutungsvoll und bewirken Stimmungen im Menschen, geprägt von archaischen Mustern, die wesentlich auf seine Befindlichkeit Einfluss nehmen.

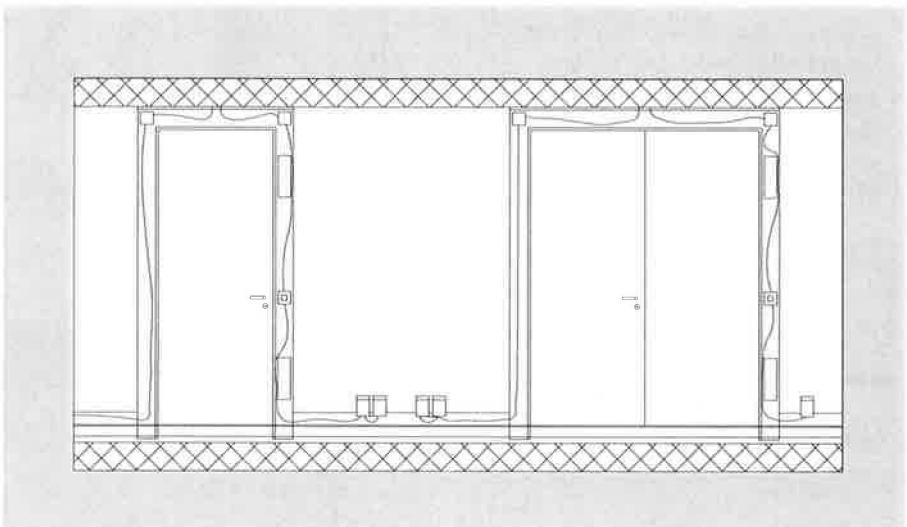


Luftführung in Wohnung



Aussenwand

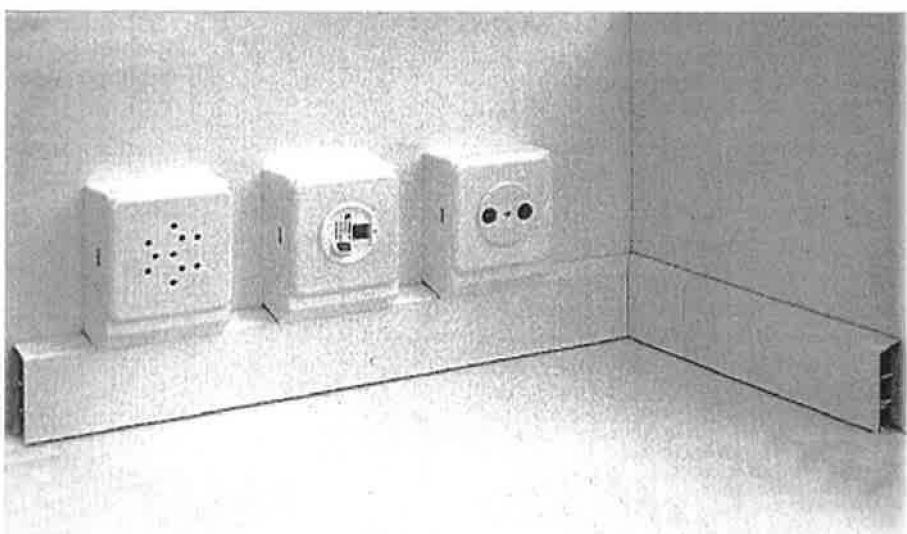
Die homogene Gebäudehülle wurde aus Porenbetonsteinen errichtet. Die Besonderheit dieser Steine liegt in ihrer genügenden Tragfähigkeit und gleichzeitig sehr hohen Wärmedämmwirkung. Um zu diesen bauphysikalischen Eigenschaften auch noch eine kostengünstige Aussenwandkonstruktion zu erhalten, wurde erstmals der Jumbostein gewählt. Seine Masse übersteigen bei weitem die für uns gewohnten Backsteindimensionen. Der einzelne Stein ist ein Meter lang, vierzig Zentimeter breit und sechzig hoch. Diese Steine werden auf der rohen Betondecke mit einem rollbaren Minikran versetzt. Dank diesem neuen, arbeits- und kräftes schonenden Bauprozess ist schon mit vier Schichten ein Geschoss aufgemauert.



Die „Intelligente Türzarge“

Mit der Absicht, eine klare Trennung der Ausbau- von der Rohbaustruktur zu erreichen, wurde für diesen Bau erstmals diese multifunktionale Zarge entwickelt. Sie dient als Verteilelement für verschiedene Medien (Zuluft, Strom, TV, TT).

Die elektrischen Leitungen werden aus den Schächten in den Decken des Korridorbereiches zu den Zargen geführt und von dort im Sockelkanal zu den individuell plazierbaren Dosen geführt. Alle Schlitzarbeiten und das anschliessende Ausmörteln aus dem Bauprozess konnten eliminiert werden. Die etwas teurere Zarge ermöglichte dabei eine Verbilligung. Die Gefahr von unerwünschten Schallbrücken wurde dadurch reduziert.



Medienversorgung

In die Zarge integriert, vorfabriziert und werkseitig vormontiert sind neben der Außenluftzufuhr, den Luftauslässen und den Überströmöffnungen auch noch die Lichtschalter und Steckdosen, sowie alle Zuleitungen für 220 V, TV/Radio und Telefon. Dank diesem Konzept können jederzeit mit bescheidenem Aufwand, alle Medien überall nachgerüstet oder vernetzt werden.

Mit der gleichen Konsequenz wie im Gebäudeinnern wurden auch bei der Gebäudehülle die Fenster und Zargen mit dem integrierten französischen Balkongeländer und den Lamellenstoren vom Rohbau getrennt. Die umlaufende weisse Aluzarge wurde kittlos auf den mineralischen Aussenputz angeschlagen.

Erfolgskontrolle, Resultate

Ausgangslage

Die finanziellen Unterstützungen für die neuartigen Komponenten an den beiden Gebäuden waren mit der Bedingung verknüpft, anschliessend eine Erfolgskontrolle durchzuführen, respektive durchführen zu lassen. Relativ früh wurde ein interdisziplinäres „Erfolgskontrollenteam“ gebildet, das auch von Studierenden des TWI unterstützt wurde. Es stand unter der Leitung von Dr. P. Hartmann (Dozent TWI und selbständiger Ingenieur). Die Gesamtheit der Mitarbeiter findet sich auf der zweiten Seite.

Das „Wie“ und das „Wieviel“ einer solchen Erfolgskontrolle wurde intensiv diskutiert, da diese Art von Untersuchungen noch neuartig war. Die Erarbeitung eines gesamtheitlichen Eindrucks von der Funktion des Gebäudes erschien dem Team wesentlich und nicht „nur eine Anhäufung von technischen Daten“. Die Erfolgskontrolle dauerte vom 1. Juli 1995 bis zum 30.6.1996.

Ziel der Erfolgskontrolle

Man wollte mittels stichprobenartigen Erhebungen die innovativen Ansätze auf ihre Funktionstüchtigkeit untersuchen, aber auch im Gespräch mit Bewohnern auf ihre Akzeptanz beurteilen.

Es liegt am Charakter einer Erfolgskontrolle, dass wegen der bescheidenen finanziellen Mittel gewisse Messungen nur kurzzeitig und stichprobenartig erfolgen konnten. Beispielsweise konnte die EMPA ihre Untersuchungen zur Lüftungsfunktion nur in einer Wohnung und nur während zweier kurzer Perioden durchführen. Aus verständlichen Gründen verschlossen sich einige wenige Bewohner der Benutzerbefragung, doch konnten immerhin 80 % der Bewohner einbezogen werden.

Nachstehend sind die anvisierten Teiluntersuchungen in Stichworten aufgelistet:

- Energiebilanzierung über ein volles Jahr (2. Jahr nach Bezug)

Detailuntersuchungen zur Bedarfslüftung:

- Funktion der Lüftung in den Räumen
- Betrieb des Gesamtsystems (Erdregister, WRG, Zuluftzustände) im Jahresgang
- Akustische Studien, Kennwerte
- Mehrmalige Benutzerbefragung über den Wohnkomfort

Akustische Untersuchungen

Es wurde sehr viel Gewicht auf eine optimale Auslegung der Komponenten gelegt. Ursprünglich wurden die Türen mit Schwellen geplant, so dass Überströmöffnungen unumgänglich waren. Die Ausführung erfolgte auf Wunsch der Bauherrschaft jedoch schwellenlos.

Die akustischen Untersuchungen erfolgten dann mit den ursprünglichen Ventilatoren und entsprechend angepassten Schalldämpfern. Die sehr positiven Messresultate widerspiegeln sich auch in den Benutzerbefragungen.

Des Weiteren wurden die schalltechnischen Eigenschaften von Zwischenwänden und der Außenwand ermittelt.

Zielsetzung und Aufgabenstellung bei der Messung des Lärms der haustechnischen Anlagen waren im Detail:

- Messung der Schallimmission der Lüftungsanlage in den Wohnungen.
- Messungen der Reduktion der Schalldämmung der Zwischenwände, verursacht durch die Luftdurchlässe in den Türzargen.

Resultate zu Immission Lüftung

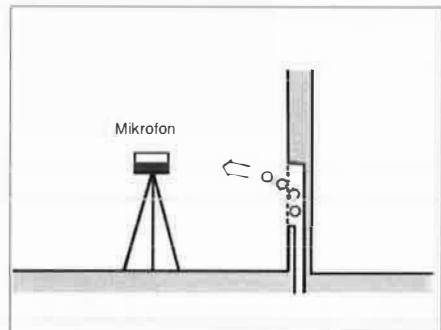
Messung des Beurteilungspegels L_{rH} im Raum, verursacht durch die Lüftung, siehe untenstehende Tabelle (Nachtmessung):

Schallpegel	Randbedingungen	Messwert
Messung Grundschallpegel	Lüftung aus	14 dB(A)
Messung L_{rH} Beurteilungspegel	Lüftung ein	24 dB(A) Anforderungen erfüllt
Anforderung SIA 181	Lüftung ein	< 30 dB(A)

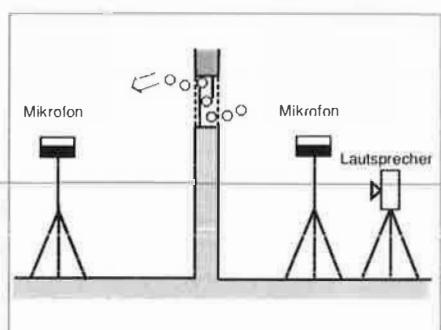
Einfluss der Überströmöffnungen auf die Schalldämmung:

Es ist keine Verminderung der Schalldämmung festzustellen. Dies bedeutet, dass die bewertete Standard-Schallpegeldifferenz D_{NTW} durch die Überströmöffnungen nicht beeinflusst wird. Die Schalldämmegenschaften der Wand werden durch die Türe bestimmt.

Die partiellen akustischen Probleme beim späteren Einbau neuer Ventilatoren mit anderer Konstruktion und mit nach wie vor ursprünglichen Schalldämpfern zeigt, dass akustische Überlegungen sehr wichtig sind. Eine optimale Abstimmung aller Komponenten ist unabdingbar. Hier war schliesslich nicht die Schallimmission im Schlafzimmer die kritische Situation sondern der Essbereich, der gegenüber der Luftabsaugöffnung der Küche „offen“ ist.



Messung der Schallimmission in den Raum von Seiten der Lüftung



Messung bezüglich Einfluss der Luftdurchlässe auf die Luftschalldämmung



Lautsprecher und Mikrofon bei der Messung zur Durchlassöffnung



Mikrofon auf der Fensteraußenseite bei der Messung der Fassaden-Luftschalldämmegenschaften

Energiehaushalt

Nachdem heutige Bauvorschriften die rechnerische Ermittlung des Heizenergieverbrauches im Planungsstadium verlangen, wecken die entsprechenden Messungen des Verbrauchs bei Erfolgskontrollen stets besonderes Interesse. Entsprechend sorgfältig sind dabei allerdings, im Vergleich zur berechneten Standardnutzung, die realen Betriebsbedingungen einzubeziehen. Das rechtsstehende Säulendiagramm zeigt zunächst den Grenz- und den Zielwert gemäß SIA 380/1, die in den Berechnungen (Planungsphase, damals ohne Einbezug von Wärmerückgewinnung) klar unterschritten wurden (Säulen 2 und 3).

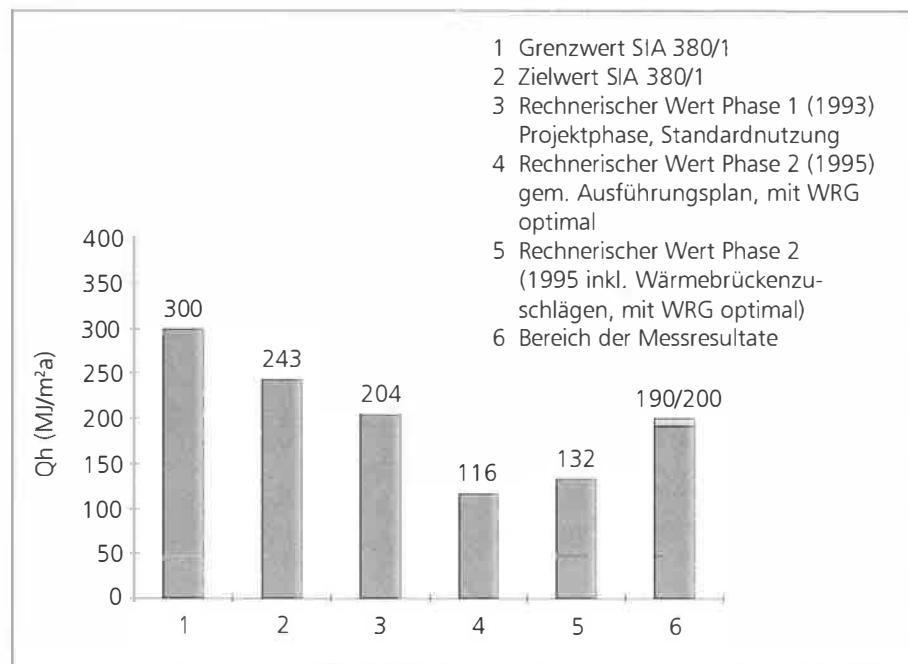
Im vorliegenden Beispiel bot sich eine gute Gelegenheit, die vorhandenen Zähler für Wärmeenergiezufuhr (Fernwärme) zum Gebäude, die Heizenergiezufuhr zu den Wohnungen, den Warmwasserverbrauch der Wohnungen, die Elektrozufuhr zu den Wohnungen monatlich, teilweise vierteljährlich abzulesen und auszuwerten. Einzig für den elektrischen Strom zu den Lüftungsanlagen musste ein Zusatzzähler eingebaut werden.

Die berechnete Verbrauchssäule 4 beinhaltet eine optimale Bauausführung und eine optimale Wirkung der WRG. Detaillierte Untersuchungen zum Einfluss von geometrischen und konstruktiven Wärmebrücken erhöhten diesen Wert wieder um einige Prozente zur Säule 5.

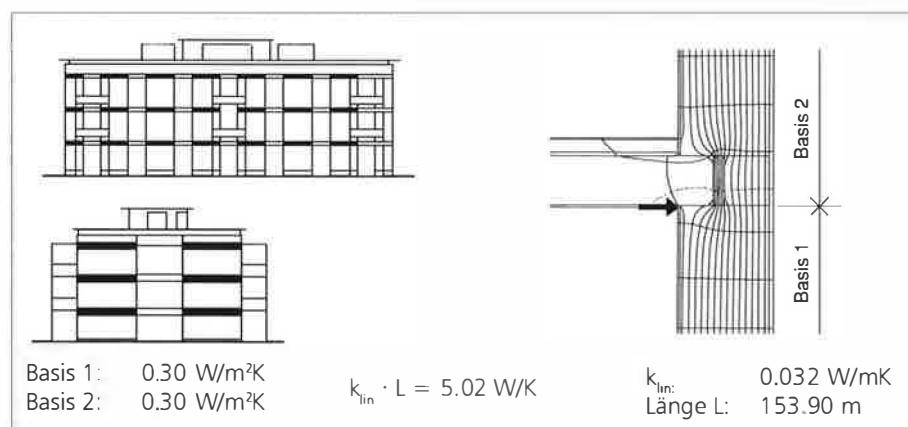
Leider liegen die Messwerte eher beim ursprünglichen Rechenwert von 200 MJ/m²a (weit unter SIA-Zielwert) als beim Wert mit optimaler WRG. Mögliche Ursachen sind (im Vergleich zur Standardberechnung) zu hohe Raumlufttemperaturen, kleinere interne Lasten, erhöhte Lüftungsverluste im Treppenhaus, wohl besonders aber die nächtliche Fensterlüftung (im 2. Jahr von einem Drittel aller Bewohner).

Die wesentlichen Wärmebrücken (vgl. mittlere Abbildung) wurden alle in gleicher Art beurteilt (Isothermenbild, Ermittlung k_{lin}) und in die energetische Auswirkung einbezogen. Namhafte Zusatzverluste entstanden im Sockelbereich.

Schliesslich wurde (Tabelle rechts unten) mit viel Aufwand die graue Energie für die Lüftungsanlage aufaddiert und die energetische Rückzahlzeit ermittelt. Das Resultat beträgt für die Komponenten der Lüftungsanlage sechs Jahre. Bezieht man das Zusatzbauvolumen für Anlage und Kanäle mit ein, sind es sieben Jahre. Diese Rückzahlzeit ist im Vergleich zur Lebensdauer der gesamten Anlage günstig.



Heizenergiebedarf, Berechnungs- und Messwerte



Wärmebrückeneffekt der Deckenauflager, Resultatblatt

	Lüftungsanlage	Erdregister	Gesamt Lüftungsanlage	Gesamt inkl. Bauvolumen
Graue Energie	MJ	230'000	174'000	424'000
Graue Energie	MJ/m ²			410
Energieeinsparung	MJ/m ² a			60-70
Energetische Rückzahlzeit	Jahre			ca. 6
Nutzungsdauer	Jahre	20	50	--

Resultate zur Untersuchung der energetischen Rückzahlzeit für die Lüftungsanlage

Lüftungsfunktion und Komfort

Im Zusammenhang mit der Beurteilung der Lüftungsfunktion in den Räumen und Wohnungen waren die beschränkten Mittel einer Erfolgskontrolle etwas hinderlich.

Trotz der standardisierten Räume und Wohnungen verblieben sehr viele Parameter, die nur unzureichend in ihrem Einfluss beurteilt werden konnten (wie Einfluss von Außenklima, Heizbetrieb, individuelle Lage und Versorgung der Wohnung im Gebäude). Während die Temperatur- und Energiekennwerte im Luftaufbereitungssystem kontinuierlich über der ganzen Erfolgskontrollperiode gemessen werden konnten, verblieben für diese Untersuchungen der Lüftungsfunktion nur zwei mehrtägige Messperioden, in denen die Abteilung Haustechnik der EMPA ihre Messungen durchführen konnte.

Die Zulufraten vom 5.10.96 entsprachen den Ausgangswerten. Nach dem Einbau

neuer Ventilatoren im Februar 96 konnte der „Gesamtwirkungsgrad“ (siehe ETV Grafik Seite 9) ganz wesentlich gesteigert werden und damit bei ähnlicher Förderleistung der Elektrizitätsbedarf mehr als halbiert werden. Nach dieser Modifikation wurden dann allerdings in einzelnen Wohnungen erhöhte Schallemissionen bemängelt, so dass die Zuluft etwas reduziert werden musste. Die Zulufrate pro Wohnung ist ausreichend, bei Doppelbelegung einzelner Zimmer aber zu tief. Aus diesem Grund werden die Schalldämpfer verbessert, so dass wieder höhere Zulufraten möglich sind. Die Abluftvolumenströme sind ebenfalls zu tief (vgl. Tabelle aus Februar 96). Sobald der Küchenventilator eingeschaltet wird, erhöhen sich die Volumenströme um bis zu 20 m³/h pro Raum. Die Resultate sind nachfolgend als punktuelle Messung dargestellt und knapp bewertet:

Luftführung und Lüftungswirksamkeit

Zur Visualisierung der Raumlufströmungen wurde ein Rauchgenerator eingesetzt. Es wurde in der Mitte des Raumes, in einer Höhe von ca. 20 cm ab Boden, die Strömungsgeschwindigkeit gemessen und in einer Höhe von ca. 0.5 m ab Boden die Raumlufstemperatur bestimmt. Ein vertikaler Temperaturgradient konnte nicht eindeutig festgestellt werden.

Die Zulufttemperaturen waren in den meisten Fällen (auch mit starker geöffnetem Heizungsventil) höher als die Raumtemperatur. Die Ursache dafür könnte die nicht konsequente Trennung von Heizungs- und Sanitärrohren in den Lüftungsschäch-

ten sein. Eine zusätzliche Erwärmung der Zuluft könnte auch von der Luftverteilung innerhalb der Wohnung herrühren, da die, in den Böden einbetonierten Kunststoffrohre, unisoliert ab Wohnungsverteiler, eine Länge zwischen 5 bis 16 m aufweisen. Die leicht erhöhten Zulufttemperaturen haben aber nur einen kleinen Einfluss auf die Durchlüftung.

Die Strömungssituation im Raum kann als gut gemischte Strömung bezeichnet werden. Der Raum ist sehr homogen durchspült. Damit ergab die Messung auch für Luftaustausch- sowie Verunreinigungswirksamkeit Werte entsprechend einer vollständigen Mischlüftung.

Die Strömungspfade und -geschwindigkeiten sind stark abhängig von den internen Wärmequellen im Raum. Eine eingeschaltete Heizung führt zu einer ausgeprägten Strömungswalze.

Die Überströmung in den Wohnraum/Gang erfolgt ausschließlich durch den unteren Türspalt und nicht über das dafür vorgesehene Gitter im oberen Bereich der Türzarge. Allerdings muss berücksichtigt werden, dass in der Messwohnung keine Teppiche verlegt waren.

Eine Kurzschlussströmung vom Zuluftdurchlass direkt zum Türspalt wurde nicht beobachtet.

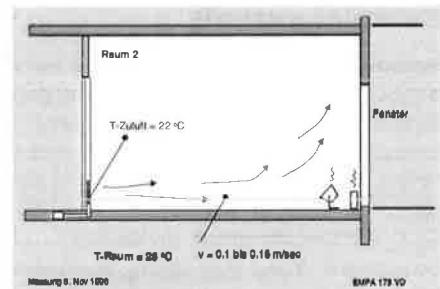
Komfort

Nachdem die eigentliche Einregulierungsphase verstrichen war, brachten die Benutzerbefragungen keine Klagen über mangelnden thermischen Komfort zutage. So begnügte man sich mit einer punktuellen Messung seitens der EMPA in ihrer Messperiode. Zusätzliche Resultate finden sich im Teilbericht Benutzerbefragung.

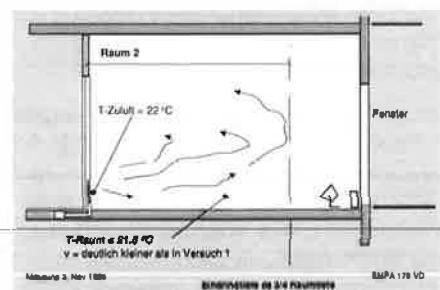
Typische Winterwerte (EMPA-Messung)						
Raumtemperatur	20 bis 21 °C					
Oberflächentemperatur						
Wände	18.8 bis 20.7 °C					
Relative Feuchte	35 bis 44 % r.F.					
Luftströmungsgeschwindigkeit	0.03 bis 0.06 m/s					

Die Strahlungssymmetrie ist kleiner als 2K, die Strahlungskomfortanforderung ist folglich erfüllt. Alle Bedingungen für den thermischen Komfort wurden erfüllt.

Tendenziell liegen die Raumlufstemperaturen im Gebäude zwischen 21° und 22 °C, jedenfalls über dem Richtwert von 20 °C für eine Standardnutzung gemäß SIA 380/1.



Fall 1: Raumlufströmung bei T-Raum > T-Zuluft, Lampe an, Heizung an



Fall 2: Raumlufströmung bei T-Raum < T-Zuluft, Lampe aus, Heizung aus

Volumenstrom am Auslass (Küchenventilator, abgeschaltet)							
	Raum Nr.						
	1 [m³/h]	2 [m³/h]	3 [m³/h]	4 [m³/h]	5a [m³/h]	5b [m³/h]	Total [m³/h]
Auslegung	15	15	15	15	20	20	100
5.10.95	14	15.5	14	13.5	16	11	84

- Zuluftströme in der Messwohnung im Oktober 1995 (ursprünglicher Ventilator, „Original-Einstellung Luftmengen“)

Volumenstrom am Auslass (Küchenventilator, abgeschaltet)							
	Raum Nr.						
	1 [m³/h]	2 [m³/h]	3 [m³/h]	4 [m³/h]	5a [m³/h]	5b [m³/h]	
Auslegung	15.0	15.0	15.0	15.0	20.0	20.0	100
12.2.96	12.5	13.0	11.5	11.5	13.5	12.0	74.0
14.2.96	12.0	13.5	11.5	12.0	14.5	11.0	74.5
Mittel	12.25	13.25	11.1	11.75	14.0	11.5	74.25

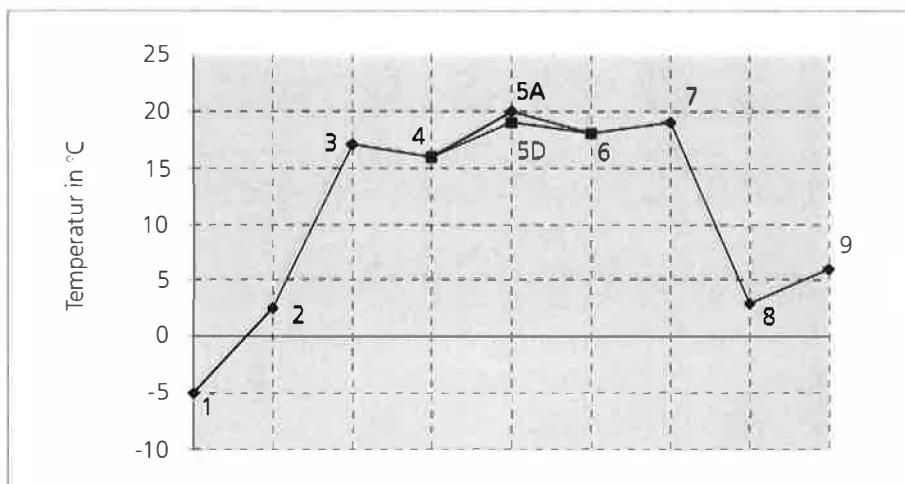
- Messresultate Februar 1996, bezüglich Zuluftströmen (neuer Ventilatortyp)

Abluftvolumenstrom in [m³/h]				
	Küche	Bad	WC	Total
Auslegung	50.0	30.0	20.0	100
12.2.96	40.0	15.5	17.5	73.0
14.2.96	38.5	14.0	18.5	70.5

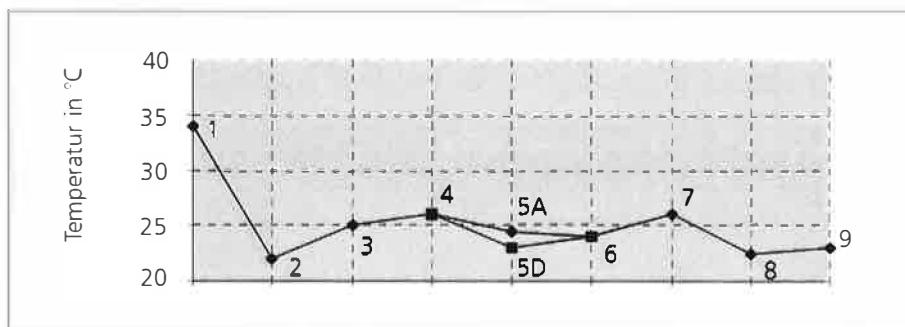
- Messresultate Februar 1996, Abluftströme

Lüftungssystem Verhalten im Jahresgang

- 1 Luftansaug (Aussenlufttemperatur)
- 2 vor WT, nach Erdregistern
- 3 nach WT
- 4 Ende Monobloc
- 5 Eintritt Wohnung A resp. D
- 6 vor Fortluftventilator
- 7 nach Fortluftventilator, vor WT
- 8 nach WT
- 9 Fortluft, über Dach



Temperaturverlauf der Luft an einem typischen Wintertag (12.3.96)



Temperaturverlauf der Luft an einem typischen Sommernachmittag

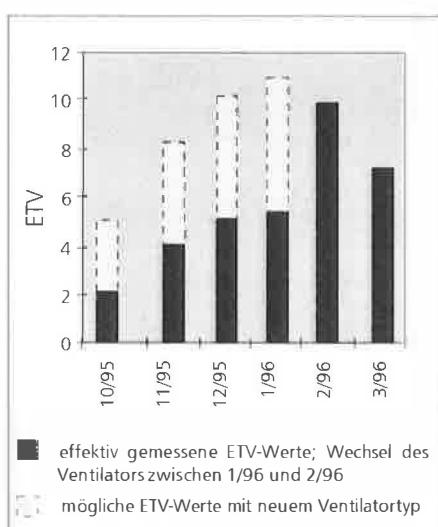
Erdregister

- Die relativ preisgünstigen Erdregister entsprechen den Wünschen der Planer. Sie wärmen im Winter die Zuluft soviel vor, dass nie Vereisungsprobleme auftreten und dass im Sommer eine leichte Unterkühlung der Zuluft und dadurch eine Dämpfung der „Tagesspitzen“ erreicht wurde.
- Der Wärmetauscher ist zusammen mit der eher unerwünschten Luftpnnachwärmung im Gebäude tendenziell auf eine zu hohe Rückwärmzahl ausgelegt. Es liesse sich, ohne zu grosse thermische Nachteile, durch einen etwas kürzeren Typ der Druckabfall vermindern.
- Temperaturverlauf der Luft im Winterbetrieb. Aus dem Jahresdatensatz greifen wir zur Illustration einen typischen Wintertag heraus. Die Momentaufnahme vom 12.3.96 / 9 Uhr zeigt den Verlauf der Temperaturen entlang der Lüftungsanlage. Die Außentemperatur beträgt zu diesem Zeitpunkt minus 5.4 °C. Auf dem Weg von den Ansaugstellen bis zum Eintritt in die Wohnung wird die Zuluft in 3 Etappen aufgewärmt: 7.5 K im Erdregister, 14.3 K im Wärmetauscher und 4 K in den Zuleitungssträngen zur Einblasstelle. Die Einblastemperatur beträgt zu diesem Zeitpunkt 20.2 °C in Wohnung D, 21.2 °C in Wohnung A.
- Temperaturverlauf der Luft im Sommerbetrieb. Markant ist die Lufttemperaturabsenkung im Erdregister (von >30 °C auf ca. 22 °C). Das Fehlen eines WT-Bypasses hat eine merkliche Erwärmung zur Folge. Die Eintrittstemperatur von 23.5 °C ist trotzdem günstig.

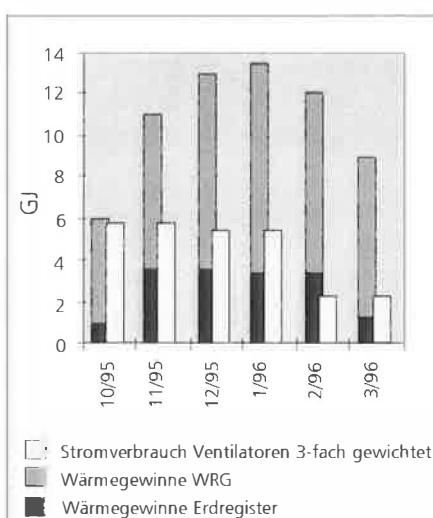
Elektrothermische Verstärkung

Zu Beginn der Heizperiode zeigte sich bereits, dass die Wärmerückgewinnung (WRG) nicht optimal eingestellt war. Das Ab-/Zuluft Massenstromverhältnis betrug lediglich ca. 0.65. Ferner wurde eine Leistungsaufnahme der Ventilatoren von ca. 1 kW ermittelt. Damit ergab sich pro Wohnung ein Betriebswert von deutlich über 50 Watt.

Mitte Januar 1996 wurden Ventilatoren und Antriebe ausgetauscht und der Abluftstrom erhöht. Mit diesen Massnahmen konnte der ETV-Wert (Verhältnis des thermischen Energiegewinns und der elektrischen Förderenergie) verdoppelt werden, so dass nun nach dieser Modifikation (über das Winterhalbjahr gemittelt) ETV-Werte von 8 bis 9 erreichbar sind (siehe Grafik links 2/96).



Elektrothermische Verstärkung (ETV) im Winterhalbjahr 95/96



Monatliche Energiegewinne im Winterhalbjahr 95/96 in GJ

Benutzerakzeptanz

Ziel dieser Befragungen war eine Aussage über die Beurteilung des Komforts und insbesondere der innovativen Elemente durch die Benutzer.

Art und Durchführung der Benutzerbefragung

Es wurde vom Messteam viel Wert darauf gelegt, die qualitativen Fakten der Messungen durch persönliche Befragungen bei den Benutzern zu ergänzen.

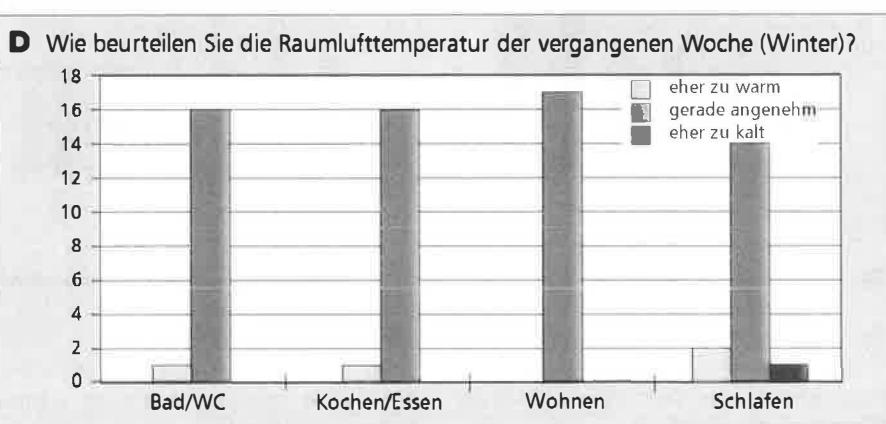
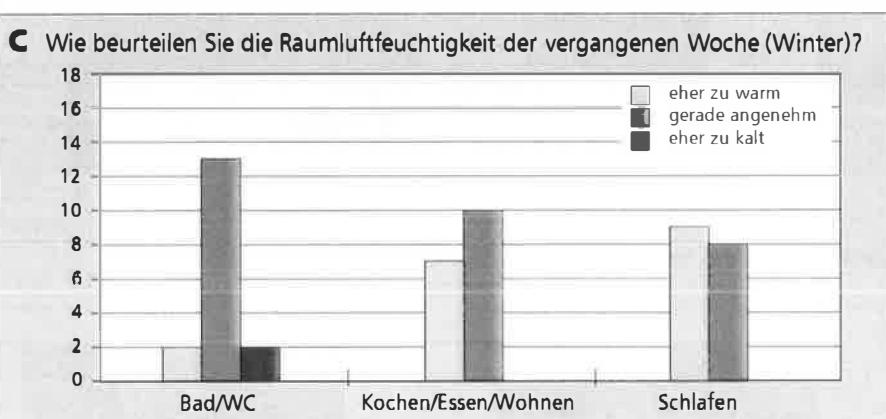
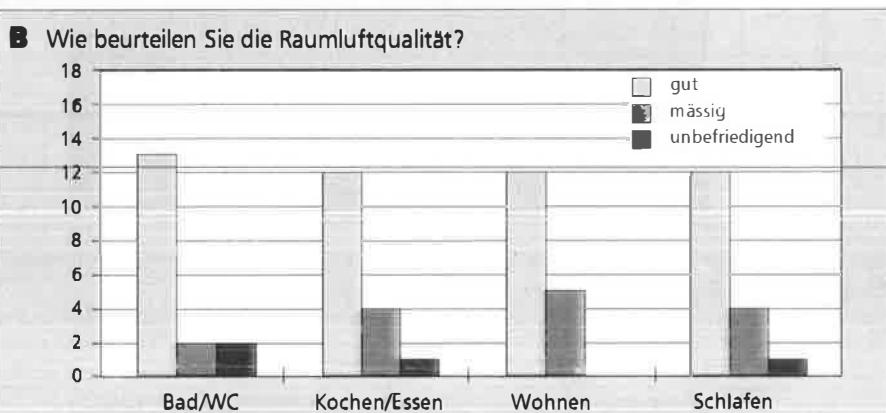
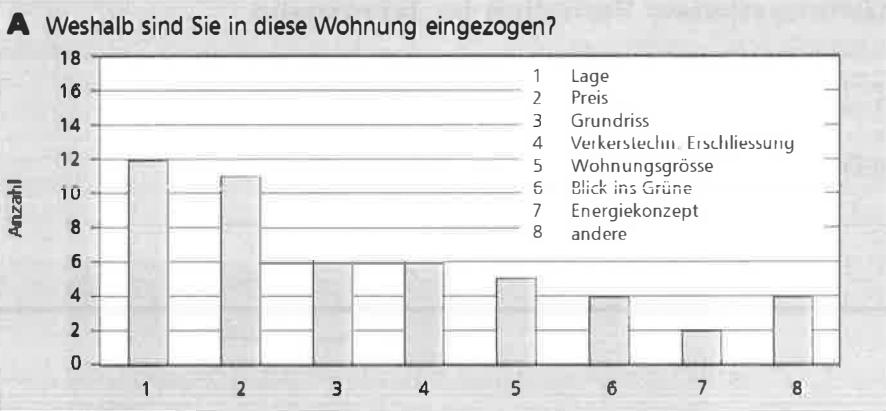
Ein Team (eine Architektin, ein Architekt) besuchte die Bewohner dreimal; im ersten Winter nach Bezug der Wohnung, im darauffolgenden Sommer und im Messwinter 95/96. Als Einstieg und Motivation wurde kurz nach Bezug der Wohnungen und vor der Benutzerbefragung eine Informationsveranstaltung organisiert, bei der die Funktion neuartiger technischer Einrichtungen erklärt und ein optimales Benutzerverhalten empfohlen wurde. Gleichzeitig wurde das gesamte Erfolgskontroll-Programm angekündigt.

Die Palette der Fragen bei den 3 Besuchen startete mit einer kurzen Erhebung der Benutzerdaten (Anzahl Bewohner, Aktivität etc.), mit Fragen zum gesamtheitlichen Komfort und endete schliesslich mit wenigen speziellen Fragen zu den innovativen Elementen wie Lüftung, Elektroverteilsystem.

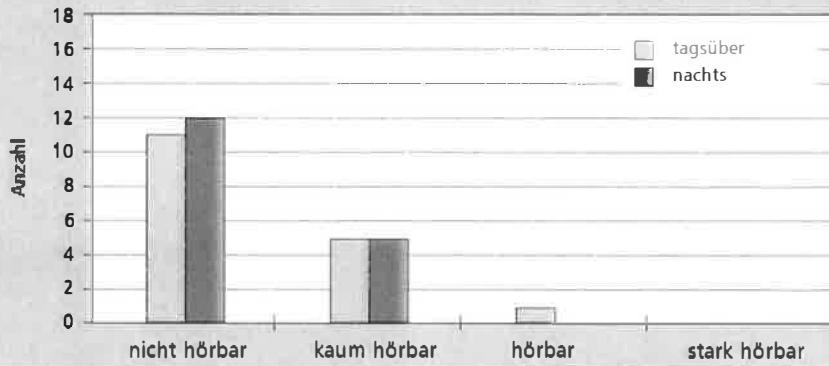
Anlässlich der Besuche wurden zur Abstützung resp. Bewertung der Bewohneraussagen auch kurzzeitige Messungen der Luftfeuchtigkeiten und Temperaturen in Wohnräumen ausgeführt. Auffallend war beim Vergleich zwischen Temperaturmessung und der entsprechenden Beurteilung durch die Bewohner, dass sich die Mehrzahl erst bei Temperaturen um 21 °C bis 22 °C wohl fühlt. Mit anderen Worten ausgedrückt wird die Kleidung so gewählt, dass diese Temperatur der Raumluft nötig ist. Ohne irgendwelche gesundheitlichen Beeinträchtigungen könnte der Optimumspunkt mit anderer Kleidung bei 20 °C liegen.

Es ist uns bewusst, dass die herausgegriffenen 8 Darstellungen ein unvollständiges Bild der Situation beschreiben. Die ausgewählten Befragungsresultate können von ihrer zeitlichen Gültigkeit folgendermassen eingestuft werden:

- Abb. A betrifft die erste Mietergeneration
- Abb. B, E und F sind nicht an eine Jahreszeit gebunden.
- Abb. C und D betreffen Winterverhältnisse
- Abb. G und H beziehen sich auf den Sommer



E Wie stark sind tagsüber bzw. nachts die Geräusche der Lüftungsanlage hörbar?

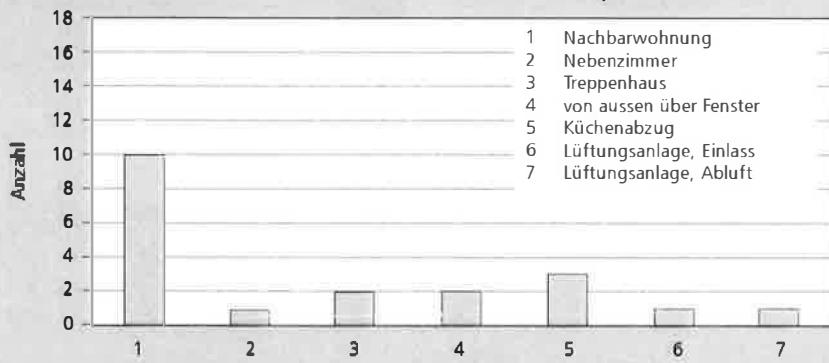


Kommentare zu Bildern Seite 10/11

A

Eine Darstellung der Motivation für die Wahl einer Wohnung in der Siedlung Hausäcker (Mehrfachnennungen möglich) zeigt eine typische Marktsituation. „Effekte“ des fortschrittlichen Bau- und Energiekonzeptes sind nicht erkennbar, zumal diese auch in der Ausschreibung nicht genannt waren.

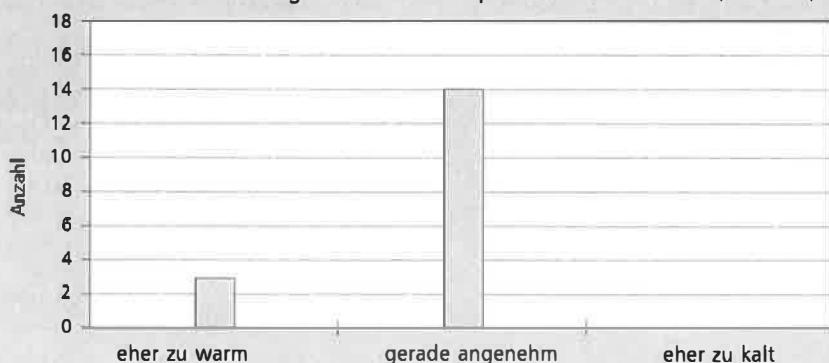
F Woher kommen die Geräusche, die Sie als störend empfanden?



B

Die Raumluftqualität wird im Winter und Sommer als relativ gut beurteilt, ohne allzu häufige „Sonderlüftung“ über Fenster, die nach wie vor möglich bleibt.

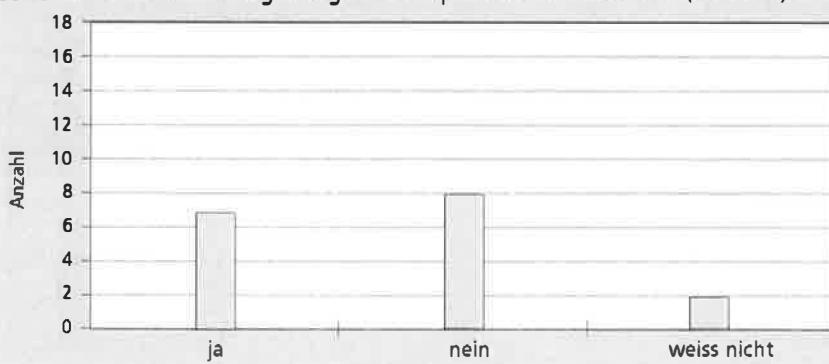
G Wie beurteilen Sie im allgemeinen die Temperatur der Raumluft? (Sommer)



C und D

Nach einer gewissen Anpassungsperiode bei der Heizungsregelung werden die winterlichen Raumlufttemperaturen mehrheitlich als angenehm, die Raumluftfeuchtigkeiten als angenehm bis eher zu tief empfunden. Die realen Messwerte zeigen im Durchschnitt Temperaturen gegen 22 °C und unbedenkliche Feuchtigkeiten zwischen 30 und 45 % r.F. im Winter.

H Beeinflusst die Lüftungsanlage die Temperatur der Raumluft? (Sommer)



E und F

Die Geräusche der Lüftungsanlage wurden lediglich von einer Person bemängelt. Nachbargeräusche sind jedoch weit störender. Einzig die Geräusche der Küchenventilatoren waren in den Essbereichen hörbar (Abb. F).

G

Die sommerliche Raumlufttemperatur wird als angenehm empfunden.

H

Die Bewohner sind sich nicht so richtig bewusst, ob die Lüftungsanlage kühl; jedenfalls ist die Beeinflussung (Kühleffekt in der Regel) unauffällig.



Spezielle Erkenntnisse für die erfolgreiche Planung, Erstellung und den Betrieb einer bedarfsgerechten Wohnungslüftung in einem Mehrfamilienhaus

Planung

- Ein frühzeitiges Gespräch der Beteiligten beim Planungsprozess ist unabdingbar. Dabci muss der Lüftungsplaner die Funktionsweise der Lüftungsanlage und das Zusammenwirken mit der Heizung klar darstellen, um das Gesamtkonzept sinnvoll zu gestalten.
- Die Kombination von belüfteten Wohnungen und dem unbelüfteten kaminartigen Treppenhaus, das je nach Jahreszeit oftmals forciert gelüftet wird, ist kritisch und bedarf besonderer planerischer Aufmerksamkeit.
- Das Lüftungskonzept muss nicht nur einen sinnvollen Gesamtluftwechsel, sondern auch örtlich genügende Zuluftströme liefern.
- Im „Schachtkonzept“ müssen die Zuluftrohre thermisch und räumlich so gut wie möglich von den „Hochtemperatur-Leitungen“, wie Heizungs- und Warmwasserleitungen getrennt werden.
- Tendentiell soll bei Quelllüftung die Zulufttemperatur eher zu tief als zu hoch geplant werden.

Ausführung

In der Ausführung haben sich im Projekt „Hausäcker“ folgende Planungsideen bestens bewährt:

- Die Art der Ausführung des Frischluftansaugturmes.
- Die Verlegung des Erdregisters in den Aushubkeil; einfache Kontrolle und unbedeutender Mehraushub.
- Die Service- und Reinigungsfreundlichkeit des Erdregisters, der Aufbereitungsanlage und der Lüftungskanäle.
- Die „intelligente“ Türzarge und der jederzeit mit allen Medien nachrüstbare Leitungssockel.

Weiter zu optimieren sind:

- Kombination von Lufteinführung und Heizung, passend für den Betrieb im gesamten Jahr.
- Die Überführung der genutzten Raumluft in die Korridorzone. Türe und Schwelle sind sinnvoll, wenn akustische Vorteile der absorbierenden Überströmöffnung genutzt werden sollen.
- Einfache Regelung der Zulufttemperatur und des Zuluftstromes in die Zimmer.

Inbetriebnahme und Betrieb

Die Abnahme der Bedarfslüftung erfordert wesentlich mehr Aufwand als allseitig vorgesehen war.

- Für die Mieter sind in der Regel diese Neuigkeiten weder bekannt, noch gewünscht und werden daher eher mit Skepsis beurteilt.
- Ein Verständnis für die Funktion der Lüftungsanlage ist von der Hausverwaltung, dem Hauswart und den Mietern für einen reibungslosen Betrieb unerlässlich. Bereits in der Wohnungsausschreibung muss auf die Vorteile der Lüftung (Sparen von Heizenergie, erhöhte Raumluftqualität etc.) aufmerksam gemacht werden, damit vermehrt interessierte Bewohner gefunden werden können.
- Die Heizkostenrechnung muss verständlich sein, damit der Bewohner sieht, wieviel seine Heizkosten unter dem Normalverbrauch einer herkömmlichen Wohnung liegen. Bei zu hohem Energieverbrauch sollte eine Beratung angeboten werden. Die Zuständigkeit für die Wartung der Lüftungsanlage muss klar geregelt sein.