Gesundheitliche Aspekte der Komfortlüftung

Werner Hässig, Basler & Hofmann Ingenieure und Planer AG, Zürich
Patrick Steinle, SUVA, Luzern
Pascal Fotsch, Basler & Hofmann Ingenieure und Planer AG, Zürich

Zusammenfassung

Moderne Komfortlüftungsanlagen sind heute sehr beliebt und werden immer häufiger in Wohnbauten eingebaut. Die komfort-, energietechnischen und bauphysikalischen Vorteile sind hinlänglich bekannt. Bis heute fehlten jedoch Angaben zur biologischen/chemischen Luftqualität und insbesondere zur Situation nach etlichen Betriebsjahren.

Die hier vorgestellten ersten Resultate einer Untersuchung zeigen den Konzentrationsverlauf zahlreicher relevanter Parameter entlang des Luftweges einer Komfortlüftung. Hauptergebnis der ersten Messkampagne ist, dass bei den vier ausgewählten Anlagen die Luftqualität überall gut ist. Es gibt keinerlei Hinweise, dass die Lüftungsanlagen selbst Quellen von Luftverunreinigungen sind. Im Gegenteil, in den Lüftungssystemen wurde Ozon teilweise abgebaut und Aussenluftkeime wie Schimmelpilzsporen und Bakterien wurden effizient abgeschieden. Diese Messungen werden unter anderen klimatischen Bedingungen im Sommer und Herbst 2002 wiederholt.

Zahlreiche Beteiligte aus der Privatindustrie und seitens öffentlicher Hand haben dieses Projekt ermöglicht. Ein Grossteil der Finanzierung wird vom Bundesamt für Gesundheit, BAG geleistet.

Summary

Today, modern ventilation systems for dwellings become more and more popular. There are advantages in terms of comfort, energy and building physics. Up today there are no facts about hygienic and health parameters available, especially concerning the situation after several years of operation. The present survey shows concentration figures of a number of relevant parameters along the path of the air in dwellings. All the figures have to be reconfirmed by successive measurements in summer and autumn 2002.

At this point it can be stated that in all four systems analyzed the air quality is excellent. There are no indications that the ventilation units itself could be a source of contamination. Ozone and mould fungus and bacteria have been reduced effectively.

Many stakeholders out of the private industry as well as from public institutions made this project possible. The project is mainly sponsored by Bundesamt für Gesundheit, BAG.

Einführung

Die heutigen dichten Gebäudehüllen ermöglichen einerseits, die Energie im Innern zu behalten, andererseits verunmöglichen sie aber, dass genügend Frischluft in die Gebäude dringt. Somit wird eine aktive Lüftung für Bauten notwendig.

Der Einbau einer Komfortlüftung ist eine zunehmend gefragte Möglichkeit den Luftaustausch automatisch sicherzustellen. Die energie- und bautechnischen Aspekte von Komfortlüftungen wurden schon eingehend untersucht und in zahlreichen Publikationen veröffentlicht.

Bezüglich gesundheitlichen/hygienischen wie auch ökologischen Aspekten der Komfortlüftung musste sich die Baupraxis bisher auf Erfahrungen und einschlägige Empfehlungen von Komponentenlieferanten abstützen.

Obwohl Komfortlüftungen gerade auch wegen gesundheitlichen Aspekten, wie Lärmschutz und der kontinuierlichen Schadstoffabfuhr eingebaut werden, wurde der Einfluss der Anlagen auf die Luftqualität mit deren Filtern und weitverzweigten Rohrsystemen bisher kaum detailliert untersucht.

Ziel

Die Untersuchungen sollen gesicherte Daten zu den gesundheitlichen und ökologischen Auswirkungen von Komfortlüftungen aufzeigen. Insbesondere sollen verschiedene existierende Systeme charakterisiert werden und an bestehenden Anlagen physikalische und biologische/chemische Parameter messtechnisch bestimmt werden. Im Zentrum der Untersuchungen stehen die Zuluftverteilsysteme. Die Veränderung der Luft vom Luftansaug bis in die Zimmer einer Wohnung soll erfasst werden. Erkenntnisse bezüglich spezifischem Wartungs- und Reinigungsbedarf, sowie für Optimierungsmöglichkeiten sollen gewonnen werden.

Vorgehen und Stand der Arbeiten

In einer ersten Phase wurden die wichtigsten auf dem Markt gebräuchlichen Systeme charakterisiert. Ein Zwischenbericht ist dazu unter "www.bhz.ch/publikationen" abrufbar.

Die zweite Phase, welche anfangs 2002 gestartet wurde, sieht drei Messperioden in je vier Wohngebäuden mit Komfortlüftungen vor. Die Ergebnisse der ersten Messperiode (März 02) liegen nun vor und sind Gegenstand dieses Berichts. Die Messungen von Ende August sowie Ende Oktober dienen der Erfassung von möglichen klimatisch bedingten Unterschieden.

Ergebnisse der Literaturrecherche (Phase 1)

Generell sind die skandinavischen Länder in den Bemühungen um Qualitätskriterien für den Innenraum allen anderen Ländern voraus. So stammen auch die ersten Arbeiten zum Thema Innenraumluftqualität und Lüftungssysteme aus Finnland, Norwegen, Schweden und Dänemark. (Quelle: Healthy Buildings 2000 in Espoo, Finnland)

Grundsätzlich gibt es drei Arten von Innenraumbelastungen: physikalische (z.B. Lärm, Feuchtigkeit, Partikel), chemische (z.B. VOCs) und biologische (z.B. Pilze, Allergene). Die physikalischen Parameter sind die am meisten und besten untersuchten Belastungen, dann folgen die chemischen und zum Schluss die biologischen. Dies mag unter anderem daran liegen, dass es für die chemischen und v.a. für die biologischen Kriterien noch wenig standardisierte Richtlinien und Verfahren gibt.

In Bluyssen (2000) sind die wichtigsten Resultate aus dem Projekt "Airless" zusammengefasst. Die folgenden Äusserungen beziehen sich alle auf Bluyssen (2000) und auf Roulet (2001).

- Wenn ein Lüftungssystem kontaminiert ist und die Innenraumluft zu belasten beginnt, hilft es nicht, den Luftstrom zu erhöhen, die Luft bleibt trotzdem belastet.
- Die Gründe für die auftretende Belastung sind meist mangelnder Unterhalt und daher mangelnde Sauberkeit der Anlage.
- Belastende Komponenten sind vor allem die Filter und evtl. die Leitungen
- Prinzipiell sei die Installation von lufthygienisch einwandfreien Lüftungsanlagen möglich.

Die Richtlinie 6022 des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI 6022) geht laut Projekt Airless am weitesten, was die Vorschriften und Anforderungen an mechanische Wohnungslüftungen betrifft. Im Projekt Airless wurden auch Strategien zur Planung und zum Unterhalt der Anlagen notiert – diese beruhen meist auf der erwähnten VDI-Richtlinie

Ein Schlagwort, das häufig erscheint, ist die Ionisation. Unter Ionisation versteht man das Entfernen oder Anbringen eines Elektrons aus der oder in die Atomhülle. Von Baubiologen wird das Vorhandensein von genügend, insbesondere negativen Ionen für ein gesundes Raumklima betont. Bei Komfortlüftungen stellt sich die Frage, ob und wenn ja in welcher Art diese die Ionisation der Luft beeinflusst. Zu diesen Fragen wurden noch keine verlässlichen Studien durchgeführt und es existieren keine wissenschaftlichen Messmethoden. Im Vergleich zu anderen (chemischen) Luftschadstoffen, wird der Luftionisation aber eine kleine Bedeutung zugemessen. Im Rahmen dieser Untersuchungen wird das vorhandene Wissen zusammengetragen und beschrieben.

Ergebnisse der Charakterisierung der Lüftungssysteme (Phase 1)

Aufgrund der bisherigen Planungserfahrung wurde ein umfangreicher Fragebogen ausgearbeitet, der an alle beteiligten Lüftungsfirmen versandt wurde. Dieser Fragebogen beinhaltete eine detaillierte Beschreibung des jeweiligen Lüftungssystems anhand eines konkreten Beispiels (Referenzgrundriss). Anhand der Antworten aus den Fragebögen konnte die systematische Übersicht über die technischen Daten der Lüftungsanlagen erstellt werden.

Auszug aus den Systemcharakterisierungen:

System:	**A**	**B**	**C**	**D**	**E**	**F**
Teilsystem:	ComfoTUBE/ MACOSY	HELIOS	PLUGGIT/ Tobler	SM-HEAG	Storkair/ MACOSY	Visionair/ Vescal
Querschnitt-Form	Rund	rund	oval	rund	rechteckig	rechteckig
Form Längsrichtung	Aussen gerippt; innen glatt	aussen gerippt; innen glatt	aussen gerippt; innen gerippt	aussen und innen glatt	aussen und innen glatt	aussen und innen glatt
Material	HD-PE weiss	PE schwarz	PE schwarz	HD-PE blau	PVC	Blech verzinkt
Innen-∅ [mm]	63	61.5	40 x 82	50	55 x 220	50 x 100
Aussen-∅ [mm]	75	75	50 x 92	56	57 x 222	50 x 100
mittl. Leitlänge AUL/ZUL [m]	25 / 6	20 / 9	25 / 7	50 / 16	25 / 5	k.A. / 14
Steifigkeit	flexibel	flexibel	flexibel	starr	starr	starr
mittl. Druck-verlust [Pa/m]	2.7	2.5	1.8 (20 m^3/h) - 3.8 (30 m^3/h)	1.7	0.2 (?)	k.A.
mittl. Geschw. [m/s] AUL/ZUL	1.1 / 2.7	2.8	1.8 / 2.9	2.83	1.1 / 2.7	k.A. / 1.2
Recycling-Anteil	93 %	0 %	k.A.	100 %	k.A.	k.A.
Verteilkasten (VK) Totzonen	Unbekannt	möglich	kaum	möglich	Unbekannt	kaum
VK mit Öffnung zugänglich	Unbekannt	ja	ja	erschwert	Unbekannt	erschwert

Ergebnisse der ersten Messungen an bestehenden Anlagen (Phase 2)

Die ausgewählten Systeme sollen anhand biologischer und chemischer Kriterien untersucht werden. Dabei stehen mikrobielle Verunreinigungen (Partikel) und chemische Stoffe im Zentrum. Unter anderem sollen die Langzeit-Auswirkungen von nicht (oder schlecht) gewarteten Systemen aufgezeigt werden. Die Luftqualität wird zu diesem Zweck an verschiedenen Stellen innerhalb eines Lüftungssystem festgestellt.

Eine umfassende Interpretation der Messergebnisse wird später, nach Vorliegen der Messreihen vom Sommer und Herbst erfolgen.

Aus einer Liste von 15 Objekten wurden folgende Anlagen für die Messungen gewählt:

A	Mehrfamilienhaus	ländlich	11-jährig	Metall-Rohre
B	Einfamilienhaus	ländlich	4-jährig	PE-Rohre
C	Mehrfamilienhaus	Agglom.	4-jährig	PE-Rohre, flexibel
D	Einfamilienhaus	Agglom.	6-jährig	PE-Rohre, flexibel, gerippt

Gemessen wurde generell an folgenden Messpunkten (vgl. auch Abbildung):

MP 1 Aussenluft, beim Ansaugstutzen
MP 2A Aussenluft nach allfälligem Luft-Erdregister (Objekte A und C)
MP 2B Zuluft nach Lüftungseinheit (Ventilator, Wärmetauscher, Filter)
MP 3 Lufteinlass Schlafzimmer
MP 4 Raumluft Schlafzimmer
MP 5 Abluft Badzimmer / WC (Häuser B und D)

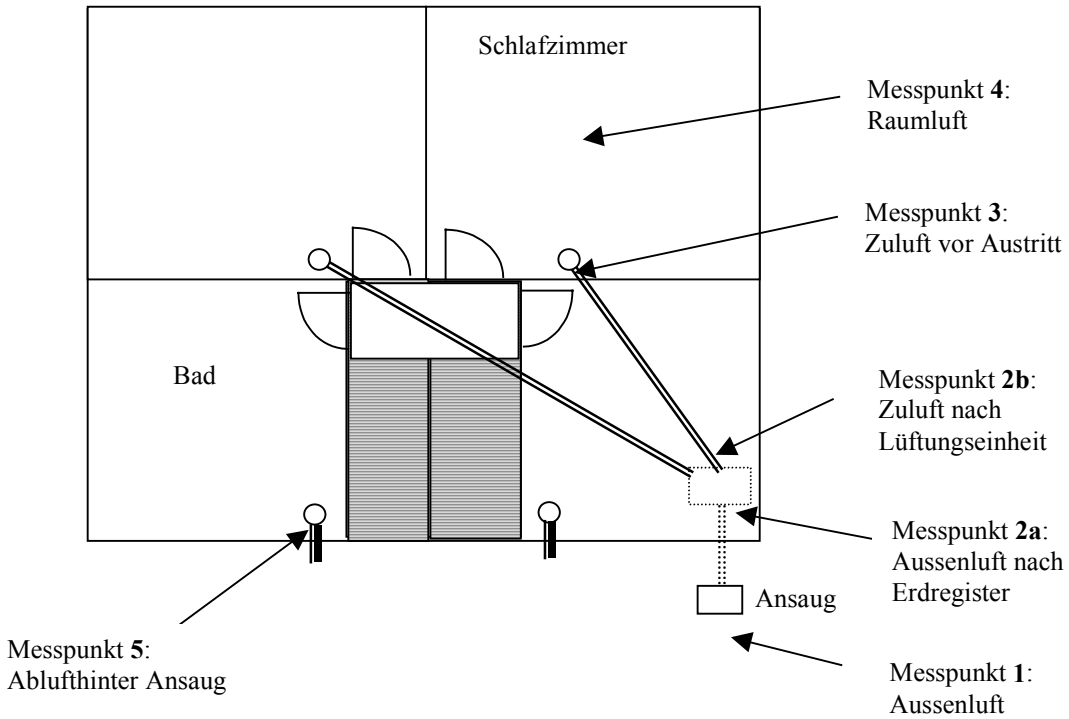

Abb. 1 Anordnung der Messpunkte in einem schematischen Wohnungsgrundriss (Messpunkt 2a wurde nur bei Objekten mit Lufterdregistern aufgenommen)

Messresultate der physikalischen Parameter

Die Raumlufttemperaturen zeigen mit rund 22°C einen heute allgemein üblichen Wert.

Die Raumluftfeuchtigkeiten sind in allen Objekten entsprechend der Jahreszeit tief, aber mit Werten über 30 % r.F. innerhalb der empfohlenen Werte.

Messresultate der chemischen und biologischen Parameter

In den folgenden Abbildungen sind für alle Parameter der Konzentrationsverlauf entlang des Luftwegs (vgl. Abb. 1) aufgezeigt. Von den meisten Parametern wurde jeweils der Mittelwert eines Vor- und Nachmittagswertes gebildet. Werte unter der Nachweisgrenze wurden als Null angegeben.

Alveolengängiger Staub

Die Konzentrationen von a-Staub waren generell sehr tief, teilweise gar unter der Nachweisgrenze. Allerdings war ein klarer Unterschied zwischen den ländlichen (Haus A und B) mit unter 10 µg/m^3 und den mehr städtischen Standorten mit etwa 20 µg/m^3 festzustellen. Für diese Feinststäube ist kaum eine Abtrennung in den Lüftungseinheiten feststellbar. Die Konzentrationen sind im Tagesgang ziemlich konstant.

Ozon (O_3)

An allen Messtagen (zwischen 18.3. und 3.4.02) herrschte sonniges Wetter. Die Ozonwerte in der Aussenluft waren entsprechend hoch (Jahresmittelwert liegt für die Region Zürich (1998) bei 44 µg/m$^{3)}$. Entlang des Luftwegs erfolgte ein signifikanter Konzentrationsabbau. Der geringe Ozonabbau bei Haus C ist auf die hohe Luftgeschwindigkeit (kurze Verweildauer in den Leitungen) zurückzuführen.

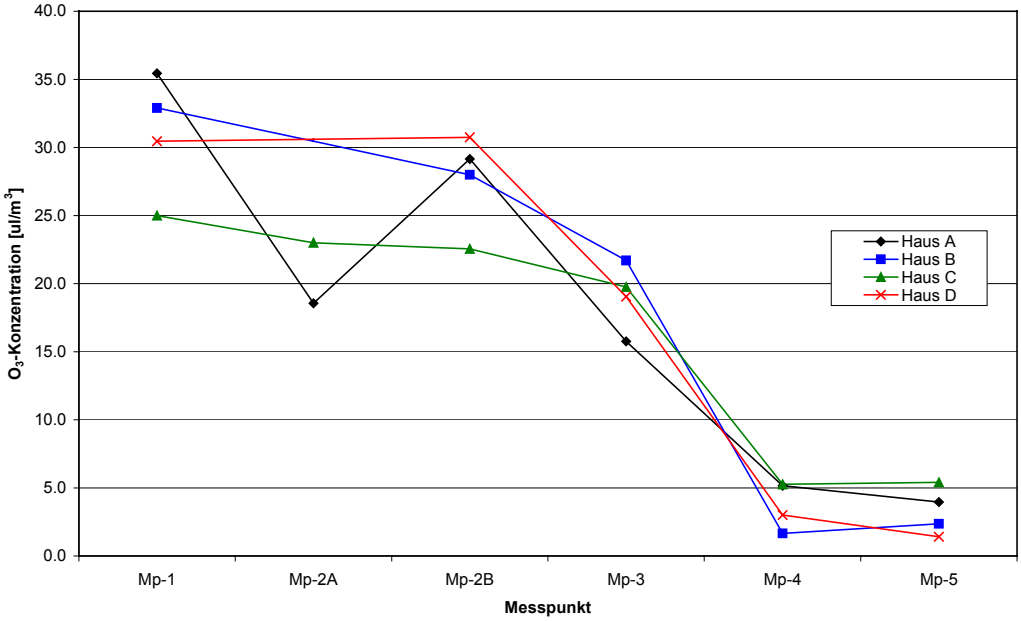

Abb. 2 Entlang des Luftwegs erfolgt bei allen Gebäuden ein signifikanter Ozon-Konzentrationsabbau

Stickoxide

Die Werte für NO und NO_2 verlaufen auf tiefem Niveau (zw. 5 und 13 ppb), ohne klaren Trend.

Kohlenmonoxid

Die CO-Konzentrationen lagen generell sehr tief, nahe der Nachweisgrenze. Obwohl CO als Aussenluftschadstoff gilt, wurde bei allen 4 Objekten ein Trend zu etwas höheren Innenkonzentrationen beobachtet.

Kohlendioxid

Die CO_2-Konzentrationen waren an den Messpunkten 1-3 konstant auf der Umgebungskonzentration von etwa 400 ppm. Im Innenraum stieg die Konzentration abhängig von der Lüfterleistung und der Belegung stark an. Mit rund 800 ppm sind die CO_2-Werte aber noch immer deutlich unter dem Komfort-Grenzwert von 1500 ppm.

Flüchtige organische Verbindungen (VOC)

Aufgrund eines systematischen Messfehlers (Silikon-Fugenkit bei den Messsonden) konnten nur beschränkte Aussagen gemacht werden. Insgesamt scheint es, dass durch die Komfortlüftung Luft mit ungefähr Umwelt-VOC-Konzentrationen in die Wohnungen eingetragen wird. Im Innenraum liegt die Konzentration, bedingt durch Reinigungsmittel, Kosmetika, etc., höher.

Endotoxine (Stoffwechselprodukte der Bakterien)

Die Endotoxin-Konzentrationen waren generell sehr tief. Der Verlauf ist weitgehend parallel zur Bakterienkonzentration. Eine gewisse Abscheidung in den Flitern kann festgestellt werden.

Bakterien

Bakterien sind in der Aussenluft wenig persistent. Hauptquelle im Wohnbereich ist der Mensch. Die hohen Konzentrationen im Innenraum sind durch die Messequipe (erhöhte Aktivität) verursacht. Die kleinere Konzentration im Haus C ist mit der höheren Luftmenge zu begründen. Ein Grossteil der Bakterien in der Aussenluft wird in den Filtern zurückgehalten.

Der Anteil der gramnegativen Bakterien an der Gesamtbakterienzahl schwankte relativ stark, ohne dass sich eine spezielle Systematik feststellen liess.

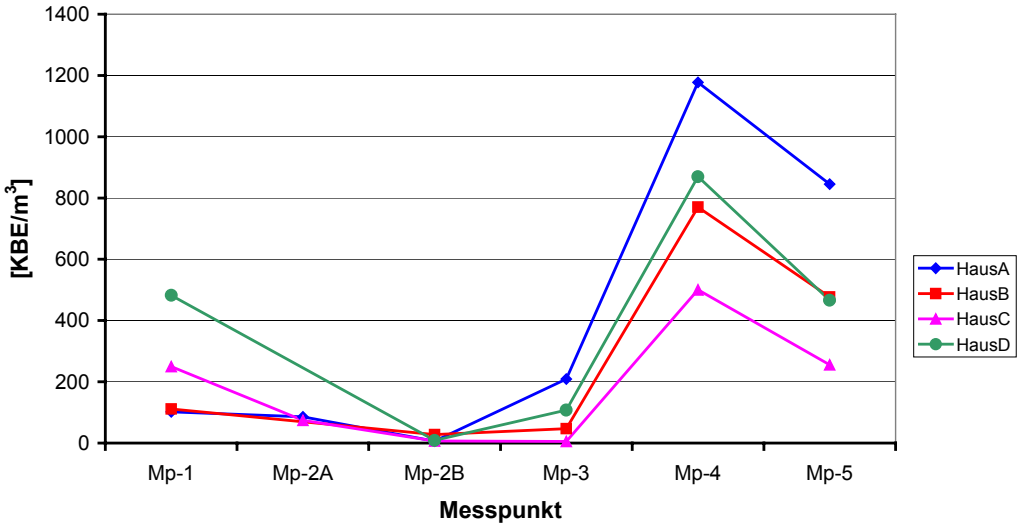

Abb. 3 Mittlere Bakterienkonzentration: klarer Anstieg im Innenbereich in Abhängigkeit von Luftmenge und Belegung; Abbau der Bakterienkonzentration im Luftverteilsystem

Schimmelpilzsporen

Schimmelpilzsporen kommen vor allem in der Aussenluft vor (Quelle: Pflanzen, Erde etc.) Die Aussenluftkonzentration war verglichen mit Literaturwerten mässig bis gering. Schimmelpilzsporen werden in den Filtern der Lüftungsgeräte effizient abgeschieden.

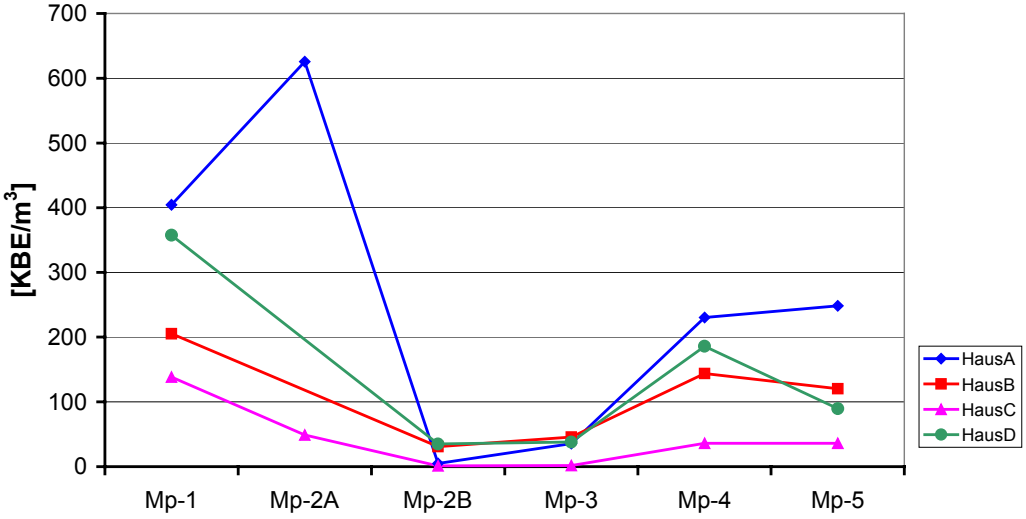

Abb. 4 Schimmelpilzsporen werden in den Filtern der Lüftungsgeräte effizient abgeschieden. Leichter Anstieg im Innenbereich durch Eintrag von Aussen (offene Türe / Menschen) oder interne Quellen wie z.B. Topfpflanzen

Zusammenfassende Erkenntnisse

Die im Frühling 2002 gemessenen Schadstoffkonzentrationen waren generell sehr tief. Das heisst, die Raumluftqualität ist generell gut. Zwischen verschiedenen Lüftungssystemen waren kaum Unterschiede feststellbar. Ausser eventuell bei den etwas weniger effizienten Filtersystemen der Einfamilienhäuser. Hingegen konnten einige Umgebungseinflüsse aufgezeigt werden (gewisse Kurzschlussströmung bei einem Objekt).

Es gibt keinerlei Hinweise, dass die Lüftungsanlagen selbst Quellen von Luftverunreinigungen sind. In den Lüftungssystemen wurde Ozon teilweise abgebaut und Aussenluftkeime wie Schimmelpilzsporen und Bakterien wurden effizient abgeschieden.

Ausblick und Dank

Jahreszeitliche Effekte sind insbesondere bezüglich den biologischen Parametern zu beachten. Entsprechend werden diese Messungen im Sommer und Herbst 2002 wiederholt. Gewisse messtechnische Verbesserungen werden ebenfalls angebracht.

Anfangs 2003 sollen die Gesamtergebnisse des Teils gesundheitliche Aspekte in einem Fachartikel publiziert werden.

Der Teil "ökologische Aspekte" wird im Frühjahr 2003 gestartet. Mit Hilfe neuster ökologischer Basisdaten der ETH (Ecoinvent 2000) sollen Istzustand sowie mögliche Optimierungen für charakteristische Lüftungssysteme aufgezeigt werden.

Projektabschluss des Gesamtprojektes ist für Ende 2003 vorgesehen.

Das Autorenteam möchte an dieser Stelle allen Beteiligten ganz herzlich für die konstruktive Zusammenarbeit danken.

Das Ingenieur- und Planungsbüro Basler & Hofmann hat zusammen mit dem Bundesamt für Gesundheit diese Untersuchung initiiert, welche von zahlreichen Firmen und Organisationen mitgetragen wird:

Beteiligungen am Teil "gesundheitliche Aspekte":

Bundesämter/Organisationen	**Kontakt**	**Adresse**
Bundesamt für Gesundheit	Herr R. Waeber	3003 Bern
Bundesamt für Wohnungswesen	Frau V. Steiner	2540 Grenchen
SUVA	Herr P. Steinle	6002 Luzern
UGZ der Stadt Zürich	Herr M. Dietschi	8035 Zürich
Verein MINERGIE (angefragt)	Herr F. Beyeler	3000 Bern 16
Clima Suisse	Herr B. Fischer	8024 Zürich

Beteiligungen am Teil "ökologische Aspekte":

Bundesämter/Organisationen	**Kontakt**	**Adresse**
Bundesamt für Energie	Herr M. Zimmermann	EMPA, 8600 Dübendorf
EWZ Stromsparfonds (angefragt)	Herr G. Dubacher	8050 Zürich
Clima Suisse	Herr B. Fischer	8024 Zürich

Beteiligte Firmen der Lüftungs-branche	**System**	**Adresse**
Basler & Hofmann	Planer	8029 Zürich
CompetAir GmbH	COMPETAIR	8800 Thalwil
Gebr. Tobler AG	PLUGGIT	8902 Urdorf
Helios Ventilatoren AG	HELIOS	8902 Urdorf
Macosy AG	STORKAIR/ COMFOTUBE	8807 Freienstein
SM-Heag AG	SM-HEAG	8307 Effretikon
Visionair/Vescal AG	SCHRAG	3084 Bern-Wabern

Organisation der Arbeiten: Eine Begleitgruppe mit Personen aus den beteiligten Organisationen begleitet die Arbeiten. Die Projektleitung liegt bei Werner Hässig. Die Messungen werden von Patrick Steinle und Pascal Fotsch durchgeführt. Frau Annick Lalive (Basler & Hofmann) ist zuständig für den Teil Ökologie.

Literatur

AIVC Conference 1999 *Ventilation and Indoor Air Quality in Buildings*. Proceedings, 20th Annual AIVC Conference, Edinburgh, Scotland, 1999

Bluyssen 2000 P. M. Bluyssen (Hrsg.), *AIRLESS, the publishable final report*. TNO Building and Construction Research, Contract JOR3-CT97-0171, Februar 2000

Healthy Buildings 2000 *Proceedings of Healthy Buildings 2000, Vol.2*. Conference in Espoo, Finnland. 6. – 10. August 2000

Roulet et al. 2000 C.-A. Roulet, F. D. Heidt, F. Foradini und M.-C. Pibiri, *Rendement réel de la récupération de chaleur dans les installations de ventilation des bâtiments*, LESO-PB, EPFL, 1015 Lausanne, Schweiz, 2000

VDI 6022 Verein Deutscher Ingenieure, VDI Richtlinie 6022, "Hygienische Anforderungen an Raumlufttechnische Anlagen", Blatt 1 (1998-07)- Büro- und Versammlungsräume; Blatt 2 (1999-12) - Anforderungen an die Hygieneschulung; in englisch; Beuth Verlag, Berlin