

Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 115 (1997)
Heft: 4

Artikel: Rezirkulations-Lüftungsanlagen: innovativer Einsatz von Elektro- und Aktivkohlefiltern
Autor: Müller-Lemans, Hans / Carlucci, Lucio
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-79193>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 06.02.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Hans Müller-Lemans, Sargans, Lucio Carlucci, Zürich

Rezirkulations-Lüftungsanlagen

Innovativer Einsatz von Elektro- und Aktivkohlefiltern

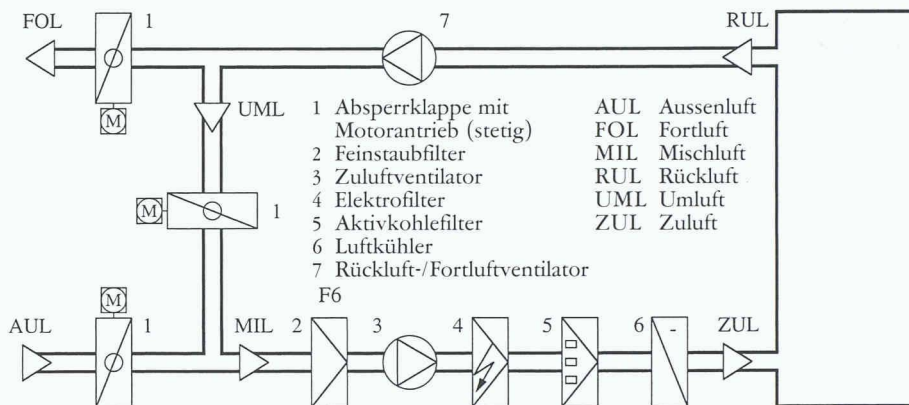
Die Anforderungen der Kunden an Lüftungsanlagen weisen drei wichtige Trends auf: Verringerung des Energieverbrauchs, Senkung der Investitions- und Betriebskosten sowie hochstehende Raumluftqualität. Im vorliegenden Beitrag soll aufgezeigt werden, dass sich mit einem innovativen Einsatz von Elektro- und Aktivkohlefiltern alle drei Wünsche erfüllen lassen. Die Aussagen stützen sich auf langjährige Erfahrungen mit rund 60 Lüftungsanlagen des neuen Typs (sogenannte Rezirkulationslüftungsanlagen) und auf die Resultate eines Forschungsprojektes, das mit Unterstützung des Nationalen Energie-Forschungs-Fonds (NEFF) der Schweizer Energiewirtschaft durchgeführt wurde [1, 2, 3].

Systembeschreibung

Übersicht

Rezirkulationslüftungsanlagen basieren auf dem Prinzip des Luftrecycling. Ihr Herz besteht aus einem System zur Luftaufbereitung, das einen Feinstaub-, einen Elektro- und einen Aktivkohlefilter umfasst (Bild 1). Sämtliche Luft durchströmt dieses System, bevor sie in die belüfteten Räume eintritt. Der Elektrofilter entfernt Schwebstoffe mit Durchmesser von etwa 40 µm bis unterhalb 0,01 µm. Bei korrektem Einsatz entspricht er etwa einem Feinstaubfilter der Klasse F9 und eliminiert namentlich auch einen hohen Prozentsatz der kleinen, lungengängigen Partikel, die von den üblicherweise eingesetzten Filtern (z.B. F6) nur mangelhaft zurückgehalten werden. Der Aktivkohlefilter (Bild 2) bindet eine breite Palette von Schadgasen und Geruchsstoffen. Dank dieser Luftaufbereitung kann man zur Wärmerückgewinnung das Verfahren der Umluftbeimischung einsetzen, ohne damit die Raumluftqualität zu beeinträchtigen.

Die Auslegung erfolgt nach den gleichen Verfahren wie in guten konventionellen Lüftungsanlagen. Deshalb ist der Zuluftvolumenstrom - unter gegebenen Randbedingungen - in den beiden Systemen in der Regel gleich gross. Der Unterschied besteht darin, dass er in konventionellen Lüftungsanlagen immer gleich dem



Aussenluftvolumenstrom ist, während er sich in Rezirkulationslüftungsanlagen aus einer temperaturabhängigen Mischung von Aussen- und Umluft zusammensetzt.

Das Prinzip dieser Lüftungsanlagen lässt sich mit folgendem Vergleich verdeutlichen: Um in einem Schwimmbad die gewünschte Wasserqualität zu gewährleisten, kann man entweder das abgeseugte Wasser jeweils zu 100% durch Frischwasser ersetzen, oder aber man bereitet das abgeseugte Wasser auf und mischt gerade soviel Frischwasser zu, wie zur Gewährleistung der Wasserqualität nötig ist. In analoger Weise wird in Rezirkulationslüftungsanlagen die Luft aufbereitet und dadurch der Aussenluftanteil vermindert, was sehr viel Energie und Kosten spart.

Funktion

Bei kalter Witterung erfolgt immer eine Umluftbeimischung. Der Aussenluft wird genau soviel Umluft beigemischt, dass sich die jeweils erforderliche Zulufttemperatur einstellt. (Die Zulufttemperatur ist variabel und richtet sich nach der gewünschten Raumlufttemperatur.) Im stationären Zustand wird dann durch die Fortluft gerade soviel Wärme aus dem Gebäude abtransportiert, wie in den belüfteten Räumen durch interne Lasten, Strahlungsgewinn usw. netto anfällt. Es wird also gerade die überschüssige Wärme abgeführt. Daher ist der Wärmebedarf der Lüftungsanlage null.

Das Zusammenspiel zwischen Lüftungs- und Heizungsregelung läuft wie folgt: Die Raumheizung wird gesperrt, sobald die Lüftungsanlage kalte Aussenluft ansaugt. Eine Ausnahme bilden vereinzelt Fälle mit ungewöhnlich hohen Fenster-

1
Prinzipschema einer typischen Rezirkulationslüftungsanlage. Dank der Luftaufbereitung mit einem dreistufigen Filtersystem kann man zur Wärmerückgewinnung das Verfahren der Umluftbeimischung einsetzen, ohne damit die Raumluftqualität zu beeinträchtigen. Die Luft durchströmt das Filtersystem in jedem Fall, auch bei warmer Witterung mit Verwendung von 100% Aussenluft

2
Ausschraubbare Patronen eines Aktivkohlefilters. Aktivkohle für die Luftreinigung wird aus Steinkohle, Kokosnussschalen, Holz und ähnlichen natürlichen Rohstoffen hergestellt. Nach abgelaufener Standzeit lässt man beim Filterlieferanten frische Aktivkohle in die Patronen einfüllen. Das verbrauchte Granulat kann regeneriert werden





3

Innenansicht des Restaurants Zollstube in Bad Ragaz. Dieses Lokal war eines der drei Objekte mit einer Rezykulationslüftungsanlage, die im NEFF-Projekt 544 eingehend untersucht wurden

Energiebezugsfläche	175 m ²
Nettogeschossfläche	119 m ²
Raumhöhe	2,6 m
Anzahl Sitzplätze	89
Baujahr der Lüftungsanlage	1989
Mittlere Zulufttemperatur	22°C
Zuluftvolumenstrom,	
0 h-9 h	0 m ³ /h
9 h-24 h	3000 m ³ /h
Betriebsdauer	340 d/a
Luftführung	Mischlüftung

4

Daten zur Charakterisierung des Restaurants Zollstube

flächen. Zur Verhinderung von Kaltluftabfluss (Zugerscheinungen) bleiben die Heizkörper bei diesen Fenstern - wie in konventionellen Anlagen - minim geöffnet bzw. werden in Funktion der raumseitigen Oberflächentemperatur der Fenster geregelt. Mit den Fortschritten in der Verwendung hochwertiger Wärmeschutzgläser verliert diese Ausnahme zunehmend an Bedeutung. Rezykulationslüftungsanlagen verursachen somit keinen Energie-diebstahl, d.h., die Energieeinsparung bei der Erwärmung der Aussenluft führt nicht zu einer Zunahme des Energieverbrauchs der Raumheizung.

Bei warmer Witterung erfolgt nicht immer Umluftbeimischung. Solange die Aussenluft kälter ist als die Rückluft, wird 100% Aussenluft verwendet. Wenn sie wärmer ist als die Rückluft, reduziert die Regelung den Aussenluftanteil auf 10 bis 15% und deckt den restlichen Teil des Volumenstromes mit Umluft. Dadurch sinken der Kältebedarf und die erforderliche Kühlleistung.

Einsatzbereiche

Rezykulationslüftungsanlagen eignen sich für ein breites Spektrum von Anwen-

dungen. Ausgeführt und mit Erfolg betrieben wurden sie bisher u.a. in folgenden Bereichen: Restaurant, Bar, Hotel, Kurhaus, Altersheim, Pflegeheim, Bibliothek, Einkaufszentrum, Mehrzweckhalle, Fitnessclub.

Grenzen des Einsatzbereiches bestehen in Chemiebetrieben und anderen Gebäuden mit einer starken Freisetzung von Schadstoffen, die durch Elektro- und Aktivkohlefilter nicht genügend eliminiert werden und sich deshalb in unzulässigen Konzentrationen akkumulieren könnten. Ebenfalls weniger geeignet sind standardmässige Rezykulationslüftungsanlagen für Räume mit hoher Luftfeuchtigkeit oder Fettdüsten in der Rückluft (z.B. Küchen), weil solche Bedingungen die Wirkung des Aktivkohlefilters beeinträchtigen könnten. Für diese Fälle existieren angepasste Rezykulationslüftungsanlagen.

Energie

Im erwähnten NEFF-Projekt wurden drei Rezykulationslüftungsanlagen untersucht (Vier-Stern-Hotel, Restaurant und Einkaufszentrum). Im folgenden werden die

Ergebnisse für das Restaurant vorgestellt (Bild 3). Daten zur Charakterisierung des Objektes finden sich in Bild 4. Das Prinzipschema der ausgeführten Lüftungsanlage ist gleich wie in Bild 1, ausser dass kein Luftkühler vorhanden ist. Mit Hilfe detaillierter Messungen und Auswertungen führten Ackermann et al. [1] einen Vergleich durch zwischen dem Energieverbrauch dieser Anlage und dem berechneten Energieverbrauch einer konventionellen Lösung mit Plattenwärmetauscher und gleichem Zuluftvolumenstrom. Die Resultate sind in Bild 5 zusammengefasst. Wie diese zeigen, ist mit Rezykulation der Wärmebedarf zur Erwärmung der Aussenluft null. Zudem lag in diesem Fall der Strombedarf der Ventilatoren 24% tiefer als bei der konventionellen Lösung, bedingt durch den geringeren Förderdruck (Bild 6).

Kosten

Investitionskosten

In der Stichprobe, die im NEFF-Projekt untersucht wurde, lagen die Investitionskosten bei den Rezykulationslüftungsanlagen um 7 bis 15% tiefer als bei den konventionellen Lösungen mit Plattenwärmetauscher. Bild 7 zeigt die Resultate für das Restaurant Zollstube.

Im Total war Rezykulation um 12% günstiger als die konventionelle Lösung. Elektro- und Aktivkohlefilter führen beim Monoblock jeweils zu Mehrkosten, doch wird dies durch verschiedene Einsparungen mehr als kompensiert: Wärmetauscher, Feinstaubfilter für die Rückluft sowie Einrichtungen zur Erwärmung der Aussenluft (Lufterhitzer, Wärmeerzeugung und Wärmeverteilung) sind nicht erforderlich. Zudem ist die Regelung einfacher und daher etwas günstiger als bei konventionellen Lösungen. Die Kosten für die

Art des Energieverbrauchs	Rezykulation [MWh/a]	Konventionell [MWh/a]
Wärmebedarf zur Erwärmung der Aussenluft	0	24
Strombedarf der Ventilatoren	6,0	7,9
Strombedarf des Elektrofilters	0,36	0

5

Vergleich zwischen dem Energieverbrauch einer Rezykulationslüftungsanlage und einer konventionellen Lösung mit Plattenwärmetauscher für das Restaurant Zollstube

Komponente	Rezykulation [Pa]	Konventionell [Pa]
Elektrofilter	120	-
Aktivkohlefilter	45	-
Wärmetauscher, Aussenluft	-	139
Wärmetauscher, Fortluft	-	139
Lufterhitzer	-	53
Feinstaubfilter für Rückluft	-	98
Übrige Komponenten	752	774
Förderdruck total	917	1203

6

Vergleich zwischen den Druckverlusten in einer Rezykulationslüftungsanlage und einer konventionellen Lösung mit Plattenwärmetauscher für das Restaurant Zollstube. Die aufgeführten Daten sind die Auslegungswerte

7

Vergleich zwischen den Investitionskosten für eine Rezykulationslüftungsanlage und eine konventionelle Lösung mit Plattenwärmetauscher im Restaurant Zollstube. Wenn nicht anders vermerkt, sind Transport und Montage in den Preisen inbegriffen

Energiepreise,	
Wärme	0,05 Fr./kWh
Strom	0,13 Fr./kWh
Stundenansatz	
für das Betriebspersonal	60 Fr./h
Filterstandzeiten*,	
Feinstaubfilter für Mischluft	6 Monate
Feinstaubfilter für Rückluft	6 Monate
Aktivkohlefilter	3 Jahre
Zeitabstand für Reinigung*,	
Elektrofilter	6 Monate
Wärmetauscher	6 Monate

*Werte für starke Belastung mit Tabakrauch usw.

8

Basisdaten zur Bestimmung der Betriebskosten

9

Vergleich zwischen den Betriebskosten für eine Rezykulationslüftungsanlage und eine konventionelle Lösung mit Plattenwärmetauscher im Restaurant Zollstube

Wärmeerzeugung bei der konventionellen Lüftungsanlage lagen hier mit 1000 Franken verhältnismässig tief. Der Grund besteht darin, dass im betrachteten Objekt eine grosse Anlage zur Wärmeerzeugung installiert ist (rund 500 kW), so dass eine Erhöhung der Heizleistung um die erforderlichen 13,8 kW für den Lufterhitzer nur wenig Mehrkosten verursachen würde.

Betriebskosten

Die Betriebskosten umfassen die Kosten für Energie, Material und Arbeit, die während des normalen Betriebs anfallen. Nicht darin enthalten sind der Kapitaldienst und die Unterhaltskosten. In den folgenden Berechnungen für das Restaurant Zollstube wurden die Angaben zum Energieverbrauch aus Bild 5 und die Basisdaten aus Bild 8 übernommen.

Bei der Beurteilung des Wärmepreises ist zu berücksichtigen, dass er sich auf kWh Nutzenergie bezieht. Weil beim Betrieb des Lufterhitzers durch dauernde Zirkulation hohe Bereitschaftsverluste auftreten können, liegt der Endenergiebedarf in der Regel wesentlich höher als der Nutzenergiebedarf. Deshalb ist der Wärmepreis

Kostenposition	Rezykulation [Fr.]	Konventionell [Fr.]
Monoblock	26 010	16 760
Luftverteilung,		
Kanäle	14 890	14 890
Armaturen	4 070	4 070
Regelung & Steuerung	7 690	8 000
Transport & Montage		
für obige Positionen	8 400	8 400
Wärmeerzeugung	0	1 000
Wärmeverteilung	0	12 500
Mehrkosten für		
Elektroinstallationen & Schaltschrankvergrößerung	0	4 000
<i>Zwischentotal</i>	<i>61 060</i>	<i>69 620</i>
Planerhonorar (12%)	7 330	8 350
<i>Total</i>	<i>68 390</i>	<i>77 970</i>

Kostenposition	Rezykulation [Fr./a]	Konventionell [Fr./a]
Energie,		
Wärmebedarf	0	1 220
Strombedarf der Ventilatoren	780	1 020
Strombedarf des Elektrofilters	50	0
<i>Total Energie</i>	<i>830</i>	<i>2 240</i>
Material,		
Feinstaubfilter	320	600
Aktivkohlefilter	320	0
Sonstiges Material	20	20
<i>Total Material</i>	<i>660</i>	<i>620</i>
Arbeit,		
Filterwechsel	50	30
Reinigung des Elektrofilters	160	0
Reinigung des Wärmetauschers	0	120
Sonstige Arbeit	120	120
<i>Total Arbeit</i>	<i>330</i>	<i>270</i>
<i>Total</i>	<i>1 820</i>	<i>3 130</i>

in Bild 8 eher tief bemessen, was sich in dem Vergleich zu Gunsten der konventionellen Lüftungsanlage auswirkte. Auch der verwendete Strompreis, der gegenüber anderen Orten in der Schweiz relativ tief liegt, führte in den Vergleichen zu einer Bevorzugung der konventionellen Lösung. Die Ergebnisse der Berechnungen sind in Bild 9 zusammengefasst.

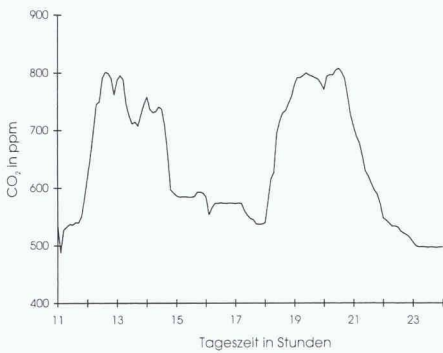
Die Betriebskosten ohne Energie (d.h. nur für Material und Arbeit) sind in den beiden Lüftungsanlagen nahezu gleich gross. Gesamthaft lagen die Betriebskosten im betrachteten Fall bei Rezykulation um 42% tiefer als bei der konventionellen Lösung. Die Einsparung wird durch den verminderten Energieverbrauch erzielt.

Luftqualität**Erfahrungen und Messungen**

Wie langjährige praktische Erfahrungen belegen, sorgen Rezykulationslüftungsanlagen für eine hochstehende Raumluftqualität. Die gelegentlich geäusserte Befürchtung, dass die Umluftbeimischung in den belüfteten Räumen zu einer

Aufzehrung des Sauerstoffes und zu einer gefährlichen Anreicherung von Kohlendioxid führen könnte, ist unbegründet und lässt sich schon durch einfache Berechnungen widerlegen [1]. Einer der besten Ausweise für die neuen Lüftungsanlagen sind die Vier- und Fünf-Stern-Hotels, in denen solche Anlagen zur Zufriedenheit der anspruchsvollen Kundschaft ihren Dienst erfüllen. Um die Raumluftqualität auch wissenschaftlich zu untersuchen, wurden im NEFF-Projekt detaillierte Messungen und Auswertungen durchgeführt. Die entsprechenden Arbeiten besorgten Dr. L. Carlucci und Prof. Dr. H.U. Wanner (Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie der ETH Zürich).

Untersucht wurden vier Zonen im «Grand Hotel Hof Ragaz» (Lounge, Wintergarten, Coiffure und Fitness) sowie das Restaurant Zollstube. Die Messungen erfolgten im Sommer (Mai 1993) und im Winter (Januar 1994) und umfassten folgende Parameter: Kohlendioxid, Lufttemperatur, relative Luftfeuchtigkeit, Luftqualität (d.h. oxidierbare Gase), Schwebstaub, Stickstoffdioxid und Kohlenwasserstoffe (Benzol, Toluol und Xylol).

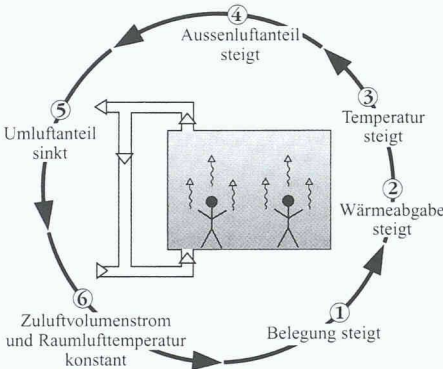


10

Tagesgang der Kohlendioxidkonzentration am 15. Januar 1994 im Restaurant Zollstube. Der Verlauf widerspiegelt die Gästefrequenz mit Spitzenwerten über Mittag und am Abend. Der jeweils rasche Abfall der Konzentration nach dem Gästeansturm weist auf eine gute Durchlüftung hin. Der Zuluftvolumenstrom lag bei $34 \text{ m}^3/\text{h}$ pro Person (Bild 4), wobei sich der Aussenluftanteil zwischen 56 und 75% bewegte

11

Selbstregulation der Versorgung mit Aussenluft in Rezirkulationslüftungsanlagen bei kalter Witterung: Wenn die Belegung der Räume ansteigt, nehmen auch die internen Wärmelasten zu. Um die gewünschte Raumlufttemperatur beizubehalten, muss deshalb die Lüftungsanlage den Aussenluftanteil erhöhen. Je dichter die Gebäudehülle und je besser die Wärmedämmung, desto wirkungsvoller ist dieser Rückkoppelungsmechanismus



Die Kohlendioxidkonzentrationen lagen immer deutlich unter der empfohlenen Obergrenze von 1500 ppm. Sobald die Räume nicht mehr belegt waren, sanken die Konzentrationen rasch ab, was auf eine effiziente Durchlüftung der Räume hinweist (Bild 10). Die Staubmessungen im Restaurant Zollstube ergaben weniger als $0,1 \text{ mg}$ Staub pro m^3 Luft. Dies entspricht einer geringen Belastung.

Die Resultate zeigten generell eine vorzügliche Raumluftqualität. Es bestehen keine Nachteile gegenüber Räumen mit einer konventionellen Lüftungsanlage. Im Gegenteil ist bei der heutigen Luftverschmutzung eine korrekt aufbereitete Mischluft oft besser als die Aussenluft und kann daher insbesondere für empfindlichere Bevölkerungsgruppen vorteilhaft sein (z.B. für Kranke, Asthmatiker, Staub- und Pollenallergiker und ältere Personen).

Die Räume waren zur Zeit der Messungen durchschnittlich (und damit gut) belegt. Dass auch bei noch stärkerer Belegung - bzw. tieferer Aussenluftmenge pro Person - eine gute Luftqualität gewährleistet ist, zeigten die Sommermessungen im Restaurant Zollstube. Obwohl in den Tagen der Messung die Lüftungsanlage irrtümlich mit 100% Umluft lief, lagen selbst die Maximalwerte der untersuchten Schadstoffkonzentrationen deutlich unter den Grenzwerten. Dies ist ein klarer Hinweis auf die Wirksamkeit der Filterstufen in der betrachteten Rezirkulationslüftungsanlage. Die Resultate belegten zudem, dass die unvermeidlichen Luftströmungen beim Öffnen der Türen (durch

kommende und gehende Gäste) für einen genügend grossen Nachschub an Aussenluft sorgen. Dieser Luftaustausch reichte offensichtlich, um auch Stoffe, die in den Filterstufen nicht eliminiert werden (z.B. CO_2), in ausreichendem Mass abzuführen.

Lufthygienisch relevante Rückkoppelung

In normal laufenden Rezirkulationslüftungsanlagen trägt bei kalter Witterung zudem noch folgender Rückkoppelungsmechanismus zur Versorgung mit Aussenluft bei: Wenn die Belegung der Räume ansteigt, nehmen auch die internen Wärmelasten zu. Um die gewünschte Raumlufttemperatur beizubehalten, muss deshalb die Lüftungsanlage den Aussenluftanteil erhöhen. Auf diese Weise verursacht der Mensch automatisch eine Anpassung der Aussenluftmenge (Bild 11).

Die Wärmeabgabe pro Person beträgt rund 100 W. Damit vermag der Mensch sogar im tiefen Winter rund dreimal mehr Aussenluft auf Raumlufttemperatur zu erwärmen, als er zur Deckung seiner physiologischen Grundbedürfnisse effektiv braucht [1]. Wenn man noch Beleuchtung, Büromaschinen usw. einrechnet, wird verständlich, dass in den meisten Anwendungen die internen Wärmelasten genügen, um die den Räumen durch die Lüftung entzogene Wärme zu ersetzen, selbst bei einer Aussenluftmenge, die gemessen an der Belegung reichlich ist. Deshalb ist es mit Rezirkulationslüftungsanlagen unter schweizerischen Klimaverhältnissen und bei den heute üblichen Gebäudehüllen in der

Regel problemlos möglich, den Wärmebedarf zur Erwärmung der Aussenluft auf null zu reduzieren und gleichzeitig eine hochstehende Raumluftqualität zu gewährleisten.

Schlussfolgerungen

Rezirkulationslüftungsanlagen basieren auf dem Prinzip des Luftrecycling. Ihre Merkmale sind die Beimischung von Umluft und die Aufbereitung der Mischluft (d.h. Aussenluft plus Umluft) mit einem Feinstaub-, einem Elektro- und einem Aktivkohlefilter.

Wie in einem NEFF-Forschungsprojekt mit umfangreichen Untersuchungen an drei Pilotanlagen gezeigt werden konnte, reduziert sich in Rezirkulationslüftungsanlagen der Wärmebedarf zur Erwärmung der Aussenluft auf null. Weniger ausgeprägt, aber immer noch beachtlich sind die übrigen Energieeinsparungen: In der behandelten Stichprobe lag der Kältebedarf etwa 10% tiefer als bei konventionellen Lösungen mit Plattenwärmetauscher, und der Strombedarf der Ventilatoren lag je nach Auslegung rund 5 bis 25% tiefer, bedingt durch die geringeren Druckverluste.

Trotz Energieeinsparung ist das neue Lüftungssystem in Anschaffung und Betrieb günstiger als konventionelle Lösungen. Der Monoblock ist wegen des Elektro- und Aktivkohlefilters jeweils etwas teurer, doch entfallen dafür die Kosten für eine Reihe anderer Komponenten (Plattenwärmetauscher, Lufterhitzer, Wärmeerzeugung, Wärmeverteilung usw.). Gesamthaft lagen die Investitionskosten in der behandelten Stichprobe um 7 bis 15% tiefer und die Betriebskosten um 28 bis 42% tiefer als bei konventionellen Lösungen. Die Einsparungen in den Betriebskosten werden durch den verminderten Energieverbrauch erzielt.

Nach den Messungen des Institutes für Hygiene und Arbeitsphysiologie der

Literatur

[1] Ackermann, M., Cavigelli, I., Kalberer, F., Müller-Lemans, H.: Energiesparen in Lüftungs- und Klimaanlage durch Luftaufbereitung mit Elektro- und Aktivkohlefiltern. Schlussbericht zum NEFF-Projekt 544, Nationaler Energie-Forschungs-Fonds (NEFF), Basel, 1995.

[2] Weber, R.: Lüftungs- und Klimaanlage: Verstärkter Trend zum Luft-Recycling. Haus Tech, 1995, 8 (4), 59-61.

[3] Weber, R.: Umluftbeimischung: energiesparend, hygienisch und billiger! Heizung und Lüftung, 1996, 63 (2), 25-30.

ETH Zürich sorgt das untersuchte Lüftungssystem für eine ausgezeichnete Raumluftqualität. Damit erfüllt es die hohen Anforderungen an das wichtige «Lebensmittel» Luft.

Langjährige Erfahrungen mit rund 60 Rezirkulationslüftungsanlagen erhärten die Ergebnisse des NEFF-Projektes und belegen, dass diese Anlagen die drei einleitend genannten Kundenwünsche über-

zeugend erfüllen: Verringerung des Energieverbrauchs, Senkung der Investitions- und Betriebskosten sowie hochstehende Raumluftqualität.

Adressen der Verfasser:

Hans Müller-Lemans, Tergeso AG, Stadterwingert 4, 7320 Sargans, *Lucio Carlucci*, Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie, ETH-Zentrum, 8092 Zürich, sowie *Idiag Umwelthygiene*, Chriesbaumstr. 6, 8604 Volketswil

Die Mitautoren

Der vorliegende Beitrag bildet das Resultat einer intensiven Zusammenarbeit verschiedener Stellen. Folgende Personen verdienen es, als Mitautoren aufgeführt zu werden:

- *Ignaz Cavigelli* (F. Kalberer & Partner AG, Scalettastrasse 145, 7000 Chur)
- *Felix Kalberer* (F. Kalberer & Partner AG, Zürcherstrasse 14, 7320 Sargans),
- *René Kläy* und *Hans Schlegel* (Camfil AG, Zugerstrasse 88, 6314 Unterägeri)

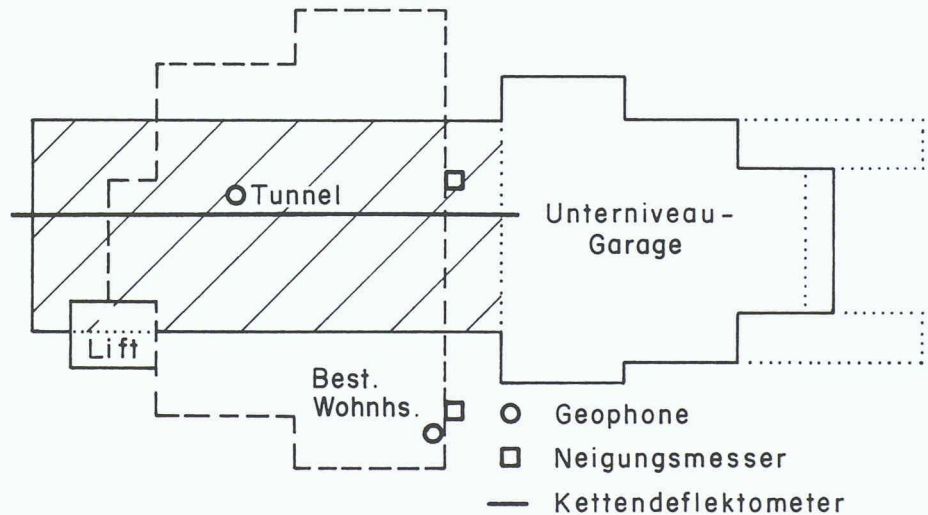
Pirmin Mader, Roger Wälchli, Zürich

Hausuntertunnelung

Der schwierige Baugrund, die geringe Überdeckung und die im Verhältnis zum bestehenden Gebäude grosse Tunnelbreite boten zusammen mit den im Untergeschoss des Gebäudes installierten hochempfindlichen Computersystemen, deren Betrieb keinesfalls beeinträchtigt oder gar unterbrochen werden durfte, einige Probleme. Durch den Einsatz einer automatischen Überwachungsanlage konnten die Risiken aber jederzeit unter Kontrolle gehalten werden.

Die bisher nur über eine Aussentreppe erreichbare Villa sollte neu mit einem Vertikallift erschlossen und um eine Unterniveaugarage erweitert werden. Für die Verbindung der beiden Neubauteile war die Untertunnelung des bestehenden Gebäudes notwendig (Bild 1). Damit zusätzliche Räumlichkeiten für Archive erstellt werden konnten, wurde ein grosser Tunnelquerschnitt gewählt. Als mögliche Gefahrenquellen während der Ausführung standen starke Erschütterungen, Setzungen bzw. Hebungen sowie horizontale Verschiebungen im Vordergrund. Die Nutzung des bestehenden Gebäudes durfte durch die Bauarbeiten nicht eingeschränkt werden, insbesondere musste eine Behinderung oder gar ein Ausfall der permanent in Betrieb stehenden EDV-Anlage in den Büros unter allen Umständen verhindert werden.

Um eine Gefährdung möglichst frühzeitig erkennen zu können, wurde deshalb eine automatische Überwachungsanlage installiert. Die Messzentrale auf der Baustelle bestand aus einem Datenkontrollgerät mit einem PC, an der die folgenden Sensoren angeschlossen waren:



1
Situation mit Anordnung des Überwachungssystems

- zwei an der Hausfassade installierte, biaxiale Neigungsmessgeräte (temperaturkompensiert) zur Feststellung von Verkippungen des Gebäudes
- ein Erschütterungsmessgerät mit je einem Schwingungsaufnehmer im UG und im 1. OG des Gebäudes
- ein Kettendeflektometer im Rohrschirm über dem Tunnelscheitel zur Messung der Setzungen und Verschiebungen im Boden in Funktion des Tunnelvortriebes

In 10-Sekunden-Intervallen wurden die Werte abgefragt und mit vorgegebenen Alarmwerten verglichen. Alle 30 Minuten erfolgte eine Speicherung der Messwerte und bei einer Überschreitung der Alarmwerte wurde auf der Baustelle ein Warnsignal eingeschaltet. Via Modem konnte die Bauleitung die Daten numerisch und graphisch abfragen und die Ursache der Überschreitung ermitteln,

was die sofortige Einleitung von allenfalls notwendigen Massnahmen und damit eine rasche Fortsetzung der eingestellten Arbeiten ermöglichte.

Erschliessung und Baugrube

Die bis zu sieben Meter tiefe, gespriesste Baugrube begann 1,70 m vor der Hausfassade und reichte seitlich bis an die Grundstücksgrenze. Das Bohrgerät für das Versetzen der Rühlwandträger musste mit einem Autokran auf das Bohrplanum vor der Haustüre gehoben werden. Während der Bohrarbeiten wurde das Haus mit einem flexiblen Staub- und Spritzschutz versehen. Unter wenig Gehängelehm und verwittertem Mergelfels trafen die Bohrungen einen recht harten Sandsteinfels mit bis zu 10 cm weiten, offenen Klüften an. Die fertiggestellte Baugrube diente einerseits als Startplatz für den Tunnelvortrieb und andererseits auch als Umschlags-