

**Zeitschrift:** Schweizer Ingenieur und Architekt  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 110 (1992)  
**Heft:** 42

**Artikel:** Bedarfsgeregelte Lüftung in Räumen verschiedener Nutzung und Belegung  
**Autor:** Fehlmann, Jürg / Wanner, Hans-Urs  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-77970>

### **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:** 16.03.2025

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

schränkenlos sein darf. Neben den drei klassischen Gewalten, die die Basis eines modernen und geordneten Staatswesens bilden – der Legislative, der Exekutive und der Judikative –, und der vierten Gewalt, die sich mittlerweile im Staate breitmacht, den Medien, beginnt sich hier doch in aller Stille eine fünfte Gewalt zu etablieren, die mit einem Federstrich über die Befindlichkeit des Landes, seiner Wirtschaft und seiner Bürger beschliessen kann. Dr. Lusser

vermag allein Entscheide zu fällen, die der gesamte Bundesrat in corpore kaum zuwege bringen würde. Und es gibt trotz unserer ausgefeilten demokratischen Staatsorganisation, deren Ausmass sogar den Beitritt zur EG nicht ertragen soll, offenbar keine Möglichkeit, darauf einzuwirken.

Mit allen Konsequenzen, wie wir inzwischen erfahren haben. Unter den Parlamentariern, die unser Volk in Bern vertreten, finden sich auch einige SIA-Mit-

glieder. Vielleicht ist darunter einmal ein Kollege, der diese Zusammenhänge erkennt und, statt der heute üblichen Symptombekämpfung neue Vorschläge hinzuzufügen, die Notwendigkeit der Ursachen für die gegenwärtige Krise zur Abwechslung grundsätzlich in Frage stellt?

Adresse des Verfassers: Hans B. Barbe, dipl. Ing. ETH/SIA, Susenbergstrasse 152, 8044 Zürich.

## Bedarfsgeregelte Lüftung in Räumen verschiedener Nutzung und Belegung

**Die aus energetischen Gründen erwünschte hohe Dichtigkeit der Gebäudehüllen kann zu raumklimatischen und lufthygienischen Problemen führen. Büro- und Industriebauten werden heute vermehrt mit raumlufthechnischen Anlagen (RLT-Anlagen) ausgestattet. Durch eine bedarfsgerechte Steuerung dieser Anlagen lassen sich erhebliche Energiemengen einsparen. In Wohnbauten ohne RLT-Anlagen können Luftqualitätsprobleme durch entsprechendes Verhalten der Bewohner weitgehend vermieden werden.**

### Problemstellung

Mit dem heutigen Stand der Bautechnik erreichen die Gebäudehüllen ein aus energetischen Gründen erwünschtes

VON JÜRGEN FEHLMANN UND  
HANS-URS WANNER,  
ZÜRICH

hohes Mass an Dichtigkeit. Dies hat zur Folge, dass das Raumklima in zunehmender Weise vom Aussenklima abgeschottet wird. Vor allem der durch Ritzen und Fugen erfolgende Austausch von «verbrauchter» Raumluft durch «frische» Aussenluft wird damit weitgehend unterbunden. Neu erstellte oder energietechnisch sanierte Wohnbauten ohne mechanische Ventilationseinrichtungen erreichen heute zum Teil kaum messbar kleine Luftwechsellraten. Aus hygienischen Gründen werden deshalb in Zukunft mechanische Lüftungsanlagen in nahezu allen Gebäudetypen (Büro- und Verwaltungsbauten, Industriebauten, Wohnbauten) an Bedeutung gewinnen.

Die klimatischen Bedingungen, die mechanische Lüftungsanlagen in den verschiedenen Gebäudetypen zu schaffen haben respektive hätten, hängen stark von der Raumnutzung sowie der Belegung ab. So sind die entsprechenden Anforderungen an das Raumklima und

die Luftqualität in Büros verschieden von den Anforderungen in einem Restaurationsbetrieb oder in einem Versammlungsraum und nochmals verschieden von denjenigen in einem Wohn- oder Schlafzimmer einer Wohnung. Die heute auf dem Markt vorhandene Vielfalt an verschiedenen Anlagensystemen älteren und jüngeren Datums versuchen diesem Umstand Rechnung zu tragen. In den letzten Jahren ist dazu noch das Bestreben eines möglichst optimalen Einsatzes der dazu verbrauchten Energie gekommen.

Das zentrale Ziel, welches es anzustreben gilt, ist also die Schaffung optimaler raumklimatischer und lufthygienischer Bedingungen für ein Maximum an Wohlbefinden bei verschiedenen Raumnutzungen und Tätigkeiten mit einem Minimum an Energieverbrauch.

Maximales Wohlbefinden bei gleichzeitig minimalem Energieaufwand scheinen auf den ersten Blick zwei miteinander weitgehend unvereinbare Forderungen zu sein. In Form eines Optimierungsprozesses, der zurzeit im Gange ist und vor allem durch technische Neuentwicklungen (zum Beispiel bedarfsgeregelte Lüftung) bestimmt wird, soll die scheinbare Unvereinbarkeit überwunden werden. Es muss an dieser Stelle jedoch besonders hervorgehoben werden, dass unter Umständen der Einbau einer raumlufthechnischen Anlage (RLT-Anlage) nicht in allen Fällen das

«Ei des Kolumbus» sein muss. Dies deshalb, weil RLT-Anlagen unter Umständen auch zu unbefriedigenden raumklimatischen und lufthygienischen Verhältnissen führen können.

Zu den oben umrissenen Problemkreisen wurden folgende Fragestellungen formuliert:

### Untersuchungen mit einer bedarfsgeregelten Lüftungsanlage in einem Hörsaal

1. Können RLT-Anlagen in Räumen mit lediglich periodischer und/oder stark variabler Belegung energiesparender und bedarfsgeregelte betrieben werden?
2. Wieviel Energie kann durch eine bedarfsgeregelte Lüftungsanlage gegenüber einer mit einer Zeitschaltung gesteuerten Anlage eingespart werden?
3. Welches sind die Anforderungen an eine bedarfsgeregelte RLT-Anlage und welche raumklimatischen und lufthygienischen Parameter können für die Steuerung der Anlage benutzt werden?

### Untersuchungen in Wohnungen

1. Wie beeinflusst das Lüftungsverhalten der Bewohner das Raumklima und die Luftqualität in gut abgedichteten Wohnungen ohne raumlufthechnische Anlagen?
2. Wie kann in solchen Wohnungen eine ausreichende Luftqualität und ein behagliches Raumklima sichergestellt werden und welches sind die Mindestanforderungen an den Luftaustausch?
3. Eignen sich moderne RLT-Anlagen auch für eine Anwendung in Wohnbauten?

### Bedarfsgeregelte Lüftung in einem Hörsaal

In Räumen mit variabler und/oder lediglich periodischer Belegung sollte die Aussenluftzufuhr den hygienischen Er-

Betriebszustand der Lüftung	CO <sub>2</sub> -Konzentration	Lufttemperatur
1. Stufe ein	> 750 ppm	> 27 °C
2. Stufe ein	> 1300 ppm	> 28 °C
2. Stufe aus	< 1100 ppm	< 27 °C
1. Stufe aus	< 600 ppm	< 26 °C

Tabelle 1. CO<sub>2</sub>-Grenzkonzentrationen und Grenztemperaturen für die Steuerung der Lüftungsanlage

forderungen im Raum angepasst werden (Bedarfsregelung). Dadurch wird verhindert, dass ein unbesetzter Raum unnötigerweise mit einer auf eine theoretische Maximalbelegung ausgerichteten Menge – energieaufwendig aufbereiteter – Aussenluft versorgt wird. Dabei stellt sich die Frage nach einer einfach messbaren, vom Menschen an die Raumluft abgegebenen Gaskomponente, die als Indikator für die Luftqualität herangezogen werden kann. Zudem müssen in Zukunft Messgeräte vorhanden sein, die einerseits preisgünstig sind und andererseits genügend genau messen sowie wartungsarm im Betrieb sind.

### «Messung» der Raumluftqualität

Mit einem eigens für raumklimatische und lufthygienische Untersuchungen geschaffenen Fragebogen wurden in Hörsälen bei gleichzeitiger Messung der Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>)-Konzentration Befragungen durchgeführt. Diese Befragungen ergaben einen deutlichen Zusammenhang zwischen dem gemessenen CO<sub>2</sub>-Gehalt der Raumluft und der Beurteilung derselben durch die Rauminsassen. Der Korrelationskoeffizient zwischen der gemessenen CO<sub>2</sub>-Konzentration und der Beurteilung der

Luftqualität durch die Rauminsassen als «nicht akzeptabel» betrug 0,77.

Der CO<sub>2</sub>-Gehalt der Raumluft kann somit als Indikator für die herrschende Luftqualität und zur Steuerung von bedarfsgeregelten Lüftungsanlagen verwendet werden. Um nicht mehr als 10% bis 20% Rauminsassen zu haben, die mit der Luftqualität unzufrieden sind, sollte die CO<sub>2</sub>-Konzentration den Bereich von 900 bis 1300 ppm nicht überschreiten.

### Bedarfsgeregelte Steuerung

In einem Hörsaal der ETH Zürich wurden im Sommer 1990 und im Winter 1991 Versuche mit einer anhand der im Raum gemessenen CO<sub>2</sub>-Konzentration bedarfsgeregelten Lüftungsanlage durchgeführt (Steuerung durch die Messung des CO<sub>2</sub>-Gehaltes). Der Hörsaal hat ein Volumen von 440 m<sup>3</sup>, 80 Sitzplätze und ist mit einer zweistufigen, zeitgesteuerten Lüftungsanlage ausgestattet. Im Normalbetrieb war die Anlage meist von 7 bis 19 Uhr auf der zweiten Stufe in Betrieb. Während der Versuche wurde die Anlage jeweils je eine Woche zeit- und eine Woche CO<sub>2</sub>-gesteuert betrieben.

Mittels Simulationsberechnungen wurden in Abhängigkeit zu den auf den bei-

den Betriebsstufen durch die Anlage gelieferten Aussenluftmengen, der Anzahl Sitzplätze, der Pausen- und der Vorlesungslänge die Schaltstufen für die CO<sub>2</sub>-Steuerung der Lüftungsanlage festgelegt. Tabelle 1 zeigt die Schaltstufen. Um im Sommer zu hohe Lufttemperaturen zu vermeiden, wurden zudem Temperaturgrenzwerte festgelegt, bei deren Erreichen die Anlage ebenfalls auf die entsprechende Betriebsstufe geschaltet hätte.

Der Rest der Steuerung der Anlage (Grenztemperaturen für das Einschalten der Heizung resp. Kühlung) blieb während der gesamten Versuche so, wie sie vom Betreiber der Anlage eingestellt wurden.

Während der Versuche wurden kontinuierlich der Energieverbrauch, die Schaltungen der Anlage, die Raumlufttemperatur sowie die CO<sub>2</sub>-Konzentration gemessen und aufgezeichnet. Massgebend für die Steuerung der Anlage war die durch ein genau messendes CO<sub>2</sub>-Messgerät erfasste CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Raummitte. Zudem wurde mittels eines Fragebogens das Urteil der Raumbenutzer betreffend der Akzeptanz der Luftqualität erfragt.

Im folgenden werden die wichtigsten Ergebnisse dieser Untersuchungen kurz zusammengefasst.

Durch die CO<sub>2</sub>-Steuerung konnten die Anlagelaufzeiten um 67% (Winter) bis 75% (Sommer) gesenkt werden. Zudem schaltete die Anlage während der CO<sub>2</sub>-Steuerung nie auf die zweite Betriebsstufe.

Bild 1 zeigt einen Vergleich des Energieverbrauchs während der Zeit- und der CO<sub>2</sub>-Steuerung der Lüftungsanlage im Sommer sowie im Winter. Die Energieverbrauchsmessungen wurden vom Ingenieurbüro Basler & Hofmann AG, Zürich, durchgeführt.

Wie Bild 1 zeigt, konnten durch die CO<sub>2</sub>-Steuerung erhebliche Energieeinsparungen erzielt werden. Die Einsparungen entsprachen gegenüber der Zeitsteuerung Prozentwerten zwischen 34% (Winter) bis 80% (Sommer).

Die Messungen der CO<sub>2</sub>-Konzentrationen während der Zeit- resp. der CO<sub>2</sub>-Steuerung der Anlage ergaben, dass die CO<sub>2</sub>-Konzentration während der CO<sub>2</sub>-Steuerung mit mittleren Werten von 640 bis 680 ppm im Schnitt um 120 bis 180 ppm höher lagen als während der Zeitsteuerung. Bild 2 zeigt den Verlauf der CO<sub>2</sub>-Konzentration während eines Messtages, wobei die Anlage anhand der CO<sub>2</sub>-Konzentration gesteuert wurde.

Wie man aus Bild 2 entnehmen kann, reagierte der CO<sub>2</sub>-Gehalt der Raumluft und damit die Schaltung der Anlage

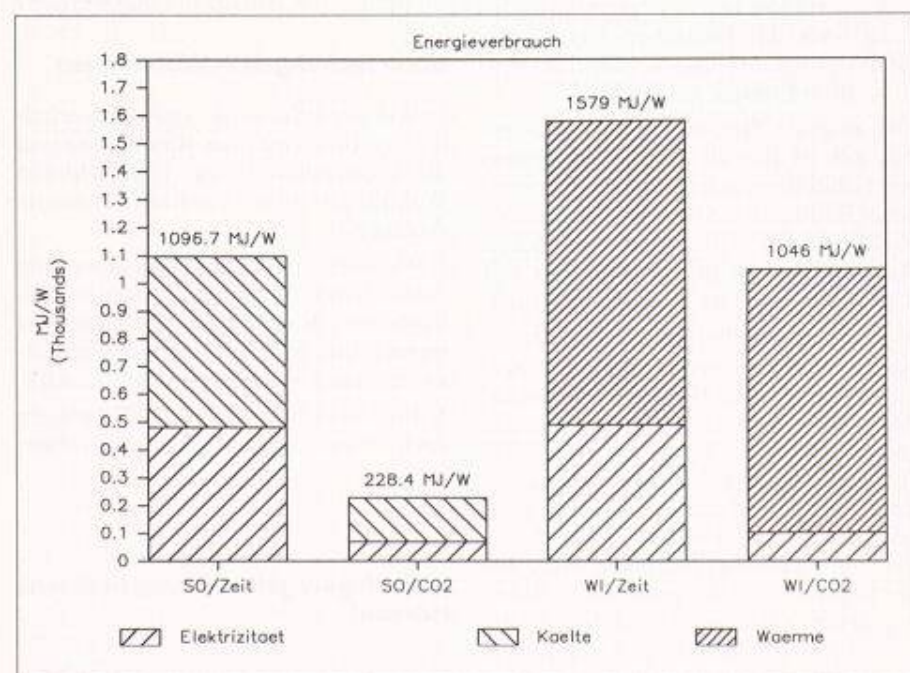


Bild 1. Vergleich des Energieverbrauchs für Lüftung, Heizung und Kühlung während der Zeit- und der CO<sub>2</sub>-Steuerung der Anlage im Sommer sowie im Winter

sehr gut auf verschiedene Belegungssituationen. Auch während einer Belegung mit 45 Personen schaltete die Lüftungsanlage noch nicht auf die zweite Stufe, und die CO<sub>2</sub>-Konzentration im Saal überstieg lediglich knapp 1000 ppm.

Der Prozentsatz der Raumbenutzer, welche die Raumluftqualität während der Zeitsteuerung als nicht akzeptabel beurteilten, betrug im Sommer 1,7% und im Winter 2,1%. Während der CO<sub>2</sub>-Steuerung der Anlage im Sommer erhöhte sich dieser Prozentsatz auf 14,6%. Eine Erklärung für den unerwartet hohen Prozentsatz der mit der Luftqualität unzufriedenen Raumbenutzer konnte bereits während der Versuche im Sommer gefunden werden. Jeweils am Morgen und am Mittag wurden die Wandtafeln des Hörsaales durch den Hausdienst gereinigt. Dabei wurde dem Putzwasser ein Reinigungsmittel beigefügt. Das Parfum dieses Reinigungsmittels wurde während der Zeitsteuerung der Lüftungsanlage innert kurzer Zeit ausreichend verdünnt, resp. abtransportiert, womit keine wesentliche Geruchsbelästigung daraus resultierte. Während der CO<sub>2</sub>-Steuerung wurden, da bei der Reinigung der Tafeln die Lüftungsanlage nicht in Betrieb war, die Parfumerüche bis zum Beginn der nächsten Vorlesungsstunde nicht eliminiert. Zudem war die Lüftungsanlage in der darauffolgenden Vorlesungsstunde lediglich zeitweise auf der ersten Stufe in Betrieb. Dies führte im Laufe eines Tages zur Akkumulation und zusätzlichen Vermischung des Parfumeruches mit Körperausdünstungen.

In den darauffolgenden Versuchen im Winter wurden die Tafeln lediglich noch mit Wasser und Schwamm gereinigt. Dies hatte zur Folge, dass bei den Versuchen im Winter während der CO<sub>2</sub>-Steuerung der Lüftungsanlage im Mittel lediglich noch 5,6% der Raumbenutzer den Geruch im Raum, resp. die Luftqualität, als nicht akzeptabel beurteilten. Die «Verschlechterung» der Luftqualität durch die CO<sub>2</sub>-Steuerung lag damit im erwarteten Rahmen und kann als unerheblich bezeichnet werden.

Somit kann ausgesagt werden, dass ein bedarfsgeregeltes Lüftungssystem in einem Hörsaal mit entsprechend geschickt gewählten Schaltstufen resp. Aussenluftmengen durchaus in der Lage ist, eine ausreichende Raumluftqualität zu gewährleisten. Allerdings müssen vorerst möglichst alle Quellen von Geruchsstoffen vermieden werden, so dass die Geruchsbelastungen lediglich von den Raumbenutzern stammen.

Die bei bestimmten CO<sub>2</sub>-Konzentrationen zuzuführenden Aussenluftmen-

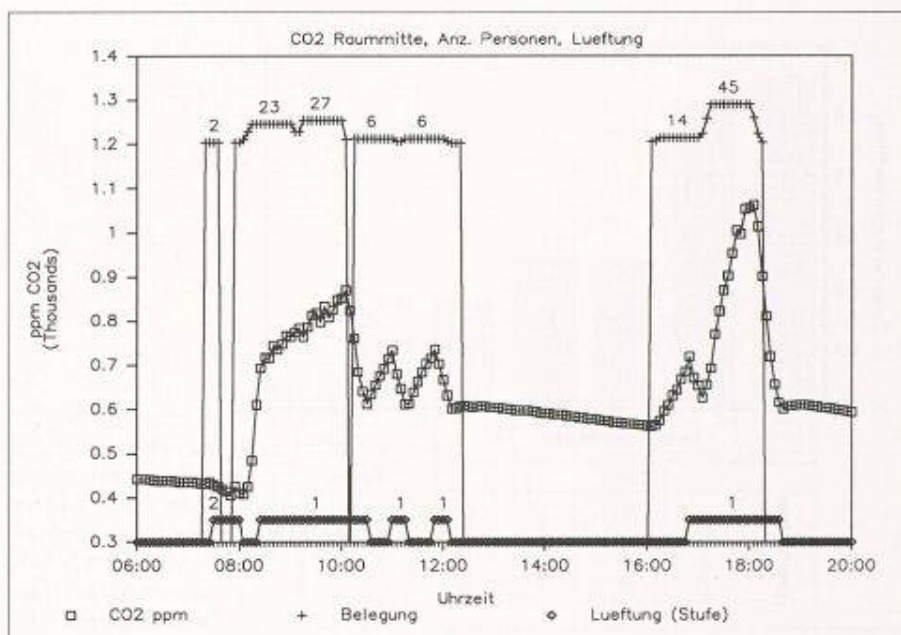


Bild 2. Verlauf der gemessenen CO<sub>2</sub>-Konzentration, Belegung in Anzahl Personen und Betriebszustand der Lüftungsanlage während eines Messtages mit CO<sub>2</sub>-Steuerung

gen hängen vom Raumvolumen, der Bauweise (Luftführung im Raum, VAV [Variable Air Volume], Stufenschaltung usw.) und der Leistungsfähigkeit der Anlage sowie der maximal möglichen Belegung, das heisst der CO<sub>2</sub>-Produktion pro Zeiteinheit, ab. Diese sind am besten durch eine Simulationsberechnung zu ermitteln.

Eine weitere Voraussetzung für den erfolgreichen Betrieb einer bedarfsgeregelten Lüftungs- oder Klimaanlage ist, dass das installierte oder zu installierende System per se in der Lage ist, behagliche raumklimatische Verhältnisse zu schaffen und eine ausreichende Luftqualität zu gewährleisten. Die CO<sub>2</sub>-Steuerung der bedarfsgeregelten Anlage muss mit einer Überwachung der Raumlufttemperatur gekoppelt werden.

Entsprechende Parallelversuche haben ergeben, dass die heute auf dem Markt erhältlichen «low-cost»-CO<sub>2</sub>-Messgeräte sich für die bedarfsgeregelte Steuerung einer Lüftungs- oder Klimaanlage eignen. Allerdings sollten die Geräte im Bereiche von 500 bis 1500 ppm eine Messgenauigkeit von  $\pm 100$  ppm aufweisen und sollten einer Eingangskontrolle (Vergleichsmessungen bei verschiedenen CO<sub>2</sub>-Konzentrationen mit genauem Messgerät) unterzogen werden. Eine bedarfsgeregelte Lüftungs- oder Klimaanlage kann auch anhand der durch einen Luftqualitätsfühler erfassten Luftqualität gesteuert werden.

Bedarfsgeregelte Lüftungsanlagen bieten sich natürlich auch für Büro- und Industriebauten an. Allerdings können je nach Situation andere Steuerungsstrategien als die CO<sub>2</sub>-Steuerung zur An-

wendung gelangen. So reicht zum Beispiel in einem Einzelbüro ein einfacher Infrarot-Präsenzfühler, um die für die Steuerung der Aussenluftzufuhr notwendige Information zu liefern.

## Untersuchungen in Wohnungen

Durch die Dichtheit der Gebäudehüllen kann es in Wohnbauten, die in den letzten 15 bis 20 Jahren erbaut oder energietechnisch saniert wurden und über keine mechanische Lüftungsanlage verfügen, aufgrund des zu geringen Luftwechsels zu einer ungenügenden Luftqualität kommen. Zudem kann zu hohe Luftfeuchtigkeit zu Kondensationserscheinungen an Aussenwänden führen. Bezüglich einer genügenden Luftqualität und eines behaglichen Raumklimas sollte die Situation in den Schlafräumen besonders beachtet werden. Verbringt der Mensch doch zur Befriedigung seines lebensnotwendigen Erholungsbedürfnisses rund ein Drittel seines Lebens in dieser Umgebung. Betreffend des Fensteröffnungsverhaltens zeigen internationale Studien, dass rund zwei Drittel der Leute während der Heizperiode die Schlafzimmerfenster geschlossen halten.

## Messungen in Wohnbauten ohne mechanische Lüftung

Messungen in gut abgedichteten Wohnungen ohne raumlufttechnische Anlagen haben gezeigt, dass das Raumklima und die Luftqualität wesentlich durch das Lüftungsverhalten der Bewohner beeinflusst wird.

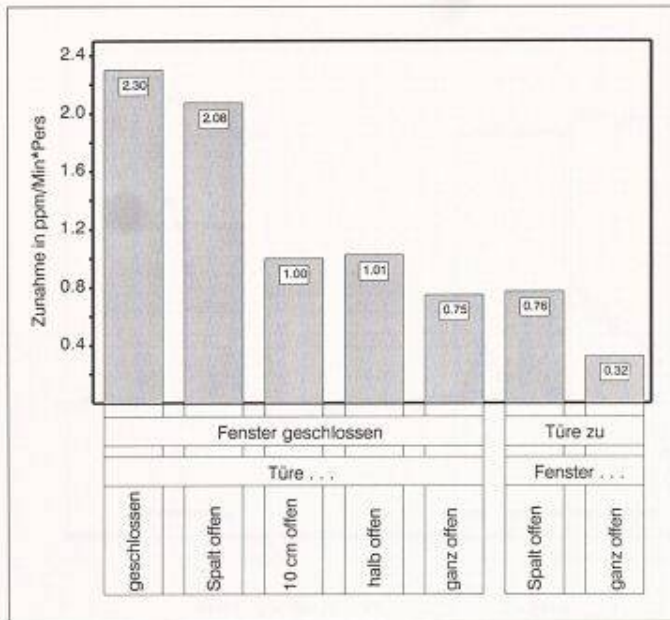


Bild 3. Mittlere Zunahme der  $CO_2$ -Konzentration in ppm pro Minute und Person bei verschiedenen Schlafzimmertür- und Fensterstellungen

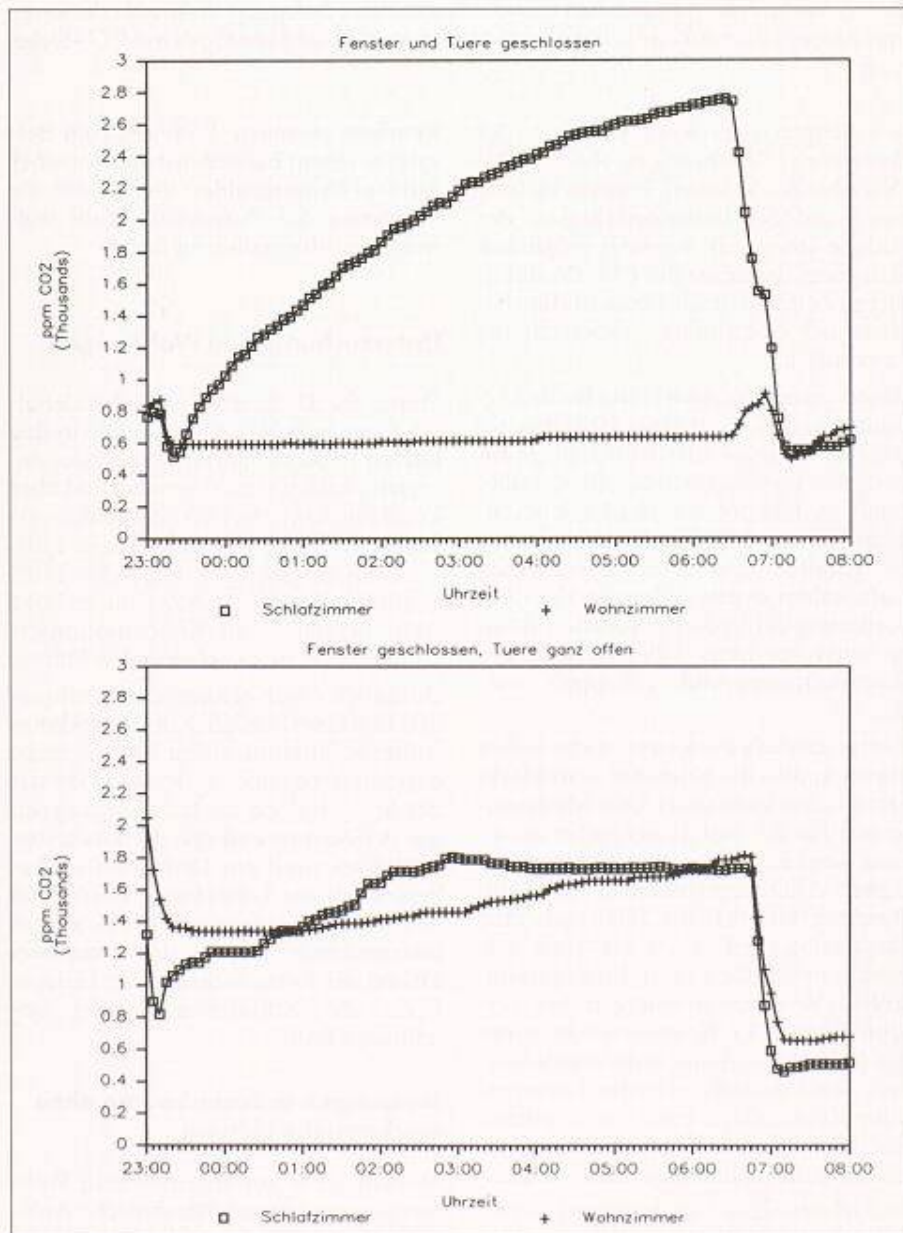


Bild 4. Verlauf der  $CO_2$ -Konzentration im Schlaf- sowie im Wohnzimmer mit ganz geöffneter und ganz geschlossener Türe an zwei verschiedenen Nächten im selben Objekt

Bei geöffneten Schlafzimmerfenstern wurden Luftwechsel von  $3,2 \text{ h}^{-1}$  bis  $12,3 \text{ h}^{-1}$  gemessen. Vom energetischen Standpunkt aus betrachtet, sind diese Luftwechsel für Winterbedingungen eindeutig zu hoch.

Die bei geschlossenen Schlafzimmertüren und -fenstern während der Nacht in den Schlafräumen gemessenen Luftwechsel lagen im Bereich zwischen  $0,01 \text{ h}^{-1}$  und  $0,31 \text{ h}^{-1}$ . Diese Werte liegen derart tief, dass eine ausreichende Luftqualität nicht mehr gewährleistet werden kann. So wurden  $CO_2$ -Konzentrationen bis zu 4300 ppm gemessen, dies bei einem MAK-Wert von 5000 ppm und einer Empfehlung in der SIA V 382/1 von 1000 bis 1500 ppm.

Einen guten Überblick über den Effekt, den ein unterschiedliches Lüftungsverhalten auf die Luftqualität in den Schlafräumen hat, erhält man, wenn man die Zunahme der  $CO_2$ -Konzentration während der Belegungszeit durch die Belegungszeit (in Minuten) und die Anzahl der im Zimmer schlafenden Personen teilt. Das Resultat entspricht einer Zunahme der  $CO_2$ -Konzentration pro Zeiteinheit (hier ppm pro Minute und Person).

Bild 3 zeigt eine Zusammenstellung der in 38 Einzelmessungen ermittelten Zunahme der  $CO_2$ -Konzentration in ppm pro Minute und Person bei verschiedenem Benutzerverhalten.

Es ist deutlich zu erkennen, dass bei geschlossenen Fenstern ab einer Türöffnung von 10 cm und mehr die Zunahme der  $CO_2$ -Konzentration pro Zeiteinheit nur noch maximal halb so gross ist als bei geschlossener oder nur um einen Spalt geöffneter Türe. Ferner fällt auf, dass bei geschlossenem Fenster die Türe vollständig zu öffnen denselben Effekt hat wie bei geschlossener Türe das Fenster einen Spalt weit ( $< 10 \text{ cm}$ ) zu öffnen, wobei bei geschlossenen Fenstern während der Heizperiode kein Energieverlust resultiert.

In einem Messobjekt wurde während verschiedenen Messnächten bei geschlossenen Fenstern der Effekt von verschiedenen Türstellungen auf die im Schlaf- und Wohnzimmer gemessene  $CO_2$ -Konzentration untersucht. Bild 4 zeigt einen Vergleich des Verlaufs der  $CO_2$ -Konzentration im Schlaf- sowie im Wohnzimmer während zweier verschiedener Nächte im selben Objekt mit ganz geöffneter und ganz geschlossener Schlafzimmertüre.

Die Kurven in Bild 4 zeigen die beiden Extremfälle. Bei geschlossener Türe stieg im Laufe der Nacht der  $CO_2$ -Gehalt im Schlafzimmer kontinuierlich bis auf 2760 ppm an, währenddessen die  $CO_2$ -Konzentration im Wohnzimmer

sich nicht veränderte und, bis die Bewohner am Morgen aufstanden, um 600 ppm blieb. War die Schlafzimmertüre hingegen während der Nacht vollständig geöffnet, so war der zeitliche Verlauf der CO<sub>2</sub>-Konzentrationen im Schlaf- und im Wohnzimmer nahezu identisch. Am Morgen, bevor die Fenster geöffnet wurden, betrug der CO<sub>2</sub>-Pegel in beiden Räumen um 1800 ppm. Bei drei weiteren, ebenfalls gemessenen Situationen (Spalt offen, 10 cm offen, halb offen) glich sich der Verlauf der CO<sub>2</sub>-Konzentration im Wohnzimmer immer mehr dem entsprechenden Verlauf im Schlafzimmer an, wobei die CO<sub>2</sub>-Konzentration im Schlafzimmer immer weniger hoch anstieg.

*Aus den Resultaten der Messungen der CO<sub>2</sub>-Konzentration in den Schlafräumen lassen sich folgende Aussagen machen:*

Die CO<sub>2</sub>-Konzentrationszunahme ist am höchsten, wenn während der Nacht die Schlafzimmerfenster und Türen geschlossen sind. Wird die Schlafzimmertüre mindestens 10 cm weit geöffnet, so ist die Zunahme pro Zeiteinheit weniger als halb so gross. Die geringste Zunahme wird durch das Öffnen des Fensters erreicht.

Aus den Messungen und mit Hilfe zusätzlich durchgeführter Simulationsberechnungen konnten folgende einfach einzuhaltende Verhaltensregeln ausgearbeitet werden, die in gut abgedichteten Wohnbauten eine möglichst gute Luftqualität in den Schlafräumen sicherstellen und gleichzeitig den heutigen Erfordernissen bezüglich Energie-sparen Genüge tun.

*Folgende Empfehlungen können abgegeben werden:*

- Für die Gewährleistung einer genügenden Luftqualität in Schlafräumen ist eine ausreichende Aussenluftzufuhr notwendig.
- Ausserhalb der Heizperiode kann dies durch das Öffnen der Schlafzimmerfenster während der Nacht sichergestellt werden.
- Während der Heizperiode ist es vor allem aus energetischen Gründen nicht sehr sinnvoll, die Schlafzimmerfenster über längere Zeiträume geöffnet zu lassen. Andererseits ist in gut abgedichteten Gebäuden der Luftwechsel zu niedrig.

Ferner können sich die Bewohner aus anderen Gründen (Pollenallergie, externe Lärmquellen) auch ausserhalb der Heizperiode gezwungen sehen, die Fenster während der Nacht dauernd geschlossen zu halten. In diesen Fällen ist es vor allem in gut abgedichteten Gebäuden zu empfehlen, die Schlafzimmertüre während der Nacht mindestens 10 cm oder mehr geöffnet zu lassen. Wird dabei vorher die gesamte Wohnung während fünf bis zehn Minuten durch vollständige Öffnung der Fenster gut durchgelüftet (Stosslüftung), so überschreitet die CO<sub>2</sub>-Konzentration die obere Behaglichkeitsgrenze auch nach acht bis zehn Stunden Schlaf nicht oder nur geringfügig. Dies unter der Voraussetzung, dass die Wohnung einen minimalen Luftwechsel von mindestens 0,1 h<sup>-1</sup> aufweist.

d) Bei einem Luftwechsel von mehr als 0,5 h<sup>-1</sup> wird in einem Schlafzimmer 30 m<sup>3</sup> bei einer Belegung mit zwei Personen auch bei geschlossenen Fenstern und Türen eine CO<sub>2</sub>-Konzentration von 1500 ppm nicht überschritten.

Eine mögliche Lösung des Luftqualitätsproblems in Schlafräumen – vor allem in Neubauten – ist der Einbau einer mechanischen Be- und/oder Entlüftungsanlage. Messungen in einem Einfamilienhaus, welches mit einer Quelllüftung ausgestattet ist, haben ergeben, dass das Raumklima und die Luftqualität im optimalen Bereich lagen. Allerdings muss berücksichtigt werden, dass verschiedene Autoren auf die Gefahr hinweisen, dass in mechanisch be- und entlüfteten Wohnbauten sog. «SBS» (Sick-Building-Syndrome-)Klagen auftreten können, wie sie bereits von Bürobauten her bekannt sind. Um den Energieverbrauch optimieren zu können, kommen in Wohnbauten evtl. auch bedarfsgeregelte Lüftungsanlagen in Frage. Allerdings fehlen dazu noch die nötigen Erfahrungen. So sollte die Anwendung von bedarfsgeregelten Lüftungsanlagen in Wohnbauten in weiteren Untersuchungen überprüft werden.

### Schlussbetrachtungen

Kurz zusammengefasst ergeben sich folgende Schlussfolgerungen:

Es besteht ein deutlicher Zusammenhang zwischen der im Raum gemessenen

CO<sub>2</sub>-Konzentration und der Beurteilung der Luftqualität durch die Rauminsassen in einem Hörsaal. Der CO<sub>2</sub>-Gehalt der Raumluft kann somit als Indikator für Luftqualität für die Steuerung von RLT-Anlagen verwendet werden.

Durch eine mittels Messung der CO<sub>2</sub>-Konzentration bedarfsgeregelte Lüftungsanlage eines Hörsaales lässt sich gegenüber einer zeitgesteuerten Variante eine erhebliche Energiemenge einsparen. Allerdings müssen sämtlichen rauminternen Quellen von Luftverunreinigungen (zum Beispiel Putzmittelgerüche, Ausdünstungen von Baumaterialien sowie Inneneinrichtungen usw.) vermieden werden.

Für die Steuerung von bedarfsgeregelten Lüftungsanlagen eignen sich die auf dem Markt erhältlichen low-cost-CO<sub>2</sub>-Messgeräte. Sie sollten aber bezüglich der Messgenauigkeit einer Eingangskontrolle (Vergleichsmessung mit genauem Gerät) unterzogen werden.

In Wohngebäuden, die in den letzten 15 bis 20 Jahren erbaut oder wärmetechnisch saniert wurden und über keine mechanische Be- und/oder Entlüftung verfügen, wird in Schlafräumen bei geschlossenen Fenstern und Türen die Luftqualität in den meisten Fällen innerhalb kurzer Zeit ungenügend. In solchen Fällen wird in gut abgedichteten Wohngebäuden empfohlen, die Schlafzimmertüre mindestens 10 cm weit geöffnet zu lassen und vor dem Zubettgehen die Wohnung mittels einer Stosslüftung gut durchzulüften.

In einem Einfamilienhaus mit einer RLT-Anlage (Quelllüftung) konnte ein behagliches Raumklima und eine gute Luftqualität erreicht werden.

### Literaturhinweis

*Jürg Fehlmann:* Bedarfsgeregelte Lüftung in Räumen verschiedener Nutzung und Belegung. Raumklimatische und lufthygienische Untersuchungen in Büroräumen, Hörsälen, Wohnungen und einem Restaurationsbetrieb. Diss. ETH Nr. 9680, 1992.

Adresse der Autoren: *Jürg Fehlmann*, dipl. Natw. ETH; Professor *Dr. Hans-Urs Wanner*; Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie der ETH Zürich, Clausiusstrasse 21, 8092 Zürich.