

Lüftungseffizienz und Physiologie

Die hygienische Lüfterneuerung hat sich gegenüber den luftbasierten Klimasystemen durchgesetzt. Doch das Potenzial zum effizienten Betrieb ist immer noch erheblich. Und das ohne die Luftqualität und somit die Arbeitsplatzproduktivität zu schmälern. Dezentrale Systeme und neue Sensortechnik machen es möglich die Effizienz stark zu erhöhen.

Fokus Schadstoffkonzentration im Raum

Die Lüfterneuerung in geschlossenen Räumen richtet sich nach der akzeptierten Schadstoffkonzentration und der Schadstoffproduktion (z.B. Verbrennung oder durch den Menschen mit 4 % CO₂ in der Atemluft). Diese Kohlenstoffdioxidproduktion bestimmt somit die Frischluftmenge und die Art der Lüfterneuerung. CO₂ ist geruchlos und für die menschliche Nase nicht wahrnehmbar. Es ist aber erwiesen, dass sich bei Konzentrationen über 1'500 ppm (parts per million) die Konzentrationsfähigkeit des Menschen deutlich verschlechtert. Der Grund dafür liegt beim verminderten CO₂-Austauschmechanismus zwischen Lunge und Gehirn.

Um eine CO₂-Konzentration von 1'500 ppm bei einer Aussenluftqualität von 400 ppm CO₂-Gehalt nicht zu überschreiten, wäre pro Person eine Frischluftmenge von ca. 5 l/s notwendig. Der SIA (SIA 382/1) empfiehlt für Büros 10 l/s womit eine CO₂-Konzentration von < 1'000 ppm eingehalten werden kann.

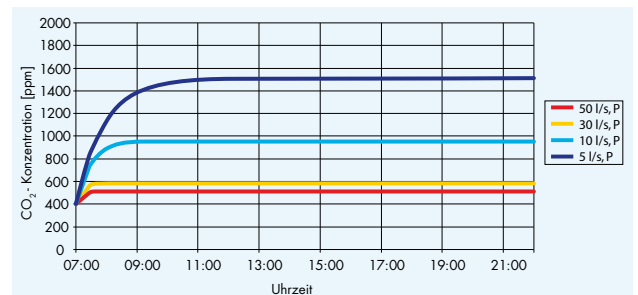


Bild 1 CO₂-Konzentration in Abhängigkeit der Frischluftmenge (l/s, Person)

Physiologische Aspekte

CO₂-Konzentrationen (vol-%) mit Auswirkungen auf den Menschen:

- 0,04 %: Natürliche Konzentration (400 ppm)
- 0,15 %: Hygienischer Raumluftrichtwert (1'500 ppm)
- 0,5 %: MAK-Grenzwert mit Exposition von 8 h/d
- 4 %: Atemluft beim Ausatmen eines Erwachsenen (ca. 0.13 l/s mit 40'000 ppm)
- 5 %: Auftreten von Kopfschmerzen, Schwindel und Bewusstlosigkeit (50'000 ppm)

Die Produktivität der Personen mit Bürotätigkeit ist von verschiedenen Umgebungsparametern, wie Temperatur, Licht etc. und auch von der Luftqualität abhängig.

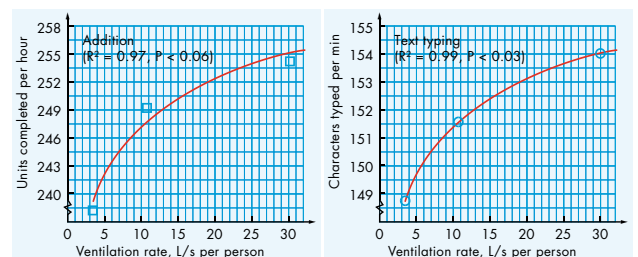


Bild 2 Leistungsfähigkeit (Text tippen rechts, Rechengänge links) in Abhängigkeit der Frischluftmenge (l/s, Person), Quelle: Seppänen 2005

Untersuchungen zeigen, dass eine erhöhte Frischluftmenge (z.B. 50 statt 10 l/s pro Person) die Produktivität nur unwesentlich (ca. 2 %) steigert.

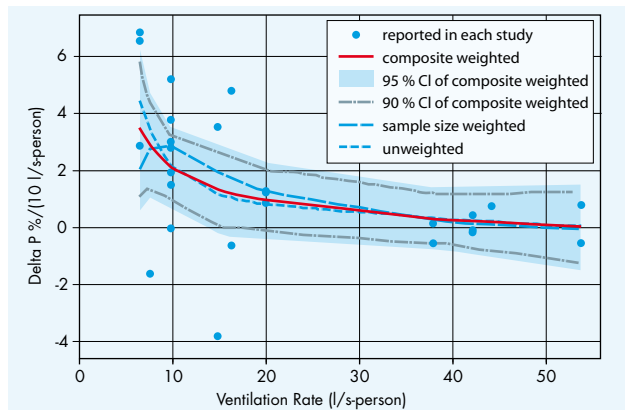


Bild 3 Empirisch ermittelte relative Leistungsfähigkeit in Abhängigkeit der Frischluftmenge (l/s,Person); Quelle: Seppänen, Fisk, Lei 2005

Heutige Systeme der Hygienelüftung

Grundsätzlich verfolgen die heute bekannten Systeme das Ziel, frische Luft und damit Sauerstoff in den Aufenthaltsbereich von Personen einzuführen. Das heisst, die zuvor beschriebenen Schadstoffe werden nicht gezielt abgesaugt, sondern mit der Einführung einer grossen Menge weniger belasteter Aussenluft verdrängt. Der Positionierung der Abluffassung wird bei der Komfortlüftung keine grosse Bedeutung beigemessen. Es wird grundsätzlich zwischen zwei Systemen unterschieden:

- Zentrale Systeme (Monobloc in Zentrale)
- Dezentrale Systeme (kleine Lüftungsgeräte an Fassade)

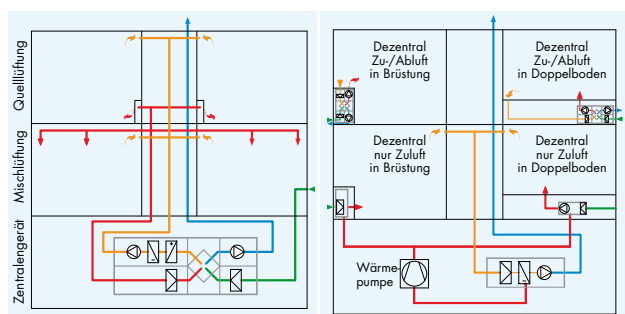


Bild 4 Prinzipschemata, links konventionelle zentrale Lüftungsanlage, rechts div. verschiedene dezentrale Luftaufbereitungen

Zentrale Systeme

Bei den konventionellen, zentralen Systemen wird die Frischluft meist an einem Punkt an der Aussenhülle angesaugt und zur Lüftungszentrale geführt. Dort wird sie vom Aufbereitungsgerät filtriert, konditioniert und danach über ein Kanalsystem in die einzelnen Räume

geführt. Die belastete Abluft wird analog vom Raum über die Zentrale bis zur Aussenhülle geführt. Die Luftverteilung (vertikal wie horizontal) benötigt von allen haustechnischen Einrichtungen meist den grössten Platzbedarf, auch wenn nur der hygienisch notwendige Frischluftbedarf durch die Lüftungsanlage sichergestellt wird. Die wichtigsten Vorteile der zentralen Luftaufbereitung liegen in der einfach realisierbaren Wärmerückgewinnung und der Befeuchtung/Entfeuchtung.

Dezentrale Systeme

Die dezentralen Systeme saugen die Frischluft pro Nutzungseinheit im Fassadenbereich an. Die im Doppelboden oder innerhalb der Brüstung installierten Geräte filtrieren und konditionieren die Luft. Dadurch entfallen zumindest ein Grossteil der Zentralenfläche sowie die grossen Lüftungsverteilstetze. Zudem ist der Energiebedarf für die Luftförderung bei den an der Fassade angeordneten Lüftungsgeräten kleiner als bei konventionellen Systemen (kurze Wege/keine Lüftungskanäle). Am Markt sind heute verschiedene, dezentrale Geräte verfügbar, wobei von den Herstellern unterschiedliche Konzepte verfolgt werden:

- Passive Zuluftsysteme ohne Luftförderung
- Aktive Zuluftsysteme
- Aktive Zuluftsysteme mit Umluftbeimischung
- Zu- und Abluftsysteme mit integrierter WRG

Die Wärmerückgewinnung bei diesen Systemen muss aufwändiger realisiert werden. Die zentrale Abluft kann z.B. als Wärmequelle für eine Wärmepumpe dienen.

Der Einsatz der dezentralen Geräte beschränkt sich auf die hygienische Lufterneuerung; allfällige thermische Lasten können im geringen Masse nur durch Geräte mit Umluftbeimischung abgeführt werden. Bei den anderen Geräten muss dies ganz durch ein separates Heiz-/Kühlsystem erfolgen (z.B. TABS). Auch kann die Luft bei der dezentralen Aufbereitung nur sehr aufwändig befeuchtet oder entfeuchtet werden.

Kriterium/System	Zentral	Dezentral
Investitionskosten	-	+
Betriebskosten	-	+
Wartungsaufwand	+	-
Energieaufwand	-	+
Luftförderung	-	+
Platzbedarf	-	++
Luftkonditionierung	++	+

Bild 5 Bewertung zentrale vs. dezentrale Luftaufbereitung

Lokale CO₂-Absaugung erfüllt alle Bedürfnisse

Die Grundanforderung an die Lüftung ist, wie eingangs beschrieben, im Wesentlichen die Sicherstellung guter Raumluftqualität. Zusätzlich sollte man jedoch verlangen, dass diese Aufgabe mit einem möglichst geringen Energieaufwand gelöst wird.

Wenn man das CO₂ stellvertretend für die vom Menschen produzierten Schadstoffe annimmt und sich die physiologischen Bedürfnisse des Menschen näher anschaut, erkennt man, dass punkto Anforderungen an die Raumluftqualität nicht etwa der Sauerstoffgehalt sondern der CO₂-Gehalt kritisch ist.

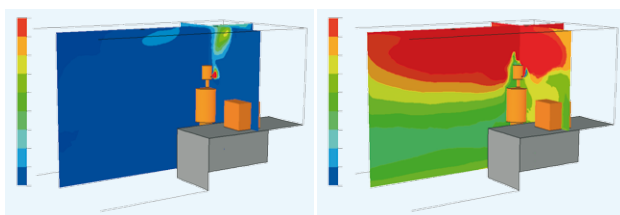


Bild 6 CO₂-Konzentration in Raum mit einer Person und ausgeschalteter Lüftung: links nach 1, rechts nach 25 min
Skala: 380 ppm (blau), 1'200 ppm (rot)

Um dies zu verdeutlichen ein einfaches Beispiel: Ein Mensch kann die Luftmenge eines Plastiksacks in Bezug auf den Sauerstoff problemlos 4 - 5 mal ein- und ausatmen, da der Sauerstoffverbrauch pro Atemzug nur bei etwa 4 Prozent, der absolute Sauerstoffgehalt in der Luft aber bei 21 Prozent liegt. Betrachtet man die CO₂-Konzentration, so steigt diese bereits nach dem ersten Atemzug auf 4 Prozent (40'000 ppm), nach dem zweiten Atemzug bereits auf 8 Prozent; für den Menschen eine schon tödliche Konzentration.

Eine Methode, welche eine effiziente Abfuhr der vom Mensch erzeugten Schadstoffe verspricht, ist die lokale Absaugung. Dabei geht es, wie dies bereits von Anwendungen in der Industrie („local exhaust ventilation“) her bekannt ist, darum, die Schadstoffe möglichst nahe bei der Quelle abzuführen.

Ortagonales Raster für lokale Absaugung

Um den Ansatz der lokalen Absaugung auch in Bürogebäuden anwenden zu können, müssen neue Lüftungskonzepte, resp. Systemlösungen geschaffen werden. Diese werden durch die rasche, technologische Entwicklung im Bereich Sensorik begünstigt. Die ständig fortschreitende Miniaturisierung und eine günstige Komponentenpreisentwicklung erlauben den Einsatz

dieser Technologien auch in grossen Mengen. Auf der Basis dieser neuen Randbedingungen lassen sich neue Konzepte realisieren, welche sowohl dem hohen Komfortanspruch von heute als auch der Forderung nach gesteigerter Energieeffizienz genügen.

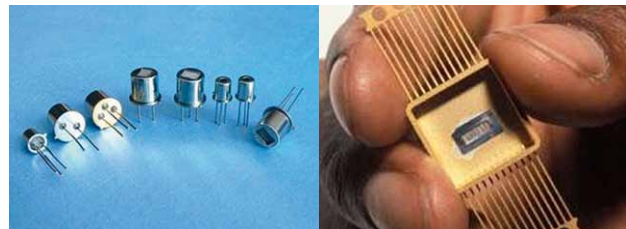


Bild 7 kompakte Gassensoren verfügbar am Markt

Ein neues Abluftkonzept¹, welches die lokale Absaugung in Bürogebäuden ermöglicht, sieht folgenden Aufbau vor: Entlang der Decke ist eine grosse Anzahl von Abluftöffnungen in einem Raster von ca. 2 x 2 m angeordnet. Die Abluftöffnungen sind mit einem Sensor und einem Aktor ausgerüstet und über ein zusammenhängendes Rohrsystem an einen zentralen, druckgesteuerten Abluftventilator angeschlossen. Durch den Einsatz der Sensortechnik sind die Abluftöffnungen autark; sie öffnen, wenn die lokal gemessene CO₂-Konzentration einen bestimmten Schwellenwert erreicht hat und schliessen wieder, wenn ein tieferer Schwellenwert unterschritten wird.

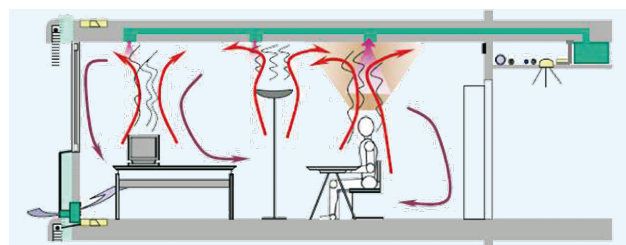


Bild 8 lokales Abluftsystem mit gezielter Absaugung in einer Bürosituation

Die Bedarfsabhängigkeit ist besonders in Grossraumbüros interessant. Dort lässt sich durch eine bedarfsgesteuerte Lüftung die ausgetauschte Luftmenge, entsprechend den zeitlich variierenden Belegungsdichten, stark reduzieren, was zusätzlich eine grosse Energie- und Kosteneinsparung mit sich bringt. Im Gegensatz zu gängigen Lüftungssystemen mit Präsenzmeldern oder einzelnen Raumluftfühlern bietet dieses Abluftkonzept die Möglichkeit, die erforderliche Luftmenge präziser zu steuern. Das Netzwerk von Abluftöffnungen erlaubt die ganze Nutzfläche zu entlüften, ist aber dank dem Prinzip der verteilten Intelligenz auch im Stande

¹ BALDINI L. LEIBUNDGUT HJ. (2005); „Increasing the Effectiveness of Building Ventilation Systems Through Use of Local Waste Air Extraction“ Conference Paper: Clime 2005, Lausanne, CH

nur dort zu entlüften, wo dies wirklich nötig ist. Mit der Integration eines Sensor-Aktor-Paares - in jede der räumlich verteilten Abluftöffnung - findet eine starke Dezentralisierung der Entscheidungsgewalt statt, was zu einer hohen Präzision bei gleichzeitig geringer regelungstechnischer Komplexität und zu grosser Robustheit des Systems führt.

Während gewöhnliche Hygienelüftungen weitgehend als Mischlüftungen mit einer Lüftungseffizienz von 1 funktionieren, vermag die lokale Absaugung diese markant zu steigern. Konsequenterweise führt die lokale Absaugung im Vergleich zur Mischlüftung entweder zu einer niedrigeren Schadstoffkonzentration in der Raumluft (bei gleich bleibender Luftmenge) oder aber zu einer geringeren Luftmenge bei gleich bleibender Raumluftkonzentration.

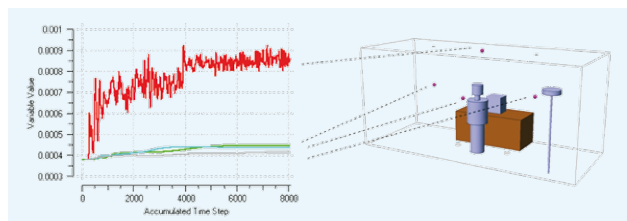


Bild 9 Konzentrationsunterschiede in Raum- und Abluft bei lokaler Absaugung (CFD-Simulation mit Referenzpunkten im Raum)

Kompatibles Zuluftsystem

Ein dezentral geregeltes, bedarfsabhängiges Abluftsystem stellt Auflagen an das Zuluftsystem; die Zuluft muss der variierenden Abluftmenge angepasst werden. Die Zuluft einbringung sollte demnach flexibel sein und wird deshalb am besten dezentral gelöst. Im Wesentlichen bieten sich folgende Ansätze an: Entweder es werden passive Zuluftelemente in der Fassade integriert, welche auf den Unterdruck im Raum reagieren oder aber es werden aktive Zuluftseinheiten verwendet, welche gesteuert oder geregelt werden.

Im Falle einer Steuerung würde ein externes Stellsignal über das Leitsystem auf die Zuluftgeräte geführt. Bei einem Regelungsansatz verfügen die Zuluftgeräte über Drucksensoren, welche es ihnen erlaubt auf Druckschwankungen angemessen zu reagieren und die variierende Abluftmenge auszugleichen. Diese letztgenannte Variante entspräche wie schon im Falle des lokalen Ab-

luftsystems dem Prinzip der verteilten Intelligenz, wo jeweils die Endkomponenten selber entscheiden wie ihr Betriebszustand zu wählen ist.

Dieser Ansatz bietet die Möglichkeit komplexe Regelungsprobleme innerhalb der Gebäudetechnik effizient zu lösen.

In diesem Sinne sollen durch den gezielten Einsatz neuer Technologien innovative, gebäudetechnische Systeme geschaffen werden, welche energetisch optimiert aber dennoch robust sind und durch Senkung der Energiekosten dazu verhelfen den gesamten Gebäudebetrieb rentabler zu machen.

Projekte von Amstein + Walthert mit dem besprochenen Ansatz

- Bürogebäude Hauptsitz A+W, Zürich-Oerlikon
Architekt: Frei Architekten AG, Aarau
Konzept: Zuluft LUBO in Brüstung, Abluft in Mittelzone (Inbetriebnahme: 2002)
- Deutsche Schule, Genf
Architekt: Soliman Zurkirchen, Zürich
Konzept: Zuluft Airbox in Decke, Abluft pro Klassenraum (Im Bau)
- Dienstleistungsgebäude DL3, Hurlimann Areal Zürich
Architekt: Metron Architektur AG, Brugg
Konzept: Abluft in Mittelzone, Zuluft Airbox in Doppelboden (Im Bau)
- Überbauung Büelgasse, Gossau
Architekt: meierpartner architekten eth sia ag, Wetzikon
Konzept: Zuluft LUBO in Brüstung, Abluft über Nasszellen (Im Bau)
- UNO Headquarters IUCN, Gland
Architekt: AGPS, Zürich
Konzept: Zuluft Airbox in Brüstung, Abluft lokal über Decke (Baubeginn Herbst 2006)

adrian.altenburger@amstein-walthert.ch
hansjuerg.leibundgut@amstein-walthert.ch
stefan.walser@amstein-walthert.ch
baldini@hbt.arch.ethz.ch

Juni 2006

