

Energieeffiziente Lüftung von Bürogebäuden

Teil 2

Brian Cody, Graz/Österreich

Die Frage ist, ob es Lösungen in Form von Hybridsystemen gibt, welche die Vorteile der beiden Systeme Fensterlüftung und kontrollierte Lüftung in einem System vereinen. Welche Anforderungen wären an ein solches Hybridsystem zu stellen und wie könnte ein solches System aussehen? Anhand von Ergebnissen eines Forschungsprojektes am Institut für Gebäude und Energie an der Technischen Universität Graz wird diesen Fragen nachgegangen. Im ersten Teil dieses Beitrages¹⁾ wurden die Untersuchungen und Ergebnisse zur Fensterlüftung und mechanischen Lüftung dargestellt. Im folgenden zweiten Teil werden die Ergebnisse analysiert und diskutiert und ein Blick in die Zukunft geworfen.

Wie energieeffizient ist eine mechanische Lüftung in Bürogebäuden, verglichen mit einer normalen Fensterlüftung? Wenn öffentbare Fenster in einem Bürogebäude vorgesehen werden, ist eine zusätzliche mechanische Lüftung bei extremen Außenluftbedingungen notwendig bzw. wie ökonomisch oder ökologisch ist es, diese vorzusehen? Wenn eine mechanische Lüftung für extreme Außenluftbedingungen vorgesehen wird, wie ökonomisch bzw. ökologisch ist es, eine Fensterlüftung zusätzlich vorzusehen, die u.U. aufgrund von Wind- bzw. Schallproblemen aufwendig mit Doppelfassaden, automatischer Steuerung etc. ausgebildet werden muss?

Analyse und Diskussion der Ergebnisse

Gründe für mechanische Lüftung

Ein wichtiger Grund, weshalb die mechanische Lüftung in Europa immer häufiger eingesetzt worden ist, liegt in der Problematik des Stadtklimas. Außenlärm und Luftverschmutzung haben in Städten dazu geführt, dass eine mechanische Lüftung notwendig bzw. sinnvoll erschien. Die Frage, die sich für den Städtebau daraus ergibt, ist, ob es nicht sinnvoller wäre, der Ursache dieser Problematik (Verkehr) nachzugehen, statt auf die durch Verkehr hervorgerufene Lärmbelastigungen und Luftverschmutzung mit hermetisch abriegelten Fassaden und mechanischer Lüftung zu reagieren. Da Verkehr und Gebäude zusammen mehr als 75 % des Weltenergieverbrauches ausmachen und die Quellen der Luftverschmutzung in Städten auch zu einem ähnlichen Anteil durch die Energieerzeugung und Verkehr verursacht werden, stellt die Alternative weiter zu machen wie bisher, einen Teufelskreis dar.

Kenndaten der konventionellen mechanischen Lüftungsanlage in Bürogebäuden

Der „Industriestandard“ bei konventionellen mechanischen Lüftungsanlagen ist in Bezug auf Energieeffizienz kritisch zu hinterfragen. Die üblichen Kenndaten der in den letzten Jahren

ausgeführten Anlagen sehen folgendermaßen aus:

- Raumtemperatur 22 °C
- Luftwechselzahl 2,5 LW/h
- Wirkungsgrad der Wärmerückgewinnung = 50 %
- Energieverbrauch der Ventilatoren ca. 3 W pro l/s
- Mixed-Mode-Betrieb
- Einschalttemperatur bei kaltem Wetter 5 °C

Warum soll eine Raumtemperatur von 20 °C bei einem Bürogebäude mit Fensterlüftung ausreichen, bei mechanischer Lüftung jedoch eine Raumtemperatur von 22 °C erforderlich sein? Wäre es nicht sinnvoller die mechanische Lüftung so zu planen, dass die raumklimatischen Bedingungen aufgrund der sich einstellenden Raumluftströmung und mittleren Raumluftgeschwindigkeit auch bei 20 °C behaglich sind?

Die Luftwechselrate von 2,5 LW/h ist auf jeden Fall kritisch zu hinterfragen; ein Luftwechsel von zwischen 1,0 und 1,6 (abhängig von Raumtyp) ist für die Versorgung der Personen mit der hygienisch erforderlichen Außenluft nach DIN EN 13779 ausreichend (s. **Tabelle 2**). Mit dieser Luftmenge lässt sich auch eine ausreichende Entfeuchtung im Sommer vornehmen. Die Raumkühlung mit auf Wasser basierenden Systemen ist ohnehin energieeffizienter.

Außenluftvolumenströme, die höher als notwendig sind, bedeuten einen er-

1) Teil 1 dieses Beitrages ist erschienen in HLH Bd. 56 (2005) Nr. 12, S. 47-52.

Autor



Univ. Prof. Brian Cody ist Vorstand des Instituts für Gebäude und Energie an der Technischen Universität Graz. In seiner Rolle als Berater des weltweit operierenden Ingenieurbüros Arup wird er hauptsächlich in der High-End konzeptuellen Planung von Projekten konsultiert.

Raumtyp	Breite (m)	Tiefe (m)	Höhe (m)	Anzahl Personen	Va (m ³ /h P)	Vz (m ³ /h)	LW/h
Einzelbüro	2,80	5,50	3,00	1	45	45	1,0
Doppelbüro	4,25	5,50	3,00	2	45	90	1,3
Einzelbüro Kombi	2,80	4,50	3,00	1	45	45	1,2
Doppelbüro Kombi	4,25	4,50	3,00	2	45	90	1,6
Großraumbüro	11,50	13,50	3,00	13	45	585	1,3

Tabelle 2

Luftwechselrate für verschiedene Raumtypen

höhten Wärmebedarf, einen erhöhten Kältebedarf, einen erhöhten Ventilatoren-Strombedarf, vergrößerte Schächte und Technikzentralen und einen erhöhten Energiebedarf für die Luftbefeuchtung, falls vorhanden (wenn eine Luftbefeuchtung nicht vorgesehen ist, dann erhöht sich die Anzahl der Stunden, bei denen die Raumluftfeuchte unter den kritischen Wert von 30 % fällt).

Der Einfluss der bei den Raumboberflächen und Möbel verwendeten Materialien auf die Raumluftqualität ist auch von erheblicher Bedeutung. In Abhängigkeit von den eingesetzten Materialien kann man u.U. die notwendige Luftwechselrate im Raum noch weiter reduzieren.

Es stellt sich auch die Frage, ob es sinnvoll ist, eine mechanische Lüftung mit einer hocheffizienten Filterung der Außenluft für beispielsweise 30 % des Jahres zu betreiben und in den restlichen 70 % über Fenster ohne jeglichen Filter zu lüften, wie es bei einem Mixed-Mode-Lüftungskonzept der Fall ist. Man erreicht u.U. damit, dass die Reinigungskosten in den Büroräumen während 30 % des Jahres theoretisch reduziert werden, praktisch aber ist eine tatsächliche Absenkung unwahrscheinlich. Und wenn die Außenluftqualität für die Menschen für 70 % der Zeit hygienisch unbedenklich ist, was bringt den Menschen dann die Filterung in den restlichen 30 %?

Die Frage der Wahl der Einschalttemperatur wurde bereits oben behandelt.

Energetische Aspekte

Anhand der Ergebnisse der vorliegenden Untersuchungen lassen sich folgende Feststellungen ableiten:

- eine normale Fensterlüftung weist einen etwas niedrigeren Primärenergieverbrauch auf (ca. 28 kWh/m²a ausgehend von Szenario 2) als eine konventionelle mechanische Lüftung im Mixed-Mode-Betrieb (ca. 35 kWh/m²a)
- eine hocheffiziente mechanische Lüftungsanlage im Mixed-Mode-Betrieb weist einen Primärenergieverbrauch von ca. 12 kWh/m²a auf, verglichen mit 28

kWh/m²a bei der Fensterlüftung. Allerdings wurde bei den Untersuchungen angenommen, dass die Gebäudehaut sehr dicht ist, und dass Fenster während der Zeit, in denen die mechanische Lüftung betrieben wird, nicht geöffnet werden. Falls dies in der Realität nicht zutrifft, kann sich der Energiebedarf erheblich erhöhen und sogar höher als bei der Fensterlüftung ausfallen. Zu dem ist zu vermuten, dass in den meisten Büros mit Fensterlüftung bei niedrigen Außenlufttemperaturen weniger gelüftet wird als hier angenommen.

Bei den vorliegenden Untersuchungen wurde lediglich der Wärme- und Stromenergieverbrauch berücksichtigt. Im Sommer ist eine Energieeinsparungsmöglichkeit bei der mechanischen Lüftung aufgrund der geringeren Temperaturdifferenz vernachlässigbar; die Temperaturdifferenz zwischen Innen und Außen ist im Sommer um ein Faktor von ca. 5 geringer als im Winter.

Gegenüberstellung mechanischer Lüftung und Fensterlüftung

Die Vor- und Nachteile der mechanischen Lüftung sind:

- + Filterung der Außenluft möglich (Luftverschmutzung)
- + Kontrollierte Lüftererneuerung (Außenluftmenge nicht zu klein (Hygiene), nicht zu groß (Energie))
- + Schalldämmung möglich bei hohem Außenlärm
- + Wärmerückgewinnung möglich
- + Feuchteregelung möglich
- + bei Raumkühlung mit Kühldecke und dgl. keine Tauwassergefahr bei entsprechender Entfeuchtung
- + sommerliche Nachtlüftung zur Auskühlung (bei Fensterlüftung nur bedingt möglich)
- + Kopplung der Lüftung mit der thermischen Speichermasse möglich (Luftbasierte Bauteilaktivierung)
- + vorteilhaft als Grundausstattung bei Investorenprojekten (da kombinierbar mit beliebigen sekundären Kühlsystemen, wie beispielsweise Kühldecke, Fan-Coil-Anlage, Schwerkraftkühlung usw. (Mieterausbau))

- + energieeffizienter als Fensterlüftung (bei einer hocheffizienten Auslegung)
- + keine Zugerscheinungen im Winter (Außenluft vorgewärmt)
- + Ort der Luftansaugung wählbar (Luftverschmutzung)
- konventionelle Anlage weniger energieeffizient als eine normale Fensterlüftung
- u.U. systembedingte Zugerscheinungen im Winter (insbesondere bei Mischlüftung)
- evtl. anlagenbedingte Geräuschbelastigungen im Raum
- kostenintensiv
- Schächte und Technikzentralen nötig (Investitionskosten und Herstellungskosten)
- Bakterien- und Allergenbelastungen bei schlechter Wartung

Die Vor- und Nachteile der Fensterlüftung sind:

- + hohe Akzeptanz der Nutzer (psychologisch)
- + Einsparung vom Platzbedarf für Zentralen und Schächte (Investitionskosten und Herstellungskosten)
- + niedrigere Investitionskosten
- + energieeffizienter als eine konventionelle mechanische Lüftung
- Zugerscheinungen und Bodenluftunterkühlungen im Winter bei geöffnetem Fenster
- weniger energieeffizient als eine hocheffiziente mechanische Lüftung
- problematisch bei Hochhäusern aufgrund der hohen Windgeschwindigkeiten
- evtl. Belästigung durch Außenlärm
- Feuchteregelung nicht möglich
- bei Raumkühlung mit Kühldecke und dgl. Tauwassergefahr
- mechanische Lüftung ist schwierig nachträglich nachzurüsten (evtl. erforderlich beim Nutzerwechsel bzw. bei veränderten Bedingungen)
- Ort der Luftansaugung nicht wählbar (Luftverschmutzung)

Eine oft verbreitete Ansicht ist, dass eine Fensterlüftung im Winter akzeptabel wäre, im Sommer jedoch bräuchte man eine mechanische Lüftung. Aber

wenn eine Fensterlüftung im Heizfall funktioniert, dann müsste sie im Kühlfall auch funktionieren, denn die Randbedingungen an und für sich sind weniger extrem. Die Kombination von Kühldecken bzw. Bauteiltemperierung mit natürlicher Lüftung führt auch zu Ergebnissen, die durchaus behagliche raumklimatische Zustände zulassen (s. Erfahrung bei dem Braun-Gebäude in Kronberg [2]. Hier konnte nachgewiesen werden, dass die Einschränkung der Kühlleistung, die sich durch die notwendige Anhebung der Kühlwasservorlauf-temperatur bei extrem schwülem Wetter im Sommer ergibt, die Einhaltung der gewünschten raumklimatischen Bedingungen für mehr als 97 % der Arbeitszeit nicht beeinträchtigt hat.

Eine mechanische Lüftung hat zwar den Vorteil, dass eine kontinuierliche Grundlüftung vorgesehen werden kann. Allerdings ist in Bürogebäuden, im Gegensatz zu Wohngebäuden, bei denen aufgrund der vorhandenen Feuchtequellen eine gewisse Grundlüftung kontinuierlich gegeben sein soll, um bauphysikalische Schäden zu vermeiden, i.d.R. eine Grundlüftung bei Abwesenheit der Nutzer nicht erforderlich.

Nutzer bevorzugen Fensterlüftung, weil sie ein besseres Verständnis davon haben, wie sie funktioniert und weil sie das Gefühl haben, einen größeren Einfluss auf ihre raumklimatische Umgebung nehmen zu können. In dem sie ein Fenster öffnen oder schließen, können sie zumeist einen sofortigen spürbaren raumklimatischen Unterschied bewirken.

Ein wirklicher Nachteil fast aller in der Praxis ausgeführten mechanischen Lüftungsanlagen in Bürogebäuden sind die hygienischen Bedenken, die aus der Tatsache resultieren, dass die Lüftungskanäle in derartigen Schächten und Hohlräumen so eingebaut werden, dass sie nicht regelmäßig gereinigt werden können.

Sonderfälle

Bei der Betrachtung von Bürogebäuden zeichnen sich folgende Sonderfälle ab, bei denen eine mechanische Lüftung zunächst einmal notwendig erscheint:

- Hochhäuser aufgrund der Windproblematik
- Großraumbüros aufgrund der Raumtiefe und der Tatsache, dass bei einer Fensterlüftung die Fenster von einer Vielzahl von Nutzern mit eventuellem widersprüchlichen Bedarf bedient werden müssen
- Gemeinschaftszonen in Kombibüros

aufgrund des fehlenden Fassadenanschlusses

- Besprechungsräume aufgrund der hohen Personendichte und ggf. der Notwendigkeit einer Verdunkelung

Alternative Anlagenkonzepte

Eine in den letzten Jahren viel diskutierte und bereits bei einigen Großprojekten ausgeführte Variante sind dezentrale Geräte, die im Fassadenbereich eingebaut werden. Mögliche Alternativen sind auch geschoss- bzw. zonenweise Aufteilungen dezentraler Geräte. Diese Lösungen bieten den Vorteil, dass die Betriebsstunden der Geräte besser den Nutzerbedürfnissen angepasst und somit reduziert werden können. Sie eignen sich ebenfalls sehr gut für eine vollständige Einzelraumregelung. Offene Fragen bei diesen Lösungen sind jedoch, die Möglichkeit der Wärmerückgewinnung bzw. die Effizienz dieser, die Effizienz der vielen kleinen Gebläse, die durch die Gebläse hervorgerufenen Geräusche, die tendenziell mit den Jahren zunehmen können und der Wartungsaufwand, der bei der Fassadenlösung in jedem einzelnen Büro regelmäßig durchgeführt werden muss.

Eine Alternative, um eine bessere Anpassung an die einzelnen Nutzerbedürfnisse bei der zentralen Lüftungsanlage zu erreichen, stellt eine Steuerung dar, welche über Fensterkontakte die Luft- und Energieversorgung im Raum beim Öffnen eines Fensters unterbricht. Der energetische Vorteil hier ist jedoch zu hinterfragen; ein eventueller vorhandener Heizkörper bleibt aufgrund der Trägheit weiterhin warm und verliert Wärme an die Außenluft. Die Ventilatoren der zentralen Lüftungsanlage laufen zwar mit reduziertem Volumenstrom aber wahrscheinlich verschlechtertem Wirkungsgrad weiter. Nach der Stoßlüftung mittels Fenster läuft die mechanische Lüftung im Raum wieder an, obwohl der Bedarf dann eigentlich vorerst nicht gegeben ist.

Eine weitere Alternative ist eine Kopplung der thermischen Masse mit der mechanischen Lüftung in Form einer auf Luft basierenden Bauteilaktivierung. Dieses Konzept wurde ursprünglich in Schweden entwickelt, in den letzten 10 Jahren relativ häufig in England ausgeführt und mittlerweile nun auch in Deutschland bei einigen Projekten umgesetzt. Offene Fragen hierbei sind die systembedingten relativ hohen Druckverluste und die hygienischen Bedenken, angesichts der Tatsache, dass die mit sehr geringen Durchmessern gefe-

tigten in Betondecken eingebauten Lüftungsröhren kaum mehr gereinigt werden können.

„Mixed-Mode“-Konzepte

Laut den Ergebnissen dieser Untersuchungen liegt die Energieeinsparung einer hocheffizienten mechanischen Lüftung im Mixed-Mode-Betrieb gegenüber der Fensterlüftung bei ca. 16 kWh/m²a. Angenommen die Investitionskosten betragen 11 Euro pro m²/h, die Wartungs-, Bedienungs- und sonstige Instandhaltungskosten betragen 5 % der Investitionskosten pro Jahr und die Energiekosten betragen 0,12 Euro pro kWh/a. Ein einfacher Vergleich der Energiekosteneinsparung mit den notwendigen Wartungs-, Bedienungs- und Instandhaltungskosten zeigt:

Wartungs-, Bedienungs- und Instandhaltungskosten = 5 % von 11 Euro/m²h⁻¹ x (3 m³ x 1,2 LW/h) = 1,98 Euro/m²a
 Energiekosteneinsparung = 16 kWh/m²a x 0,12 Euro/kWh = 1,92 Euro/m²a

Werden also offenbare Fenster in einem Bürogebäude vorgesehen, ist eine zusätzliche mechanische Lüftung bei extremen Außenluftbedingungen im Winter nicht wirtschaftlich sinnvoll. In Anbetracht der Herstellungskosten, die notwendig ist, um eine solche mechanische Anlage herzustellen, ist die Lösung auch nicht ökologisch sinnvoll.

Eine hocheffiziente mechanische Lüftungsanlage im ganzjährigen Betrieb weist laut Bild 1 (in Teil 1 dieses Beitrages) einen Primärenergieverbrauch von ca. 15 kWh/m²a auf. Dieselbe Anlage im Mixed-Mode-Betrieb verbraucht laut Bild 5 ca. 12 kWh/m²a, eine Einsparung von also gerade mal 3 kWh/m²a. Wenn nun aufgrund von Außenlärm oder Wind eine doppelschalige Fassade in Erwägung gezogen wird, um eine Fensterlüftung in den Übergangszeiten zu ermöglichen und diese 3 kWh/m²a einzusparen, sollte man zunächst überlegen, wie viel Energie für die Herstellung der Fassade benötigt wird. Würde eine Doppelfassade für das hier untersuchte Büro in Betracht gezogen werden, wäre die Fläche der zweiten Haut ca. 4 m mal 3,6 m (Geschosshöhe). Bei einer 10 mm Dicke der Glashaut ergibt sich bei einer Dichte von 2 640 kg/m³ eine Masse von ca. 380 kg für das untersuchte Büro. Die eingebaute Energie des Glasanteils der Fassade beträgt somit ca. 4 800 MJ bzw. ca. 61 kWh pro m² Bürofläche bei einem spezifischen Herstellungsenergiewert von 12,7 MJ/kg für Glas. Berücksichtigt man noch den Metallanteil der Konstruktion einschließlich Gitterrost-Wartungsstege pro Geschoss kann man von ca. 300 kWh/m² Bürofläche ausgehen. Somit ist eine Ein-

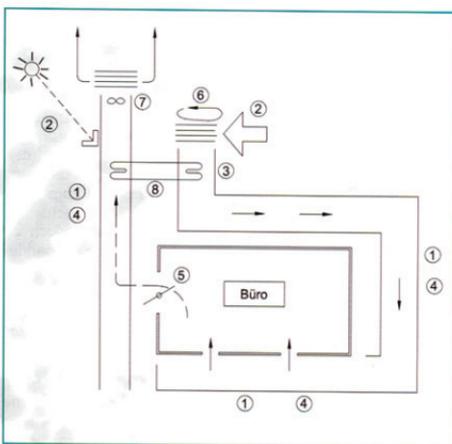
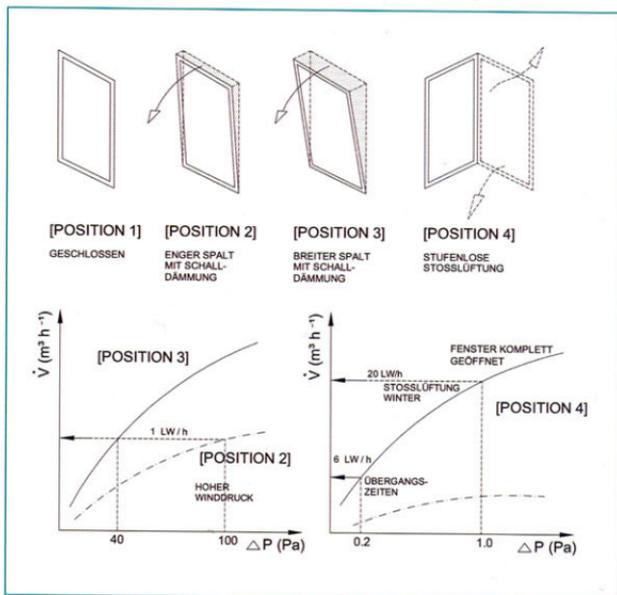


Bild 7

Lüftungselement für Hochauslüftung

Bild 8

Aufbau eines hybriden Systems

spielung der eingebauten Herstellungskosten der Fassade durch die eingesparte Betriebsenergie der Lüftung unmöglich. Das Vorsehen von offenbaren Fenstern ist jedoch trotzdem empfehlenswert, weil sie für die meisten Menschen in Mitteleuropa (psychologisch) wichtig für ihr Wohlbefinden sind. Ein weiterer Vorteil eines solchen Mixed-Mode-Konzepts ist auch die Redundanz; bei Ausfall der mechanischen Lüftung oder Unterbrechung der Stromversorgung, kann über die Fenster gelüftet werden. Auch

die Entrauchung über Fenster ist zu meist kostengünstiger und weniger problematisch als über eine mechanische Lüftung.

Die Zukunft

Eine mechanische Lüftung in Bürogebäuden kann aus energetischen Gründen nicht befürwortet werden. Im Normalfall ist eine Fensterlüftung zu empfehlen. Ein möglicher Lösungsweg, den Einsatz von Fensterlüftung auch bei