

## Das Fassadenlüftungsgerät Univent<sup>®</sup> FVS – das innovative dezentrale Lüftungskonzept für Innenräume mit hohem Frischluftbedarf

Von Dr.-Ing. Hans Werner Roth, Dipl.-Ing. Ralf Wagner

Die Erfahrungen der LTG Aktiengesellschaft aus mehr als 1000 gelieferten FVS-Lüftungsgeräten zeigen, dass dezentrale Lüftungssysteme in dichtbesetzten Räumen für im Wesentlichen fünf Anforderungen wirtschaftliche und innovative Lösungen anbieten sollten:

- Gute Raumlufthqualität bei kontrollierter CO<sub>2</sub>-Konzentration.
- Niedrige Lüftungsgeräusche.
- Zugluftarme Raumbelüftung mit niedrigen Zulufttemperaturen und guter Lüftungseffektivität.
- Nutzung der Vorteile dezentraler maschineller und natürlicher Lüftung für höchste Energieeffizienz.
- Modulare, flexible Komplettlösungen vom Wetterschutzgitter bis zum Luftdurchlass mit reproduzierbaren technischen Daten, guter Kosten-Nutzen-Relation und einfacher Montage.

Experiences by more than one thousand of FVS air handling units indicate the following most important criteria for efficient decentralized ventilation of tight occupied room spaces:

Best indoor air quality by control of CO<sub>2</sub>-concentration.

- Low ventilation noise.
- Ventilation at low drafts, with low supply air temperatures and best ventilation efficiency.
- Use of advantages of decentralized mechanical and natural ventilation for highest energy efficiency.
- All-in modular ventilation system, from weather louvers to air diffuser, with highly reproducible datas, good cost-benefit ratio und easy installation, o&m.

### 1. Bedeutung der Lüftung dichtbesetzter Innenräume

Versammlungsstätten (>200Personen) müssen ab einer Grundfläche von 200m<sup>2</sup> mit einer maschinellen Lüftung ausgestattet werden. Schul- und Besprechungsräume erreichen eine vergleichbare Belegungsdichte bis zu 1Person/ 0,5m<sup>2</sup> und sind gemäß der Arbeitsstättenverordnung mit „gesundheitlich zuträglicher Atemluft in ausreichender Menge“ zu versorgen. Die neue ASR A 3.6 [1] nennt eine Richtkonzentration von 1000ppm Kohlendioxid. Zwischen 1000 und 2000ppm besteht Handlungsbedarf, die Raumlüftung zu verbessern. Die ASR schließt die natürliche Lüftung nicht aus, fordert jedoch eine anteilige Fensteröffnungsfläche von mindestens 0,35m<sup>2</sup>/Person. Oberhalb von 2000ppm sind nach ASR und den Empfehlungen des Umweltbundesamts [2] weitergehende Maßnahmen zur Verbesserung der Lastabführung erforderlich. Häufig muss dann eine maschinelle Lüftung nachgerüstet werden.

Aus energetischer Sicht bestimmen die Lüftungswärmeverluste den Wärmebedarf eines dicht besetzten Raums. Eine Nachheizung des kalten Außenluftstroms allein durch die Personenwärme ist bei freier Lüftung nur im geringen Umfang möglich und unweigerlich mit Einbußen beim thermischen Komfort verbunden. Mit der Wärmerückgewinnung einer maschinellen Lüftung gelingt es, mehr als 80% der Abluftwärme auf die Zuluft zu übertragen und die Lüftungswärmeverluste auszugleichen. Schulen können damit die Mindestanforderungen einer energetischen Sanierung einhalten und Zuschüsse beantragen. So sollte bei jeder energetischen Sanierung der Fassade geprüft werden, ob und wie eine Lüftungsanlage nachgerüstet werden könnte. Wenn Schächte und Technikräume fehlen und wenig Bauraum vorhanden ist, sind dezentrale, d. h. raumweise zugeordnete Lüftungsgeräte die wirtschaftlichste, häufig auch einzige Alternative.

## 2. Hygienische Bewertung der Raumlufqualität

Da die Kassen der Städte und Gemeinden leer sind, wird über die maschinelle Belüftung von Schulräumen immer noch kontrovers diskutiert. Man verschiebt die Verantwortung für eine manuelle Bedienung der Fenster auf den Schulbetrieb, auch wenn Messungen und Erfahrungen der Fachwelt schlechte Luftqualität und erhöhten Energieverbrauch bestätigen.

Natürlich belüftete Schul- und Versammlungsräume werden häufig unmittelbar nach der Nutzung mitsamt der verbrauchten Raumluf verschlossen. Nachts und an Wochenenden kann aus organisatorischen Gründen nicht gelüftet und die Chance vertan, die noch aufgeheizten Räume auskühlen zu lassen. Messungen der LTG Aktiengesellschaft zeigen, dass der CO<sub>2</sub>-Pegel in einem dichten, verschlossenen Schulraum erst nach 48h – also der Zeitdauer eines kompletten Wochenendes – von 750 auf 500ppm abgefallen ist.

Leitkonzentrationen zur sensorischen und physikalischen Bewertung der Raumlufqualität in dicht besetzten Innenräumen sind:

- **Kohlendioxid** als Stoffwechselprodukt menschlicher Aktivität (z.B. 20l/h), gekoppelt mit Ausdünstungen (Bioeffluenzen), die sensorisch wahrnehmbar sind und Irritationen und Konzentrationsschwäche auslösen können
- **Raumlufteuchte** bestimmt durch menschliche Wasserdampfabgabe (z.B. 60g/h) und Lüftung bei hohem oder niedrigem Wassergehalt der Außenluft. Trockene Raumluf reizt die Schleimhäute in Auge und Nase. Feuchte Luft bietet bessere Überlebens- und Wachstumsbedingungen für bestimmte Keime und Schimmelpilze, deren Abfallprodukte Allergien auslösen können. Die menschliche Nase empfindet kühlere Raumluf mit niedrigem Wassergehalt (niedrige Enthalpie) als frischer, unverbrauchter.
- Konzentrationen von einatembarem **Feinstaub** mit Partikelgrößen PM10 und PM2,5
- Gesamtgehalt für flüchtige organische Verbindungen (**TVOC**): zum Beispiel durch Emissionen aus Gebäudeoberflächen, durch ausgeübte Tätigkeiten (z. B. chemische Versuche) und Emissionen von Menschen
- Konzentration der **Mikroorganismen** in der Raumluf, gemessen in KBE/m<sup>3</sup> Raumluf, d. h. Anzahl der **Kolonie-Bildenden-Einheiten**, die nach einer Ausbrütung bei Körpertemperatur auf dem Nährboden einer Petrischale ermittelt und dem darüber geleiteten Luftstrom zugeordnet wird.

Das wichtigste Kriterium für die Raumlufqualität ist der Kohlendioxidgehalt. Neben dem ausgeatmeten Kohlendioxid sind es die Begleitstoffe menschlicher Emissionen und Tätigkeiten, wie über die Atmung und Hautoberfläche abgegebene flüchtige Kohlenwasserstoffe (VOC), Partikel als Hautschuppen, Kleidungsabrieb und Keime, die Gesundheit und Leistungsvermögen der Raumnutzer belasten können.

In dicht besetzten und schlecht belüfteten Räumen, ist das Risiko, sich über die Luftwege anzustecken sehr hoch. So nutzen Schnupfenviren den Schwebstaub der Raumluf, um sich frei ausbreiten zu können. Mit der Konzentration der Viren steigt das Infektionsrisiko. Die Infektionsbelastung nimmt also mit dem Anteil der Atemluft in der Raumluf, der CO<sub>2</sub>-Konzentration zu. Diese lässt sich nur über die Verdünnung durch Lüften senken. Die folgende Abbildung 1 zeigt an einem Beispiel die Anzahl angesteckter Personen aus einer Gruppe von 30 Schülern, die sich über 4 h im gleichen Raum aufhalten. Ein Schüler ist der Infektionsherd. Das mathematische Modell wurde von Rudnick und Milton von der Wells-Riley-Rechnung für luftübertragene Ansteckung für CO<sub>2</sub> abgeleitet und experimentell verifiziert [3].

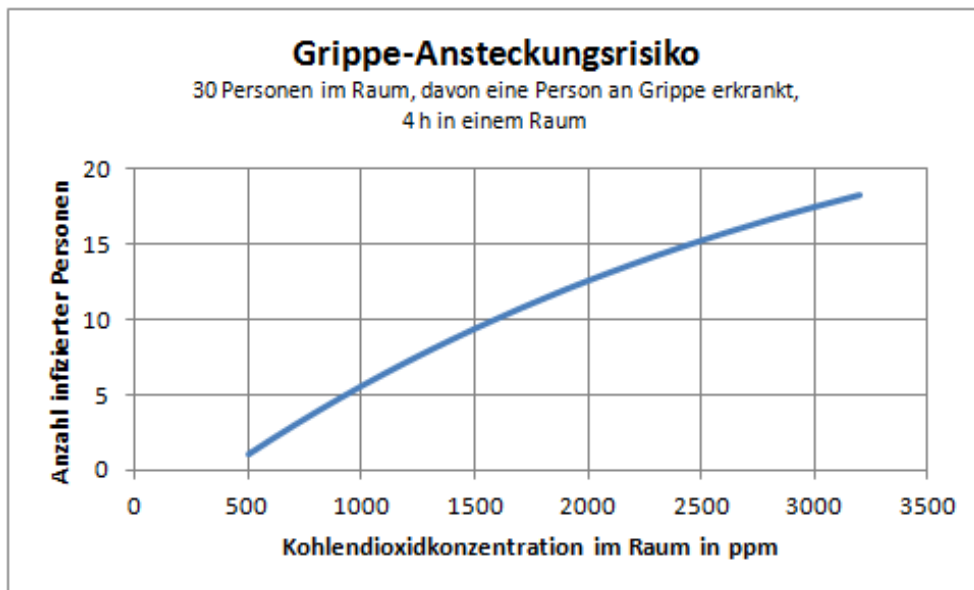


Abbildung 1: Modell für Grippe-Infektionsrisiko

Doch nicht nur die Belastung durch Krankheitserreger spielt eine Rolle. Auch für andere Faktoren wie den Luftfeuchtegehalt und den Gehalt an Feinstaub nehmen direkten Einfluss auf Gesundheit und Wohlbefinden.

Bei übermäßiger Raumbelüftung mit kalter Außenluft mit niedrigem Wassergehalt kann die **relative Raumluftfeuchte** 30% rF unterschreiten. Trockene Luft belastet die Schleimhäute. Durch die Austrocknung wird der Schutz- und Reinigungsprozess innerhalb der Atemwege eingeschränkt, und die Anfälligkeit für Ansteckung und Krankheiten steigt. Auch trockene Augen und feuchtigkeitsarme Haut sowie das vermehrte Auftreten von Kopfschmerzen können die Folge sein. Enthält die Luft jedoch zu viel Feuchtigkeit, fühlen wir uns schnell unbehaglich, weil die Regulation unserer Körpertemperatur durch Schwitzen beeinträchtigt wird (Gefühl der „Schwüle“).

**Feinstaub** wird grundsätzlich unterschieden in einatembaren PM10- und PM2,5-Staub. Einatembarer Feinstaub mit einer Partikelfraktion PM10 (50% der Masse ist kleiner als 10µm) gelangt über den Kehlkopf bis in die Atemwege. Alveolengängiger, d. h. inhalierbarer Feinstaub mit einer Partikelfraktion PM2,5 (50% der Masse ist kleiner als 2,5µm) dringt bis in die Lungenbläschen vor. PM2,5-Staub (z. B. Rußpartikel) stammt überwiegend aus der Außenluft und kann nur durch Feinfilter in einem Lüftungsgerät zurückgehalten werden. Die größeren PM10-Partikel werden überwiegend von den Menschen im Raum abgeschieden. Man stuft diese Partikel, von den viralen Keimen abgesehen, als gesundheitlich unbedenklicher ein als PM2,5-Feinstaub der Außenluft. Die Konzentration des PM10-Staubs, wie auch die des Kohlendioxids und der Keime kann nur durch Lüften verdünnt werden.

Für die folgenden Stoffe werden in den technischen Normen, seitens WHO, Gesundheitsbehörden und Gesetzgeber Innenraum-Grenzwerte empfohlen:

- CO<sub>2</sub>-Konzentration < 1000 – 1500 ppm
- alveolengängiger (inhalierbarer) PM2,5-Feinstaub < 10µg/m<sup>3</sup> (Grenzwert Außenluft < 50µg/m<sup>3</sup>)
- PM10-Konzentration < 50µg/m<sup>3</sup>
- relative Raumluftfeuchte 25 % > rF > 70%
- TVOC < 0,3 mg/m<sup>3</sup>
- für Mikroorganismen, wie Keimen, Sporen, Pollen gibt es keine Grenzwerte, da bereits wenige Organismen Krankheiten der Atemwege oder Allergien auslösen können; als Schutzziel gilt eine Minimierung der Konzentration, was bei Pollenallergien durch Filterung der Außenluft weitgehend gelingt.

Bei natürlicher Lüftung können die o.g. Werte bei ungünstigen Außenluftbedingungen nicht eingehalten werden.

Das Umweltbundesamt zitiert in einer Literaturstudie [2], dass in Münchner und Erfurter Schulen im Winter an mehr als 30% des Unterrichts CO<sub>2</sub>-Pegel oberhalb von 2000ppm gemessen wurden.

Die LTG Aktiengesellschaft hat dazu eine Modellrechnung zum Vergleich zwischen freier und maschineller Lüftung in einem 60m<sup>2</sup> großen Schulraum durchgeführt (siehe Bild 2). Aufgetragen sind gerechnete CO<sub>2</sub>-Konzentrationsverläufe über jeweils zwei Unterrichtseinheiten. Sie bestehen aus einer Doppelstunde von 2x45 Minuten, dazwischen 5 Minuten Pause und einer anschließenden großen Pause von 15 Minuten. Während den 95 Minuten halten sich 30 Schüler im Raum auf. In der großen Pause ist der Raum leer. Im Unterricht bleiben die Fenster geschlossen. Es wird ein minimaler Außenluftaustausch von 0,1 1/h angenommen. In den Pausen wird mit einem mittleren Volumenstrom von 400m<sup>3</sup>/h über Fenster gelüftet (Mittelwert über Unterricht und Pausen 0,5 1/h). Das Ergebnis zeigt eine typische „Sägezahnkurve“ mit höheren Pegeln in der 2. Unterrichtseinheit, die durch Messungen bestätigt wird. Der über den Unterrichtszeitraum zeitlich gemittelte CO<sub>2</sub>-Gehalt liegt im gezeigten Beispiel bei 2493 ppm. Auch hier zeigt sich, dass eine Pause von 15 Minuten nicht ausreicht, um die Ausgangskonzentration zu erreichen, da der Mischvorgang die Konzentrationsunterschiede zwischen Außen- und Raumluft abbaut und damit über der Zeit immer weniger Kohlendioxid aus dem Raum abgeführt wird (Exponentialfunktion!).

Bei maschineller Lüftung mit dem LTG Fassadenlüftungsgerät Univent<sup>®</sup> FVS mit 600m<sup>3</sup>/h Volumenstrom, die bei einer Einschaltsschwelle von 600ppm über den CO<sub>2</sub>-Fühler eingeschaltet und bei 500ppm ausgeschaltet wird, sinkt der Mittelwert auf 1088 ppm und damit in den Soll-Bereich.

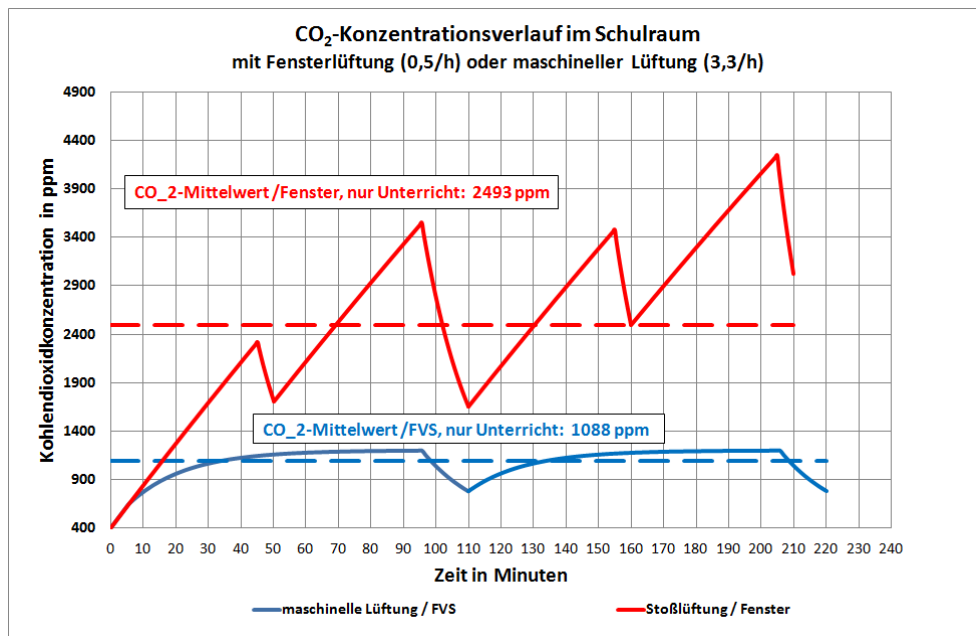


Abbildung 2: CO<sub>2</sub> Konzentration in einem Schulraum mit Stoßlüftung über Fenster und mit maschineller Lüftung

Vergleicht man dazu noch die Feinstaubkonzentration PM<sub>10</sub> in Bild 3, so sind die Höchstwerte ohne maschinelle Lüftung fünf Mal höher. Im Gegensatz zum Kohlendioxid, das in der Außenluft und damit auch in der Zuluft in einer Konzentration von 380 bis 400ppm vorkommt, werden durch einen F7-Feinfilter im FVS-Gerät 95% des PM<sub>10</sub>-Staubs zurückgehalten. Auch hier beruht die Minderung dieser Staubkonzentration wie beim Kohlendioxid auf dem Verdünnungseffekt bei konstanter Emission pro Person in mg Staub/h. Der alveolengängige Feinstaub der Außenluft (PM<sub>2,5</sub>) wird mit der F7-Filterklasse immer noch zu 85% aus der Zuluft entfernt, d. h. bei einer Außenluftkonzentration von 25µg/m<sup>3</sup> ist die Zuluft nur noch mit 4µg/m<sup>3</sup> belastet.

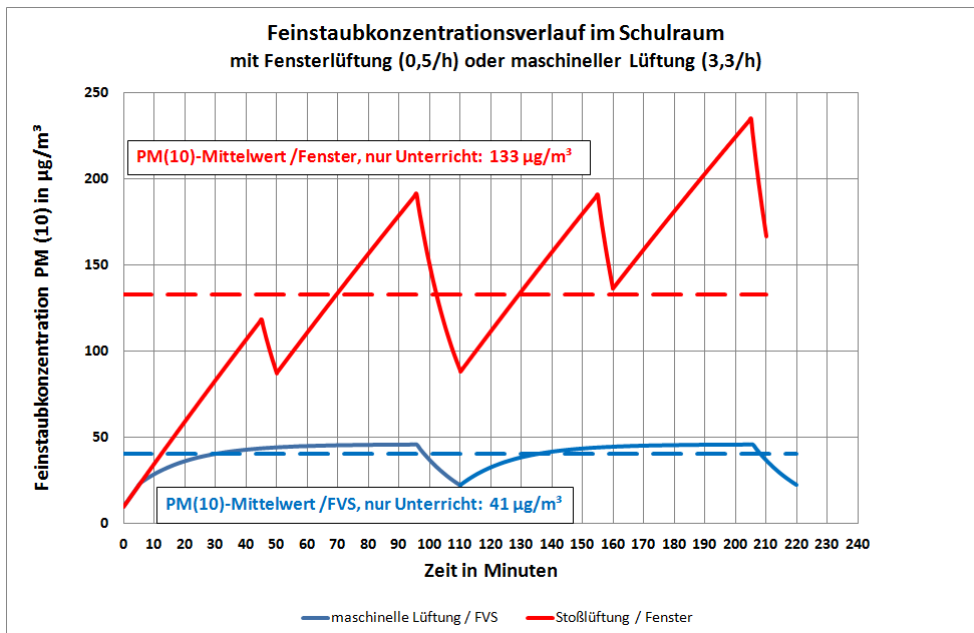


Abbildung 3: Feinstaubkonzentration in einem Schulraum mit Stoßlüftung über Fenster und maschineller Lüftung

Mit dem Fassadenlüftungsgerät Univent® FVS lassen sich die genannten Grenzwerte und damit auch ein guter Hygienestandard einhalten, dank hochwertiger Luftfilter (F7 für Zuluft, F5 für Abluft) sowie durch programmierbare Nachlaufzeit beim Abschalten als Feuchteschutz im Außenluftfilter bei anhaltend hoher Feuchte der Außenluft nach (VDI 6022).

### 3. Anforderungen an dezentrale Lüftungssysteme

#### 3.1. Raumakustik bei dezentraler maschineller Lüftung

In dicht besetzten Räumen ist die gute Verständlichkeit von Sprache sehr wichtig. Hierfür sind zwei wesentliche akustische Kriterien einzuhalten:

1. Nachhallzeit  $T_{\text{soll}}$  abhängig vom Raumvolumen nach DIN 18041 [4]
2. Störgeräuschpegel  $L_{p,A} \leq 35 \text{ dB(A)}$

Für Raumvolumina  $V$  zwischen 120 und 200m<sup>3</sup> sind mittlere Nachhallzeiten gemäß

$$T_{\text{soll}} = 0,32 \cdot \lg(V) + 0,17 \text{ [s]}$$

zwischen 0,49 bis 0,57s erforderlich.

Die Werte können mit einer Akustikdecke und mit hocheffizienten Schallabsorbieren an Decke, Rückwänden und in Raumecken erreicht werden.

Für die Absorption des Störschalls lässt sich mit diesen Soll-Angaben die mittlere Raumabsorption im Nachhallfeld wie folgt berechnen:

Die äquivalente Absorptionsfläche liegt nach der Sabin'schen Formel  $A = 0,163 \frac{V}{T}$  zwischen 39 und 57m<sup>2</sup>

Sabine. Im Nachhallfeld rechnet sich daraus eine Raumdämpfung  $D = 10 \lg \frac{A}{V}$  zwischen 10 und 12dB.

Damit sollte die Schalleistung  $L_{w,A}$  des dezentralen Lüftungsgeräts als Summe der Schallwege über die Luftwege und das Gehäuse kleiner sein als die Summe aus max. Schalldruck und Raumdämpfung  $D$ :

$$L_{w,A} \leq L_{pAmax} + D \leq 45 \text{ bis } 47 \text{ dB(A)}$$

### 3.2. Wesentliche Aspekte der Raumbelüftung dichtbesetzter Innenräume

Die in Kap.2 beschriebene Simulationen der Stoffkonzentrationen im Raum setzen eine ideale Vermischung von Zu- und Raumlufte voraus. Für ein optimales Mischlüftungssystem sind folgende Bedingungen einzuhalten:

- hochinduktive Luftauslässe, die auf kurzem Strahlweg (typisch 1m) durch Mischung mit Raumlufte mehr als 80% der Ausblasgeschwindigkeit abbauen und eine Strahluntertemperatur von z.B. 10K auf 0,2K reduzieren
- komplette Durchströmung der Aufenthaltszone, d. h. gleich gute Luftqualität an jedem Aufenthaltsort
- zugluftarme Raumströmung mit einem Zugluftisiko  $DR \leq 15\%$  (DIN EN ISO 7730 [5] und nationalem Anhang der DIN EN 15251 [6])
- Einhaltung der zuvor genannten Kriterien bei Teillast, da gerade Räume mit hohem Außenluftbedarf aus energetischen Gründen bedarfsgeregelt belüftet werden sollten.

Diese zum Teil sehr anspruchsvollen und gegenläufigen Forderungen lassen sich nur mit hochinduktiven Luftdurchlässen erfüllen, deren Position im Raum, Auslegung/Einstellung und Betriebsweise über die Regelung für den Nennvolumenstrom optimiert sind. Erfahrungen der LTG Aktiengesellschaft zeigen, dass sich eine Misch-Quell-Lüftung am besten eignet, in der sich die Vorteile der lokalen Mischlüftung im Nahfeld der Luftdurchlässe mit denen der Quelllüftung in der Aufenthaltszone kombinieren lassen. Diese Strömungsform stellt sich aufgrund der hohen inneren Lasten als Kühlfall unabhängig von der Außentemperatur ein. Der Raum selbst wird über ein statisches System geheizt, nicht über den Zuluftstrom. Der für die thermische Behaglichkeit kritischste Lastfall ist der Kühlfall im Winter bei einer Raumtemperatur von 22°C und einer Zulufttemperatur von 17°C, bedingt durch die ausschließliche Nacherwärmung der Außenluft im Wärmerückgewinner.



Abbildung 4 : Laborversuch für einen Schulraum mit Misch-Quelllüftung

### 3.3. Nutzung der Vorteile dezentraler Lüftung für maximale Energieeffizienz

Dezentrale Lüftungsgeräte bieten die größten Potenziale, den Jahresenergiebedarf soweit zu senken, dass - ohne Einschränkungen beim Raumklima - die Ansprüche des Passivhausstandards (Heizwärmebedarf  $< 15\text{kWh/m}^2/\text{a}$ ) und der klimaneutralen Niedrigstenergiegebäude (ab 2018 gesetzlich gefordert) erfüllt werden können.

Wesentliche Voraussetzungen, mit einer Klimaanlage den Primärenergiebedarf eines natürlich belüfteten Gebäudes unterbieten zu können sind

- niedrige spezifische Ventilatorleistung SFP, z.B. Klasse SFP1, d.h.  $< 500\text{W}/(\text{m}^3/\text{h})$
- Wärmerückgewinnung mit Bypass-Regelung und einem Temperaturänderungsgrad  $> 80\%$
- bedarfsgeregelte Raumlüftung nach Leitkonzentration  $\text{CO}_2$
- regeltechnische Integration der Fensterlüftung
- Regelung/Steuerung von Lüftung, Raumtemperierung, Gerätesicherheit in der Raumautomation incl. Bus-Kommunikation



### 3.4. Wirtschaftliche Aspekte und Planungssicherheit

Eine Systemlösung, bei der ein Soll-Ist-Vergleich nach der Inbetriebnahme die geplanten Daten und Funktionen nachweist, setzt voraus, dass alle Komponenten „zusammenpassen“ und die Schnittstellen zu bauseitigen Leistungen, wie Fassade, Luftleitungen, Heizung und Trockenbau rechtzeitig geklärt und technisch gelöst sind.

Die LTG Aktiengesellschaft hat gute Erfahrungen mit Projekten, in denen z.B. die Fassadenanbindung der Außen- und Fortluftöffnungen vor der Ausschreibung mit Architekt, Fassadenplaner und Bauphysiker abgestimmt wurden. Nur so lassen sich architektonisch hochwertige Lösungen ohne „nachträgliche“ Kompromisse entwickeln. Komplettlösungen bedeuten Komplettpreise und die Sicherheit, dass geprüfte technische Daten für diese Anordnungen existieren. Gleiches gilt für die MSR, die nicht vom Gerät getrennt ausgeschrieben werden sollte, da der Hersteller des dezentralen Lüftungsgeräts nur nachbessert und für Schäden haftet, die mit „seiner“ MSR-Software und Hardware entstehen.

Eine weitere wichtige Anforderung ist die Kompaktheit des Systems und eine möglichst einfache Montage und Inbetriebnahme. Da dezentrale Lüftungsgeräte häufig bei Sanierungen eingesetzt werden, muss ein Einbau bei laufendem Gebäudebetrieb möglich sein.

## 4. Umsetzung der dezentralen Lüftung am Beispiel des Fassadenlüftungsgeräts Univent® FVS

### 4.1. Gerätebeschreibung und Einbau im Raum

Das Fassaden-Lüftungsgerät Univent® Typ FVS wurde speziell für die Belüftung von dicht besetzten Innenräumen konzipiert. Dieses dezentrale RLT-Gerät belüftet jeweils einem Raum oder eine Nutzungszone direkt über die angrenzende Fassade. Die Zulufttemperatur wird mit Hilfe einer Bypass-geregelten Wärmerückgewinnung aus der Abluft, einer Umluftklappe und einer optionalen thermischen Nachbehandlung auf Solltemperatur geregelt. Diese Zuluftregelung kann als Kaskade in den Temperaturregelkreis sekundärer Heiz- und Kühlsysteme des Raums eingebunden werden.

Mit einem Nenn-Volumenstrom von 600m<sup>3</sup>/h ist das FVS-Gerät für 20 bis 30 Personen und eine zu belüftende Grundfläche von 60-80 m<sup>2</sup> ausgelegt.

Die Geräte können innerhalb einer Teildecke oder sichtbar im Raum aufgehängt werden und beanspruchen so keine Grundfläche am Boden. Die kompakten Abmessungen von 43 x 83cm (H x B) erlauben eine Abhängehöhe von nur 50 cm zwischen der Roh- und Zwischendecke. Die Gerätelängen variieren je nach Schalldämpferauslegung und Luftanschlüssen zwischen 3 und 4,2m.

Beim neuen, sichtbar aufgehängten Kompaktgerät FVS-S ist im Gegensatz zu Abb.5 seitlich auf der Raumseite nur noch ein Luftkanal angebaut.

Das Lüftungsgerät wird auf der Fassadenseite an ein bauseitig angepasstes Außenluftmodul angeschlossen, dessen Wetterschutzgitter flächenbündig in die Außenwand oder ein Fassadenpaneel im Bereich eines Oberlichts eingebaut ist. Dieses Wetterschutzgitter ist horizontal geteilt: Im unteren Abschnitt wird Fortluft im Winkel von 45° zur Fassadenoberfläche mit hohem Impuls ausgeblasen, im oberen Lüftungsgitter Außenluft mit niedriger Geschwindigkeit angesaugt. Damit lassen sich Strömungskurzschlüsse zwischen Außen- und Fortluft sowohl innerhalb des gleichen Geräts, wie auch zwischen benachbarten Geräten weitgehend vermeiden und das Ansaugen von an der Fassade aufgeheizter Außenluft unterbinden.

Die kombinierte Außenluft- Sekundärluft-Klappe übernimmt folgende Aufgaben:

- luftdichte Absperrung der Außen- und Fortluftöffnung bei Gerätestillstand und Stromunterbrechung bzw. Stromausfall
- thermische Isolation im geschlossenen Zustand
- Trennung der Außen- und Fortluftströme ohne Strömungskurzschluss im Gerät



Abbildung 5: Beispiel für FVS-Sichtmontage



Abbildung 6: Beispiel für Einbau in einen Deckenkoffer

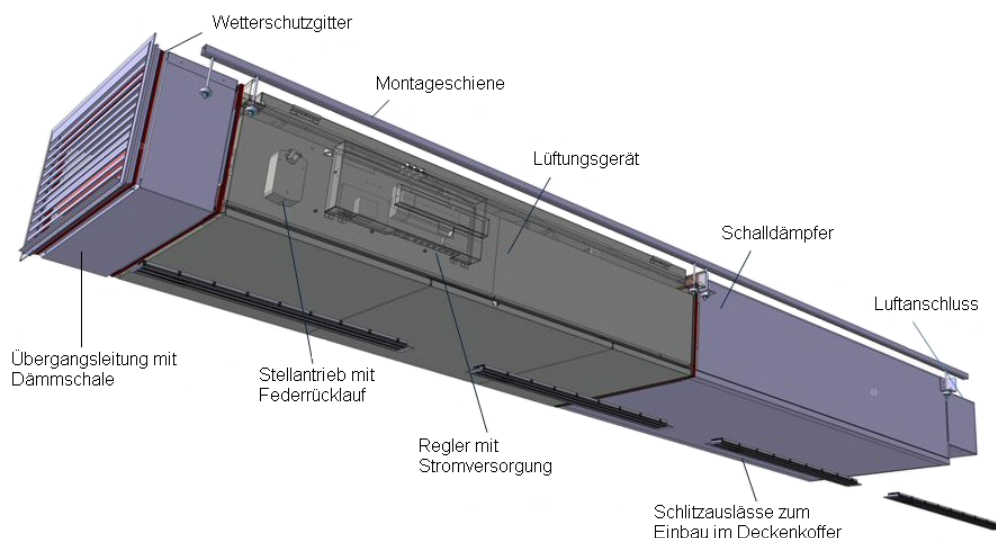


Abbildung 7: Komponenten des Lüftungsgeräts Univent® FVS

Durch eine stufenlose Mischung von Außen- und Sekundärluft zwischen 0 bis 100% wird eine Vereisung des Wärmerückgewinners unterbunden. Unbelegte Räume lassen sich durch Umluftbetrieb mit kleinerem Energiebedarf temperieren, sollten – wie beim Passivhausstandard - keine Sekundärsysteme zur Verfügung stehen. Die Außenluft-/Sekundärluftklappe sperrt außerdem bei Stromausfall oder über eine im Brandfall erzwungene Stromabschaltung mit einem Federrücklauf-Antrieb die Außen- und Fortluftöffnung luftdicht ab. Nach dem regulären Abschalten laufen die Ventilatoren für einige Minuten im Sekundärluftbetrieb nach (100% Umluft), um eventuell feucht gewordene Komponenten wie Wärmerückgewinner und Außenluftfilter trocknen zu können.

Der Außenluftstrom wird im Gerät durch einen F7-Feinstaubfilter gereinigt und bei niedrigen Außentemperaturen in einem Kreuz-Gegenstrom-Wärmetauscher auf Soll-Zulufttemperatur erwärmt. Steigt die Außentemperatur, öffnet der Zulufttemperaturregler die Bypassklappe. Ein Teil des Außenluftstroms umgeht den Wärmerückgewinner und verringert damit die Zulufttemperatur, um den Raum zu kühlen. Im Normalfall wird das FVS-Gerät von zentraler Stelle in zwei wählbaren Lüftungsstufen freigeschaltet, um einen Betrieb außerhalb vorgesehener Nutzungszeiten zu unterbinden. Ein geregelter Nachtlüftungszyklus, mit dem sich das Gebäude in kühlen Sommer Nächten vorkühlen lässt, kann ebenfalls freigegeben werden.

An das 2m lange Lüftungsgerät werden je nach Einbauposition im Raum und Luftführung kompakte Doppelschalldämpfer für Zu- und Abluft angeschlossen. Der Querschnitt entspricht den Abmessungen des Lüftungsgeräts, die Längen variieren zwischen 1m und 1,8m.

## 4.2. Raumbelüftung und Akustik

Bei dem in Abb.7 gezeigten Einbaugerät können auf der Zuluftseite z. B. LTG- Schlitzauslässe vom Typ LDB20/8/2 oder 12/8/2 über Luftleitungen angeschlossen werden. Bei typischen Raumtiefen von 6-8m, senkrecht zur Fassade kann der Zuluftstrom über 5-6m aktive Linearauslässe verteilt werden. Abb.8 zeigt prinzipiell, wie hochinduktive Linearauslässe innerhalb einer Teildecke angeordnet werden können. Im Teillastbetrieb bleibt der Austrittsimpuls erhalten, wenn der für hohe Lüftungseffizienz optimierte 100%-Volumenstrom durch eine Luftqualitätsregelung ein- und ausgeschaltet wird.



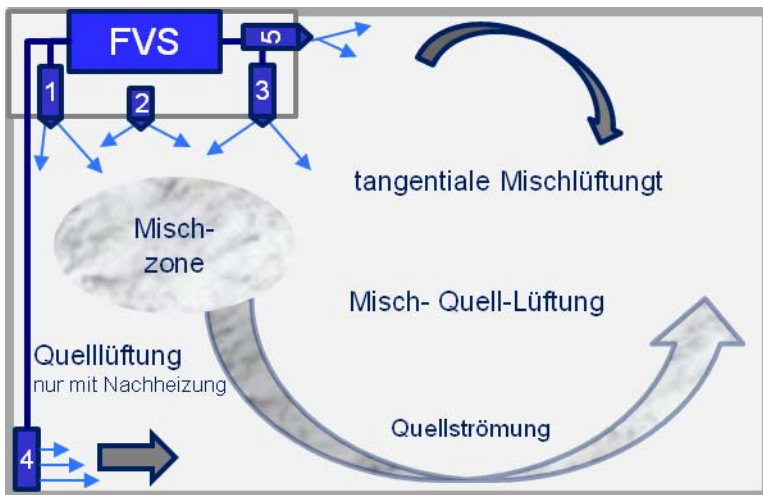


Abbildung 8: Luftführung aus einem Deckenkoffer bzw. bei freier Aufhängung

Für einen Einbau der Schlitzdurchlässe nach Anordnung 1 wurde während des Unterrichts die Raumströmung unterhalb des Deckenkoffers gemessen (s. Abb.9) und das Zugluftisiko berechnet. Bei 21°C im Klassenraum und 17°C Zulufttemperatur können Schüler direkt unter dem Lüftungsgerät sitzen, ohne durch Zugluft belästigt zu werden. In Kopfhöhe liegt  $DR < 15\%$  und erfüllt damit die nationale Empfehlung der DIN EN 15251. Mittels Ölnebel ließ sich die Durchströmung der 8m Raumtiefe bis zur Tafel sichtbar machen.

In der gleichen Unterrichtsstunde wurde mit Schülern ein minimaler Schalldruckpegel von 33dB(A) gemessen und damit die akustische Qualität nachgewiesen.

Die Abluft wird häufig aus dem Deckenplenum über eine Schattenfuge abgesaugt.

Bei vertauschter Luftführung, d. h. Zuluft über Plenum und Abluft über Luftleitung am Abluftgitter angeschlossen, kann der Deckenkoffer kleiner ausgelegt werden. Die freie Kühlung durch Außenluft ist bei dieser Luftführung nur eingeschränkt möglich, da die Speicherwärme des Deckenkoffers zusätzlich abzuführen ist.

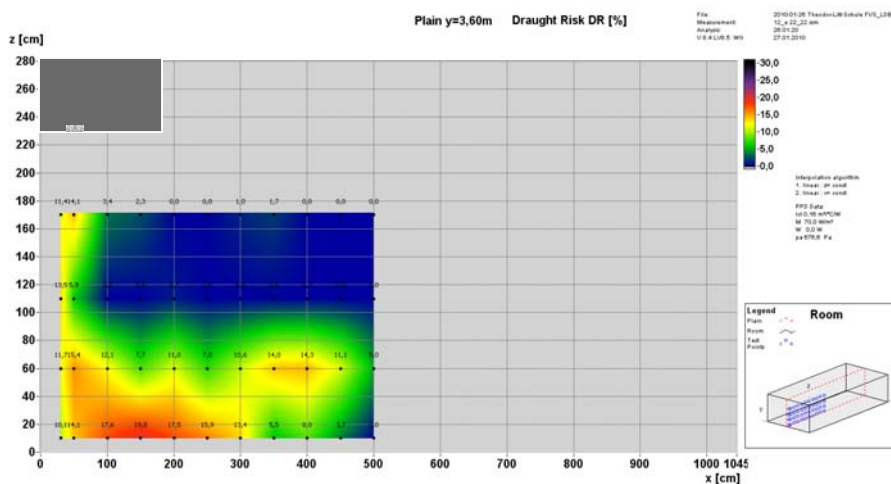


Abbildung 9: Zugluftisiko nach DIN EN 7730 unterhalb FVS-Gerät

### 4.3. Empfehlungen für energieoptimalen FVS-Betrieb

Da die Entwicklung geräuscharmer dezentraler Lüftungsgeräte die Auswahl und Dimensionierung von Komponenten und Strömungsquerschnitten nach kleinstmöglichen Druckverlusten erforderlich macht, sind die SFP-Werte dieser Geräte deutlich niedriger als die von zentralen RLT-Geräten einschließlich deren langen Luftleitungen. Beim FVS-Gerät benötigt der Ventilator (freilaufendes Radialrad mit rückwärts gekrümmten Schaufeln und EC-Motor) nur 60W, um 600m<sup>3</sup> pro h zwischen Außenlufteintritt bis Zuluftaustritt zu fördern. Die sich daraus zu berechnende spezifische Ventilatorleistung beträgt  $SFP = 60/600 \times 3600 = 360W/(m^3/s)$ . Sie liegt damit in der anspruchsvollsten Klasse 1 bis 500W/(m<sup>3</sup>/s) gemäß DIN EN 13779.

Der zweite wesentliche Vorteil dezentraler RLT-Geräte ist die Zuordnung zu einem Raum bzw. einer Regelzone. Damit lässt sich eine geregelte Bedarfslüftung mit Geräteabschaltung sehr einfach umsetzen. Die energetisch optimale Anpassung des Volumenstroms ist zwar die stufenlose Anpassung, allerdings mit dem Nachteil, dass sich CO<sub>2</sub> bei zunehmender Teillast immer schlechter mit Außenluft vermischt und zur Schichtbildung neigt. Beim FVS-Gerät hat sich die Ein-Aus-Schaltung mit dem Nennvolumenstrom bewährt. Werden Fenster geöffnet, sinkt

die CO<sub>2</sub>-Konzentration im Raum und das FVS-Gerät schaltet selbsttätig ab. Für diese einfachste Betriebsweise einer hybriden Lüftung sind keine Fensterkontakte erforderlich.

Die Frage nach der optimalen Wärmerückgewinnung lässt sich mit Abb.10 erläutern.

Aufgetragen ist die erforderliche spezifische Lüftungswärme in W/m<sup>2</sup> für einen konstanten Außenluftstrom von z.B. 10m<sup>3</sup>/h/m<sup>2</sup>, im Vergleich mit und ohne WRG. Bei Außentemperaturen oberhalb von 18°C ist der Bypass offen, d.h. der Wärmeübertrager inaktiv. Erst bei -2°C ist der Bypass vollständig geschlossen und eine Nachheizung im Raum erforderlich. Addiert man die primärenergetisch bewertete elektrische Ventilatorleistung ( $P_{el} \times f_p$ , mit  $f_p = 2,6$ ) zur Heizleistung  $Q_{Heiz}$  (rot gepunktete Linie), so erkennt man, dass die maschinelle Lüftung mit WRG bereits ab 16°C Außentemperatur energetisch günstiger ist. Das trifft für rund 3000 Jahresbetriebsstunden zu (Berlin, 7-18 Uhr). Die Entscheidung für höhere Temperaturänderungsgrade  $\eta_t > 85\%$  ist weniger ein energetischer Aspekt, sondern an folgenden Fragen festzumachen:

- Möchte man auf die Nachheizung im dezentralen RLT-Gerät verzichten und die Raumheizung dafür „größer“ auslegen?
- Mit welcher minimalen Zulufttemperatur kann das Lüftungssystem im Winter ohne Zugluftbeschwerden betrieben werden?
- Wie kann das Einfrieren des Wärmeübertragers verhindert werden? Jeder Vereisungsvorgang verkürzt die Lebensdauer!
- Bis zu welchen Außentemperaturen will man den Soll-Außenluftstrom gewährleisten?
- Wie effizient ist eine zusätzliche Feuchteübertragung?
- Sind das größere WRG-Bauvolumen und die höheren Kosten akzeptabel?

### Lüftungswärmeverluste natürl. vs. maschinelle Lüftung

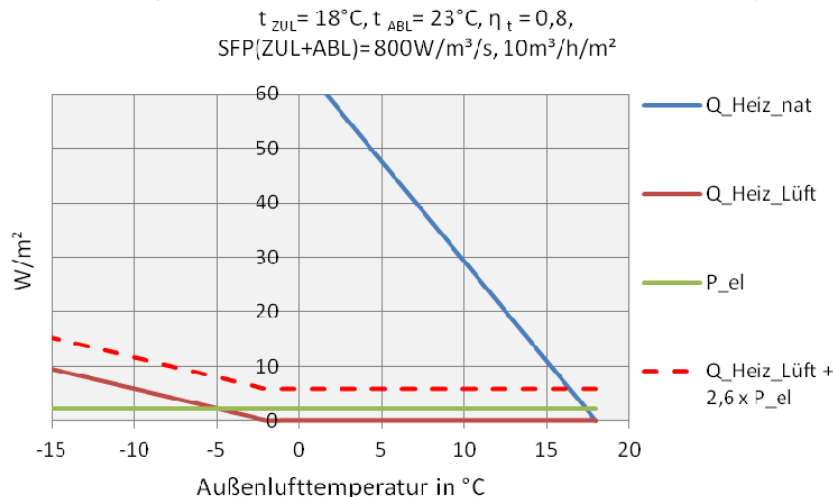


Abbildung 10: Energetische Vorteile einer maschinellen Lüftung mit Wärmerückgewinnung

Der Alu-Gegenstrom-Plattenübertrager des FVS-Geräts erreicht beim Nennvolumenstrom von 600m<sup>3</sup>/h einen Temperaturänderungsgrad von  $\eta = 0,83$ .

Da bei dezentralen RLT-Geräten aus hygienischen Gründen auf eine maschinelle Befeuchtung verzichtet wird, ist der Nutzen einer Feuchteübertragung gering. Beim Außenluftstrom von z.B. 30m<sup>3</sup>/h und Person und einer Feuchteabgabe von 60gW/h berechnet sich in der Raumluft eine Aufweitung von 1,7gW/kgLuft. Davon werden bei Feuchterückgewinnung 50 – 70% aus der Abluft zurückgewonnen. Diese geringe Befeuchtung erhöht die relative Raumluftfeuchte um etwa 5%. Der größere Vorteil ist eher die geringere Neigung zum Vereisen.

Die Regelung der Zulufttemperatur ist beim FVS-Standard ganzjährig auf 17°C eingestellt und gleitet nur ohne Nachkühlung mit der Außentemperatur. Bei sehr niedrigen Außentemperaturen wird Umluft zugemischt.

Eine Überwachung der Fortlufttemperatur am WRG-Austritt regelt Zuluftbypass und Umluftklappe derart, dass eine Vereisung verhindert wird.

Als letztes wichtiges Kriterium für energiesparenden Betrieb ist die Integration des FVS-Geräts in der Regelung der Raumtemperatur zu nennen. Durch eine weitgehende Trennung von Lüftung und Temperierung lässt sich Ventilatorstrom einsparen. Für eine Optimierung der sekundären Heiz- und Kühlsysteme mit der Lüftung ist eine Vernetzung mit einer übergeordneten Gebäudeautomation zu empfehlen, vor allem wenn eine größere Anzahl von Geräten in einem Gebäude betrieben wird. Nach Erfahrungen mit den LTG-FVS-Geräten hat sich eine Datenkommunikation mittels BacNET-Protokoll am besten bewährt.

## 5. Zusammenfassung

Eine bedarfsgeregelte maschinelle Lüftung mit Wärmerückgewinnung ist in Räumen mit hohem Lüftungsbedarf erforderlich, um durch niedrige CO<sub>2</sub>- und Feinstaub- und Keimkonzentrationen eine gute Raumluftqualität und einen niedrigen Primärenergiebedarf zu erreichen. Das vorgestellte dezentrale Lüftungsgerät FVS leistet einen positiven Beitrag zur Gesundheit, Arbeitsleistung und zum Schutz der Umwelt. Bei der Nachrüstung ist das FVS-Gerät häufig wirtschaftlicher und energieeffizienter zu betreiben als eine zentrale Lüftung. Besonders die Plus-Energie-Schulen und Niedrigstenergie-Bürogebäude, die man als Baustandard der Zukunft für die Jahre 2015-2020 ankündigt, werden auf hocheffiziente Lüftungsanlagen wie das System Univent® FVS angewiesen sein.

### Quellennachweis:

[1] Technische Regeln für Arbeitsstätten ASR-A 3.6 Lüftung, Januar 2012

[2] Leitfaden für die Innenraumhygiene in Schulgebäuden, Umweltbundesamt, August 2008

[3] Rudnick, Milton, Risk of indoor airborne infection transmission estimated from carbon dioxide concentration, Indoor Air, September 2003

[4] DIN 18041, Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen, Mai 2004

[5] DIN ISO 7730, Ergonomie der thermischen Umgebung, Mai 2006

[6] DIN EN 15251, Eingangsparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden, August 2008