

Neue „intelligente“ Lüftungssteuerung bietet mehr Sicherheit gegen Bauschäden und Schimmel

Dipl.-Ing (FH) L. Moll¹ und Dipl.-Ing. (FH) S. Hückstädt²

¹ Geschäftsführer

MOLL bauökologische Produkte GmbH
Rheintalstr. 35-43, D-68723 Schwetzingen

² Anwendungstechnik

MOLL bauökologische Produkte GmbH
Rheintalstr. 35-43, D-68723 Schwetzingen

KURZFASSUNG

Durch eine neue, innovative Lösung unter Nutzung von Wohnungslüftungsanlagen kann zukünftig die Gefahr von Feuchteschäden in Gebäudebauteilen deutlich reduziert werden. Dabei wird über eine „intelligente“ Lüftungssteuerung, die in gängige Zu- und Abluftsysteme integriert werden kann, im Gebäude je nach klimatischen Bedingungen ein Über- oder Unterdruck erzeugt, der der thermisch bedingten Druckdifferenz entgegenwirkt und dadurch eine kritische Durchströmung der Außenhülle weitestgehend verhindert. Auf diese Weise wird das Risiko konvektionsbedingter Feuchteschäden enorm gesenkt.

Der nötige „Gegendruck“ zur Kompensation dieser Druckdifferenz wird durch die „intelligente“ Lüftungssteuerung über differierende Luftfördermengen in Zu- und Abluft der Lüftungsanlage erzeugt. Dazu wird auf Grundlage von Innen- und Außentemperatur, der Gebäudedichtheit und der Gebäudehöhe der erforderliche Differenzvolumenstrom zwischen Zu- und Abluft bestimmt und durch unterschiedliche Ansteuerung von Zu- und Abluftventilator eines entsprechenden Lüftungsgerätes eingestellt.

SCHLÜSSELWÖRTER

Lüftungstechnik, Bauschadensvermeidung, Lüftungssteuerung

HINTERGRUND

Bekannterweise wird eine Vielzahl an Feuchte- und Schimmelschäden an Gebäuden durch Leckagen in der Luftdichtheitsebene verursacht. Bei diesen, durch Konvektion verursachten, Schäden strömt Luft bedingt durch Druckunterschiede über Fugen durch die Gebäudehülle, kühlt sich währenddessen ab und erreicht Schimmelkritische rel. Luftfeuchtigkeit bzw. den Sättigungspunkt, sodass Kondensat ausfällt. Dies soll durch die „intelligente“ Lüftungssteuerung verhindert werden.

Prinzipiell kann man zwischen den zwei folgenden Fällen unterscheiden.

DIE SITUATION IM WINTER

Hier weist die Innenluft eine höhere Temperatur auf als die Außenluft. Dadurch entsteht im Gebäude im unteren Bereich Unter- im Bereich oberhalb der sog. neutralen Ebene Überdruck (siehe Bild 1). Durch den Unterdruck strömt im unteren Gebäudeteil kalte Außenluft ein, der Überdruck oben hat zur Folge, dass warme Innenluft dort nach außen strömt und hier unter Umständen innerhalb der Konstruktion den Taupunkt unterschreitet und Feuchteschäden entstehen.

Ist in dem betreffenden Gebäude eine Lüftungsanlage verbaut (Zu- und Abluftsystem), die nicht korrekt eingestellt ist und differierende Mengen an Zu- und Abluft fördert, besteht die Gefahr, dass sich die Situation weiter verschärft. Bei Zuluftüberschuss entsteht nämlich ein zusätzlicher, künstlicher Überdruck, der dazu führt, dass mehr Luft in kritischer Richtung die Gebäudehülle durchströmt, als alleine aufgrund der natürlichen Druckdifferenz (siehe Bild 1).

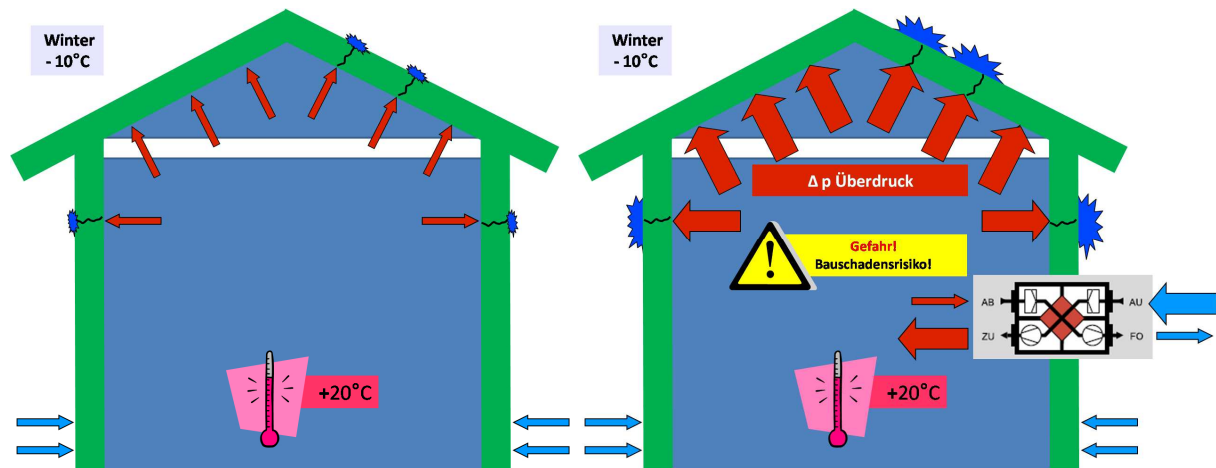


Bild 1: Feuchteschäden bei Winterklima
(ohne und mit falsch eingestellter Lüftungsanlage)

DIE SITUATION IM SOMMER

Verhalten sich die Temperaturen in Innen- und Außenluft im Vergleich zur Winter-Situation umgekehrt, entstehen im Gebäude auch entsprechend umgekehrte Druckverhältnisse – im unteren Bereich Über- im oberen Bereich Unterdruck (siehe Bild 2). Dieser Fall ist hinsichtlich konvektiver Feuchteschäden vor allem in Regionen kritisch, in denen während des Sommers entsprechend hohe Luftfeuchtigkeiten vorherrschen, beispielsweise in Teilen Asiens (z.B. Korea, Japan, Neuseeland) oder Teilen Nord- und Südamerikas. In Südkorea etwa übersteigt die Tageshöchsttemperatur während der Sommerzeit oft 30 °C bei einer rel. Luftfeuchtigkeit von 80 bis 95 %. Bei derartigen Verhältnissen besteht dann die Gefahr, dass feuchte Außenluft bei Strömung ins Gebäudeinnere im oberen Gebäudeteil Feuchteschäden verursacht.

Bei Verwendung von Zu- und Abluft-Lüftungssystemen wäre in derartigen Klimaregionen dann ein Abluftüberschuss kritisch, da dieser die Durchströmung mit feucht-warmer Außenluft noch verstärken würde (siehe Bild 2).

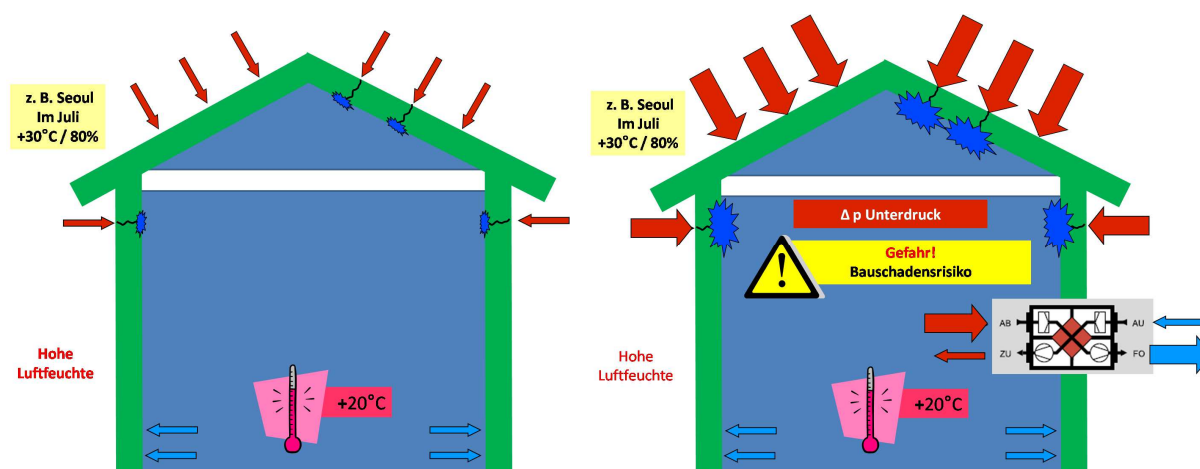


Bild 2: Feuchteschäden bei feucht-warmem Sommerklima (ohne und mit falsch eingestellter Lüftungsanlage)

Einflussfaktoren auf die Luftdurchströmung der Gebäudehülle

Die natürlichen Druckverhältnisse am Gebäude hängen ab von:

- der Innen- und Außentemperatur der Luft, wodurch die unterschiedlichen Luftdichten entstehen (ohne Berücksichtigung der jeweiligen relativen Luftfeuchte) – je höher der Temperaturunterschied, desto größer ist die Druckdifferenz zw. Innen- und Außenluft
- der Gebäudehöhe, bzw. genauer gesagt der Höhe zur druckneutralen Ebene im Gebäude – je größer die Gebäudehöhe, desto größer ist die Druckdifferenz zwischen Innen- und Außenluft
- dem Einfluss von Wind – in Abhängigkeit von Windgeschwindigkeit, Gebäudehöhe und -geometrie, Gebäudeumgebung, Lage und Form des betreffenden Bauteils am Gebäude entstehen unterschiedliche Druckdifferenzen (sowohl betrag- als auch vorzeichenmäßig)

Weitere Einflüsse / Probleme sind:

- Zunehmende Dämmstärken moderner Konstruktionen. Das hat zum Einen zur Folge, dass die Temperatur kritischer Schichtgrenzen (z.B. Dachschalung unter diffusionsdichter Abdichtung) während der Winterperiode weiter absinkt als bei Konstruktionen mit geringerer Wärmedämmstärke, zum Anderen weisen derartige Konstruktionen ein „trägeres“ Diffusionsverhalten auf. Dadurch reduziert sich das Rücktrocknungsvermögen nach innen hin bei sommerlicher Umkehrdiffusion.
- Kleine lokale Leckagen. Einzelne Leckagen können, evtl. trotz sehr guter Luftdichtheit des gesamten Gebäudes, aufgrund ihrer Geometrie und Länge problematisch sein und einen Feuchteschaden zur Folge haben.

Untersuchungen des Fraunhofer Instituts für Bauphysik [1] ergaben, dass sog. „Wärme“-Leckagen (große und direkte Verbindung zw. Innen- und Außenluft) aufgrund der Erwärmung bei stärkerer Durchströmung in der Regel geringere Befeuchtungen der Konstruktion zur Folge haben als sog. „Feuchte“-Leckagen (kleine, verwinkelte Fugen), bei denen sich der Luftstrom aufgrund der langsameren Durchströmung stärker abkühlt. Gerade bei modernen, weitestgehend luftdichten Konstruktionen wird man jedoch vermehrt eher „Feuchte“- als „Wärme“-Leckagen antreffen. Daher kann auch bei vermeintlich „guter“ Luftdichtheit bei einzelnen, kritischen Leckagen ein konvektiver Feuchteschaden auftreten.

BAUSCHÄDEN DURCH KONVEKTION

Fälle, die belegen, dass Leckagen in der Gebäudehülle zu Feuchteschäden führen können, sind heutzutage zu genüge vorhanden und beschrieben.

Zusätzlich sind mittlerweile auch Feuchteschäden, die durch falsch eingestellte Zu- und Abluftsysteme (zumindest mit) entstanden sind, bekannt und dokumentiert. Beispielhaft sei an dieser Stelle der Schaden an einer Flachdachkonstruktion in München genannt, welcher von Richard Adriaans beschrieben wurde [2]. Bei dem genannten Fall entstand in einem öffentlichen Gebäude im Bereich des Flachdaches ein kapitaler Bauschaden – verursacht durch konvektiv eingedrungene Feuchtigkeit. Die Dachschalung unterhalb der diffusionsdichten Flachdachdichtung war hier vollständig zerstört (siehe Bild 3).



Bild 3: Kapitaler Bauschaden infolge falsch eingestellter Lüftungsanlage [2]

Bei der Überprüfung der Luftdichtheit mittels BLOWERDOOR-Messung im Rahmen der Schadensbegutachtung wurde festgestellt, dass im Gebäude ein permanenter Überdruck von ca. 6 Pa herrschte. Dieser wurde hervorgerufen durch eine Zu- und Abluftanlage, die dysbalanciert betrieben wurde. Eine Messung ergab einen Zuluftüberschuss von ca. 25 – 33 %. Ein Einstellungsfehler der Lüftungsanlage hatte also hier die Folge, dass die Konstruktion mit hohem Aufwand saniert werden musste.

LÖSUNG DES PROBLEMS

Eine kontrolliert dysbalanciert betriebene Lüftungsanlage in Abhängigkeit der klimatischen Bedingungen innen und außen, wodurch natürliche Druckdifferenzen ausgeglichen werden und dadurch eine feuchtekritische Durchströmung der Gebäudehülle verhindert wird. Der natürliche Druckverlauf am Gebäude wird dazu durch einen zusätzlichen Unter- oder Überdruck verschoben.

Kompensiert wird dabei die thermisch bedingte Druckdifferenz, resultierend aus dem Dichteunterschied zwischen Innen- und Außenluft. Drücke die durch Windeinfluss entstehen, können nicht berücksichtigt werden. Da Winddruck und –sog zum Einen über die verschiedenen Bereiche der Außenhülle und zum Anderen zeitlich stark variiert, kann dieser nicht ausgeglichen werden.

Für die Winter-Situation

Bei Heiz- / Winterklima wird die verbaute Zu- und Abluft-Lüftungsanlage durch die „intelligente“ Lüftungssteuerung so angesteuert, dass je nach Temperaturunterschied mehr Ab- als Zuluft gefördert wird. Dadurch entsteht im Gebäude ein zusätzlicher Unterdruck, der den Druckverlauf am Gebäude verschiebt und so der thermisch bedingten Druckdifferenz entgegenwirkt – bis hin zum neutralen Zustand im kritischen Gebäudebereich (siehe Bild 4). Die Folge: im oberen Gebäudebereich wird eine gefährliche Durchströmung der Gebäudehülle von innen nach außen verhindert.

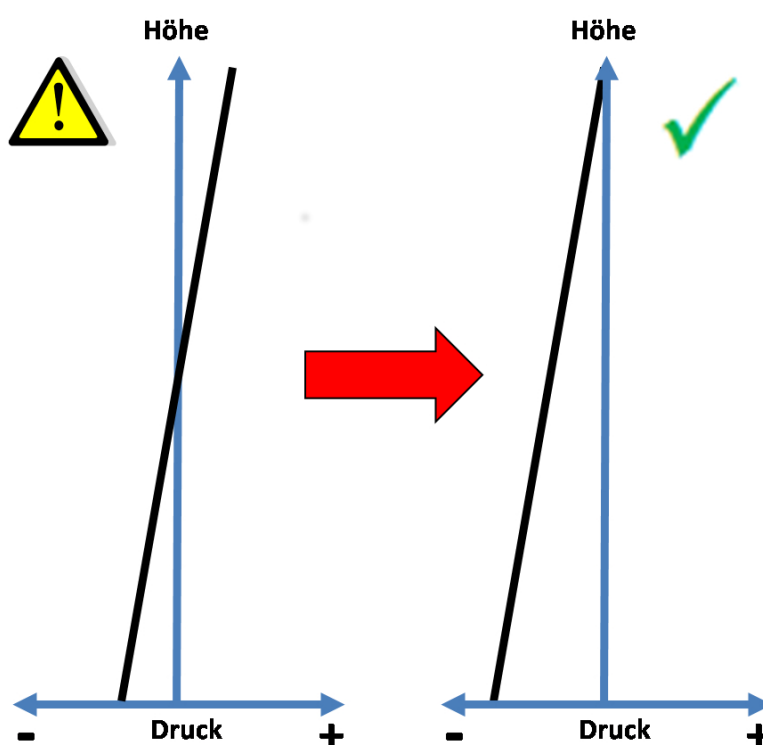


Bild 4: Verschiebung des Druckverlaufes durch „intelligente“ Lüftungssteuerung im Winter

Für die Sommer-Situation

In umgekehrter Weise wird die verbaute Zu- und Abluft-Lüftungsanlage im Sommerbetrieb in Regionen mit feucht-warmem Außenklima durch die „intelligente“ Lüftungssteuerung so angesteuert, dass je nach Temperaturunterschied mehr Zu- als Abluft gefördert wird. Dadurch entsteht im Gebäude ein zusätzlicher Überdruck, der den Druckverlauf am Gebäude in positiver Richtung verschiebt und so der thermisch bedingten Druckdifferenz entgegenwirkt (siehe Bild 5). Die Folge: im oberen Gebäudebereich wird eine kritische Durchströmung der Gebäudehülle von außen nach innen verhindert.

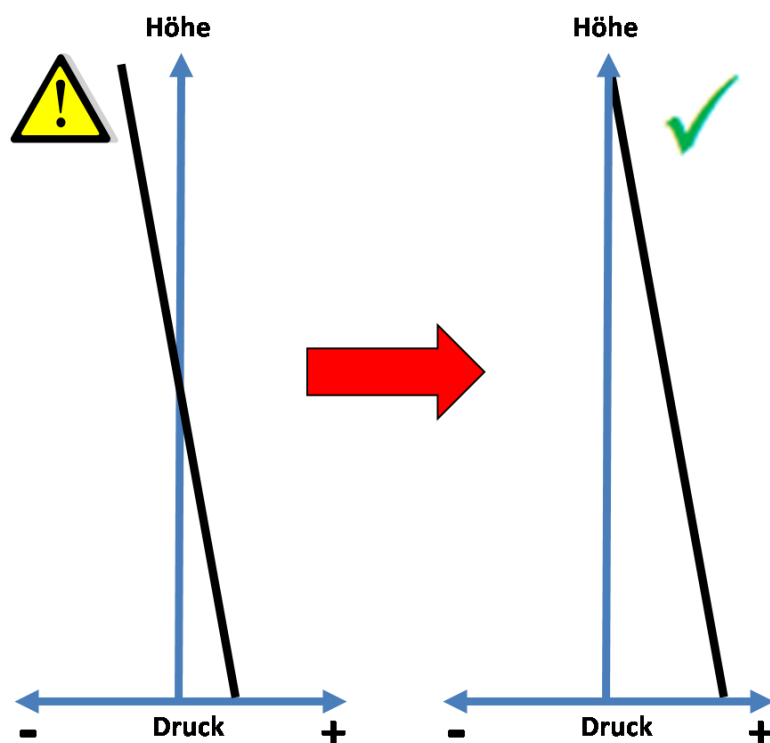


Bild 5: Verschiebung des Druckverlaufes durch „intelligente“ Lüftungssteuerung im Sommer

UMSETZUNG

Der künstliche Differenzdruck, welcher durch die Lüftungsanlage (Zu- und Abluftsystem) aufgebracht wird, entsteht, wie bereits erwähnt über die gezielt unterschiedlich geförderten Luftmengen (Volumenströme) in Zu- und Abluft.

Eine schematische Darstellung der Größen, die durch die Steuerung verarbeitet werden, zeigt Bild 6. Als Stellgröße dient der Luftvolumenstrom in Zu- und Abluft, bzw. genauer gesagt der Differenzvolumenstrom zwischen Zu- und Abluft. Der erforderliche Wert wird dabei durch einen Rechenalgorithmus bestimmt. Als Eingangsgrößen dienen dazu die Innen- und Außentemperatur (T_i bzw. T_a), welche durch Sensoren kontinuierlich erfasst werden, sowie die Gebäudehöhe h zur

Bestimmung der natürlichen Druckdifferenz Δp infolge thermischen Auftriebs, welche dann für die kritischste Höhenlage im Gebäude berechnet wird. Als Maß für die Gebäudedichtheit wird der n_{50} -Wert bzw. der dort festgestellte Luftvolumenstrom \dot{V}_{50} über Fugen in der Gebäudehülle bei 50 Pa Druckunterschied verwendet. Dazu wird entweder der Wert herangezogen, der durch eine vorangegangene Messung der Luftdichtheit (mittels BLOWERDOOR) ermittelt wurde, es wird vor Inbetriebnahme der Lüftungsanlage samt Steuerung eine Messung durchgeführt oder eine Annahme getroffen.

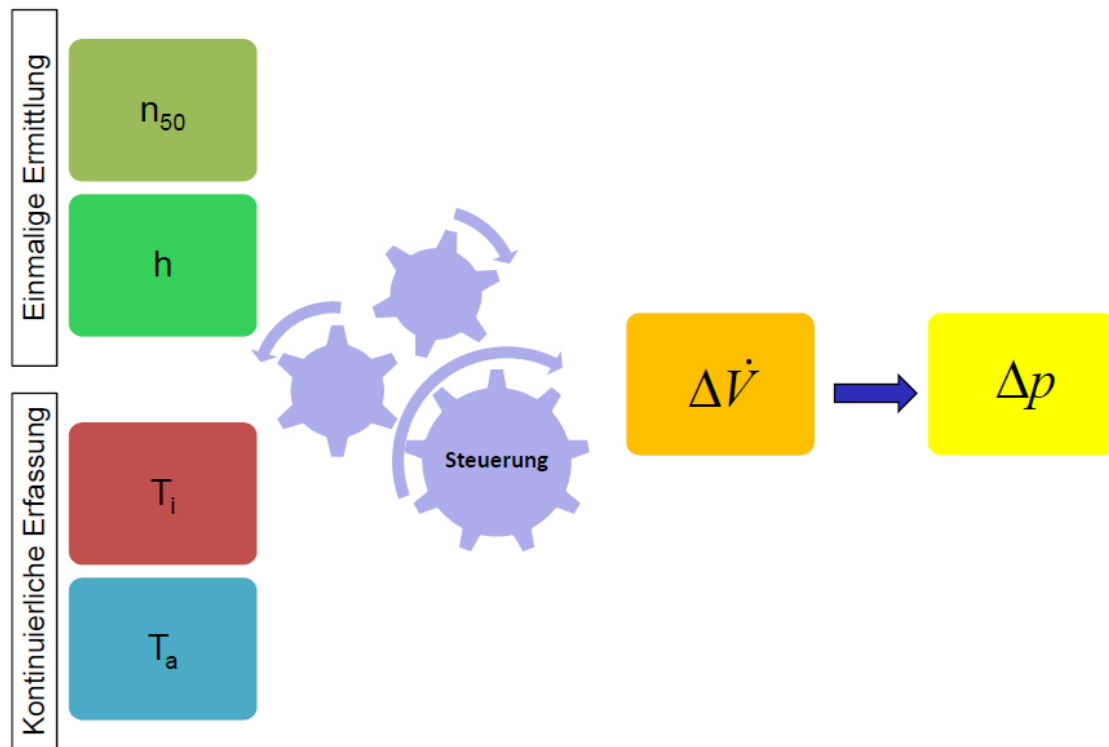


Bild 6: Schematische Darstellung der Eingangs- und Stellgrößen

Berechnung der erforderlichen Größen

Den zu kompensierenden Differenzdruck ermittelt die „intelligente“ Lüftungssteuerung aus Dichteunterschied zw. Innen- und Außenluft Δp nach der unten folgenden Formel mithilfe der Luftdichte der Außenluft ρ ($1,3 \text{ kg/m}^3$), Innen- und Außentemperatur (T_i bzw. T_a), Erdbeschleunigung g ($9,81 \text{ m/s}^2$) sowie der Höhe der zusammenhängenden Luftsäule im Gebäude h .

$$\Delta p = \rho \cdot \frac{T_a - T_i}{T_i} \cdot g \cdot \frac{h}{2} \quad \text{Gleichung 1}$$

Um den ermittelten Differenzdruck infolge thermischen Auftriebs zu kompensieren, muss das Lüftungsgerät einen entsprechenden Differenzvolumenstrom zwischen Zu- und Abluft erzeugen. Dieser Differenzvolumenstrom strömt dann erzwungenerweise über die Gebäudehülle nach, wobei sich das Druckverhältnis entsprechend ändert.

Zwischen Volumenstrom \dot{V}_i , bei Druckunterschied Δp_i und Strömungsverhältnissen bei Durchströmungen von Fugen (Leckagenkoeffizient D und Druckexponent $n \approx 2/3$) herrscht die allgemeine Beziehung nach Gleichung 2.

$$\dot{V}_i = D \cdot \Delta p_i^{2/3} \quad \text{Gleichung 2}$$

Die „intelligente“ Lüftungssteuerung nutzt nun den Wert für den Volumenstrom, welcher bei einer Druckdifferenz von 50 Pa festgestellt wurde (\dot{V}_{50}) und ermittelt in Anlehnung an die Zusammenhänge aus Gleichung 2 nach Gleichung 3 den erforderlichen Differenzvolumenstrom zwischen Zu- und Abluft $\Delta \dot{V}_{soll}$, der nötig ist um den erforderlichen Differenzdruck Δp_{soll} zu erzeugen. Dieser Differenzdruck entspricht betragsmäßig der natürlichen Druckdifferenz Δp in der kritischsten Höhenlage im Gebäude, bestimmt nach Gleichung 1.

$$\Delta \dot{V}_{soll} = \dot{V}_{50} \cdot \left(\frac{\Delta p_{soll}}{50 Pa} \right)^{2/3} \quad \text{Gleichung 3}$$

Der Volumenstrom \dot{V}_{50} bei 50Pa Druckunterschied wird im Rahmen einer BLOWERDOOR-Messung ermittelt oder kann bei bereits bekanntem oder angenommenem n_{50} -Wert über das Gebäude-Nettovolumen V_{netto} nach Gleichung 4 rückgerechnet werden.

$$\dot{V}_{50} = n_{50} \cdot V_{netto} \quad \text{Gleichung 4}$$

Einstellung des berechneten Sollwertes

In Abhängigkeit einer Größe, die mit dem geförderten Luftvolumenstrom in Zu- und Abluft korreliert (z.B. über Ventilator Kennlinie bei geeigneter Bauart oder Differenzdruckmessung im Luftkanal) ermittelt die „intelligente“ Lüftungssteuerung die jeweils strömenden Zu- und Abluftvolumenströme und steuert entsprechend des zuvor ermittelten Wertes für den Differenzvolumenstrom die Ventilatoren an, bis der gewünschte bzw. erforderliche Wert erreicht wird. Da die natürliche, thermisch bedingte Druckdifferenz durch die zusätzlich, künstliche Druckdifferenz nun bis zum neutralen Zustand an der kritischsten Stelle verschoben wird, strömt an dieser Stelle keine Luft mehr durch die Gebäudehülle. Es besteht keine Gefahr mehr von konvektionsbedingten Feuchteschäden!

Allgemeines

Die „intelligente“ Lüftungssteuerung soll generell so umgesetzt werden, dass nur geringfügige Änderungen vorhandener Lüftungsanlagen vorgenommen werden müssen. Neben der Anpassung der Steuerung sind lediglich Sensoren für Innen- und Außentemperatur sowie ein Verfahren zur Bestimmung der Luftvolumenströme in Zu-

und Abluft notwendig. Bewusst wurde auf eine druckgesteuerte Lösung verzichtet, da dazu eine Vielzahl entsprechender Sensoren von Nöten wäre, deren Anzahl und Positionierung individuell aufwendig geplant und durchgeführt werden müsste. Außerdem wäre die Steuerung im Falle einer druckabhängigen Umsetzung wieder von Windeinflüssen abhängig, die wie bereits erwähnt nicht beherrschbar sind. Durch diese, bewusst möglichst einfach gehaltene Umsetzung wird eine möglichst kostengünstige und ggf. auch nachrüstbarer Möglichkeit zur Bauschadensvermeidung mithilfe von Lüftungsanlagen realisiert. Denkbar ist auch, dass sich das Verfahren als allgemeiner Standard durchsetzt, ähnlich dem Antiblockiersystem bei Kraftfahrzeugen.

Optional besteht die Möglichkeit, die „intelligente“ Lüftungssteuerung zu kombinieren mit einer Überwachungsfunktion beim Betrieb raumluftabhängiger Feuerungsstätten. Hier schreibt die Feuerstättenverordnung vor, dass ein maximaler Unterdruck von 4Pa nicht überschritten werden darf, um für die Feuerstätten ausreichend Verbrennungsluft zur Verfügung zustellen sowie um zu verhindern, dass giftige Verbrennungsgase in den Innenraum gelangen. Die Fa. MOLL arbeitet bei der Realisierung der „intelligenten“ Lüftungssteuerung mit einem namhaften Hersteller von Steuerungen für Lüftungsgeräte zusammen, der selbst an einem neuen, innovativen Verfahren arbeitet zur Drucküberwachung beim Betrieb von raumluftabhängigen Feuerungsstätten. Beide Verfahren lassen sich bei Bedarf kombinieren, sodass auch beim Betrieb der „intelligenten“ Lüftungssteuerung stets die Einhaltung der geforderten 4Pa-Bestimmung gewahrt ist.

Sinnvoll ist der Einsatz der „intelligenten“ Lüftungssteuerung generell nur bei Gebäuden mit hinreichender Luftdichtheit - wie auch der Einsatz von Lüftungsanlagen an sich! Bei Gebäuden mit mangelhafter Luftdichtheit ($n_{50} > 1,5 \text{ h}^{-1}$) ist der Betrieb von Komfortlüftungsanlagen (Zu- und Abluftgerät mit Wärmerückgewinnung) aus energetischer Sicht nicht zweckmäßig, da die Lüftungswärmeverluste über die undichte Gebäudehülle die Lüftungswärmeverluste über die Lüftungsanlage schnell deutlich überschreiten können und somit der Betrieb einer Lüftungsanlage unwirtschaftlich wird. Bei Gebäuden luftdichterer Ausführung ($n_{50} \leq 1,5 \text{ h}^{-1}$ bzw. besser noch $n_{50} \leq 1,0 \text{ h}^{-1}$), bei denen auch der Betrieb einer Lüftungsanlage an sich sinnvoll ist, wirkt sich der gezielt erzeugte Differenzvolumenstrom, der über die Gebäudehülle strömt und nicht der Wärmerückgewinnung der Anlage unterliegt in vertretbarem Maße auf den Heizenergiemehrbedarf aus. Der Nutzen durch die Bauschadensvermeidung überwiegt hier Energieeinsparüberlegungen.

FAZIT

Durch die beschriebene Druckkompensation bzw. -verschiebung mittels der „intelligenten“ Lüftungssteuerung wird eine kritische Durchströmung der Gebäudehülle verhindert oder zumindest stark reduziert. Dadurch minimiert sich das Bauschadensrisiko im Hinblick auf Tauwasser-bedingte Feuchteschäden enorm. Gerade bauphysikalisch anspruchsvolle Konstruktionen, wie beispielsweise Kies- oder Gründächer können so mit einem zusätzlichen Sicherheitspolster versehen

werden. Denn auch ein vermeintlich guter n_{50} -Wert ist kein Garant für schadensfreie Bauteile!

Da die „intelligente“ Steuerung in Abhängigkeit der klimatischen Bedingungen (Temperaturen) agiert, kann das System prinzipiell weltweit eingesetzt werden und sowohl hiesige Gebäude bzw. deren Hüllen im Winter vor Feuchtebelastung von innen als auch Gebäude in Regionen mit feucht-warmem Sommerklima vor Feuchtebelastung aus der Außenluft schützen.

Da Lüftungsanlagen zukünftig ohnehin verstärkten Einsatz finden werden, kann mit minimalem Mehraufwand maximales Bauschadensfreiheitspotential für die Außenhülle von Gebäuden gewährleistet werden.

Neben den bisherigen Nutzen die eine kontrollierte Wohnungslüftung bisher schon bietet (siehe Bild 7), kann diese durch den Einsatz der „intelligenten“ Lüftungssteuerung nunmehr aktiv zum Schutz vor Bauschäden beitragen. Dadurch entsteht ein bedeutsamer Mehrwert in puncto Sicherheit für Planer, Handwerker, Eigentümer und Mieter.

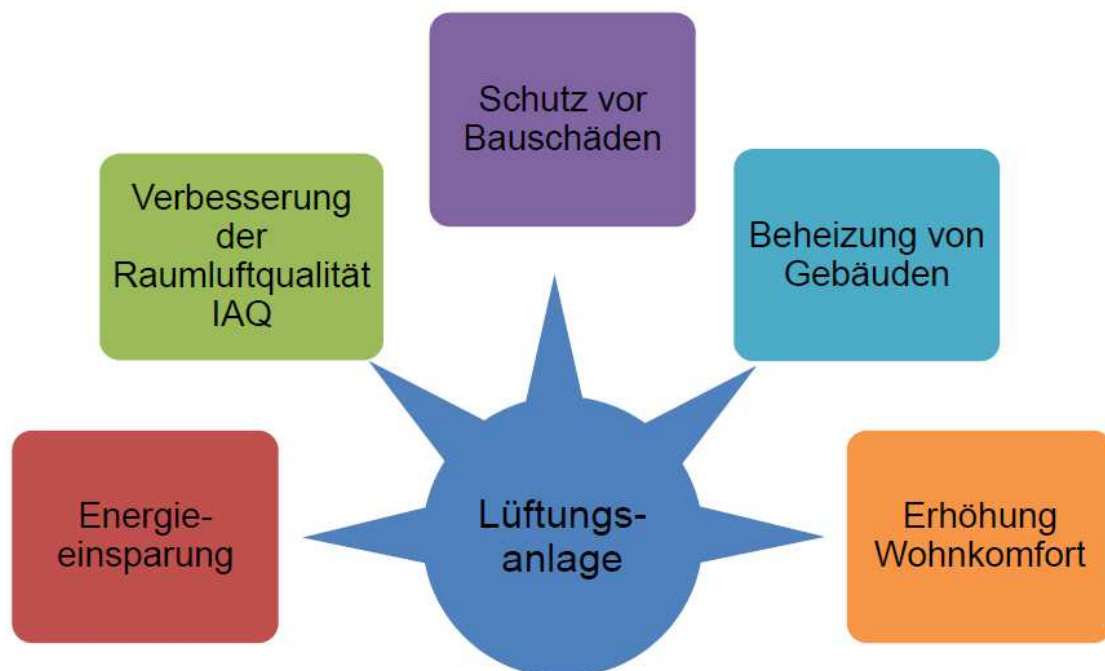


Bild 7: Funktionen einer kontrollierten Lüftungsanlage

REFERENZEN

- [1] Künzel, Hartwig et al. (2011). Vortrag: Trocknungsreserven bemessen! Einfluss des Feuchteintrags aus Dampfkongvektion, 2. Internationaler Holz[Bau]Physik-Kongress in Leipzig 10. und 11.2.2011
- [2] Adriaans, Richard (2009). Ein Dachschaden durch Lüftungstechnik. Überdruck tut selten gut! Holzbau Die Neue Quadriga 2009:6, 60-62