Energieeinsparmöglichkeiten durch Vernetzung der Gebäude- und Produktionstechnik

Industriehallen bedarfsorientiert und effizienter lüften

Von Dr.-Ing. Hans Werner Roth

Geht es um Energieeinsparungen in Industrie und Gewerbe, steht häufig der Produktionsprozess im Mittelpunkt, erst an zweiter Stelle findet die Effizienz des Gebäudes Berücksichtigung. Oft werden beide Bereiche separat betrachtet und optimiert. Dabei kann die ganzheitliche Betrachtung von Produktion und Gebäude Synergieeffekte eröffnen – und damit ein großes energetisches Einsparpotenzial. Nicht nur bei Wärmeflüssen, sondern auch bei der Lüftungstechnik lassen sich durch die Vernetzung von Fertigungs- und Gebäudetechnik Ressourcen einsparen. Der Artikel stellt mögliche Ansätze für eine sinnvolle, bedarfsorientierte Be- und Entlüftung vor.

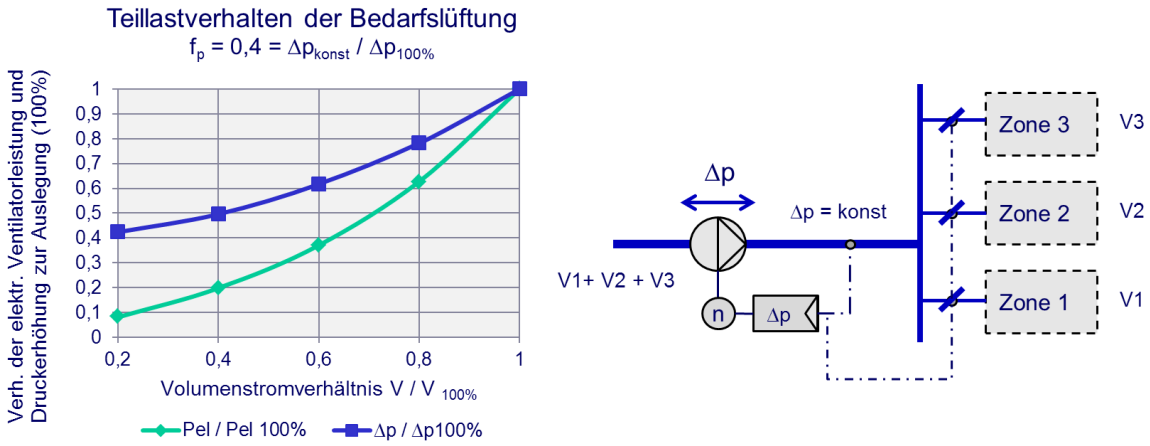

Abbildung 1: Minderung der elektrischen Ventilatorleistung bei Teillast

Wenn die Produktions- und Gebäudetechnik von Industriehallen auf Einsparpotenziale untersucht wird, stehen zumeist Wärme und Kälte im Mittelpunkt. Doch die Sparpotenziale liegen ebenso im Stromverbrauch der raumlufttechnischen Anlagen. Da Industriebetriebe oft im Mehrschichtbetrieb arbeiten, ergeben sich bei maschinellen Lüftungsanlagen erheblich längere und intensivere Nutzungszeiträume als beispielsweise bei Versammlungsstätten, wodurch sich Effizienzmaßnahmen binnen weniger Jahre amortisieren können.

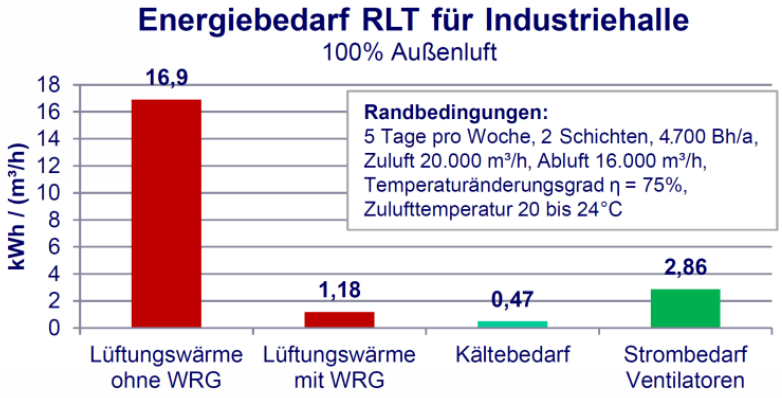

Abbildung 2: Energiebedarf einer RLT-Anlage pro m^3/h Außenluft

© LTG Aktiengesellschaft

Eine maschinelle Lüftung kann in Industrie- und Gewerbebetrieben aus diversen Gründen erforderlich oder sinnvoll sein (siehe auch Tabelle 1), zum Beispiel:

- als Unterstützung der saisonalen Hallenheizung oder -kühlung bei gleichzeitiger Frischluftzufuhr
- zur Vermeidung von Partikeleintrag aus der Umwelt bei sensiblen Prozessen
- zum Abführen von Maschinenwärme
- um definierte Umgebungsbedingungen bei temperaturkritischen oder feuchtigkeitssensiblen Prozessen zu schaffen
- zum Verdünnen oder Verdrängen von Schadstoffen aus den Arbeitsbereichen
- zur Schaffung eines optimalen Raumklimas mit komfortablen Arbeitsbedingungen für die Mitarbeiter, um deren Gesundheit und Produktivität sicherzustellen

Tätigkeit, Anforderungen	**maschinelle Lüftung**	**freie (natürliche) Lüftung**	**hybride Lüftung**	**Bemerkungen, Voraussetzungen**
schwere körperliche Arbeit, Mindesttemperatur 15 °C	zu aufwendig	geeignet	-	geringe Ansprüche an Raumklima
mittlere Arbeitsschwere, Mindesttemperatur 17 bis 19 °C	nicht erforderlich	bei geringen Stoff- bzw. Wärmelasten geeignet	-	typischer Einsatzfall für Umluft- oder Strahlungsheizungen
leichte Arbeit oder höherer Anspruch an thermischen Komfort, Mindesttemperatur > 19 °C	bei Außentemperaturen < 15 °C erforderlich	zeitweise / saisonal möglich	ideal	mittlere Stoff- u. Wärmelasten, bei sitzenden Tätigkeiten (Montagearbeiten) zu empfehlen
große, durch Maschinen bedingte Abluftvolumenströme	Außenluft + Erfassungsluft	zur Nachströmung im Sommer	ideal	hohe Wärme- u. Stofflasten, geringe/ohne dezentrale Abluftrückführung
Raumtiefe mehr als 2,5 mal größer als Raumhöhe	erforderlich zur Kontrolle des Raumklimas	Nutzung von . Rauch-Wärme-Abzugsanlagen möglich	möglich	gute Raumluftqualität bei höheren Stofflasten ohne Zugluftbelästigung
lokales Prozessklima für bessere Produktqualität	Regelung von Temperatur, Feuchte, Luftausgleich	ungeeignet	-	keine Querlüftung, keine Störung der Erfassungseinrichtungen zulässig, Tore sind abzuschirmen
Hohe Anforderungen an Energieeffizienz (Energiepass), geringe Betriebskosten, hoher Klima- und Umweltschutz	Wärmerückgewinnung aus Fortluft, KVS zur Nutzung dezentral anfallender Prozessabwärme	zeitweise, Kühlung ohne Kälteanlage	ideal	Nutzung erneuerbarer Wärmequellen für zentrale Luftheizung, Baustein für die CO_2-neutrale Fabrik

Tabelle 1: Entscheidungshilfen, für die Auswahl der optimalen Lüftungsart – freie Lüftung, hybride Systeme und maschinelle Lüftung

Je nach Fertigungsprozess, Art der Arbeitsplätze (etwa leichte sitzende oder schwere körperliche Arbeit) und Mitarbeiterdichte ist die Gewichtung der Klimatisierungsaufgaben unterschiedlich, somit ist es unmöglich, ein Universalrezept für das effiziente Lüften zu erstellen. Im Folgenden sind daher verschiedene Ansätze skizziert, die für den einen oder anderen Anwendungsfall innerhalb einer Industriehalle sinnvoll sein können.

Entkoppeln von Wärmebereitstellung und Lüftung

Raumlufttechnische (RLT) Anlagen nach EnEV-Standard können den Wärmebedarf eines Gebäudes in der Regel gut decken und so Wärmeverluste über Dach und Wände, Undichtigkeiten der Gebäudehülle oder offene Hallentore ausgleichen. Oft ist es jedoch sinnvoller, die gewünschte Temperatur am Arbeitsplatz durch separate Systeme wie aktive Bauelemente, Dunkelstrahler oder eine Fußbodenheizung sicherzustellen. Sie ermöglichen eine Optimierung in Bezug auf die Energiequellen (etwa Wärmepumpe, Solarkollektor etc.) und gestatten unter anderem das gezielte Heizen einzelner Arbeitsbereiche. Fußboden- oder Strahlungsheizungen erzeugen zudem eine als angenehm empfundene Wärme (Vermeidung von Fußkälte; Nutzung von Strahlungswärme).

RLT-Geräte müssen bei Einsatz solcher Heizungslösungen nur einen Teil der Heizleistung beisteuern und ihr Luftstrom kann dann nach den abzuführenden Stofflasten und Wärmelasten ausgelegt werden. Das senkt die Investitionskosten und die Kosten für den Betrieb der Ventilatoren. Aufgrund der gesetzlich geforderten hohen Wärmerückgewinnung in den RLT-Geräten kann man – abgesehen von Anheizvorgängen außerhalb der Nutzungszeit – weitgehend auf Umluftbetrieb verzichten.

Wärmeabfuhr durch Abluftanlagen und natürliche Lüftung

Im Sommer nimmt die empfundene Raumtemperatur in den Werkshallen deutlich zu. Viele RLT-Anlagen in der Produktion sind nicht mit Luftkühlern ausgestattet. Die Lüftungsanlagen laufen zeitweise an ihrer Leistungsgrenze. Bei körperlicher Arbeit muss die erhöhte Wärmebelastung durch eine höhere Raumluftgeschwindigkeit

© LTG Aktiengesellschaft

kompensiert werden. Eine effiziente Alternative kann die hybride Lüftung darstellen, bei der die warme Luft über Rauch-Wärme-Abzugsklappen in der Decke entweicht und die RLT-Anlage die Zuluft sicherstellt. Dabei können die Abluftventilatoren für die Hallenabluft zurückgeregelt oder abgeschaltet werden. Wichtig ist in diesem Fall, in der Aufenthaltszone (bis 2 Meter über Raumboden) nicht nur für ein angenehmes Klima, sondern auch für eine unbedenkliche Stoffbelastung zu sorgen. Die natürliche, aufgrund der inneren Lasten angeregte Konvektion unterstützt die freie Lüftung, wodurch feine Stäube oder Gase, die leichter sind als Luft, über das Dach abgeführt werden können.

Zentrale oder dezentrale Maschinenabluft

Zentrale Maschinenabluft mit entsprechender Luftreinigung verliert an Bedeutung, da sie lange Luftleitungen erfordert und stark schwankenden Stoffkonzentrationen ausgesetzt ist, die eine hohe Abscheideleistung ausschließen. Zu den Vorteilen zählen die ausgeglichene Luftbilanz im Sinne einer höheren Wärmerückgewinnung aus der Abluft und die Abführung der Schadstoffe über das Dach.

Bei der dezentralen Maschinenabluft, die von den Maschinenherstellern häufig mitgeliefert wird, entfallen die Sammelleitungen, da die gereinigte Abluft direkt in die Halle geleitet wird. Die abgegebene Maschinenabluft belastet die Luftqualität und erhöht somit den Bedarf an notwendiger Kühlleistung, die dann über einen höheren Zuluftvolumenstrom ausgeglichen werden muss.

In einigen Fällen kann eine dezentrale Stoffabscheidung, vorzugsweise mit Wärmerückgewinnung, mit einer zentralen Abluft kombiniert werden (Beispiel Kühlschmierstoffe). Im RLT-Gerät wird dann bei Heizbedarf die Abluftwärme genutzt oder im Kühlfall an der Wärmerückgewinnung vorbeigeleitet.

Bedarfslüftung umsetzen

Je nach Maschinennutzung bzw. den ausgeführten Tätigkeiten wie Montage oder Schweißen etc. ändern sich also die Anforderungen an die Luftmengen, die zu- und abzuführen sind. Das passgenaue Bereitstellen der Luftmengen bringt erhebliche Kostensenkungen mit sich, da die Kosten für den Lufttransport im Vergleich zu den Kosten für Lufterwärmung/-kühlung oft ein Mehrfaches betragen können.

Ist zum Beispiel aufgrund einer geringeren Auslastung 40 % weniger Luft zu bewegen, sinkt der Strombedarf der Ventilatoren in den RLT-Anlagen um 50 bis 80 % (siehe Abb. 1). Neben den typischen Effizienzkriterien – etwa geringe Luftgeschwindigkeiten in den RLT-Anlagen und Kanälen und geringe pneumatische Widerstände – führt die am Bedarf orientierte Betriebsweise der RLT-Anlagen also zu einem erheblich geringeren Energieverbrauch und sorgt für entsprechende Kosteneinsparungen.

Die Drehzahl der Ventilatorantriebe muss sich der Bedarfssituation anpassen, die geprägt ist von

- Produktionsprozess (Wärmelasten und stofflichen Lasten)
- Kühl-/Heizlast
- Unterschreitung der Arbeitsplatzgrenzwerte
- Anforderungen an den thermischen Komfort
- Frischlufthöhe bei Schichtlüftung

Während Einflussgrößen wie Wärme/Kälte sich leicht erfassen und der Gebäudeleittechnik (GLT) zur Verfügung stellen lassen, ist zur Feststellung arbeits- und maschinenbedingter Belastungen (z.B. die Freisetzung gesundheitsgefährdender Stoffe) eine direkte oder indirekte Vernetzung der Produktionstechnik mit der GLT unerlässlich. Ideal wäre die direkte datentechnische Kopplung der GLT mit den Daten der Auftragsbearbeitung. Bei Kenntnis dieser Daten lassen sich die Luftmengen dem Bedarf optimal anpassen.

Variable Luftmengen gezielt einbringen

Zur effizienten Be- und Entlüftung bedarf es nicht allein der Adaptierung der Gesamtluftmengen, sondern ebenso der zielgerichteten Lüftung der relevanten Bereiche. Ruht beispielsweise der Versand innerhalb einer großen Halle in den Nachtstunden während die automatisierte Fertigung weiterläuft, sollte der Versandbereich mit Mindestluftwechselraten (oder ggf. gar nicht) mit Zuluft bedient werden. Währenddessen aber benötigt die Produktionshalle eine hohe Absaugleistung und Luftwechselrate. Um dies zu ermöglichen, sind wahlweise verschiedene, separat regelbare Lüftungszentralen und -netze einzurichten oder das Lüftungsnetz ist an geeigneten Abzweigungen mit Druck- und Volumenstromreglern zu versehen. Letztere können idealerweise bei einem in einzelnen Bereichen ruhenden Betrieb und bei geringen thermischen Lasten den Luftstrom komplett abriegeln.

© LTG Aktiengesellschaft

Die bedarfsorientierte Lüftung spart nicht nur Energie, sie ermöglicht es zudem, die Luftqualität und den thermischen Komfort auch bei sich ändernden inneren und äußeren Lasten weitgehend konstant zu halten. D.h. zum Beispiel, bei Stillstand mehrerer Maschinen die Halle nicht über Gebühr zu kühlen, wie es bei konstanten Luftwechselraten häufig der Fall ist.

Das Ziel: gleicher Strömungsimpuls bei schwankenden Luftmengen

Da in den meisten Hallen sowohl für den thermischen Komfort als auch für die Luftbelastung mit eventuellen Schadstoffen der Aufenthaltsbereich von 0 bis 2,5 Meter über dem Boden maßgeblich ist, sollte unter allen möglichen Lastbedingungen eine ausreichende Belüftung dieser Zone sichergestellt werden. Bei klassischen Luftauslässen kann es bei hohen Luftmengen zu unangenehmen Zugerscheinungen kommen oder umgekehrt bei geringen Zuluftmengen zu einer mangelhaften Abfuhr von Wärme und Schadstoffen. Das Resultat ist dann eine unnötige gesundheitliche Belastung der Mitarbeiter, die im schlimmsten Falle zur Beeinträchtigung der Gesundheit und Produktivität führen kann.

Besser geeignet sind Auslässe, die sich in Bodennähe installieren lassen und in einem großen Regelbereich bis zu einem Drittel des Volllastvolumenstroms einsetzbar sind und dabei stets einen gleichbleibenden Strömungsimpuls erzeugen, um die Effektivität der Schichtlüftung zu gewährleisten.

Die Lösung: neuartiger Auslass für variable Luftmengen

Ein herkömmlicher Luftauslass ist für einen derart weiten Regelbereich nicht geeignet, denn bei 1/3 oder gar 1/4 der Maximalluftmenge würde sich ein sehr geringer Druck (1/9 bis 1/16 des Auslegungsdruckes) und somit ein schwacher Luftimpuls einstellen, der die Verdrängung von Schadstoffen oder das Abführen von Maschinenabwärme nicht sicherstellen kann. Die LTG Aktiengesellschaft hat daher den Kombiluftdurchlass ILQ*sf* (System SmartFlow) entwickelt, der die Vorteile des Mischluftdurchlasses mit denen des Quellluftdurchlasses vereint (Abb. 3 und 4).

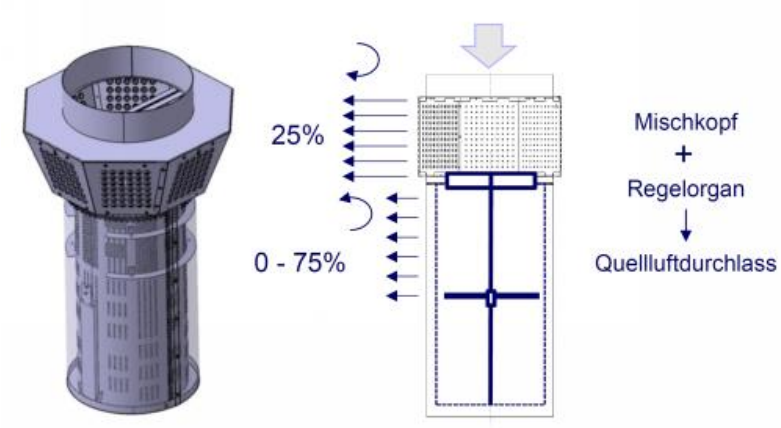

Abbildung 3: Der Industrieauslass ILQsf von LTG kombiniert einen Misch- und einen Quellluftauslass und erlaubt eine Variation der Zuluftmenge im Bereich von 1/4 bis 1/1 des maximalen Luftvolumenstroms bei gleichbleibendem Druck und konstantem Strömungsimpuls

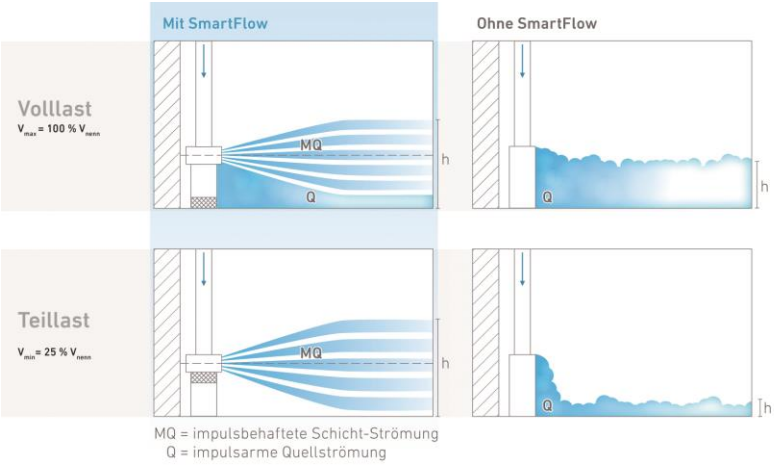

Abbildung 4: LTG System SmartFlow bietet optimalen Komfort und Energieeffizienz auch bei wechselnden Lastsituationen

© LTG Aktiengesellschaft

Bei einem geringen Luftvolumenstrom von etwa 1/4 des Maximalstroms ist nur der Mischkopf aktiv. Hierbei tritt Luft mit hohem Impuls aus dem Auslass und vermischt sich rasch mit der umgebenden Raumluft. Der Mischauslass erzeugt bei bodennaher Aufstellung eine horizontale Luftströmung, bei hängendem Einbau bis 3 m Höhe ist diese schräg nach unten gerichtet. Der Auslass ist für den Heiz- und Kühlbetrieb mit Luftmengen bis über 7.000 m3/h geeignet (Abb. 5 und 6).

Abbildung 5: Raumströmung beim ILQsf durch Ölnebel sichtbar gemacht. Videos zu den entsprechenden Laborversuchen finden Sie via QR-Code auf der Website der LTG.

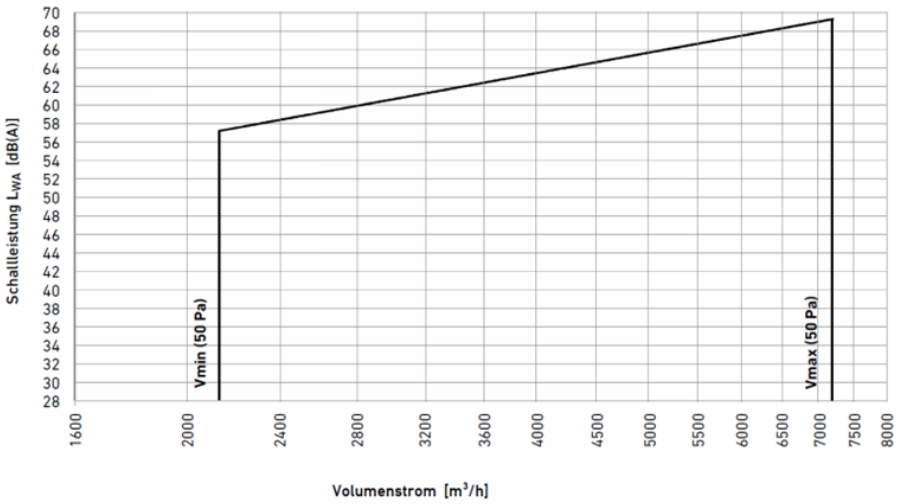

Abbildung 6: Beispielhafter Regelbereich und Schallleistung eines Luftauslasses ILQsf für die Baugröße 630 (Anschlussdurchmesser DN 630).

Bei höheren einzubringenden Luftmengen wird zusätzlich zum Mischkopf der Quellluftdurchlass des ILQ*sf* mechanisch selbsttätig aktiviert. Die den Quellluftdurchlass verlassende Luft strömt mit geringer Geschwindigkeit aus, so dass die Luftrichtung (waagerecht bzw. leicht nach unten gerichtet) beibehalten wird – die Mischluftströmung reißt große Anteile der Quellluft mit und führt sie mit in den Raum. Der Anteil des Quellauslasses an der Gesamtlufteinbringung wächst mit steigender Luftmenge, wobei der Druckverlust im Luftdurchlass und der radiale Strömungsimpuls konstant bleiben. Eine zusätzliche mechanische, elektrische oder thermische Umschaltung zwischen Heiz- und Kühlfall ist nicht erforderlich, da die Strömungscharakteristik unabhängig von der Temperatur der Zuluft ist.

Dank der Kombination von Misch- und Quellluftdurchlass stellen sich im Aufenthaltsbereich auch in Nähe des Auslasses geringe Luftgeschwindigkeiten ein. In der Regel wird eine Luftgeschwindigkeit von 25 bis 30 cm/s im Aufenthaltsbereich nahe am Luftdurchlass nicht überschritten. Dadurch sind diese Auslässe auch geeignet, um Arbeitsplätze mit leichter, sitzender Tätigkeit mit frischer Luft zu versorgen. Somit stellt sich überall in der Fabrik eine hohe thermische Behaglichkeit ein, welche die volle Nutzbarkeit aller Bereiche ermöglicht, ohne dass Klagen über eine Zugluftbelastung zu befürchten sind.

Variable Luftmengen in Neubau und Bestand möglich

Mit Hilfe von Auslässen für variable Luftmengen – wie dem kombinierten Misch- und Quellluftauslass ILQ*sf* – lassen sich nicht nur Neubauten effizient belüften, auch im Bestand kann Einsparpotenzial erschlossen werden. Die umgewälzten Luftmengen in Bestandgebäuden orientieren sich oft an den äußeren Lasten, dienen also der Abfuhr eines sommerlichen Wärmestaus in der Fabrikhalle. Wenn nicht andere Gründe wie die stoffliche Belastung oder die Mitarbeiterdichte dagegensprechen, lassen sich im Frühling und im Herbst somit geringere Luftmengen fahren. Dieses Sparpotenzial bliebe bei konventionellen Auslässen unberücksichtigt, da eine Reduktion der Luftmengen mit einem mangelhaften Strömungsimpuls verbunden wäre. Mit Auslässen für variable Luftmengen hingegen lässt sich die Bedarfslüftung auch in existierenden Fabriken umsetzen bzw. für diese nachrüsten.

Damit die Umrüstung auf den Industrieauslass ILQ*sf* ohne große Eingriffe in den Bestand und bei laufender Produktion möglich ist, bietet LTG die Auslässe mit gängigen Anschlussdurchmessern an. Die Geräte sind für die stehende und hängende Montage (bis etwa 3 m Höhe Unterkante) und in drei Leistungsstufen erhältlich. Je nach Modell lassen sich Luftvolumenströme bis zu 7000 m^3/h (bei Δp = 50 Pa) einbringen. Der Regelbereich beträgt bei allen Modellen 1/4 bis 1/1 der maximalen Luftmenge. Dies ermöglicht auch bei zukünftigen internen Nutzungsänderungen eine gleichbleibende Lüftungseffektivität ohne erneute Umbaumaßnahmen bzw. Austausch der Luftauslässe.

Wie im Neubau kann es auch im Bestand möglich sein, zusätzlich zur Zentrallüftung installierte Umluft-Luftheizungen in den Hallen durch Heizsysteme wie Dunkelstrahler zu ersetzen und somit die Ventilatorenergie für die Luftheizgeräte einzusparen. Lassen sich die Luftnetze der Bestandsanlagen zudem mit Volumenstromreglern ausstatten, kann die Luft bei wechselnden Anforderungen oder einer anderen Flächennutzung dorthin geführt werden, wo sie benötigt wird. Luftauslässe für variable Luftmengen ermöglichen somit verschiedene neue Optionen, bei Zentrallüftungsanlagen im Rahmen einer Sanierung ungeahnte Einsparpotenziale zu erschließen.

© LTG Aktiengesellschaft