

# Bedarfsgeregelte Lüftung und Energieeffizienz

**White Paper Version 1.0**

Franklin Linder

18.10.2013

## Zusammenfassung

Der technische Betrieb von Gebäuden (Heizen, Kühlen und Lüften) benötigt heute einen Anteil von rund 40% des globalen Primärenergiekonsums und verursacht knapp  $\frac{1}{4}$  des weltweiten CO<sub>2</sub>-Ausstosses. Im Kampf gegen diese Umweltbelastung fällt der **Optimierung der Energieeffizienz in Gebäuden** eine sehr wichtige Bedeutung zu. In Gebäuden, welche mit einer mechanischen Lüftung ausgestattet sind, stellt die Technologie der **Bedarfsgeregelten Lüftung** eine der wichtigsten Ansätze hierzu dar.

Bedarfsgeregelte Lüftung bedeutet, dass die Gebäudeautomatisierung **die Zuführung von Aussenluft jederzeit den effektiven Anforderungen anpasst und minimiert**, mit dem Ziel der Optimierung von Raumluftqualität und Energieeffizienz gleichermassen. Als Kriterium für die Raumluftqualität gilt meist deren **CO<sub>2</sub>-Gehalt**, welcher i.d.R. mit Infrarot CO<sub>2</sub>-Sensoren erfasst wird.

Die Energieeinsparung durch die Bedarfsgeregelte Lüftung ergibt sich einerseits bei der **Antriebsenergie für die Ventilatoren** und zum anderen bei **der Aufbereitung der zugeführten Frischluft** (Beheizung, Kühlung, Be-/Entfeuchtung etc.).

Je nach Anlagentyp (mit/ohne Wärmerückgewinnung, mit/ohne Mischluftklappen, Heizung/Kühlung über die Zuluft oder lokal) ergeben sich verschiedene **Abhängigkeiten und Regelstrategien** mit unterschiedlichen Einsparmöglichkeiten.

Dieses Whitepaper beschreibt die Grundlagen, die Technologie und die Auswirkungen der Bedarfsgeregelten Lüftung allgemeinverständlich. Es behandelt die Zusammenhänge für **individuell belüftete Räume** wie auch für **VAV-geregelte Einzelräume mit zentraler Luftaufbereitungsanlage** und es gibt Fakten und Zahlen dazu.

Für **SAUTER** ist die Energieeffizienz (optimaler Benutzerkomfort bei minimalem Energieaufwand) oberstes Ziel. Alle unsere Produkte und Lösungen sind konsequent darauf ausgerichtet.

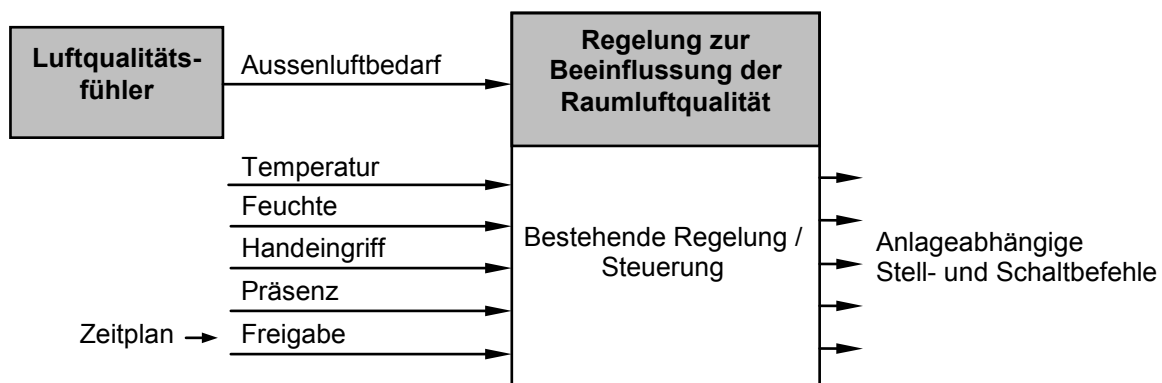
## Einleitung/Allgemeines:

Die negativen Auswirkungen des Klimawandels manifestieren sich auf unserer Erde mit immer grösserer Deutlichkeit und Erwiesenheit. Ein sorgfältigerer **Umgang mit Energie und Emissionen** sind zu einer der dringendsten und dominierendsten Herausforderung der Menschheit geworden.

Vom globalen Primärenergiekonsum benötigt der technische Betrieb von Gebäuden (beheizen, kühlen, belüften, beleuchten etc.) heute einen Anteil von rund 40%! Der Anteil am CO<sub>2</sub>-Ausstoss beträgt knapp ¼ (in der Schweiz, in Deutschland 40%)! Im Kampf gegen diese Umweltbelastung fällt der **Maximierung der Energieeffizienz in Gebäuden** eine enorme Bedeutung zu.

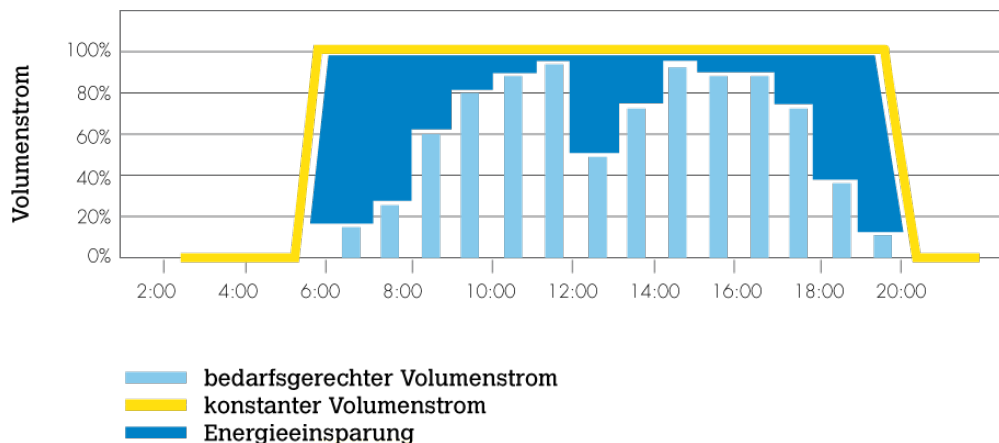
In Gebäuden, welche mit einer mechanischen Lüftung ausgestattet sind, stellt die Technologie der «Bedarfsgeregelten Lüftung», nebst weiteren **Schlüsseltechnologien** wie z.B. der «Integrierten Raumautomation» oder der «Thermischen Betonkernaktivierung», eine der wichtigsten Ansätze hierzu dar. Immer mehr Wichtigkeit fällt dem Thema Bedarfsgeregelte Lüftung auch aufgrund der zunehmend höheren Luftdichtigkeit (als Folge der immer besseren Wärmedämmung) der Gebäude zu.

**Bedarfsgeregelte Lüftung** bedeutet, die durch die Lüftung zugeführte **Aussenluftmenge jederzeit den effektiven Anforderungen anzupassen**, d.h. in jedem Moment nur genau so viel Luft zu zuführen und zu konditionieren (heizen, kühlen, be-/entfeuchten), wie für einen angemessenen, guten Raumkomfort nötig ist. Ziel ist die Optimierung der Lüftungsanlage bezüglich **Benutzerkomfort und Energieeffizienz gleichermassen**.



Prinzip der Bedarfsgeregelte Lüftung (VDMA 24773)

Die Energieeinsparung durch die Bedarfsgeregelte Lüftung ist zweifach. Einerseits bei den **Ventilatoren** und dort sogar überproportional, weil die benötigte Antriebsenergie in der dritten Potenz zur bewegten Luftmenge wächst, resp. eingespart werden kann. Zum anderen bei der **Aussenluftaufbereitung**: Weniger Aussenluftmenge bedeutet entsprechend weniger Energieaufwand für deren Beheizung, Abkühlung, Be-/Entfeuchtung.



*Energieeinsparungspotential Bedarfsgeregelte Lüftung versus zeitgesteuerter Lüftung*

Eine zentrale Bedeutung bei der Bedarfsgeregelten Lüftung kommt dem **Luftqualitäts-sensor** zu. Er quantifiziert die Luftqualität des Raums und liefert die **Führungsgrösse**. Der richtige Sensortyp, dessen Genauigkeit und Langzeitstabilität, die richtige Positionierung im Raum etc. sind grundlegend für ein gutes Resultat. Im Allgemeinen werden **CO<sub>2</sub>-Sensoren** eingesetzt. Der CO<sub>2</sub>-Gehalt der Raumluft steigt proportional mit der Anzahl und der Verweildauer der im Raum präsenten Personen und liefert ein **sehr gutes Mass für die Luftqualität**. Für partikelbelastete Räume (z.B. mit Gerüchen belastete Räume oder Räume in denen geraucht wird) werden ausserdem **Mischgassensoren** (VOC-Sensoren) verwendet.

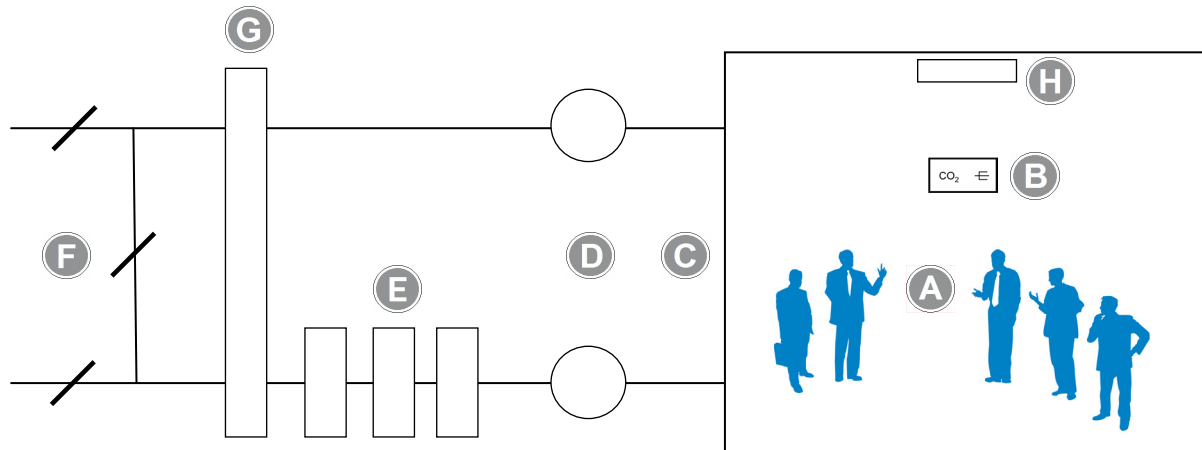
Mit einer Bedarfsgeregelten Lüftung basierend auf dem CO<sub>2</sub>- oder dem VOC-Gehalt der Raumluft wird sowohl bei einer **Gebäudeklassifizierung nach EN 15232**, wie auch bei einer Gebäudezertifizierung nach **eu.bac-Systems** in der entsprechenden Kategorie die höchstmögliche Bewertung erreicht.

**SAUTER** bietet nebst umfassendem Wissen und viel Erfahrung auch alle für eine Bedarfsgeregelten Lüftung benötigten regeltechnischen Komponenten aus eigener Produktion: Sensoren, Aktoren (Ventile, Antriebe), Regler, Automationsstationen, die passenden Engineering-Tools und Know-How-Datenbanken.

Unserem Claim: «**Für Lebensräume mit Zukunft**» folgend, sind all unsere Produkte und Lösungen auf die Verbesserung der Energieeffizienz ausgerichtet.

## Die Elemente der Bedarfsgeregelten Lüftung

Und ihr Einfluss auf die Energieeffizienz



### A Benutzer/Raumklima

Die **Raumnutzer** sind für die Bedarfsgeregelte Lüftung zentral. Sie sind einerseits die **Leistungsempfänger** der Raumlüftung, i.d.R. aber gleichzeitig auch deren hauptsächliche **Ursache**. Der notwendige Luftaustausch ist weitgehend proportional zur Anzahl und der Verweildauer der anwesenden Personen (und der Intensität ihrer körperlichen Aktivitäten).



Das **Wohlbefinden** der Raumnutzer, d.h. die Qualität des Raumklimas, ist nebst der erreichten **Energieeinsparung** die wichtigste Zielgrösse für die **Bedarfsgeregelte Lüftung**.

In der **Formel für die Energieeffizienz** ist hier die Qualität des Raumklimas der Dividend und die dafür aufgewendete Energie der Divisor:

$$\text{Energieeffizienz} = \frac{\text{Erreichte Qualität des Raumklimas}}{\text{Dafür aufgewendete Energie}}$$

Die massgebenden gebäudetechnischen Grössen für das **Wohlbefinden der Raumnutzer** und damit für ihre **Leistungsfähigkeit** sind die Lichtverhältnisse, die Lufttemperatur, die Luftqualität, die Luftfeuchte, die Luftbewegung (Chill-Faktor, siehe unten), die Oberflächentemperaturen, sowie die Geräuschkulisse/Lärmbelastung. Von der **Intensität der Lüftung** sind nebst der Luftqualität auch die Luftbewegung, eventuelle Luftgeräusche und je nach Anlagentyp die Lufttemperatur und die Luftfeuchte direkt abhängig.

**Schlechte Luftqualität** (zu hohe CO<sub>2</sub>-Konzentration, Gerüche etc.) bedeutet Ermüdung, Konzentrationsschwäche, sinkende Aufmerksamkeit, fehlerhaftes Handeln, vermehrte Unzufriedenheit, bis hin zu Krankheitstagen, Arbeitsausfall und damit in jedem Fall schlechtere Resultate und höhere Kosten. Die **Bedarfsgeregelte Lüftung** sorgt für eine jederzeit gute Luftqualität.

Lüftung verursacht immer auch **Luftbewegung** und beeinflusst dadurch den **Chill-Faktor (die gefühlte Temperatur)**. Die Bewegung der Luft an der Körperoberfläche erhöht die Verdunstung, damit wird die Umgebungstemperatur als kühler empfunden und muss folglich zur Kompensation angehoben werden. D.h. unnötig starke (nicht bedarfsgerechte) Lüftung kann damit die Energieeffizienz gleich 3-fach schlecht beeinflussen: Mehr Energie für die Ventilatoren, mehr Energie für die Konditionierung, und zusätzlich mehr Energie für die **Erhöhung der Lufttemperatur als Folge des Chill-Faktors**. (Dies gilt für den Heizbetrieb. Analog kann es Sinn machen im Kühlbetrieb die Luftumwälzung über das für eine genügende Luftqualität nötige Mass zu erhöhen. Durch den erhöhten Chill-Faktor kann in der Folge die Temperatur angehoben und damit Kühlleistung eingespart werden. Im Kühlbetrieb kann eine als angenehm empfundene Raumtemperatur über erhöhte Luftbewegung bedeutend energie- / kostengünstiger erreicht werden, als über eine entsprechend niedrigere Raumtemperatur.)

Ein Komfortmerkmal der Bedarfsgeregelte Lüftung ist auch ihre **Toleranz für Benutzereingriffe**. Wünscht und erzeugt der Nutzer einen stärkeren Luftwechsel durch Fensteröffnen, so wird dies von den Sensoren der Bedarfsregelung automatisch erkannt und die mechanische Lüftung entsprechend zurückgefahren. Die Bedarfsregelung garantiert auch in diesem Fall einen minimierten Energieverbrauch.

#### Facts/Zahlen:

- 15% kann die Produktivität und Arbeitszufriedenheit von Menschen durch eine ideale Arbeitsumgebung (Beleuchtung, Temperatur und Luftqualität) gesteigert werden. Dies weisen wissenschaftliche Studien, z. B. des BOSTI (Buffalo Organization for Social and Technological Innovation), schon seit Ende der 60er Jahre nach.
- 1 ÷ 10 ÷ 100, betragen ganz grob die Kostenverhältnisse in einem kommerziellen Dienstleistungsgebäude. 1 steht für die Energiekosten, 10 steht für die Mietkosten (Flächensamtkosten) und 100 steht für die Gehaltskosten der Gebäudenutzer. Diese Grössenverhältnisse machen klar, wie wichtig in einer ganzheitlichen ökonomischen Betrachtung der erreichte Raumkomfort und mit ihm die Arbeitszufriedenheit und die Leistungsfähigkeit der Gebäudenutzer sind. Eine lediglich 1%-tige Veränderung der Arbeitsproduktivität hat in der Grössenordnung dieselben Kostenfolgen wie der gesamte Energieverbrauch des Gebäudes.

www.sauter-controls.com	Bedarfsgeregelte Lüftung und Energieeffizienz White Paper, © Fr. Sauter AG, Im Surinam 55, CH-4016 Basel	6
-------------------------	---	---

## B Fühler

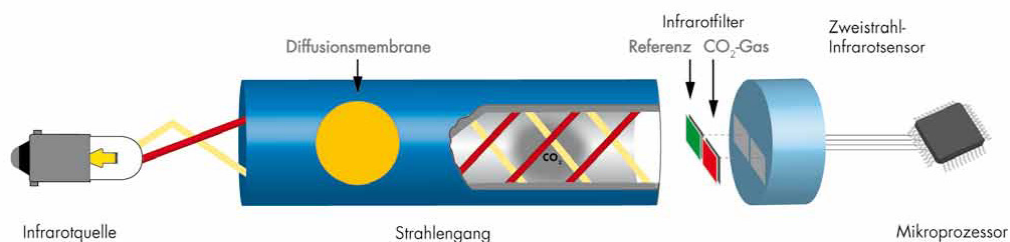
Der **Luftqualitätssensor** ist ein **Schlüsselement der Bedarfsgeregelten Lüftung**. Der richtige Sensortyp, dessen Genauigkeit und Langzeitstabilität und die richtige Positionierung im Raum, sind grundlegend für ein gutes Resultat.

Im allgemeinen werden zur Quantifizierung der Luftqualität **CO<sub>2</sub>-Sensoren** eingesetzt. Die CO<sub>2</sub>-Konzentration gilt als wichtigster Indikator für die Qualität von Raumluft. Sie liefert ein sehr gutes Mass für die Anzahl der im Raum präsenten Personen und für die aktuelle Luftqualität. Eine erhöhte CO<sub>2</sub>-Konzentration ist das Resultat des **Verbrennungsprozesses** im Körper der anwesenden Personen. Dabei entsteht aus Sauerstoff (O<sub>2</sub>) Kohlendioxyd (CO<sub>2</sub>), welches mit der Atemluft ausgeschieden wird. Kohlendioxid ist ein unsichtbares, geruchloses und chemisch nicht aktives Gas und ein natürlicher Bestandteil der Atmosphäre. Sein Gehalt wird in Volumenprozent oder ppm (Teilchen pro Million) ausgedrückt. In erhöhter Konzentration verursacht CO<sub>2</sub> **Leistungseinbussen, Konzentrationsschwierigkeiten, Müdigkeit etc.** und hat negative Auswirkungen auf die Gesundheit.

Für Sensoren in der Gebäudetechnik wird überwiegend das Verfahren der **Infrarotspektroskopie** angewandt. Das Messsystem besteht aus einer Lichtquelle, der Messstrecke, einem optischen Filter und dem Empfänger. Der Filter selektiert das Licht nach einer Wellenlänge, die spezifisch durch CO<sub>2</sub> gedämpft wird. Dadurch verändert sich das empfangene Signal in Abhängigkeit des CO<sub>2</sub>-Gehalts der Luft.

Mit **einstrahligen CO<sub>2</sub>-Sensoren** ist eine hinreichende Genauigkeit und Langzeitstabilität allerdings nur über Umwege erreichbar. Staub, Schmutz, und Alterung der Lichtquelle verursachen Abweichungen und eine Langzeitdrift. Der Fühler muss mittels einem automatischen Kalibriervorgang periodisch nachjustiert werden. Dieser erfordert jedoch jeweils ein intensives Lüften des nicht besetzten Raums, was natürlich mit entsprechendem Extra-Energie- und damit -Kostenaufwand verbunden und in gewissen Räumen (z.B. Spitälern) auch gar nicht möglich ist.

Mit **CO<sub>2</sub>-Sensoren in Zweistrahltechnologie** lässt sich diese energieaufwändige Nachjustierung vermeiden. Es werden zwei Messkanäle benutzt, einer mit dem Filter für die CO<sub>2</sub>-Messung und ein zweiter mit einem Filter für ein Referenzspektrum. Anhand der Referenzmessung können verändernde Messbedingungen, sowie die Alterung der Lichtquelle automatisch kompensiert werden. CO<sub>2</sub>-Sensoren mit Zweistrahlmessverfahren sind aufgrund der durchgängig hohen und robusten Messgenauigkeit für alle Anwendungen und Gebäudearten ideal geeignet. Besonders hochwertige Geräte besitzen zudem eine Temperaturkompensation und eine werkseitige Kalibrierung an mehreren Punkten, verteilt über den Messbereich.



*Wirkungsweise eines Zweistrahl-CO<sub>2</sub>-Sensors*

Der typische Messbereich von CO<sub>2</sub>-Sensoren liegt zwischen 0 und 2000 ppm. Die Konzentration im Raum sollte 1500 ppm nicht überschreiten. Empfohlen wird ein Grenzwert von max. 1000 ppm. Die Aussenluftkonzentration liegt bei rund 350 ppm. Der MAK-Wert (Maximale Konzentration am Arbeitsplatz, ab welchem ein Gesundheitsschaden zu erwarten ist) liegt bei 5000 ppm.

260 ppm	Außenluft in vorindustrieller Zeit, vor 1850
350 ppm	heutige reine Außenluft, Tendenz steigend
700 ppm	Stadtluft im Freien, für Aufenthaltsräume empfohlen
1000 ppm	Pettenkofer-Maximalwert
1400 ppm	Luft in schlecht gelüfteten Wohnungen, Grenzwert von Büroräumen
3500 ppm	Maximalwerte im Klassenzimmer nach einer Unterrichtsstunde
4300 ppm	Maximalwerte im Schlafzimmer, 2 Personen
5000 ppm	maximale Arbeitsplatzkonzentration (MAK-Wert)
7000 ppm	Maximalwerte im Kino, nach einer Vorstellung
20000 ppm	Kurzzeit-Maximalwert
40000 ppm	Ausatmungsluft

*CO<sub>2</sub>-Konzentrationen (0,035 Vol % entsprechen 350 ppm)*

Für partikelbelastete Räume, wie z.B. Restaurants oder Sanitärräume werden auch **Mischgassensoren** verwendet. Mischgassensoren messen den **VOC-Gehalt** der Luft (VOC: Volatile Organic Compounds = flüchtige organische Verbindungen). Nebst durch Tabakrauch, entstehen diese z.B. auch in der Küche oder werden von Einrichtungs- und Dekorationsgegenständen (z.B. Teppiche), Raumpflegeprodukten usw. ausgedünstet.

Eine offizielle Masseinheit für die VOC-Konzentration gibt es nicht. Der Messbereich der Sensoren umfasst üblicherweise eine Partikelmenge zwischen 0 und 1.000 ppm.

Luftqualitätssensoren gibt es als Kanalfühler mit Fühlerrohr für die Montage im Abluftkanal, oder als Auf- oder Unterputzgerät für die Montage direkt im Raum.



*SAUTER CO<sub>2</sub>-Sensoren. Kanalfühler / Raumfühler*



Für die Anwendung in der Gebäudeautomatisierung werden die Geräte oft mit dem **Temperatursensor** im gleichen Gehäuse kombiniert ausgeführt. Beim nicht fremdbelüfteten Raumfühler wird die Temperaturmessung jedoch durch die Abwärme der Lichtquelle für die CO<sub>2</sub>-Messung verfälscht, sodass eine abgesetzte Temperaturmessung für eine bessere Genauigkeit sorgt.

Eine grosse Bedeutung kommt dem **Montageort** zu. Ein Kanalfühler im **Abluftkanal** ergibt eine sehr genaue Messung. Er misst automatisch den Raummittelwert, funktioniert jedoch nur, wenn eine permanente, minimale Luftumwälzung garantiert werden kann. Bei der Montage ist auf gute Abdichtung zu achten, damit kein Gasaustausch zwischen Umgebungsluft und Kanalluft stattfinden kann.

Die Montage des **Raumsensors** erfolgt an einem repräsentativen CO<sub>2</sub>-Referenzort, im Normalfall ca. 1,5...2 m über dem Boden. Der Ort ist so zu wählen, dass eine gute Durchspülung der Raumluft durch das Gerät sichergestellt ist. Wegen des hohen CO<sub>2</sub>-Anteils der Ausatmungsluft muss ein Abstand zu Personen von min. 1 m eingehalten werden.

#### *Facts/Zahlen:*

- *Siehe auch Tabelle oben.*
- *78% N<sub>2</sub>, 21% O<sub>2</sub>, 0.035% CO<sub>2</sub> (78% Stickstoff, 21% Sauerstoff, 0.035% Kohlendioxyd) sind die Bestandteile normaler Aussenluft. Steigt der Anteil von CO<sub>2</sub> so nimmt der Anteil von O<sub>2</sub> entsprechend ab.*
- *5% (50'000 ppm) CO<sub>2</sub> wirken auf den Menschen toxisch, 8% (80'000 ppm) führen binnen 30-60 Minuten zum Tod.*
- *In der Stunde atmet eine Person ca. 15 l CO<sub>2</sub> aus, das entspricht 0,015 m<sup>3</sup>/h*
- *Praxiserfahrungen zeigen, dass die CO<sub>2</sub>-Konzentration in einem ungelüfteten Klassenzimmer innerhalb von 10 min die 1000 ppm-Grenze übersteigt.*
- *Eine CO<sub>2</sub>-Konzentrationen über 1'000 ppm führt zu einer messbaren Beeinträchtigung der menschlichen Leistungsfähigkeit: Müdigkeit, Konzentrationsschwierigkeiten, Erhöhung der Fehlerquote bis hin zu vermehrten Krankheitstagen, resp. Arbeitsausfall.*
- *Die erforderliche Sensorgenauigkeiten gemäss VDI 6038 beträgt: CO<sub>2</sub>: ±50ppm, Temperatur: ±0.5K, Feuchtigkeit: ±3,5% rH,*

#### *Bei SAUTER:*

- *Alle SAUTER CO<sub>2</sub>-Messumformer für Raumluftqualität sind in Zweistrahltechnologie mit Temperaturkompensation ausgeführt und werden werkseitig mit einer 12-Punkt-Kalibration, verteilt über den gesamten Messbereich linearisiert.*
- *Beim SAUTER Messumformer für Raumluftqualität EGQ222 mit Raumtemperatursensor ist dieser für eine unverfälschte Temperaturmessung abgesetzt angebracht:*



SAUTER Messumformer für Raumluftqualität EGQ222 mit Raumtemperatursensor

## Lüftung, Zuluft, Abluft

**Aussen-, Zu- und Abluftmenge** sind die Stellgrössen der **Bedarfsgeregelten Lüftung**. Je höher die CO<sub>2</sub>- (resp. VOC-) Belastung im Raum, desto mehr Frischluft fordert der Regler an. Verfügt die Anlage über Mischluftklappen, öffnet der Regler zuerst diese und erhöht damit den Aussenluftanteil. Erst wenn die Klappen voll offen sind, wird auch die Leistung der Ventilatoren erhöht.

Wird der Bedarfsgeregelten Lüftung ein **Zeitprogramm**, oder eine **Präsenzerfassung** übergeordnet, besteht ein zusätzliches Einsparungspotential, indem die Lüftung zu Zeiten, in denen der Raum nicht belegt ist, vollständig ausgeschaltet werden kann.

Infolge Ausdünstungen von Gebäude- und Einrichtungsmaterialien kann es erforderlich sein, jederzeit eine **minimale Menge an Aussenluft** zuzuführen, um unangenehme Gerüche (abgestandene Luft) zu vermeiden.

Aus dem gleichen Grund kann es angezeigt sein, vor dem Eintreffen der ersten Benutzer eine sog. **Stosslüftung** (Intensivlüftung) durchzuführen.

### Facts/Zahlen:

- 20-30% beträgt das Einsparpotential durch die Bedarfsgeregelte Lüftung in Grossraumbüros, wenn im Mittel 40% der Personen anwesend sind (VDMA 24773). Bei Energiekosten von ca. 1€/m<sup>2</sup>/Monat (OSCAR 2010) ergibt sich bei 15.000 m<sup>2</sup> eine jährliche Einsparung von 36.000 – 54.000 €!
- 3 – 5% beträgt das Einsparpotential in Grossraumbüros, wenn im Mittel 90% der Personen anwesend sind. (VDMA 24773)
- 20 – 50% beträgt das Einsparpotential in Hörsälen, Universitäten und Schulen. (VDMA 24773)
- 20 – 60% beträgt das Einsparpotential in Foyers, Schalterhallen, Abfertigungsbereichen von Flughäfen. (VDMA 24773)
- 40 – 70% beträgt das Einsparpotential in Messe- und Sporthallen. (VDMA 24773)
- 30 – 60% beträgt das Einsparpotential in Versammlungsstätten, Konferenzräumen, Theatern und Kinos. (VDMA 24773)
- 30 – 70% beträgt das Einsparpotential in Restaurants und Kantinen. (VDMA 24773)

www.sauter-controls.com	Bedarfsgeregelte Lüftung und Energieeffizienz White Paper, © Fr. Sauter AG, Im Surinam 55, CH-4016 Basel	10
-------------------------	---	----

Bei SAUTER:

- Bei den Raumautomationslösungen der SAUTER CASE Bibliotheken sind die verschiedenen Raumtypen mit ihren spezifischen Funktionen, inklusive Sollwertgrenzen, Zeitprogrammen, Präsenzfunktionen etc. vordefiniert hinterlegt.

## **D** Ventilatoren

Bei der **einfachen Lüftungsanlage** (d.h. ohne Mischluftklappen) bilden der Zu- und der Abluftventilator die **Stellglieder** der Bedarfsgeregelten Lüftung. Über diese steuert der Regler die ausgetauschte Luftmenge. (Zwecks Ausbalancierung zwischen Zu- und Abluftmenge, d.h. zur Vermeidung eines Über- resp. Unterdrucks im Raum, steuert er sie nicht direkt an, sondern über die Vorgabe der Zu-/Abluftmenge. Aufgrund dieser und je einer Über- resp. Unterdruckmessung im Zu- resp. Abluftkanal, stellt dann ein Drehzahlregler bei jedem Lüfter die entsprechende Zu- resp. Abluftmenge ein.)

Verfügt die Anlage über **Mischluftklappen**, wirkt der Luftqualitätsregler zuerst auf diese Klappen um den Aussenluftanteil dem aktuellen Bedarf anzupassen. Erst wenn diese voll geöffnet sind, wird auch die Zu- und Abluftmenge über eine Drehzahlerhöhung der Lüfter anpasst.

Zum Einsatz kommen heute in aller Regel nur noch **stetig angesteuerte Ventilatoren** (über FU). Früher wurden auch **mehrstufige Ventilatoren** eingesetzt. (Die Ausbalancierung zwischen Zu- und Abluft erfolgte dann während der Inbetriebsetzung über entsprechende Anpassungen der Übersetzungsverhältnisse bei den Ventilatorantrieben.)

So wie sich **Luftwiderstände** ganz allgemein in der dritten Potenz mit der Luftgeschwindigkeit erhöhen, steigt auch beim Ventilator die mechanische / elektrische **Antriebsleistung in der dritten Potenz** mit der umgewälzten Luftmenge. Anders ausgedrückt: Kann die bewegte Luftmenge dank der Bedarfsgeregelten Lüftung reduziert werden resultiert bei den Ventilatoren eine entsprechende Energieeinsparung hoch drei! (Z.B. Luftmenge 1/2 = elektrische Energie 1/8!)

*Facts/Zahlen:*

- 49% z.B., beträgt die eingesparte Antriebsenergie für den Lüfter, wenn die umgewälzte Luftmenge durch die Bedarfsgeregelte Lüftung um 20% reduziert werden kann!

Bei SAUTER:

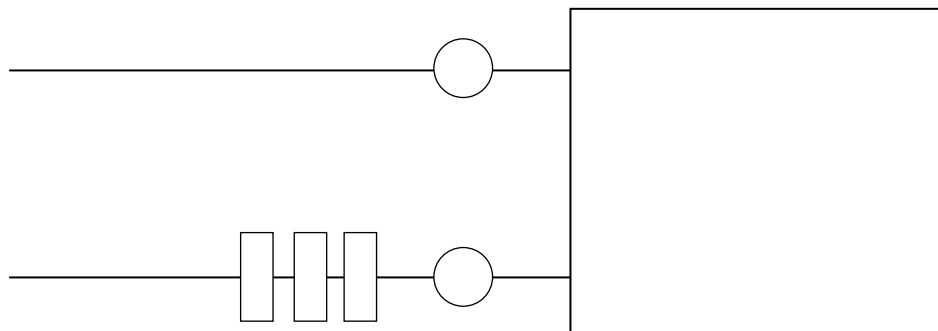
- Die SAUTER Engineering Software CASE Suite mit den vielen vordefinierten Lösungen in den SAUTER Bibliotheken lässt das Engineering dieser aufwändigen Zusammenhänge erst schlank, effizient und qualitativ hochwertig werden.

## **E** Luftkonditionierung

Die **Luftkonditionierung** kann je nach Anforderungen und Anlagekonzept aus Filtern, Heizen, Kühlen, Befeuchten und Entfeuchten bestehen.

Da in jedem Fall (aus Komfortgründen auch bei Anlagen mit «Heizung/Kühlung lokal», Abschnitt H) die zugeführte Aussenluft auf das Temperaturniveau der **Zuluft vorgewärmt/-gekühlt** werden muss, hat das Aussenluftvolumen immer eine proportionale Auswirkung auf den Bedarf für Wärme-/Kälteenergie. Jede Reduktion der Aussenluftmenge durch die Bedarfsgeregelte Lüftung hat folglich auch (nebst der Energieeinsparung bei den Ventilatoren) eine entsprechende Einsparung bei der Heiz- (/Kühl-) Energie zur Folge.

Bei Anlagen, bei denen der Raum ausschliesslich über die Luftkonditionierung beheizt/gekühlt wird (ohne Beheizung/Kühlung lokal) und die über keine Mischluftklappen verfügen, kommt dabei auch dem **Toleranzband der Raumtemperatur** (allenfalls -Feuchte) eine enorm wichtige Bedeutung zu.



Anlage ohne Beheizung/Kühlung lokal und ohne Mischluftklappen (schematisch)

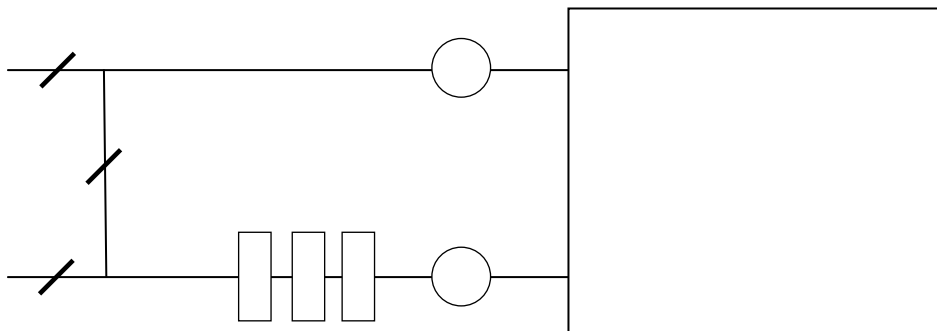
In diesem Fall wird die Menge der zugeführten Aussenluft nicht ausschliesslich durch den Raumluftqualitätsregler bestimmt, sondern auch der Heiz- (Kühl-) Bedarf kann eine Erhöhung des Aussenluftvolumens erfordern. Es ergibt sich eine **Priorisierung der Luftmenge zwischen dem Bedarf für Luftqualität und dem für Wärme (/Kälte)**, je nach dem, wo gerade die grössere Anforderung besteht. Je enger nun das Toleranzband für die Raumtemperatur (z.B. 22°C - 24°C) definiert wird, desto öfter bestimmt dessen Einhaltung das Volumen der zuzuführenden Aussenluft. Und umgekehrt gilt folglich: **Je grösser das Raumtemperatortoleranzband, desto mehr Spielraum erhält die Bedarfsgeregelte Lüftung** (Regelung aufgrund der Raumluftqualität) das Luftvolumen zu reduzieren und desto grösser wird ihr Potential zur Energieeinsparung. Ist das Temperaturtoleranzband im Extremfall gleich Null (nicht vorhanden), bedarf dessen Erhaltung die Priorität zu praktisch 100% und das Energieeinsparungspotential durch die Bedarfsgeregelte Lüftung wird somit weitgehend verhindert. (Dieselben Aussagen gelten analog auch für das Toleranzband der Raumfeuchte.)

Bei SAUTER:

- Mit Hilfe des SAUTER EMS (Energy-Management-System) lassen sich diese komplexen Zusammenhänge und Abhängigkeiten während der Betriebsphase aufzeichnen, aussagekräftig darstellen, analysieren und damit optimieren. Mit dem Ziel einer bestmöglichen Energieeffizienz bei gleichzeitig höchstmöglichem Benutzerkomfort.

## F Mischluftklappen

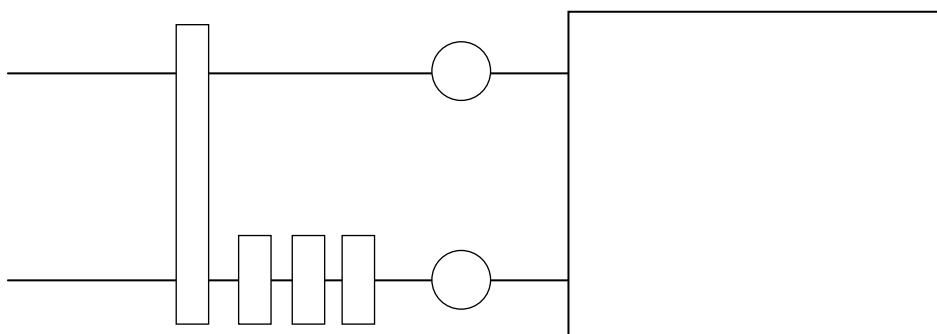
Lüftungsanlagen mit **variabler Aussenluftbeimischung über Mischluftklappen** haben den grossen Vorteil der **Entkopplung** der Aussenluftzufuhr von der Erhaltung der Raumtemperatur. Ein erhöhter Bedarf an Wärme/Kälte erfordert nicht automatisch eine grössere Aussenluftmenge. Die umgewälzte Luftmenge kann über die **Umluftklappe** zurückgeführt werden. Die Energieeinsparung ist gross und Umluft-/Mischluftklappen werden daher oft der Wärmerückgewinnung WRG zugeordnet.



Anlage mit Umluft-/Aussenluftklappen (schematisch)

Durch die vollständige Unabhängigkeit von Luftqualität- und Wärme- (Kälte-, Feuchte-) Regelung entfällt insbesondere auch der oben (im Abschnitt E Luftkonditionierung) beschriebene, unvorteilhafte Einfluss des **Temperaturtoleranzbandes** auf die Energieeinsparmöglichkeit der Bedarfsgeregelten Lüftung.

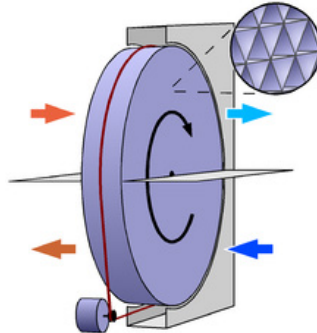
## G Wärmerückgewinnung



Anlage mit Wärmerückgewinnung (schematisch)

Die **Wärmerückgewinnung (WRG)** entzieht der Abluft Wärmeenergie und führt diese der Zuluft zu. Es werden **Plattenwärmetauscher** (thermische Verbindung der Abluft mit der Zuluft über Metallplatten) oder **Rotationswärmeübertrager / Wärmeräder** (wärmespeichernde

Massen werden über ein Rad abwechselnd durch den Abluft- und den Zuluftkanal geführt eingesetzt.



Rotationswärmeübertrager (Prinzipbild)

Durch eine Wärmerückgewinnung ändert sich im Prinzip nichts an all den obigen Aussagen zur **Bedarfsgeregelten Lüftung**. Es ergibt jedoch eine quantitative Abschwächung des Einsparungspotentials bei der thermischen Luftkonditionierung, da die WRG einen Grossteil der sonst über die Abluft verlorenen **Wärme-/Kälteenergie zurückgewinnen** kann.

Auch die obigen Aussagen zum **Temperatur-Toleranzband** (siehe Abschnitt E, Luftkonditionierung) ändern sich nicht prinzipiell, wenn eine WRG installiert ist. Lediglich dessen quantitative Auswirkung wird abgeschwächt.

*Facts/Zahlen:*

- 80% beträgt der für Wärmeräder erreichbare Wirkungsgrad (Rückwärmezahl)
- 60% beträgt der für Plattenwärmetauscher erreichbare Wirkungsgrad (Rückwärmezahl)

## Heizung / Kühlung lokal

Der Raum wird in diesem Fall nicht über die zugeführte Luft beheizt/gekühlt, sondern über im Raum selbst installierte Elemente wie z.B.: **Radiatoren, Bodenheizung/Kühldecke, Heiz-/Kühlbalken, oder Ventilatorkonvektoren**.

Wie bei den Umluft-/Mischluftklappen ergibt sich der grosse Vorteil der **Entkopplung** der Aussenluftzufuhr von der Erhaltung der Raumtemperatur. Weiter noch wird in diesem Fall für die Beheizung (Kühlung) auch keine Umluft benötigt, was eine grosse **Energieeinsparung bei den Ventilatorantrieben** (Antriebsenergie = Luftmenge<sup>3</sup>!) ermöglicht.

Auch hier entfällt der oben (Abschnitt E, Luftkonditionierung) beschriebene, unvorteilhafte Einfluss des **Temperaturtoleranzbandes** auf das Energiesparpotential der Bedarfsgeregelten Lüftung.

Aus Komfortgründen ist es jedoch notwendig, auch in diesem Fall die **eingeblassene Luft** vor zu konditionieren. Vor allem kühler als die Raumtemperatur eingeblassene Luft wird als sehr unangenehm empfunden.

Einen Spezialfall von Heizung/Kühlung lokal stellt die Lösung mit **Ventilator-Konvektoren mit Aussenluftklappen** dar. Sie existieren in div. Ausführungsvarianten: Nur Heizen oder

Heizen/Kühlen, mit Ventilator 1-stufig, mehrstufig, oder stetig, mit oder ohne WRG. Die Aussenluftklappe ist stets als Mischluftklappe ausgeführt. Aus der Optik der Bedarfsgeregelten Lüftung stellen die Ventilator-konvektoren mit Aussenluftklappen eine lokale Ausführung einer Lüftungsanlage mit Mischluftklappe dar und es gelten alle für diesen Anlagentyp gemachten Aussagen entsprechend.

### Vergleichstabelle Energiebedarf nach Anlagentyp

Anlagentyp	Heizen/kühlen benötigt		Abhängigkeit von Raumtemperatur-toleranzband
	Ventilatoren	Aussenluft	
Ohne WRG, ohne Mischluftklappen	Ja	Ja	Ja
Mit WRG	Ja	Reduziert <sub>1</sub>	Reduziert <sub>2</sub>
Mit ML-Klappen	Ja	Nein	Reduziert <sub>3</sub>
Mit H/K lokal	Nein	Nein	Nein

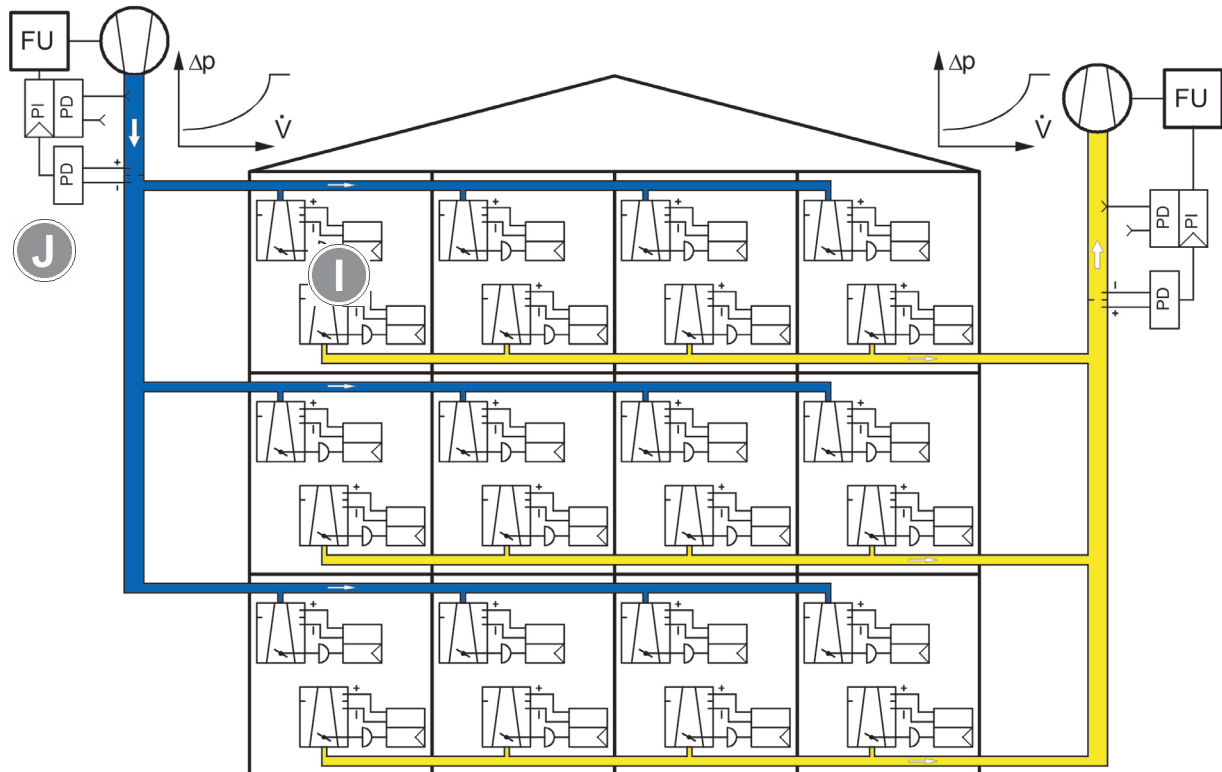
*1) Energiebedarf reduziert, weil Aussenluft durch WRG vorgewärmt*

*2) Einfluss reduziert, weil Aussenluft durch WRG vorgewärmt*

*3) Einfluss reduziert: Lediglich Ventilatoren, keine Aussenluft nötig für Heizen/Kühlen*

*Einfluss des Anlagentyps auf die Einsparmöglichkeiten durch die Bedarfsgeregelten Lüftung*

## Einzelräume mit VAV:



VAV-Räume mit zentr. Lüftungsanlage

### I Einzelraum-VAV-Regelung

In Gebäuden mit zentraler Lüftungsanlage und **Einzelraum-VAV-Regelungen** wird die Bedarfsgeregelte Lüftung in jedem Raum über VAV- (Variable Air Volume) Boxen realisiert. Analog zur obigen Beschreibung für Räume mit individueller Lüftungsanlage wird für jeden Raum **der Luftaustausch, CO<sub>2</sub>-** (und allenfalls temperatur-) **gesteuert** dem momentanen Bedarf angepasst und auf ein Minimum reduziert. Der VAV-Regler erhält dazu seinen Ausenluftmenge-Sollwert vom Raumregler und stellt die Klappe der VAV-Box aufgrund dem über der Blende gemessenen Volumenstrom-Istwert entsprechend ein.

Die Aussagen über die Energieeinsparung durch die Bedarfsgeregelte Lüftung gelten analog zu obigen Ausführungen, die **Gesamtersparnis** entspricht der Kumulation aller Räume. In der zentralen Luftaufbereitung wird der Kanaldruck konstant gehalten und damit nicht mehr Luft aufbereitet als benötigt wird.

Bei SAUTER:

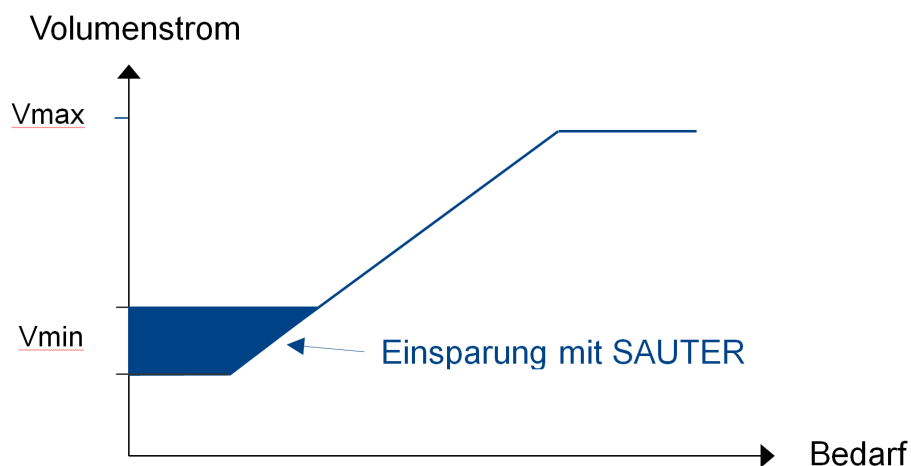
- SAUTER Volumenstromkompaktregler ASV115 für die bedarfsgeregelte Lüftung bei allen Anwendungen (z.B. Büroräume, Konferenzräume, Hotelzimmer)





Sauter Volumenstrom-Kompaktregler ASV115

- Ein herausragendes Merkmal des im SAUTER Volumenstrom-Kompaktregler ASV115 für und Fein-Differenzdruck-Messumformer ECP100 verwendeten Differenzdrucksensors ist die besonders hohe Auflösung, die gute Nullpunktstabilität und die Möglichkeit der integrierten Messbereichsanpassung. Diese Alleinstellungsmerkmale erlauben eine besonders präzise Erfassung kleinster Differenzdrücke von nur 1 Pa. Damit erweitert sich der Regelbereich der Bedarfsgeregelten Lüftung am unteren Ende des Regelbereiches, was signifikant mehr Energie- und damit Betriebskosteneinsparungen ergibt:



Zusätzliche Energieeinsparung mit Komponenten von SAUTER

## **J** Kanaldruckminimierung

Eine weitere Steigerung der Energieeffizienz, in Gebäuden mit Einzelraum-VAV-Regelungen und zentraler Lüftungsanlage, lässt sich mit einem **variabel geregelten Kanaldruck** erreichen. Der Kanaldruck wird dabei über eine vorbestimmte Kurve **gemäss dem momentanen**

**Volumenstrom** des Kanals geführt und minimiert. Bei einem kleinen Luftvolumenstrom wird ein niedriger, bei einem hohen Volumenstrom ein höherer Kanaldrucksollwert vorgegeben.

Die VAV-Regler jedes Raumes gleichen den variablen Kanaldruck automatisch aus, da sie den Volumenstrom auf den vom Raumregler geforderten Sollwert ausregeln.

Ziel ist es, den **Kanaldruck** soweit zu **minimieren**, dass derjenige VAV-Regler des Raumes mit dem grössten Luftbedarf seine Klappe ganz oder fast ganz öffnen muss.

Die Energieersparnis ergibt sich beim Energiebedarf der Ventilatoren der zentralen Luftaufbereitung, da diese nicht mehr Druck im Kanal aufbauen müssen als nötig.

Mit einem druck-/bedarfsgeregelten Luftvolumenstrom auf Ebene der zentralen Luftaufbereitung wird sowohl bei einer **Gebäudeklassifizierung nach EN 15232** als auch bei einer Gebäudezertifizierung nach **eu.bac-Systems** in der entsprechenden Kategorie die höchstmögliche Bewertung erreicht.

*Bei SAUTER:*

- *Mit dem Volumenstromkompaktregler ASV115 (ab Firmware V2.10) steht bei SAUTER ein Gerät zur Verfügung, welches sowohl die Einzelraum-VAV-Regelung, wie auch die Kanaldruckregelung beherrscht.*
- *Für das Engineering der Kanaldruckregelung mit ASV115 stehen im SAUTER CASE VAV fixfertige Applikationen zur Verfügung.*
- *Mit Hilfe des SAUTER EMS (Energy-Management-System) lassen sich während der Betriebsphase das komplexe Zusammenspiel und die gegenseitigen Abhängigkeiten der Einzelraum-VAV-Regler mit der Regelung der zentralen Luftaufbereitung aussagekräftig analysieren und optimieren.*

## Schlussbemerkung

Die **bauphysikalische Ausführung** eines Gebäudes (Wärmeisolation, Wärmespeicherfähigkeiten, Dichtheit der Gebäudehülle, Sonnenschutz etc.) bilden die Grundlage für einen bestmöglichen Komfort bei gleichzeitig maximaler Energieeffizienz. Ebenso sind die eingesetzten **haustechnischen Anlagekomponenten** (mechanisch-technische Ausführung der Lüftungsanlagen, Wärme-, Kälteaufbereitung, Wärmerückgewinnung etc.) eine wichtige Basis hierzu.

Die **Gebäudeautomation** und insbesondere auch die hier beschriebene **bedarfsgeführte Regelung der Lüftungsanlage** sorgt, wenn sie überlegt, umfassend und mit fundiertem Wissen ausgeführt ist, für eine optimale Ausnutzung und einen energieeffizienten Einsatz der gegebenen Grundlagen.

Alle drei Bereiche, die bauphysikalische Ausführung, die eingesetzten haustechnischen Anlagekomponenten und die Gebäudeautomation tragen ihren Teil zu einer grösstmöglichen Energieeffizienz bei. Das best-erreichbare Resultat ergibt sich aus der **Summe und dem optimalen Zusammenspiel** aller möglichen Massnahmen.

Vor allem bei der Instandsetzung bestehender Gebäude bilden die Investitionen in die Gebäudeautomation die **ökonomisch effizienteste Massnahme**. Die damit erreichbare Verbesserung der Energieeffizienz pro eingesetztem Kapital ist bedeutend besser als bei jeder anderen (Gebäudehülle isolieren, Anlagen komplett erneuern).

Bei **SAUTER** erhalten Sie genau die richtige Gebäudeautomation für jede Art von Gebäude. Sei es gross, klein, alt oder neu. Wir beraten Sie gerne!

### Der Autor

**Franklin Linder, El.Ing. FH** ist technischer Redaktor im SAUTER Head Office in Basel. Er verfügt über eine 20 jährige Erfahrung in der Entwicklung, Vermarktung und Anwendung von Gebäudeautomation.

### Firmenportrait

SAUTER sorgt weltweit als führender Lösungsanbieter für Gebäudeautomationstechnologie in "Green Buildings" für gute Klimaverhältnisse und Wohlbefinden in Lebensräumen mit Zukunft. SAUTER entwickelt, produziert und vertreibt als Spezialist Systeme für energieeffiziente Gesamtlösungen und sichert mit umfassenden Dienstleistungen den energieoptimierten Betrieb von Gebäuden. Die Produkte, Lösungen und Dienstleistungen ermöglichen hohe Energieeffizienz während des gesamten Gebäudelebenszyklus von der Planung über die Realisierung bis zum Betrieb in Büro- und Verwaltungsgebäuden, Forschungs- und Bildungsstätten, Krankenhäusern, Industrie- und Laborgebäuden, Flughäfen, Freizeitanlagen, Hotels sowie Data Centers. Mit über 100-jähriger Erfahrung und erprobter Technologiekompetenz ist SAUTER ein ausgewiesener Systemintegrator, der für kontinuierliche Innovation und Schweizer Qualität bürgt. Ausgezeichnet für bestes Automationssystem und beste Dienstleistung/Energy Service sowie eu.bac und BTL Zertifizierung für Produkte verschafft SAUTER Nutzern wie Betreibern die Übersicht über Energieflüsse und -verbrauch und somit auch über die Kostenentwicklung.

<a href="http://www.sauter-controls.com">www.sauter-controls.com</a>	Bedarfsgeregelte Lüftung und Energieeffizienz White Paper, © Fr. Sauter AG, Im Surinam 55, CH-4016 Basel	19
--	---	----

## Index:

12-Punkt-Kalibration.....	9	Plattenwärmetauscher.....	13
Antriebsenergie.....	3, 11	Präsenzerfassung.....	10
Antriebsleistung.....	11	Primärenergiekonsum, Anteil von Gebäuden.....	3
Arbeitsproduktivität.....	6	Radiatoren.....	14
Arbeitszufriedenheit.....	6	Raumfühler.....	8
Aussenluftaufbereitung.....	3	Raumklima.....	5
Bedarfsgeregelte Lüftung, Ziel/Definition.....	3	Raumnutzer.....	5, 6
Bodenheizung.....	14	Raumregler.....	16
CO <sub>2</sub> -Konzentration.....	8	Raumtemperatursensor.....	9, 10
CO <sub>2</sub> -Referenzort.....	9	Raum-Über-/Unterdruck.....	11
CO <sub>2</sub> -Sensor.....	4, 7, 8	Rotationswärmeübertrager.....	13
Druck-/bedarfsgeregelter Luftvolumenstrom.....	18	SAUTER Bibliotheken.....	11
Einsparpotential Großraumbüros, Hörsäle, etc.....	10	SAUTER CASE Suite.....	11
Einzelraum-VAV-Regelungen.....	16, 17	SAUTER CASE VAV.....	18
EN 15232.....	4, 18	SAUTER EGQ222.....	9
Energieeinsparung.....	3, 5, 11, 12, 13, 14, 16, 17, 18	SAUTER EMS.....	12, 18
eu.bac-Systems.....	4, 18	SAUTER Fein-Differenzdruck-Messumf. ECP100.....	17
Formel für die Energieeffizienz.....	5	SAUTER Volumenstromkompaktregler ASV115..	16
Gebäudeklassifizierung.....	4, 18	Schlüsseltechnologien.....	3
Heiz-/ Kühlbalken.....	14	Sensorgenauigkeit.....	9
Heizung / Kühlung lokal.....	14	Stosslüftung.....	10
Intensivlüftung.....	10	Temperaturkompensation.....	9
Kanaldruck.....	16, 17	Toleranzband der Raumtemperatur.....	12, 13, 14
Kanaldruckminimierung.....	17	Umweltbelastung.....	3
Kanaldrucksollwert.....	18	variabel geregelter Kanaldruck.....	17
Kanalfühler.....	8	VAV-Boxen.....	16
Klimawandel.....	3	VAV-Regelungen.....	16
Kostenverhältnisse.....	6	VAV-Regler.....	16, 18
Kühldecke.....	14	Ventilatoren.....	3, 11, 18
Lebensräume mit Zukunft.....	4	Ventilator-Konvektoren.....	14
Leistungsfähigkeit.....	9	Ventilator-Konvektoren mit Aussenluftklappen.....	14
Luftbestandteile.....	9	Vergleichstabelle Energiebedarf.....	15
Luftdichtigkeit von Gebäuden.....	3	VOC-Sensor.....	4, 8
Luftkonditionierung.....	12, 14	Volumenstrom.....	18
Luftmenge.....	10	Volumenstrom-Istwert.....	16
Luftqualität.....	4	Wärmedämmung.....	3
Luftqualitätssensor.....	4, 7	Wärmerückgewinnung.....	13, 14, 19
Lüftung.....	10	Wirkungsgrad WRG (Rückwärmezahl).....	14
minimale Aussenluftmenge.....	10	Zeitprogramm.....	10
Mischgassensor.....	4, 8	Zentrale Luftaufbereitung.....	16, 18
Mischluftklappen.....	10, 11, 12, 13, 14, 15	Zu- / Abluftventilator.....	11
Montageort Sensor.....	9	Zuluft.....	12, 13
partikelbelastete Räume.....	4	Zusammenfassung.....	2