

Energieeinsparungen in RLT-Anlagen durch Volumenstromregelung

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

Hohe Betriebskosten veranlassen Bauherrn, Betreiber und Fachplaner raumlufttechnische Anlagen nach energetischen Aspekten zu sanieren. Der EnEV-Bedarfnachweis fordert von einer neuen RLT-Anlage, dass sie energieeffizienter betrieben werden kann, als eine vergleichbare Referenz-Klimaanlage, die nach dem aktuellen technischen Stand ausgeführt ist. Luftströme werden auf das hygienisch notwendige Minimum reduziert, um den Aufwand für Luftaufbereitung und Transport gering zu halten. Die knappe Auslegung erfordert damit eine genauere Verteilung der Luftströme innerhalb des Gebäudes, um bei einer Unterversorgung lokal schlechte Raumluftqualität, bei zu hohen Volumenströmen Klagen über Zugluft und Strömungsgeräusche vermeiden zu können. Ein System aus Drosselklappen und Reglern kann wesentlich dazu beitragen, den Widerspruch zwischen gutem Komfort und niedrigem Energieverbrauch einer Klimaanlage aufzuheben.

Die Anforderungen an eine energieeffiziente Luftverteilung lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Selbsttätiger Abgleich der Volumenströme, wichtig in einem komplex verzweigten Leitungsnetz
- In den Nutzungseinheiten ausgeglichene Luftbilanz zwischen Zu- und Abluftvolumenströmen, Zuluftüberschuss bei dichten Fassaden nicht mehr erforderlich
- Luftverteilung mit niedrigsten Druckverlusten in den Drosselementen
- Anpassung der Luftströme an die Nutzung der Räume
- Anpassung der Ventilator Drehzahlen an den Luftbedarf des Gebäudes
- Kommunikation ab der Feldebene, bei größeren Gebäuden zu empfehlen

Eine der wichtigsten Nebenbedingung ist ein weitgehend hydraulisch abgeglichenes Luftnetz, in dem Drosselklappen die Luftströme umlenken und bei Teillast eines Stranges die kleiner gewordenen Druckverluste ausgleichen, um einen statischen Druckanstieg zu vermeiden. Das ist energetisch nur vertretbar, wenn die Druckverluste und damit auch die Luftgeschwindigkeiten entlang den Verteilleitungen selbst klein sind. Abbildung 1 zeigt die Zuluftleitungen einer typischen Büro-Klimaanlage mit den empfohlenen Luftgeschwindigkeiten. In diesem Beispiel kann ein externer Druckverlust am RLT-Gerät von 250 Pa erreicht werden. Der SFP-Wert liegt mit $1.180 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{s})$ auch mit einem Wärmerückgewinner der Klasse H1 unter dem EnEV-Wert von $1.800 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{s})$.

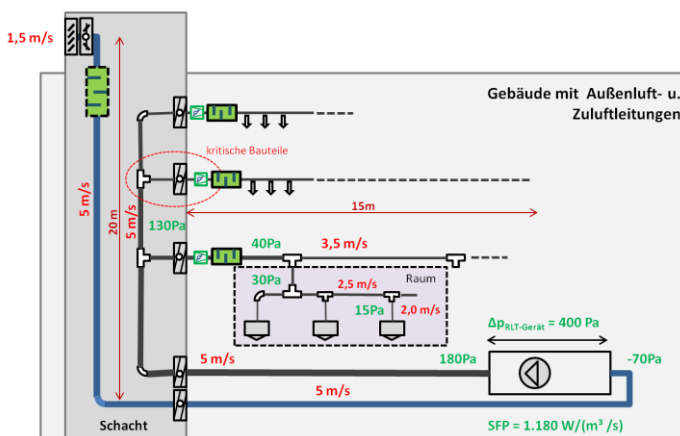


Abb. 1: Zuluftnetz einer Klimaanlage mit empfohlenen Luftgeschwindigkeiten und niedrigen Druckverlusten

Welche Arten von Volumenstromregelungen gibt es?

Prinzipiell unterscheidet man zwischen zwei Verfahren, die Luftströme zu regeln:

1. Volumenstromregelung
2. Druckregelung

Das Messprinzip beider Reglertypen basiert auf einer Differenzdruckmessung. Bei der Volumenstromregelung erzeugt der Volumenstrom einen Druckabfall z.B. über eine Messblende. Ein Druckregler misst direkt die Druckdifferenz zwischen einer Messposition im Kanalnetz und der Umgebung als Referenzstelle.

Bei der Volumenstromregelung wird ein Sollwert eines Volumenstroms durch Drosseln eingestellt. Dieser Sollwert kann von einem externen Temperatur- oder Luftqualitätssensor in einem Raumbediengerät stetig zwischen zwei Grenzen (V_{\min} und V_{\max}) oder durch einen Präsenzschafter in zwei Stufen vorgegeben werden. Das Istwertsignal des Zuluftreglers wird häufig als Sollwert beim Abluftregler aufgeschaltet.

Ein Druckregler kann für eine hier nicht näher beschriebene Raumdruckregelung (z. B. Laboranwendungen) oder Strangdruckregelung eingesetzt werden. Die Unterschiede sind in Abb.2 schematisch dargestellt.

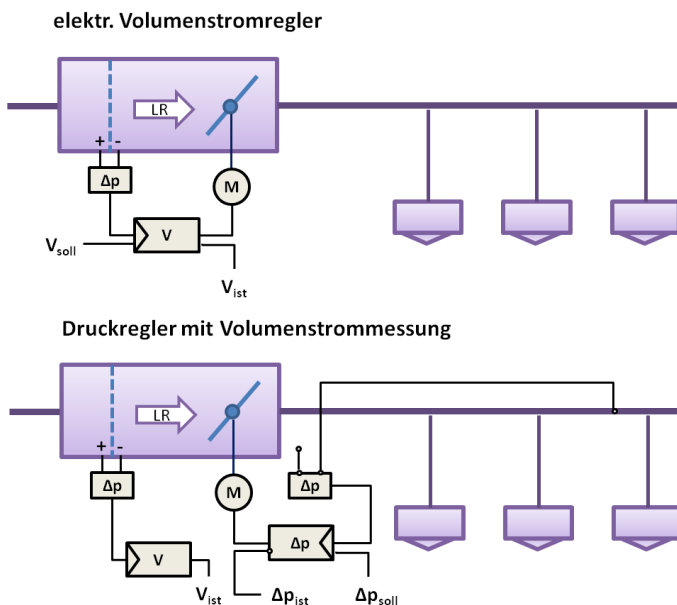


Abb. 1: Unterschiede zwischen Volumenstrom- und Strangdruckregler

Beide Reglertypen sind seitens Gehäuse, Drosselklappe, Wirkdruckelement und Stellantrieb identisch. Der Volumenstromregler verarbeitet die Wirkdruckdifferenz zum Volumenstrom, der Druckregler hält den Leitungsüberdruck gegenüber dem Raumdruck konstant. Beide Systeme regeln den Gesamtvolumenstrom der nachgeschalteten Luftdurchlässe. Wie später in einem Beispiel gezeigt wird, kommt der Druckregler dann zum Einsatz, wenn die „Verbraucher“ unterschiedliche Volumenströme beanspruchen und ein Druckregler mehrere Volumenstromregler ersetzen kann.

Bei beiden Reglertypen haben sich dynamische Druckdifferenzsensoren aufgrund ihres guten Preis-Leistungsverhältnisses durchgesetzt. Das Messprinzip beruht auf einem thermischen Anemometer, bei dem die Abkühlung eines sehr kleinen Luftstroms durch die Wirkdruckdifferenz in eine statische Druckdifferenz umgerechnet wird. Vorteile sind der große Messbereich zwischen 2 und 300Pa, die nicht erforderliche Nullpunkt-Kalibration und die Lageunabhängigkeit. Die Einsatzgrenzen sind durch stark verschmutzte oder chemisch aggressive Luft gegeben.

Neben elektrischen Klappenantrieben kommen pneumatische Regler nur noch bei einer Sanierung zum Einsatz, bei der man das Druckluftnetz behalten möchte. Im Ex-Bereich gibt es keine Alternative zur Pneumatik.

Die Eigenschaften sind in Abb. 3 zusammengestellt.

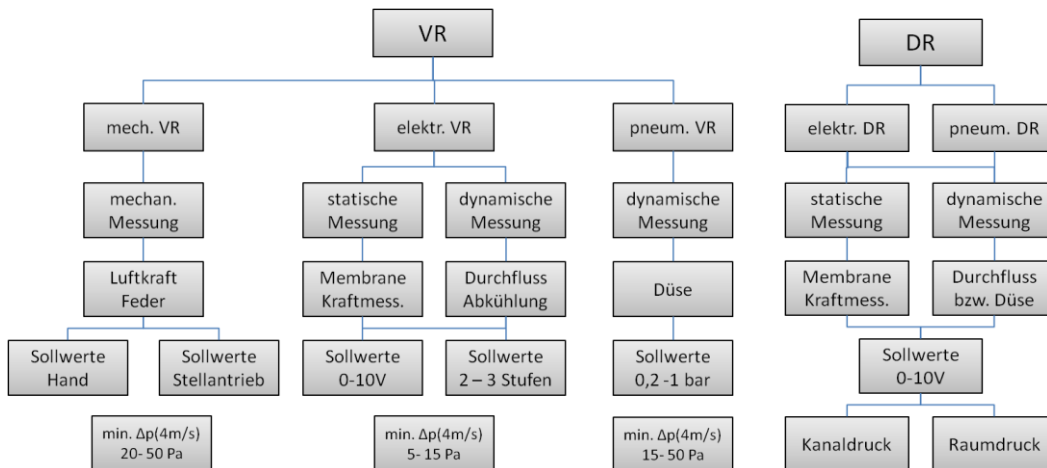


Abb. 2: Übersicht über Bauarten von Volumenstromreglern (VR) und Druckreglern (DR)

Mechanische Regler werden überwiegend in RLT-Anlagen mit konstantem Volumenstrom eingesetzt. Eine Besonderheit sind sogenannte „Volumenstrombegrenzer“, die man in die Luftleitungen kurz vor dem Luftdurchlass einschleibt. Mechanische Regler benötigen einen Mindest-Vordruck, damit die Luftkräfte am Drossel-element die mechanische Reibung überwinden können. Sie weisen im Vergleich zu elektronischen Reglern eine größere Hysterese auf, die eine Regelgenauigkeit von bestenfalls $\pm 10\%$ (bezogen auf V_{Nenn}) erwarten lässt.

Eine neuere Entwicklung bei elektronischen Volumenstromreglern ist die Kennfeldregelung. Bei diesen Vertretern wird die Wirkdruckdifferenz im Bereich des Klappenblatts an einer Stelle gemessen, an der die Druckdifferenzen am höchsten sind. Die Auswertung des Wirkdrucks mit der Winkelposition der Klappe ermöglicht eine genaue Volumenstrombestimmung mit Hilfe eines Kennfelds. Der Regelbereich $V_{\text{max}} / V_{\text{min}}$ kann größer 10 sein und deckt Geschwindigkeiten zwischen 10 und 0,6 m/s ab. In Abb. 4 ist ein Kennfeldregler der Fa. LTG Aktiengesellschaft dargestellt, daneben ein Regelzyklus mit kleinen Druckverlusten über dem Regler zwischen 3 und 10 Pa. Die hohe Ansprechempfindlichkeit des Reglers zeigt, wie genau die neue Generation der dynamischen Druckfühler arbeitet. Dynamische Volumenstromregler lassen sich vor Ort auch zu Druckreglern umprogrammieren.

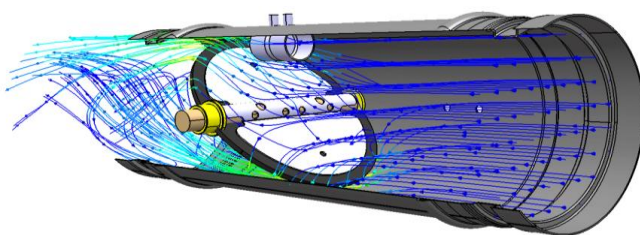
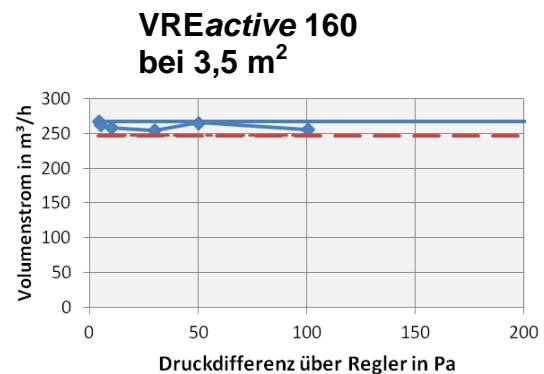


Abb. 3: Kennfeldregler VREactive mit Regelverhalten besonders bei kleinen Vordrücken



Hydraulischer Abgleich von RLT-Anlagen mit konstanten Volumenströmen (CAV)

Obwohl man heute über CAD-Software verfügt, die auch die Druckverluste berechnet, werden Volumenstromregler eingesetzt, um den Aufwand einer Einregulierung gering zu halten. Bei stärker verzweigten Netzen mehrgeschossiger Bürogebäude wird empfohlen, die Volumenströme nach dem Abzweig aus dem Schacht maschinell abzugleichen. Man erhöht die Drehzahl der zentralen Ventilatoren so weit, bis die Volu-

menstromregler genügend Vordruck haben, um regeln zu können. Elektronische Regler werden über die GLT zentral oder mittels interaktiver Bediengeräte dezentral eingestellt und ausgelesen. Sind die Druckverluste in der Verteilung deutlich kleiner als der Enddruckverlust der Luftdurchlässe sind keine weiteren Maßnahmen der Einregulierung erforderlich. Fällt die statische Druckdifferenz in der Verteilung z. B. insgesamt um 20 Pa und benötigt der Luftauslass incl. Abzweig einen Vordruck von 30 Pa ($\zeta=8$), so weichen die Volumenströme der Luftdurchlässe entlang der Hauptleitung um +/- 17% von ihrem Nennvolumenstrom ab. Ein um 17% höherer Volumenstrom erhöht die Schalleistung um $\Delta L = 60 \lg(1,17) = 4\text{dB}$, was bei knapper Auslegung zu akustischen Problemen führen könnte. Bei Induktionsgeräten mit einem Primärdruck von 100 Pa ($\zeta=50$) verringert sich die Toleranz auf +/- 4%.

Wird das Druckgefälle in der Hauptverteilung größer, setzt man bevorzugt preiswertere Volumenstrombegrenzer vor die Luftdurchlässe, um das Netz abzugleichen. Zusammen mit den Druckverlusten von Abzweig und Luftdurchlass können bis zu 100 Pa gedrosselt werden. Das ist akustisch nur zulässig, wenn ein Rohrschalldämpfer vor den Luftdurchlass eingebaut, oder der Luftdurchlass selbst mit Kulissenschalldämpfern ausgekleidet wird. Abb. 5 zeigt einen solchen Luftdurchlass, der sich zum Einbau in Trockenbauwände gut eignet und gleichzeitig den Telefoneschall wirksam unterbindet.

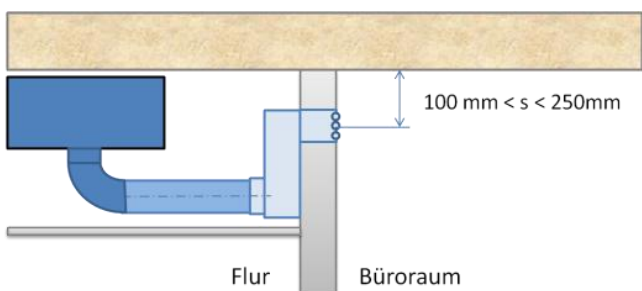
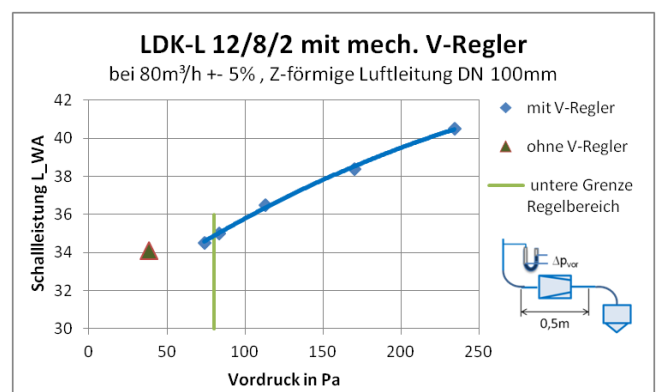


Abb. 4: Einbau eines Volumenstromreglers am Luftdurchlass



Der Regler sollte nicht direkt im Luftanschluss des Luftdurchlasses platziert werden, um überhöhte Schallpegel durch die ungleichmäßige Durchströmung im Luftdurchlass zu vermeiden.

Erfahrungen zeigen, dass die mechanischen Regler vor den Luftdurchlässen zusätzliche vertikale Druckunterschiede über mehrere Stockwerke nicht mehr ausgleichen können. Zusammen mit den Volumenstromreglern am Strang Eintritt entsteht eine Reihenschaltung, die zu massiven Problemen führen kann:

Solange die Summe aller Einzelvolumenströme $\sum V_i$, $LD < V_{\text{soll}}$, VR wird der Gesamtvolumenstrom am Strangregler eingehalten. Einzelne Volumenstrombegrenzer erreichen ihren Sollwert nicht, da der Vordruck zu klein ist. Ist der Soll-Volumenstrom des Strang-Volumenreglers allerdings größer als die Summe der Luftströme der Einzelregler, öffnet er seine Klappe, der Druck im Strang steigt und die mechanischen Regler arbeiten dagegen. Diese „Druckvernichtung“ ist dann in den Räumen akustisch wahrzunehmen.

Eine Strangdruckregelung in der Hauptleitung löst dieses Problem. Die Abluftnachführung (Abb.2 u.7) durch einen zentralen Volumenstromregler ist dann zu empfehlen, wenn man die Abluft raumweise in das Deckenplenum im Flur oder direkt über Überström-Luftdurchlässe in die Innenzonen leitet und von dort absaugt. Diese Schaltung erspart die mechanischen Regler in den Abluftdurchlässen.

Größtes Einsparpotenzial durch bedarfsgeregelte Lüftung

Bei der Bedarfslüftung unterscheidet man drei Betriebsweisen:

- 1.) temperaturgeführte VAV-Anlagen (Variable-Air-Volume) mit 100% Außenluft
- 2.) nach Luftqualität oder Präsenz geführte DCV-Anlage (Demand-Control-Ventilation)
- 3.) Abluft-geführte Zuluftanlagen

Bei allen drei RL-Anlagen wird der hygienisch notwendige Außenluftstrom sichergestellt und ein maximaler Volumenstrom eingehalten.

Die Luftstromanpassung erfolgt:

- stetig zwischen V_{\min} und V_{\max}
- 2-stufig V_{\min} oder V_{\max}
- 2-stufig $V=0$ oder V_{\max} oder an-aus im RLT-Gerät

Als Leitgrößen haben sich bewährt:

- **Raumtemperatur** für Büroanwendungen, Besprechungsräume, Restaurants mit niedrigeren solaren Lasten, d.h. für Räume, in denen Personen die Kühllast bestimmen
- **Raumluftfeuchte** für Wohnungen, die z. B. tagsüber wenig genutzt werden
- **CO₂-Konzentration** für Innenräume mit hoher Personendichte oder für größere Büroflächen, wo die CO₂-Messung in der Abluft als Mittelwert der Belegung ausgewertet werden kann
- **Präsenz** als preiswerte Lösung in kleineren Büroräumen, wo ein Präsenzmelder für Beleuchtung und Lüftung genutzt werden kann
- **Messung / Schaltung Abluftvolumenströme** mit Nachführung der Zuluft bei Abluft über Laborabzüge und Maschinen in Produktionsprozessen

Die Energieeinsparung durch Bedarfslüftung besteht zum einen aus den Einsparungen der Luftaufbereitung für einen im Jahresmittel kleineren Außenluftstrom und der kleineren Ventilatorarbeit (Antriebsleistung x Betriebszeit in kWh/a). Der größere Anteil, auch in Bezug auf die Betriebskosten, ist der Energieaufwand für den Lufttransport. Energetisch optimal ist eine dezentrale RLT-Lösung, bei der ein Lüftungsgerät einen Raum versorgt (z.B. Konferenzraum oder Büro mit Fassadenlüftungsgerät). Die elektrische Anschlussleistung ist proportional der Ventilatorleistung n^3 , wie in Abb. 6 links dargestellt. Bei RLT-Anlagen mit einer Druckregelung am RLT-Gerät und Volumenstromreglern im Leitungsnetz kann man die Druckverluste in einen variablen und konstanten Anteil aufteilen (Druckverhältnis $f_p = \Delta p_{\text{konst}} / \Delta p_{100\%}$). Der konstante Anteil begrenzt die Druckverlustabnahme bei kleinerem Volumenstrom auf einen Anteil, den die Drosselklappen für die Luftverteilung erzeugen müssen. Je höher f_p ist, um so kleiner fällt die Energieeinsparung aus (s. Abb. 6 rechts).

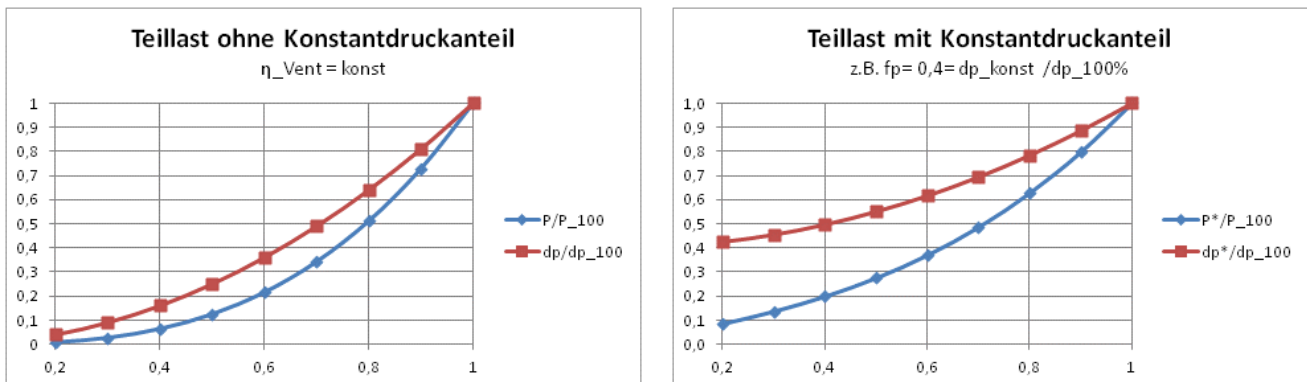


Abb. 6: Ventilatorleistung und Druckerhöhung beim Teillastvolumenstrom ohne und mit Konstantdruckanteil

Der Energiebedarfsnachweis für die Bedarfslüftung ist in der DIN V 18599 dokumentiert und in der Energieeinsparverordnung als Referenz festgelegt. Das folgende Beispiel einer DCV-Anlage zeigt Induktionsgeräte, deren Primärvolumenstrom über einen Stellantrieb variiert wird. Den Primärdruck hält ein Druckregler konstant, die Abluft wird mit dem Istwert der Volumenstrommessung im Druckregler nachgeführt.

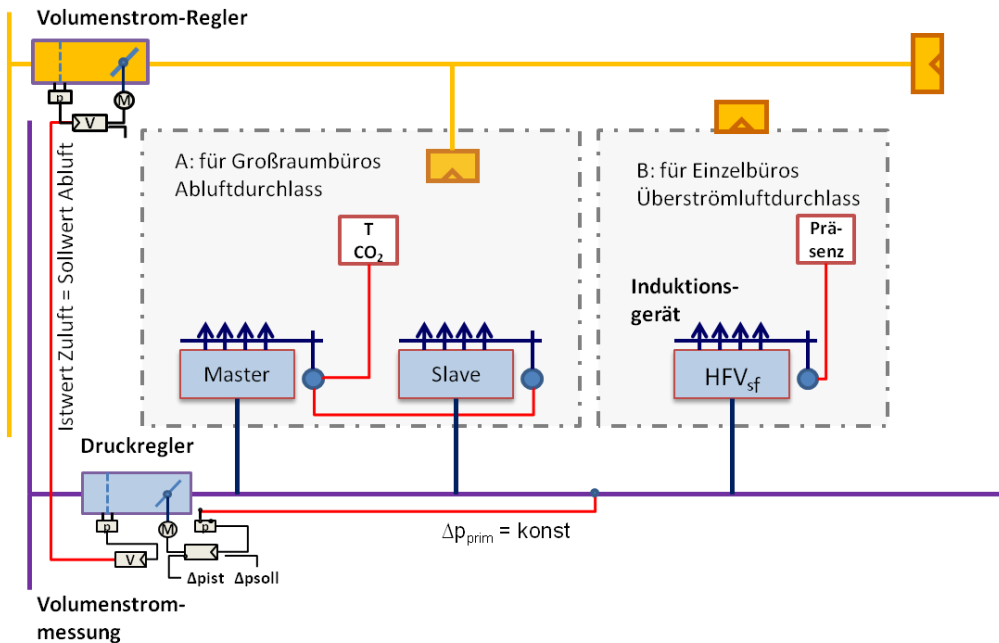


Abb.7: DCV-System mit Induktionsgeräten mit Abluft über die Innenzonen

Für eine geplante Sanierung einer Induktionsanlage wurden durch Umstellung auf Bedarfslüftung und Nachrüstung einer Wärmerückgewinnung eine 50%-ige Einsparung von Ventilatorstrom durch niedrigeren Primärdruck und kleinere Volumenströme sowie eine Einsparung von 70% beim Lüftungswärmebedarf (Wärmerückgewinnung und kleinere Luftströme) berechnet.

Abb. 8 zeigt, dass man den Sollwert des Druckreglers am Zuluftventilator so lange nach unten verschieben kann, bis die erste Klappe die 90%-Offenstellung erreicht hat. Bei den heutigen Reglern ist der Busanschluss und die Ausgabe der Klappenstellung Standard. Bis zu 8 Regler können mit einer Busleitung verbunden werden.

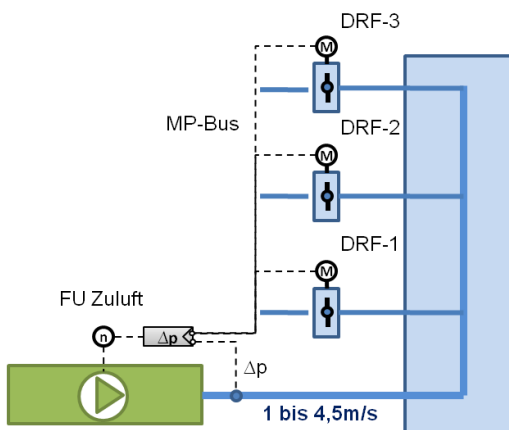


Abb. 8: Beispiel einer Schlechtpunktregelung

Hinweise zur Vermeidung bzw. Beseitigung von Problemen bei Volumenstromregelungen

Wenn Kunden die Funktion eines Volumenstromreglers reklamieren, ist in mehr als 80% der Fällen der Druckabfall im Regler zu niedrig. Der Sollvolumenstrom wird bei voll geöffneter Klappe nicht erreicht. Die Hersteller geben Mindest-Druckdifferenzen für alle Baugrößen und bestimmte Luftmengen vor. Diese Drücke lassen sich die geforderten Sollluftmengen quadratisch umrechnen. Ursache zu niedriger Differenzdrücke sind meistens zu hohe Druckverluste durch Fehler in Planung oder Montage. Eine Drehzahlerhöhung am Ventilator kann durch zu kleine Motorleistung oder Drosselgeräusche an anderen Stellen in der Anlage eingeschränkt sein (vergl. 1. Kapitel).



Abb. 9: Einbaufehler eines Volumenstromreglers

Durch die hydraulische Mittelung des Wirkdrucks arbeiten Volumenstromregler auch bei verzerrten Strömungsprofilen noch mit ausreichender Genauigkeit ($\pm 10\%$ vom Nennvolumenstrom). Das Messverfahren versagt, wenn die Strömung im Messquerschnitt abgelöst ist und lokale Zonen mit Rückströmung vorliegen. Das geschieht vor allem in einem scharfkantigen Abzweig einer Rechteckleitung, vor allem, wenn der Abzweig in der Ebene der größeren Kantenlänge liegt. Abhilfe schaffen Leitschaukeln oder eine Anströmstrecke bis zu einem hydraulischen Durchmesser. Abb.8 zeigt, dass man auch sehr einfach Fehler vermeiden kann, wenn man die dargestellte Querschnittsverengung nach unten in Richtung des Deckendurchbruchs verlegt und dadurch eine Anströmstrecke schafft.

Zusammenfassung

Die heute knapp bemessenen Luftmengen sowie die in der GLT geschaffenen Möglichkeiten, Luftvolumenströme auszulesen und deren Verteilung zu kontrollieren zwingen Fachplaner und ausführende Unternehmen, die Lufthydraulik fachgerecht auszulegen und umzusetzen. Volumenstromregler können keine hydraulischen Schwachstellen beseitigen, bestenfalls auf andere Problemstellen verschieben. Häufig geht man bereits bei der Planung Kompromisse ein, wenn man den notwendigen Einbauraum für die Gebäudetechnik nicht durchsetzen kann. Auch bei der Ausführung werden Kompromisse bei der Leitungsführung unterschätzt, wenn Hindernisse umgangen werden müssen.

Das größte Energieeinsparpotenzial bietet die Bedarfslüftung. Die Anforderungen an die Qualität der Luftverteilung steigen und der Eingriff der Nutzer in die Hydraulik muss berücksichtigt werden. Gefragt sind möglichst einfache, technisch robuste, leicht bedienbare DCV-Systeme mit einem Minimum an Datenpunkten. Der Weg führt über ein hydraulisch abgeglichenes Leitungsnetz zum Einsatz von Druck- und Volumenstromreglern. Bei einer Vernetzung der zentralen Drosselklappen kann der Ventilatorruck soweit reduziert werden, dass jeder Regler seinen Sollwert beim niedrigsten Energiebedarf erreichen kann.