

Messtechnik

Anforderungen und resultierende Konsequenzen im Anlagebau (Praktische Umsetzung)

Arnold Brunner, dipl.-Ing SIA, Brunner Haustechnik AG, CH-8304 Wallisellen-Zürich

10. August 2001

Einleitung

Die spezifische Problematik der Druckregulierung und deren Störgrössenminimierung sowie eine neue Methode der Feuchtigkeitsbehandlung für die Aussenluftaufbereitung werden vorgestellt. Im Vortrag soll nun versucht werden, auf jene Aspekte der Druckstufung und Feuchtere-gulierung hinzuweisen, die als Randbedingungen bei der Festlegung verschiedener Reinraum-Komponenten sowie bei deren Anordnung zu beachten sind.

Druckregulierung

In praktisch allen Reinraum-Systemen ist die Druckstufung, bzw. die Schutzdruckhaltung ein wesentlicher Teil des Schutzkonzeptes. Ihre Notwendigkeit ist unbestritten, denn sie garantiert den Schutz der Personen, des Produktes und der Umwelt. Zu Diskussionen Anlass gibt immer wieder die notwendige Druckdifferenz. Auch die neue ISO 14644-4 macht in diesem Punkt keine eindeutige Aussage, empfiehlt jedoch prinzipiell zwei Konzepte:

- "kleiner Differenzdruck, hoher Luftvolumenstrom" d.h. eine turbulenzarme, gerichtete Luftströmung von $> 0,2$ m/s oder klassisch
- "grosser Differenzdruck, kleiner Luftvolumenstrom" mit einem Differenzdruck von 5 - 20 Pa.

Oft werden jedoch bestimmende Parameter wie Winddruck, Gebäude- und Reinraumdichtheit sowie interne Verbindungen wie Lifte, Treppenhäuser und Schächte mit ihren thermischen Auswirkungen, aber auch Kanalverbindungen selbst, zu wenig beachtet. Sowohl die Dichtheit von Räumen und deren Prüfung, als auch deren Umgebungsbedingungen werden in den einschlägigen Normen und Richtlinien nur rudimentär oder gar nicht erwähnt.

Das geschlossene Drucksystem

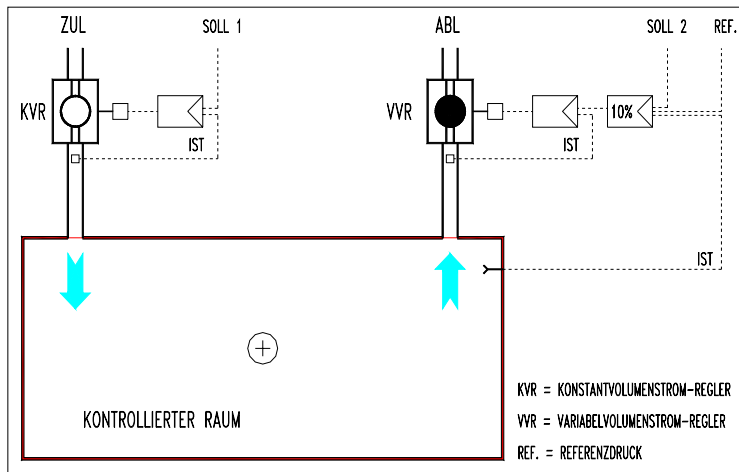


Bild 1: Prinzip-Darstellung eines geschlossenen Drucksystems (statische Schutzdruckhaltung)

Das geschlossene (statische) Drucksystem zeichnet sich dadurch aus, dass keine oder nur geringe Luftvolumenströme über die Systemgrenze hinweg ausgetauscht werden. Also: ein "dichtes" System - ein geschlossener Raum. Ein solcher Raum wird in Abhängigkeit zum Atmosphärendruck oder zu einem gewählten Referenzdruck druckreguliert.

Um zu verdeutlichen, wie hoch bei diesem System die Ansprüche an die Druckregulierung sind, ein kurzes Rechenbeispiel:

Raumvolumen	200 m ³	Luftwechselrate	≥ 10 h ⁻¹
Unterdruck (zur Umgebung)	- 20 Pa	Zuluftvolumenstrom (konstant)	2'000 m ³ /h
Druckschwankung zulässig	± 2 Pa	Abluftvolumenstrom (druckreg.)	2'000 m ³ /h

Was bedeuten nun diese Angaben für die Druckregulierung und deren Genauigkeit? Welche Volumenstromschwankungen sind bei den tolerierten Druckschwankungen zulässig?

$$dV = 200 * 2 * (100'000 - 20)^{-1} \quad [\text{m}^3 * \text{Pa} * \text{Pa}^{-1}] \quad \mathbf{0,004 \text{ m}^3}$$

0,004 m³ oder 4 Liter Luft in einen Raum von 200 m³ Inhalt, erzeugen eine Druckerhöhung von 2 Pa. Davon ausgehend, dass die Zuluft auch wirklich konstant ist, strömen die errechneten 0,004 m³ bei einer Abluftvolumenstrom-Sollwertabweichung von 1% in weniger als einer Sekunde (0,004 m³ / 0,0056 m³/s) in den Raum ein, bzw. sind in dieser Zeit auszuregulieren. Wenn auch noch andere Störgrößen (Sollwert-Abweichungen bei Zuluftregulierung, Türöffnungen, Winddruck, etc.) miteinbezogen werden, kann abgeschätzt werden, wie hoch die Ansprüche sind, die an eine Druckregulierung für ein geschlossenes System gestellt werden.

Das offene Drucksystem

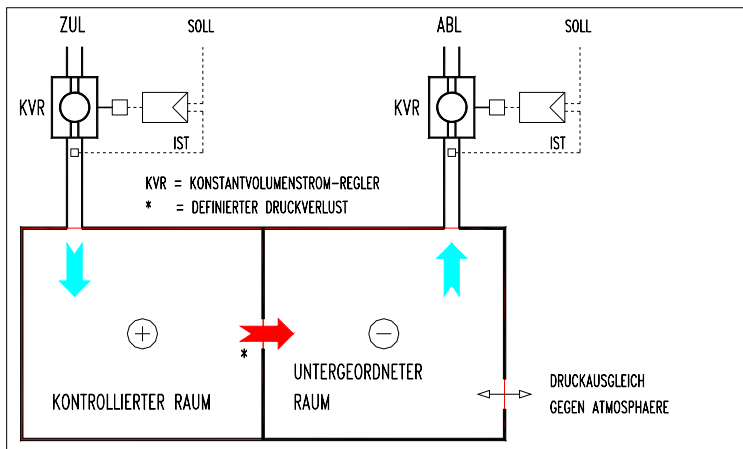


Bild 2: Prinzip-Darstellung eines offenen Drucksystems (dynamische Schutzdruckhaltung)

Beim offenen (dynamischen) Drucksystem wird - im Gegensatz zum geschlossenen - davon ausgegangen, dass willentlich größere Luftvolumenströme über die Raumgrenzen hinweg ausgetauscht werden. Das offene Drucksystem umfasst somit immer mehrere Räume. Durch die Überströmung von einem Raum in den anderen wird innerhalb der

bewusst eingeplanten Überström-Öffnungen dem Luftstrom ein Widerstand entgegengesetzt und somit eine Druckdifferenz zwischen den hydraulisch verbundenen Räumen aufgebaut. Diese Druckdifferenz wird nun gezielt für die Schutzdruckhaltung eingesetzt.

Wesentlich für dieses System ist also, dass zwischen dem Zuluft-Auslass und dem Abluft-Durchlass ein definierter Druckverlust eingeplant wird. Die Druckstufung ist somit von zwei Parametern abhängig:

- vom überströmten Luftvolumenstrom bzw. von der Strömungsgeschwindigkeit in der Überström-Öffnung und
- von der Konstruktion (Ausbildung) der Überström-Öffnung (Widerstandbeiwert Zeta).

Der Differenzdruck ist kausal mit der Luftförderung verknüpft. Wird der Luftvolumenstrom - z.B. in den Nachtstunden - reduziert, sinkt der Differenzdruck im Quadrat zur Volumenstromreduktion. Für viele Anwendungen ist dieser Umstand durchaus tolerierbar. Zu beachten sind jedoch die Undichtheiten der Gebäudehülle in Verbindung mit Windlasten (Differenzdrücke in der Gebäudeumgebung). Da bei einem Ausfall der RLT-Anlage kein Differenzdruck aufrechterhalten werden kann, eignet sich dieses System der Druckhaltung bezüglich Sicherheit nur bedingt für hohe Ansprüche, d.h. die entsprechenden Luftförderanlagen müssten bei Bedarf redundant ausgeführt werden.

Das gemischte Drucksystem

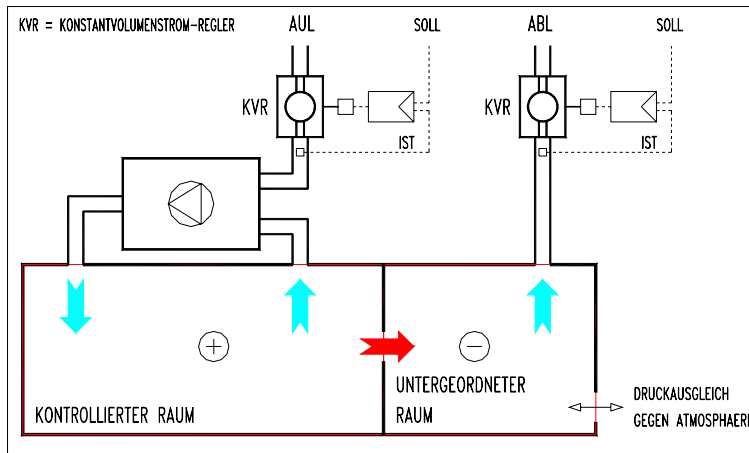


Bild 3: Prinzip-Darstellung eines offenen Drucksystems mit Teilluftvolumenstrom-Regulierung

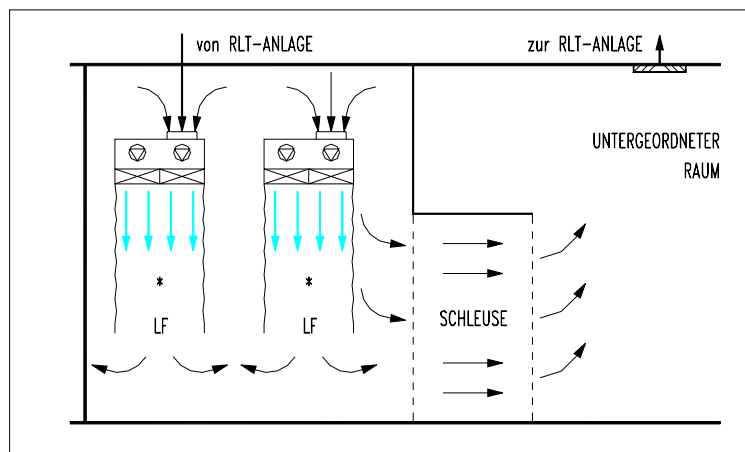


Bild 4: Prinzip-Darstellung eines offenen Drucksystems in Kombination mit Verdrängungsströmung (LF)

ausgeglichen. Wird diese Massnahme (Druckausgleich) nicht realisiert, können die Raumdrücke nicht garantiert werden.

Häufig wird jedoch auch beim offenen System für den kontrollierten Bereich eine definierte Druckdifferenz zur Umgebung verlangt. Um die beim geschlossenen System dargelegten Schwierigkeiten (aufwendige Regulierung) zu mildern und ein gegenüber Störgrössen verträgliches Drucksystem zu erreichen, wird nur der Teilluftvolumenstrom reguliert. Diese Variante bietet den Vorteil, dass für das regulierte Volumen relativ grosse Veränderungen zulässig sind, d.h. eine Sollwert-Abweichung im Teilluftvolumenstrom wirkt sich im kontrollierten Raum nur noch wenig aus (im Verhältnis Teil- zu Gesamtluftvolumenstrom -> negative Verstärkung).

Nochmals ein kurzes Rechenbeispiel:

In der Praxis wird das offene Drucksystem eher selten in der dargestellten klassischen Version ausgeführt. Oft sind die Luftvolumenströme, die über die Raumgrenzen ausgetauscht werden, lediglich Teilluftvolumenströme, d.h. dem kontrollierten Bereich wird ein Teil der Zuluft als Umluft entnommen und der andere Teil (z.B. Aussenluftanteil) wird in einen untergeordneten Raum (z.B. Schleuse) überströmt und dort als Abluft entnommen. Bei diesem dynamischen Konzept werden konstante Volumenströme gefahren, d.h. es ist keine wirkliche Druckregulierung realisiert. Die Regelabweichungen der Volumenstromregler werden im "untergeordneten Raum" durch eine definierte Leckage zur Aussenluft

Der Referenzdruck

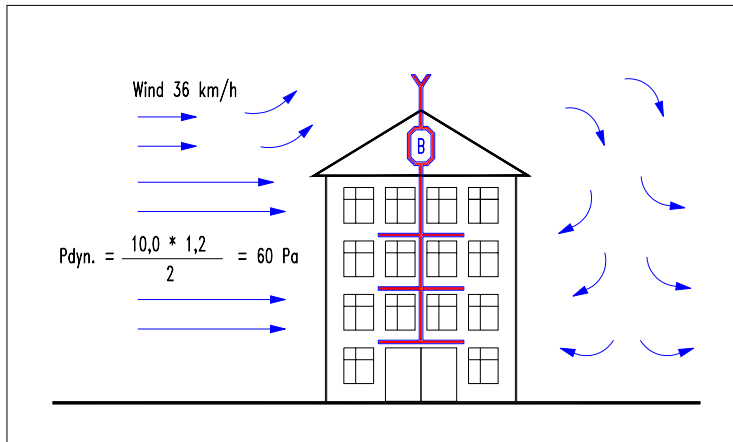


Bild 7: Prinzip-Darstellung der Referenzdruckquelle mit Dämpfungsbehälter und Referenzdruckleitung

Für die Stabilität der Druckregulierung ist die Anordnung der Entnahmestelle (Referenzdruckquelle) des Atmosphärendruckes von entscheidender Bedeutung. Wird dieser an einer Fassade oder in einem mit einer Fassade korrespondierenden Raum gemessen, werden die atmosphärischen Druckschwankungen über die Regulierung bis in die innersten

Räume übertragen. Am schlimmsten wirken sie sich jedoch an der der Messstelle abgewandten Seite aus. Damit diese windbedingten Schwankungen auf ein Minimum reduziert werden können, empfiehlt es sich, die Messstelle auf dem höchsten Punkt oder im höchstgelegenen Raum des Gebäudes anzuordnen und wenn notwendig eine Dämpfung in die Messleitung einzubauen. Aus regeltechnischen Gründen soll der Referenzort nie von einem volumenstrom- oder druckregulierten Raum bezogen werden.

Die Druckstufungen geben immer wieder zu Diskussionen Anlass. Es wird vielfach eine Stufung von 10-20 Pa als ideal empfohlen. Damit sollen unangenehme Erscheinungen, wie z.B. Pfeiffgeräusche, Druck auf Türen etc., möglichst vermieden werden. Diese Empfehlung ist von Fall zu Fall kritisch zu hinterfragen. Winddruck auf Gebäudefassaden oder thermische Auftriebskräfte (Liftschächte, Treppenhäuser etc.) können einen wesentlichen Einfluss auf die Drücke im Gebäudeinneren ausüben.

Annahme: Windgeschwindigkeit = 36 km/h => 10,0 m/s

Resultierende atmosphärische Druckschwankungen:

$$P_{\text{dyn.}} = 10,0 * 1,2 * 2^{-1} [\text{m}^2\text{s}^{-2} * \text{kgm}^{-3} = \text{Nm}^{-2}] = 60 \text{ Pa}$$

Bereits bei Windgeschwindigkeiten von 36 km/h können also Druckschwankungen von mehr als 50 Pa an Gebäudefassaden entstehen. Dies bedeutet, dass Unterdrücke von lediglich -10 bis -20 Pa bei undichten Fassaden ungenügend sind, es sei denn, ein druckregulierter Pufferraum mit einer leistungsfähigen Volumenstromregulierung wird zwischen die Fassade und den Reinraum gestellt.