

LUFT-REGELKLAPPEN

Bei Luftklappen wird, pauschal gesprochen, zwischen Drossel- und Regelklappen unterschieden. Drosselklappen werden, wie ihr Name schon aussagt, zur groben Drosselung von gasförmigen Volumenströmen eingesetzt und werden häufig, wenn sie erst einmal auf einer bestimmten Einstellung fixiert sind, über einen längeren Zeitraum in eben dieser Einstellung belassen. Wesentliche Anforderungen, außer einer der Luftströmung entsprechenden mechanischen Festigkeit und einer Korrosionsbeständigkeit sind meistens nicht gegeben.

Im Gegensatz dazu sind zumindestens vom Ansatz her gesehen, die Anforderung an eine Regelklappe wesentlich größer. Die Regelungstechnik in HKL-Anlagen hat gerade in den letzten Jahren eine sehr stürmische Entwicklung erfahren. Die pneumatische Regelung wurde wesentlich verbessert und die Entwicklung von der analogen elektrischen Regelung hin zur digitalen 4-bit, 8-bit und 16-bit Technologie vollzog sich in Windeseile und ist längst noch nicht abgeschlossen. Auch in der Sensortechnologie wurden entscheidende Fortschritte gemacht, so daß man nun in der Lage ist, Meßwerte sehr exakt, bis auf die x-te Stelle hinter dem Komma zu erfassen, entsprechend den vorgegebenen Algorithmen im Regler zu verarbeiten und zum Beispiel als äußerst präzisen Stellbefehl an ein Stellglied weiterzuleiten.

Doch genau hier, beim Stellglied, endet häufig die Qualität des Regelkreises. Dies gilt insbesondere für Luft-Regelklappen, die vielfach als ein Stiefkind in der Regelungstechnik betrachtet werden, denn ihr eigentlicher Ursprung liegt im reinen Lüftungsbau. Luftströme, als Zuluft, Umluft oder Fortluft wurden mit konstantem Volumen gefahren, bzw. bestenfalls über manuelle Stufenschaltung des Ventilators variiert. Die Ausführung der Luftklappen war und ist teilweise heute noch entsprechend.

Im Zeitalter des gehobenen Komforts, der gestiegenen Energiekosten und des wachsenden Umweltbewußtseins sollte man sich jedoch mehr und mehr darüber bewußt werden, daß eine Luft-Regelklappe ein echtes Stellglied in einem Regelkreis darstellt, das letztlich wie das schwächste Glied in einer

Dr. Hans Amediek, Bochum

Der Bericht liefert eine genaue Analyse der Charakteristiken von Luft-Regelklappen und stellt ein Berechnungsmodell zur Kostenminimierung vor.

- Geräuschentwicklung
- Wartungsfreiheit
- Einsatzbedingungen
- Hygiene

Obwohl die Kriterien als Einzelpunkte aufgeführt sind, so sind sie doch kreuz und quer miteinander verknüpft und es soll im folgenden versucht werden, an Hand der obigen Merkmale einige am Markt befindlichen Klappenkonstruktionen zu beschreiben und deren Vor- und Nachteile gegeneinander zu vergleichen.

Regelcharakteristik

Grundvoraussetzung für den Einsatz einer Luftklappe als Regelklappe ist das Vorhandensein einer definierten Kennlinie, häufig ist eine gleichprozentige Kennlinie (Bild 1) erwünscht. Nur eine entsprechende konstruktive Gestaltung der Luftklappe bedingt eine solche Kennlinie und ihr wirkliches Vorhandensein sollte durch Messungen abgesichert werden (Bild 2). Bei manchen älteren Konstruktionen ist dies jedoch nicht der Fall, sondern man geht lediglich von der ungesicherten Annahme einer solchen Kennlinie aus, wobei dann die Resultate der Regelung dementsprechend sein dürften.

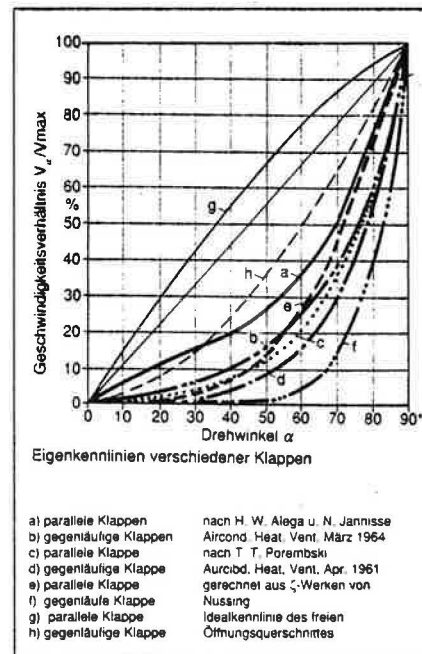


Bild 1: Idealkennlinie des freien Öffnungsquerschnitts

Kette, die Qualität des gesamten Luft-Regelkreises entscheidend mitbeeinflusst. Bei Erkenntnis dieser Tatsache stellt sich dann die Frage, welche Anforderungen im einzelnen denn nun an das Stellglied im Luft-Regelkreis zu richten sind. Ohne Anspruch auf Vollständigkeit seien hier nur die wichtigsten Kriterien angeführt, wobei auch wegen der verschiedenartigsten Anwendungsfälle nicht immer alle gleichzeitig von Bedeutung sind:

- Regelcharakteristik
- Hystereseverhalten
- Luftdichtigkeit, falls auch als Absperrklappe verwendet

Hystereseverhalten

Darüberhinaus beeinflusst auch das Hystereseverhalten im Hinblick auf die Kräfte beim Öffnungs- und Schließvorgang die Qualität der Regelung. Art und Material der Lager der einzelnen Klappenblätter, die Verbindungstechnik der einzelnen Klappenblätter untereinander und ggf. die Ausführung der seitlichen Abdichtung bei luftdichten Klappen haben einen erheblichen Einfluß auf das aufzubringende Drehmoment für die Betätigung der Luftklappen. Gerade bei großen Klappenabmessungen, in der Größenordnung 2.000 mm x 2.000 mm, wobei mehrere Klappen manchmal auch noch zu Verbänden zusammengefaßt werden, treten aufgrund von Schwergängigkeit größere Hysteresen auf, die sich negativ auf das Regelverhalten auswirken.

Als Lagermaterialien können heute bis zu einer Dauereinsatztemperatur von 220° C Kunststoffe eingesetzt werden, die leichtgängig, selbstschmierend und völlig wartungsfrei sind.

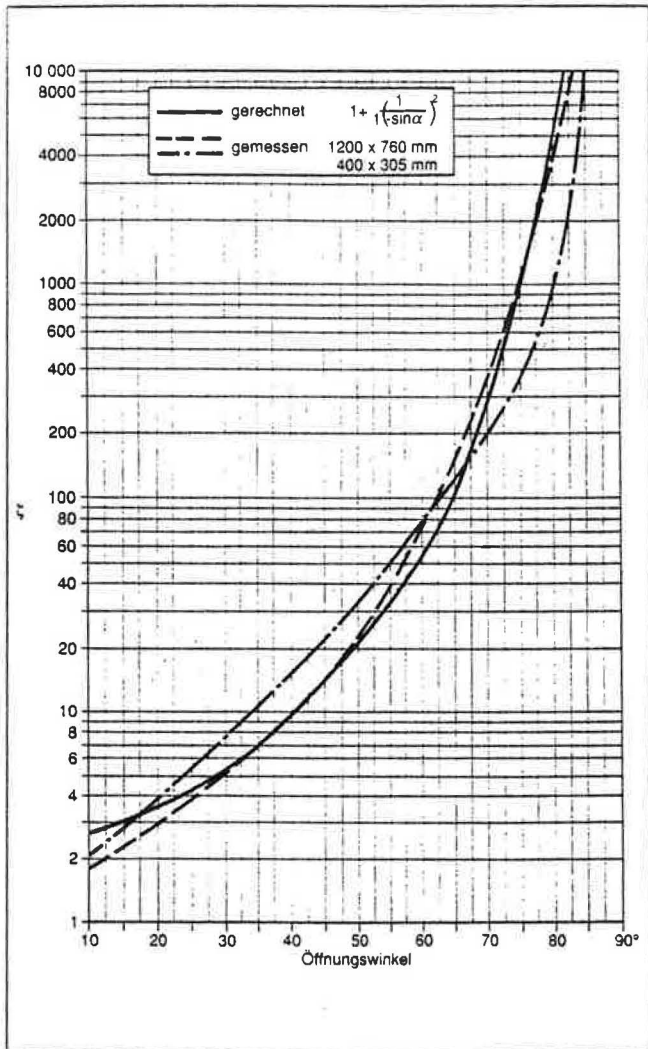


Bild 2: Charakteristik von Luftklappen luftdicht nach DIN 1946 Teil 4

Dies sind die sogenannten Liquid-Crystal-Polymers (LCP), die den Temperaturbereich oberhalb von 95 °C, bis zu dem normalerweise Polyamide eingesetzt werden, problemlos abdecken. Die Verwendung von ölgetränkter Sinterbronze, die manchmal wegen austretenden Öles nicht den hygienischen Bedingungen entsprechend ist, kann somit entfallen.

Bei der Verbindungstechnik der Klappenblätter untereinander unterscheidet man zwischen innenliegenden »Zahnradern« und außenliegendem Gestänge (einseitig und beidseitig). Innenliegende Zahnräder bewirken zwangsläufig den erwünschten Synchronlauf der einzelnen Klappenblätter, bergen aber vor allen Dingen nach längerer Betriebsdauer die Gefahr der Verschmutzung der Zahnräder in sich. Dies kann zu Schwergängigkeit oder sogar zur Blockade der gesamten Klappe, bzw. zum Ausbrechen einzelner Zähne führen und somit die Funktionsfähigkeit der Regelklappe erheblich beeinflussen.

Außenliegende Gestänge, zumal wenn sie bei größeren Abmessungen beidseitig gegenläufig angebracht sind, bieten hier größere Sicherheit in Bezug auf Fehlfunktion und Hystereseverhalten (Bild 3, 3 a, 3 b).

Häufig werden Regelklappen auch als Absperrklappen mit definierter Leckrate nach DIN 1946 Teil 4 eingesetzt.

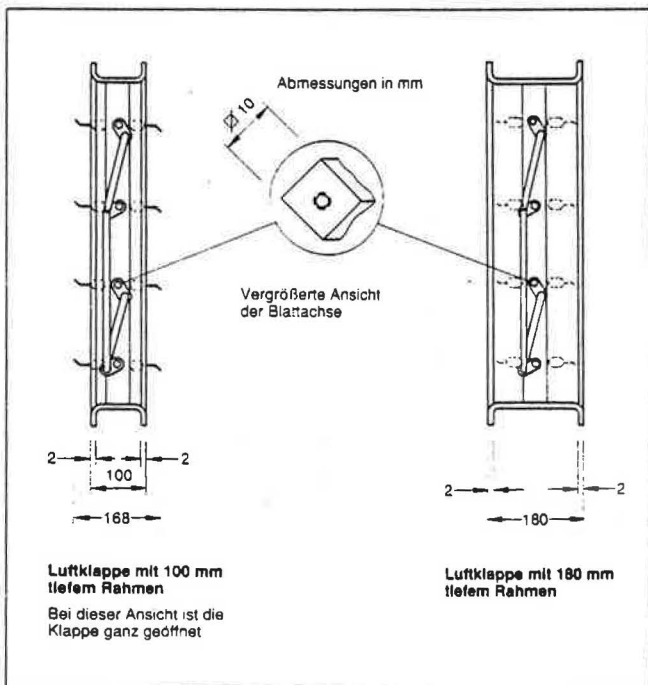


Bild 3 Verbindung von Klappen mittels eines außenangebrachten Gestänges

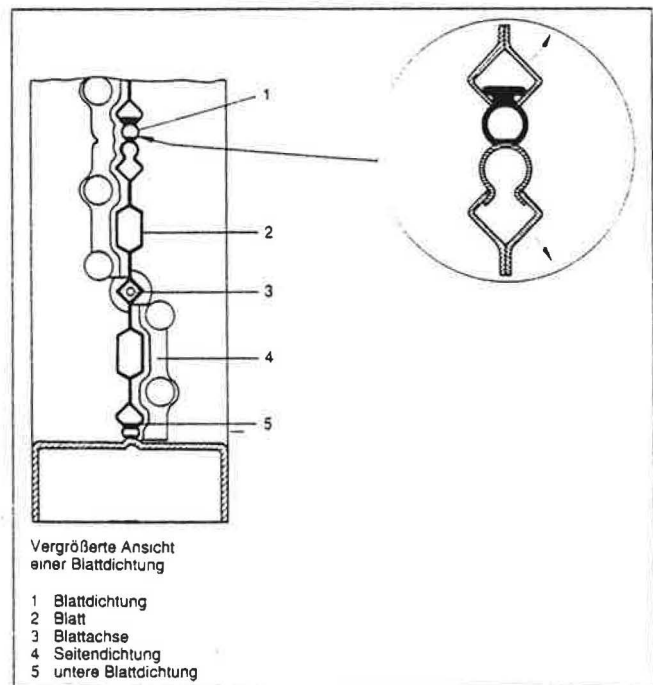
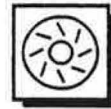


Bild 4: Abdichtung bei einer Klappendichtung



Die Technik der Abdichtung der einzelnen Klappenblätter gegeneinander und gegen den Rahmen bestimmt zum einen die Luftdichtigkeit, aber auch über die Leichtgängigkeit und somit das Hysterieverhalten die Regeleigenschaft der Luftklappe.

Luftdichtigkeit

Die Technik der Abdichtung der Klappenblätter gegeneinander weist nur geringe Ausführungsunterschiede auf; es legt sich immer ein Profilgummi eines Klappenblattes an das äquivalente Metall- oder Gummiteil des benachbarten Klappenblattes dicht an. Es bestimmt also nur die Art der Profilierung des Klappenblattes und damit die Widerstandsfähigkeit gegen Durchbiegung die Dichtigkeit bei größeren Druckdifferenzen (Bild 4). Um den Unterschieden in der Profilierung Rechnung zu tragen, geben die Hersteller verschiedene Δp -Werte für die jeweiligen Klappenbreiten (= Klappenblattlängen) an. Hingegen gibt es zwei stark unterschiedliche Prinzipien der Abdichtung der Klappenblätter gegen den Rahmen. Auf der einen Seite ist dies eine am Klappenblatt, bzw. am innenliegenden Zahnrad befestigte Filzdichtung, die »schleifend« am Rahmen abdichtet, zum anderen ist dies die am Rahmen befestigte Lippendichtung, in die das Klappenblatt nur während des Schließvorganges läuft. Die Filzdichtung weist

verschiedene Nachteile auf. Jede Bewegung des Klappenblattes während der Regelvorgänge muß von der Filzdichtung ausgeführt werden. Da nur ein gewisser Anpreßdruck gegen den Rahmen die geforderte Luftdichtigkeit gewährleistet, sind höhere Reibungswerte und Abrieb des Dichtungsmaterials unumgänglich. Verschiedene Hersteller fügen zwischen Rahmen und Filzdichtung noch eine Kunststoffscheibe hinzu, um Reibung und Abrieb zu mindern, jedoch bewirkt dieses lediglich eine quantitative Verbesserung. Zusätzlich können gerade die Filzdichtungen Ursprungsstellen für Hygiene-probleme in Lüftungsanlagen sein, da sie unter bestimmten Voraussetzungen ideale Brutstätten für vielerlei Erreger sind. Im Gegensatz dazu ist die seitliche Lippendichtung aus EPDM (Bild 4b) oder Silikon kein geeigneter Ausgangspunkt zur Anreicherung mit derartigen Keimen. Vor allen Dingen bietet sie technische Vorteile im Bezug auf das Regelverhalten. Da nur beim vollständigen Schließen der Luftklappe die einzelnen Blätter Kontakt mit den Lippendichtungen haben, tritt während des Regelvorganges keine zusätzliche Reibung auf und die erforderlichen Drehmomente liegen niedriger. Zum anderen legt sich beim Schließvorgang das Klappenblatt lediglich an die Lippendichtung an, so daß so gut wie kein Abrieb an der Dichtung auftreten wird.

Dies hat zur Folge, daß mit größter Sicherheit die ursprünglich vorhandene Luftdichtigkeit der Klappe auch noch nach einem längeren Zeitraum gegeben sein wird, im Gegensatz zu den Luftklappen mit sich abreibender Filzdichtung.

Der schleichende Verlust der Luftdichtigkeit darf nicht nur als Schönheitsfehler gesehen werden, sondern ist auch von großer wirtschaftlicher Bedeutung. Werden, vor allen Dingen im Winter, ungewollt, bedingt durch Undichtigkeit, wesentlich kältere Luftströme ständig aus der Außenluft eingebracht, so sind diese entsprechend aufzuheizen. Man kann sich leicht ausrechnen, welche zusätzlichen Energien aufgewendet werden müssen, um z.B. zusätzlich die ungewollte Leckluft von + 5 °C auf + 16 °C zu erwärmen.

Für ein volles Jahr gerechnet, ergibt sich auf der Basis des in der Anlage gerechneten Beispiels ein Mehraufwand von DM 70,- pro m² Klappenfläche.

Über einen längeren Zeitraum gesehen rechtfertigt dies oft nicht den Einsatz einer wegen ihrer einfacheren Konstruktion vielleicht preisgünstigeren Luftklappe. Darüberhinaus lassen bei der Planung nicht bedachte Undichtigkeiten bei den Außenluftklappen auch häufig in strengen Wintern die Frostschutzwächter unregelmäßig ansprechen, so daß speziell nachts Noteinsätze notwendig werden oder sogar mög-

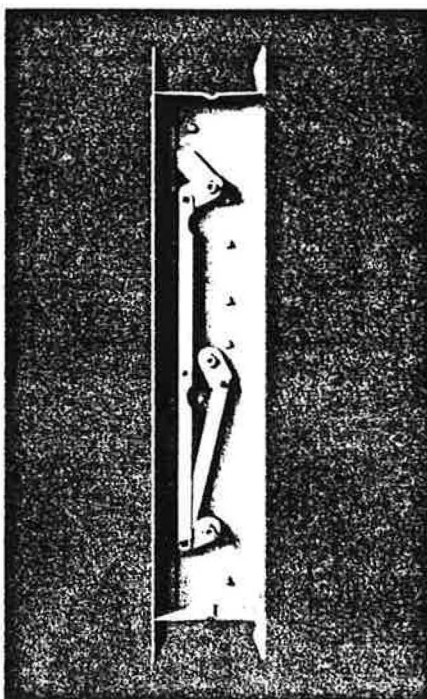


Bild 3 a: Luftregelklappe mit außenliegenden Gestänge, geschlossen

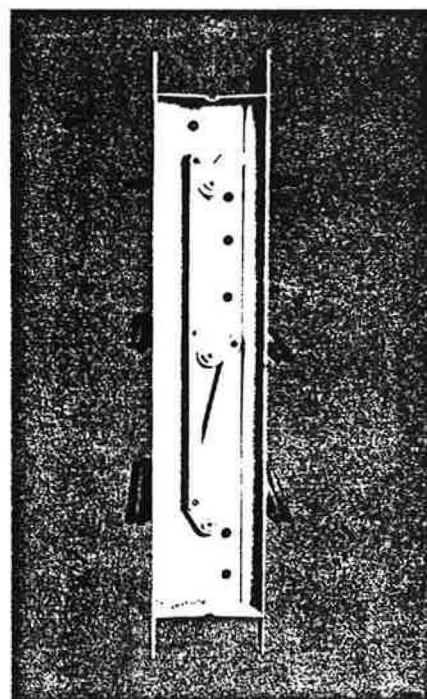


Bild 3 b: Luftregelklappe mit anliegenden Gestänge, geöffnet

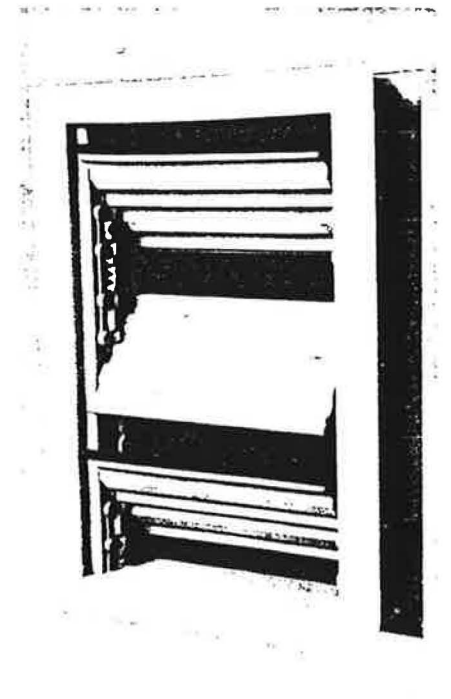


Bild 4 a: Regelklappen mit seitlicher Lippendichtung aus EPDM

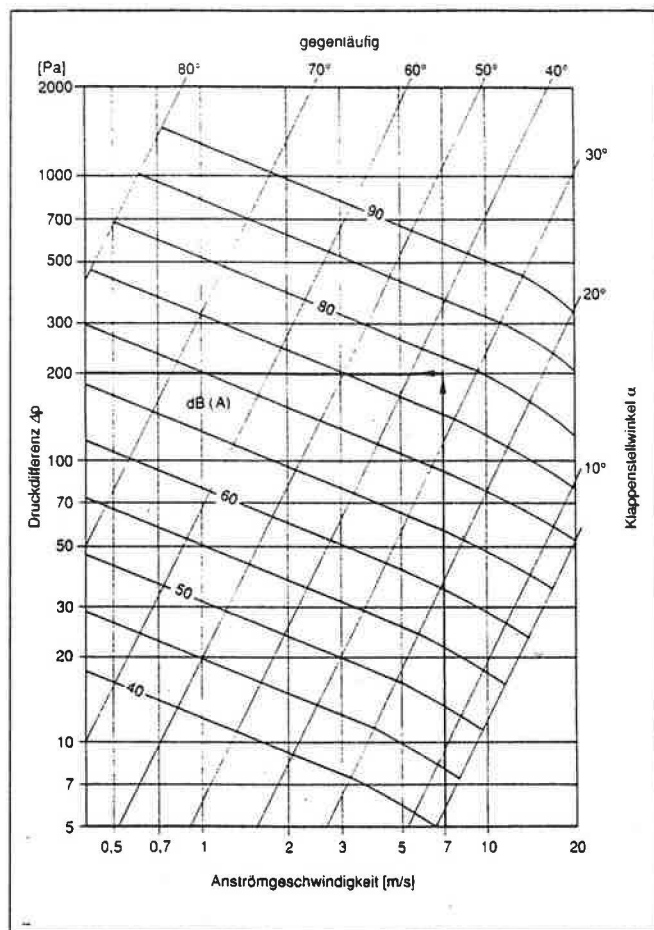


Bild 5: Geräuschpegel bei gegenläufiger Klappe

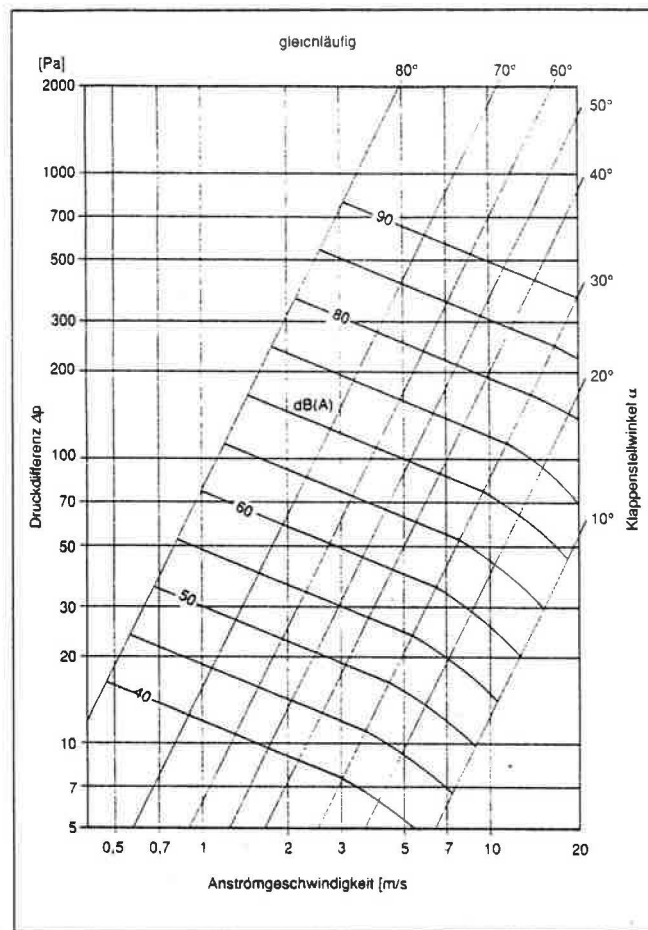


Bild 6 Geräuschpegel bei gleichläufiger Klappe

cherweise die Heizregister einfrieren. Außerdem beeinträchtigen Undichtigkeit die Gesamtregelung und vor allen Dingen die Sicherheit der Anlage erheblich.

Auch die Ventilatorleistung ist entsprechend den Planungswerten ausgelegt, so daß, wenn die Luftfehlmenge innerhalb der Anlage zu groß wird, der Ventilator oft mit erheblich erhöhten Energiekosten an seiner Leistungsgrenze arbeiten muß, oder aber schlimmstenfalls sogar die Ventilatorleistung nicht mehr ausreichend ist, um die benötigte Luftmenge auch in die entferntesten Räumlichkeiten zu fördern.

Geräuscentwicklung

In manchen Anwendungsfällen ist der Einbau einer Luftklappe in der Nähe zu Orten, an denen sich häufiger Menschen aufhalten, unumgänglich. Da eine Klappe, wie jede Querschnittsverengung in einem Luftkanal, Geräusche verursacht, ist es wichtig, den auftretenden Geräuschpegel bei den verschiedenen Klappenwinkeln zu kennen und auch hier gibt es zwischen den einzelnen Fabrikaten erhebliche Unterschiede,

soweit diese Werte für die einzelnen Fabrikate überhaupt bekannt sind (Bild 5 und 6).

Wartungsfreiheit

Dieser Punkt ist gerade für den Planer, bzw. Eigentümer oder Betreiber einer Anlage von größter Bedeutung. Unter Wartungsfreiheit soll dabei nicht nur verstanden sein, daß keine regelmäßigen, z.B. jährlichen Wartungen mit Säuberung, Schmierung, Desinfektion, etc. durchgeführt werden müssen, sondern daß die Eigenschaften der Luftklappe sich über eine längere Zeit nicht wesentlich negativ verändern.

So sollte eine Klappe nicht schwergängiger werden im Laufe der Zeit, noch sollte ihre Leckrate sich permanent erhöhen.

Auch Hygieneprobleme sollten gar nicht erst entstehen können. Gründe dafür, warum solche Probleme überhaupt entstehen können, sind aber teilweise schon durch die konstruktive Gestaltung der Klappe vorgegeben. In vielen Fällen treten jedoch derartige Probleme erst nach Ablauf der Gewährleistungsfristen für die Luftklappe auf.

so daß der schwarze Peter beim Betreiber, bzw. Eigentümer bleibt. Es sollte daher schon bei der Planung sehr wohl bedacht werden, daß, langfristig gesehen, der billigere Einkauf nicht immer die preisgünstigste Lösung sein muß. Dies gilt sicher nicht für alle Anwendungsfälle, ist aber ein Gesichtspunkt, der häufig leider erst zu spät ins finanzielle Bewußtsein gerückt wird.

Einsatzbedingungen

Über den Einsatz in normalen haustechnischen Lüftungsanlagen hinaus werden Luftklappen auch für die verschiedensten industriellen Anwendungen benötigt. Hier werden oft die unterschiedlichsten Anforderungen gestellt, z.B. dürfen Klappen für die Automobilindustrie keinerlei Stoffe enthalten, die negativen Einfluß auf die Lackierung haben könnten, in Kraftwerken müssen Klappen hochtemperaturbeständig bis z.B. 500 °C sein (Bild 7), in der Nahrungsmittel- und Kosmetikindustrie müssen Klappen absolut korrosionsbeständig sein z.B. aus Edelstahl, bzw. Kunststoff oder hochluftdicht (z.B.



nekaldicht) sein. Hier gibt es die unterschiedlichsten Klappenfabrikate, jedoch sollte niemals vergessen werden, daß diese speziellen Einsatzbedingungen nur ein Zusatzparameter sind und daß auch für diese Art der Spezialklappen überwiegend zusätzlich noch alle übrigen Kriterien gelten, die vorher im einzelnen abgehandelt worden sind.

Hygiene

Seit dem Auftreten der sogenannten Legionärskrankheit in den USA ist man gerade gegenüber den Lüftungs- und Klimaanlage häufig skeptisch eingestellt, da die wirkliche Ursache bis heute noch nicht endgültig geklärt ist. Auch in Deutschland ist man bei den Luftklappen, die in Krankenhäusern eingesetzt werden, sehr kritisch.

Grundsätzlich sollte durch die Konstruktion vermieden werden, daß sich an irgendeiner Stelle im Luftstrom und dazu gehört auch die Luftklappe, Keimzellen für irgendwelche Erreger bilden können. Dies gilt schon für ganz normale Luftklappen, ganz besonders jedoch für diejenigen, die in Krankenhäusern oder der Nahrungsmittel-, bzw. Kosmetikindustrie eingesetzt werden.

Zusammenfassung

Es gibt sicherlich keine universelle Luft-Regelklappe, die alle speziellen Anforderungen für jeden beliebigen Anwendungsfall erfüllt und dabei noch preisgünstig ist. Umgekehrt ist es nicht immer sinnvoll, eine qualitativ hochwertige Luft-Regelklappe, z.B. mit außenliegenden Gestängen, seitlichen Lippendichtungen, großem zulässigen Δp auch bei großen Breiten, die aber ihren entsprechenden Preis hat, für einfache Anwendungsfälle auszuwählen.

Letztendlich haben der Eigentümer, bzw. der Betreiber die Gesamtkosten für die Anlage zu tragen. Unter Gesamtkosten sind dabei die Anschaffungskosten und die Betriebskosten über die geplante Lebensdauer der Anlage zu verstehen. Während man die Anschaffungskosten genau berechnen kann, werden die Betriebskosten häufig nur abgeschätzt und immer Annahmen für den günstigsten Fall gemacht. Wie aber aus den vorherigen Aussagen zu entnehmen ist, können sich die Betriebskosten sehr wohl real wesentlich höher entwickeln als ursprünglich abgeschätzt war und sehr schnell die eingesparten Anschaffungskosten überkompensieren, von notwendig werdenden Reparaturen nach Ablauf der Gewährleistungs-

Berechnung der zusätzlich aufzuwendenden Energiekosten bedingt durch Leckage

Voraussetzung:	: Klappenreferenzfläche wird zu 1 m ² gesetzt
Annahmen	: Leckage durch ungewollte Undichtigkeit beträgt ca. 3 % des Nennvolumenstromes von ca. 10 000 cbm/h : Mittlere Nachttemperatur im Winterhalbjahr + 5 °C : Zu erreichende Temperatur im Nachtbetrieb + 16 °C : Durchschnittliche Schließzeit der Klappe/Nacht 12 h
Berechnungsgrundlage	: Zur Erwärmung von 1 cbm Luft um 1 °C werden ca. 0.36 W thermische Leistung benötigt.
Es ergibt sich somit täglich: 300 [°C] · 11 [°C] · 12 · 0,36 = 14,26 kW	
Energiekosten	: 1 kW thermische Leistung unter Berücksichtigung des Wirkungsgrades wird angenommen zu 0,05 DM
Mehrkosten pro Tag	: 14,26 kW · 0,05 DM = ca. 0,70 DM
Heiztage pro Jahr	: 100
Es ergeben sich somit an vermeidbaren Mehrkosten für Energie pro Jahr: ca. 70.- DM pro m ² Klappenfläche	

frist ganz abgesehen. Dies gilt natürlich nicht nur für Luft-Regelklappen, sondern grundsätzlich für alle Komponenten.

Vor allen Dingen die Planer haben entscheidenden Einfluß auf die Auswahl der einzusetzenden Luft-Regelklappe. Da sie im Auftrage des Eigentümers, bzw. Betreibers tätig sind, müssen sie auch darauf bedacht sein, dessen

Gesamtkosten so niedrig wie möglich zu halten. Es gilt daher mehr denn je, bei der Planung zu berücksichtigen, für welchen speziellen Anwendungsfall unter Beachtung der vorab genannten Kriterien Luft-Regelklappen benötigt werden und ob die Anschaffungskosten wirklich der einzige Entscheidungsgrund bei der Auswahl einer Luft-Regelklappe sein dürfen.



Bild 7: Hochtemperaturklappe mit metallischer Seitendichtung