



Herbert Schartmann

## Radialventilatoren in Klimageräten\*

Kennlinien und Wirkungsgrade unter Berücksichtigung der realen Bedingungen

*Lufttechnische Anlagen müssen mit geringstmöglichem Energiebedarf betrieben werden. Die Analyse der Investitions- und Betriebskosten zeigt die Bedeutung des Anlagenelementes Ventilator. Für den Transport der Zu- und Abluft werden je nach Anlagentyp über 80% der Energiekosten benötigt. Die Erhöhung des Gesamtwirkungsgrades von Ventilatoren in Klimageräten und die Senkung des Druckbedarfes durch konstruktive Maßnahmen ist anzustreben. Kennfelder verschiedener Ventilatoren in Klimageräten und konstruktive Verbesserungen zur Reduktion des Energiebedarfes werden vorgestellt.*

### Radial fans in air-conditioning appliances

#### Specifications and efficiency considered in light of actual operating conditions

*Air-handling installations must operate at the lowest possible level of energy-consumption. Analysis of acquisition and operating costs demonstrates the importance of the fan as a system component. Air intake and exhaust functions account for as much as 80% of the energy costs in some installations. Increasing the overall efficiency of fans in air-conditioning units while reducing pressure requirements through innovations in construction is a desirable goal. The operating parameters of various fans in air-conditioning units and construction techniques for reducing energy requirements are described.*

### Ventilateurs radiaux dans les dispositifs de climatisation

#### Caractéristiques et rendements en conditions réelles de fonctionnement

*Les installations aérauliques doivent être exploitées avec le moins d'énergie possible. Lorsqu'on analyse les coûts d'investissement et d'exploitation, on comprend l'importance de l'élément ventilation. Selon les types d'installation, il faut compter jusqu'à 80% des coûts énergétiques pour le transport de l'air amené et de l'air évacué. Il faut travailler dans le sens d'une augmentation du rendement total des ventilateurs dans les systèmes de climatisation et également dans le sens d'une diminution du besoin en pression grâce à des mesures prises au niveau de la construction. L'article présente les diagrammes caractéristiques de plusieurs ventilateurs dans les dispositifs de climatisation et les améliorations pouvant être apportées dans la construction qui entraînent une réduction des besoins en énergie.*

### 1 Bedeutung der Ventilatoren in RLT-Anlagen

Die Anzahl von Ventilatoren in Klimaanlage und anderen lufttechnischen Anlagen steigt von Jahr zu Jahr in erheblichem Maße und damit auch der Energiebedarf. Es ist ökonomisch sinnvoll und aus ökologischen Gründen geboten, den Energieverbrauch durch verbesserte Anlagen zu reduzieren. Besonders erscheint die Optimierung der Lüftungstechnischen Geräte – und hier speziell der Ventilatoren – bei manchen Produzenten sehr unkritisch gehandhabt zu werden. Die Folge sind überhöhte Betriebskosten.

#### 1.1 Investitionsanteil

Die Kosten der Ventilatoren sind im Verhältnis zu den Gesamtkosten einer RLT-Anlage mit etwa 2 bis 5% niedrig. Dies mag ein Grund dafür sein, daß die Bedeutung des Anlagenelementes Ventilator bei Planern und Anlagenbetreibern oft unterschätzt wird. Gefordert wird meist in einem Leistungsverzeichnis ein bestimmter Mindestwirkungsgrad des Ventilators. Wird diese Forderung nach den Angaben des Ventilatorenherstellers erfüllt, erhält der preisgünstigste Bieter den Auftrag.

#### 1.2 Anteil der Ventilatoren am Energiebedarf

Analysiert man von RLT-Anlagen den Energiebedarf, so wird die Bedeutung der Ventilatoren deutlich. Die Kosten für die Deckung des Wärmebedarfes und der Kühllast eines Gebäudes sind beispielsweise gering an den Gesamtenergiekosten einer Klimaanlage beteiligt. Die Kostenanteile für die Aufbereitung der Zuluft von Außenluftzustand auf Raumluftzustand und vor allem der Anteil für den Transport der Zu- und Abluft ist bedeutend höher, Bild 1. Der Einsatz von Energierückgewinnungssystemen reduziert zwar den Aufwand für die Wärmeerzeugung und die Kälteproduktion, der prozentuale Anteil der für

den Betrieb der Ventilatoren erforderlichen elektrischen Energie steigt. Darüber hinaus muß davon ausgegangen werden, daß der Arbeitspreis für Strom in der Zukunft steigen wird.

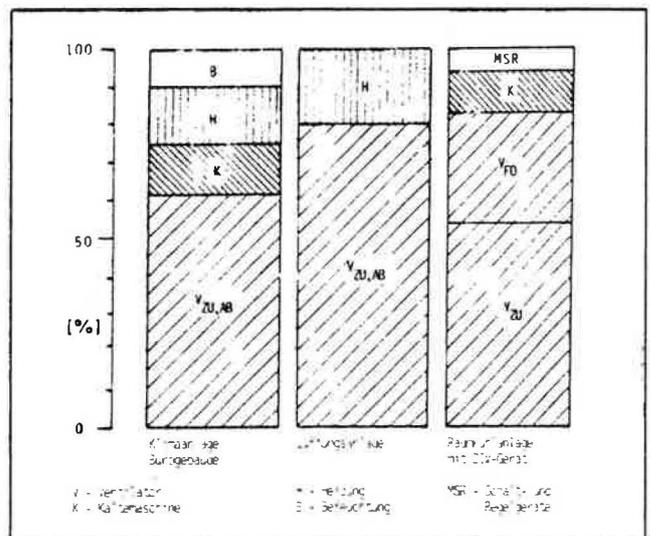


Bild 1: Energiekostenanteile bei RLT-Anlagen

Bei Anlagen für thermisch hochbelastete Räume wird der Anteil der Ventilatorenergiekosten extrem hoch. Betrachtet man z. B. DIV-Räume der Deutschen Bundespost für die Digitale Vermittlungstechnik, so macht die Energieaufwendung für die Kältemaschine und Regelanlage lediglich ca. 17% aus, der große Anteil von etwa 83% wird von den Antriebsmotoren der Zu- und Fortluftventilatoren verbraucht. Bei betriebswirtschaftlicher Betrachtungsweise werden die Investitionskosten und die Betriebskosten über einen Zeitraum von 15 Jahren gewertet. Hö-

\* Manuskript eingereicht im Juni 1990

here Investitionskosten für eine Anlage zur Erzielung eines niedrigeren Energieverbrauches amortisieren sich. Je höher die Anzahl der jährlichen Betriebsstunden ist, um so kürzer ist die Amortisationszeit. Diese Trivialität muß in zunehmendem Maße die Planung von RLT-Anlagen bestimmen.

**2 Möglichkeiten zur Senkung des Energiebedarfs**

Die Antriebsleistung N des Ventilators ist:

$$N = \frac{\dot{V} \cdot \Delta p}{\eta}$$

- $\dot{V}$  – Volumenstrom
- $\Delta p$  – Gesamtdruckerhöhung des Ventilators
- $\eta$  – Wirkungsgrad

Zur Senkung der Leistung führen die Reduktion des Volumenstromes und des Druckes sowie die Steigerung des Wirkungsgrades. Der Luftvolumenstrom einer Anlage ist in der Regel durch thermische oder lüftungstechnische Gegebenheiten bestimmt und wird für die folgende Betrachtung als unveränderliche Größe angenommen.

**2.1 Verbesserung der Anlagenkonstruktion**

**2.1.1 Senkung des Druckbedarfes im Kanalsystem**

Der Kanalquerschnitt und damit die Luftgeschwindigkeit ist die bestimmende Größe für den Druckbedarf. Die Geschwindigkeit im System muß auf einen möglichst niedrigen Wert gebracht werden.

Eine ungünstige Kanalkonstruktion führt häufig zu Kombinationen von sogenannten Formstücken. Die Erfassung der wirklichen Widerstandsbeiwerte ist hierfür sehr schwierig. Unter Berücksichtigung veröffentlichter Meßwerte [1, 2] ist dennoch eine gute Abschätzung möglich. So kann z. B. der Widerstandsbeiwert eines Formstückes aus vier hintereinander geschalteten Umlenkungen bis um Faktor 2,5 höher sein als die Summe der Werte von vier einzelnen Umlenkungen. Vermeidbare Berechnungsfehler und unzweckmäßige Kanalkonstruktionen sind leider vielfach die Gründe für Minderleistungen in den Anlagen.

**2.1.2 Senkung des Druckbedarfes in RLT-Geräten**

Wie in Luftkanalsystemen so ist auch die Luftgeschwindigkeit in Klimageräten für den Druckbedarf die ausschlaggebende Größe. Der Druckabfall über Klappen, Filter, Wärmeaustauscher, Tropfenabscheider etc. ist bei Anlagen oder Geräten mit geringem zusätzlichem Druckbedarf besonders sorgfältig zu betrachten, da hierdurch alleine der Gesamtdruck bestimmt wird. Für RLT-Geräte gilt das bereits Erwähnte: Je größer die Betriebszeit im Jahr, um so niedriger muß die Durchströmungsgeschwindigkeit sein. Die VDI-Richtlinie 3803 [3] hat diese Forderung erfreulicherweise aufgenommen.

**2.2 Anpassung des Ventilators an veränderte Betriebspunkte**

In RLT-Anlagen mit Umluftbetrieb ändern sich die Druckverhältnisse in der Außenluftansaugung und im Fortluftaustritt je nach Umluftanteil. Darüber hinaus erhöhen sich die Filterwiderstände mit steigender Staubspeicherung. Um die hieraus resultierende Volumenstromänderung zu kompensieren, werden in zunehmendem Maße Volumenstromregler in Kanalsysteme eingesetzt. Wenn derartige Regler mit ihrem Druckverlust bei Lüftungssystemen mit variablen Volumenströmen oder Teilabsperrungen sinnvoll sind, erhöhen sie bei konstantem Volumenstrom den Energiebedarf der Anlagen. Es ist deshalb anzustreben, eine Ventilatorregelung mit dem Ziel der reduzierten Stromaufnahme des Motors zusätzlich einzusetzen. Polumschal-

tung, stufenlose Drehzahlregelung und Drallregler sind die Instrumente zur Anpassung des Ventilators an veränderliche Betriebspunkte.

Die Kombination von polumschaltbarem Motor mit drallgeregeltem Ventilator führt bei vielen Anwendungsfällen zu deutlich niedrigerem Energiebedarf als die Drehzahlregelung. Dies gilt vor allem für solche Anlagen, deren Gesamtdruck sich nicht quadratisch mit dem Volumenstrom ändert. Fortluftventilatoren der Raumkühlgeräte für thermisch hochbelastete Räume lassen sich beispielsweise in allen Betriebspunkten in der Nähe des höchsten Gesamtwirkungsgrades betreiben. Die Veränderung des Ventilatorwirkungsgrades durch den Drallregler wird durch den konstant hohen Wirkungsgrad des Motors nahezu kompensiert, Bild 2. Dieser Vorteil läßt sich vor allem in dem großen Anwendungsbereich der RLT-Anlage bis zu etwa  $\dot{V} = 10.000 \text{ m}^3/\text{h}$  nutzen.

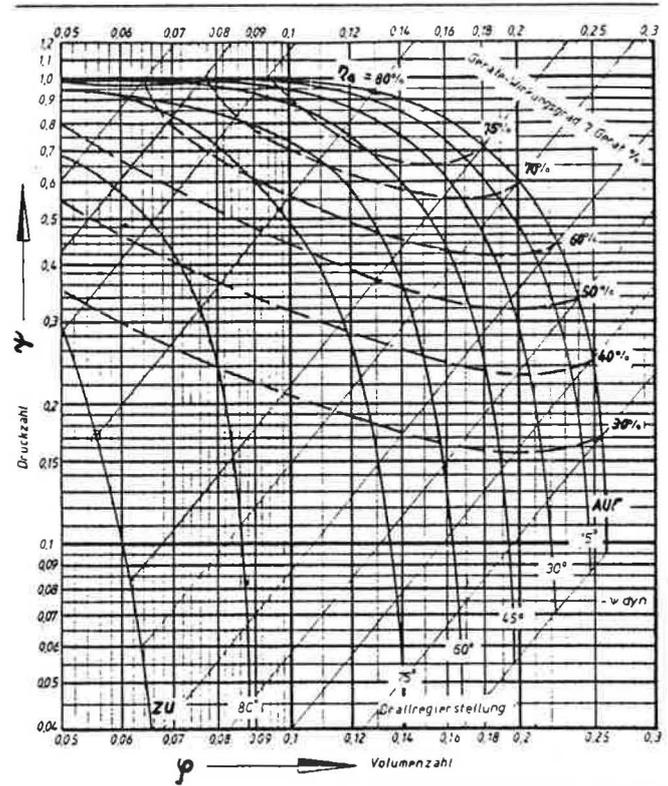


Bild 2: Kennfeld eines axialen Drallreglers mit Laufrad Typ C, Fabrikat ROX

**2.3 Ventilatoren in Geräten**

In Klimageräten finden meist doppelseitig saugende Radialventilatoren Anwendung. Sie werden in Baugrößen von 160 mm bis 1000 mm Laufraddurchmesser eingesetzt. Der benötigte Druck liegt etwa zwischen 300 und 3000 Pa. Dieser große Leistungsbereich macht deutlich, daß mehrere Ventilatorbauarten Anwendung finden müssen.

Geräteventilatoren werden je nach Anforderung mit vorwärts- oder rückwärtsgekrümmten Laufschaufeln gebaut. Die kleineren Baugrößen sind wegen der relativ großen Wellendurchmesser und der großen Lager den übrigen Baugrößen nicht mehr geometrisch ähnlich. Will man eine Einbuße bei Wirkungsgrad und Druck durch diese Zuströmbehinderung vermeiden, müssen konstruktive Maßnahmen angewandt werden. Die Verlängerung der Ventilatorwelle bei kleineren Ventilatoren erlaubt die Herausnahme der Lager und der Keilriemenscheibe aus dem eigentlichen Ansaugbereich, Bild 3.

Eine deutliche Absage sei an dieser Stelle den meist übertriebenen und nicht begründeten Forderungen nach Keilriemen- und Einlaufschutzvorrichtungen erteilt.

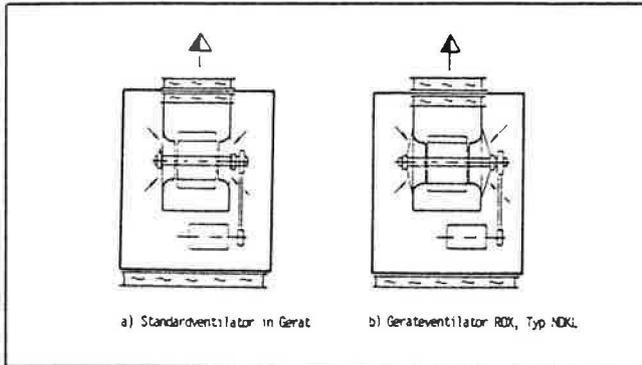


Bild 3: Verbesserung der Zuströmung durch geänderte Position der Wellenlager

Die notwendige Schutzvorrichtung stellt das umgebende Gerätegehäuse dar, dessen Inspektionsöffnung gesichert ist. Es ist bisher kein Schaden an Leib und Leben bekannt geworden, der seine Ursache in einem Geräteventilator ohne Schutzvorrichtung hatte. Es sind jedoch Messungen verschiedener Gerätehersteller veröffentlicht worden, die belegen, daß bei Ventilatoren geringerer Baugröße Verluste durch Schutzeinrichtungen zwischen 15% und 30% auftreten. Den berechtigten Forderungen nach verantwortungsbewußtem Energieeinsatz laufen also die unberechtigten Wünsche nach Schutzeinrichtungen zuwider. Auch für den Keilriemenantrieb und Ventilator im Automobilbau wird die Motorhaube als ausreichender Schutz akzeptiert, obwohl die Haube, selbst bei laufendem Motor, durch technische Laien leicht zu öffnen ist.

2.3.1 Verbesserung der Zuströmung

Um bei Geräteventilatoren einen möglichst hohen "Gerätewirkungsgrad" zu erreichen, muß das Geräteelement "Ventilatorteil" als Einheit gesehen und entwickelt werden. Das umgebende Gerätegehäuse ist in seinen Abmessungen je Ventilatorgröße zu optimieren, um die Auswirkungen des Vordralls am Laufraudeintritt und die Beeinflussung des Einlaufes durch Geräteseitenwände zu minimieren.

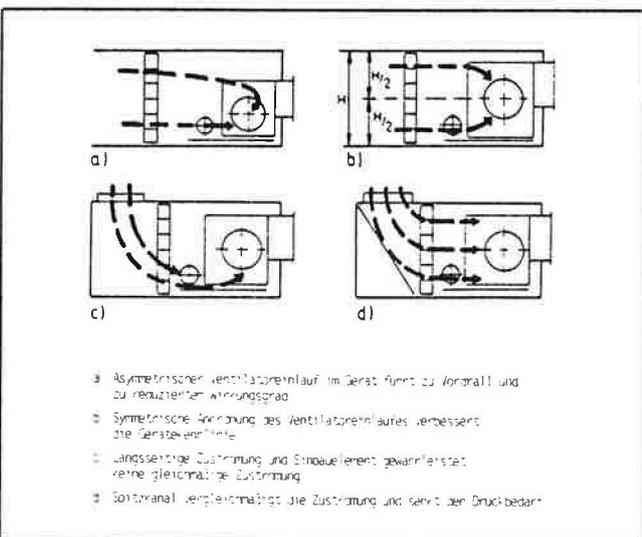


Bild 4: Beispiele verschiedener Zuströmbedingungen

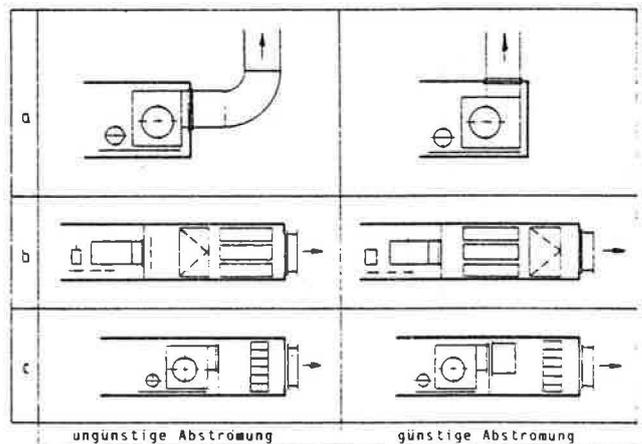
Die Höhenlage des Ventilatoreinlaufes im Gerät ist ebenso eine

Einflußgröße auf die Kennlinie und den Wirkungsgrad wie das Strömungsprofil im Eintritt der Ventilator-kammer, Bild 4. Bei modernen Klimageräten für extrem niedrigen Druckbedarf wird deshalb das Prinzip des Spitzkanals angewandt. Neben der Vergleichmäßigung des Strömungsprofils trägt der reduzierte Druckabfall über dem gleichmäßig durchströmten Einbauelement vor dem Ventilator zu reduziertem Energiebedarf bei.

2.3.2 Verbesserung der Abströmung

Wird die Luft in einem am Ventilator-druckstutzen angeschlossenen geraden Kanal geführt, kann der dynamische Druck am Ventilatoraustritt in statischen Druck umgesetzt werden. Häufig sind jedoch dem Ventilator im Gerät Elemente wie Schalldämpfer, Filter etc. nachgeschaltet. Demzufolge tritt ein mehr oder weniger großer Verlust auf. Die Forderung nach einem Diffusor zur Druckumwandlung ist also verständlich. Das unregelmäßige Strömungsprofil läßt aber Lösungen, wie sie bei Axialventilatoren üblich sind, nicht zu. Dennoch bestehen Möglichkeiten der Verbesserung, Bild 5:

- strömungsgerechte Kanalführung hinter dem Ausblas [4]
- Einsatz größerer Ventilatoren mit geringerem dynamischen Druck und höherem Wirkungsgrad
- Nutzung der Diffusorwirkung in druckseitigem Schalldämpfer [5]
- Anbau von Stoßdiffusor [6]



- a. auf Kanalführung abgestimmte Gehäusestellung reduziert Druckbedarf
- b. Schalldämpfer hinter Ventilatorausblas mit Diffusorwirkung und nachtr. Prallplatte überflüssig
- c. Stufenndiffusor erhöht Ventilator-druck

Bild 5: Beispiele verschiedener Abströmbedingungen

3 Ventilator-kennlinien unter Berücksichtigung der realen Betriebsbedingungen

3.1 Normprüfstand für Radialventilatoren

Ventilatoren, deren Anwendungsfall unbekannt ist, werden auf einem Normprüfstand nach DIN 24163, Teil 2, gemessen. Der Prüfstand ist u. a. dadurch gekennzeichnet, daß er dem Ventilator einen freien ungestörten Luftansaug ermöglicht und eine definierte Abströmleitung hat. Weder ein Elektromotor mit Befestigungen, noch ein Keilriemenantrieb stören die Zuströmung und reduzieren die Leistung, Bild 6. Der Geltungsbereich der Norm schließt die Verwendung der im Normprüfstand ermittelten Kennlinien für Ventilatoren in Geräten aus.

Geräteproduzenten, die dennoch derart ermittelte Kennlinien für Ventilatoren in Geräten verwenden, überlassen die Einhaltung der zugesicherten Leistungen mehr oder weniger dem Zufall.

Bestenfalls versucht man durch Addition eines angenommenen Druckbedarfes für behinderte Zuströmung, Wirkungsgradverluste etc. die Drehzahl anzuheben und die Antriebsleistung zu vergrößern. Die Druck-Volumen-Kennlinie des freisaugenden Ventilators ist bei Nachprüfungen des Ventilators im Gerät nicht mehr wiederzufinden [7]. Ein exakter Betriebspunkt kann somit nicht angegeben werden.

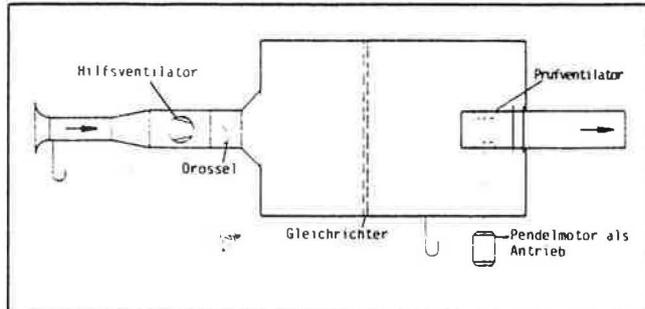


Bild 6: Normprüfstand nach DIN 24163 Teil 2 für freisaugende Ventilatoren

### 3.2 Prüfstand für Ventilatoren in Klimageräten

Um dem planenden Ingenieur vor der Anlagenerstellung sichere Angaben über die Lage des Betriebspunktes auf der Drehzahlkurve, Leistungsbedarf, Schalleistung usw. geben zu können, müssen von den Herstellern der Klimageräte Ventilator-kennlinien als Geräte-kennlinien messtechnisch ermittelt werden. Die Ventilatoren der verschiedenen Baugrößen und Lauf-radarten sind im Gerät montiert zu messen. Alle zum Ventilator gehörenden Konstruktionsteile wie Befestigungen, Lager, Keil-riemenscheiben, Motor, flexible Verbindungen zum Gehäuse, müssen vorhanden sein; lediglich der Keilriemen fehlt. Der Antrieb des Ventilators erfolgt über eine durch die Geräte-wandung geführte Welle durch einen Pendelmotor. Dieser erlaubt, wie bei einem Normprüfstand, die Erfassung von Drehmoment und Drehzahl. Im Abströmkanal oder über eine Kammer werden Druck und Volumenstrom gemessen, Bild 7.

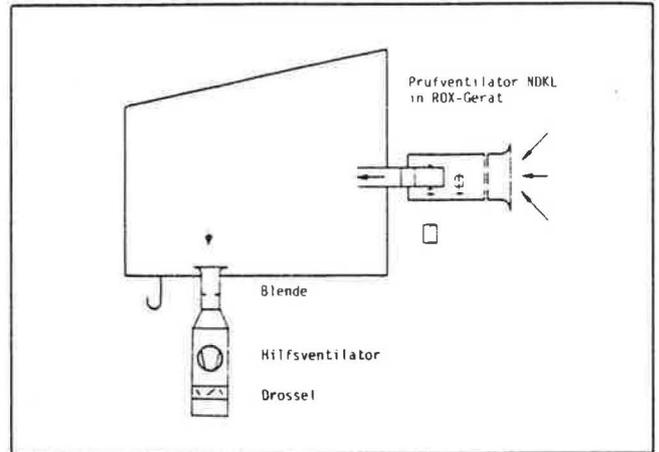


Bild 7: Radialventilator im Klimagerät am Kammerprüfstand

### 3.2.1 Ventilator mit vorwärtsgekrümmten Laufschaufeln

Es ist bekannt, daß Kennlinien von Radialventilatoren mit vorwärtsgekrümmten Laufschaufeln, sogenannte Trommelläufer, durch geänderte Zuströmbedingungen stark beeinträchtigt werden. Die Bedingungen sind für Zuluftventilatoren relativ günstig, da die vorgeschalteten Einbauelemente wie Gleichrichter wirken. Der maximale Gerätewirkungsgrad liegt bei  $\eta_{Gerät} = 70\%$ , Bild 8a. Der Ventilatorwirkungsgrad, gemessen bei freiem Ansaug im Normprüfstand, beträgt vergleichsweise maximal  $\eta_{Vent} = 77\%$ .

Ventilatoren in Abluftgeräten fehlt meist ein Einbauelement als Gleichrichter. Die Lage des Lufteintritts am Gerät bestimmt die Ausbildung eines Mit- oder Gegendralls. Diese Tatsache macht die Messung verschiedener Geräte-kennlinien notwendig. Strömt die Luft durch einen stirnseitigen Anschluß dem Ventilator zu (Bild 8b), so reduziert sich der maximale Gerätewirkungsgrad auf  $\eta_{Gerät} = 68\%$ . Schließt man den Ansaugkanal längsseitig am Ventilator-teil an (Bild 8c) so verschlechtert sich der maximale Gerätewirkungsgrad auf  $\eta_{Gerät} = 65\%$ .

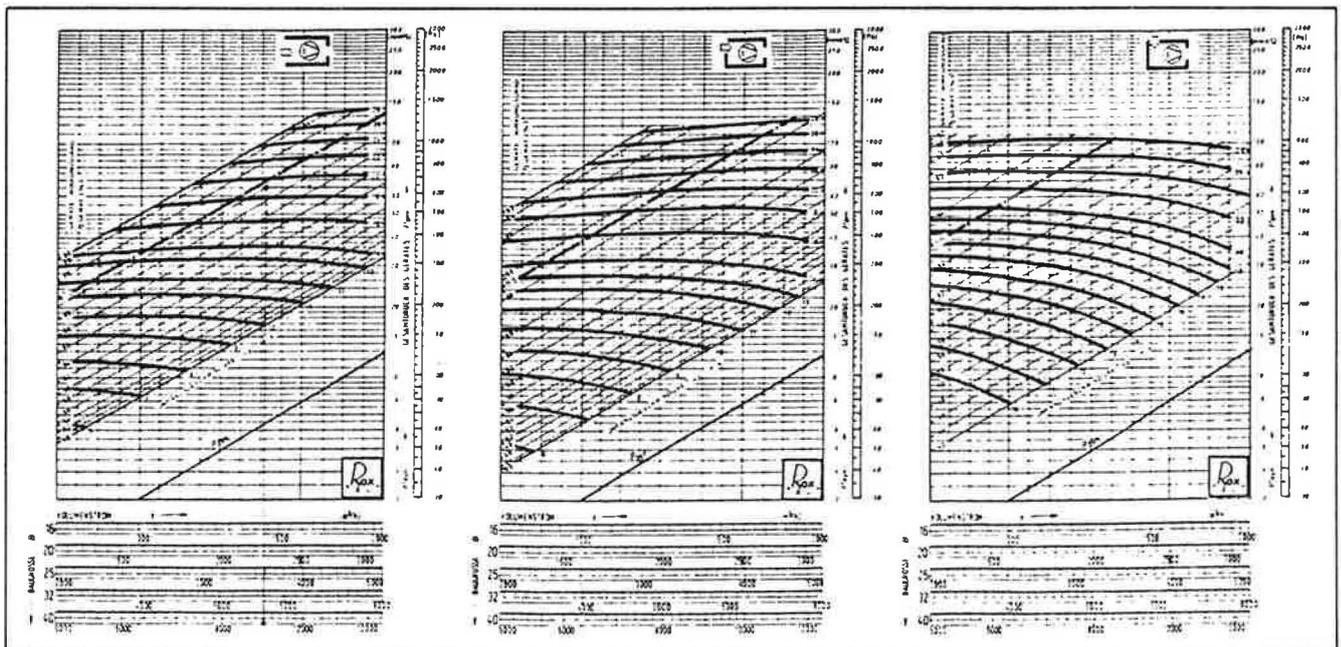


Bild 8a: Kennlinien eines Trommelläufer-Ventilators, im Gerätegehäuse eingebaut mit Zuströmung über den vollen Gerätequerschnitt

Bild 8b: Kennlinien eines Trommelläufer-Ventilators, im Gerätegehäuse eingebaut mit Zuströmung über stirnseitigen Kanalschluß

Bild 8c: Kennlinien eines Trommelläufer-Ventilators, im Gerätegehäuse eingebaut mit Zuströmung über längsseitigen Kanalschluß

Die drei Diagramme in Bild 8 zeigen deutlich den veränderten Verlauf der Drehzahlkurven und den unterschiedlich erzielbaren Druck bei gleicher Umfangsgeschwindigkeit. Aus diesen Kennlinien bei realen Betriebsbedingungen kann man schließen, daß eine weitere Verschlechterung durch die Vorschaltung von Formstücken am Geräteansaugstutzen eintreten wird. Bogen und Kombinationen von Formstücken am Ansaug sind also von den Anlagenkonstruktoren nach Möglichkeit zu vermeiden.

3.2.2 Ventilator mit rückwärtsgekrümmten Schaufeln

Die Einflüsse der realen Betriebsbedingungen auf das Kennfeld von Radialventilatoren mit rückwärtsgekrümmten Laufschauflern sind denen bei Ventilatoren mit vorwärtsgekrümmten Laufschauflern gleich, allerdings mit unterschiedlicher Einflußstärke. So ist z. B. der Ventilatorwirkungsgrad in stärkerem Maße von der Baugröße abhängig. Bei vorgegebener Geometrie der Ventilatoren im Gerät werden die Einflüsse durch Zuströmung in die Ventilatorraum weniger bedeutsam. Die Einflüsse der Abströmung ändern sich gegenüber Trommelläufern nicht.

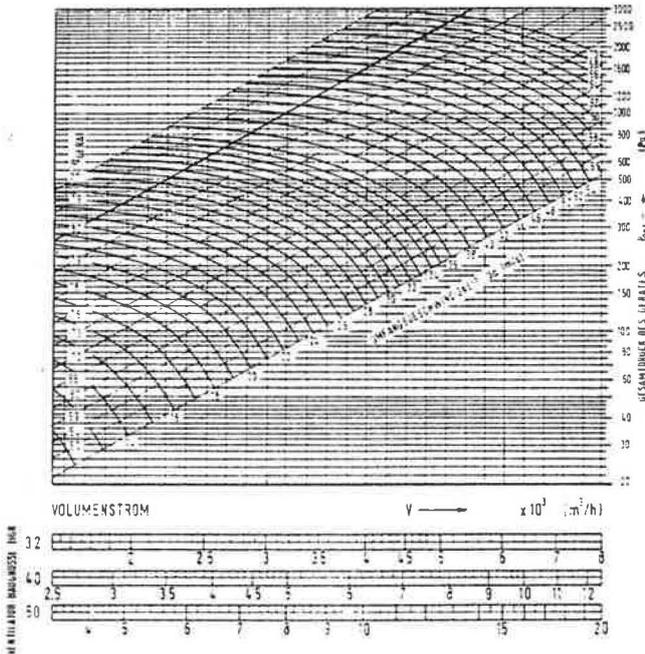


Bild 9: Kennlinienfeld eines ROX-Ventilators mit rückwärtsgekrümmten Schaufeln Baugröße 32 - 50 für DIV-Geräte

Für Standard-Ventilatoranordnungen in Geräten wurden wie bei Trommelläufern gesonderte Kennlinien aufgenommen. So zeigt Bild 9 ein spezielles Kennfeld für Ventilatoren in Raumkühlgeräten für thermisch hochbelastete Räume, wie sie als DIV-Geräte gebaut werden. Geräte dieser Baureihe, Bild 10, unterlagen nach Messungen im Labor des Herstellers einer sehr strengen Überprüfung durch Vereidigte Sachverständige. Zur Berechnung des Jahresenergiebedarfes wurde die Leistungsaufnahme der Motoren bei vorgegebenem Volumenstrom und Druck im Kanalsystem gemessen.

Es ergab sich somit die Möglichkeit, den Gesamtwirkungsgrad unter Einfluß von Ventilator, Lager, Riemenbetrieb, Motor und Einbausituation der Ventilatoren im Gerät zu erhalten und durch Optimierung zu verbessern [8].

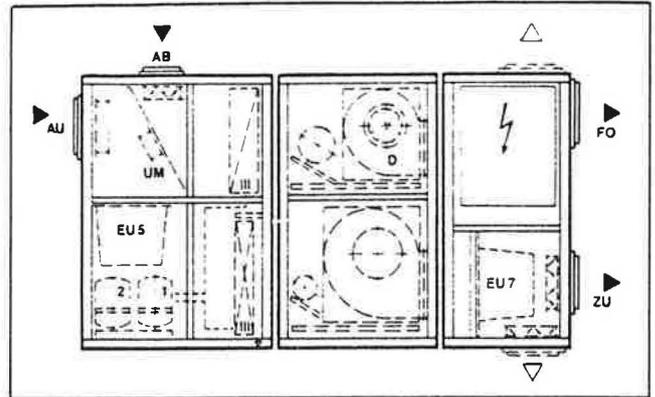


Bild 10: Raumkühlgerät Baureihe HYD-DIV Type KCA-KL mit eingebauter Kältemaschine

4 Zusammenfassung

Die Unzulässigkeit der Anwendung von Kennlinien freisaunder Ventilatoren für Klimageräte ist seit langem bekannt. Eine Vielzahl von Reklamationen in Klimaanlage führte in jüngster Zeit zu einer intensiven Diskussion unter Fachleuten sowie zu einem Normungsvorhaben "Raumlufttechnische Geräte; Meßverfahren". An einigen beispielhaften Kennfeldern von Geräteventilatoren, die unter realen Betriebsbedingungen ermittelt wurden, konnte gezeigt werden, daß verantwortungsbewußte Gerätehersteller in der Vergangenheit und auch bei neuen Konstruktionen das Klimagerät als Einheit betrachten. Es bleibt Aufgabe der Planer und Anlagenbetreiber, die technischen Angaben der Hersteller kritisch zu werten und die gelieferten Geräte auf Einhaltung der zugesicherten Leistung zu überprüfen. Nur hierdurch lassen sich unseriöse Angebote erkennen. Dem Ziel, bessere Anlagen mit optimierten Klimageräten und geringstmöglichem Energiebedarf herzustellen, kommt man auf diese Weise ein Stück näher.

Literatur

- [1] Sprenger, H.: Druckverluste in 90°-Krümmern für Rechteckrohre Schweizerische Bauzeitung 87. Jahrgang, Heft 13
- [2] Recknagel-Sprenger-Hönmann: Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik, Ausgabe 90/91
- [3] VDI 3803: Raumlufttechnische Anlagen Bauliche und technische Anforderungen, Ausgabe 1986
- [4] Moog, W. u. Jäger, W.: Produktübersicht Ventilatoren HLH 34 (1983) Nr. 10, S. 427-432
- [5] Laux, H: CCI Nr. 2, 1989, Diskussionsbeitrag, Stimmen die Kennlinien von Klimazentralen?
- [6] Regenscheit, B: Druckverlustbeiwerte von Stoßdiffusoren HLH 30 (1979) Nr. 9, S. 319-324
- [7] Lexis, J.: Radialventilatoren - Beeinflussungsfaktoren in der Praxis KI Klima-Kälte-Heizung 10/1984
- [8] ROX Lufttechnische Gerätebau GmbH: Werksunterlagen Geräte - Baureihe HYD-DIV