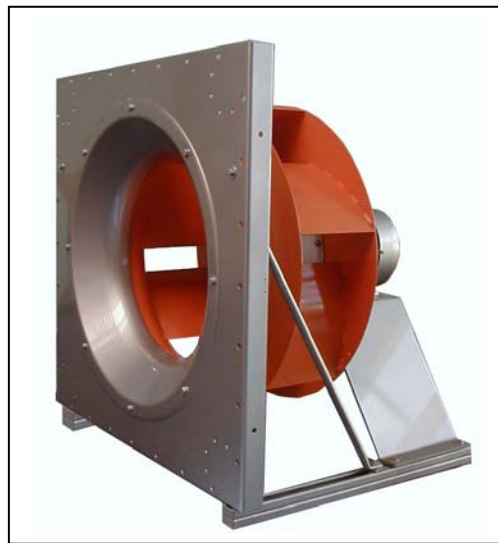
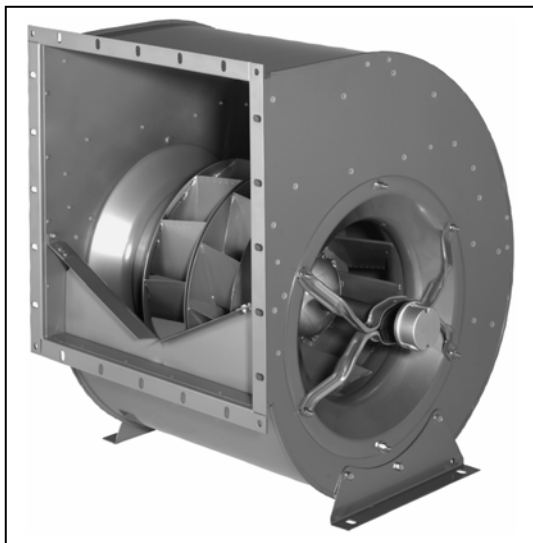


Ventilatoreinsatz in Geräten – mit und ohne Spiralgehäuse

von Dr.-Ing. Johannes Anschütz
und Dipl.-Ing. Stefan Härtel



GebhardtVentilatoren
Gebhardtstrasse 19-25
74638 Waldenburg

Tel. 07942-101130
Fax 07942-101170
www.gebhardt.de

Ventilatoreinsatz in Geräten - mit oder ohne Spiralgehäuse

In engsten Einbauräumen ist in einer Vielzahl von Geräten ein Ventilatorlauf- rad ohne Ventilatorgehäuse zu finden – seit einigen Jahren auch zunehmend in Klimageräten als Alternative zum herkömmlichen Spiralgehäuseventilator. Im folgenden soll verdeutlicht werden, wie diese Konzepte in ihrem physikalischen Wirkungsprinzip, vorrangig unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit im Betrieb, verglichen werden können, um eine Auswahl zu erleichtern.

Die Forderung nach geringem Energieverbrauch bei zunehmendem Umwelt- und Kostenbewußtsein veranlaßt die Klimagerätehersteller genauso wie Anlagenbauer und -planer, den im Betrieb wirtschaftlich günstigsten Ventilator für den jeweiligen Einsatzfall auszuwählen. Lüftungs- oder Klimagerätehersteller stehen in diesem Zusammenhang möglicherweise vor der Frage nach der richtigen Entscheidung zwischen den Alternativen,

Ventilator mit Gehäuse oder Laufrad ohne Gehäuse, als „freilaufendes Rad“.

Das freilaufende Rad ist dabei nicht als grundsätzlich neue Ventilatorentwicklung zu sehen, sondern vielmehr neues Einsatzgebiet für gehäuselose Ventilatoren, wie sie seit vielen Jahren in Transformatorgehäusen, Trocknungsanlagen

oder auch in Dachventilatoren mit vergleichbarem Wirkungsprinzip eingesetzt werden. Alle Fälle haben gemeinsam, daß das herkömmliche Spiralgehäuse fehlt. An seine Stelle treten durch unterschiedlichste Anordnungen und geometrische Abmessungen charakterisierte Einbausituationen.

Wirkungsweise

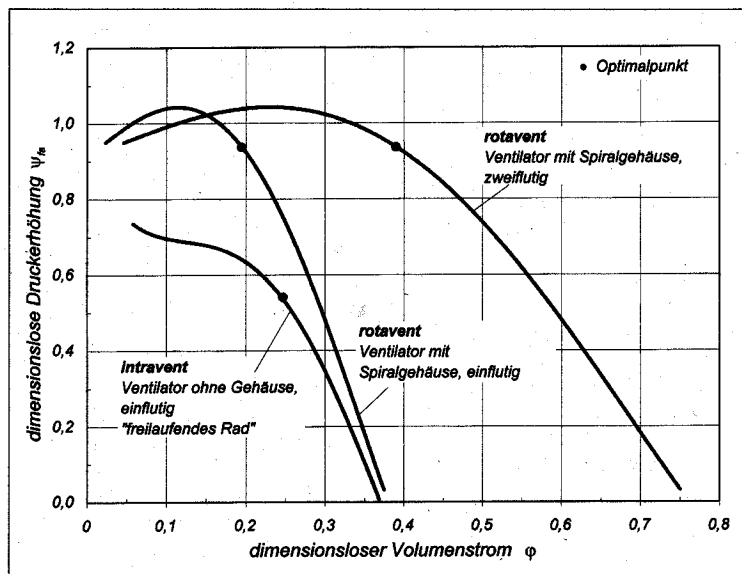
Die wichtigsten Funktionen des Spiralgehäuses eines Radialventilators sind die Umsetzung dynamischer Druckanteile in nutzbaren statischen Druck sowie die Führung und „Bündelung“ der über den gesamten Umfang verteilten Strömung am Laufradaustritt in eine gerichtete, geordnete Abströmung. Diese Funktionen sind für den jeweiligen Einsatz- und Bedarfsfall zu bewerten, in Zusammenhang mit dem benötigten bzw. zur Verfügung stehenden Einbauraum. Würde man beim Spiralgehäuseventilator das Gehäuse entfernen, so würde ein wichtiges, energieumsetzendes Bauteil fehlen; die Daten verschlechtern sich wesentlich. Bild 1 zeigt die Charakteristiken von ein- und zweiflutigen Gehäuseventilatoren im Vergleich zum freilaufenden Rad. Die dimensionslose

Darstellung entspricht einer Betrachtung gleicher Laufraddurchmesser und gleicher Drehzahlen.

Radialventilatoren mit Laufrädern mit rückwärtsgekrümmter, profilierter Beschauelung erreichen heute freiblasende Wirkungsgrade von über 80%. Gehäuselose Ventilatoren, die sich für geeigneten freilaufenden Einsatz durch hohen Reaktionsgrad auszeichnen müssen, haben maximale freiblasende Wirkungsgrade von ca. 70%, mit Diffusor auch geringfügig darüber. Der Wirkungsgrad ist aber genau die Größe, die die Wirtschaftlichkeit, den Grad der Umsetzung von Antriebsleistung an der Ventilatorwelle in nutzbare Strömungsleistung beschreibt. Für die beiden Ventilator Konzepte bedeutet das allgemein, daß für jeden Betriebspunkt, bei der Möglichkeit der Anpassung des Laufraddurchmessers bzw. der Ventilatorgröße und der Drehzahl, generell ein optimaler Ventilator gefunden werden kann, für den immer der Gehäuseventilator mit 80% Wirkungsgrad im Vergleich zum freilaufenden Rad mit 70% Wirkungsgrad die energetisch bessere Maschine darstellt. Dies gilt generell, wenn aufgrund der Einbaueverhältnisse keine Einschränkungen zu machen sind.

Physikalisch kann die Erhöhung der Strömungsenergie vereinfachend in drei Komponenten aufgeteilt werden. Betrachtet man ein Teilchen in der Strömung durch das Laufrad, so erfährt es eine Verzögerung innerhalb des für den Beobachter festgehaltenen Schaufelkanals; gleichzeitig nimmt aber im rotierenden Laufrad mit zunehmendem Radius in der Strömung von innen nach außen der Drall, die Geschwindigkeit in Umfangsrichtung und damit auch zwangsläufig die Absolutgeschwindigkeit, d.h. die kinetische Energie, zu. Jeder Effekt führt zu einer Druckerhöhung in der Strömung, und alle müssen notwendigerweise zusammentreffen. Das Spiralgehäuse hat nun die Funktion, den Drall der Laufrad-

Bild 1 | Charakteristische Kennlinien von Ventilatoren mit und ohne Gehäuse.



abströmung, der für eine Energieerhöhung zwangsläufig zugeführt werden muß, in einem Diffusor, der spiralförmig über den Umfang des Laufrads angeordnet ist und von der Abströmung aus dem Rad „gespeist“ wird, die erhöhte kinetische Energie in nutzbaren statischen Druck umzuwandeln. Ohne Spiralgehäuse fehlt diese Umsetzung; die Drallkomponente geht verloren. Da alle Bestandteile der Druckerhöhung aber einander bedingen, nur zusammenfallend zunehmen können, bedeutet dies, daß spezifisch betrachtet mit freilaufenden Rädern geringere Druckerhöhungen als mit Spiralgehäuseventilatoren erzielt werden können. Gleichzeitig folgt daraus die physikalische Forderung an das freilaufende Rad, einen hohen statischen Druckanteil der Gesamtenergieerhöhung zur Erzielung eines guten Wirkungsgrads zu erreichen; d. h. möglichst geringe Zunahme der Strömungsgeschwindigkeit bei hohem statischen Druckanstieg.

Der Vergleich bezieht sich hier auf die Energieumsetzung des Ventilators allein, ohne Antrieb, Motor und Regelung. Betrachtet man das gesamte System, so sind die verschiedensten Antriebs- und Regelungskonzepte einander gegenüberzustellen. Energetisch sind jedoch vergleichbare Lösungen zu finden. Der Vorteil direkten Antriebs kann beim Gehäuseventilator mit Außenläufermotor oder gekoppeltem Antriebsmotor, bei allerdings größerem Platzbedarf, grundsätzlich gleichermaßen realisiert werden wie beim freilaufenden Rad. Ein Vergleich von Frequenzumrichtern auf der einen Seite als übliche Antriebsregelung für das freilaufende Rad und einen nahezu verschleißfreien, verlustarmen Flachriementrieb für den Radialventilator mit Gehäuse auf der anderen Seite führt zu vergleichbar geringen zusätzlichen Verlusten. Der Antrieb als wesentlicher Bestandteil eines Konzepts wird hier jedoch nicht berücksichtigt. Dennoch kann der hier betrachtete Ventilatorvergleich aus genannten Gründen qualitativ auf komplette Ventilatorsysteme übertragen werden.

| Ventilatorotyp | | | <i>intravent</i> | <i>rotavent</i> |
|--|-----------------|-------------------|------------------|-----------------|
| Laufradaußen-Ø Betriebspunkt 1 | <i>D</i> | mm | 640 | 510 |
| Volumenstrom | \dot{V} | m ³ /h | 11 380 | 11 380 |
| Druckerhöhung | Δp_{fa} | Pa | 900 | 900 |
| Ventilator Drehzahl | <i>n</i> | min ⁻¹ | 1485 | 1540 |
| Wirkungsgrad | η_{faL} | % | 61 | 76 |
| Antriebsleistung | P_L | kW | 4,7 | 3,7 |
| Schalleistungspegel | L_{WA} | dB | | |
| ● druckseitig | | | 91 | 82 |
| ● saugseitig | | | 86 | 82 |
| Betriebspunkt 2 | | | | |
| Volumenstrom | \dot{V} | m ³ /h | 18 000 | 18 000 |
| Druckerhöhung | Δp_{fa} | Pa | 460 | 460 |
| Ventilator Drehzahl | <i>n</i> | min ⁻¹ | 1550 | 1630 |
| Wirkungsgrad | η_{faL} | % | 52 | 49 |
| Antriebsleistung | P_L | kW | 4,4 | 4,7 |
| Schalleistungspegel | L_{WA} | dB | | |
| ● druckseitig | | | 97 | 88 |
| ● saugseitig | | | 90 | 88 |

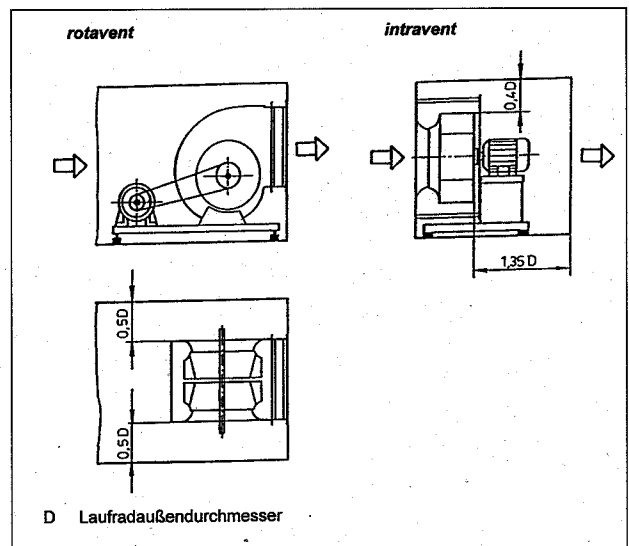
Vergleich

Eine Auswahl des zu bevorzugenden Konzepts soll durch die folgenden Vergleichsüberlegungen erleichtert werden. Betrachtet man die spezifische Charakteristik der Ventilatoren, so kann verallgemeinernd festgestellt werden, daß die Kennlinie des freilaufenden Rads bei gleichem Durchmesser und gleicher Drehzahl (s. Bild 1) flacher als die des Gehäuseventilators gleicher Laufradbaugröße ist. Bei kleineren Volumenströmen ist die Druckerhöhung des letzteren größer. Beim freilaufenden Rad liegt der optimale Betriebspunkt, bezogen auf den maximal erreichbaren Volumenstrom, bei größerem Durchsatz. Die Strömungsleistung des zweiflutigen Radialventilators mit Gehäuse liegt jedoch bei gleicher Laufradbaugröße im gesamten Betriebsbereich deutlich über dem freilaufenden Rad. Es ist darüber hinaus festzustellen, daß aufgrund der höher liegenden spezifischen Kennlinie des Gehäuseventilators jeder Betriebspunkt mit kleinerem Laufraddurchmesser bzw. geringerer Drehzahl erreicht werden kann. Niedrigere Umfangsgeschwindigkeiten lassen aber einen geringeren Schall erwarten. Messungen haben bestätigt, daß der abgestrahlte Schall beim freilaufenden Rad höher ist als beim Ventilator mit Gehäuse (s. Tabelle 1). Nach dieser Betrachtung ist der Gehäuseventilator grundsätzlich vorzuziehen.

Tabelle 1 Vergleich der Daten in zwei Betriebspunkten.

Wann ist jedoch der Einsatz freilaufender Räder sinnvoll? Nur bei begrenztem Einbauraum können sich andere Vergleiche ergeben. Aus den Charakteristiken kann ein Hinweis für den Vorzug des ein oder anderen Typs bei räumlichen Einschränkungen abgeleitet werden. Ein sinnvoller Einsatz des freilaufenden Rads wird demnach bei im Vergleich zum Gehäuseventilator höheren Volumenströmen und niedrigeren Drücken zu suchen sein, Betriebsbereiche, für die der optimale Gehäuseventilator größer sein müßte und deshalb aus Platzbedarfsgründen mit einem nicht optimalen Radialventilator verglichen wird. So kann bei gleichem begrenzenden Einbauraum bei solchen Betriebspunkten, die durch vergleichsweise niedrigere Drücke

Bild 2 Einbau im Klimagerät; Anordnung der Ventilatoren im Kasten für den vorliegenden Vergleich.



gekennzeichnet sind, die Verwendung eines freilaufenden Rads die bessere Lösung sein.

Einbauverhältnisse

Das freilaufende Rad benötigt eine Trennung saug- und druckseitiger Räume, deren Größe bzw. Form die Erhöhung der Strömungsenergie beeinflusst. Dies führt aber dazu, daß Grenzen des betrachteten Bilanzraums, insbesondere Zu- und Abströmquerschnitte neu zu definieren sind. Auch der Gehäuseventilator zeigt bei beengten Einbauverhältnissen eine Leistungsreduktion, seine Empfindlichkeit bezüglich veränderter Zu- oder Abströmverhältnisse ist im allgemeinen jedoch geringer. Eine Trennung von Saug- und Druckseite ist durch das abschottende Spiralgehäuse und die durchströmten Eintritts- und Austrittsquerschnitte mit entsprechenden Anschlußflanschen unmittelbar gegeben. Die Trennfläche zwischen den Druckräumen ist daher beim Gehäuseventilator druckseitig, während sie beim freilaufenden Rad auf der Saugseite an der Einströmdüse zu finden ist; unterschiedliche Anordnungen im

Einbau sind die Folge. Im Klimagerät ist demnach der Einbaufall des Ventilators zwingend für einen energetischen Vergleich zu berücksichtigen. Eine wirtschaftliche Betrachtung über die festgelegten Kastenquerschnitte vor und hinter dem Ventilator kann die Verhältnisse zwischen Gehäuseventilator und freilaufendem Rad verändern; die Gesamtwirkungsgrade können dabei gegenüber den unter idealen Versuchstandbedingungen ermittelten nur abnehmen. **Bild 2** veranschaulicht die Einbauverhältnisse im Klimagerät. Die Durchströmung erfolgt jeweils von links nach rechts.

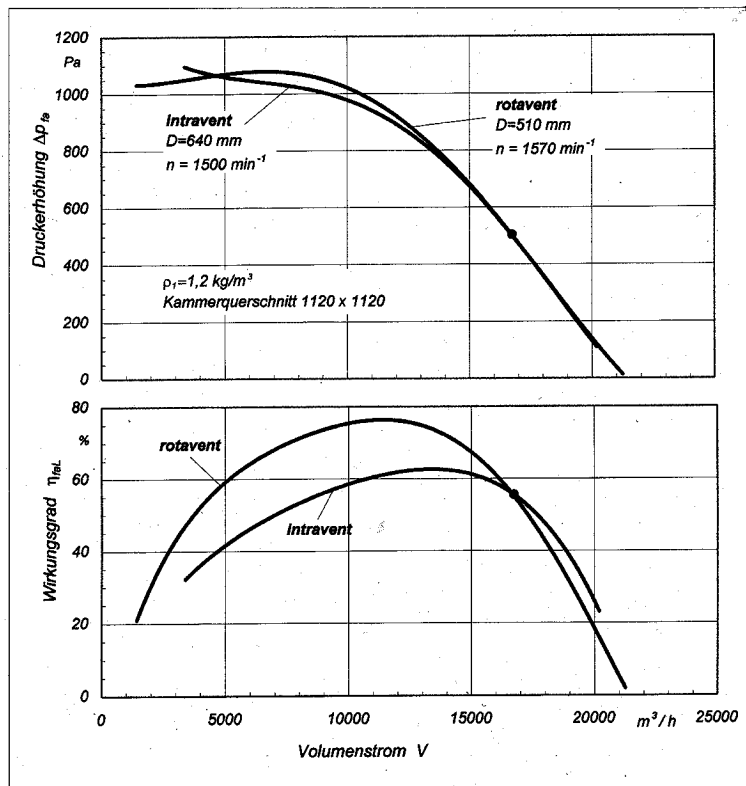
Die richtige Wahl

Stellt man die realen Alternativen freilaufendes Rad und zweiseitig saugender Radialventilator mit Gehäuse gegenüber, ändert sich die Betrachtung gleicher Baugrößen. Tatsächliche Kennlinien für jeweils gleiche Laufraddurchmesser liegen, wie bereits erwähnt, für den Gehäuseventilator im ganzen Betriebsbereich über dem des freilaufenden Rads. Im Vergleich zum einseitig saugenden Ven-

tilator verdoppelt sich für den zweiseitig saugenden der geförderte Volumenstrom bei gleichem Druck. Da der Volumenstrom der 3. Potenz des Durchmessers bei gleichbleibender Drehzahl proportional ist, führt eine Volumenstromverdopplung zu einer Durchmesservergrößerung von ca. 25%. Bei gleicher spezifischer Leistung zugrundeliegender Laufräder entspricht dies in etwa zwei Baugrößenstufen der Normreihe R20. Daher sind die betrachteten Gehäuseventilatoren mit entsprechend größeren Laufrädern freilaufender Räder zu vergleichen. In **Bild 3** ist zu sehen, daß für dieses Durchmesser Verhältnis die Charakteristiken des Gehäuseventilators und des freilaufenden Rads bei vergleichbaren Drehzahlen nahezu aufeinanderfallen. Dargestellt sind die Kennlinien, die für den in Bild 2 skizzierten Einbau im Kasten gemessen wurden. Diese „Einbaukennlinien“ liegen allen weiteren Betrachtungen zu Grunde.

An einem Beispiel soll der Vergleich veranschaulicht werden. Betrachtet man die in der Tabelle 1 eingetragenen Betriebspunkte, so ergeben sich die aufgezeigten Ventilatoralternativen als beste Auswahl. Berücksichtigt man nun, daß für beide Lösungen nur derselbe Einbauraum zur Verfügung steht, so zeigt sich, daß für den Betriebspunkt höheren Volumenstroms und niedrigeren Drucks der bessere Wirkungsgrad für das freilaufende Rad ermittelt werden kann. Der optimale Radialventilator mit Gehäuse hätte eine größere Baugröße und würde daher größere Kastenabmessungen benötigen. Für die Begrenzung durch die Kastenabmessungen wurde hierbei der Vorschlag der RAL¹⁾ Gütegemeinschaft Raumlufttechnische Geräte gewählt, die Mindestwandabstände fordert, für die noch nicht mit deutlichem Leistungsrückgang der eingebauten Ventilatoren zu rechnen ist. Dies führt aber auch zu dem gleichen oben hergeleiteten Baugrößenver-

Bild 3 Einbaukennlinien von Gehäuseventilator und freilaufendem Rad für das betrachtete Beispiel. Gleicher Wirkungsgrad bei gleichem Betriebspunkt für ein Laufraddurchmesser Verhältnis von 1,25.

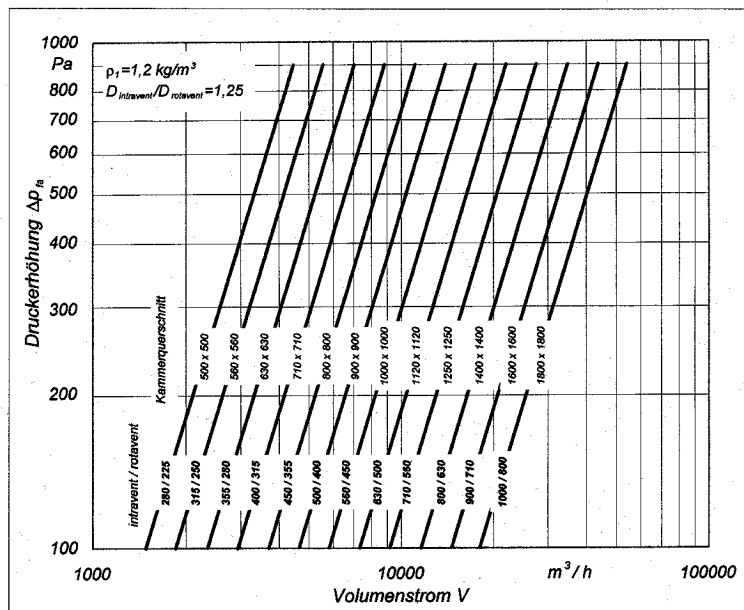


1) Raumlufttechnische Geräte; Gütesicherung RAL-GZ 652, Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V.; Beuth-Verlag, 1995

gleich mit einem Laufraddurchmesser Verhältnis von 1,25. Es ergeben sich jeweils vergleichbare Drehzahlen für gleiche Betriebspunkte in gleichem Kastenquerschnitt (vgl. Bild 2 und 3).

Allgemein kann unter Berücksichtigung der experimentell ermittelten Verluste aufgrund der Einbausituation im Kastengerät für Wandabstände, die den Mindestabständen der Gütegemeinschaft Raumlufttechnische Geräte entsprechen, eine Grenze gefunden werden, die die Einsatzgebiete der jeweils besseren Alternative Gehäuseventilator bzw. freilaufendes Rad voneinander trennt. Für die Ventilatoren mit den in Bild 3 abgebildeten Kennlinien, die den realen Einbaufall beschreiben, ergibt sich das in Bild 4 dargestellte Diagramm. Dargestellt sind die Grenzen, die sich für freilaufende Räder mit um zwei Baugrößensprünge größeren Durchmessern im Vergleich zu entsprechenden Gehäuseventilatoren ergeben. Für Betriebsbereiche rechts dieser Grenzen ist von den verglichenen Alternativen das freilaufende Rad die energetisch bessere Lösung, links davon hat der Radialventilator im Gehäuse den höheren Wirkungsgrad. Es sei darauf hingewiesen, daß sich im Bereich bevorzugter freilaufender Räder Wirkungsgrade ergeben, die rechts und damit unter dem Wert des Schnittpunkts der Kurven liegen, der sich für die verglichenen Ventilatoren generell beim betrachteten Baugrößensprung ermitteln läßt (s. Bild 3).

Nochmals soll daran erinnert werden, daß für das angeführte Beispiel die Einbauverluste, die sich für die genannten Wandabstände ergeben, berücksichtigt



wurden. Sämtliche Kennlinien sind als „Einbaukennlinien“ zu verstehen. Die dargestellten Vorzugsbetriebsbereiche stellen eine Auswahlhilfe dar, die jedoch nur für die betrachteten Vergleiche gilt. Andere Ventilatorcharakteristiken, abweichende Leistungsdichten und Wirkungsgrade, sowie andere Baugrößensprünge und Einbauverhältnisse, die nicht den hier angenommenen Wandabständen entsprechen, ergeben neu zu ermittelnde Grenzen.

Zusammenfassung

Freilaufende Räder und herkömmliche Radialventilatoren mit Spiralgehäuse als Alternativen für den Einbau im Klimakastengerät müssen unter genau definierten Einbau- und Betriebsbedingungen verglichen werden. Nur für Einschränkungen aufgrund beengter Einbauverhältnisse kann das frei-

laufende Rad eine zu bevorzugende Lösung darstellen.

Es wurden für reale geometrische Einbausituationen die Betriebseigenschaften der Alternativen unter optimaler Ausnutzung des zur Verfügung stehenden Platzes verglichen und Grenzen für die Wahl der im Betrieb wirtschaftlich besseren Lösung ermittelt. Dabei soll jedoch deutlich hervorgehoben werden, daß der Vergleich nicht die Physik ideal betriebener Ventilatoren beschreibt und insbesondere für den Fall, für den sich nach den gefundenen Grenzen das freilaufende Rad als die richtige Wahl ergibt, das gesamte System nicht einem energetisch optimierten Konzept mit hohen Systemwirkungsgraden entspricht. [H 6902]

Dr.-Ing. **Johannes Anschütz** und Dipl.-Ing. (FH) **Stefan Härtel**, Gerhard Ventilatoren, Waldenburg

Bild 4 | Grenzlinien gleichen Wirkungsgrades von intravent und rotavent für die angegebenen Einbauquerschnitte und Baugrößenpaarungen. Rechts von der für den konkreten Vergleich ausgezeichneten Linie liegt der Wirkungsgrad des freilaufenden Rades höher als beim Gehäuseventilator. Links von der Linie ist jeweils der Gehäuseventilator energetisch günstiger.