

Entwicklungsprozesse freilaufender Radialräder

Optimierung für den Einsatz in RLT-Geräten

Dipl.-Ing. Alexander Zarschler, Forschung und Entwicklung

Zunehmende Forderungen nach hoher Energieeffizienz und Hygiene in zentralen raumlufttechnischen Geräten haben auch vor Ventilatoren nicht Halt gemacht. Dabei haben sich, nicht zuletzt durch ihre Wirtschaftlichkeit, in den letzten Jahren vor allem direktgetriebene freilaufende Räder mit rückwärts gekrümmten Schaufeln für den Einsatz in Klimazentralgeräten durchgesetzt. Diese kommen der Forderung der RLT-Gerätehersteller nach, energetisch optimierte, kompakte und gleichzeitig leistungsstarke Ventilatoren in raumlufttechnischen Anlagen einsetzen zu können. Ziel der Untersuchungen in der Forschungsabteilung von TLT-Turbo sollte es sein, ein Laufrad zu entwickeln, welches sich durch seine kompakte Bauweise und gleichzeitig hohe Energieeffizienz und Leistungsdichte auszeichnet.

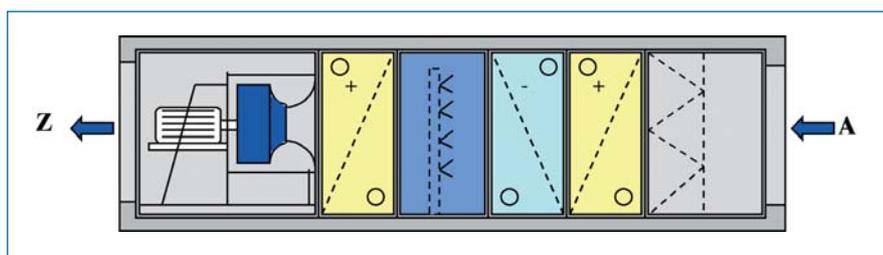


Abb.1 Klimazentralgerät

Vorteile freilaufender Räder

Ventilatoren mit Spiralgehäuse werden üblicherweise über einen Keilriemen angetrieben, wodurch eine feste Betriebsdrehzahl vorgegeben ist. Eine spätere Betriebspunktanpassung und Änderung der Drehzahl kann bei den meisten nicht mit Frequenzumrichter (FU) geregelten Anlagen nur durch den Austausch der Riemenscheiben realisiert werden. Teilweise werden auch riemengetriebene Anlagen über einen FU geregelt, doch auch hier ist das freilaufende Rad im Vorteil, da der Riemenantrieb ein Verschleißteil darstellt, das häufig gewartet werden muss, Abb.1.

Im Gegensatz dazu kann das wartungsfreie freilaufende Radialrad beim Einsatz mit einem Frequenzumrichter stufenlos drehzahlregelt werden, worin erfahrungsgemäß ein hohes Einsparpotential

liegt. Ebenfalls werden durch das direktgetriebene Laufrad die nicht unerheblichen Riemenverluste eliminiert, die den Systemwirkungsgrad des Antriebes nachteilig beeinflussen. Weitere negative Einflüsse wie die An- und Abströmbedingungen, Lagerstreben, Keilriemenscheiben, Keilriemenschutzvorrichtung, Prallplatten etc., die die Zuströmung zum Laufrad behindern, entfallen bei Verwendung eines freilaufenden Rades fast vollständig. Die energetischen Vorteile machen sich vor allem bei kleineren Druckerhöhungen deutlich bemerkbar.

Durch den Wegfall des Riemenantriebes kann gegebenenfalls auf eine zweite Filterstufe am Geräteaustritt verzichtet werden. Die jetzt nicht mehr auftretende Abriebverschmutzung macht meist nur noch einen Filter am Geräteeintritt notwendig. [1] Ein weiterer Vorteil der freilaufenden Räder ist die relativ

niedrige Ausblasgeschwindigkeit auf der Druckseite des Ventilators. Die damit sehr gering ausfallenden dynamischen Anteile am Gesamtdruck machen den Einsatz von freilaufenden Rädern sinnvoll.

Besonders bemerkbar ist dies bei niedrigen Anlagendrücken, da hier der Anteil des dynamischen Drucks an der Gesamtdruckerhöhung relativ hoch ist.

Durch den bereits oben beschriebenen Wegfall von Lagerstreben und Keilriemenscheiben besteht die Möglichkeit einer exakten Volumenstrommessung an der Einlaufdüse. Dabei kann durch die Bestimmung der Druckdifferenz zwischen dem Saugraum des Ventilators und der engsten Stelle der Düse, unter Verwendung eines experimentell bestimmten Kennwertes, der Volumenstrom mit einer Toleranz von +/- 5 % bestimmt werden.

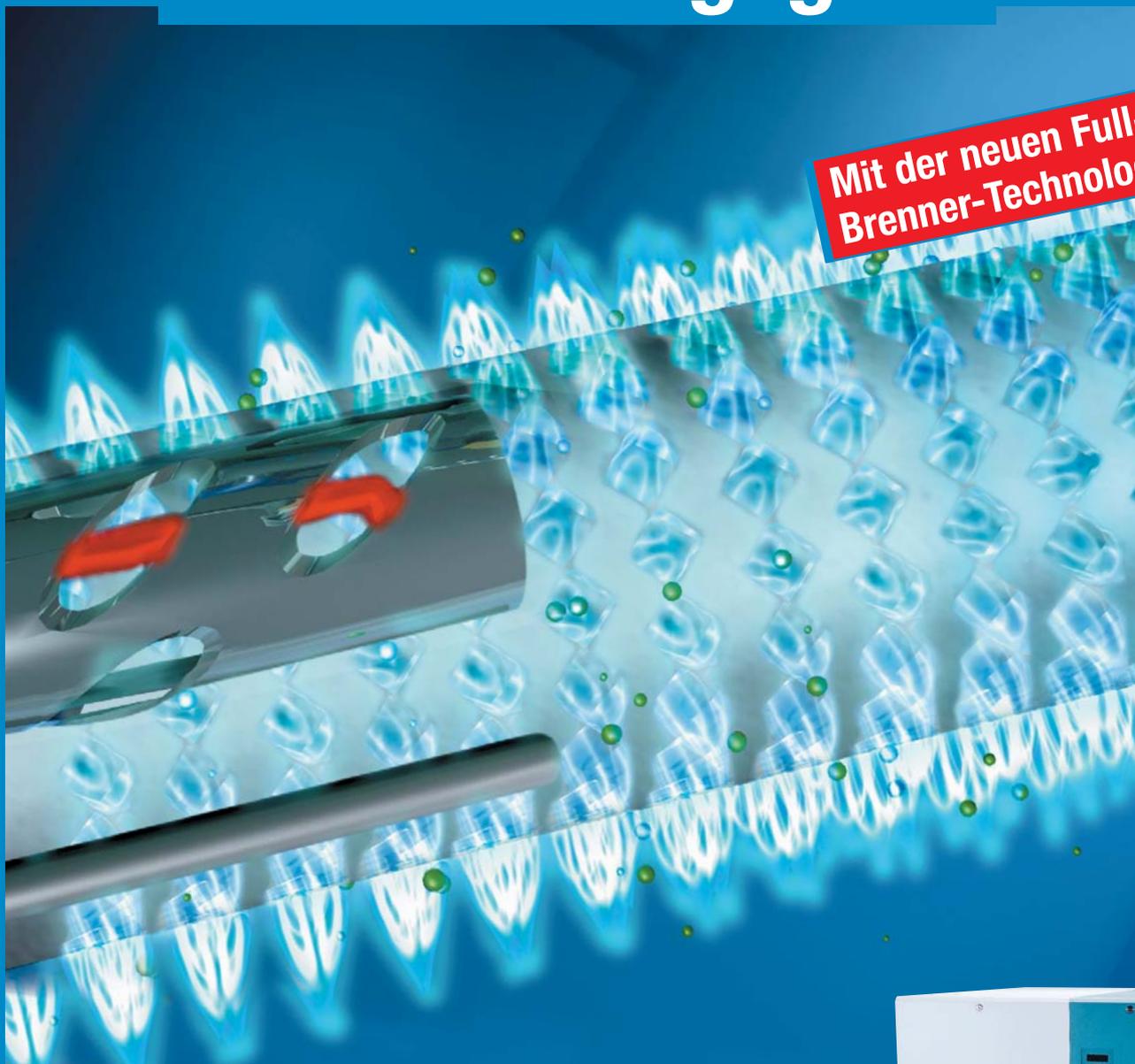
Anforderungen

Da freilaufende Radialräder größtenteils in zentralen raumlufttechnischen Geräten ihren Einsatz finden, bestimmen naturgemäß diese Anforderungen Aussehen, Geometrie und Leistungsbereiche der Räder. Im Folgenden werden die für den Gerätehersteller im einzelnen wichtigen Parameter beschrieben.

Befeuchtung - Entfeuchtung - Kaltwasser - Klima

93 % Wirkungsgrad.

Mit der neuen Full-Circle-Brenner-Technologie.



Gas-Dampfluftbefeuchter Condair GS



Die neu entwickelte 360° Full-Circle-Brenner-Technologie garantiert niedrige Emmisionen. Die innovative Konstruktion des Kammer-Wärmetauschers ermöglicht mit seinem effizienten Wärmeübergang thermische Wirkungsgrade von über 90 %. Besonders bei großen Dampfleistungen ist der Condair GS durch seine wirtschaftliche Betriebsweise eine ideale Lösung. Fordern Sie noch heute unsere ausführlichen Informationsunterlagen an oder wenden Sie sich bitte an eines unserer Regionalcenter. Wir beraten Sie gerne. Tel. 0800 / 800 7999

AxAir

a WMH Company

Axair GmbH Systeme für die Luftkonditionierung, 85748 Garching-Hochbrück, Carl-von-Linde-Str. 25, Tel. 089/32670-0, Fax 089/32670-140, e-mail: info@axair.de, www.axair.de

Tel.: RC Süd 089/326 70-0

RC Südwest 0711/78 87 94-3

RC Mitte 069/984040-0

RC West 0211/690757-0

RC Nord 0511/563597-70

RC Ost 030/556709-0

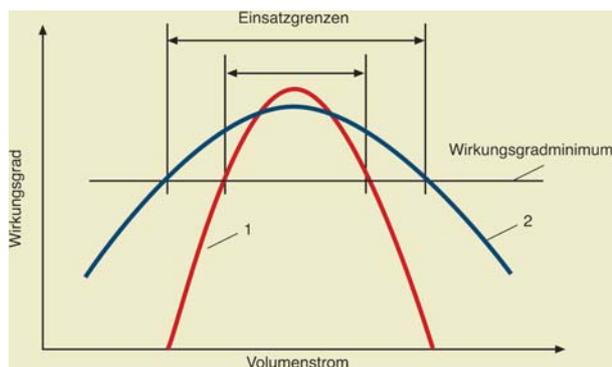


Abb.2 Einsatzgrenzen zweier Radialräder
Rad 1: sehr hoher Wirkungsgrad, kleiner Einsatzbereich
Rad 2: hoher Wirkungsgrad, großer Einsatzbereich

Ein wichtiges Kriterium für den Einsatz in RLT-Geräten ist die Kompaktheit der Laufräder. Diese sollten einen möglichst großen Leistungsbereich bei gleichzeitig geringer Baugröße aufweisen. Daraus ergeben sich entscheidende Vorteile wie geringe Anschaffungskosten, reduzierter Platzbedarf und verbesserte Hygiene.

Entscheidend für die Einsatzbreite und die Wirtschaftlichkeit des RLT-Gerätes ist natürlich das Zusammenspiel zwischen Leistungsvermögen, Schallemission und mechanischer Beanspruchbarkeit (max. mögliche Drehzahl). Daraus resultierend sollte das Laufrad in einem breiten Volumenstrombereich bei gleichzeitig hohem Spitzenwirkungsgrad arbeiten können.

Es bringt also dem Hersteller wenig, wenn das Rad einen Spitzenwirkungsgrad weit über 70 % aufweist, diesen aber nur über einen recht kleinen Volumenstrombereich aufrecht erhalten kann, Abb.2. Die Hersteller fordern ein Rad, welches vom Wirkungsgradoptimum ausgehend, weder zur rechten noch zur linken Seite des Volumenstrombereiches stark abfällt.

Um erhöhte Kosten für eine nachträgliche Schalldämpfung zu vermeiden, sollte großes Augenmerk auf die durch das Laufrad entstehenden Schallemissionen gelegt werden. Der Wirkungsgrad sollte mit einem möglichst geringen Schallpegel einhergehen.

Ein ebenfalls sehr wichtiger Punkt für den Hersteller ist die mechanische Beanspruchbarkeit des Laufrades. Durch die bessere Regelbarkeit seit dem Einsatz von Frequenzumrichtern werden die Räder über ein breites Drehzahlspektrum eingesetzt. Dabei werden diese oft bis an die mechanischen Grenzen der Radkonstruktion beansprucht.

Entwicklung eines neuen Laufrades

Am Anfang einer solchen Entwicklung stehen immer die oben beschriebenen Anforderungen an ein Laufrad. Trotz der Standardisierung und Serienfertigung von Ventilatoren ist es nötig, diese optimal

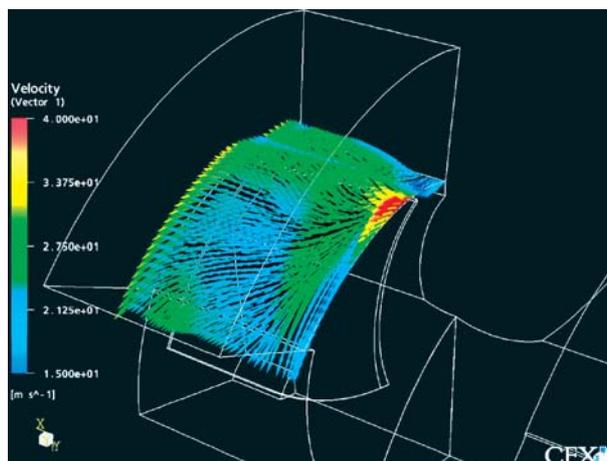


Abb.3 Geschwindigkeitsvektoren auf der Schaufeloberseite, berechnet durch CFD

an den kundenspezifischen Anwendungsfall anzupassen.

Der Einsatz von entsprechender Entwicklungssoftware ist heutzutage unerlässlich. Dabei kommen diverse Berechnungsprogramme, CAD-Systeme und in den letzten Jahren immer häufiger FEM-Spannungsanalysen (Finite-Element-Analyse) und CFD-Systeme (Computational Fluid Dynamics) zum Einsatz, Abb.3. Letztere bieten dem Anwender die Möglichkeit, ganze Ventilatoren oder Teilsegmente am Computer zu

simulieren und diese strömungstechnisch zu untersuchen. Basierend auf den „Navier-Stokes-Gleichungen“ können Fluidströmungen durch mathematische Gleichungen beschrieben werden. Somit können relevante Größen wie Geschwindigkeit, Druck, Dichte, Temperatur etc. berechnet werden, wodurch es möglich ist, verschiedene konstruktive Varianten zu simulieren und entsprechende Störfaktoren bereits im Vorfeld zu eliminieren.

Mit der FEM-Spannungsanalyse wird die gewählte Radkonstruktion auf ihre statische, dynamische und bruchmechanische sowie thermische Festigkeit überprüft und dimensioniert. Durch die Anwendung dieser verschiedenen Hilfsprogramme beschleunigt sich die Entwicklungszeit eines solchen Produktes erheblich. Aber trotz der zur Verfügung stehenden Möglichkeiten, einen Ventilator mit aufwändigen

Rechenverfahren auszuliegen und zu optimieren, kann auf herkömmliche Rechenmethoden, den Bau verschiedener Prototypen, praktische Messungen und nicht zuletzt wichtige Erfahrungswerte nicht verzichtet werden. Hierbei bietet sich durch ihr zeitsparendes Rechenverfahren die eindimensionale Eulersche Stromfadentheorie an. Dabei wird der durchaus komplexe Strömungsverlauf zwischen Radeinlauf und Schaufelaustritt durch einen einzigen Stromfaden beschrieben, auf dem eine mittlere Strömungsgeschwindigkeit herrscht, die sich aus dem Volumenstrom und dem entsprechenden Durchflussquerschnitt ergibt. [2]

Wie anfänglich bereits beschrieben, soll ein derartiges Laufrad einen möglichst großen Leistungsbereich bei gleichzeitig geringer Baugröße abdecken.

Zu Vergleichszwecken werden hierzu die bekannten dimensionslosen Kennwerte herangezogen: Eine Steigerung der Leistungsdichte im Optimalpunkt ist, wie aus Formel (4) er-

- Lieferzahl: (1)

$$\varphi = \frac{\dot{V} \cdot 4}{u_2 \cdot \pi \cdot d_2^2}$$

Die Lieferzahl beschreibt das Verhältnis der tatsächlichen zur theoretisch möglichen Fördermenge (Produkt aus Kreisfläche des Rades und Umfangsgeschwindigkeit).

- Druckzahl: (2)

$$= \frac{\Delta p \cdot 2}{\rho \cdot u_2^2}$$

Die Druckzahl des Rades ergibt sich aus dem Verhältnis der vom Rad erzeugten Druckhöhe zum Staudruck der Umfangsgeschwindigkeit.

- Wirkungsgrad: (3)

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

Der Wirkungsgrad beschreibt das Verhältnis der Förderleistung zur Wellenleistung.

Der Wirkungsgrad der hier untersuchten freilaufenden Räder sollte sich für den Auslegungsfall in Klimazentralgeräten in einem Bereich von 60 bis über 70 % bewegen. Dabei ist eine hohe Schluckfähigkeit φ bei gleichzeitig hoher Druckzahl ψ zu erzielen. Ausgehend vom beschriebenen näherungsweise konstanten Wirkungsgradoptimum η_{opt} ergibt sich damit die größte Luftleistung bei kleinsten Abmessungen durch:

Das Produkt aus Lieferzahl und Druckzahl muss möglichst groß sein.

Es wird als Leistungsdichte beschrieben.

- Leistungsdichte: (4)

$$= \varphi \cdot \psi$$

sichtlich, durch die Anhebung der Druckzahl ψ und der Lieferzahl φ möglich.

Ziel der Untersuchungen in der Forschungsabteilung von TLT-Turbo sollte sein, einen direktgetriebenen freilaufenden Radialventilator mit möglichst großer Leistungsdichte im oben beschriebenen Wirkungsgradbereich zu entwickeln.

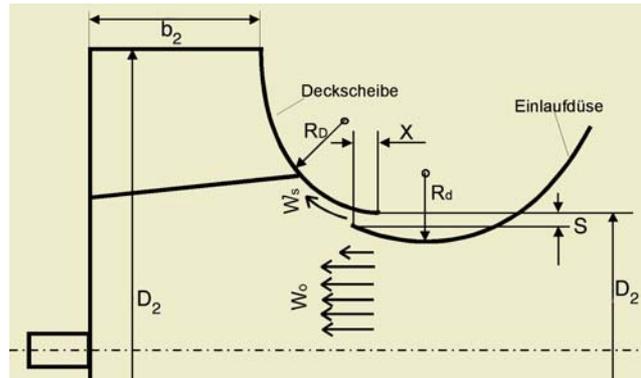


Abb.4 Meridianschnitt des freilaufenden Rades

Möglichkeit der Druckzahlsteigerung

Nach [3] kann die Druckzahl ψ im Bereich der rückwärtsgekrümmten Schaufeln durch die Vergrößerung des Schaufelwinkels β_2 erfolgen. Dieser lässt sich aber naturgemäß nicht beliebig steigern. Bei konstanter Schaufelzahl und vergrößertem Schaufelaustrittswinkel kann es zu Strömungsablösungen durch die wachsende Schaufelbelastung an der Schaufelaußenseite kommen. Diese Ablösung während der Umlenkung von der axialen in eine radiale Strömung (Meridianströmung) führt zu einer Verminderung der Druckerhöhung und Reduzierung des Wirkungsgrades. Eine Erhöhung des

Möglichkeit der Volumenzahlsteigerung

Als einfachstes Mittel, die Schluckfähigkeit und damit die Volumenzahl φ eines Laufrades zu erhöhen, hat sich die Vergrößerung der Laufradbreite b herausgestellt. Der Durchsatz des Laufrades wächst dabei proportional zur Verbreiterung der Schaufel an. Die Schaufelbreite kann auch hier naturgemäß nicht beliebig erhöht werden. Die physikalischen Grenzen liegen dabei in der Einhaltung einer abrissfreien Strömung und natürlich in der mechanischen Festigkeit des Laufrades. Ab einem bestimmten Breitenverhältnis D_2/b_2 kommt die Strömung im Meridianschnitt nicht mehr zum

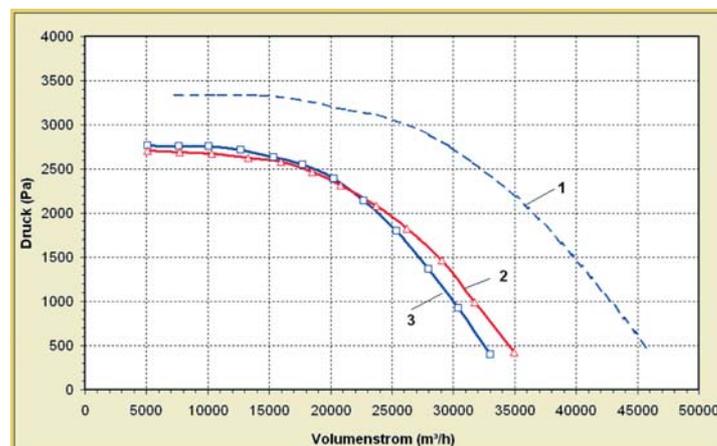


Abb.8 Nenngrößenreduzierung von NG 710 auf NG 630 im gleichen Betriebspunkt
1) ER 30/3.5 NG 710
2) Herkömmliches Radialrad NG 710
3) ER 30.3.5 NG 630

Schaufelaustrittswinkels und damit der Druckzahl ψ kann also nur mit einer Erhöhung der Schaufelzahl z einhergehen, um die Schaufelbelastung und damit das Abreißen der Strömung in vertretbaren Grenzen zu halten. Eine Erhöhung der Schaufelzahl führt wiederum zur Erhöhung der Grenzschichtreibung im Schaufelkanal (innere Verluste).

Anliegen, was eine entsprechende Verringerung der Druck- und Volumenzahl sowie auch des Wirkungsgrades zur Folge hat. Darüber hinaus ist ein Anliegen der Strömung in bestimmtem Maße nur durch das Optimieren des Spalt-Ansaugverhältnisses s/D_s und dadurch das Steigern der Spaltgeschwindigkeit zu erreichen. Dabei wird die Spaltluft tangential zur Laufrad-

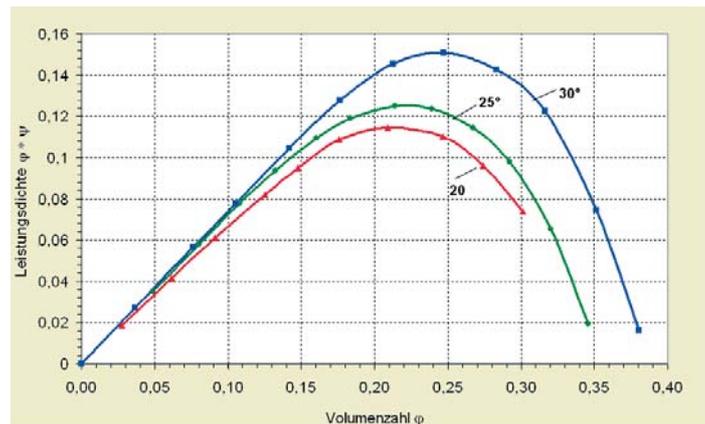
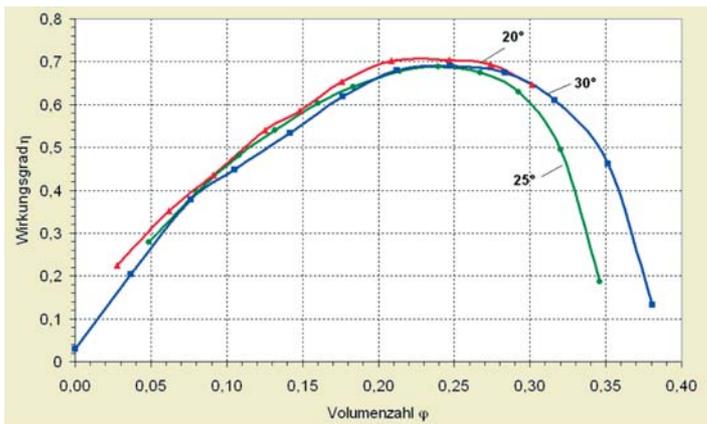


Abb.5 Laufräder mit Breitenverhältnis $D_2/b_2=4,2$

Wirkungsgrad und Leistungsdichte über Volumenzahl für verschiedene Schaufelaustrittswinkel

1) Schaufelaustrittswinkel $\beta_2=20^\circ$ 2) Schaufelaustrittswinkel $\beta_2=25^\circ$ 3) Schaufelaustrittswinkel $\beta_2=30^\circ$

Alle Messungen wurden am TLT Prüfstand gemäß den Vorgaben von [4] und [5] durchgeführt.

deckscheibe zurückgeführt, wodurch die energiearmen Grenzschichten durch zusätzliche Blasluft angereichert werden und sich die Strömung während der Umlenkung stabilisiert [2]. Die Wirksamkeit des Spaltstrahls zur Unterstützung der Umlenkung der Strömung ist abhängig vom optimalen Geschwindigkeitsverhältnis w_3/w_0 . Mit zunehmender Leistungsdichte durch die Erhöhung der Volumenzahl φ ist mit einer leichten Abnahme der Drosselziffer zu rechnen.

Daraus ergibt sich aus der Abnahme des Spaltimpulses durch den geringeren statischen Druck das nun reduzierte Spaltgeschwindigkeitsverhältnis w_3/w_0 . Bedingt aus dem nun ungünstigen Verhältnis von Spaltgeschwindigkeit zu Grundge-

schwindigkeit w_3/w_0 tritt auch hier bei einer Grenzwertüberschreitung eine Ablösung der Strömung auf. Der große Einfluss dieser Parameter auf die Leistung des Ventilators zeigt, wieviel Wert auf eine genaue Auslegung der Einlaufdüsenkontur, des Spaltüberstandes (X), der Spaltbreite (S) und der Deckscheibenkontur zu legen ist, Abb.4.

Im weiteren Verlauf wurden verschiedene Laufräder berechnet und entsprechende Prototypen gebaut. Um die Auswirkung der verschiedenen Parameter festzustellen, wurden im ersten Schritt Laufräder mit einem Breitenverhältnis $D_2/b_2=4,2$ und Schaufelaustrittswinkeln β_2 von 20°, 25° und 30° getestet.

Aufgrund der wachsenden Schaufelbelastung wurde für das Laufrad

mit dem Schaufelaustrittswinkel $\beta_2=30^\circ$ eine Schaufelzahl von $z=8$ gewählt, für die übrigen Laufräder eine Schaufelzahl von $z=6$ Schaufeln.

Abb.5 zeigt deutlich die Erhöhung der Leistungsdichte mit ansteigendem Schaufelaustrittswinkel β_2 . Mit zunehmender Leistungsdichte ist ein leichter Rückgang des Wirkungsgrades zu vermerken, der im Optimum bei rund 1-1,5 % liegt.

Dem gegenüber steht ein Gewinn der Leistungsdichte im Wirkungsgradoptimum von 21 % bezogen auf das 25°-Laufrad und sogar 31 % bezogen auf das 20°-Laufrad.

Als zweiter Entwicklungsschritt wurde eine Verbreiterung der Laufradschaufel vorgenommen. Das hier verwendete Breitenverhältnis

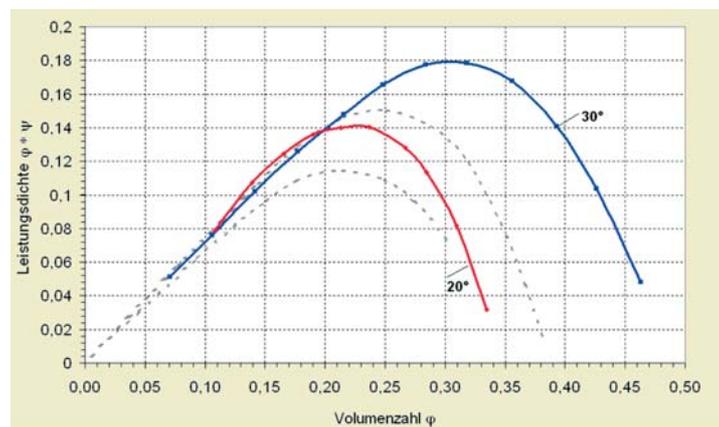
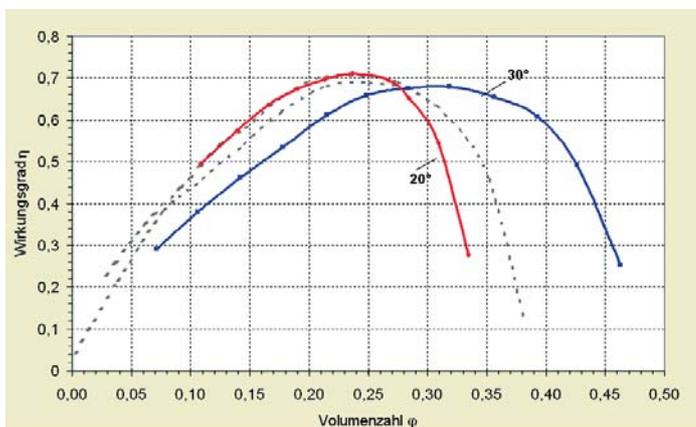


Abb.6 Laufräder mit Breitenverhältnis $D_2/b_2=3,5$

Wirkungsgrad und Leistungsdichte über Volumenzahl für verschiedene Schaufelaustrittswinkel

1) Schaufelaustrittswinkel $\beta_2=20^\circ$ 2) Schaufelaustrittswinkel $\beta_2=30^\circ$

grau gestrichelt sind die entsprechenden Werte für das Breitenverhältnis $D_2/b_2=4,2$

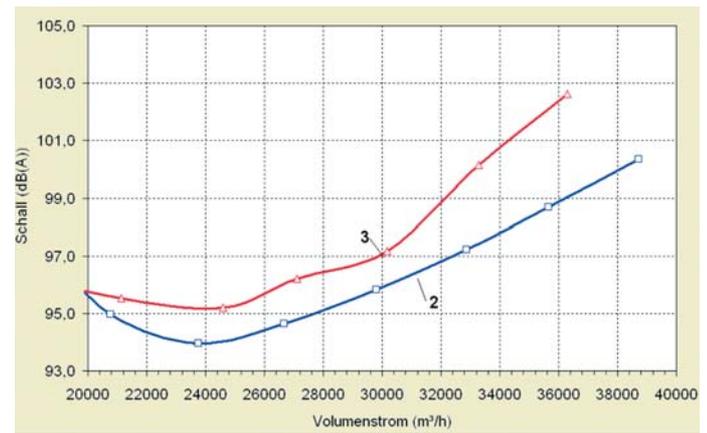
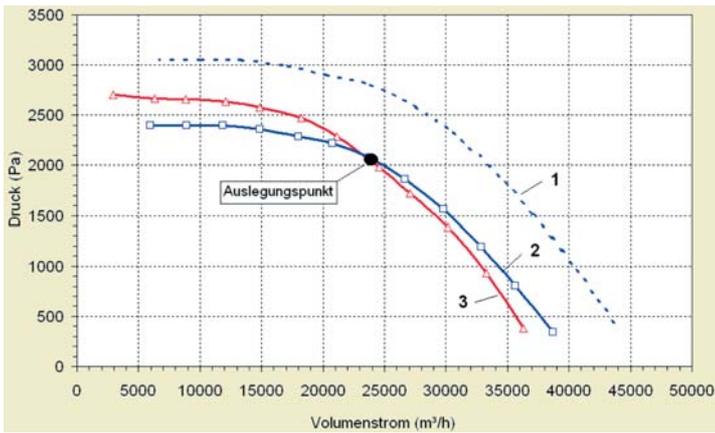


Abb.7 Vergleich eines herkömmlichen freilaufenden Rades mit dem ER 30/3.5 im gleichen Betriebspunkt; $V = 23000 \text{ m}^3/\text{h}$; $d_{pt} = 2100 \text{ Pa}$
 1) ER 30/3.5 bei 2225 min^{-1} 2) ER 30/3.5 bei 1950 min^{-1} (reduzierte Drehzahl) 3) Vergleichsrad selber NG bei 2225 min^{-1}

$D_s/b_2 = 3,5$ entspricht einer Verbreiterung der Schaufel von ungefähr 20 %. Abb.6 zeigt den enormen Zugewinn an Leistungsdichte im Wirkungsgradoptimum. Das 30° -Laufblad mit verbreiterten Schaufeln deckt einen weitaus größeren Leistungsbe-
 reich ab als alle anderen Räder. Die Wirkungsgradeinbuße von ca. 2,5 % fällt gegenüber dem Leistungsdichtegewinn von weiteren 28 % allenfalls klein aus. In akustischer Hinsicht kann das freilaufende Rad ebenfalls überzeugen. Der A-bewertete Schallleistungspegel bei gleicher Nenndrehzahl entspricht herkömmlichen freilaufenden Rädern.

Der große Vorteil liegt jedoch in der großen Schluckfähigkeit des Rades; d.h. im gleichen Betriebspunkt kann das ER 30/3.5 mit weit-
 aus geringeren Drehzahlen betrie-

ben werden als vergleichbare Räder, was sich dann in einer geringeren Schallleistung widerspiegelt, Abb.7. Im direkten Vergleich zu herkömmlichen freilaufenden Rädern ist es mit dem ER 30/3.5 sogar möglich, den gleichen Betriebspunkt mit einer Nenngroße kleiner abzudecken, Abb.8, siehe S. 101.

Beim Vergleich des neu entwickelten freilaufenden Radialaufrades ER 30/3.5 mit anderen auf dem Markt befindlichen freilaufenden Rädern fällt auf, dass hier bei gleichzeitiger Konstanthaltung des Wirkungsgrades eine weitaus höhere Leistungsdichte erreicht wird, Abb.9 und 10. Damit wurde das anfänglich gesetzte Ziel erreicht und ein freilaufendes Rad hoher Leistungsdichte für den Einsatz in RLT-Geräten entwickelt.

Literaturangaben

- [1] Kaup, C.: Einsatz von freilaufenden Rädern als Ventilatorsystem in RLT-Geräten, HLH 47 (1996) Nr. 8, S. 34-38
- [2] Bommes, L.: Problemlösungen bei der Gestaltung von Radialventilatoren, HLH 25 (1974) Nr. 12, S. 420-425
- [3] Leist, H., Roth, H. W., Schilling, R., Zieryp, J., Neuere Entwicklungen auf dem Gebiet der Radialventilatoren hoher Leistungsdichte, HLH 30 (1979) Nr.11, S. 443-447
- [4] DIN 45635 Geräuschmessungen an Maschinen, Teil 9
- [5] DIN 24163 Ventilatoren; Leistungsmessung, Normprüfstände, Teil 2

Autor

Dipl.-Ing. Alexander Zarschler

Forschung und Entwicklung

TLT Turbo, Bad Hersfeld

www.tlt.de

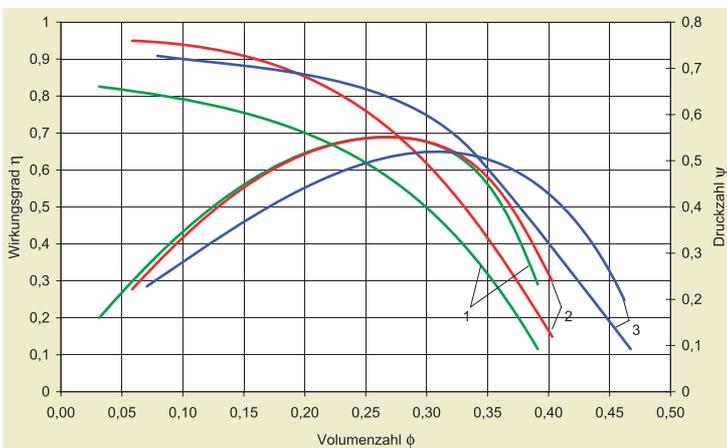


Abb.9 Wirkungsgrad und Druckzahl
 Vergleich Kennlinien ER 30/3.5 (= 3) mit Rädern verschiedener Hersteller. Vergleichsrad 1 Vergleichsrad 2

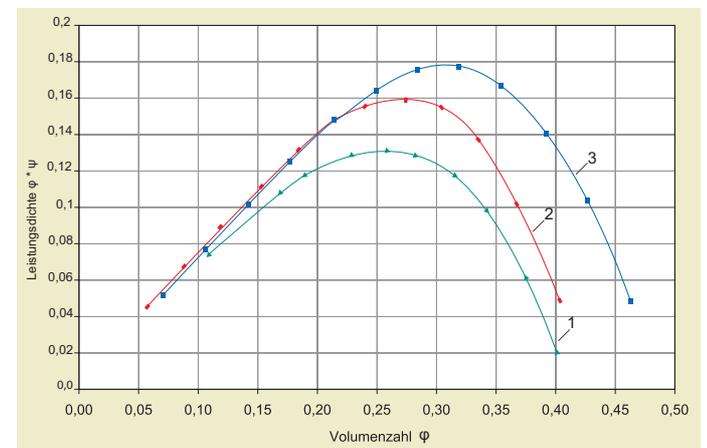


Abb.10 Leistungsdichte

Die Welt ist keine Scheibe - Ihre Anzeigen auch nicht [...]

Anmeldung
Service-Box



innovatools

Werkzeuge für den Erfolg

Fach.**Journal**

Fachzeitschrift für Erneuerbare Energien & Technische Gebäudeausrüstung

[Hier mehr erfahren](#)



innovapress

*Innovationen publik machen
schnell, gezielt und weltweit*

Filmproduktion | Film & Platzierung | Interaktive Anzeige | Flankierende PR | Microsites/Landingpages | SEO/SEM | Flashbühne