

Automatisierte Dimensionierung und Konstruktion von Radialventilatoren hoher aerodynamischer und akustischer Güte

I. Horvat, BEng., Düsseldorf;
Prof. Dr. Ing. **F. Kameier**, Düsseldorf;
A. Peus, BEng., Düsseldorf;
Dipl.-Ing. **D. Reinartz**, Düsseldorf;

Kurzfassung:

Mit Hilfe einer Verrechnung von dimensionslosen Kennzahlen in einem Excel-Berechnungsblatt ist es möglich, die vollständige Geometrie eines Radialventilators mit rückwärts gekrümmten Schaufeln zu erhalten. Unter Autodesk Inventor wurde eine parametrische 3D-Zeichnung entwickelt, die es ermöglicht, die berechneten Geometrien des Radialventilators aus einer Exceltabelle heraus darzustellen. Exemplarisch ist ein Radialventilator dimensioniert und gebaut worden. Aerodynamisch und akustisch wurde der Ventilator an einem Kanalprüfstand der Fachhochschule Düsseldorf vermessen. Zentrale Bedeutung hatten dabei die Drehzahl, die Totaldruckerhöhung, der Volumenstrom, der aerodynamische Wirkungsgrad sowie die Geräuschemission.

1. Einleitung

Die Anforderungen an Ventilatoren hinsichtlich Effizienz, Flexibilität beim Einbau und des Einsatzbereichs, Regelung, Geräusch und Dauerbelastung sind in den letzten Jahren stetig gestiegen. Wie in allen Bereichen des modernen Maschinenbaus ist neben der technischen Komponente die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung das wesentliche Entscheidungskriterium bei der Ventilatorenauswahl. Zum jetzigen Zeitpunkt stellt sich in der Praxis das Problem, dass der Einsatzbereich von Ventilatoren mit dem zu fördernden Volumenstrom und der notwendigen Druckerhöhung in der Regel durch den Einbau in eine technische Anlage vorgegeben, der Ventilator an die Anforderungen aber hinsichtlich Energieverbrauch und Geräuschentwicklung nicht angepasst wird. Physikalisch ist das damit zu begründen, dass der Ventilator als Strömungsmaschine nur für einen einzigen Betriebspunkt optimal ausgelegt werden kann, der spätere Einsatz erfolgt aber immer über einen Betriebsbereich mit zum Teil erheblichen Abstrichen beim Wirkungsgrad und einer deutlichen Anhebung des Geräuschpegels. Ferner bietet der Markt für viele Anwendungsfälle nur Serienventilatoren an, die möglichst breit einsetzbar und somit schon von ihrer Auslegung her technisch nicht ideal sind.

2. Dimensionierung

Die Dimensionierung erfolgt in einem Excel-Berechnungsblatt. Mithilfe der vorgegebenen Daten, Volumenstrom, mittlere Dichte, Totaldruckerhöhung und Drehzahl wird die Schnelllaufzahl σ berechnet:

$$\sigma = 2^{1/4} \cdot \pi^{1/2} \cdot n \cdot \frac{\dot{V}^{1/2}}{\left(\frac{\Delta p_t}{\rho_m}\right)^{3/4}} = \frac{\varphi^{1/2}}{\psi^{3/4}} \quad (1)$$

Mit der berechneten Schnelllaufzahl wird nun über die von Bommes/Reinartz (1997) /1/ entwickelten Entwurfspolynome die Druckzahl ψ und der Wirkungsgrad η_i bestimmt: Dabei sind die Entwurfspolynome speziell für Ventilatoren radialer Bauart entwickelt worden.

$$\lg \psi_p = -0,0381488 - 1,04357(\lg \sigma) - 0,502523(\lg \sigma)^2 + 0,0704883(\lg \sigma)^3 \quad (2)$$

$$\lg \eta_{ip} = -0,097358 - 0,0800538(\lg \sigma) + 0,151771(\lg \sigma)^2 + 0,340467(\lg \sigma)^3 \quad (3)$$

Mit σ im Zusammenhang mit ψ wird dann die Lieferzahl φ ermittelt. Aus diesen dimensionslosen Kennzahlen werden die konstruktiven Laufrad- und Radeinlaufabmessungen berechnet. Bild 1 zeigt den Ausschnitt des Excel-Berechnungsblatts, in dem die Berechnungen durchgeführt werden.

Vorgaben zur Bestimmung eines radialen Laufrades											
Volumenstrom	V_pkt_m^3/h	250 [m^3/h]	1	1	1				X_zunge	0	
mittlere Dichte	rho	1.2 [kg/m^3]	1.2	1.2	1.2				kappa4	1	
Totaldruckerhöhung	delta_p	5000 [Pa]	1	1	1				kappa1	1	
Drehzahl	n	10000 [1/min]	200	200	200				alpha_steig	0	
Dimensionierung des Laufrades											
Volumenstrom	V_pkt	0.069 [m^3/s]	0.000	0.000	0.000						
Nutzleistung	P	0.347 [kW]	0.000	0.000	0.000						
Stutzenarbeit	Y	4167 [m^2/s^2]	1	1	1						
Schnelllaufzahl	sigma	0.18	0.13	0.13	0.13						
	eta_p	0.803	0.728	0.728	0.728						
	psi	1.142	1.258	1.093	1.258						
	phi	0.039	0.025	0.021	0.025						
Laufradaussendurchmesser	D_2	0.163 [m]	0.110	0.118	0.110						
Laufradeintrittsdurchmesser	D_1	0.053 [m]	0.029	0.029	0.029						
Durchmesserverhältnis	D_1/D_2	0.323	0.267	0.249	0.267						
rel. Schaufeleintrittsbreite	b_1/D_1	0.405	0.386	0.386	0.386						
Schaufeleintrittsbreite	b_1	0.021 [m]	0.011	0.011	0.011						
rel. Schaufelaustrittsbreite	b_2/D_2	0.089	0.058	0.050	0.058						
Schaufeleintrittsbreite	b_2	0.015 [m]	0.006	0.006	0.006						
Deckscheibewinkel	gamma	[°]	[°]	[°]	[°]				Breite [m]		
Schaufeleintrittswinkel	beta_1	39.66 [°]	47.20	47.20	47.20				Höhe [m]		
Schaufeleintrittswinkel	beta_2	49.66 [°]	57.20	57.20	57.20						
	alpha_1	90.00 [°]	90.00	90.00	90.00				r_z	0.089	
	alpha_2	[°]							r1_strich	0.112	
Krümmungsradius_Deckscheibe	r_D	0.007 [m]	0.004	0.004	0.004				r2_strich	0.142	
Krümmungsradius_Einstromdüse	r_E	0.007 [m]	0.004	0.004	0.004				r3_strich	0.179	
Durchmesser	D_A	0.066 [m]	0.037	0.037	0.037				r4_strich	0.226	
Spaltweite	s_w	0.0011 [m]	0.0006	0.0006	0.0006				X_zunge	0	
Spaltlänge	l	0.0021 [m]	0.0012	0.0012	0.0012				kappa4	1	
Gehäusebreite	B_	0.044 [m]	0.019	0.018	0.019				kappa1	1	
Seitenlänge Stutzen	A_	0.079 [m]	0.056	0.061	0.056				alpha_steig	0	

Bild 1: Ausschnitt aus dem Excel-Berechnungsblatt zur Dimensionierung des Laufrades.

Bei der Dimensionierung des Spiralgehäuses, wird mithilfe zweier Berechnungsverfahren, einer empirischen entwickelten Vier-Radien-Methode (verlustbehaftet) und die aus der Potenzialtheorie hergeleiteten logarithmische Spirale (verlustfrei), eine Gehäusekontur in einem kartesischen Koordinatensystem dargestellt. Anhand eines visuellen Vergleichs der beiden

Methoden in diesem Diagramm (Bild 2) kann eine Optimierung des Spiralgehäuses erfolgen. Im Rahmen einer Diplomarbeit wurde dieses Verfahren von Müller (2001)/2/ entwickelt und in einer Excel-Tabelle angelegt. Die Hypothese des Optimierungsprozesses ist, dass die Strömungsverluste klein sind, wenn die Vier-Radien-Methode und die logarithmischen Spirale praktisch zur selben Gehäusekontur führen. Bild 2 zeigt den Ausschnitt des Excel-Berechnungsblatts in dem die Optimierung des Gehäuses vorgenommen wird.

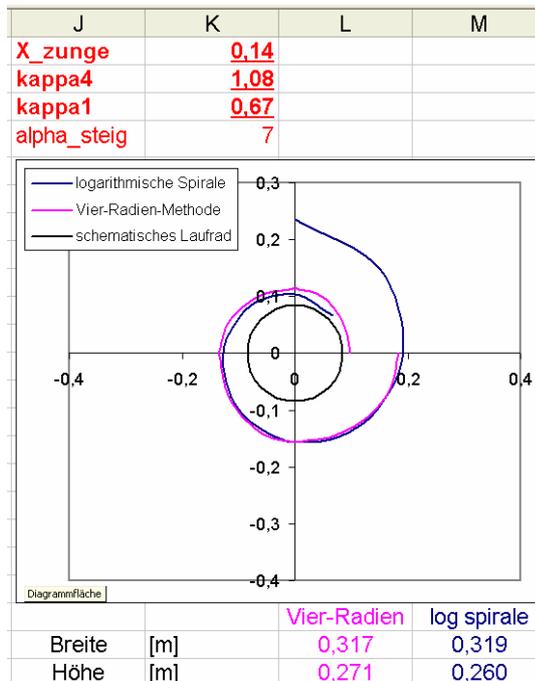


Bild 2: Auszug aus dem Excel-Berechnungsblatt zur Dimensionierung des Gehäuses.

3. Parametrisierte 3D-Konstruktion

Im Rahmen einer Bachelor-Thesis, wurde von Horvat/Peus (2005)/3/ zunächst ein parametrisiertes 3D-Modell, unter Autodesk Inventor, des Laufrades erstellt. Zu einem späteren Zeitpunkt wurde das Gehäuse mit in das parametrisierte Modell aufgenommen. Das Modell ist direkt mit dem Excel-Berechnungsblatt verbunden. Bild 3 zeigt den Vergleich zwischen der virtuellen Ausgabe und dem tatsächlich gefertigten Laufrad.

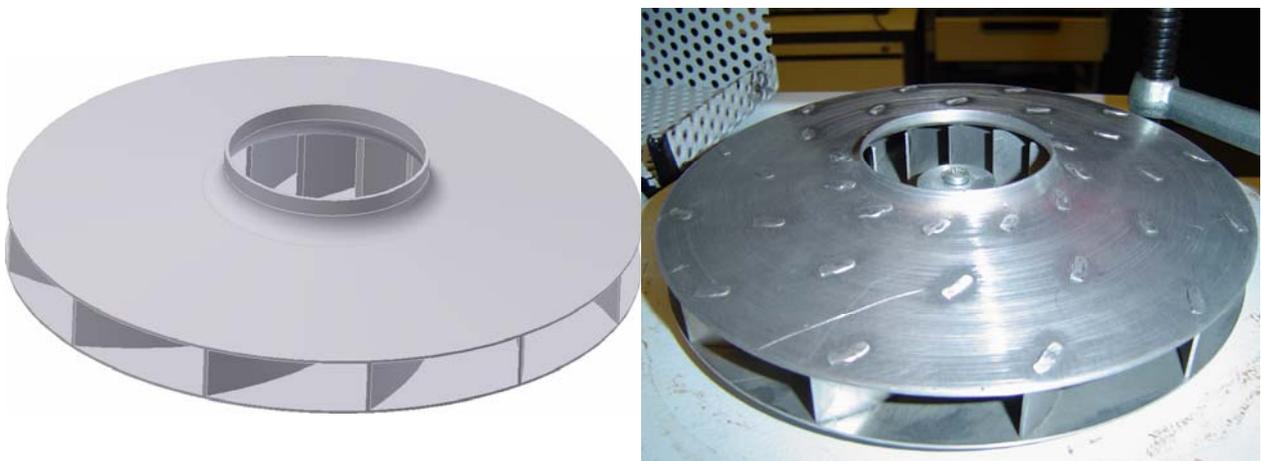
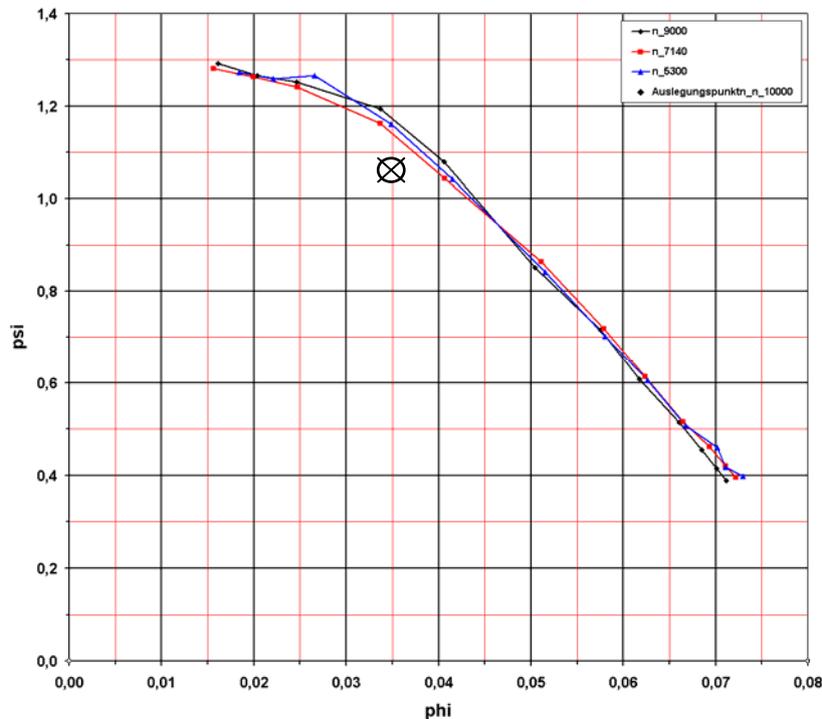


Bild 3: Vergleich des virtuellen mit dem gefertigten Laufrad.

2. Validierung des Auslegeverfahrens

An einem Kanalprüfstand der Fachhochschule Düsseldorf wurde der Ventilator aerodynamisch und akustisch vermessen. Die Kenngrößen der Auslegung wurden stets erreicht und teilweise sogar übertroffen. Bild 4 zeigt das dimensionslose Kennfeld. Es wurde bei 5300, 7140 und 9000 U/min gemessen. Die Kurven zeigen eine gute Übereinstimmung.



Druckzahl

Bestpunkt:

1,193

Auslegungspunkt:

1,061

Bestpunkt ca. 10% über dem Auslegungspunkt

Lieferzahl

Bestpunkt:

0,0337

Auslegungspunkt:

0,035

Bestpunkt ca. 4% unter dem Auslegungspunkt

Bild 4: Dimensionsloses Kennfeld

5. Zusammenfassung

Mit dem hier beschriebenen Verfahren, auf Grundlage eines aus der Literatur bekannten semiempirischen Verfahrens, wurde eine Excel-Auslegungstabelle erstellt, mit deren Hilfe unter Einbezug vorgegebener Förderdaten schnell die Dimensionierung des Laufrades, der Einlaufdüse und des Spiralgehäuses vorgenommen werden kann. Des Weiteren wurde unter Autodesk Inventor eine parametrisierte 3D-Zeichnung erstellt, die mit der Excel-Auslegungstabelle verknüpft ist.

/1/ Bommers, L., Reinartz, D.: Entwurfspolynome zur optimalen Auswahl und Bemessung von Industrieventilatoren radialer Bauart, 5th Conference of Industrial Fans, Zakopane, 6-8th October 1997

/2/ <http://ifs.muv.fh-duesseldorf.de/Veroeffentlichungen/veroeffentlichungen.htm> Müller, Auslegung und Erprobung einer leisen und effizienten Radialventilatoreinheit für den Einsatz in einem Océ Farbkopierer. VDI Tagung, Braunschweig, 2001

/3/ <http://ifs.muv.fh-duesseldorf.de/Abschlussarbeiten/abschlussarbeiten.htm> Horvat/Peus, Auslegung und aeroakustische Optimierung eines Radialventilators, Bachelor Abschlussarbeit FH Düsseldorf, 2005.