

Prof. Dipl.-Ing. Willi Bohl

8.6

# Ventilatoren

Berechnung · Konstruktion · Versuch · Betrieb



VOGEL-BUCHVERLAG  
WÜRZBURG

# Inhaltsverzeichnis

Vorwort .....	5
Die wichtigsten Formelzeichen und Einheiten .....	10
<b>1 Hauptbetriebsdaten von Ventilatoren .....</b>	<b>13</b>
1.1 Volumenstrom .....	13
1.2 Druckerhöhung .....	15
1.3 Spezifische Förderarbeit .....	18
1.4 Leistung .....	21
1.5 Wirkungsgrad .....	22
<b>2 Bauformen .....</b>	<b>27</b>
2.1 Einleitung .....	27
2.2 Radialventilatoren .....	27
2.3 Diagonalventilatoren (Mixed-flow-Rad) .....	30
2.4 Axialventilatoren .....	33
2.5 Querstromventilatoren .....	37
2.6 Anordnung des Antriebsmotors .....	37
2.7 Überschlägige Auswahl des Ventilortyps .....	40
2.7.1 Kennzahlen .....	40
2.7.2 Wahl der Ventilatorbauart und des Laufraddurchmessers .....	41
2.7.3 Abschätzen des Wirkungsgrades und des Leistungsbedarfs .....	43
2.7.4 Abschätzen der Geräuschentwicklung .....	45
2.7.5 Abschätzen des Platzbedarfs und des Ventilatorgewichts .....	46
<b>3 Betriebsverhalten der Ventilatoren .....</b>	<b>57</b>
3.1 Einleitung .....	57
3.2 Die Anlagenkennlinie (Rohrleitungskennlinie, Systemkennlinie) .....	58
3.2.1 Definition und Darstellung der Anlagenkennlinie .....	58
3.2.2 Berechnung des Druckverlusts in Ventilatoranlagen .....	59
3.2.2.1 Druckverlust in geraden Kanalstrecken .....	59
3.2.2.2 Druckverluste in Übergangs- und Formstücken .....	66
3.2.2.3 Druckverluste in Apparaten .....	75
3.2.2.4 Parallel- und Hintereinanderschaltung von Widerständen .....	75
3.3 Die Normkennlinie .....	82
3.4 Zusammenwirken von Ventilator und Anlage .....	89
3.4.1 Der Betriebspunkt des Ventilators .....	89
3.4.2 Anpassung, Steuerung und Regelung von Ventilatoren .....	90
3.4.2.1 Regelwege .....	90
3.4.2.2 Drosselung .....	91
3.4.2.3 Änderung der Drehzahl .....	94
3.4.2.4 Vordrallregelung .....	98

3.4.2.5	Verstellen der Laufschaufeln .....	102
3.4.2.6	Verändern der Laufschaufelzahl .....	109
3.4.2.7	Parallelbetrieb .....	110
3.4.2.8	Hintereinanderschaltung (Reihenschaltung) .....	116
3.4.2.9	Bypassregelung .....	120
3.4.2.10	Vergleich der verschiedenen Regelverfahren .....	123
3.5	Anlaufen und Auslaufen von Ventilatoren .....	123
3.5.1	Anlaufen .....	123
3.5.2	Auslaufen .....	128
<b>4</b>	<b>Strömungstechnische Berechnung der Laufräder .....</b>	<b>129</b>
4.1	Einleitung .....	129
4.2	Berechnung der Abmessungen der Laufräder anhand der Daten von Prototypen (Modellaufrädern) .....	130
4.3	Berechnung des radialen Laufrads .....	136
4.3.1	Bestimmung des Laufradaußendurchmessers $D_2$ .....	136
4.3.2	Festlegung des Saugdurchmessers $D_s$ .....	139
4.3.3	Wahl des Eintrittsdurchmessers $D_1$ .....	140
4.3.4	Eintrittsbreite $b_1$ und Eintrittswinkel $\beta_1$ .....	141
4.3.5	Deckscheibenkrümmung $R_1$ .....	142
4.3.6	Wahl des Austrittswinkels $\beta_2$ und der Laufradaustrittsbreite $b_2$ ..	143
4.3.7	Die Schaufelzahl .....	145
4.3.8	Schaufelkonstruktion .....	146
4.4	Berechnung des axialen Laufrads .....	153
4.4.1	Berechnung des Laufradaußendurchmessers $D_a$ .....	153
4.4.2	Abschätzung des Nabendurchmessers $D_1$ .....	156
4.4.3	Wahl der Spaltweite $s$ .....	157
4.4.4	Wahl der Schaufelzahl .....	158
4.4.5	Berechnung der Strömungsgeschwindigkeiten und Winkel .....	159
4.4.6	Festlegung der Schaufelform .....	162
4.4.6.1	Allgemeines .....	162
4.4.6.2	Dimensionierung der Kreisbogenschaufel .....	164
4.5	Das Laufrad des Querstromventilators .....	168
<b>5</b>	<b>Strömungstechnische Berechnung von Leitvorrichtungen .....</b>	<b>171</b>
5.1	Spiralgehäuse .....	171
5.1.1	Allgemeines .....	171
5.1.2	Spiralgehäuse mit parallelen Seitenwänden .....	171
5.1.3	Spiralgehäuse mit kreisförmigen Querschnitten .....	173
5.2	Diffusoren .....	177
5.2.1	Einleitung .....	177
5.2.2	Druckumsetzung im Diffusor .....	177
5.2.3	Kreisringdiffusoren .....	179
5.2.4	Besondere Bauarten von Diffusoren .....	182
5.3	Leiträder .....	183
5.3.1	Nachleiträder .....	183
5.3.2	Vorleiträder .....	185
5.4	Saugtaschen .....	186
<b>6</b>	<b>Festigkeitsberechnung und konstruktive Gestaltung der Bauteile .....</b>	<b>187</b>
6.1	Festigkeitsberechnung des radialen Laufrads .....	187
6.1.1	Einleitung .....	187
6.1.2	Abschätzung der zulässigen Umfangsgeschwindigkeit aufgrund der Schaufelfestigkeit .....	188

6.1.3	Abschätzung der Spannungen in Boden- und Deckscheibe	192
6.1.4	Abschätzung der Eigenfrequenz des Laufrads	195
6.2	Festigkeitsberechnung des axialen Laufrads	198
6.2.1	Fliehkraftbeanspruchung der Schaufeln	198
6.2.2	Biegeeigenfrequenz der starr eingespannten Schaufel	200
6.2.3	Die Torsionseigenfrequenz der starr eingespannten Schaufel	201
6.2.4	Berechnung und Gestaltung der Nabe	202
6.3	Dimensionierung der Welle	205
6.3.1	Ermittlung der Kräfte und Momente	205
6.3.2	Spannungen und Verformungen	208
6.3.3	Die biegekritische Drehzahl	209
6.4	Dimensionierung der Lager	213
6.4.1	Lagerkräfte	213
6.4.2	Lebensdauer der Lager	215
6.4.3	Drehzahlgrenze	216
6.4.4	Lagerausführungen	218
<b>7</b>	<b>Versuchswesen</b>	<b>223</b>
7.1	Einleitung	223
7.2	Prüfstandversuche	223
7.2.1	Einleitung	223
7.2.2	Aufbau von Normprüfständen nach DIN 24163	224
7.2.2.1	Grundsätzlicher Prüfstandaufbau	225
7.2.2.2	Einbau des zu prüfenden Ventilators	228
7.2.2.3	Weitere Prüfstandkomponenten	229
7.2.3	Aufbau von Prüfständen nach AMCA-Standard 210-74	234
7.2.3.1	Einleitung	234
7.2.3.2	Prüfstandaufbau	235
7.2.4	Meßverfahren und Meßgeräte	237
7.2.4.1	Messung der Zustandsgrößen	237
7.2.4.2	Volumenstrom	237
7.2.4.3	Druckmessung	241
7.2.4.4	Drehzahlmessung	242
7.2.4.5	Leistungsmessung	242
7.2.4.6	Schallmessung	242
7.2.5	Auswertung	243
7.2.5.1	Einleitung	243
7.2.5.2	Dichte	243
7.2.5.3	Volumenstrom	244
7.2.5.4	Druckerhöhung	244
7.2.5.5	Leistungen und Wirkungsgrade	244
7.2.6	Meßunsicherheiten und Bauleranzen	246
7.2.7	Entwicklungsversuche an Ventilator-komponenten	249
7.2.8	Abnahmeversuche an kompletten Ventilatoren	251
7.3	Abnahmeversuche an Ventilatoren in Anlagen (zum Nachweis von Garantien)	252
7.3.1	Einleitung	252
7.3.2	Vorbereitung und Durchführung der Versuche	252
7.3.2.1	Allgemeines	252
7.3.2.2	Messung der einzelnen Betriebsgrößen	253
7.3.3	Auswertung	255
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>259</b>
<b>9</b>	<b>Stichwortverzeichnis</b>	<b>265</b>