

Thomas Carolus

Ventilatoren

Aerodynamischer Entwurf, Schallvorhersage, Konstruktion

Mit 103 Abbildungen, 42 Tabellen und 7 Übungsbeispielen



B. G. Teubner Stuttgart · Leipzig · Wiesbaden

Inhalt

1 Grundlagen

1.1 Kennzahlen, CORDIER-Diagramm und Modellgesetze	1
1.2 Ersatzschaltbild der Strömungsmaschine und Wirkungsgrade	4
1.3 Kinematik der Schaufelschnitte	6
1.3.1 Radiales Gitter	6
1.3.2 Ebenes axiales Gitter	7
1.4 Kinematik der axialen Maschine	9
1.4.1 Radiales Gleichgewicht der Kräfte auf ein Fluidelement	10
1.4.2 Zusammenstellung verschiedener Drallverteilungen	16
1.4.3 Drallverteilung für winkelkonstante Abströmung hinter dem Laufrad	16
1.4.4 Teilfluträder	17
1.5 Druckerhöhung und Wirkungsgrad der freiausblasenden Maschine	17
1.6 Literatur zu Abschnitt 1	21

2 Entwurf radialer Ventilatoren

2.1 Schaufelentwurf	23
2.1.1 Minderumlenkung und -leistung bei endlicher Schaufelzahl	23
2.1.2 Minderleistungsfaktor	26
2.1.3 Ansätze zur Berechnung des Minderleistungsfaktors	26
2.1.4 Wahl der Schaufelzahl	29
2.1.5 Versperrung des Ein- und Austritts durch die endliche Dicke der Schaufel	29
2.1.6 Zusammenfassung: Schaufelentwurf Radialrad	31
2.1.7 Weitere empirische Geometrieparameter des Radiallaufrades	31
2.2 Berechnung von Spiralgehäusen	38
2.2.1 Eindimensionale Stromfadentheorie	38
2.2.2 Weitere empirische Geometrieparameter des einfachen Spiralgehäuses	40
2.3 Literatur zu Abschnitt 2	41

3 Entwurf axialer Ventilatoren

3.1 Strömung um Profile und im Profilgitter	44
3.1.1 Einzelprofil im unbegrenzten Raum	45
3.1.2 Einzelprofil im Gitterverband	47
3.1.3 Profilmfamilien	48
3.2 Schaufelschnittauslegung bei großem Teilungsverhältnis (Tragflügelverfahren)	56

3.2.1 Kopplung von Tragflügeldaten mit den Entwurfsgrößen des Ventilators.....	56
3.2.2 Das „Tragflügelverfahren“	58
3.3 Schaufelsichelung.....	62
3.4 Schaufelschnittauslegung bei kleinem Teilungsverhältnis (Gitterverfahren)	64
3.4.1 Schaufeleintrittswinkel	64
3.4.2 Schaufelaustrittswinkel	66
3.4.3 Profilwölbung und Skelettlinie	67
3.5 Gültigkeitsgrenzen	68
3.5.1 Kriterium von DE HALLER.....	68
3.5.2 Kriterium von STRSCHELETZKY.....	68
3.5.3 Gitterbelastungszahl	69
3.5.4 Diffusionszahl nach LIEBLEIN	70
3.5.5 Weitere Grenzen.....	70
3.6 Literatur zu Abschnitt 3.....	70

4 Schallentstehung und -ausbreitung

4.1 Überblick über die Mechanismen der Schallentstehung.....	73
4.2 Rotierende Druckfelder bei Axialventilatoren und ihre Ausbreitung im Rohr	77
4.2.1 Das rotierende Druckfeld eines isolierten Rotors	77
4.2.2 Rotor-Stator-Interaktion	78
4.2.3 Ausbreitung des rotierenden Druckfeldes als Schall.....	81
4.3 Strömungsinduzierter Schall auftriebserzeugender Flächen.....	86
4.4 Bewertung und Beispiele der einzelnen Schallquellen.....	89
4.5 Literatur zu Abschnitt 4.....	92

5 Geräuschberechnungsverfahren

5.1 Übersicht.....	93
5.2 Geräuschberechnungsverfahren der Klasse I.....	93
5.2.1 Formel von MADISON	93
5.2.2 Ansatz von REGENSCHEIT	94
5.3 Geräuschberechnungsverfahren der Klasse II	97
5.3.1 Berechnung der Gesamtschalleistung mit dem SHARLAND-Verfahren	98
5.3.2 Berücksichtigung der spektralen Verteilung.....	102
5.3.3 Kanalmodell	107
5.3.4 Zusammenfassung und Beispiel.....	107
5.4 Literatur zu Abschnitt 5.....	109

6 Konstruktive Geräuschminderungsmaßnahmen

6.1 Generelle Maßnahmen	113
6.1.1 Reduktion der Umfangsgeschwindigkeit	113
6.1.2 Vergrößerung des Abstands zwischen feststehenden und rotierenden Bauteilen	115
6.1.3 Phasenverschiebung der Interaktion zwischen feststehenden und rotierenden Bauteilen	116
6.1.4 Ungleichmäßige Schaufelteilung	117
6.1.5 Optimale Einlaufgeometrie	118
6.1.6 Gezackte Hinterkante	119
6.2 Weitere spezielle Maßnahmen bei Radialventilatoren	120
6.2.1 Ablösearme Meridiankontur	120
6.2.2 Resonanzunterdrückung im Schaufelkanal	121
6.3 Weitere spezielle Maßnahmen bei Axialventilatoren	122
6.3.1 Abstimmung der Schaufelzahl (Modenausbreitung)	122
6.3.2 Sichelschaufeln	122
6.3.3 Beeinflussung der Kopfspaltströmung	125
6.4 Literatur zu Abschnitt 6	125

7 Übungsaufgaben und Lösungswege

7.1 Radialventilatorrad	129
7.2 Entwurf eines Spiralgehäuses	131
7.3 Niederdruckaxialventilator	132
7.4 Hochdruckaxialventilator mit Nachleitrad	136
7.5 Rohrmoden beim Axialventilator	140
7.6 „Akustisches Modellgesetz“	141
7.7 Ventilatorschalleistung	141
7.8 Literatur zu Abschnitt 7	142

8 Anhang

8.1 Formelzeichen (Auswahl)	143
8.2 Tabellen (Profildickenverteilungen, asymmetrische Schaufelteilungen)	145
8.3 LIEBLEIN-Entwurfsdiagramme	148
8.4 Einige akustische Grundbegriffe	153

Sachverzeichnis	157
------------------------------	-----