

Inhaltsverzeichnis

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 Kennlinien und Aufwertung	21
1.7 Literatur zu Kapitel 1	23

2 Entwurf radialer Ventilatoren

2.1 Schaufelentwurf	25
2.1.1 Minderumlenkung und -leistung bei endlicher Schaufelzahl	25
2.1.2 Minderleistungsfaktor	28
2.1.3 Ansätze zur Berechnung des Minderleistungsfaktors	28
2.1.4 Wahl der Schaufelzahl	31
2.1.5 Versperrung des Ein- und Austritts durch die endliche Dicke der Schaufel ..	31
2.1.6 Zusammenfassung: Schaufelentwurf: Radialrad	33
2.1.7 Weitere empirische Geometrieparameter des Radiallaufrades	33
2.2 Berechnung von Spiralgehäusen	40
2.2.1 Eindimensionale Stromfadentheorie	40
2.2.2 Weitere empirische Geometrieparameter des einfachen Spiralgehäuses	43
2.3 Literatur zu Kapitel 2	44

3 Entwurf axialer Ventilatoren

3.1 Strömung um Profile und im Profilgitter	46
3.1.1 Einzelprofil im unbegrenzten Raum	47
3.1.2 Einzelprofil im Gitterverband	49
3.1.3 Profilfamilien	50

3.2 Schaufelschnittauslegung für Niederdruckaxialventilatoren (Tragflügelverfahren)	58
3.2.1 Kopplung von Tragflügeldaten mit den Entwurfsgrößen des Ventilators	58
3.2.2 Das „Tragflügelverfahren“	61
3.3 Schaufelsichelung	64
3.4 Schaufelschnittauslegung für Hochdruckaxialventilatoren (Gitterverfahren)	66
3.4.1 Schaufeleintrittswinkel	66
3.4.2 Schaufelaustrittswinkel	68
3.4.3 Profilwölbung und Skeletlinie	69
3.5 Gültigkeitsgrenzen	70
3.5.1 Kriterium von DE HALLER	70
3.5.2 Kriterium von STRSCHELETZKY	70
3.5.3 Diffusionszahl nach LIEBLEIN	72
3.5.4 Weitere Grenzen	72
3.6 Literatur zu Kapitel 3	72

4 Schallentstehung und -ausbreitung

4.1 Überblick über die Mechanismen der Schallentstehung	75
4.2 Rotierende Druckfelder bei Axialventilatoren	78
4.2.1 Das rotierende Druckfeld eines isolierten Rotors	78
4.2.2 Rotor-Stator-Interaktion	79
4.3 Strömungsinduzierter Schall auftriebserzeugender Flächen	82
4.4 Schallausbreitung	84
4.4.1 Abstrahlung in das Freifeld	85
4.4.2 Ausbreitung des rotierenden Druckfelds im Rohr	86
4.5 Bewertung und Beispiele der einzelnen Schallquellen	91
4.6 Literatur zu Kapitel 4	95

5 Geräuschberechnungsverfahren

5.1 Übersicht	97
5.2 Geräuschberechnungsverfahren der Klasse I	97
5.2.1 Formel von MADISON	97
5.2.2 Ansatz von REGENSCHET	99
5.2.3 Abschätzung des Schallleistungsspektrums in Oktavbändern	101
5.3 Geräuschberechnungsverfahren der Klasse II	101
5.3.1 Berechnung der Gesamtschallleistung mit dem SHARLAND-Verfahren	102
5.3.2 Berücksichtigung der spektralen Verteilung	106
5.3.3 Kanalmodell	111
5.3.4 Zusammenfassung und Beispiel	111
5.4 Literatur zu Kapitel 5	113

6 Konstruktive Geräuschminderungsmaßnahmen

6.1	Generelle Maßnahmen	117
6.1.1	Reduktion der Umfangsgeschwindigkeit	117
6.1.2	Vergrößerung des Abstands zwischen feststehenden und rotierenden Bauteilen	119
6.1.3	Phasenverschiebung der Interaktion zwischen feststehenden und rotierenden Bauteilen	120
6.1.4	Ungleichmäßige Schaufelteilung	121
6.1.5	Optimale Einlaufgeometrie	123
6.1.6	Wellige Vorderkante gezackte Hinterkante	124
6.2	Weitere spezielle Maßnahmen bei Radialventilatoren	125
6.2.1	Ablösearme Meridiankontur	125
6.2.2	Resonanzunterdrückung im Schaufelkanal	126
6.3	Weitere spezielle Maßnahmen bei Axialventilatoren	127
6.3.1	Abstimmung der Schaufelzahl (Modenausbreitung)	127
6.3.2	Sichelschaufeln	127
6.3.3	Beeinflussung der Kopfspaltströmung	130
6.4	Literatur zu Kapitel 6	131

7 Numerische und experimentelle Methoden

7.1	Numerische Stromfeldsimulation	135
7.1.1	Übersicht über CFD-Verfahren	135
7.1.2	Rechengebiet und numerisches Gitter	139
7.1.3	Die Rotor-Stator-Problematik	141
7.1.4	Rand- und Anfangsbedingungen	143
7.1.5	Steuerparameter, Konvergenzverlauf und Abbruchkriterium	145
7.1.6	Postprocessing	146
7.1.7	Validierung und Verifikation	147
7.1.8	Beispiel: Axialventilator	147
7.2	Experimentelle Methoden	150
7.2.1	Messung integraler aerodynamischer Größen – Ventilatorprüfstände	150
7.2.2	Messung von Stromfeldgrößen	153
7.2.3	Akustische Messverfahren	156
7.3	Literatur zu Kapitel 7	160

8 Übungsaufgaben und Lösungswege

8.1	Radialventilatorrad	163
8.2	Entwurf eines Spiralgehäuses	165
8.3	Niederdruckaxialventilator	166

8.4 Hochdruckaxialventilator mit Nachleitrad	170
8.5 Rohrmoden beim Axialventilator	174
8.6 „Akustisches Modellgesetz“	175
8.7 Ventilatorschalleistung	175
8.8 Literatur zu Kapitel 8	176

9 Anhang

9.1 Formelzeichen (Auswahl)	177
9.2 Tabellen (Profile, asymmetrische Schaufelteilungen)	179
9.3 LIEBLEIN-Entwurfsdiagramme	182
9.4 Einige akustische Grundbegriffe	187
9.5 Auswahl wichtiger ISO-Normen	192
Sachwortverzeichnis	195