

# Ventilatoren

Entwurf und Betrieb der  
Schleuder- und Schraubengebläse

Von

Dr.-Ing. **Bruno Eck**

Zweite  
verbesserte und erweiterte Auflage

Mit 344 Abbildungen



Springer-Verlag  
Berlin / Göttingen / Heidelberg  
1952

ISBN 978-3-642-52715-9  
DOI 10.1007/978-3-642-52714-2

ISBN 978-3-642-52714-2 (eBook)

Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung  
in fremde Sprachen, vorbehalten.

Copyright 1937 and 1952 by Springer-Verlag OHG.  
Softcover reprint of the hardcover 2nd edition 1952  
in Berlin/Göttingen/Heidelberg.

## Vorwort zur zweiten Auflage.

Angesichts der stürmischen Entwicklung, in der sich der Ventilatorenbau befindet, erwies sich eine eingehende Neubearbeitung und Erweiterung der ersten Auflage als notwendig.

Die in den letzten Jahren erzielten Verbesserungen des Wirkungsgrades von Ventilatoren sind bemerkenswert, ebenso die Tatsache, daß das Radialgebläse den Vorsprung, den das Axialgebläse infolge einseitiger Hochzüchtung lange behaupten konnte, schnell einzuholen scheint. Sind doch schon kleine Radial-Niederdruck-Ventilatoren vorhanden, die bei einer Antriebsleistung von nur 2 kW einen Gesamtwirkungsgrad von 89% aufweisen. Bedenkt man, daß in Deutschland weit über 1 Mill. kW an Gebläseleistungen installiert sind, so kann man ermessen, welche Bedeutung der Wirkungsgradverbesserung zukommt.

Zulange ist der Ventilator als ein Stiefkind der Technik behandelt worden und hat sich meist nur dann einer öffentlichen, wissenschaftlichen Förderung erfreut, wenn militärische Anwendungen in Aussicht standen (z. B. Aufladagebläse, U-Bootgebläse, Axialgebläse usw.) Unter diesen Umständen wurde die Hauptentwicklungsarbeit von wenigen Firmen getragen, die teilweise unter größten Aufwendungen und Opfern eigene Forschungsarbeiten durchführten und hierdurch zu einer gewissen Zurückhaltung in ihren Verlautbarungen gezwungen waren, ein Umstand, der die Berichterstattung erschwert und den Verfasser zu einer stärkeren Betonung eigener Arbeiten nötigte.

Neben dem Streben nach höchsten Wirkungsgraden darf bei der Beurteilung des Ventilatorenbaues das sehr große Anwendungsgebiet der Belüftung von Gebäuden, Schiffen usw. nicht außer acht gelassen werden. Hier gilt das absolute Primat, Ventilatoren mit kleinster Geräuschbildung herzustellen, was leider nicht immer mit Höchstwirkungsgraden vereinbar ist. So kommt es, daß sich viele Bauarten mit schlechtem Wirkungsgrad sehr zähe halten und einen sehr realen technischen Zweck erfüllen. Daneben sind viele Anwendungsgebiete, z. B. der Apparatebau vorhanden, wo der kleinste Platzbedarf, die günstigste Einbaumöglichkeit usw. entscheidend sind. Auch diese Aufgaben lassen sich nicht immer mit Höchstwirkungsgraden lösen. Es wurden aber häufig bemerkenswerte Verbesserungen erzielt. Bauarten mit hoher Druckziffer behaupten hier souverän das Feld. Welche Möglichkeiten hier zur Verfügung stehen, erhellt aus der Tatsache, daß z. B. die Druckziffern von extremen Querstromgebläsen etwa 60mal größer sind als diejenigen von extremen Axialläufern.

Die angedeutete Mannigfaltigkeit der verschiedenen Anwendungen bringt es mit sich, daß die im übrigen Kreiselmaschinenbau vorhandene, praktisch bereits genormte Betrachtung mit Hilfe der spez. Drehzahl und dem Wirkungsgrad im Ventilatorenbau nicht ausreicht und oft zu großen Trugschlüssen führt. In der Neuauflage wird der Versuch unternommen, durch die Hinzuziehung weiterer Kennzahlen eine zahlenmäßige Abwägung der Erfordernisse des Ventilatorenbaues zu erreichen und damit einer gerechten Beurteilung die Wege zu ebnen.

Im Einzelnen wurde der Abschnitt über Radialgebläse und Axialgebläse weitgehend ergänzt. Neu hinzugefügt wurden Abschnitte über meridianbeschleunigte Axialgebläse, Querstromgebläse, Vorflügelgebläse, Geräuschbildung, Verschleiß, neue Diffusoren, Kleinstgebläse, Kesselgebläse, offenlaufende Lüfter, kurze Ausführungen über Festigkeitsberechnungen, eine Übersicht über die Erprobung von Ventilatoren, sowie Beschreibung vieler Einzelprobleme. Vielseitigem Wunsch entsprechend wurden die Betriebseigenschaften besonders behandelt, insbesondere das Zusammenarbeiten von Ventilator und Antriebsmaschine, Parallelschaltung von Ventilatoren u. dergl. Da in der Literatur hierüber nur unvollständige Angaben sehr verstreut zu finden sind, schien eine zusammenfassende Darstellung dieses Gegenstandes zweckmäßig.

Das Bild- und Anschauungsmaterial wurde erheblich erweitert. Um trotzdem den Umfang des Buches zu begrenzen, wurden weniger wichtige Dinge z. B. rein theoretische Ausführungen der ersten Auflage weggelassen. Die Bedürfnisse der Praxis wurden noch mehr in den Vordergrund gestellt.

Den Firmen und Ingenieuren, die durch Bildmaterial und wertvolle Angaben und Anregungen der verschiedensten Art einen erheblichen Beitrag geleistet haben, muß an dieser Stelle großer Dank ausgesprochen werden.

Der Verlag verdient Anerkennung für die mustergültige Ausstattung, insbesondere bei der Herstellung des umfangreichen Bildmaterials.

K ö l n , im Februar 1952.

**Bruno Eck.**

## Vorwort zur ersten Auflage.

Eine eingehende Behandlung der Ventilatoren ist nur möglich bei einer starken Betonung der strömungstechnischen Seite. Man kann sogar sagen, daß es sich fast ausschließlich um ein strömungstechnisches Problem handelt. Die rein konstruktiven Fragen, die bei Ventilatoren meist einfacher Natur sind, treten demgegenüber fast ganz zurück.

Dieser Gesichtspunkt liegt dem Aufbau dieses Buches zugrunde. Es wurde angestrebt, nur das, was den Konstrukteur und den Abnehmer eines Ventilators wirklich interessiert und was er in einem Buche über Ventilatoren eigentlich sucht, zu behandeln. Entgegen dem üblichen Brauch wurde deshalb bewußt alles weggelassen, was man als Hilfswissenschaft oder als vorbereitende Grundlage bezeichnen würde, zumal diese Dinge heute in bekannten Taschenbüchern in mustergültiger Form jedem Ingenieur zur Verfügung stehen. Wenn selbst bei der Strömungslehre auf einleitende Ausführungen verzichtet wurde, so deshalb, weil zur Zeit auch hier Werke für jeden Anspruch vorhanden sind. Neben umfassenden Werken, wie z. B. DURANDS Handbuch und WIEN-HARMS dürften die bekannten Göttinger Veröffentlichungen weiten wissenschaftlichen Ansprüchen entsprechen. Ein kleiner Leitfaden des Verfassers „Einführung in die technische Strömungslehre“, Berlin: Springer 1935, stellt das hauptsächlich den Ingenieur interessierende Material der modernen Strömungslehre in leicht faßlicher Form zusammen.

Die Überlegungen dieses Buches gelten in der Hauptsache für solche Gebläse, bei denen keine nennenswerten Dichte- bzw. Temperaturänderungen eintreten, ohne daß es möglich oder auch nur sachlich berechtigt wäre, hier eine scharfe Grenze zu ziehen. Wenn somit Gebläse für höheren Druck in das Gebiet der Turbokompressoren verwiesen werden, so wird damit eine unnötige Wiederholung vermieden. In dem Buche des Verfassers „Turbogebläse und Turbokompressoren“, Berlin: Springer 1929, ist hierüber Näheres zu finden, ebenso wie dort die gesamten Festigkeitsberechnungen, die selbstverständlich auch für Ventilatoren gelten, in aller Ausführlichkeit zu finden sind. Bildet somit das vorliegende Buch in gewisser Beziehung eine Ergänzung des früheren Werkes über Turbokompressoren und damit eine Abrundung über das ganze Gebiet der Kreiselgebläse überhaupt, so wird gleichzeitig durch diese Arbeitsaufteilung genügend Platz für das eigentlich Wesentliche der Ventilatoren gewonnen, ohne den Umfang des Buches zu sehr auszu dehnen.

Als Hauptinhalt des Buches verbleibt so die strömungstechnische Nutzanwendung, insbesondere die Behandlung des Laufrades und der Leitvorrichtungen.

Man sollte meinen, daß die Ventilatoren in gleicher Weise wie Kreiselpumpen behandelt werden können und daß demgemäß aus dem reichen Erfahrungsschatz der Kreiselpumpen vieles übernommen werden könnte. Dies trifft indes nur zum Teil zu. Denn schon wegen der Kavitationsgefahr sind die Kreiselpumpen auf ein viel engeres Gebiet angewiesen wie die Ventilatoren. So können hier Schaufelformen und Laufradkonstruktionen verwendet werden, die bei Wasser ganz unmöglich sind. In der Tat ist so das Gebiet der Ventilatoren viel mannigfaltiger, so daß eine besondere, ursprüngliche Behandlung unerläßlich ist.

Bei der Untersuchung des Laufrades wurden teilweise neue Wege beschritten. Im Anschluß und, wie nicht verschwiegen werden soll, durch Anregung einer äußerst bemerkenswerten Studie von KEARTON (Liverpool), wurde einmal das Problem der endlichen Schaufelzahl neu erfaßt; ferner wurden bestimmte Bestwerte für das Durchmesser Verhältnis, den Schaufeleintrittswinkel, die Radbreite usw. herausgearbeitet, wodurch die bisher vorhandene Willkür in der Bestimmung dieser Größen stark begrenzt wurde.

Der steigenden Bedeutung der Schraubengebläse wurde gebührend Rechnung getragen. Bei Vermeidung allzu theoretischer Erörterungen wurde das zusammengestellt, was zur Zeit der Praxis empfohlen werden kann. Die Wege wurden hier sehr geebnet durch eine hervorragende Studie von KELLER. Diese im Institut von ACKERET in Zürich ausgeführten Arbeiten sind gerade für die Praxis von größter Bedeutung und müssen deshalb in einem Buche über Ventilatoren Berücksichtigung finden.

Sehr wertvoll war es für die Bildausstattung des Buches, daß aus den Arbeiten von KEARTON und KELLER die Versuchsergebnisse übernommen werden durften. Es ist deshalb dem Verfasser eine angenehme Pflicht, Herrn KEARTON und Herrn KELLER an dieser Stelle seinen Dank auszusprechen.

Den zahlreichen Firmen, die durch Überlassung von Bild- und Versuchsmaterial das Werk gefördert haben, sei ebenfalls gedankt.

Die vorzügliche Ausstattung dieses Buches ist vom Verlag in anerkennenswerter Weise durchgeführt worden. Darüber hinaus verdankt das Buch überhaupt sein Entstehen einer Anregung des Verlages. Der Verlag unterstützte den Verfasser unter anderem wesentlich bei verschiedenen Ermittlungsarbeiten, was ich an dieser Stelle dankend betonen möchte.

Köln, im September 1937.

Bruno Eck.

## Inhaltsverzeichnis.

	Seite
<b>A. Radialgebläse . . . . .</b>	<b>1</b>
<b>I. Elementare Stromfadentheorie . . . . .</b>	<b>1</b>
1. Allgemeine Beziehungen . . . . .	1
2. Radialer Eintritt . . . . .	7
3. Reaktionsgrad . . . . .	8
4. Kennlinien bei unendlicher Schaufelzahl . . . . .	11
5. Grundaufgaben . . . . .	13
6. Einfluß der Kompressibilität auf die Gültigkeit der Berechnung . . . . .	14
<b>II. Genauere rechnerische Behandlung der Schaufelströmung . . . . .</b>	<b>14</b>
7. Geschwindigkeitsverteilung im Schaufelkanal . . . . .	14
8. Kräfte senkrecht zur Strömungsrichtung . . . . .	16
9. Kräfte in Strömungsrichtung . . . . .	16
10. Relativwirbel . . . . .	18
11. Gerade Schaufeln . . . . .	19
12. Schaufelkanal gleicher Geschwindigkeitsverteilung . . . . .	20
13. Schaufelkanal gleichen Querschnittsdruckes . . . . .	20
14. Berechnung von Geschwindigkeits- und Druckverteilung in einem beliebigen Schaufelkanal . . . . .	21
<b>III. Einfluß der endlichen Schaufelzahl . . . . .</b>	<b>22</b>
15. Grundsätzliches . . . . .	22
16. Graphische Ermittlung der Minderleistung . . . . .	24
17. Näherungsberechnung nach <b>STODOLA</b> . . . . .	26
18. Genauere rechnerische Ermittlung der Minderleistung . . . . .	28
19. Beeinflussung des Reaktionsgrades . . . . .	31
20. Betrachtung über die wirkliche Schaufelströmung . . . . .	31
21. Die günstigste Schaufelzahl . . . . .	38
22. Ablösung im Laufrad . . . . .	39
<b>IV. Gestaltung der Schaufelenden . . . . .</b>	<b>40</b>
23. Die wirkungslose Schaufel . . . . .	40
24. Berücksichtigung der Schaufelstärke . . . . .	42
<b>V. Ähnlichkeitsbeziehungen . . . . .</b>	<b>44</b>
25. Kennzahlen . . . . .	44
26. Gleichwertige Düse . . . . .	47
27. Geschwindigkeitszahl $\bar{\varphi}$ . . . . .	48
28. Gesamtübersicht über die Eigenschaften der verschiedenen Gebläsetypen . . . . .	49

	Seite
VI. Verluste . . . . .	52
29. Radreibungsverluste . . . . .	53
30. Laufradverluste . . . . .	55
31. Stoßverluste . . . . .	58
a) Laufradeintritt . . . . .	58
b) Leitradstoßverluste. . . . .	59
32. Spaltverluste. . . . .	60
33. Leitkanalverluste . . . . .	62
34. Lagerverluste . . . . .	63
35. Wirkungsgrade. . . . .	63
a) Der hydraulische Wirkungsgrad . . . . .	64
b) Volumetrischer Wirkungsgrad . . . . .	64
c) Mechanischer Wirkungsgrad. . . . .	64
d) Gesamtwirkungsgrad . . . . .	64
36. Thermische Bestimmung des hydraulischen Wirkungsgrades	65
VII. Günstigste Gestaltung des Laufrades . . . . .	66
37. Fragestellung . . . . .	66
38. Günstigste Eintrittsbreite $b_1$ . . . . .	67
39. Günstigster Eintrittsdurchmesser, bester Eintrittsschaufel-	
winkel. . . . .	69
40. Minimum der Gesamtverluste . . . . .	72
41. Konische oder parallele Deckscheiben? . . . . .	74
42. Bestimmung der Schaufelform . . . . .	76
a) Die gerade Schaufel . . . . .	76
b) Die Kreisbogenschaufel . . . . .	77
c) Stetig gekrümmte Schaufel . . . . .	77
43. Gestaltung von Trommelläufern (Sirocco-Läufern) . . . . .	79
a) Laufradbreite . . . . .	80
b) Schaufelform . . . . .	81
c) Schaufelzahl . . . . .	84
44. Radialrad mit Axialvorläufer . . . . .	87
45. Querstromgebläse . . . . .	90
46. Hochleistungsradialgebläse . . . . .	91
47. Doppelseitig ansaugende Gebläse . . . . .	93
VIII. Betriebseigenschaften von Radialgebläsen . . . . .	94
48. Einfluß der endlichen Schaufelzahl auf die Kennlinie. . . . .	94
49. Beeinflussung der Kennlinie durch die Reibung. . . . .	95
a) Reibung im Schaufelkanal . . . . .	95
b) Stoßverluste. . . . .	95
c) Spaltdruckkennlinie . . . . .	98
50. Besondere Betrachtung bei kleinen Fördermengen . . . . .	98
51. $\psi$ - Verlauf bei Radialrädern . . . . .	101
52. Leitungscharakteristik und Betriebspunkt. . . . .	102



	Seite
53. Beeinflussung der Gebläseeigenschaften durch die Antriebsmaschine . . . . .	102
a) Die Eigenschaften der Hauptantriebsmaschinen . . . . .	104
b) Ermittlung der Kennlinie bei konstanter Einstellung der Antriebsmaschinen . . . . .	107
c) Regulierung eines Gebläse durch Verstellung der Antriebsmaschine oder des Gebläses (Schaufelverstellung) . . . . .	110
54. Labile Arbeitsbereiche des einzelnen Gebläses . . . . .	111
55. Zusammenarbeit mehrerer Gebläse . . . . .	112
a) Ermittlung der resultierenden Kennlinie bei Parallelschaltung . . . . .	112
b) Ausrichtung verschiedener Widerstände bei einzelnen Gebläsen . . . . .	115
c) Hintereinanderschaltung von Gebläsen . . . . .	116
d) Labilität, Pendeln . . . . .	116
e) Doppelseitig wirkende Gebläse . . . . .	117
56. Beeinflussung der Kennlinie durch Eintrittsleitrad . . . . .	117
57. Gesetzmäßigkeiten bei Änderung der Drehzahl . . . . .	120
<b>IX. Leitvorrichtungen . . . . .</b>	<b>122</b>
58. Leitschaufeln . . . . .	122
59. Austauschwirkung . . . . .	125
60. Spiralgehäuse . . . . .	126
a) Grundsätzliches . . . . .	126
b) Konstruktion von Spiralen ohne Berücksichtigung der Reibung . . . . .	127
Parallele Seitenwände, S. 128. — Parallele Seitenwände, die breiter als das Laufrad sind, S. 128. — Konische Seitenwände, S. 130. — Rechteckige Querschnitte, S. 131. — Kreisförmiger Querschnitt, S. 132. — Innenspirale, S. 133. — Axiale Spirale, S. 134. — Schneckenspirale, S. 134. — Spiralgehäuse für Axialgebläse, S. 135. — Unterteilte Spiralgehäuse, S. 136. — Spiralgehäuse mit verstellbarer Zunge, S. 136. — Spiralgehäuse mit mehreren Abführungen, S. 138. — Graphische Verfahren, S. 141.	
c) Einfluß der Reibung in Spiralen auf den Gesamtenergieumsatz . . . . .	144
d) Reibung in einer kreisförmigen Spirale . . . . .	148
e) Drallabnahme durch Reibung in Ringräumen und glatten Leitringen . . . . .	151
61. Diffusoren zur Verbesserung von Spiralgehäusen . . . . .	152
62. Ausblasefilter . . . . .	154
<b>X. Ermittlung der Hauptdimensionen eines Gebläses . . . . .</b>	<b>154</b>
63. Zahlenbeispiele . . . . .	155
<b>XI. Sonderausführungen . . . . .</b>	<b>158</b>
64. Laufräder zum Umwälzen von Luft . . . . .	158
65. Laufräder für Ausnützung von angesaugter Drallströmung 160	

	Seite
66. Umlaufende Radialräder ohne Gehäuse . . . . .	161
67. Entlastung eines Gebläses durch Warmluftauftrieb, Wind- einfluß, Fahrteinfluß . . . . .	163
68. Geräuschwirkung von Ventilatoren . . . . .	165
69. Bewetterung durch Impulsantrieb . . . . .	168
70. Darstellung der Gebläseeigenschaften in Typenblättern . . . . .	169
71. Verschleiß . . . . .	174
<b>B. Theorie und Berechnung von Axialgebläsen . . . . .</b>	<b>176</b>
XII. Berechnung nach der Gittertheorie . . . . .	176
72. Allgemeines . . . . .	176
73. Einfache Beziehungen der Gitterströmung . . . . .	177
a) Feststehendes Gitter . . . . .	177
b) Bewegtes Gitter . . . . .	179
c) Die drei Hauptfälle eines Axialgebläses . . . . .	180
74. Reaktionsgrad des bewegten Gitters. . . . .	182
75. Berechnung nach der Tragflächentheorie . . . . .	183
76. Verhalten der Grenzschicht bei Axialgebläsen . . . . .	190
77. Berechnung ohne Berücksichtigung der Flügelreibung . . . . .	191
78. Allgemein gültige Beziehungen. . . . .	193
79. Berechnung unter Berücksichtigung der Reibung . . . . .	194
80. Geometrie der Kreisbogenschaukel . . . . .	198
81. Die günstigste Schaukelteilung . . . . .	201
82. Gitter mit großer Ablenkung . . . . .	204
83. Einfache Ermittlung des Krümmungseinflusses . . . . .	206
84. Berechnung und Konstruktion der Leiträder . . . . .	209
85. Radiale Druckverteilung von Axialgebläsen . . . . .	210
86. Diffusorverluste . . . . .	212
a) Allgemeine Beziehungen . . . . .	213
b) Ursachen und Eigenart der Diffusorverluste. . . . .	213
c) Anteil der Diffusorverluste am Gesamtverlust . . . . .	214
d) Einfluß des Nabenabflusses bei gleicher Kanalweite . . . . .	215
87. Gestaltung der Diffusoren . . . . .	216
88. Wann lohnt sich die Anwendung eines Leitapparates? . . . . .	219
89. Kleinsten Nabendurchmesser. . . . .	220
90. Minimum der Gesamtverluste . . . . .	221
XIII. Ermittlung der Hauptdimensionen eines Axialge- bläses . . . . .	223
91. Praktische Ausführung der Berechnung. Übersicht über den Rechnungsgang. . . . .	223
92. Berechnungsbeispiele . . . . .	224
XIV. Betriebseigenschaften von Axialgebläsen . . . . .	228
93. Kennlinien und Teilkennlinien von Axialgebläsen . . . . .	228
94. Versuchsergebnisse von Axialgebläsen . . . . .	231
95. Ungleichmäßige Zuströmbedingungen . . . . .	237
96. Offen laufende Axiallüfter. . . . .	238

	Seite
<b>XV. Meridianbeschleunigte Axialgebläse . . . . .</b>	<b>240</b>
97. Axialräder mit zunehmender Nabe . . . . .	240
98. Meridianbeschleunigte Schrägschaufelgebläse . . . . .	242
99. Düsenaxialgebläse . . . . .	245
100. Minimum der Verluste bei meridianbeschleunigten Axial- rädern . . . . .	246
101. Gebläse für Freistrahlerzeugung . . . . .	247
<b>C. Konstruktive Gestaltung der Gebläse, Sonderausführungen . . . . .</b>	<b>248</b>
102. Allgemeine Gesichtspunkte für die Gestaltung von Radial- gebläsen . . . . .	248
103. Kleinstventilatoren . . . . .	259
104. Aufladegeräte . . . . .	262
105. Axialgebläse . . . . .	264
106. Gebläse für Grubenbewetterung . . . . .	270
107. Kesselgebläse . . . . .	275
108. Gebläse für Materialförderung . . . . .	279
109. Bemerkenswerte Konstruktionseinzelteile . . . . .	280
<b>D. Festigkeitsberechnungen . . . . .</b>	<b>284</b>
<b>E. Experimentelle Erprobung von Ventilatoren . . . . .</b>	<b>292</b>
<b>Namen- und Sachverzeichnis . . . . .</b>	<b>303</b>