

## **Die Pumpen**

Fuchslocher / Schulz

# Die Pumpen

Arbeitsweise · Berechnung · Konstruktion

Für Studierende des Maschinenbaus und zum Selbststudium

Zwölfte neubearbeitete Auflage

von

Dr.-Ing. Hellmuth Schulz

Kiel

Mit 329 Abbildungen



Springer-Verlag  
Berlin / Heidelberg / New York

1967

ISBN 978-3-662-00693-1

ISBN 978-3-662-00692-4 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-662-00692-4

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

**Ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlages ist es auch nicht gestattet,**

**dieses Buch oder Teile daraus auf photomechanischem Wege**

**(Photokopie, Mikrokopie) oder auf andere Art zu vervielfältigen**

**Copyright 1938, 1941, 1943 and 1948 by Springer-Verlag OHG., Berlin/Göttingen/Heidelberg**

**© by Springer-Verlag OHG., Berlin and Heidelberg 1955, 1959, 1963 and 1967**

**Library of Congress Catalog Card Number: 67-15 609**

**Softcover reprint of the hardcover 12nd edition 1967**

**Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Buche berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, daß solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften**

**Titel Nr. 0278**

## Vorwort zur zwölften Auflage

Die Doppeldeutigkeit des „Kilogramm“ (kg), das in der Technik als Kraft-Kilogramm und in der Physik als Masse-Kilogramm benutzt wird, war — ungeachtet der Erschwernis, die sich aus der Verschiedenheit der Einheitensysteme ergibt, — von jeher der Gefahr von Verwechslungen und Fehlern ausgesetzt. Durch Einführung des „Kilopond“ (kp) in der Technik an Stelle des Kraft-Kilogramms wurde zwar die Möglichkeit einer Verwechslung mit dem Masse-Kilogramm beseitigt, an dem Wesensunterschied dieser Grundeinheiten in beiden Systemen aber nichts geändert.

Seitdem Technik und Physik durch die Weltraumforschung in eine engere Berührung miteinander gekommen sind, erhob sich immer dringender die Forderung, auch in der Technik das Kilogramm als Einheit der Masse einzuführen. Dazu bot sich ein international vereinbartes Einheitensystem an, das in seinem auf die Mechanik bezogenen Teil als „MKS-System“ bezeichnet wird.

Die Forderung nach Abkehr von dem bisherigen, in der technischen Literatur weit verbreiteten Einheitensystem löste anfänglich erhebliche Widerstände aus. Der wiederholt von berufener Seite vorgebrachten Empfehlung zur Benutzung des Internationalen Einheitensystems ist indes in der neueren technischen Literatur, in der Normung wie auch in der Lehre bereits vielfach entsprochen worden, und es dürfte wohl kaum ein Zweifel darüber bestehen, daß der einmal eingeschlagene Weg weiter beschritten werden wird. Darauf weist auch der Umstand hin, daß in der Bundesrepublik bereits ein Gesetzentwurf zur obligatorischen Einführung des Internationalen Einheitensystems erarbeitet wurde.

Bei dieser Sachlage schien es mir geboten, der sich anbahnenden Entwicklung zu folgen und die zwölfte Auflage des Buches auf das MKS-System umzustellen.

Aus der Einführung der Masse als Grundeinheit ergibt sich eine neue Einheit der Kraft, das „Newton“ (N), ferner eine Änderung der spezifischen Größen, die nicht mehr auf das Gewicht, sondern auf die Masse zu beziehen sind. So tritt an die Stelle des spezifischen Gewichts die spezifische Masse oder Dichte, die für den Bereich der Normfallbeschleunigung im MKS-System den gleichen Zahlenwert hat, wie das spezifische Gewicht im Technischen Einheitensystem. Eine weitere Änderung betrifft die spezifische Arbeit. Im Technischen Einheitensystem hat die an das Fördermittel übertragene spezifische Arbeit die Einheit kpm/kp. Das dafür gebräuchliche Formelzeichen  $H$  hat neben der Dimension einer Arbeit auch die Dimension einer Länge, der Förderhöhe. Im MKS-System erscheint die spezifische Arbeit in der Einheit Nm/kg mit dem Formelzeichen  $Y = gH$ , wobei  $H$  wieder die Förderhöhe darstellt. In diesem System haben also spezifische Arbeit und Förderhöhe verschiedene Zeichen. In Anlehnung an den Ausdruck „Förderhöhe“ werde  $Y$  als „spezifische Förderarbeit“ bezeichnet.

Für den mit dem neuen Einheitensystem nicht vertrauten Leser ist ein erläuternder Abschnitt dem eigentlichen Text vorangestellt.

Die Umstellung auf das MKS-System machte eine weitgehende Überarbeitung des Buches notwendig, die vielfach Änderungen von Abbildungen nach sich zog. Um die Erneuerung einer übergroßen Zahl von Abbildungen zu vermeiden, sind die

bisher üblichen Zeichen  $N$  für die Leistung,  $P$  für die Kraft, und  $F$  für die Fläche beibehalten worden. Das schien mir auch insofern begründet, als bei der Drucklegung die endgültige Fassung des für die Zeichen und Einheiten im Pumpenbau maßgebenden Normblattes DIN 24260, das möglicherweise weitere Zeichenänderungen notwendig macht, noch nicht vorlag.

Wie bisher wurde auf eine anschauliche und leicht verständliche Darstellung besonderer Wert gelegt. Zur Erleichterung der Einarbeitung und zur Gewöhnung an die neuen Einheiten sind diese in den Ableitungen vielfach auch dann angegeben, wenn darüber keine Zweifel möglich sind. Allgemein wurde die Verwendung von Größenbeziehungen angestrebt.

Im übrigen sind alle Teile des Buches in Wort und Bild der fortschreitenden Entwicklung angepaßt, ergänzt oder auch völlig neugefaßt worden. Hinzugekommen sind die Abschnitte über die Kennlinien der schnellläufigen Kreiselpumpe und das Verhalten der Wasserstrahlpumpe bei geänderten Betriebszustand.

Das Schriftumsverzeichnis des Anhangs, das sich im wesentlichen auf die deutschsprachige Literatur beschränkt, wurde dem Zugang der letzten Jahre entsprechend ergänzt.

Möge die nun vorliegende zwölfte Auflage in ihrer geänderten Darstellung beim Leser eine gleich günstige Aufnahme wie die vorhergehenden finden!

Dem Springer-Verlag danke ich für die sorgfältige Ausführung des Buches in Druck und Bild.

Kiel, im Januar 1967

**Hellmuth Schulz**

## Vorwort zur neunten Auflage

Das ursprünglich von Prof. MATTHIESSEN und Dipl.-Ing. FUCHSLOCHER verfaßte und später von Dipl.-Ing. FUCHSLOCHER allein bearbeitete Buch hat sich in den interessierten Kreisen großer Beliebtheit erfreut. Obwohl fast jede Neuauflage textlich durch Einfügung neuer Abschnitte ergänzt und durch Austausch veralteter gegen zeitgemäße Konstruktionen verbessert wurde, erwies sich jetzt eine gründliche Überarbeitung als unumgänglich. Auf Veranlassung von Herrn FUCHSLOCHER wurde mir im Herbst 1953 vom Verlag die Neubearbeitung des Buches übertragen. Die nun vorliegende neunte Auflage ist mit Rücksicht auf die schon in der Vorkriegszeit im Pumpenbau eingetretene Entwicklung völlig neu gestaltet und beträchtlich erweitert worden.

Unter den Fördereinrichtungen für Flüssigkeiten hat die Kreiselpumpe in den letzten Jahrzehnten eine stetig zunehmende Verbreitung gefunden und eine überragende Bedeutung im Wirtschaftsleben erlangt. Diese Tatsache machte eine eingehendere Behandlung dieser vielgestaltigen Pumpengattung und eine entsprechende Vergrößerung des ihr zufallenden Stoffgebietes notwendig. Unter Beachtung der inzwischen neu gewonnenen Erkenntnisse wurde nicht nur der theoretische Teil vertieft, sondern auch Berechnung und Konstruktion unter Heranziehung zahlreicher Ausführungsbeispiele aus der Praxis stärker betont. Neu aufgenommen ist die bisher in Theorie und Berechnung nicht behandelte Axialpumpe.

Die Kolbenpumpe großer Leistung ist heute aus der Fabrikation fast ganz verschwunden. Die Produktion der einschlägigen Industrie beschränkt sich hauptsächlich auf Kolbenpumpen kleiner und mittlerer Leistung unter Bevorzugung von Arbeitsgebieten, auf denen die Kolbenpumpe der Kreiselpumpe gegenüber wettbewerbsfähig oder dieser überlegen ist. Trotz des zahlenmäßigen Rückgangs wird die Kolbenpumpe — wengleich auf Einzelgebiete beschränkt — ihre Stellung als Förder-einrichtung auch in Zukunft behaupten. Es ist deshalb der Umfang des bisherigen Stoffes im ganzen beibehalten, im einzelnen jedoch ebenfalls neu gestaltet und dem Fortschritt der Technik angepaßt.

In neuerer Zeit sind auch auf dem Gebiet der Strahlpumpen beachtliche Fortschritte in Theorie und Berechnung zu verzeichnen. Sofern Treib- und Fördermittel den gleichen Aggregatzustand haben, ist die Strahlpumpe heute einer exakten Berechnung zugänglich, während bei unterschiedlichem Aggregatzustand der rechnerischen Erfassung noch erhebliche Schwierigkeiten entgegenstehen. Die praktische Ausführung ist im letzteren Falle im wesentlichen auf empirische Erkenntnisse angewiesen. Mit Rücksicht auf die dieser Einführung dem Umfange nach gesteckten Grenzen mußte eine eingehende theoretische Behandlung dieser Pumpengattung vorläufig zurückgestellt und der interessierte Leser auf die vorliegende einschlägige Literatur verwiesen werden.

Aus dem gleichen Grunde ist auf die Besprechung solcher Pumpenarten verzichtet worden, die im Wirtschaftsleben nur von untergeordneter Bedeutung oder seltener anzutreffen sind. Das Buch erhebt daher keinen Anspruch auf Erfassung des Gesamtgebietes des Pumpenbaus. Es will vielmehr nur die Grundkenntnisse vermitteln, die

für die Berechnung und Konstruktion der wichtigsten Pumpenarten notwendig sind.

In allen Teilen wurde auf eine möglichst anschauliche Darstellung Wert gelegt und der dargebotene Stoff durch eine Reihe sorgfältig durchgearbeiteter Beispiele belebt. Für das Verständnis ist neben einer mathematischen Vorbildung die Kenntnis der Grundlehren der Hydraulik erforderlich.

Möge das Buch auch in seiner neuen Gestalt dem angehenden wie dem praktisch tätigen Ingenieur von Nutzen sein!

Den Firmen, die mich freundlicherweise durch Überlassung von Konstruktionszeichnungen und anderem Bildmaterial unterstützten, sei auch an dieser Stelle herzlich gedankt. In gleicher Weise gilt mein Dank dem Verlag für die gute Ausstattung des Buches und die Bereitwilligkeit, mit der er meinen besonderen Wünschen entgegengekommen ist.

Kiel, im Juni 1955

**Hellmuth Schulz**

# Inhaltsverzeichnis

	Seite
<b>Erläuterungen zur Umstellung auf das MKS-System</b> .....	1
<b>Allgemeines über die Förderung von Flüssigkeiten</b> .....	5
<b>I. Kreiselpumpen</b> .....	7
A. Wirkungsweise und Bauarten .....	7
B. Theoretische Grundlagen und Berechnung der Radialpumpe .....	9
1. Ermittlung der spezifischen Förderarbeit und der Förderhöhe .....	9
2. Die Geschwindigkeitsverhältnisse am Laufrad .....	11
3. Die Druckerzeugung im Lauf- und Leitrad. Die spezifische Schaufelarbeit $Y_{sch\infty}$ . Die theoretische Förderhöhe $H_{th\infty}$ .....	12
a) Die Druckerzeugung im Laufrad .....	13
b) Die Druckerzeugung im Leitrad .....	14
4. Der Schaufelwinkel $\beta_2$ .....	16
5. Einfluß der endlichen Schaufelzahl auf die spezifische Schaufelarbeit und die theoretische Förderhöhe .....	17
6. Die spezifische Förderarbeit. Die wirkliche Förderhöhe .....	21
7. Der Reaktionsgrad. Gleichdruck- und Überdruckwirkung .....	22
8. Die Druckzahl .....	23
9. Die spezifische Drehzahl .....	24
10. Verluste und Wirkungsgrade der Kreiselpumpe. Der Kraftbedarf .....	27
11. Die Zahl der Laufradschaufeln .....	30
12. Die axiale Eintrittsgeschwindigkeit $c_A$ .....	31
13. Entwurf der einfach gekrümmten Radialschaufel .....	33
14. Die Leitvorrichtungen .....	36
a) Der Leitring .....	36
b) Das Leitrad .....	38
c) Das Spiralgehäuse .....	43
15. Bestimmung der Hauptabmessungen und Entwurf des Lauf- und Leitrades einer Radialpumpe mit einfach gekrümmter Laufschaufel. Beispiel .....	51
I. Laufrad .....	51
a) Laufradeintritt .....	51
b) Laufradaustritt .....	53
II. Leitrad .....	55
16. Berechnung und Entwurf des Laufrades mit räumlich gekrümmter Schaufel .....	57
a) Allgemeine Gesichtspunkte .....	57
b) Entwurf der Schaufelfläche .....	60
$\alpha$ ) Ermittlung des Strombahnenanfangs im Grundriß mit Hilfe von Kegel- mänteln. Beispiel .....	60
$\beta$ ) Winkel- und längentreue Übertragung der Strombahnen aus der Ebene auf die Stromflächen. Beispiel .....	66
$\gamma$ ) Rechnerische Bestimmung der Strombahnen .....	72
17. Berechnung und Entwurf des Leitrades mit räumlich gekrümmten Schaufeln. Beispiel .....	73
18. Berechnung und Entwurf einer Spirale mit kreisförmigem Querschnitt. Beispiel .....	77
C. Theoretische Grundlagen und Berechnung der Axialpumpe .....	80
19. Überleitung .....	80
20. Der Einzelfügel in der unbegrenzten gleichförmigen Strömung .....	81
21. Das Schaufelgitter .....	86
22. Die Berechnung des Axialrades .....	87
23. Kleinster Nabendurchmesser .....	91



	Seite
24. Das Leitrad .....	92
25. Der Reaktionsgrad .....	93
26. Berechnungsbeispiel .....	95
a) Laufrad .....	95
b) Leitrad .....	100
<b>D. Betriebliches Verhalten .....</b>	<b>101</b>
27. Die Drosselkurve. Das Affinitätsgesetz (Newtonsches Ähnlichkeitsgesetz) .....	101
28. Der Betriebspunkt der Pumpe. Parallelbetrieb .....	103
29. Labiler Zweig der Drosselkurve .....	104
30. Maßnahmen zur Erzielung stabiler Drosselkurven .....	106
31. Kennlinien mit dimensionslosen Koordinaten .....	107
32. Drucksteigerung durch Impulsaustausch .....	108
33. Die Kennlinien der schnellläufigen Kreiselpumpe .....	109
34. Die Saugverhältnisse der Kreiselpumpe .....	114
a) Die spezifische Saugarbeit. Die größte erreichbare Saughöhe .....	114
b) Kavitation .....	117
c) Kavitationsfreier Arbeitsbereich .....	120
d) Saugzahl und Kavitationsbeiwert .....	124
35. Die Regelung der Kreiselpumpe .....	127
36. Änderung der Pumpenleistung .....	129
37. Modellgesetze .....	132
38. Förderung zäher Flüssigkeiten. Beispiele .....	135
<b>E. Bauliche Einzelheiten .....</b>	<b>139</b>
39. Laufräder .....	139
40. Welle .....	140
a) Allgemeines .....	140
b) Bemessung der Welle unter Berücksichtigung der kritischen Drehzahl .....	141
$\alpha$ ) Die kritische Drehzahl .....	141
$\beta$ ) Eigenschwingungszahl der ruhenden Welle und kritische Drehzahl .....	143
$\gamma$ ) Graphische Ermittlung der kritischen Drehzahl einer beliebig belasteten Welle von sprungweise veränderlichem Querschnitt .....	144
41. Stopfbuchsen .....	146
42. Gleitringdichtungen .....	148
a) Wirkungsweise und betriebliches Verhalten .....	148
b) Ausführungsbeispiele .....	152
c) Hydrodynamische Gleitringdichtungen .....	155
43. Lager .....	156
44. Gehäuse .....	157
45. Achsschub und Achsschubausgleich .....	159
<b>F. Ausführungsbeispiele .....</b>	<b>163</b>
46. Einstufige Radialpumpen .....	163
47. Schraubepumpen .....	168
48. Propellerpumpen .....	172
49. Mehrstufige Kreiselpumpen .....	177
<b>G. Kreiselpumpen für Sonderzwecke .....</b>	<b>183</b>
50. Heißwasserpumpen .....	183
51. Tiefbrunnenpumpen .....	194
a) Bohrlochwellenpumpe .....	194
b) Unterwassermotorpumpe .....	197
c) Tiefsaugerpumpe .....	201
52. Selbstansaugende Kreiselpumpen .....	205
a) Unmittelbar selbstansaugende Pumpen .....	205
$\alpha$ ) Wasserringpumpe .....	205
$\beta$ ) Seitenkanalpumpe .....	206
1. Wirkungsweise S. 206. – 2. Drosselkurve und Leistungsbedarf S. 209. –	
3. Der Wirkungsgrad S. 214. – 4. Hinweise für den Entwurf S. 216.	
$\gamma$ ) Ausführungsbeispiele unmittelbar selbstansaugender Pumpen .....	217
b) Mittelbar selbstansaugende Pumpen .....	220

53. Schmutzwasser- und Dickstoffpumpen .....	224
54. Säurefeste Kreiselpumpen. Chemiepumpen .....	227
<b>II. Verdrängerpumpen .....</b>	<b>233</b>
<b>a) Hubkolbenpumpen .....</b>	<b>233</b>
<b>A. Bauarten und Wirkungsweise. Theoretischer und wirklicher Volumenstrom .....</b>	<b>233</b>
55. Einfach wirkende Pumpen .....	233
56. Doppelt wirkende Pumpen .....	235
57. Differentialpumpen (Stufenkolbenpumpen) .....	236
58. Der wirkliche Volumenstrom. Volumetrischer Wirkungsgrad oder Liefergrad..	237
<b>B. Berechnung der Hubkolbenpumpe .....</b>	<b>237</b>
59. Saugwirkung einer einfach wirkenden Tauchkolbenpumpe ohne Windkessel. ....	237
60. Saugwirkung einer einfach wirkenden Tauchkolbenpumpe mit Windkessel .....	241
61. Die erreichbare Saughöhe. Beispiel .....	242
62. Druckwirkung einer einfach wirkenden Tauchkolbenpumpe .....	244
a) Ohne Windkessel .....	244
b) Mit Windkessel .....	244
63. Wirkungsweise und Berechnung der Windkessel .....	245
a) Mit Rücksicht auf den Pumpengang. Beispiel .....	245
b) Mit Rücksicht auf das Anfahren der Pumpe. Beispiel .....	248
64. Arbeitsweise und Berechnung der Ventile .....	249
a) Arbeitsweise des Hubventils .....	250
b) Berechnung des Hubventils normaler Bauart. Beispiel .....	253
65. Die spezifische Förderarbeit der Hubkolbenpumpe. Die Förderhöhe .....	257
66. Wirkungsgrade und Kraftbedarf .....	259
a) Der hydraulische Wirkungsgrad $\eta_h$ .....	259
b) Der volumetrische Wirkungsgrad oder Liefergrad $\eta_l$ .....	259
c) Der indizierte Wirkungsgrad $\eta_i$ .....	259
d) Der mechanische Wirkungsgrad $\eta_m$ .....	260
e) Der Gesamtwirkungsgrad $\eta$ .....	260
67. Bestimmung der Hauptabmessungen. Beispiel .....	260
68. Wirkungsweise und Bemessung des Druckkessels. Beispiel .....	263
<b>C. Bauliche Einzelheiten .....</b>	<b>267</b>
69. Pumpenkörper (Pumpenzylinder) .....	267
70. Kolben .....	270
71. Stopfbuchsen .....	272
72. Windkessel .....	274
73. Hubventile .....	275
<b>D. Ausführungsbeispiele .....</b>	<b>280</b>
74. Pumpen für Wasserversorgung .....	280
75. Mehrzylinderpumpen .....	284
76. Preßpumpen .....	289
77. Pumpen mit stetig veränderlichem Kolbenhub .....	291
78. Schnellaufende Hubkolbenpumpen .....	295
79. Schwungradlose Hubkolbenpumpen (Dampfpumpen) .....	297
80. Erdölpumpen .....	304
<b>b) Pumpen mit umlaufendem Verdränger .....</b>	<b>307</b>
81. Zahnradpumpen .....	307
a) Wirkungsweise, betriebliche und konstruktive Merkmale .....	307
b) Berechnungsgrundlagen .....	309
c) Ausführungsbeispiele .....	312
82. Drehkolbenpumpen (Kreiskolbenpumpen) .....	314
83. Drehflügelpumpen (Zellenpumpen) .....	316
84. Schraubenspindelpumpen .....	318

<b>III. Strahlpumpen</b> .....	325
85. Allgemeines .....	325
<b>A. Wasserstrahlpumpen</b> .....	326
86. Arbeitsweise und Berechnung.....	326
87. Der Wirkungsgrad .....	332
88. Die erreichbare Saughöhe. Kavitation .....	333
89. Berechnungsbeispiel .....	336
90. Verhalten der Wasserstrahlpumpe bei Änderung des Betriebszustandes.....	338
<b>B. Dampfstrahlpumpen (Injektoren)</b> .....	342
91. Wirkungsweise und bauliche Ausführung .....	342
92. Der Wirkungsgrad .....	344
93. Betriebliches Verhalten .....	345
94. Ausführungsbeispiele .....	347
<b>IV. Druckluftwasserheber (Luftmischheber)</b> .....	348
95. Wirkungsweise .....	348
96. Berechnungsgrundlagen .....	350
97. Der Wirkungsgrad .....	352
98. Berechnungsbeispiel .....	353
<b>V. Stoßheber (hydraulischer Widder)</b> .....	354
99. Arbeitsweise und konstruktive Durchbildung .....	354
100. Wirkungsgrad und anteilmäßiger Nutzwasserstrom .....	357
<b>Schrifttum</b> .....	358
<b>Sachverzeichnis</b> .....	367