

Strömungsenergie
und mechanische Arbeit
von
Paul Wagner

Strömungsenergie und mechanische Arbeit

Beiträge zur abstrakten Dynamik und ihre Anwendung
auf Schiffspropeller, schnelllaufende Pumpen und Turbinen,
Schiffswiderstand, Schiffssegel, Windturbinen,
Trag- und Schlagflügel und Luftwiderstand
von Geschossen

Von

Paul Wagner

Oberingenieur in Berlin

Mit 151 Textfiguren



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH 1914

ISBN 978-3-642-50479-2

ISBN 978-3-642-50788-5 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-642-50788-5

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

**Copyright 1914 by Springer-Verlag Berlin Heidelberg
Ursprünglich erschienen bei Julius Springer in Berlin 1914**

Softcover reprint of the hardcover 1st edition 1914

Vorwort.

Durch die im Herbst 1911 in Angriff genommene Arbeit über den „Wirkungsgrad von Dampfturbinenbeschaufungen“¹⁾ sah sich der Verfasser veranlaßt, gelegentlich der Erörterungen über die reine Überdruckturbine und die Expansionsdüsen, das Wesen der Entstehung von Energieströmungen in Mündungen und der Arbeitsübertragung von einer Strömung auf eine Maschine kritisch zu untersuchen. Das führte auf die einfachen Fragen, wie entstehen Bewegungsgröße $P = G \frac{c}{g}$ und mittlere Geschwindigkeit $\frac{c}{2}$ des Sekundenarbeitswertes $L = G \frac{c}{g} \frac{c}{2}$ einer Strömung und wie aus dieser wiederum der Sekundenwert der mechanischen Arbeit $L = Pu$ resp. ihre Treibkraft P und ihre Geschwindigkeit u . Bei näherer Betrachtung ergab sich, daß bei konsequenter Verfolgung der abstrakten Vorgänge die Berechnung mancher Formen der Energiewandlung mit weniger Mühe gefunden werden kann, als auf dem Wege der empirischen Forschung, d. i. über den Umweg der wissenschaftlichen Untersuchung der mehr oder weniger untergeordneten verlustbringenden Nebenerscheinungen. Die letztere Methode kennzeichnet im allgemeinen die gebräuchliche theoretische Behandlung von physikalisch-technischen Problemen, wobei das energetische Prinzip als ein Faktum in die Kalkulation eingeführt wird, ohne nähere Untersuchung der Frage, wie die meßbaren Äußerungen der Energieübertragung, Kraft und Bewegung, im Idealfall von einem Körper auf den anderen übergeleitet werden.

Die Resultate, die sich aus den angestellten Betrachtungen über die Energiewandlung in Düsen ergaben, und die durch das Gesetz von der Erhaltung der Energie bedingte Identität der Arbeitsübertragung von Wasser-, Luft- und Dampfströmungen nötigten zur Untersuchung weiterer Vorgänge, bei denen eine im wesentlichen geordnete Form der Strömungen vorliegt. In der Folge entstand im Sommer 1912 der Entschluß, diese Arbeiten, die von dem Thema

¹⁾ Der Wirkungsgrad von Dampfturbinenbeschaufungen. Berlin 1913. Verlag von Julius Springer.

der zuerst in Angriff genommenen zu weit abseits führten, als Buch für sich herauszugeben. Um dies mit einem gewissen Abschluß zu ermöglichen, wurde die Arbeit auf mehrere wichtige, den Inhalt des vorliegenden Buches bildende Vorgänge ausgedehnt, bei denen Strömungsenergie in mechanische Arbeit verwandelt wird oder der umgekehrte Prozeß stattfindet.

In anbetracht, daß für die Bearbeitung der einzelnen Probleme nur kurze Zeiträume zur Verfügung standen und es undurchführbar war, auch nur das wesentlichste der einzelnen Spezialliteraturen für die Bearbeitung zu Rate zu ziehen, ist es selbstverständlich möglich, daß manches bereits früher ebenso oder treffender gesagt worden ist. Da das Buch aber zweifellos auch in der vorliegenden Form viele neue Anregungen geben wird, erschien es ratsam, die unübersehbare Arbeit einer gewissenhaften Berücksichtigung alles bisher Geleisteten überhaupt auszuschalten.

Ogleich dem Verfasser die Mittel zur praktischen Erprobung von Mantelpropellern angeboten wurden, erschien es selbst auf das Risiko größerer Irrtümer hin ratsam, die dadurch eintretende jahrelange Verzögerung der Publikation zu vermeiden. Bis jetzt wurden daher überhaupt keine Versuche zur praktischen Bestätigung der Theorien, soweit sie Neues enthalten, unternommen. Da außerdem die Durchführung von Versuchen auf allen berührten Gebieten sowohl die mögliche Lebensarbeit eines Einzelnen, als auch das Interessengebiet einer einzelnen Industriefirma übersteigen würde, ergab sich ein weiterer Grund dafür, das Buch zu veröffentlichen wie es ist und so Vielen willkommene Anregung zur Weiterarbeit zu geben. Das Buch enthält, wie hiernach erklärlich, nur eine skizzenhafte Bearbeitung der einzelnen Gebiete. Deren mathematische Behandlung mag dem routinierten Mathematiker primitiv erscheinen, sie dürfte dafür aber auch dem weniger Begabten gestatten, den Abhandlungen zu folgen.

Bei der Bearbeitung des Abschnitts 69 wurde ein Irrtum erkannt, der dem Verfasser bei Erörterung der Strömungserscheinungen der Dampfduße unterlaufen ist.

Die in Abschnitt 87 und in der Einleitung enthaltene Definition dynamischer Kräfte, als „relative Gewichtsäußerung von Körpern“ ist erst entstanden, als der größte Teil des Buches bereits gedruckt vorlag. Es war daher nicht möglich, ihn dort noch einzuführen, obgleich seine konsequente Anwendung mancher Erörterung zu größerer Klarheit verholfen hätte.

Berlin, im November 1913.

Der Verfasser.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Ausflußmündungen für Wasser.	
A. Ausfluß aus einfachen runden Öffnungen	1
1. Einteilung der Mündungsverluste in Strömungs- und Reibungsverluste	1
2. Energieverlust der Ausströmung einer Öffnung in dünner Wand .	2
3. Energiezunahme im Kontraktionsstrom	3
4. Entstehung des Gefäßrückdrucks	4
5. Zylindrische Mündung mit Verlängerung im Gefäß	4
6. Angenäherte Berechnung der Strömungsverluste innerhalb einer Öffnung in dünner Wand	5
B. Mündungsformen mit geringen Strömverlusten	8
7. Einfache verjüngte Mündungen	8
8. Einfluß der Änderung der Druckhöhe und Mündungslänge	14
9. Der Verlauf des Mündungsunterdruckes	16
10. Mündungen mit unrunder oder eckigen Querschnitten	17
11. Mündungen mit erweiterter Fortsetzung	17
Die Umwandlung von Strömungsenergie in mechanische Arbeit.	
A. Geradlinige Bewegung	21
12. Arbeitsübertragung bei entgegengesetzt zur Ausströmrichtung be- wegtem Gefäß	21
13. Maximal nutzbare Energie 50% der verfügbaren	24
14. Möglichkeit voller Energieausnutzung durch Anwendung von Leit- vorrichtungen	25
15. Verschwinden des Gefäßrückdruckes	28
16. Grundformeln der Arbeitsleistung im ganzen Überdruckgebiet . . .	30
Allgemeine Formel	31
a) Voller Überdruck in der Laufvorrichtung. Keine Leitvorrichtung (Fig. 26)	32
b) Leitvorrichtung für halbe Nutzgeschwindigkeit. Veränderlicher Überdruck (Fig. 27)	32
c) Leitvorrichtung für volle Nutzgeschwindigkeit. Veränderlicher Überdruck (Fig. 28)	33
d) Überdruckverhältnis gleich 0,5 (Fig. 29)	34
e) Veränderlicher Überdruck bei $c_e = w_2$ (Fig. 30)	36
f) Reine Druckwirkung mit vollkommener Umlenkung (Fig. 31) . .	37
g) Reine Druckwirkung mit halber Umlenkung (Fig. 32)	38
17. Leistungskurven der Grundformeln	39
18. Schlußfolgerungen	40

	Seite
B. Kreisförmige Bewegung	41
19. Übergang von der geradlinigen Gefäßbewegung in die Kreisbewegung	41
20. Anwendung von Fall a auf die Axialturbine (Fig. 34 bis 36)	42
21. Reine Überdruckturbine ohne Eintrittbeschleunigung (Fig. 37 und 38)	45
22. Anwendung von Fall b auf die Axialturbine (Fig. 41)	47
23. Fall b ohne Eintrittbeschleunigung im Laufkanal (Fig. 44)	51
24. Nachweis des Nutzverhältnisses aus der Druckverteilung in den Schaufeln	53
I. Für den Fall b mit Eintrittbeschleunigung im Laufkanal (Fig. 41a)	53
II. Für Fall b ohne Eintrittbeschleunigung im Laufkanal (Fig. 44a)	55
Strömung in Mündungen unter Wasser.	
25. Einleitende Bemerkungen	57
26. Einfache konvergierende Mündung	57
27. Konvergent-divergente Mündung	59
28. Zylindrische Mündung	62
29. Grenzbedingung für die erreichbare Strömungsgeschwindigkeit	62
30. Ausflußrohre von Turbinen	65
31. Regelung von Turbinen durch Austrittsdrosselung	66
32. Nutzbare Arbeit und Durchflußmenge einer Axialturbine mit Dorn- regelung	67
33. Ideale Turbinenregelung	70
Freilaufende Schiffspropeller.	
34. Die idealen Grundlagen des Schiffs-Schraubenantriebs	71
35. Das Nutzverhältnis der ortsfesten gemeinen Treibschraube	78
36. Über das Nutzverhältnis der Schraube bei gleichzeitiger Treibwir- kung und Schiffsbewegung	90
37. Kritik des Schiffs-Schraubenantriebs	91
a) Einfluß der Flügelfläche	91
b) Einfluß des Flügelquerschnittes	93
c) Einfluß des Schiffsnachstroms	96
d) Strömungsbilder	97
Mantelpropeller.	
38. Verbesserte Propellerformen	99
39. Gemeine Schraube mit zylindrischem Leitmantel	100
40. Ideale Einlauf-Leitvorrichtung	100
41. Einteilung der Mantelpropeller	104
I. Unterdruckpropeller	104
II. Druckpropeller	104
III. Überdruckpropeller	106
42. Umfangskraft und Drehmoment der idealen Arbeitsleistung	108
43. Schematische Beispiele für Unterdruckpropeller	110
A. Propeller mit normalem Einlauf	110
B. Propeller mit Wasserrotation in der Drehrichtung u (erhöhte Steigung)	111
C. Propeller mit Wasserrotation entgegen der Drehrichtung (ver- minderte Steigung)	113
44. Schematische Beispiele für Druckpropeller	113
A. Propeller mit Axialbeschleunigung im Laufrad ohne Leitvorrich- tung	113

	Seite
B. Propeller mit Tangentialbeschleunigung im Laufrad und Austritt-Leitvorrichtung	116
C. Propeller mit Beschleunigung im Laufrad und Eintritt-Leitvorrichtung	117
45. Energielose Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeiten und Propellertourenzahlen	118
46. Beispiele für Schiffsantrieb durch Mantelpropeller	121
1. Beispiel. Torpedoboot von ca. 650 t Depl., 33 Sm/st, durch zwei Propeller getrieben	121
2. Beispiel. Handelsdampfer von 15000 t Depl., 16 Sm/st, durch zwei Propeller getrieben	125
3. Beispiel. Zweiwellendampfer von 2800 t Depl., 16 Sm/st	127
4. Beispiel. Kleiner Schnelldampfer von ca. 2000 t Depl., 19,4 Sm/st, durch zwei Propeller getrieben	128
5. Beispiel. Schnelldampfer wie Beispiel 4, für 20,4 Sm/st	129
6. Beispiel. Lastkahn	131
47. Bemerkungen über Nebenverluste	132

Schnellaufende Wasserturbinen und Pumpen für kleine Gefälle.

48. Prinzip der Arbeitsübertragung	133
49. Beispiel einer Schnellläuferaxialpumpe	135
50. Beispiel einer Radialpumpe	138

Der Strömungswiderstand untergetauchter Schwimmkörper.

51. Ähnlichkeit der Verdrängungsarbeit in Luft und Wasser	142
52. Verdrängungsauftrieb	143
53. Störende Wirkung des Verdrängungsauftriebs von Torpedogeschossen	144
54. Neigung der Torpedogeschützaxe	145
55. Schwimmkörper mit geringem Verdrängungsauftrieb	145

Der Strömungswiderstand von Schiffen.

56. Kennzeichen	146
57. Verhältnis von Luftwiderstand zu Wasserwiderstand	147
58. Die Grundlagen der Schiffswiderstandsarbeit	148
59. Umwandlung der Verdrängungsarbeit in Wellenenergie	151
60. Verdrängungswellen eines einfachen Körpers	151
61. Verdrängungs- und Nachströmwellen von Schiffskörpern	153
62. Seiten- und Tiefendruck sowie Hebewirkung der Wasserverdrängung	156
63. Trimmänderung	158
64. Einfluß der Trimmelage bei wachsender Schiffsgeschwindigkeit	159
65. Tiefendruckwirkung bei Gleitbooten	160
66. Einfluß der Wassertiefe	161
67. Schlußfolgerung über Schiffformen	161
68. Horizontalruder zur Dämpfung der Stampf- und Schlingerbewegung von Schiffen	162

Die Ausströmung trockener Luft aus Mündungen.

69. Beziehungen zwischen Bewegungsgröße der Strömung und Gefäßrückdruck	164
70. Kurve der spezifischen Durchflußmenge	169
71. Näherungsformeln für die Beziehung zwischen Strömungsgeschwindigkeit und Druckabfall, sowie Vergleich mit der Hydraulik	170

	Seite
Schiffssegel.	
72. Grundlagen der Arbeitsübertragung auf das Segel	173
73. Halber Wind	179
74. Am Wind	180
75. Viertel-Wind	182
76. Mit-Wind	183
77. Dreiviertel-Wind	186
78. Beziehungen zwischen Schiffsgeschwindigkeit, Antriebsgröße und Nutz- verhältnis	188
79. Abtrift	191
80. Kritik der praktischen Segelformen	192
a) Einteilung der Segel	192
b) Luveigenschaften der Segel	192
c) Vorsegel	192
d) Rahsegel	193
e) Großsegel	193
81. Verbesserungsmöglichkeiten der Segelformen	194
Windturbinen.	
82. Geringer Wirkungsgrad der Windmühlen- und Windradflügel	195
83. Arbeitsvermögen von Windströmungen	196
84. Windturbine mit Leitvorrichtung	197
85. Künstliche Steigerung der Arbeitsgeschwindigkeiten	202
86. Beispiel einer Windturbine	205
Trag- und Schlagflügel.	
87. Die Grundlagen der Arbeitsleistung beim Flug	210
88. Die Erzeugung der Tragarbeit	217
89. Flug- und Steuereigenschaften der Aeroplane	223
90. Der Vogelflug	225
91. Erhöhung der Manövrierfähigkeit von Aeroplanflügeln	229
92. Gyroskopwirkungen der Propellerflügel	230
Der Luftwiderstand von Geschossen.	
93. Begriffserklärung der Geschosse und Schwimmkörper	231
94. Prinzip der Entstehung der Luftbewegungsarbeit	232
95. Trennung der Gesamtarbeit in Strömungs- und Reibungsarbeit	234
96. Luftverdrängungsarbeit	234
97. Nachströmarbeit	241
98. Darstellung der Strömung hinter einem glatt abgeschnittenen Geschoß	241
99. Nachströmarbeit hinter einem zugespitzten Geschoßende	243
100. Luftwellenwirkung der Verdrängungs- und Nachströmarbeit	247
101. Ausnutzung der Verdrängungsarbeit für die Nachströmung	247
102. Mittel zur Erhaltung der Geschoßaxenrichtung	249
103. Reibungskoeffizienten für Luft	250
104. Kritik der Kurvenwerte	252

Einleitung.

Die Lehren der abstrakten Hydraulik gehen von der Voraussetzung reibungs- und wirbelfreier Strömungen aus. Diese Voraussetzung widerspricht zwar nach dem ersten Hauptsatz der Energetik der Möglichkeit einer Energieaufnahme oder Arbeitsabgabe durch eine Flüssigkeit, gestattet aber eine exakte mathematische Formulierung der idealen Arbeitswandlung in allen Fällen, in denen eine Strömung in begrenzten Querschnitten verläuft. Auch bei solchen Vorgängen, bei denen ein großer oder der größte Teil der verfügbaren Energie nach dem zweiten Hauptsatz der Energetik umgewandelt wird, d. h. auf die beabsichtigte Wirkung bezogen in Arbeitsverluste übergeht, scheint die abstrakte Untersuchung des Vorganges besser geeignet, die Erkenntnis der Gesamtwirkungen zu fördern, als die rein empirische Untersuchung der Verluste.

Mechanisch nutzbar ist nur diejenige Energieaufnahme einer Flüssigkeit oder eines Gases, die sich in einer Druckerhöhung gegenüber der Umgebung äußert. Die Art der Energiezufuhr zur Flüssigkeit ist gleichgültig. Die Möglichkeit der Arbeitsabgabe der Flüssigkeit oder des Gases wird dadurch erreicht, daß man deren potentielle oder Druckenergie $E = \frac{p}{\gamma} = H$ in kgm/kg für Flüssigkeiten und $E = \frac{h}{A}$ in kgm/kg für eingeschlossene Gase in kinetische oder Strömungsenergie $L = G \frac{c}{g} \frac{c}{2}$ in kgm/sk überführt, wo p die mittlere Druckdifferenz vor und hinter der Strömungsmündung in kg/m², γ das spezifische Gewicht in kg/m³, H das Flüssigkeitsgefälle in m, h das Wärmegefälle in WE/kg, $A = \frac{1}{427}$ das mechanische Wärmeäquivalent, G das Gewicht der Strömungsmenge in kg/sk, $g = 9,81$ m/sk die Erdbeschleunigung und c die ideale, d. h. verlustfrei gedachte Strömungs-Endgeschwindigkeit (Beschleunigung) bedeuten. Die Umwandlung ist von einer Geschwindigkeitsbeschleunigung, also von einer Querschnittveränderung der Strömung begleitet. Diese ist nicht denkbar, ohne eine Ortsverschiebung sowohl der Strömungsteilchen gegen-