

Werner Fister 8463726

8463726

Fluidenergie- maschinen

Band 1: Physikalische Voraussetzungen,
Kenngrößen, Elementarstufen
der Strömungs- und
Verdrängermaschinen



Springer-Verlag
Berlin Heidelberg New York Tokyo

TK05
F1



8463726

Werner Fister



Fluidenergiemaschinen

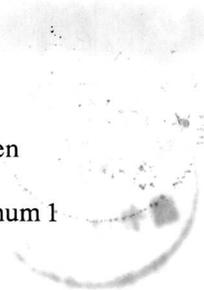
Band 1:
Physikalische Voraussetzungen,
Kenngrößen, Elementarstufen
der Strömungs- und Verdrängermaschinen

Mit 253 Abbildungen



Springer-Verlag
Berlin Heidelberg New York Tokyo 1984

Professor Dr.-Ing. Werner Fister
Lehrstuhl für Fluidenergiemaschinen
Ruhr-Universität Bochum
Universitätsstraße 150, D-4630 Bochum 1



CIP-Kurztitelaufnahme der Deutschen Bibliothek.

Fister, Werner: Fluidenergiemaschinen/Werner Fister. – Berlin; Heidelberg; New York; Tokyo: Springer.
Bd. 1 – Fister, Werner: Physikalische Voraussetzungen, Kenngrößen, Elementarstufen der Strömungs- und Verdränger-
maschinen

Fister, Werner: Physikalische Voraussetzungen, Kenngrößen, Elementarstufen der Strömungs- und Verdrängermaschinen/
Werner Fister. – Berlin; Heidelberg; New York; Tokyo: Springer 1984. (Fluidenergiemaschinen/Werner Fister; Bd. 1)

ISBN 3-540-12864-6 Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York Tokyo
ISBN 0-387-12864-6 Springer-Verlag New York Heidelberg Berlin Tokyo

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, der Entnahme von Abbildungen, der Funksendung, der Wiedergabe auf photomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten.

Die Vergütungsansprüche des § 54, Abs. 2 UrhG werden durch die »Verwertungsgesellschaft Wort«, München, wahrgenommen.

© Springer-Verlag Berlin, Heidelberg 1984.

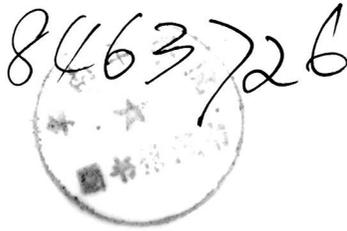
Printed in Germany

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk 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.

Druck: Mercedes-Druck, Berlin; Bindearbeiten: Lüderitz & Bauer, Berlin.

2060/3020 543210

Vorwort



Der vorliegende erste Band dieses Buches, dessen Titel aus der von mir für alle Maschinenbaustudenten der Ruhr-Universität Bochum gehaltenen Pflichtvorlesung "Fluidenergiemaschinen" entlehnt ist, soll entsprechend der Wortneuschöpfung dem Streben nach möglichst gemeinsamer Behandlung von Strömungs- und Verdrängermaschinen Ausdruck geben, was dem ursprünglichen Bochumer Konzept für das Maschinenbaustudium entspricht. Nach diesem Konzept sollte das Grundlagenwissen für den Maschinenbauingenieur, welches selbst von Änderungen des physikalischen Weltbildes in den kommenden Jahren voraussichtlich wenig berührt werden dürfte, sehr intensiv vermittelt werden, während die Auslegung und Konstruktion von Maschinen und Anlagen, welche den sich ändernden Bewertungsmaßstäben und dem sich wandelnden Zeitgeschmack unterliegen, nur an wenigen Beispielen der modernen Technik behandelt werden sollten.

Als ein Beispiel in diesem Sinne ist die Strömungsmaschine gewählt worden, weil einerseits zu ihrer Auslegung das gesamte Grundlagenwissen angewendet werden kann, und andererseits gegenwärtig ein gegenüber der Verdrängermaschine weitergehendes theoretisches Eindringen in die Funktionsabläufe möglich ist.

Die durch diese Wahl benachteiligten Verdrängermaschinen verlangten jedoch aufgrund ihrer großen Verbreitung und ihrer sowohl technischen als auch wirtschaftlichen Bedeutung nach einer Berücksichtigung, ohne den Lehrstoff unnötig aufzublähen, so daß eine mit der genannten Wortneuschöpfung bezeichnete gemeinsame Behandlung beider Maschinenarten aufgegriffen wurde.

Im vorliegenden Band werden die Strömungs- und Arbeitsvorgänge nur vom Fluid aus betrachtet, wobei über die geometrischen Abmessungen der gedachten Fluidenergiemaschinen noch nichts ausgesagt wird.

Da es sich bei der Beschreibung der Funktionsabläufe in den Fluidenergiemaschinen um eine spezielle Anwendung der Thermo- und Fluidodynamik handelt, werden die möglichst bereits auf die Maschinen bezogenen, vorauszusetzenden thermodynamischen und strömungsmechanischen Grundkenntnisse in den beiden ersten Kapiteln wiederholt. Für das Studium dieser Grundlagen selbst bzw. für eine Erweiterung dieses Fachwissens wird auf die diesbezüglichen Lehrbücher verwiesen.

Dieses Buch soll vor allem den Studenten des Maschinenbaues helfen, ein Grundwissen über die Fluidenergiemaschinen zu erwerben. Vielleicht vermag es darüber hinaus auch Ingenieuren im Beruf weitere Anregungen zu vermitteln.

Es werden durchweg keine umfangreichen mathematischen Kenntnisse vorausgesetzt. Jedem Abschnitt sind zum besseren Verständnis einige Rechenbeispiele zugeordnet worden.

Die Formelzeichen und Definitionen sind, soweit die notwendige Differenzierung innerhalb des relativ großen Sachgebietes dies zuläßt, mit den deutschen und internationalen Normen abgestimmt.

In einem geplanten zweiten Band soll versucht werden, die Geometrie der funktionsrelevanten Teile der Strömungs- und Schraubenmaschinen so zu gestalten, daß die ursprünglich in der gedachten Maschine des vorliegenden Bandes vom Fluid aus betrachteten Arbeits- und Strömungsvorgänge quantitativ richtig und optimal vollzogen werden.

Außerdem werden mechanisch hochbeanspruchte Bauteile, wie z.B. die Radiallaufräder und die Rotoren der Schraubenverdichter mit modernen Rechenverfahren auf Festigkeit und Verformung untersucht.

Aus den globalen Ähnlichkeitsbetrachtungen werden Umrechnungen für die Kennlinien bei geänderten Betriebsbedingungen abgeleitet. Für größere Abweichungen zwischen Auslegungs- und Versuchsbedingungen wird ein Verfahren vorgestellt, das nach bisherigen Erkenntnissen mit hinreichender Genauigkeit ermöglicht, die Einflüsse relativ großer Änderungen der Ma- und Re-Zahl sowie der relativen Rauigkeit bei der Umrechnung zu berücksichtigen. Dieser letztgenannte Teilabschnitt soll das Verständnis für die modernen Verdichterabnahmerichtlinien bzw. -regeln vertiefen.

Meinen engsten Mitarbeitern, Herrn Dr.-Ing. J. Eikelmann und Herrn Dr.-Ing. H.-P. Müller danke ich an dieser Stelle für ihre bereitwillige Unterstützung, für ihre Ratschläge und kritischen Anmerkungen sowie für die organisatorischen Hilfen. Ebenso gilt mein Dank Herrn Dr. rer. nat. W. Volgmann und Herrn Dipl.-Ing. G. Neumann für ihren Einsatz beim Überarbeiten des zweiten und dritten bzw. des letzten Kapitels. Meinem Kollegen, Herrn Prof. Dr.-Ing. H. Pfost, danke ich für die kritische Durchsicht des Manuskripts. Allen wissenschaftlichen Mitarbeitern, die bei der Bearbeitung der Scripten nach meinen Vorlesungen zur Stoffaufbereitung beigetragen haben, der Konstruktionsgruppe unter Leitung von Herrn Ing. M. Schmenk und dem Photolabor, die der Bildgestaltung große Sorgfalt angedeihen ließen, den Mitarbeitern und Mitarbeiterinnen, welche die umfangreichen Schreibarbeiten durchführten, bin ich sehr dankbar.

Nicht zuletzt gilt mein Dank dem Verlag für sein Interesse an einem derartigen Buch, für sein Verständnis, seine Hilfeleistung bei der druckgerechten Gestaltung und für die angenehme Zusammenarbeit.

Bochum, im August 1983

Werner Fister

Formelzeichen und Symbole

Die Festlegung der häufig benutzten Formelzeichen berücksichtigt folgende Richtlinien:

ISO-Empfehlungen R 31, Teil I-IV

DIN 5492

VDI-Richtlinien 2045 (Abnahme- und Leistungsversuche an Verdichtern).

Daneben werden übliche Bezeichnungen aus vergleichbarer deutschsprachiger Fachliteratur übernommen.

Lateinische Buchstaben

A	Fläche (Querschnitts-)	b	Absolutbeschleunigung
A	Auftrieb	b_r	Relativbeschleunigung
$d\vec{A}$	Flächennormalenvektor	b_f	Führungsbeschleunigung
a	spezifische technische Arbeit	b_c	Coriolisbeschleunigung
a_G	spezifische technische Schaufelgitterarbeit	C	Wärmekapazität
a_s	Schallgeschwindigkeit	Cr	Crocco-Zahl
\vec{a}	Translationsvektor	c	Absolutgeschwindigkeit
a^*	Laval-Geschwindigkeit	c_{max}	Crocco-Geschwindigkeit
B	Anergie	c_A	Auftriebsbeiwert
b	spezifische Anergie	c_W	Widerstandsbeiwert
b_{ev}	spezifischer Exergieverlust	c_F	spezifische Wärmekapazität der Flüssigkeiten
b_q	spezifische Anergie der Wärme	c_p	spezifische Wärmekapazität bei konstantem Druck
b_h	spezifische Anergie der Enthalpie	c_v	spezifische Wärmekapazität bei konstantem Volumen
b_{ht}	spezifische Anergie der Totalenthalpie	c_f	Reibungskoeffizient

D, d	Durchmesser	h	spezifische Enthalpie
D_h	hydraulischer Durchmesser	h_t	spezifische Totalenthalpie
D	Drall bzw. Drehimpuls	$h_{t \text{ rel}}$	spezifische relative Totalenthalpie
\dot{D}	Drall- bzw. Drehimpulsstrom	h	Höhe (Kanal-)
E	Energie (allgemein)	I	Impuls
\dot{E}	Energiestrom (allgemein)	\dot{I}	Impulsstrom
E	Exergie	J	Dissipation
Eu	Euler-Zahl	J_T	Joule-Thomson-Koeffizient
e	spezifische Exergie	j	spezifische Dissipation
e_a	spezifische Exergie der spezifischen technischen Arbeit	j_P	Profilverlust
e_h	spezifische Exergie der Enthalpie	k_s	Sandrauhigkeit
e_{ht}	spezifische Exergie der Totalenthalpie	k	Isentropenexponent
e_q	spezifische Exergie der Wärme	L	Länge
e	Exzentrizität	La	Laval-Zahl
\vec{e}	Einheitsvektor	M	Drehmoment
F	Kraft	Ma	Mach-Zahl
F_U	Feld- oder Volumenkraft	Ma_u	Mach-Umfangszahl
F_p	Druckkraft	Ma^*	mit kritischer Geschwindigkeit gebildete Mach-Zahl
F_R	Reibungskraft	m	Masse
Fr	Froude-Zahl	\dot{m}	Massenstrom
Fr_u	Froude-Umfangszahl	N	Drehzahl
f	Wärmerückgewinnungs- bzw. Erhitzungsfaktor	n	Polytropenexponent
f	Frequenz	P	Leistung
g	Gravitationskonstante (Fallbeschleunigung)	P_i	innere Leistung
H	Enthalpie	P_K	Kupplungsleistung
H_{12}, H_{32}	Formparameter	P_G	Schaufelgitterleistung
		P_m	mechanische Verlustleistung
		p	Druck
		p_t	Totaldruck

Q	Wärmemenge	W	Arbeit
\dot{Q}	Wärmestrom	W_t	technische Arbeit
q	spezifische Wärmemenge	W_i	innere Arbeit, indizierte Arbeit
R	Radius	W_V	Verschiebearbeit
R	individuelle Gaskonstante	W	Widerstand
R_m	universelle Gaskonstante	w	Relativgeschwindigkeit
Re	Reynolds-Zahl	X	Kompressibilitätsfunktion
Re_u	Reynolds-Umfangszahl	x	Koordinate
r	Radius	Y	Kompressibilitätsfunktion
\vec{r}	Ortsvektor	Y	Druckänderungsarbeit
S	Entropie	y	spezifische Druckänderungsarbeit
s	spezifische Entropie	y	Koordinate
s	Wegkoordinate	Z	Realgasfaktor
s_H	Hublänge	Z_n	Anzahl pro Umdrehung
T	thermodynamische Temperatur	z	Koordinate
Th	Thomazahl	z	geodätische Höhe
Tu	Turbulenzgrad		
t	Zeit	<u>Griechische Buchstaben</u>	
t	Temperatur in °C	α	Anstellwinkel
t	Gitterteilung	α	Winkel der Absolutströmung
U	innere Energie	α	Durchflußbeiwert
U	Potential eines Kraftfeldes	α	Machscher Winkel
u	spezifische innere Energie	α_0	Nullauftriebswinkel
u	Umfangsgeschwindigkeit	β	Winkel der Relativströmung
V	Volumen	β_s	Schaufelwinkel
\dot{V}	Volumenstrom	γ	Winkel, Vergleichsfaktor
V_H	Hubvolumen	Γ	Zirkulation
V_0	Schadraumvolumen	Δ	Gitterverlustzahl
v	spezifisches Volumen	δ	Durchmesserzahl
v	Translationsgeschwindigkeit	δ	Grenzschichtdicke

δ_1	Verdrängungsdicke	ξ_{ein}	eingebautes Volumenverhältnis
δ_2	Impulsverlustdicke	φ	Meridianflußzahl
δ_3	Energieverlustdicke	φ_D	Volumenflußzahl
ε	Gleitzahl	ψ	Stromfunktion
ε	relativer Schadraum	ψ_h	Enthalpiezahl
ζ	Verlustbeiwert	ψ_y	Druckzahl
η	dynamische Zähigkeit	ω	Winkelgeschwindigkeit, Drehfrequenz
η	Wirkungsgrad		
Θ	Gitterenthalpiezahl		
Θ	Drehimpuls, Drall	<u>Indizes und Kennzeichen</u>	
Θ	Temperaturverhältnis	'	auf Leitrad bezogene Größe
κ	Verhältnis der Wärmekapazitäten c_p/c_v	"	auf Laufrad bezogene Größe
λ	Leistungszahl	∞	ungestörter Zustand, Mittelwert, bei unendlicher Anzahl
λ	Liefergrad	0	Ruhezustand
λ	Rohrreibungszahl	0	vor Leitrad bei Turbine
ν	kinematische Zähigkeit	1	vor Laufrad
ν	Laufzahl	2	nach Laufrad
Π	allgemeine Kenngröße (Π -Theorem)	3	nach Leitrad beim Verdichter
Π	Druckverhältnis	*	Gitter
ρ	Dichte	*,k	kritische Zustandsgröße
ρ_h	Reaktionsgrad der Enthalpiedifferenzen	A	Maschinen- bzw. Systemaustritt
ρ_p	Reaktionsgrad der Druckdifferenzen	a	außen
ρ_y	Reaktionsgrad der Druckänderungsarbeiten	ad	adiabat
σ	Schnellaufzahl	E	Maschinen- bzw. Systemeintritt
τ	Schub- bzw. Scherspannung	ein	eingebaut
τ_W	Wandschubspannung	eff	effektiv
Φ	Gitterflußzahl	i	innen, indiziert
Φ	Potentialfunktion	i	inkompressibel
		irr	irreversibel

k	kompressibel	T	isotherm
m	mechanisch	t	tangential
m	molar	t	Totalzustand (Ruhe-, Gesamt-, Stagnations-)
m	meridional		
n	normal	u	in Umfangsrichtung
pol	polytrop	u	Umgebungszustand
p	isobar	V	Verdichter
R	radiale Richtung	v	isochor
r	radial	z	axiale Richtung
rev	reversibel	R, φ , z	Komponenten in Zylinderkoordinaten
s	isentrop		
T	Turbine	x, y, z	Komponenten in kartesischen Koordinaten

Die Symboldarstellungen für die verschiedenen Fluidenergiemaschinen sind der DIN 2481 (Wärmeanlagen, Graphische Symbole), Ausg. Juni 1979, zu entnehmen.

Inhaltsverzeichnis

<u>Formelzeichen und Symbole</u>	XIII
<u>1. Einführung</u>	1
1.1 Definition des Begriffes "Fluidenergiemaschine".	1
1.2 Zur geschichtlichen Entwicklung	2
1.2.1 Zeittafel der "Wasser"-Energemaschinen	3
1.2.2 Zeittafel der "Luft"-Energemaschinen	13
1.2.3 Zeittafel der "Dampf"-Energemaschinen	18
1.2.4 Zeittafel der "Heißgas"-Energemaschinen	23
1.3 Eine Systematik der Fluidenergiemaschinen	30
1.4 Maschine und Anlage	37
Literatur zu Kapitel 1	45
<u>2. Einige thermodynamische Voraussetzungen</u>	47
2.1 Hauptsätze der Thermodynamik	47
2.1.1 Systeme	48
2.1.2 Erster Hauptsatz	49
2.1.2.1 Anwendung auf geschlossene Systeme	49
2.1.2.2 Anwendung auf offene Systeme	50
2.1.3 Zweiter Hauptsatz	55
2.1.3.1 Definitionen und Fundamentalgleichung	55
2.1.3.2 Exergie und Anergie	63
2.2 Thermodynamische Prozesse in Fluidenergiemaschinen	73
2.2.1 Definition und Berechnung üblicher Vergleichsprozesse	78
2.2.1.1 Polytrope	79
2.2.1.2 Isentrope	83
2.2.1.3 Isotherme	84
2.2.2 Darstellung der Prozesse in Diagrammen	85
2.2.3 Definition und Berechnung von Prozeßwirkungsgraden	100

2.2.3.1	Polytroper Wirkungsgrad	103
2.2.3.2	Isentroper Wirkungsgrad	105
2.2.3.3	Isothermer Wirkungsgrad	114
2.2.4	Definition des mechanischen Wirkungsgrades	116
2.2.5	Darstellung der Prozeßwirkungsgrade in Diagrammen	119
2.2.6	Definition mittlerer spezifischer Wärmekapazitäten	128
2.3	Hinweise auf Realgasverhalten	133
Literatur zu Kapitel 2	140
<u>3.</u>	<u>Einige strömungstechnische Voraussetzungen</u>	141
3.1	Kinematische Zusammenhänge	141
3.2	Integralsätze der Strömungsmechanik	148
3.2.1	Kontinuitätsgleichung	149
3.2.2	Impulssatz	152
3.2.3	Impulsmomentensatz	155
3.2.4	Energiesatz	156
3.3	Inkompressible Strömungen	157
3.3.1	Navier-Stokes-Gleichungen	158
3.3.2	Bernoulli-Gleichung	170
3.3.3	Potentialströmung	175
3.3.4	Grenzschichten	182
3.3.5	Radseitenreibung	191
3.3.6	Strömung um Profile	195
3.3.7	Sekundärströmungserscheinungen	212
3.3.8	Kavitation	215
3.4	Kompressible Strömungen	217
3.4.1	Schallgeschwindigkeit und Schallausbreitung	217
3.4.2	Isentropes Ausströmen	221
3.4.3	Adiabate Rohrströmung	231
3.4.4	Verdichtungsstoß	237
3.4.5	Potentialgleichung	242
3.4.6	Prandtl-Regel	244
Literatur zu Kapitel 3	252
<u>4.</u>	<u>Ähnlichkeitsgesetze für Fluidenergiemaschinen</u>	254
4.1	Bildung der Kenngrößen	255
4.1.1	Theorien zur Herleitung von Ähnlichkeitsgesetzen	255
4.1.2	Bildung der Kenngrößen nach dem Buckingham-Theorem	258
4.1.3	Empirisch gebildete "Kennzahlen"	259

4.2 Kenngrößenfunktionen für Strömungsmaschinen	261
4.2.1 Diabate Strömungsmaschinen mit kompressiblen Fluiden	268
4.2.2 Adiabate Strömungsmaschinen mit kompressiblen Fluiden	274
4.2.3 Adiabate Strömungsmaschinen mit inkompressiblen Fluiden	276
4.2.4 Darstellung der Kenngrößenfunktionen	280
4.2.5 Kenngrößenkombinationen	282
4.3 Kenngrößenfunktionen für Verdrängermaschinen	293
Literatur zu Kapitel 4	307
<u>5. Die Strömungsmaschinenstufe</u>	309
5.1 Darstellung und Bezeichnungen	310
5.2 Geschwindigkeitsdreiecke	313
5.3 Energetische Betrachtungen	325
5.4 EULER 'sche Hauptgleichung	336
5.5 Mittelwerte für die Stromfadentheorie	346
5.6 Kenngrößen der Stufe	356
5.6.1 Die adiabate Verdichterstufe	362
5.6.1.1 Die axiale Verdichterrepetierstufe	362
5.6.1.2 Die radiale Verdichterrepetierstufe	367
5.6.1.3 Zugeordnete Kenngrößenbereiche	369
5.6.2 Die adiabate Turbinenstufe	378
5.6.2.1 Die axiale Turbinenrepetierstufe	378
5.6.2.2 Die radiale Turbinenrepetierstufe	384
5.6.2.3 Die Freistrahlturbinenstufe	386
5.6.2.4 Zugeordnete Kenngrößenbereiche	391
5.7 Kenngrößen der Schaufelgitter	395
Literatur zu Kapitel 5	408
<u>6. Die Verdrängermaschinenstufe</u>	410
6.1 Energetische und volumetrische Betrachtungen	410
6.1.1 Prozesse der Verdrängerverdichter	411
6.1.1.1 Idealisierte Verdichterprozesse	411
6.1.1.2 Bemerkungen zu realen Verdichterprozessen	429
6.1.2 Prozesse der Verdrängermotoren	441
6.1.2.1 Idealisierte Motorprozesse	441
6.1.2.2 Bemerkungen zu realen Motorprozessen	452
6.2 Funktionsrelevante Betrachtungen	453
6.2.1 Beispiele für Verdrängerverdichter	454

6.2.1.1 Hubkolbenverdichter	454
6.2.1.2 Drehkolbenverdichter	458
6.2.1.3 Kreiskolbenverdichter	473
6.2.1.4 Arbeitsbereiche einiger Verdrängerverdichter	476
6.2.2 Beispiele für Verdrängermotoren	478
6.2.2.1 Hubkolbenmotoren	478
6.2.2.2 Drehkolbenmotoren	482
6.2.2.3 Kreiskolbenmotoren	483
6.2.2.4 Arbeitsbereiche einiger Verdrängermotoren	485
Literatur zu Kapitel 6	485
<u>Sachverzeichnis</u>	487

1 Einführung

1.1 Definition des Begriffes »Fluidenergiemaschine«

Als "Fluidenergiemaschinen" sollen Maschinen bezeichnet werden, die Fluiden möglichst verlustarm Arbeit zuführen oder entziehen. Unter dem Begriff "Fluid" sollen alle Flüssigkeiten, Gase und Dämpfe zusammengefaßt werden.

Das Fluid als materiell stetig zusammenhängender Körper zeichnet sich durch leichte Verschieblichkeit seiner Moleküle aus, d.h. im Gegensatz zum festen Körper setzt das Fluid seiner Formänderung nur geringen Widerstand entgegen.

Das sich aus dieser Eigenschaft ergebende Verhalten wird als Fließen bezeichnet.

Weil in der Energietechnik thermodynamisch gesehen im allgemeinen offene bzw. periodisch geschlossene Systeme bevorzugt werden, um einen kontinuierlichen Prozeß zu gewährleisten, ist es unter anderem wegen des Transportes und der Einstellbarkeit des Massenstromes als Energieträger zweckmäßig oder auch notwendig, Stoffe zu wählen, die nach Vollzug der Arbeitsverrichtung leicht austauschbar sind, d.h. solche zu bevorzugen, die fließen können.

Der während eines Prozesses durchzuführende Transport von Energie über die Grenzen des Systems "Fluidenergiemaschine" besteht im Verrichten von Arbeit und im Übertragen von Wärme.

In den heutigen Fluidenergiemaschinen wird überwiegend Energie in Form von mechanischer Arbeit ausgetauscht. Ansätze und Versuche, Arbeit in Form von elektrischer Energie unmittelbar mit dem Fluid zu tauschen, haben schon zu brauchbaren Ergebnissen geführt.

Obwohl das Übertragen von Wärme den Prozeßablauf in Fluidenergiemaschinen wesentlich beeinflussen kann, ist dieser Vorgang nicht Selbstzweck wie z.B. in Heizkesseln, Brennkammern, Kühlern usw., die daher nicht zu den Fluidenergiemaschinen gezählt werden.

Besteht bei den mechanisch wirkenden Fluidenergiemaschinen die zwischen den bewegten Maschinenteilen und dem Fluid in einem *geschlossenen System* ausgetauschte

Arbeit vorwiegend in Volumenänderungsarbeit, wie z.B. in einem Zylinder-Kolben-System, so werden diese Fluidenergiemaschinen als *Verdrängermaschinen* (im angelsächsischen Sprachraum als positive displacement machines), als *Kolbenmaschinen* oder auch als *statisch arbeitende Maschinen* bezeichnet.

Beruhet dagegen der Arbeitsumsatz zwischen den gerichtet strömenden Fluidteilchen und den entsprechend geformten rotierenden Maschinenteilen in einem *offenen System* vorwiegend auf einer Drehimpulsänderung, wie z.B. in einem angeströmten rotierenden Schaufelgitter, so werden diese Fluidenergiemaschinen als *Strömungsmaschinen*, als *Turbomaschinen* oder auch als *dynamisch arbeitende Maschinen* bezeichnet.

Ein historischer Streifzug soll die Vielfalt der Ausführungsformen dieser Maschinen aufzeigen.

1.2 Zur geschichtlichen Entwicklung

Für die Arbeiten aus frühgeschichtlicher Zeit, die das Vermögen einzelner Menschen überfordert haben, ist aller Wahrscheinlichkeit nach zunächst die Energie des fließenden Wassers herangezogen worden. Der Gedanke, die Energie der Luftströmungen auszunutzen, ist vermutlich erst später realisiert worden.

Viel später in geschichtlich belegbarer Zeit werden Versuche bekannt, Heißluft und Dampf zu verwenden.

Über die historische Entwicklung und die Funktionsbeschreibung dieser sich einmal durch die verwendeten Fördermedien und andererseits durch die Energietransportrichtung bezüglich der Systemgrenzen unterscheidenden Fluidenergiemaschinen besteht eine sehr umfangreiche Literatur, aus der nur wenige Werke angeführt werden können.

Es würde den Rahmen dieses Buches sprengen, wenn eine ausführliche Konstruktions- und Funktionsbeschreibung von historisch wichtigen und wegweisenden Maschinen aufgenommen worden wäre.

So soll versucht werden, durch eine Zeittafel mit Maschinenabbildungen einen sowohl zeitlich geordneten als auch konstruktiven Einblick in die im Laufe der Geschichte entstandene Vielfalt von Fluidenergiemaschinen zu geben.

Analog zu der in vorgeschichtlicher Zeit vermuteten bzw. in geschichtlicher Zeit belegten Reihenfolge in der Verwendung und Nutzung der Energie der einzelnen Fluide Wasser, Luft, Dampf, Heißgas soll auch die Zeittafel aufgebaut werden.