

Ölhydraulik

F. und D. Findeisen

Ölhydraulik

Theorie und Anwendung

Dritte, neubearbeitete Auflage



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH 1978

Dipl.-Ing. F. FINDEISEN, Northeim
Dr.-Ing. D. FINDEISEN,
Bundesanstalt für Materialprüfung, Berlin

Die erste und zweite Auflage
erschien 1962 und 1968 im
Schweizer Verlagshaus, Zürich

Mit 199 Abbildungen

ISBN 978-3-662-09054-1 ISBN 978-3-662-09053-4 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-662-09053-4

Library of Congress Cataloging in Publication Data. Findeisen, Franz, 1902– Ölhydraulik : Theorie und Anwendung. 1. Oil hydraulic machinery. I. Findeisen, Dietmar, joint author. II. Title. TJ843.F5 1978 621.2'0424 78-963

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdruckes, 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.

Bei Vervielfältigungen für gewerbliche Zwecke ist gemäß § 54 UrhG eine Vergütung an den Verlag zu zahlen, deren Höhe mit dem Verlag zu vereinbaren ist.

© by Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1978

Ursprünglich erschienen bei Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York 1978

Softcover reprint of the hardcover 3rd edition 1978

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

Gesamtherstellung: Graph. Betrieb Konrad Tritsch, Würzburg

2060/3020 – 543210

Vorwort zur dritten Auflage

Die Einführung technischer Neuerungen und die Weiterentwicklung ölhydraulischer Geräte haben zur dritten, vollständig überarbeiteten Auflage des vorliegenden Fachbuchs geführt. Ziel dieses Nachschlagewerks ist es, den in der Praxis tätigen Entwicklungs-, Projekt- und Prüffeldingenieuren wie den Studenten des Maschinenbaus das in der Stoffauswahl auf das Notwendige beschränkte Rüstzeug zu vermitteln, ölhydraulische Anlagen aus handelsüblichen Standardelementen nach konstruktiver Aufgabe anforderungsgerecht auszulegen.

Die systematische Gliederung in weitgehender Anlehnung an die Grundlagennorm DIN 24 300 sowie die Hervorhebungen wesentlicher Begriffe und Zusammenhänge im laufenden Text mögen das rasche Gewinnen eines umfassenden Überblicks erleichtern. Neben der Herleitung allgemeiner Gesetzmäßigkeiten werden die Schlußfolgerungen für die Praxis in gesondert angeführten Hinweisen und Richtwerten gezogen. Letztere mögen zusammen mit den gebrauchsfertigen Formeln als Zahlenwertgleichungen, ferner mit den Berechnungsbeispielen und Arbeitsdiagrammen das Umsetzen theoretischer Grundlagen in betriebliche Maßnahmen beschleunigen.

Den Herstellern ölhydraulischer Geräte sei für ihre Unterstützung durch großzügig zur Verfügung gestellte Informationsunterlagen an dieser Stelle gedankt.

Dem Verlag, der diese Auflage nach Text und Bild in neuzeitlicher Gestaltung und übersichtlicher Anordnung herausbrachte, gebührt für die Sorgfalt der Ausstattung unser besonderer Dank.

Northeim und Berlin,
Frühjahr 1978

F. und D. FINDEISEN

Aus dem Vorwort zur ersten Auflage

Die Ölhydraulik hat infolge ihrer vielseitigen Anwendungsmöglichkeiten und Vorteile innerhalb eines Jahrzehnts eine Sonderstellung im Bereich des Allgemeinen Maschinenbaus einschließlich des Hebezeug-, Pressen- und Werkzeugmaschinenbaus erworben. Steuernde ölhydraulische Elemente und Umformer (Zylinder, Öl-motor), an Zahl und Typen reich, sind der Ausdruck dieser kurzen Entwicklungsperiode.

Das vorliegende Fachbuch will in dieses Gebiet einführen, um Konstrukteur, Betriebsmann und Studierenden mit Wirkungsweise und Anwendungsmöglichkeiten der Bauelemente sowie mit den Grundgesetzen der strömenden Öflüssigkeit vertraut zu machen.

Der Gliederung des umfangreichen Gebiets der Ölhydraulik lag die Annahme zugrunde, daß die zugehörigen Bauelemente in der Praxis selten durch Eigenfertigung hergestellt, sondern von Hydraulikfirmen bezogen werden. Konstruktive Einzelheiten sind deshalb auf das Notwendigste beschränkt. Aber die Wirkungsweise dieser Elemente und deren Einsatzmöglichkeiten aufzuzeigen, ist das Anliegen dieses Fachbuchs.

Die hydrostatischen Getriebe, die im Prinzip Ölpumpe und Öl-motor in sich vereinigen, wobei der Primärteil (Ölpumpe) Druckenergie für das im Getriebe kreisende Öl erzeugt, die der Sekundärteil (Öl-motor) in mechanische Arbeit umformt, sind nicht in diesem Buch angeführt. Diese Getriebeart wäre der allgemeinen Getriebe-technik zuzuordnen.

Northeim, Frühjahr 1962

FRANZ FINDEISEN

Inhaltsverzeichnis

Zusammenstellung der wichtigsten Formelzeichen	XI
1 Hydrostatische Antriebstechnik	1
1.1 Wirkschema	1
1.2 Vor- und Nachteile des ölhydraulischen Systems	2
2 Druckflüssigkeit Hydrauliköl als Energieträger	4
2.1 Physikalische Grundgesetze für Hydraulikflüssigkeiten	4
2.1.1 Gesetze der Hydrostatik	4
2.1.2 Kompressibilität der Hydraulikflüssigkeiten	5
2.1.3 Das Verhalten einer Ölsäule konstanten Querschnitts und Länge	6
2.1.4 Kompressibilität der Hydraulikflüssigkeit unter Berücksichtigung der elastischen Rohraufweitung	7
2.1.5 Schallgeschwindigkeit in Hydraulikölen	9
2.1.6 Gesetze der Hydrodynamik für ideale Hydraulikflüssigkeiten	10
2.1.6.1 Die Kontinuitätsgleichung	11
2.1.6.2 Die Bernoullische Energiegleichung für ideale Flüssigkeit	12
2.1.7 Gesetze der Hydrodynamik für reale Flüssigkeiten	13
2.1.7.1 Geschwindigkeitsprofile realer Hydraulikflüssigkeiten	13
2.1.7.2 Die Reynolds-Zahl (Re), maßgebende Kenngröße für den Strömungsverlauf	14
2.1.7.3 Bernoullische Energiegleichung für reale Flüssigkeiten	15
2.1.7.4 Druckverlust von Rohrleitung, Rohrkrümmer und Ventilen	16
2.2 Physikalische Eigenschaften der Hydrauliköle	18
2.2.1 Viskositätsbegriffe in bezug auf Hydrauliköle	19
2.2.2 Das Luftabscheidevermögen in Druckflüssigkeiten	21
2.3 Mindesteigenschaften der Hydrauliköle	23
2.3.1 Die H-Gruppen der Mineralöle	23
2.3.2 Viskositätsklassen der Mineralöle H, H-L, H-LP	23
2.3.3 Druckflüssigkeiten der SAE-Klassifikation	23
2.3.4 Schwerentflammbare Druckflüssigkeiten	24
2.4 Von Druckflüssigkeiten abhängige Betriebssicherheit der Hydraulikanlage	25
2.4.1 Analysenwerte von Hydraulikölen als Beispiel für Feststellung des Gütegrads	26
2.4.1.1 Viskositätsindex.	30
2.4.1.2 Korrosionsschutz	30
2.4.1.3 Alterungsbeständigkeit.	30
2.4.1.4 Verhalten gegen Dichtungswerkstoffe	31
2.4.1.5 Mechanische Prüfung in der FZG-Zahnrad-Verspannungs-Prüfmaschine.	31
2.4.1.6 Verunreinigung von Hydraulikölen	32
2.5 Strömung in Dichtspalten und Kapillaren	32
2.5.1 Spaltströmung durch bewegte Wand (Mitschleppstrom)	32

2.5.2 Spaltströmung durch Druckgefälle (Leckstrom)	33
2.5.3 Überlagerte Spaltströmung	36
3 Energiequelle und Energieumformer	37
3.1 Betriebscharakteristik der Antriebsmotoren	37
3.1.1 Der Elektromotor als Antriebsmotor für Hydraulikanlagen	37
3.1.1.1 Drehstromasynchronmotor mit Käfigläufer und Hydropumpe als Antriebsaggregat (Elektro-Hydro-Pumpe)	38
3.1.2 Der Dieselmotor als Antriebsmotor für Hydraulikanlagen	39
3.2 Hydropumpen	40
3.2.1 Kenngrößen der verlustlosen Hydropumpe	40
3.2.2 Kenngrößen der Hydropumpe mit Verlusten	44
3.2.2.1 Der volumetrische Wirkungsgrad	44
3.2.2.2 Der mechanisch-hydraulische Wirkungsgrad	46
3.2.3 Maßgebende Kennlinien für Hydraulikpumpen	46
3.2.4 Eigenschaften und Wirkungsweisen der Hydropumpen	47
3.2.4.1 Bauarten der Hydropumpen-Verdrängermaschinensysteme	48
3.2.4.2 Das geometrische Fördervolumen und die Pulsation des Förderstroms	70
3.2.5 Geräuschenstehung und deren Minderung in hydrostatischen Antrieben	70
3.2.6 Die an den Behälter (Tank) eines Antriebsaggregats zu stellenden Anforderungen	74
3.3 Hydromotoren	85
3.3.1 Hydraulische Kenngrößen des verlustlosen Hydromotors	85
3.3.2 Kenngrößen des Hydromotors mit Verlusten	85
3.3.2.1 Volumetrischer Wirkungsgrad	85
3.3.2.2 Der mechanisch-hydraulische Wirkungsgrad	86
3.3.3 Das Kennfeld (Beharrungsverhalten) des Hydromotors	87
3.3.4 Das Anlaufverhalten und dynamische Eigenschaften (Zeitverhalten) des Hydromotors	88
3.3.5 Kompressibilitätseinfluß	90
3.3.6 Ausführung und Wirkungsweise des H-Motors	91
3.3.6.1 Die Bauarten der Hydromotoren-Verdrängermaschinensysteme	93
3.4 Hydrozylinder	117
3.4.1 Zeitabhängige Kenngrößen eines Hydrozylinders	117
3.4.2 Hydraulische Kenngrößen des verlustbehafteten Hydrozylinders	119
3.4.2.1 Volumetrischer Wirkungsgrad	119
3.4.2.2 Hydraulisch-mechanischer Wirkungsgrad	119
3.4.3 Das Kräftespiel am Hydrozylinder	121
3.4.3.1 Die Abnehmerseite bestimmt die Zylinderbelastung	121
3.4.3.2 Abmessungsnorm und Berechnungsgrundlage für Hydrozylinder	121
3.4.4 Endlagendämpfung für Hydrozylinder	123
3.4.5 Eigenfrequenz eines Hydrozylinders	125
3.4.6 Bauarten der Hydrozylinder und Ausführungsbeispiele	125
3.4.7 Richtlinien für Ausführung von Hydrozylindern	129
3.4.8 Berechnungsgrundlagen für Zylinderrohr, Kolbenstange und Zylinderdeckel	130
3.4.8.1 Berechnungsgrundlagen für Zylinderrohr	130
3.4.8.2 Berechnungsgrundlage für Kolbenstange	131
3.4.8.3 Berechnungsgrundlage für Zylinderdeckel (lösbare Ausführung)	132
3.4.8.4 Zylinderboden in Guß- und Schweißausführung	133
3.4.8.5 Dichtungselemente für Hydrozylinder	133
4 Energiesteuernde und -regelnde Geräte	135
4.1 Wirkungsweise und Aufbau energiesteuernder Geräte	136
4.1.1 Wegeventile	136

4.1.1.1	Betätigungsmittel für Wegeventile	138
4.1.1.2	Bauformen der Wegeventile	140
4.1.1.3	Bestätigungskräfte am Wege-Schieberventil	141
4.1.1.4	Druckabfall bei voll geöffneten Durchlässen eines Wegeventils	143
4.1.1.5	Steuerkolben der Wege-Schieberventile mit positiver bzw. negativer Überdeckung	143
4.1.2	Sperrventile	144
4.1.3	Druckventile	146
4.1.3.1	Federbelastete, gesteuerte oder geregelte Druckventile	147
4.1.3.2	Öffnungs- und Schließverhalten federbelasteter Druckventile	148
4.1.4	Stromventile	149
4.1.4.1	Drosselventile konstanter/verstellbarer Querschnittsverengung	149
4.1.4.2	Stromregelventile	151
4.1.4.3	Stromteilerventile/Stromvereinigerventile	154
4.2	Wirkungsweise und Aufbau energieregelnder Geräte	155
4.2.1	Wegeventile ohne festgelegte Schaltstellungen (Fühlerventile)	155
4.2.2	Servoventile (Durchflußservoventile)	156
4.2.3	Servoventile (Druckservoventile)	159
4.2.4	Statisches und dynamisches Verhalten der Servoventile	159
4.2.5	Proportionalventile (Durchfluß- und Druckservoventile)	162
5	Energieübertragende Geräte	163
5.1	Leitungen (Rohr-, Schlauch-)Verrohrungssystem	163
5.1.1	Rohrleitungen	163
5.1.2	Schlauchleitungen	165
5.1.2.1	Systematik der Schlauchanschlüsse	166
5.1.2.2	Systematik der Schlauchkupplungen als AnschluBelemente	168
5.2	Rohrverbindungen (Verschraubungen) für Leitungsnetz des Druckmittels	169
5.2.1	Systematik der lötlösen (lösbaren) Rohrverbindungen	170
5.2.2	Systematik der gelöteten Rohrverbindungen	173
5.3	Systematik im Rohrleitungsnetz	174
5.4	Energiesammler (Hydrospeicher)	181
5.4.1	Systematik der Hydrospeicher in Ausführung und Wirkung	181
5.4.2	Betriebswerte und Berechnungsgrundlagen für Hydrospeicher	183
5.4.3	Berechnungsbeispiele für Hydrospeicher	186
5.5	Filter für Hydraulikflüssigkeiten	192
5.5.1	Arten der Verschmutzung	192
5.5.2	Bewertung des Filtermaterials	194
5.5.3	Einfluß der Filterfeinheit und Schmutzart auf die Filterstandzeit	196
5.5.4	Aufbau der Hydraulikfilter	196
5.5.5	Filteranordnung und Filterarten	197
5.6	Öl-Wärmeaustauscher (Kühler)	199
6	Hydroaggregate	201
7	Hydraulische Steuerungssysteme	203
7.1	Hydrostatische Kreislaufarten	203
7.2	Parallel- und Serienschaltung von Hydromotoren	206
7.2.1	Parallelschaltung von H-Motoren	206
7.2.2	Serien- bzw. Reihenschaltung von H-Motoren	207
7.3	Volumetrische Steuerung (Pumpensteuerung)	207

7.4 Prinzipien der Pumpenregelung	210
7.4.1 Druckregelung	210
7.4.2 Stromregelung	212
7.4.3 Leistungsregelung	213
Literatur	216
Sachverzeichnis	220

Zusammenstellung der wichtigsten Formelzeichen

(Formel-) Zeichen ¹	Bedeutung (Bemerkung, Beziehung, Erklärung)	Dimension ²	SI-Einheit ^{3, 4} und weitere Einheiten
A	(Ober-)Fläche, Querschnitt	L^2	m^2
A_1	Kolbenfläche	L^2	$cm^2 = 10^{-4} m^2$
A_2	Kolbenstangenfläche	L^2	m^2
A_3	Ringfläche ($A_3 = A_1 - A_2$)	L^2	m^2
A	Amplitudenverhältnis	–	–
a	Beschleunigung	LT^{-2}	m/s^2
c, a	Schallgeschwindigkeit (Fortpflanzungsgeschwindigkeit einer Welle, z. B. Ausbreitungsgeschwindigkeit kleiner Druckänderungen)	LT^{-1}	m/s
c	Federkonstante, Federsteife	MT^{-2}	N/m
c	spezifische Wärmekapazität	$L^2T^{-2} \Theta^{-1}$	$J/(kgK) =$ $W s/(kgK)$
c_v	isochore spezifische Wärmekapazität	$L^2T^{-2} \Theta^{-1}$	$J/(kgK) =$ $W s/(kgK)$
c_p	isobare spezifische Wärmekapazität	$L^2T^{-2} \Theta^{-1}$	$J/(kgK) =$ $W s/(kgK)$
d	(Rohr-)Durchmesser	L	m $cm = 10^{-2} m$ $mm = 10^{-3} m$
d_1	Zylinder-Innendurchmesser	L	m
d_2	Kolbenstangendurchmesser	L	m
e	Volumendehnung	–	%
e	Exzentrizität, Abstand zur Randfaser	L	mm
E	Elastizitätsmodul	$ML^{-1} T^{-2}$	$N/mm^2 =$ $10^6 N/m^2$

¹ Formelzeichen (Größensymbole) für physikalische Größen und Begriffsbestimmungen nach DIN 1304, 1305, 1311, 1314, 1341, 1342, 1345, 5491, 5492, 5493, 5497, 24 312, 24 334

² Das Dimensionsprodukt (die Dimension) $\dim A$ einer (beliebigen) physikalischen Größe A gebildet aus den Basisdimensionen L, M, T, Θ , die den Basisgrößen Länge l , Masse m , Zeit t , thermodynamische Temperatur T entsprechen nach DIN 1313, Bl. 10

$$\dim A = L^\alpha M^\beta T^\gamma \Theta^\epsilon$$

mit den Dimensionsexponenten $\alpha, \beta, \gamma, \epsilon$. Bei dimensionslosen Größen sind alle Dimensionsexponenten Null.

³ Das Einheitenprodukt (die abgeleitete Einheit) $[A]$ einer (beliebigen) physikalischen Größe A gebildet aus den Basiseinheiten Meter m , Kilogramm kg , Sekunde s , Kelvin K des internationalen Einheitensystems (SI) nach DIN 1301 und Vielfache und Teile von SI-Einheiten (zweckmäßige Einheiten aus Gründen der Anschaulichkeit) z. T. mit besonderen Einheitenamen.

⁴ Die Gleichsetzung von Einheit und Dimension ist in jedem Falle falsch. Mit Hilfe von Dimensionen lassen sich qualitative Aussagen, mittels Einheiten quantitative Angaben machen.

(Formel-) ¹ Zeichen	Bedeutung (Bemerkung, Beziehung, Erklärung)	Dimension ²	SI-Einheit ^{3, 4} und weitere Einheiten
F	Kraft	MLT^{-2}	$N = \text{kgm/s}^2$
F_n	Normalkraft	MLT^{-2}	N
f	Frequenz (Periodenfrequenz)	T^{-1}	$1/s = \text{Hz}$
f_0	Eigenfrequenz (des ungedämpften Schwingers), Kennkreisfrequenz (des gedämpften Schwingers)	T^{-1}	Hz
G	Gewichtskraft	MLT^{-2}	N
g, g_n	(örtliche) Fallbeschleunigung, Normalbeschleunigung $g_n = 9,80665 \text{ m/s}^2$	LT^{-2}	m/s^2
H	Druckhöhe, statische Druckhöhe	L	m
H_{st}	statische Druckhöhe	L	m
H_t	Gesamtdruckhöhe	L	m
h	geodätische Höhe	L	m
I	Flächenträgheitsmoment (Flächenmoment 2. Grades)	L^4	$\text{m}^4, \text{mm}^4 = 10^{-12} \text{ m}^4$
J, Θ	Massenträgheitsmoment (Massenmoment 2. Grades)	ML^2	$\text{kgm}^2 = \text{Nms}^2$
K, \bar{K}	Kompressionsmodul, mittlerer	$ML^{-1} T^{-2}$	$N/\text{m}^2 = \text{Pa}$
k	Wärmedurchgangskoeffizient (Wärmedurchgangszahl)	$MT^{-3} \Theta^{-1}$	$W/(\text{Km}^2)$
L_p	Schalldruckpegel	–	– $\text{dB} = (\ln 10/20) \times N_p \approx 0,1151 N_p$
l, L	Länge	L	m
M	Drehmoment (Moment einer Kraft, Moment eines Kräftepaars)	$ML^2 T^{-2}$	Nm
m	Masse	M	$\text{kg} = \text{Ns}^2/\text{m}$
n	Drehzahl (Umdrehungsfrequenz gleich Kehrwert der Umlaufdauer T) $n = 1/T$	T^{-1}	$1/\text{s}$
P	Leistung (Energiestrom)	$ML^2 T^{-3}$	$W = J/s = \text{Nm/s}$ $\text{kW} = 10^3 W$
p	(absoluter) Druck $p = F_n/A$ (Quotient Normalkraft, die auf Fläche wirkt, zu Fläche), statischer Druck	$ML^{-1} T^{-2}$	$N/\text{m}^2 = \text{Pa}$ $\text{bar} = 10^5 \text{ N/m}^2$
p_{amb}	(jeweiliger) Atmosphärendruck	$ML^{-1} T^{-2}$	N/m^2
p_e	Überdruck $p_e = p - p_{amb}$ (atmosphärische Druckdifferenz, kann positive und negative Werte annehmen)	$ML^{-1} T^{-2}$	N/m^2
Δp	Druckdifferenz $\Delta p = p_1 - p_2$	$ML^{-1} T^{-2}$	N/m^2
p_{st}	statischer Druck (der Druck, der von einem hinreichend kleinen Meßgerät, das sich relativ zur Strömungsflüssigkeit in Ruhe befindet, gemessen würde)	$ML^{-1} T^{-2}$	N/m^2
p_t, p_g	Totaldruck, Gesamtdruck (der Druck, der entstehen würde, wenn die Strömungsflüssigkeit adiabatisch-entrop (adiabatisch reversibel) zur Ruhe gebracht wird)	$ML^{-1} T^{-2}$	n/m^2
p_d	dynamischer Druck $p_d = p_t - p_{st}$ (Differenz aus Total- und statischem Druck, für inkompressible Flüssigkeiten gleich q)	$ML^{-1} T^{-2}$	N/m^2
q	kinetischer Druck (Staudruck) $q = w^2/2$ (erhöhter Druck, der entsteht, wenn eine sich bewegende Flüssigkeit durch ein Hindernis	$ML^{-1} T^{-2}$	N/m^2

(Formel-) ¹ Zeichen	Bedeutung (Bemerkung, Beziehung, Erklärung)	Dimension ²	SI-Einheit ^{3, 4} und weitere Einheiten
	gestört wird, also die auf das Volumen bezogene kinetische Energie in andere Energie umgeformt wurde)		
Q, \dot{V}	Volumenstrom (Volumendurchfluß)	$L^3 T^{-1}$	m^3/s $l/min = (1/6) \cdot 10^{-4} \times m^3/s$
Q	Wärmemenge	MLT^{-2}	$J = Nm$ $kWh = 3,6 \cdot 10^6 J$
Re	Reynolds-Zahl	–	–
s	Weglänge, Weg längs Strömungsrichtung, Wanddicke (Rohr)	L	$m, cm = 10^{-2} m$ $mm = 10^{-3} m$
S_k	Knicksicherheit	–	–
T, Θ	thermodynamische Temperatur (Kelvin-Tem.)	Θ	K
t, ϑ	Celsius-Temperatur $t = T - T_0$ (besondere Differenz einer beliebigen thermodynamischen Temperatur T gegenüber der Temperatur $T_0 = 273,15 K$)	Θ	$^{\circ}C$
$\Delta T, \Delta t$	Temperaturdifferenz $\Delta t = t_1 - t_2 = T_1 - T_2 = \Delta T$	Θ	$K, ^{\circ}C$
t	Zeit, Zeitspanne, Dauer	T	$s, min = 1/(60 s)$ $h = 1/(60 min)$ s
T	Periodendauer, Schwingungsdauer, Umlaufdauer	T	s
V	Volumen	L^3	$m^3, cm^3 = 10^{-6} m^3$
v	Geschwindigkeit (Weggeschwindigkeit)	LT^{-1}	m/s
W, E, A	Arbeit, Energie	$ML^2 T^{-2}$	$J = Nm = Ws$
W, H	Widerstandsmoment (Flächenmoment 1. Grades)	L^3	m^3, mm^3
w, v, c	(Strömungs-)Geschwindigkeit	LT^{-1}	m/s
$\bar{w}, \bar{v}, \bar{c}$	über einen Querschnitt gemittelte Geschwindigkeit (Volumenstromdichte)	LT^{-1}	m/s
Z	Stoßwirkungszahl	–	–
α	Bunsenkoeffizient	–	–
α	Längenausdehnungskoeffizient	Θ^{-1}	$1/K, 1/^{\circ}C$
α	(Strömungs-, Schwenk-)Winkel, ebener	–	rad $1^{\circ} = (\pi/180) rad$ $1' = (1/60)^{\circ}$ $1'' = (1/60)'$ $1 rad = 57,296^{\circ} = 57^{\circ} 17' 45''$
α, α_a	Winkelbeschleunigung, Drehbeschleunigung	T^{-2}	$rad/s^2, 1/s^2$
$\alpha, \alpha_1, \alpha_2$	Wärmeübergangskoeffizient	$MT^{-3} \Theta^{-1}$	$W/(K m^2)$
α_D	Durchflußkoeffizient	–	–
γ	Volumen-Ausdehnungskoeffizient	Θ^{-1}	$1/K, 1/^{\circ}C$
$\bar{\gamma}$	mittlerer Volumen-Ausdehnungskoeffizient (für Hydrauliköle)	Θ^{-1}	$1/K, 1/^{\circ}C$
ϵ, ϵ_l	(Längen-)Dehnung	–	–
ϵ_q	Querschnittsdehnung	–	–
ζ	Widerstandszahl	–	–
η_{vol}	volumetrischer Wirkungsgrad	–	–
η_{mh}	mechan.-hydraul. Wirkungsgrad	–	–
η_t	Gesamtwirkungsgrad	–	–

(Formel-) ¹ Zeichen	Bedeutung (Bemerkung, Beziehung, Erklärung)	Dimension ²	SI-Einheit ^{3, 4} und weitere Einheiten
η_L η	Leitungs- und Ventilwirkungsgrad dynamische Viskosität	— $ML^{-1} T^{-1}$	— $Pa \ s = Ns/m^2 =$ $= kg/(s \ m)$
κ, κ_s	Isentropenexponent (für ideales Gas gleich dem Verhältnis κ der spezifischen Wärmekapazitäten \bar{c}_p, \bar{c}_v)	—	—
λ	Rohrreibungszahl	—	—
λ	Wärmeleitfähigkeit	$MLT^{-3} \Theta^{-1}$	$W/(K \ m)$
ν	kinematische Viskosität	$L^2 T^{-1}$	m^2/s $mm^2/s = 10^{-6} m^2/s$
ρ	Dichte	ML^{-3}	$kg/m^3 = Ns^2/m^4$
μ	Reibungszahl	—	—
σ	Normalspannung (Zug- oder Druckspannung)	$ML^{-1} T^{-1}$	$N/mm^2 =$ $10^6 N/m^2$
τ	Schub- oder Scherspannung	$ML^{-1} T^{-1}$	N/mm^2
φ	ebener Winkel (Drehwinkel)	—	rad $1^\circ = (\pi/180) \text{ rad}$ $1' = 1^\circ/60$ $1'' = 1'/60$
φ	(Kolben-)Flächenverhältnis $\varphi = A_1/A_3$	—	—
Φ	Wärmestrom $\Phi = Q/t$	$ML^2 T^{-3}$	$W, kW = 10^3 W$
$\chi, \bar{\chi}$	Kompressibilität, isotherme	$M^{-1} LT^2$	m^2/N
ω	Winkelgeschwindigkeit $\omega = \varphi/t = 2\pi/T = 2\pi n$ (Quotient aus ebenem Winkel und Zeitspanne gleich 2π -faches der Drehzahl n). Kreisfrequenz (Winkelfrequenz) $\omega = 2\pi f$ (2π -faches der Periodenfrequenz f)	T^{-1}	rad/s $1/s$
ω_0	Eigenkreisfrequenz (des ungedämpften Schwingers), Kennkreisfrequenz (des gedämpften Schwingers)	T^{-1}	$1/s$