
Inhaltsverzeichnis

1	Allgemeine strömungstechnische Grundlagen	1
1.1	Absolute und relative Strömung	1
1.2	Erhaltungssätze	2
1.2.1	Erhaltung der Masse	2
1.2.2	Erhaltung der Energie	3
1.2.3	Erhaltung der Bewegungsgröße	5
1.3	Grenzschichten, Grenzschichtbeeinflussung	7
1.4	Strömung auf gekrümmten Bahnen	11
1.4.1	Kräftegleichgewicht	11
1.4.2	Erzwungene und freie Wirbel	15
1.4.3	Strömung in gekrümmten Kanälen	17
1.5	Strömungsverluste	19
1.5.1	Berechnung von Reibungsverlusten	19
1.5.2	Rauheitseinfluss auf die Reibungsverluste	22
1.5.3	Verwirbelungsverluste	26
1.6	Diffusoren	28
1.7	Fluidstrahlen	34
1.8	Ausgleich ungleichförmiger Geschwindigkeitsprofile	35
1.9	Strömungsverteilung in Parallelsträngen. Rohrleitungsnetze	38
	Literatur	42
2	Bauarten und Leistungsdaten	43
2.1	Wirkungsweise und Aufbau	43
2.2	Leistungsdaten	47
2.2.1	Spezifische Förderarbeit, Förderhöhe	47
2.2.2	Netto-Energiehöhe im Saugstutzen, NPSH	48
2.2.3	Leistung und Wirkungsgrad	50
2.2.4	Kennlinien	51
2.3	Pumpentypen und ihre Anwendung	51
2.3.1	Übersicht	51
2.3.2	Klassifizierungsmöglichkeiten und Einsatzgebiete	54

2.3.3	Bauarten.....	56
2.3.4	Sonderbauarten.....	72
	Literatur.....	77
3	Grundlagen der hydraulischen Berechnung.....	79
3.1	Berechnung nach Stromfadentheorie.....	79
3.2	Energieübertragung im Laufrad: Spezifische Förderarbeit, Förderhöhe....	83
3.3	Die Strömungsumlenkung durch die Schaufeln. Abströmbeiwert und Minderumlenkung.....	86
3.4	Dimensionslose Kennzahlen. Ähnlichkeitsgesetze. Spezifische Drehzahl....	90
3.5	Leistungsbilanz und Wirkungsgrade.....	94
3.6	Berechnung der Nebenverluste.....	95
3.6.1	Radreibungsverluste.....	96
3.6.2	Leckverluste axial durchströmter Dichtspalte.....	100
3.6.3	Leistungsverlust der Zwischenstufendichtung.....	108
3.6.4	Leckverluste radial oder diagonal durchströmter Dichtspalte.....	109
3.6.5	Spaltverluste an offenen Laufrädern.....	109
3.6.6	Mechanische Verlustleistung.....	111
3.7	Grundsätzliches zur Berechnung der Leitvorrichtung.....	112
3.8	Hydraulische Verluste.....	118
3.9	Statistische Angaben über Druckzahlen, Wirkungsgrade und Verluste....	125
3.10	Einfluß der Rauheit und der Reynolds-Zahl.....	133
3.10.1	Übersicht.....	133
3.10.2	Wirkungsgradaufwertung.....	134
3.10.3	Wirkungsgradberechnung aus Verlustanalysen.....	136
3.11	Hinweise zur Verlustminimierung.....	142
3.12	Berechnungstabeln.....	143
	Literatur.....	158
4	Kennlinien.....	161
4.1	Drosselkurve und Leistungsaufnahme.....	162
4.1.1	Die theoretische Kennlinie (ohne Strömungsverluste).....	162
4.1.2	Die reale Kennlinie mit Strömungsverlusten.....	164
4.1.3	Komponentenkennlinien.....	167
4.1.4	Förderhöhe und Leistungsaufnahme beim Betrieb gegen geschlossenen Schieber.....	175
4.1.5	Einfluß der Pumpengröße und der Drehzahl.....	178
4.1.6	Einfluß der spezifischen Drehzahl auf die Kennlinienform.....	178
4.2	Bestpunktlage.....	179
4.3	Vorausbestimmung der Kennlinie.....	184
4.4	Kennfelder.....	185
4.5	Anpassen der Kennlinie.....	188

4.5.1	Abdrehen des Laufrades	189
4.5.2	Zuschärfung der Schaufeln am Laufradaustritt	195
4.5.3	Änderungen am Leitapparat	196
4.6	Analyse von Kennlinienabweichungen und Leistungsdefiziten	197
4.7	Berechnung von Kennlinienänderungen	203
	Literatur	205
5	Teillastverhalten. 3-dimensionale Strömungsvorgänge und ihre	
	Wirkung auf die Kennlinien	207
5.1	Grundsätzliche Überlegungen	208
5.2	Die Strömung im Laufrad	211
5.2.1	Übersicht	211
5.2.2	Physikalische Mechanismen	213
5.2.3	Zusammenwirken der verschiedenen Mechanismen	219
5.2.4	Rückströmung am Laufradeintritt	221
5.2.5	Die Strömung am Laufradaustritt	228
5.2.6	Meßtechnische Erkennung des Rückströmbeginns	229
5.3	Die Strömung in der Leitvorrichtung	231
5.3.1	Strömungsablösung im Leitrad	231
5.3.2	Der Druckrückgewinn im Leitrad	234
5.3.3	Einfluß der Anströmung auf Druckrückgewinn und Ablösung	235
5.3.4	Die Strömung in Spiralgehäusen	237
5.3.5	Die Strömung in Ringgehäusen und Leitringen	238
5.4	Auswirkungen der Rückströmung	239
5.4.1	Auswirkung der Rückströmung am Laufradeintritt	239
5.4.2	Auswirkung der Rückströmung am Laufradaustritt	244
5.4.3	Auswirkung auf Radseitenraumströmung und Axialschub	251
5.4.4	Schädliche Auswirkungen der Teillastrezirkulation	253
5.5	Einfluß von Ablösung und Rezirkulation auf die Kennlinie	254
5.5.1	Arten von Kennlinieninstabilität	254
5.5.2	Kennlinien mit Sattel (Instabilitäten vom Typ S)	255
5.5.3	Instabilitäten vom Typ F	264
5.6	Maßnahmen zur Beeinflussung der Kennlinienform	264
5.6.1	Einführung	264
5.6.2	Beeinflussung des Rezirkulationsbeginns am Laufradeintritt	265
5.6.3	Beeinflussung des Rezirkulationsbeginns am Laufradaustritt	266
5.6.4	Beseitigung einer Instabilität vom Typ F	266
5.6.5	Beeinflussung der Sattel-Instabilität der Radialräder mit $n_q < 50$...	268
5.6.6	Beeinflussung der Sattel-Instabilität der Radialräder mit $n_q > 50$...	272
5.6.7	Beeinflussung der Instabilität der Halbaxial- und Axialräder	272
5.6.8	Reduktion von Förderhöhe und Leistung bei Nullförderung	274
5.7	Zur Strömung in offenen Axialrädern	275

5.8	Strömungsinstabilitäten bei doppelblutigen Laufrädern und Doppelspiralen	283
	Literatur	286
6	Saugverhalten und Kavitation	291
6.1	Physikalische Grundlagen	291
6.1.1	Entstehung und Implosion von Dampfblasen in einer Strömung ...	291
6.1.2	Blasendynamik	294
6.2	Kavitation in Laufrad und Leitrad	297
6.2.1	Druckverteilung und Blasenfeld	297
6.2.2	Erforderlicher NPSH-Wert. Ausmaß der Kavitation. Kavitationskriterien	299
6.2.3	Modellgesetze für Kavitationsströmungen	300
6.2.4	Die Saugzahl	304
6.2.5	Experimentelle Bestimmung des erforderlichen NPSH _R -Wertes ...	306
6.2.6	Spaltkavitation	316
6.3	Bestimmung des NPSH _R -Wertes	317
6.3.1	Einflußparameter auf den NPSH _R -Wert	317
6.3.2	Berechnung des NPSH _R -Wertes	320
6.3.3	Abschätzung des NPSH ₃ -Wertes als Funktion des Förderstromes ...	324
6.4	Einfluß der Fluideigenschaften	328
6.4.1	Thermodynamische Einflüsse	328
6.4.2	Nichtkondensierbare Gase	331
6.4.3	Keimgehalt und Zugspannungen in der Flüssigkeit	332
6.5	Kavitationsbedingte Schwingungen und Geräusche	334
6.5.1	Erregermechanismen	334
6.5.2	Kavitationsschallmessungen zur Quantifizierung der hydrodynamischen Kavitationsintensität	335
6.5.3	Frequenzverhalten des Kavitationsschalls	339
6.6	Kavitationserosion	340
6.6.1	Untersuchungsmethoden	341
6.6.2	Kavitationswiderstand	343
6.6.3	Vorausberechnung von Kavitationsschäden aufgrund der Blasenfeldlänge	346
6.6.4	Abschätzung der Erosion aufgrund des Flüssigkeitsschalls	349
6.6.5	Körperschallmessungen zur Kavitationsdiagnose	351
6.6.6	Farberosionsversuche zur Bestimmung des Implosionsortes	351
6.6.7	Erosionsschwellwert und Materialverhalten bei verschiedenen hydrodynamischen Kavitationsintensitäten	353
6.6.8	Zusammenfassende Beurteilung	357
6.7	Die Wahl des Zulaufdruckes in der Anlage (NPSH _A)	360

6.8	Kavitationsschäden: Analyse und Abhilfe	364
6.8.1	Aufnahme des Schadens und der Betriebsparameter	364
6.8.2	Kavitationsformen und typische Arten von Kavitationsschäden ...	365
6.8.3	Behebung von Kavitationsschäden	375
6.9	Ungenügende Saugfähigkeit: Analyse und Abhilfe	376
	Literatur	378
7	Berechnung und Entwurf der hydraulischen Komponenten	381
7.1	Methoden und Randbedingungen	381
7.1.1	Methoden zur Entwicklung hydraulischer Komponenten	381
7.1.2	Hydraulische Anforderungen	383
7.1.3	Rechenmodelle	384
7.2	Radiale Laufräder	386
7.2.1	Bestimmung der Hauptabmessungen	386
7.2.2	Der Laufradentwurf	396
7.2.3	Kriterien für die Schaufelgestaltung	402
7.2.4	Gestaltungskriterien für Sauglaufräder	404
7.2.5	Ausnützung dreidimensionaler Effekte	407
7.3	Radiale Laufräder für kleine spezifische Drehzahlen	408
7.3.1	Einfach gekrümmte Schaufeln (Zylinderschaufeln)	408
7.3.2	Lochscheiben	409
7.3.3	Radialer Schaufelstern	412
7.3.4	Doppeltwirkende Laufräder mit radialen Schaufeln	413
7.4	Radiale Laufräder für Pumpen mit Verstopfungsgefahr	414
7.5	Halbaxiale Laufräder	424
7.6	Axiale Laufräder und Leitapparate	429
7.6.1	Eigenschaften	429
7.6.2	Berechnung und Wahl der Hauptabmessungen	430
7.6.3	Einige Eigenschaften von Tragflügeln	435
7.6.4	Schaufelauslegung	441
7.6.5	Profilauswahl	449
7.6.6	Leitradauslegung	451
7.7	Vorsatzläufer	453
7.7.1	Berechnung der Vorsatzläufer	454
7.7.2	Entwurf und Gestaltung der Vorsatzläufer	460
7.7.3	Abstimmung von Vorsatzläufer und Laufrad	461
7.7.4	Hinweise für die Anwendung der Vorsatzläufer	462
7.8	Spiralgehäuse	464
7.8.1	Berechnung und Wahl der Hauptabmessungen	464
7.8.2	Entwurf und Gestaltung der Spiralgehäuse	470
7.8.3	Einfluß der Gestaltung auf das hydraulische Verhalten	474

7.9	Radiale Leiträder mit und ohne Rückführung	476
7.9.1	Berechnung und Wahl der Hauptabmessungen.....	476
7.9.2	Entwurf und Gestaltung radialer Leiträder.....	482
7.10	Halbaxiale Leiträder	484
7.11	Spirale mit Leitrad oder Stützschaufelring	486
7.12	Ringräume und Leitränge.....	487
7.13	Einlaufgehäuse für Pumpen mit durchgehender Welle.....	487
7.14	Analytische Verfahren für den Laufradentwurf.....	492
7.14.1	Veranlassung, Umfang und Ziele.....	492
7.14.2	Meridianschnitt	494
7.14.3	Schaufelentwurf	499
7.14.4	Vorgehen bei der Entwicklung einer Entwurfssystematik	499
7.14.5	Einige Resultate.....	504
	Literatur	505
8	Numerische Strömungsberechnungen	509
8.1	Übersicht	509
8.2	Quasi-3D-Verfahren und 3D-Euler-Rechnungen	512
8.2.1	Quasi-3D-Verfahren	512
8.2.2	Dreidimensionale Euler-Verfahren	513
8.3	Grundlagen für Navier-Stokes-Berechnungen	513
8.3.1	Navier-Stokes-Gleichungen.....	513
8.3.2	Turbulenzmodellierung.....	515
8.3.3	Behandlung der Strömung in Wandnähe	520
8.3.4	Netzerzeugung	522
8.3.5	Numerische Verfahren und Steuerparameter.....	525
8.3.6	Randbedingungen	527
8.3.7	Anfangswerte.....	529
8.3.8	Möglichkeiten von 3D-Navier-Stokes-Berechnungen.....	530
8.4	Mittelwertbildung und Datenaufbereitung.....	532
8.5	Laufradberechnung.....	540
8.5.1	Globalwerte im Bestpunkt.....	540
8.5.2	Geschwindigkeitsprofile	546
8.5.3	Einflußparameter	546
8.5.4	Berechnungsbeispiel.....	547
8.6	Berechnung von Leitvorrichtungen und Stufen	550
8.6.1	Getrennte Berechnung der Leitvorrichtung	550
8.6.2	Stationäre Berechnung von Stufen oder kompletten Maschinen....	551
8.6.3	Instationäre Berechnungen.....	553
8.7	Zwei-Phasen- und Kavitationsströmungen.....	554
8.8	Berechnungsstrategien, Unsicherheiten, Qualität	559
8.8.1	Unsicherheiten, Fehlerquellen, Fehlerreduktion	560

8.8.2	Qualitätssicherung bei CFD-Rechnungen	564
8.8.3	Vergleich zwischen Rechnung und Messung	574
8.9	Kriterien für die Beurteilung numerischer Berechnungen	576
8.9.1	Allgemeine Hinweise	576
8.9.2	Konsistenz und Plausibilität der Rechnung	577
8.9.3	Werden die verlangten Leistungsdaten erreicht?	578
8.9.4	Maximierung des hydraulischen Wirkungsgrades	578
8.9.5	Kennlinienstabilität	580
8.9.6	Instationäre Kräfte	581
8.10	Grundsätzliches zu CFD-Rechnungen	581
	Literatur	584
9	Hydraulische Kräfte	589
9.1	Die Strömung im Radseitenraum	589
9.2	Axialkräfte	607
9.2.1	Axialkraftberechnung allgemein	607
9.2.2	Einstufige Pumpen mit einflutigem, überhängendem Laufrad	609
9.2.3	Mehrstufige Pumpen	614
9.2.4	Doppelflutige Laufräder	618
9.2.5	Halbaxiale Laufräder	619
9.2.6	Axialpumpen	620
9.2.7	Rückenschaufeln	620
9.2.8	Halboffene Laufräder	623
9.2.9	Instationäre Axialkräfte	623
9.2.10	Axialschubberechnungen im Überblick	624
9.3	Radialkräfte	627
9.3.1	Definition und Abgrenzung	627
9.3.2	Messung von Radialkräften	629
9.3.3	Pumpen mit Einfachspirale	631
9.3.4	Pumpen mit Doppelspirale	637
9.3.5	Pumpen mit Ringraum	639
9.3.6	Leitradpumpen	639
9.3.7	Radialkraft infolge ungleichförmiger Zuströmung	639
9.3.8	Axialpumpen	641
9.3.9	Radialkräfte in Pumpen mit Einkanalrad	642
9.3.10	Radialkraftausgleich	656
9.3.11	Radialkraftberechnung	657
	Literatur	662
10	Schwingungen und Geräusche	665
10.1	Instationäre Strömungsvorgänge am Laufradaustritt	666
10.2	Druckpulsationen	670

10.2.1	Entstehung von Druckpulsationen.....	670
10.2.2	Strömung und Schallerzeugung.....	671
10.2.3	Einflußparameter der Pumpe.....	671
10.2.4	Einfluß des Systems.....	674
10.2.5	Modellgesetze.....	676
10.2.6	Messung und Auswertung.....	677
10.2.7	Druckpulsationen ausgeführter Pumpen.....	679
10.2.8	Auswirkungen von Druckpulsationen.....	681
10.2.9	Auslegungsrichtlinien.....	681
10.3	Bauteilbeanspruchung durch instationäre Strömungsvorgänge.....	684
10.4	Schallabstrahlung.....	685
10.4.1	Körperschall.....	685
10.4.2	Luftschall.....	687
10.5	Übersicht über mechanische Schwingungen bei Kreispumpen.....	690
10.6	Rotordynamik.....	692
10.6.1	Übersicht.....	692
10.6.2	Kräfte in Spaltdichtungen.....	693
10.6.3	Hydraulische Laufradwechselwirkung.....	700
10.6.4	Lagerreaktionen.....	702
10.6.5	Eigenwerte und kritische Drehzahlen.....	703
10.6.6	Rotor-Instabilitäten.....	706
10.7	Hydraulische Schwingungsanregung.....	709
10.7.1	Wechselwirkung zwischen Laufrad- und Statorströmung.....	709
10.7.2	Umlaufende Ablösungen.....	722
10.7.3	Übrige Erregermechanismen.....	725
10.8	Richtlinien für die Konstruktion schwingungsarmer Pumpen.....	738
10.9	Zulässige Schwingungen.....	741
10.10	Allgemeine Schwingungsdiagnose.....	743
10.10.1	Überblick.....	743
10.10.2	Schwingungsmessungen.....	745
10.10.3	Schwingungsdiagnose.....	748
10.11	Lagergehäuseschwingungen: Mechanismus, Diagnose, Abhilfe.....	755
10.11.1	Hydraulische Erregermechanismen.....	756
10.11.2	Mechanische Auswirkungen hydraulischer Anregung.....	761
10.11.3	Hydraulische und mechanische Abhilfe.....	764
10.11.4	Diagnose von Lagergehäuseschwingungen.....	765
10.12	Hydraulische und akustische Anregung von Rohrleitungsschwingungen.....	778
10.12.1	Anregung von Rohrleitungsschwingungen durch Pumpen.....	779
10.12.2	Anregung von Rohrschwingungen durch Komponenten.....	781
10.12.3	Akustische Resonanzen in Rohrleitungen.....	782
10.12.4	Hydraulische Anregung durch Wirbelstraßen.....	786

10.12.5	Kopplung zwischen Strömung und Schallwellen	790
10.12.6	Zum Mechanismus von Rohrleitungsschwingungen	796
10.13	Torsionsschwingungen	800
	Literatur	804
11	Verhalten der Kreiselpumpen in Anlagen	809
11.1	Anlagenkennlinien und Arbeitspunkt. Einzelbetrieb, Parallel- und Reihenschaltung	809
11.2	Regelung.	815
11.3	Statische und dynamische Stabilität	822
11.4	Anfahren, Abschalten	824
11.5	Ausfall des Antriebes, Druckstoß	829
11.6	Zulässiger Betriebsbereich	830
11.7	Der Pumpenzulauf	833
11.7.1	Zulaufleitungen	834
11.7.2	Transientes Absinken des Zulaufdruckes	836
11.7.3	Einlaufbauwerke und Zulauf aus Behältern mit freiem Fluidspiegel	842
11.7.4	Topfpumpen	857
11.8	Druckleitungen	858
	Literatur	861
12	Turbinenbetrieb. Allgemeines Kennfeld	863
12.1	Rückwärtslaufende Kreiselpumpen als Turbinen	863
12.1.1	Theoretische und reale Kennlinien	863
12.1.2	Leerlauf- und Widerstandskennlinien.	869
12.1.3	Berechnung der Kennlinien aufgrund empirischer Korrelationen	870
12.1.4	Berechnung der Turbinenkennlinien aufgrund der Verlustanalyse	875
12.1.5	Verhalten der Turbinen in Anlagen	879
12.2	Allgemeines Kennfeld.	883
	Literatur	889
13	Einfluß des Fördermediums	891
13.1	Förderung von Flüssigkeiten mit hoher Viskosität	891
13.1.1	Wirkung der Viskosität auf Einzelverluste und Kennlinie	891
13.1.2	Umrechnung der Kennlinie von Wasser auf viskose Medien.	903
13.1.3	Einfluß der Zähigkeit auf das Saugverhalten	910
13.1.4	Anfahren der Pumpe mit einem viskosen Medium.	910
13.1.5	Hinweise für die Anwendung	911

13.2 Förderung von Gas-Flüssigkeits-Gemischen	912
13.2.1 Phasenverteilung in der Rohrströmung	913
13.2.2 Phasenverteilung in der Pumpenströmung, Einflußparameter	917
13.2.3 Empirische Behandlung von Zweiphasenströmungen	927
13.2.4 Verhalten von Kreiselpumpen bei Gas-Flüssigkeits-Förderung ...	934
13.2.5 Helico-axiale Mehrphasenpumpen	940
13.2.6 Systemkennlinien	944
13.2.7 Flüssigkeits- und Gasansammlungen	946
13.2.8 Ungelöste und gelöste Gase und NPSH	948
13.3 Entspannung von Zweiphasengemischen in Turbinen	949
13.3.1 Berechnung des Arbeitsumsatzes	949
13.3.2 Vorausberechnung der Turbinenkennlinien bei Zweiphasenströmung	951
13.4 Hydraulischer Feststofftransport	954
13.5 Nicht-Newton'sche Flüssigkeiten	963
Literatur	967
 14 Werkstoffwahl für hohe Geschwindigkeiten	 971
14.1 Ermüdungsbrüche an Laufrädern oder Leiträdern	972
14.2 Korrosion	984
14.2.1 Grundsätzliches	984
14.2.2 Korrosionsmechanismen	986
14.2.3 Korrosion in Trinkwasser, Kühlwasser, Abwasser	992
14.2.4 Korrosion in Meerwasser und Lagerstättenwasser	995
14.3 Erosionskorrosion in vollentsalztem Wasser	1000
14.4 Materialwahl und zulässige Geschwindigkeiten	1008
14.4.1 Definition häufig vorkommender Fördermedien	1008
14.4.2 Metallische Pumpenwerkstoffe	1010
14.4.3 Laufräder, Leiträder und Gehäuse	1017
14.4.4 Spaltringwerkstoffe	1029
14.4.5 Werkstoffe für mediumsberührte Wellen	1032
14.4.6 Werkstoffe für Speisewasser- und Kondensatpumpen	1033
14.4.7 Werkstoffe für REA-Pumpen	1034
14.4.8 Verbundwerkstoffe	1035
14.5 Hydroabrasiver Verschleiß	1037
14.5.1 Einflußparameter	1037
14.5.2 Quantitative Verschleißabschätzung	1040
14.5.3 Materialverhalten und Feststoffeinfluß	1047
14.5.4 Materialwahl	1050
14.5.5 Abrasionsverschleiß in Feststoffpumpen	1052
14.5.6 Erosionsformen als Spiegelbild der Strömung	1054
Literatur	1060

15 Zur Auswahl und Qualität von Kreiselpumpen	1065
15.1 Die Pumpenspezifikation	1066
15.2 Bestimmung von Pumpentyp und Baugröße	1068
15.3 Technische Qualitätskriterien	1074
15.3.1 Strömungstechnische Kriterien	1075
15.3.2 Herstellungsqualität	1078
15.4 Hochleistungspumpen	1084
Literatur	1089
16 Versuche an Kreiselpumpen	1091
16.1 Versuchsarten und zugehörige Messungen	1091
16.2 Versuchskreisläufe	1093
16.2.1 Geschlossene Versuchskreisläufe	1095
16.2.2 Geschlossener Versuchskreislauf mit Druckhalter	1095
16.2.3 Halboffener Versuchskreislauf	1101
16.2.4 Geschlossener Kreislauf mit Strömung durch einen Tank mit freiem Wasserspiegel	1102
16.2.5 Offene Versuchskreisläufe	1103
16.3 Instrumentierung	1106
16.3.1 Druckmessung	1106
16.3.2 Durchflußmessung	1107
16.3.3 Messung von Leistung, Drehmoment und Wirkungsgrad	1112
16.4 Versuchsvorbereitung und Versuchsdurchführung	1113
16.4.1 Versuchsvorbereitung	1113
16.4.2 Vorgehen bei Kennlinienmessungen	1114
16.4.3 Vorgehen bei Kavitationsversuchen	1115
16.5 Versuchsauswertung und Genauigkeit	1115
16.6 Mögliche Probleme bei Versuchen und Abhilfe	1117
Literatur	1117
17 Allgemeine Daten und Formeln	1119
Kapitel 17 liefert:	1119
17.1 (1) Umrechnung von Maßeinheiten	1120
17.2 (2) Umrechnung von Maßeinheiten	1121
17.3 Eigenschaften von Wasser im Sättigungszustand	1122
17.4 Lösung von Gasen in Wasser	1125
17.5 Qualitätsanforderungen an Gußstücke (Tab. 17.1 und 17.2)	1128
17.6 Physikalische Größen	1129
17.6.1 Atmosphärischer Luftdruck	1129
17.6.2 Fallbeschleunigung	1130
17.7 Schallgeschwindigkeit in einer Flüssigkeit	1130
17.8 Mechanische Schwingungen. Grundbegriffe	1131
17.8.1 Freie Schwingungen mit viskoser Dämpfung	1131

17.8.2	Erzwungene Schwingungen	1133
17.8.3	Eigenfrequenzen einfacher Strukturen	1140
17.9	Hydraulische Spezifikation	1141
	Literatur	1147
Literaturverzeichnis		1149
Sachverzeichnis		1153