

Herausgeber:

Sulzer Pumpen  
Bereich von Sulzer Roteq

**SULZER**

# **KREISELPUMPEN HANDBUCH**

4. Auflage

VULKAN-VERLAG ESSEN

# INHALTSVERZEICHNIS

<b>1</b>	<b>PHYSIKALISCHE GRUNDLAGEN</b>	15
1.1	Energieübertragung in Kreiselpumpen	15
1.2	Leistung, Verluste und Wirkungsgrade	17
1.3	Förderhöhe der Pumpe	20
1.4	Förderhöhenbedarf der Anlage	20
1.5	Kavitation und Saugverhalten	21
1.5.1	Physikalische Vorgänge	21
1.5.2	Haltedruckhöhe der Pumpe (NPSH)	23
1.5.3	Haltedruckhöhe der Anlage	25
1.5.4	Mittel zur Verbesserung der Saugfähigkeit	27
1.5.5	Kavitationserosion	27
1.6	Modellgesetze und Ähnlichkeitsgrößen	27
1.7	Axialschub	31
1.8	Radialschub	36
1.9	Rotordynamik	36
<b>2</b>	<b>BETRIEBSVERHALTEN VON KREISELPUMPEN</b>	40
2.1	Kennlinien von Kreiselpumpen	40
2.2	Regelung von Kreiselpumpen	44
2.2.1	Rohrleitungskennlinie	44
2.2.2	Regelmöglichkeiten	45
2.2.2.1	Drosselung	45
2.2.2.2	Zuschalten und Abschalten von Pumpen	46
2.2.2.3	Bypass-Regelung	49
2.2.2.4	Drehzahl-Regelung	49
2.2.2.5	Laufschaufelverstellung	52
2.2.2.6	Vordrallregelung	53
2.2.2.7	Kavitationsregelung	55
2.3	Anpassung der Kennlinien an die Betriebsdaten	56
2.3.1	Durch Abdrehen des Laufrades	56
2.3.2	Durch Zuspitzen des Schaufelaustritts	58
2.4	Drehmoment / Drehzahl-Kurven	59
2.4.1	Anfahrmoment von Kreiselpumpen	59
2.4.2	Anlaufvorgang	60
2.4.2.1	Anfahren bei geschlossenem Schieber	60
2.4.2.2	Anfahren bei geöffnetem Schieber gegen eine geschlossene Rückschlagklappe	61
2.4.2.3	Anfahren bei geöffnetem Schieber ohne geodätische Höhe	61

2.4.2.4	Anfahren bei geöffnetem Schieber und entleerter Druckleitung . . . . .	62
2.5	Hochlaufzeit einer Kreiselpumpe . . . . .	62
2.6	Auslaufzeit einer Kreiselpumpe. . . . .	63
2.7	Förderung von speziellen Flüssigkeiten . . . . .	64
2.7.1	Viskose Flüssigkeiten . . . . .	64
2.7.1.1	Begriff der Viskosität . . . . .	64
2.7.1.2	Förderung von viskosen Flüssigkeiten . . . . .	67
2.7.1.3	Bestimmung einer Pumpengröße für viskose Flüssigkeiten . . . . .	70
2.7.1.4	Umrechnung der Drosselkurven . . . . .	71
2.7.2	Gas- / Flüssigkeitsgemische . . . . .	73
2.7.3	NPSH bei Förderung von Kohlenwasserstoffen . . . . .	75
2.7.3.1	Einfluss auf die Saugfähigkeit (NPSH) . . . . .	75
2.7.4	Förderung von Feststoffen durch Kreiselpumpen . . . . .	77
2.8	Mindestmenge . . . . .	82
2.8.1	Bestimmung der Mindestmenge . . . . .	82
2.8.1.1	Zulässiger Temperaturanstieg. . . . .	82
2.8.1.2	Hydraulisch ungünstiges Verhalten im Teillastgebiet . . . . .	84
2.8.1.3	Einfluss des Axial- und Radialschubes . . . . .	86
<b>3</b>	<b>ABNAHMEVERSUCHE AN KREISELPUMPEN. . . . .</b>	<b>87</b>
3.1	Vorbemerkungen . . . . .	87
3.2	Hydraulische Pumpenprüfungen . . . . .	87
3.2.1	Abnahmeregeln . . . . .	87
3.2.2	Gegenüberstellung der Normen DIN – ISO – API 610 Hydraulic Institute Standards . . . . .	89
3.2.3	Prüfstandsaufrichtungen . . . . .	91
3.2.4	Umrechnung der Versuchsergebnisse . . . . .	95
3.2.5	Messunsicherheit der Messgeräte . . . . .	96
3.2.6	Erfüllung der Garantien. . . . .	98
3.2.7	Prüfstände. . . . .	100
3.3	Axialschubmessungen . . . . .	101
3.3.1	Gründe für die Messung des Axialschubes. . . . .	101
3.3.2	Verwendete Axialkraftaufnehmer. . . . .	102
3.4	Radialschubmessungen . . . . .	103
3.5	Bestimmung des Wirkungsgrades nach der thermodynamischen Messmethode. . . . .	104
3.5.1	Theoretische Grundlagen . . . . .	104
3.5.2	Methoden der Temperaturmessung . . . . .	105
3.5.2.1	Messung mit Entnahmesonden, Quarzthermometer . . . . .	106
3.5.2.2	Messung der Rohraussentemperatur . . . . .	107
3.5.3	Grenzen der Anwendung . . . . .	108

<b>4</b>	<b>SPEZIELLE UNTERLAGEN ZUR PLANUNG VON KREISELPUMPENANLAGEN</b>	109
4.1	Einlaufbauwerke für vertikale Pumpen	109
4.1.1	Vorbemerkungen	109
4.1.1.1	Die Geschwindigkeitsverteilung	109
4.1.1.2	Der NPSH-Wert der Anlage	109
4.1.1.3	Die Bildung von Wirbeln	109
4.1.1.4	Vermeidung eines Vordalles	110
4.1.2	Gestaltungsrichtlinien	111
4.1.2.1	Das Einlaufbauwerk	112
4.1.2.2	Offene Einlaufkammer mit Einlauftrumpete	112
	a) Einzelaufstellung	112
	b) Parallelaufstellung	113
	c) Serieaufstellung	114
4.1.2.3	Einlaufkammer mit anschliessendem Einlaufbogen	115
4.2	Richtlinien für Saug- und Zulaufleitungen	120
4.2.1	Anschlüsse der Leitung am Saug- oder Zulaufbecken	120
4.2.2	Ausbildung von Saug- und Zulaufleitungen	123
4.2.2.1	Vorbemerkungen	123
4.2.2.2	Gestaltungsrichtlinien	123
	a) Axial saugende Pumpen	123
	b) Doppelflutige Pumpen	125
	c) Anschlüsse von Pumpenleitungen an Zulauf- oder Speisewasserbehälter	128
4.3	Druckstösse in Rohrleitungssystemen	131
4.3.1	Ursachen einer Druckveränderung	131
4.3.2	Grundlagen	131
4.3.3	Berechnung des Druckstosses	135
4.3.4	Notwendigkeit einer Druckstossberechnung	136
4.3.5	Schutzmassnahmen	137
4.3.6	Klappenschlag	142
4.3.7	Beispiele	142
4.3.8	Garantie und Abnahmeversuch	146
4.4	Überwachungs- und Messinstrumente für Kreiselpumpen	147
4.5	Geräuschemission von Kreiselpumpen	149
4.5.1	Einige akustische Grundbegriffe	149
4.5.2	Geräuschenstehung bei Pumpen	151
4.5.3	Messung des Lärms	152
4.5.4	Schallmesswerte	154
4.5.5	Massnahmen zur Reduktion des Lärms	156
4.5.6	Verzeichnis von Normen und Richtlinien	157
4.6	Schwingungen an Kreiselpumpen	158
4.6.1	Einleitung	158

4.6.2	Messung von Lager- und Wellenschwingungen . . . . .	160
4.6.3	Grenzwerte für Schwingungen . . . . .	161
<b>5</b>	<b>MECHANISCHE KOMPONENTEN . . . . .</b>	<b>163</b>
5.1	Wellenkupplungen . . . . .	163
5.2	Lager . . . . .	168
5.2.1	Wälzlager . . . . .	168
5.2.2	Gleitlager . . . . .	168
5.2.3	Hydrostatische Radial- und Axiallager . . . . .	172
5.3	Dichtungen . . . . .	173
5.4	Rohrleitungskräfte . . . . .	177
<b>6</b>	<b>ROHRLEITUNGEN UND ARMATUREN. . . . .</b>	<b>179</b>
6.1	Druckverluste. . . . .	179
6.1.1	Rohrleitungsnetze . . . . .	179
6.1.2	Serie- und Parallelbetriebe von Pumpen. . . . .	180
6.1.3	Konstruktion der Druckverlustkurve . . . . .	181
6.1.4	Rohrleitungen allgemein . . . . .	182
6.1.4.1	Wahl des lichten Rohrdurchmessers. . . . .	182
6.1.4.2	Richtwerte für die Strömungsgeschwindigkeiten in den Rohrleitungen vor und nach der Pumpe. . . . .	182
6.1.4.3	Druckverlustberechnungen in geraden Rohrleitungen . . . . .	183
6.1.4.4	Druckverluste in Verzweigungen . . . . .	189
6.1.4.5	Druckverluste in Krümmern . . . . .	192
6.1.4.6	Druckverluste beim Einströmen in Rohre . . . . .	194
6.1.4.7	Druckverluste bei Querschnittsänderungen . . . . .	195
6.1.4.7.1	Querschnittsverengung . . . . .	195
6.1.4.7.2	Querschnittserweiterung . . . . .	196
6.1.4.8	Druckverluste in Armaturen . . . . .	199
6.2	Rohrabmessungen . . . . .	202
<b>7</b>	<b>ANTRIEBE VON KREISELPUMPEN . . . . .</b>	<b>208</b>
7.1	Elektromotore . . . . .	208
7.1.1	Eigenschaften der verschiedenen Elektromotore . . . . .	208
7.1.2	Dreiphasen-Motoren . . . . .	208
7.1.2.1	Allgemeines. . . . .	208
7.1.2.2	Anwendung von Dreiphasen-Asynchronmotoren mit Käfigläufer . . . . .	208
7.1.2.3	Anwendung von Dreiphasen-Asynchronmotoren mit Schleifringläufer. . . . .	209
7.1.2.4	Anwendung von Dreiphasen-Synchronmotoren. . . . .	209

7.1.3	Randbedingungen, welche die Dimensionierung des Motors beeinflussen . . . . .	210
7.1.3.1	Anforderungen der Kreiselpumpe an den Motor . . .	210
7.1.3.2	Umgebungsbedingungen . . . . .	211
7.1.3.3	Netzanschluss . . . . .	211
7.1.3.4	Besondere Vorschriften . . . . .	211
7.1.4	Anlauf-Kennlinien . . . . .	211
7.1.4.1	Allgemeines . . . . .	211
7.1.4.2	Anlauf-Kennlinien von Dreiphasen-Käfigläufermotoren . . . . .	212
7.1.4.3	Anlauf-Kennlinien von Dreiphasen-Schleifringläufermotoren . . . . .	213
7.1.4.4	Anlauf-Kennlinien von Dreiphasen-Synchronmotoren . . . . .	213
7.1.5	Mögliche Anlaufverfahren . . . . .	214
7.1.5.1	Allgemeines . . . . .	214
7.1.5.2	Anlauf von Dreiphasen-Käfigläufermotoren . . . . .	214
7.1.5.3	Anlauf von Dreiphasen-Schleifringläufermotoren . . . . .	215
7.1.5.4	Anlauf von Dreiphasen-Synchronmotoren . . . . .	216
7.1.6	Wahl der Anlaufmethode für Dreiphasen-Motoren . . . . .	216
7.1.6.1	Allgemeines . . . . .	216
7.1.6.2	Bewährte Anlaufmethoden . . . . .	216
7.1.6.3	Vergleich der verschiedenen Anlaufverfahren . . . . .	217
7.1.7	Drehzahlsteuerung / Regelung von Dreiphasen-Motoren . . . . .	217
7.1.7.1	Drehzahlsteuerung von Dreiphasen-Käfigläufermotoren . . . . .	217
7.1.7.2	Drehzahlsteuerung von Dreiphasen-Schleifringläufermotoren . . . . .	218
7.1.7.3	Drehzahlsteuerung von Dreiphasen-Synchronmotoren . . . . .	219
7.1.8	Einige Merkmale, die bei der Wahl von Drehstrommotoren zum Antrieb von Kreiselpumpen relevant sind. . . . .	220
7.1.8.1	Drehstrom oder Dreiphasennetz . . . . .	220
7.1.8.2	Betriebsspannungen und Netzfrequenz . . . . .	221
7.1.8.3	Schwankungen der Netzspannungen bei gleichbleibender Netzfrequenz . . . . .	221
7.1.8.4	Einfluss von Schwankungen der Netzfrequenz bei gleichbleibender Netzspannung . . . . .	222
7.1.8.5	Gleichzeitige Schwankungen der Netzspannung und Frequenz . . . . .	222
7.1.8.6	Drehzahlen der Dreiphasenmotoren bei Frequenzen 50/60 Hz für verschiedene Polzahlen . . . . .	223
7.1.8.7	Einfluss von Umgebungstemperaturen und Aufstellungshöhe . . . . .	223

7.1.8.8	Isolierstoffklassen – Lebensdauer der Wicklungen . . .	224
7.1.8.9	Bauformen von Dreiphasenmotoren . . . . .	226
7.1.8.10	Schutzarten von Dreiphasenmotoren . . . . .	227
7.1.8.11	Kühlarten von Dreiphasenmotoren . . . . .	228
7.1.8.12	Leistungsaufnahme und Nennstrom. . . . .	228
7.2	Dieselmotoren . . . . .	229
7.2.1	Allgemeines. . . . .	229
7.2.2	Betriebswerte und Betriebseigenschaften . . . . .	229
7.2.2.1	Drehzahl . . . . .	229
7.2.2.2	Leistung. . . . .	229
7.2.3	Aufstellungsbedingungen . . . . .	230
	– Brennstoff . . . . .	230
	– Abführung der Auspuffgase . . . . .	230
	– Frischluftbedarf. . . . .	230
	– Kühlwasserbedarf. . . . .	231
	– Anlassen des Motors . . . . .	231
	– Vorwärmung des Motors . . . . .	231
	– Geräuschemission . . . . .	231
	– Drehschwingungen . . . . .	231
7.2.4	Anwendung . . . . .	232
	– Direkter Antrieb der Pumpen. . . . .	232
	– Antrieb über Diesel/Generatorgruppe (Hilfsstromgruppe) . . . . .	232
	– Pumpe-Elektromotor und Diesel auf gleichem Wellenstrang . . . . .	232
7.3	Gasturbinen . . . . .	232
7.3.1	Einleitung . . . . .	232
7.3.2	Thermodynamisches Prinzip und Aufbau . . . . .	233
7.3.2.1	Arbeitsprinzip. . . . .	233
7.3.2.2	Bauarten . . . . .	235
7.3.3	Auslegung. . . . .	236
7.3.4	Brennstoffe . . . . .	237
7.3.5	Umweltschutz. . . . .	238
7.3.5.1	Lärmemission . . . . .	238
7.3.5.2	Abgasemissionen . . . . .	238
7.3.6	Gasturbinen-Hilfssysteme. . . . .	238
7.3.6.1	Anfahrssystem . . . . .	238
7.3.6.2	Schmierölsystem . . . . .	238
7.3.6.3	Ansaugluft-Filtrierung . . . . .	239
7.3.6.4	Kontrollsystem . . . . .	239
7.3.7	Anwendung als Pumpenantrieb . . . . .	239
7.3.7.1	Pipeline . . . . .	240
7.3.7.2	Injektion . . . . .	240
7.3.7.3	Beladestationen. . . . .	241
7.3.7.4	Anwendungs-Überlegungen. . . . .	241

9.1.2	Boosterpumpen für Speisepumpen . . . . .	278
9.1.3	Kondensatpumpen . . . . .	278
9.1.4	Vorwärmer-Drainagepumpen (Nebenkondensatpumpen) . . . . .	279
9.1.5	Kühlwasserpumpen . . . . .	280
9.1.6	Hilfspumpen für nukleare Kraftwerke. . . . .	281
9.2	Öl. . . . .	282
9.2.1	Injektionspumpen für die Ölindustrie . . . . .	282
9.2.2	Pipelinepumpen für die Ölindustrie . . . . .	283
9.2.3	Prozesspumpen für die Petrochemie. . . . .	283
9.3	Wasser . . . . .	284
9.3.1	Meerwassertransport-Pumpen . . . . .	284
9.3.2	Trinkwasserversorgungs-Pumpen . . . . .	285
9.3.3	Bewässerungspumpen. . . . .	287
9.3.4	Entwässerungspumpen . . . . .	288
9.3.5	Abwasserpumpen . . . . .	289
9.4	Industrie . . . . .	291
9.4.1	Minenentwässerungspumpen . . . . .	291
9.4.2	Pumpen für die Zuckerindustrie. . . . .	291
9.4.3	Pumpen für die Papierindustrie . . . . .	292
9.4.4	Schiffspumpen . . . . .	294
9.4.5	Feststofftransport-Pumpen . . . . .	295
9.4.6	Pumpen für Rauchgas-Entschwefelungsanlagen. . . . .	297
9.4.7	Meerwasserentsalzungs-Pumpen . . . . .	297
<b>10</b>	<b>QUALITÄTSMANAGEMENT</b> . . . . .	<b>299</b>
10.1	Einführung . . . . .	299
10.2	Grundlagen des Qualitätsmanagements . . . . .	299
10.3	Massnahmen zur Sicherung der Qualität . . . . .	303
10.3.1	Die administrative Sicherung der Qualität . . . . .	303
10.3.2	Die technische Sicherung der Qualität . . . . .	303
10.3.3	Die fabrikatorische Sicherung der Qualität . . . . .	304
10.3.4	Qualitätsüberwachung . . . . .	306
<b>11</b>	<b>MASSEINHEITEN UND ZUSÄTZLICHE TABELLEN ODER DIAGRAMME</b> . . . . .	<b>306</b>
11.1	Masseinheiten . . . . .	306
11.1.1	Allgemeines. . . . .	306
11.1.2	SI-Einheiten. . . . .	306
11.1.3	Dezimale Vielfache und Teile von SI-Einheiten . . . . .	309
11.2	Zusätzliche Tabellen oder Diagramme . . . . .	311
	Tabelle XI.3 Umrechnung von Masseinheiten . . . . .	312

7.4	Drehzahlwandler . . . . .	241
7.4.1	Vorbemerkungen . . . . .	241
7.4.2	Drehzahlwandler für Kreiselpumpen . . . . .	242
7.4.2.1	Hydrodynamische Drehzahlwandler . . . . .	242
	– Vorteile . . . . .	242
	– Nachteile . . . . .	242
	– Wirkungsweise . . . . .	242
	– Verlustleistung . . . . .	244
	– Beispiel . . . . .	246
7.4.2.2	Elektromagnetische Drehzahlwandler . . . . .	249
	– Wirkungsweise . . . . .	249
	– Betriebseigenschaften. . . . .	250
	– Anwendungsbereich und Ausführungen . . . . .	250
	– Verlustleistung . . . . .	250
<b>8</b>	<b>WERKSTOFFE UND KORROSION . . . . .</b>	<b>251</b>
8.1	Vorbemerkungen . . . . .	251
8.2	Einflussgrößen der Korrosion . . . . .	251
8.2.1	Thermodynamik des Korrosionsvorganges . . . . .	252
8.2.2	Kinetik des Korrosionsvorganges . . . . .	254
8.3	Allgemeine Überlegungen zur Werkstoffwahl . . . . .	256
8.4	Erscheinungsformen der Korrosion . . . . .	256
8.4.1	Allgemein . . . . .	256
8.4.2	Flächenangriff. . . . .	259
8.4.3	Lochkorrosion . . . . .	259
8.4.4	Spaltkorrosion . . . . .	260
8.4.5	Interkristalline Korrosion . . . . .	262
8.4.6	Galvanische Korrosion (Kontaktkorrosion). . . . .	263
8.4.7	Selektive Korrosion . . . . .	264
8.4.8	Spannungsriß- und Schwingungsrißkorrosion . . . . .	264
8.4.9	Erosionskorrosion. . . . .	265
8.4.10	Kavitationskorrosion . . . . .	266
8.5	Korrosive Eigenschaften von Förderflüssigkeiten . . . . .	268
8.6	Korrosionsprobleme in hydraulischen Maschinen. . . . .	271
8.7	Schlussfolgerungen . . . . .	274
<b>9</b>	<b>HAUPTMERKMALE VON KREISELPUMPEN FÜR BESTIMMTE ANWENDUNGSGEBIETE . . . . .</b>	<b>275</b>
9.1	Energieerzeugung . . . . .	275
9.1.1	Kesselspeisepumpen . . . . .	275
9.1.1.1	Speisepumpen für konventionelle Kraftwerke. . . . .	276
9.1.1.2	Speisepumpen für Kernkraftwerke . . . . .	277

Abb. 11.1	Konversionstabelle der Viskositäten . . . . .	318
Abb. 11.2	Abhängigkeit des Atmosphärendruckes von der Höhenlage . . . . .	319
Abb. 11.3	Dampfdruckkurven von verschiedenen Flüssigkeiten . . . . .	319
Tabelle XI.4	Stoffwerte von Wasser im Sättigungszustand. . . .	320
Tabelle XI.5	Dichte von verschiedenen Flüssigkeiten . . . . .	321
Tabelle XI.6	Dichte von reinen Flüssigkeiten in Abhängigkeit von der Temperatur . . . . .	322
Abb. 11.4	Kinematische Viskosität verschiedener Mineralöldestillate in Abhängigkeit von der Temperatur . . . . .	323
Tabelle XI.7.1	Physikalische Eigenschaften von Metallen . . . . .	324
Tabelle XI.7.2	Physikalische Eigenschaften von verschiedenen Stoffen . . . . .	326
Tabelle XI.8	Werkstoffgegenüberstellung . . . . .	327
Tabelle XI.9	Griechisches Alphabet . . . . .	331
<b>SYMBOLVERZEICHNIS . . . . .</b>		<b>332</b>
<b>SACHVERZEICHNIS . . . . .</b>		<b>335</b>