

Vorwort

1.	Einführung	1
1.1.	Ursachen und Auswirkungen von Verschleiß an Kreiselpumpen	1
1.1.1.	Fremdkörper im System	1
1.1.2.	Überlastung	3
1.1.3.	Förderung von Flüssigkeiten mit Feststoffen	3
1.1.4.	Förderung von harten Feststoffen	4
1.1.5.	Fehlerhafte Betriebsweise	4
1.2.	Verschleiß durch Abrasion	5
1.2.1.	Laufrad	7
1.2.2.	Spiralgehäuse	8
1.2.3.	Lager	8
1.2.4.	Rohrleitungen	9
1.2.5.	Abrasion und Korrosion	11
1.3.	Verschleiß durch Kavitation	14
1.4.	Verschleiß an Gleitringdichtungen	16
1.4.1.	Werkstoffbereiche	16
1.4.2.	Gleitwerkstoffe	17
1.4.3.	Vergleich der Werkstoffkenndaten	19
1.5.	Störungen erkennen, bewerten und Tendenzen ableiten	22
1.5.1.	Ursachenanalyse und Bewertung	22
1.5.2.	Abzuleitende Tendenzen	25
1.5.3.	Maßnahmen zur Störungsvermeidung	26
1.5.4.	Strömungssimulation	26
1.6.	Schadensbilder	27
2.	Messtechnische Erfassung von Störungen und Verschleiß	29
2.1.	Schwingungsmessung	29
2.2.	Temperatur-Messung	29
2.3.	Druckmessung	30
2.4.	Drehzahlmessung	30
2.5.	Strommessung	
2.6.	Schadensdiagnose durch Zustandsüberwachung und Schwingungsanalyse	30
3.	Vorbeugung vor Kavitation und Verschleiß	32
3.1.	Vermeidung von Auslegungs- und Planungsfehlern	32
3.1.1.	Genauere Betriebspunktfestlegung	32
3.1.2.	Berücksichtigung von Strömungsverlusten	38
3.1.3.	Betriebspunktanpassung	38
3.1.3.1.	Drehzahlregelung durch Frequenzumrichter	38
3.1.3.2.	Anpassung des Laufraddurchmessers	47
3.1.3.3.	Anpassung durch veränderte Viskosität	48
3.2.	Ursachen für Kavitation	50
3.2.1.	Schäden infolge von Kavitation	51
3.2.2.	Kavitationsarten	52

3.2.2.1.	Schichtkavitation	52
3.2.2.2.	Wolkenkavitation	52
3.2.3.	Kavitation und NPSH-Wert	53
3.2.4.	Kavitationsvermeidung	55
3.3.	Trockenlaufschutz	55
3.3.1.	Sperrkammersysteme	55
3.3.2.	Pump control	57
3.4.	Condition Monitoring Systeme	57
3.4.1.	Fehlervermeidung	59
3.4.2.	Fehlererkennung	59
3.4.3.	Fehlermanagement	59
3.3.4.	Pump control 8	60
3.4.5.	Pump monitoring	62
3.4.6.	Contracting	64
3.5.	Strömungsoptimierung	66
3.5.1.	Verluste an Pumpenbauteilen	66
3.5.2.	Verluste in Rohren, Elementen und Armaturen	67
3.5.3.	Optimierung durch Strömungssimulation	69
3.5.4.	Strömungs- und Verschleißsimulation	71
4.	Maßnahmen an Bauteilen zur Reduzierung von Verschleiß	74
4.1.	Korrosionsschutz	74
4.1.1.	Verfahren der Oberflächenbearbeitung	74
4.1.2.	Klassifizierung der Korrosionsschutzschichten	75
4.1.3.	Materialauswahl	76
4.1.4.	Kunststoffbeschichtungen	76
4.1.5.	Korrosionsschutz bei Edelstahl	79
4.1.6.	Andere Optionen	80
4.1.7.	Korrosionsschutz an Gleitringdichtungen	81
4.2.	Abrasionsschutz	81
4.2.1.	Verschleißanalyse	82
4.2.2.	Strömungsanalyse	83
4.3.	Konstruktive Maßnahmen	84
4.3.1.	Verschleißmindernde Einsätze	84
4.3.2.	Überwachung mittels Sensoren	86
4.3.3.	Gummierungen	88
4.3.4.	Verschleißbeständige Gusseisenwerkstoffe	89
4.4.	Oberflächenvergütung	89
4.4.1.	Harte Schichten	90
4.4.1.1.	Nitrocarburieren	91
4.4.1.2.	Plasmanitrieren	91
4.4.1.3.	Laserauftragsschweißen	92
4.4.1.4.	Kohlenstoffschichten	95
4.4.1.5.	Diamant ähnliche Schichten	96
4.4.1.6.	Zusammenfassende Bewertung der Beschichtungsprozesse	97
4.5.	Sonderkonstruktionen	99
4.5.1.	Schneidradpumpe	99
4.5.2.	Pumpe mit Inducer	102

5.	Mobile und stationäre Schadensüberwachung	103
5.1.	Mobile Schadensüberwachung	103
5.2.	Stationäre Zustandsüberwachung	103
5.2.1.	Aufbau der stationären Zustandsüberwachung	104
5.3.	Praktische Beispiele der Schwingungsmessung	105
5.3.1.	Aufbau der Messtechnik	106
5.3.2.	Vermeidung von Messfehlern	107
5.3.3.	Analyse der Messsignale	108
5.3.4.	Schadensdiagnose mithilfe der Schwingungsanalyse	108
6.	Hinweise zu Planung und Konzeption von vorausschauender Instandhaltung	114
6.1.	Pumpenüberwachung	114
6.2.	Diagnose-Systeme	115
6.3.	Datentransfer	116
6.4.	Fernwartung	116
6.5.	Diagnose und Wartung als Dienstleistung	117
7.	Wirtschaftlichkeit der vorausschauenden Instandhaltung	118
7.1.	Optimale Betriebspunkt-Anpassung	118
7.2.	Energie-Effizienz	118
7.3.	Lebenszykluskosten (LCC)	123
7.3.1.	Anschaffungskosten	124
7.3.2.	Energiekosten	124
7.2.3.	Wartung und Reparatur	125
7.3.4.	Sonstige Kosten	126
7.3.5.	Software zur LCC-Berechnung	126
7.3.6.	Zusammenfassende Betrachtung der LCC	126
7.4.	Kostensteigerung und Materialverknappung	127
7.4.1.	Energiekosten-Steigerung	127
7.4.2.	Materialkosten	129
7.4.3.	Recycling – Materialrückgewinnung	130
8.	Literaturverzeichnis	131
9.	Verwendete Formelzeichen und Einheiten	134
10.	Stichwortverzeichnis	135