

# Inhaltsverzeichnis

---

## Vorwort

<b>1</b>	<b>Einführung</b>	<b>1</b>
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	Lauftrad	6
1.2.2	Spiralgehäuse	8
1.2.3	Lager	8
1.2.4	Rohrleitungen	10
1.2.5	Abrasion und Korrosion	11
1.3	Verschleiß durch Kavitation	16
1.4	Verschleiß an Gleitringdichtungen	18
1.4.1	Werkstoffbereiche	18
1.4.2	Gleitwerkstoffe	19
1.4.3	Vergleich der Werkstoffkenndaten	21
1.4.4	Schäden an Gleitringdichtungen – Schadensfälle	22
1.5	Störungen erkennen, bewerten und Tendenzen ableiten	26
1.5.1	Ursachenanalyse und Bewertung	26
1.5.2	Abzuleitende Tendenzen	28
1.5.3	Maßnahmen zur Störungsvermeidung	29
1.5.4	Strömungssimulation	29
1.6	Schadensbilder	30
<b>2</b>	<b>Messtechnische Erfassung von Störungen und Verschleiß</b>	<b>32</b>
2.1	Schwingungsmessung	32
2.2	Temperaturmessung	32
2.3	Druckmessung	33
2.4	Drehzahlmessung	33
2.5	Strommessung	33
2.6	Schadensdiagnose durch Zustandsüberwachung und Schwingungsanalyse	33

<b>3</b>	<b>Vorbeugung vor Kavitation und Verschleiß .....</b>	<b>34</b>
3.1	Vermeidung von Auslegungs- und Planungsfehlern .....	34
3.1.1	Genaue Betriebspunktfestlegung .....	34
3.1.2	Berücksichtigung von Strömungsverlusten .....	41
3.1.3	Betriebspunktanpassung .....	41
3.1.3.1	Drehzahlregelung durch Frequenzumrichter .....	41
3.1.3.2	Anpassung des Laufraddurchmessers .....	50
3.1.3.3	Anpassung durch veränderte Viskosität .....	51
3.2	Ursachen für Kavitation .....	54
3.2.1	Schäden infolge von Kavitation .....	54
3.2.2	Kavitationsarten .....	55
3.2.2.1	Schichtkavitation .....	55
3.2.2.2	Wolkenkavitation .....	55
3.2.3	Kavitation und NPSH-Wert .....	56
3.2.4	Kavitationsvermeidung .....	58
3.3	Trockenlaufschutz .....	58
3.3.1	Sperrkammersysteme .....	58
3.3.2	Pump control .....	60
3.4	Condition Monitoring Systeme .....	60
3.4.1	Fehlervermeidung .....	62
3.4.2	Fehlererkennung .....	62
3.4.3	Fehlermanagement .....	62
3.3.4	Pump control 8 .....	63
3.4.5	Pump monitoring .....	65
3.4.6	Contracting .....	67
3.5	Strömungsoptimierung .....	69
3.5.1	Verluste an Pumpenbauteilen .....	69
3.5.2	Verluste in Rohren, Elementen und Armaturen .....	70
3.5.3	Optimierung durch Strömungssimulation .....	72
3.5.4	Strömungs- und Verschleißsimulation .....	74
<b>4</b>	<b>Maßnahmen an Bauteilen zur Reduzierung von Verschleiß .....</b>	<b>77</b>
4.1	Korrosionsschutz .....	77
4.1.1	Verfahren der Oberflächenbearbeitung .....	77
4.1.2	Klassifizierung der Korrosionsschutzschichten .....	78
4.1.3	Materialauswahl .....	79
4.1.4	Kunststoffbeschichtungen .....	79
4.1.5	Korrosionsschutz bei Edelstahl .....	82
4.1.6	Andere Optionen .....	83
4.1.7	Korrosionsschutz an Gleitringdichtungen .....	84
4.2	Abrasionsschutz .....	84
4.2.1	Verschleißanalyse .....	85
4.2.2	Strömungsanalyse .....	86
4.3	Konstruktive Maßnahmen .....	87
4.3.1	Verschleißmindernde Einsätze .....	87
4.3.2	Überwachung mittels Sensoren .....	89
4.3.3	Gummierungen .....	91
4.3.4	Verschleißbeständige Gusseisenwerkstoffe .....	91

<b>4.4</b>	<b>Oberflächenvergütung.....</b>	<b>92</b>
4.4.1	Harte Schichten.....	93
4.4.1.1	Nitrocarburieren .....	94
4.4.1.2	Plasmanitrieren .....	94
4.4.1.3	Laserauftragsschweißen .....	95
4.4.1.4	Kohlenstoffschichten .....	97
4.4.1.5	Diamant ähnliche Schichten .....	98
4.4.1.6	Zusammenfassende Bewertung der Beschichtungsprozesse.....	100
<b>4.5</b>	<b>Sonderkonstruktionen .....</b>	<b>101</b>
4.5.1	Schneidradpumpe .....	101
4.5.2	Pumpe mit Inducer .....	104
<b>5</b>	<b>Mobile und stationäre Schadensüberwachung .....</b>	<b>106</b>
5.1	Mobile Schadensüberwachung .....	106
5.2	Stationäre Zustandsüberwachung .....	106
5.2.1	Aufbau der stationären Zustandsüberwachung.....	107
5.3	Praktische Beispiele der Schwingungsmessung.....	108
5.3.1	Aufbau der Messtechnik.....	109
5.3.2	Vermeidung von Messfehlern .....	110
5.3.3	Analyse der Messsignale .....	111
5.3.4	Schadensdiagnose mithilfe der Schwingungsanalyse.....	111
<b>6</b>	<b>Hinweise zu Planung und Konzeption von vorausschauender Instandhaltung .....</b>	<b>117</b>
6.1	Pumpenüberwachung .....	117
6.2	Diagnose-Systeme.....	118
6.3	Datentransfer .....	119
6.4	Fernwartung .....	119
6.5	Diagnose und Wartung als Dienstleistung .....	120
<b>7</b>	<b>Wirtschaftlichkeit der vorausschauenden Instandhaltung .....</b>	<b>121</b>
7.1	Optimale Betriebspunkt-Anpassung.....	121
7.2	Energie-Effizienz.....	121
7.3	Lebenszykluskosten (LCC) .....	126
7.3.1	Anschaffungskosten.....	128
7.3.2	Energiekosten .....	128
7.2.3	Wartung und Reparatur.....	129
7.3.4	Sonstige Kosten .....	129
7.3.5	Software zur LCC-Berechnung .....	130
7.3.6	Zusammenfassende Betrachtung der LCC .....	130
7.4	Kostensteigerung und Materialverknappung.....	131
7.4.1	Energiekosten-Steigerung.....	131
7.4.2	Materialkosten .....	132
7.4.3	Recycling – Materialrückgewinnung .....	134
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>135</b>
<b>9</b>	<b>Verwendete Formelzeichen und Einheiten .....</b>	<b>139</b>
<b>10</b>	<b>Stichwortverzeichnis .....</b>	<b>140</b>