

INSTANDHALTUNGS- TECHNIK

Prof. Dr. sc. techn. Christian Eichler

5., bearbeitete Auflage



Verlag Technik GmbH Berlin

Inhaltsverzeichnis

✓ 1. Inhalt und Aufgabe der Instandhaltung	15
1.1. Gegenstand der Instandhaltung	15
1.2. Schädigung – Ursache der Instandhaltung	17
1.3. Primat des Hauptprozesses – Hauptsatz der Instandhaltung	18
1.4. Zielfunktion des Maschinenverhaltens	19
1.5. Instandhaltung – eine komplexe Aufgabe	19
1.6. Volkswirtschaftliche Bedeutung und Schwerpunkte der Instandhaltung ..	22
2. Einführung in die Theorie der Schädigung	24
2.1. Gebrauchswertmindernde Prozesse an technischen Arbeitsmitteln und ihren Elementen	24
2.2. Verschleiß	26
2.2.1. Definition	26
2.2.2. Tribologische Systeme und Verschleiß	26
2.2.3. Reibung als Ursache des Verschleißes	29
2.2.4. Grundmodell der Verschleißprozesse	31
2.2.5. Arten des Verschleißes	31
2.2.6. Verschleißmechanismus	32
2.2.6.1. Abscheren von Rauheitsbergen (Mikroschneiden)	32
2.2.6.2. Elastische Deformationen	32
2.2.6.3. Plastische Deformationen	33
2.2.6.4. Kraftwirkungen infolge freier Oberflächenvalenzen (Grenzflächenvorgänge)	33
2.2.6.5. Erhitzungen im mikrogeometrischen Bereich (Grenzflächenvorgänge)	33
2.2.6.6. Physikalische oder chemische Stoffveränderungen (Grenzflächenvorgänge)	34
2.2.7. Verschleiß – ein stochastischer Prozeß	34
2.2.8. Grundgleichungen für den Verschleiß	35
2.2.9. Einige spezielle Verschleißprozesse	37
2.2.9.1. Verschleiß bei Festkörperreibung	37
2.2.9.2. Verschleiß bei Flüssigkeitsreibung	37
2.2.9.3. Verschleiß bei Mischreibung	38
2.2.10. Zeitlicher Verlauf von Verschleißvorgängen	39
2.3. Metallkorrosion	39
2.3.1. Definition	39
2.3.2. Korrosionsursachen	39
2.3.3. Korrosionsarten	40
2.3.4. Korrosionsvorgang	40
2.3.4.1. Chemische Metallkorrosion	41
2.3.4.2. Elektrochemische Metallkorrosion	41
2.3.5. Erscheinungsformen	42
2.3.6. Bewertung	42
2.3.7. Äußere Einflüsse	47

2.4.	Ermüdung	44
2.4.1.	Definition	44
2.4.2.	Ermüdungsvorgang	45
2.4.3.	Dauerbrüche	45
3.	Schädigungserscheinungen an ausgewählten Maschinenelementen	47
3.1.	Gleitlager	47
3.2.	Wälzlager	49
3.3.	Zahnräder	53
3.4.	Radialwellendichtungen	56
3.5.	Keil- und Vielnutprofile	56
3.6.	Rollenketten	57
4.	Bestimmen des Schädigungszustandes	59
4.1.	Definition und Problematik	59
4.2.	Meßgrößen für den Schädigungszustand	60
4.2.1.	Arten	60
4.2.2.	Direkte Meßgrößen	61
4.2.3.	Indirekte Meßgrößen	63
4.3.	Meßverfahren	65
4.3.1.	Verfahren für die direkte Messung des Schädigungszustandes ...	65
4.3.2.	Verfahren für die indirekte Messung des Schädigungszustandes ..	66
4.4.	Verfahren zur Bestimmung des Schädigungszustandes und mathematisch- statistische Auswertung der Untersuchungsergebnisse	67
4.4.1.	Untersuchungsanlage	67
4.4.2.	Mathematisch-statistische Auswertung	68
5.	Schädigungsverhalten	80
5.1.	Definition und Problematik	80
5.2.	Kennwerte	80
5.2.1.	Kennwerte für die zeitliche Nutzung technischer Arbeitsmittel ..	80
5.2.1.1.	Betriebsdauer	80
5.2.1.2.	Alter	81
5.2.2.	Kennwerte für das Ausfallverhalten von Elementen	81
5.2.2.1.	Lebensdauer	81
5.2.2.2.	Effektive Lebensdauer	81
5.2.2.3.	Ausfallwahrscheinlichkeit	84
5.2.2.4.	Überlebenswahrscheinlichkeit	85
5.2.2.5.	Ausfallrate	86
5.2.3.	Kennwerte für das Ausfallverhalten von Systemen	86
5.2.3.1.	Ausfallabstand	86
5.2.3.2.	Ausfalldauer	87
5.2.4.	Kennwerte für das Schädigungsverhalten von Elementen	88
5.2.5.	Kennwerte für das Schädigungsverhalten von Systemen	88
5.2.5.1.	Instandhaltungsintervall	88
5.2.5.2.	Instandhaltungsbedingte Stillstandszeit	88
5.2.5.3.	Effektive Lebensdauer bis zu einer definierten Instandsetzungs- maßnahme	88
5.2.5.4.	Verfügbarkeit	89

5.3.	Schädigungsverhalten von Elementen	91
5.3.1.	Abnutzungsverlauf	91
5.3.2.	Abnutzungsverlauf und Ausfallverhalten	94
5.3.3.	Ausfallrate	97
5.4.	Schädigungsverhalten von Systemen	98
5.5.	Methoden zum Bestimmen des Schädigungsverhaltens	101
5.5.1.	Problematik	101
5.5.2.	Abnutzungsverlauf	101
5.5.3.	Ausfallverhalten	102
5.5.3.1.	Komplette Stichprobe	102
5.5.3.2.	Unvollständige Stichprobe	102
5.5.3.3.	Kleine Stichprobe	106
5.5.3.4.	Untersuchungsmethodik	107
6.	Elemente der Instandhaltung	111
6.1.	Bedienung	111
6.2.	Pflege und Wartung	111
6.2.1.	Inhalt und Bedeutung	111
6.2.2.	Ausgewählte Pflegemaßnahmen	111
6.2.2.1.	Reinigen	111
6.2.2.2.	Schmieren	111
6.2.2.3.	Filterpflege	112
6.2.3.	Organisation	113
6.2.3.1.	Organisationsbedingungen	114
6.2.3.2.	Organisationsgrundsätze	114
6.2.3.3.	Organisationsformen	114
6.3.	Abstellung	115
6.3.1.	Bedingungen	115
6.3.2.	Maßnahmen	116
6.3.3.	Korrosionsschutz – Konservierung	116
6.3.4.	Abstellräume	117
6.3.5.	Abstellorganisation	117
6.4.	Instandsetzung	117
6.4.1.	Definition und Inhalt	117
6.4.2.	Vorbeugende und wiederherstellende Instandsetzung	118
6.4.3.	Teilinstandsetzung	119
6.4.4.	Grundinstandsetzung	120
6.4.5.	Minimalinstandsetzung	121
6.4.6.	Kampagnefestinstandsetzung	121
6.4.7.	Austauschinstandsetzung	122
7.	Instandhaltungsaufwand und wirtschaftliche Betriebsdauer	123
7.1.	Definition	123
7.2.	Instandhaltungsaufwand und Selbstkosten für den Maschineneinsatz	123
7.3.	Instandhaltungskosten	126
7.3.1.	Inhalt und Berechnungsmöglichkeiten	126
7.3.2.	Betrag und Struktur	127
7.3.3.	Zeitlicher Verlauf	128

7.4.	Instandhaltungsbedingte Mehrkosten und Ergebnisminderungen	12
7.4.1.	Mehrkosten infolge schädigungsbedingter Leistungsminderungen	12
7.4.2.	Instandhaltungsbedingte Mehrkosten	12
7.4.3.	Instandhaltungsbedingte Ergebnisminderungen	13
7.5.	Wirtschaftliche Betriebsdauer	13
7.5.1.	Problematik	13
7.5.2.	Ersatzmodell nach <i>Selivanov</i>	13
8.	Zuverlässigkeit und Erneuerung	13
8.1.	Definition und Problematik	13
8.2.	Zuverlässigkeit von Elementen ohne Erneuerung	13
8.2.1.	Berechnungsmodell	13
8.2.2.	Anwendungsbeispiele	13
8.2.2.1.	Berechnen der Systemzuverlässigkeit einer Anlage	13
8.2.2.2.	Berechnen eines Instandsetzungsintervalls	13
8.3.	Zuverlässigkeit von Elementen mit Erneuerung	13
8.3.1.	Berechnungsmodell	13
8.3.2.	Beispiel	14
8.4.	Zuverlässigkeit von Systemen	14
8.4.1.	Systemarten	14
8.4.2.	Zuverlässigkeit von Systemen mit zwei möglichen Zuständen	14
8.4.2.1.	Seriensysteme	14
8.4.2.2.	Parallelsysteme	14
8.4.2.3.	Beispiel	14
8.4.3.	Zuverlässigkeit von Systemen mit mehr als zwei möglichen Zuständen	14
9.	Instandhaltungsmethoden	148
9.1.	Definition	148
9.2.	Arten	149
9.2.1.	Wirkprinzipie	149
9.2.1.1.	Übersicht	149
9.2.1.2.	Instandhaltung (Instandsetzung) nach Ausfall	151
9.2.1.3.	Periodische Instandhaltung	154
9.2.1.4.	Zustandsabhängige Instandhaltung	155
9.2.1.5.	Individuelle Instandhaltung	161
9.2.1.6.	Komplexe Instandhaltung	162
9.2.2.	Kennzeichen	167
9.3.	Modelle und Programme zum Beschreiben ausgewählter Instandsetzungsmethoden	167
9.3.1.	Problematik und Methodik	167
9.3.2.	Instandsetzungsmethoden für Elemente	167
9.3.2.1.	Instandsetzung nach Ausfall	167
9.3.2.2.	Periodische Instandsetzung	168
9.3.2.3.	Zustandsabhängige Instandsetzung	171
9.3.3.	Instandsetzungsmethoden für Systeme	172
9.3.3.1.	Individuelle Instandsetzung	172
9.3.3.2.	Komplexe Instandsetzung	173
9.3.3.3.	Gemischte Methoden	174

9.4. Eigenschaften und Anwendungsbereiche	176
9.5. Auswahl der zweckmäßigen Instandhaltungsmethode	183
9.5.1. Problematik und Zielkriterien	183
9.5.2. Vorauswahl	185
9.5.3. Näherungsverfahren	188
9.5.4. Iterative Verfahren	190
10. Instandhaltungsdokumentationen	192
10.1. Notwendigkeit und Definition	192
10.2. Inhalt und Gestaltung	193
10.3. Instandhaltungsvorhaben	195
11. Schädigungsgrenzen, Betriebswarngrenzenvergleich, Restbetriebsdauerprognose	197
11.1. Problematik	197
11.2. Schädigungsgrenzen	198
11.2.1. Definitionen	198
11.2.2. Bestimmungskriterien für Abnutzungsgrenzen	200
11.2.2.1. Problematik	200
11.2.2.2. Technische Kriterien	200
11.2.2.3. Technologische Kriterien	201
11.2.2.4. Wirtschaftliche Kriterien	202
11.2.2.5. Sicherheitskriterien	203
11.2.2.6. Anwendungsbereiche	203
11.2.3. Bestimmungsverfahren für Abnutzungsgrenzen	203
11.2.3.1. Experimentelle Verfahren	203
11.2.3.2. Empirische Verfahren	205
11.2.3.3. Rechnerische Verfahren	205
11.2.3.4. Anwendungsbereiche	207
11.3. Betriebswarngrenzenvergleich	207
11.4. Restbetriebsdauerprognose	210
11.4.1. Definition und Problematik	210
11.4.2. Statistische Restbetriebsdauerprognose	212
12. Technische Diagnostik und Instandhaltung	217
12.1. Definition und Inhalt	217
12.2. Anwendungsbereiche in der Instandhaltung	220
12.3. Diagnosearten	221
12.4. Klassen der Technischen Diagnostik	222
12.5. Diagnoseverfahren (Übersicht)	224
12.6. Diagnosetechnologie, Diagnoseprozeßgestaltung	224
12.7. Diagnosefolgen	229
12.8. Diagnosefehler	231
12.9. Einordnung der Technischen Diagnostik in den Betrieb technischer Arbeitsmittel	232

13. Spezialisierung in der Instandhaltung	234
13.1. Notwendigkeit und Problematik	234
13.2. Grundsätze	234
13.3. Beziehungen zwischen Instandsetzungsaufwand und Seriengröße	235
13.4. Beziehungen zwischen instand zu setzender Stückzahl und Einzugsbereich	238
13.5. Beziehungen zwischen Transportkosten und Einzugsbereich	239
13.6. Optimale Größe der Einzugsbereiche spezialisierter Instandsetzungseinrichtungen	241
13.7. Organisation des Kreislaufs instand gesetzter Objekte	243
13.8. Anwendungsgrundsätze	245
14. Instandhaltungsgerechte Konstruktion	247
14.1. Definition und Inhalt	247
14.2. Einige Grundlagen der instandhaltungsgerechten Konstruktion	250
14.2.1. Übersicht	250
14.2.2. Gliederung eines technischen Arbeitsmittels aus instandhaltungstechnischer Sicht	250
14.2.3. Abnutzungsreserve	251
14.3. Gestalten eines günstigen Schädigungsverhaltens	253
14.3.1. Schädigung infolge/während Normalbetriebs	253
14.3.2. Schädigung infolge zufälliger Ursachen	255
14.3.3. Folgeschadensgerechte Konstruktion	256
14.4. Berücksichtigen der Instandhaltungsvorgabe	256
14.4.1. Optimieren der Konstruktion	256
14.4.2. Baugruppengliederung	256
14.4.3. Instandhaltungsbedingungen	256
14.5. Gestalten einer günstigen Durchführbarkeit von Instandhaltungsmaßnahmen	257
14.5.1. Pflege- und wartungsgerechte Konstruktion	257
14.5.2. Instandsetzungsgerechte Konstruktion	257
14.5.3. Diagnosegerechte Konstruktion	257
14.6. Standardisierung	257
14.7. Bewerten der Instandhaltungseignung	258
14.7.1. Bewertungsmaßstäbe und Bewertungsmethoden	258
14.7.2. Komplexes Bewerten der Instandhaltungseignung	258
14.7.3. Detailbewerten von Elementen	259
14.8. Sichern einer guten instandhaltungsgerechten Konstruktion	260
15. Ersatzteilversorgung	261
15.1. Problematik und Bedingungen	261
15.2. Kennzahlen	262
15.2.1. Definitionen	262
15.2.2. Eigenschaften	263
15.2.3. Bestimmungsverfahren	265

15.2.3.1. Übersicht	265
15.2.3.2. Empirisch-statistisches Verfahren	266
15.2.3.3. Konstruktiv-rechnerische Verfahren	267
15.3. Bevorratung	268
15.3.1. Bestandsnormative	268
15.3.2. Störreserve	270
15.3.3. Lagerhaltungsmodelle	271
15.4. Grundsätze der Ersatzteilversorgung	274
16. Instandsetzungstechnologie	275
16.1. Grundlagen	275
16.1.1. Definitionen und Ziele	275
16.1.2. Instandsetzungsarten	275
16.1.3. Besonderheiten der Instandsetzungstechnologie	277
16.1.4. Instandsetzung und Modernisierung	280
16.1.5. Rechnergestützte Instandsetzungsprozesse	280
16.1.6. Instandsetzungsqualität	284
16.2. Elemente der Instandsetzungstechnologie	285
16.2.1. Annahme	285
16.2.2. Demontage	287
16.2.3. Reinigung	289
16.2.4. Schadensaufnahme	291
16.2.5. Komplettierung	294
16.2.6. Einzelteilinstandsetzung	296
16.2.7. Vormontage	297
16.2.8. Montage (Remontage)	297
16.2.9. Farbgebung	299
16.2.10. Prüfung	299
16.2.11. Gütekontrolle	295
16.2.12. Auslieferung	295
17. Einzelteilinstandsetzung	300
17.1. Inhalt, Umfang, Bedeutung	300
17.2. Technische Lösungsmöglichkeiten	300
17.2.1. Aufarbeiten	300
17.2.2. Nacharbeiten	301
17.2.3. Reparieren	301
17.3. Grenzen und Bedingungen	301
17.3.1. Übersicht	301
17.3.2. Technische Grenzen	302
17.3.3. Technologische Grenzen	305
17.3.4. Wirtschaftliche Grenzen	305
17.3.5. Organisatorische Grenzen	306

17.4. Instandsetzungsverfahren	307
17.4.1. Verfahrensübersicht	307
17.4.2. Aufarbeitsverfahren	307
17.4.2.1. Rahmentechnologie	307
17.4.2.2. Verfahrensbeschreibungen	310
17.4.3. Nacharbeitsverfahren	315
17.4.4. Reparaturverfahren	316
17.5. Verfahrensauswahl	318
17.6. Qualitätsprüfung	320
17.7. Instandsetzungskapazitäten	320
17.8. Organisation	321
Verzeichnis wichtiger Kurz- und Formelzeichen	323
Fragen für das Selbststudium	326
Literaturverzeichnis	331
Sachwörterverzeichnis	337