

# Inhaltsverzeichnis

---

<b>GT</b>	1.	<b>Gegenstand der Tribotechnik als Wissenschaftsdisziplin</b> . . . . .	15
	1.1.	<i>Bedeutung der Tribotechnik</i> . . . . .	16
	1.2.	<i>Reibungsarten und Reibungszustände</i> . . . . .	19
	1.3.	<i>Verschleißarten und Verschleißmechanismen</i> . . . . .	21

---

<b>SS</b>	2.	<b>Schmierstoffe und Schmierstoffprüfung</b> . . . . .	26
	2.1.	<i>Allgemeines</i> . . . . .	26
	2.2.	<i>Physikalische Kenngrößen</i> . . . . .	27
	2.2.1.	Viskosität . . . . .	27
	2.2.1.1.	Begriffe, Einheiten und Bedeutung . . . . .	27
	2.2.1.2.	Viskositäts-Temperatur-Verhalten (VT-Verhalten) . . . . .	28
	2.2.1.3.	Viskositäts-Druck-Verhalten (Vp-Verhalten) . . . . .	30
	2.2.2.	Dichte, spezifische Wärmekapazität, Wärmeleitfähigkeit . . . . .	32
	2.3.	<i>Mineralöle</i> . . . . .	33
	2.3.1.	Charakterisierung und Herstellung . . . . .	33
	2.3.2.	Viskositätsklassifikation . . . . .	33
	2.3.3.	Gebrauchswerteinschätzung . . . . .	36
	2.3.4.	Verschmutzung und Alterung . . . . .	37
	2.3.5.	Prüfmethoden, Kenngrößen . . . . .	37
	2.4.	<i>Additive</i> . . . . .	44
	2.5.	<i>Schmierfette</i> . . . . .	47
	2.5.1.	Charakterisierung . . . . .	47
	2.5.2.	Prüfmethoden, Kenngrößen . . . . .	47

---

<b>Rw</b>	3.	<b>Reibwerkstoffe</b> . . . . .	51
	3.1.	<i>Allgemeines</i> . . . . .	51
	3.2.	<i>Wellenwerkstoffe</i> . . . . .	51
	3.3.	<i>Verschleißfeste Stähle</i> . . . . .	58
	3.4.	<i>Metallische Gleitwerkstoffe</i> . . . . .	59
	3.4.1.	Grundbegriffe . . . . .	59
	3.4.2.	Wichtige Werkstoffgruppen . . . . .	60
	3.5.	<i>Nichtmetallische Gleitwerkstoffe</i> . . . . .	63

---

<b>GF</b>	<b>4.</b>	<b>Gleitpaarungen bei Flüssigkeitsreibung</b> .....	<b>65</b>
	4.1.	<i>Allgemeines</i> .....	65
	4.2.	<i>Hydrodynamisch geschmierte Gleitpaarungen</i> .....	65
	4.2.1.	Grundlagen der hydrodynamischen Schmiertheorie .....	65
	4.2.2.	Statisch belastete Radialgleitlager .....	76
	4.2.2.1.	Begriffe und Bezeichnungen .....	76
	4.2.2.2.	Berechnung .....	81
	4.2.2.3.	Hinweise zu Konstruktion, Fertigung und Betrieb .....	96
	4.2.2.4.	Beispiele .....	97
	4.2.3.	Dynamisch belastete Radialgleitlager .....	105
	4.2.3.1.	Begriffe und Bezeichnungen .....	105
	4.2.3.2.	Berechnung .....	107
	4.2.3.3.	Beispiel .....	112
	4.2.4.	Mehrgleitflächen-Radiallager .....	117
	4.2.4.1.	Begriffe und Bezeichnungen .....	117
	4.2.4.2.	Berechnung .....	120
	4.2.4.3.	Beispiel .....	133
	4.2.5.	Axialgleitlager .....	139
	4.2.5.1.	Begriffe und Bezeichnungen .....	139
	4.2.5.2.	Berechnung .....	139
	4.2.5.3.	Beispiel .....	148
	4.2.6.	Profilierte zylindrische Führungen (PHZ-Führungen) .....	149
	4.2.6.1.	Begriffe und Bezeichnungen .....	149
	4.2.6.2.	Berechnung .....	151
	4.2.6.3.	Hinweise zur Fertigung und Gestaltung .....	159
	4.2.6.4.	Beispiele .....	160
	4.3.	<i>Hydrostatisch geschmierte Gleitpaarungen</i> .....	164
	4.3.1.	Grundlagen der hydrostatischen Schmiertheorie .....	164
	4.3.2.	Hydrostatische Gleitpaarungen (mit inkompressiblen Medien) .....	167
	4.3.2.1.	Hydrostatisches ebenes Spurlager .....	167
	4.3.2.2.	Hydrostatisches kegeliges Spurlager .....	170
	4.3.2.3.	Hydrostatisches Ringlager .....	171
	4.3.2.4.	Hydrostatisches Radialgleitlager .....	172
	4.3.3.	Aerostatische Gleitpaarung (mit kompressiblen Medien) .....	174
	4.3.4.	Beispiele .....	175
<b>GM</b>	<b>5.</b>	<b>Gleitpaarungen bei Misch- und Festkörperreibung</b> .....	<b>177</b>
	5.1.	<i>Allgemeines</i> .....	177
	5.2.	<i>Stand der Verschleißermittlung und -berechnung</i> .....	177
	5.3.	<i>Methoden der Verschleißberechnung</i> .....	178
	5.3.1.	Molekular-mechanische Theorie nach KRAGELSKI .....	178
	5.3.1.1.	Voraussetzungen .....	178
	5.3.1.2.	Darstellung des Verschleißes .....	180
	5.3.1.3.	Größen und Kennwerte der Verschleißtheorie .....	181
	5.3.1.4.	Grundgleichung zur Vorausberechnung des Verschleißes .....	183
	5.3.1.5.	Nomogramme zur Vorausberechnung des Verschleißes .....	185
	5.3.1.6.	Beispiele zur Verschleißberechnung .....	190

5.3.1.7.	Grenzen der Theorie .....	192
5.3.2.	Energetische Theorie nach TROSS und FLEISCHER .....	193
5.3.2.1.	Einschätzung der energetischen Betrachtungsweise .....	193
5.3.2.2.	Grundzüge der Theorie .....	193
5.3.2.3.	Anwendung der energetischen Verschleißtheorie .....	196
5.4.	<i>Fettgeschmierte Radialgleitlager</i> .....	196
5.4.1.	Allgemeines .....	196
5.4.2.	Berechnungsmöglichkeiten für fettgeschmierte Gleitlager ...	198
5.4.2.1.	Beanspruchungszeit von Schmierfetten .....	198
5.4.2.2.	Bezugswert für das Geschwindigkeitsgefälle im Lagerspalt ...	199
5.4.2.3.	Restviskosität von Schmierfetten .....	202
5.4.3.	Beispiel .....	203
5.4.4.	Hinweise zur Gestaltung fettgeschmierter Radialgleitlager ...	205

## Gf

6.	<b>Gleitführungen</b> .....	206
6.1.	<i>Allgemeines</i> .....	206
6.2.	<i>Arten der Gleitführungen</i> .....	207
6.2.1.	Ebene Führungen .....	207
6.2.2.	Zylindrische Führungen .....	208
6.2.3.	Rundführungen .....	209
6.3.	<i>Beanspruchung der Gleitführungen</i> .....	209
6.3.1.	Statische Beanspruchungen .....	210
6.3.2.	Dynamische Beanspruchungen .....	212
6.4.	<i>Reibungszustände bei Gleitführungen</i> .....	213
6.4.1.	Bei Flüssigkeitsreibung arbeitende Führungen .....	213
6.4.1.1.	Hydrodynamische Führungen .....	213
6.4.1.2.	Hydrostatische Führungen .....	213
6.4.2.	Bei Mischreibung arbeitende Führungen .....	214
6.5.	<i>Auslegung von Gleitführungen</i> .....	214
6.5.1.	Einfluß des Werkstoffes .....	215
6.5.2.	Einfluß der Bearbeitungsart .....	216
6.5.3.	Einfluß der Schmierung .....	217
6.6.	<i>Gestaltung von Gleitführungen</i> .....	218
6.7.	<i>Schmierstoffzufuhr und -verteilung</i> .....	225
6.8.	<i>Schutz der Führungen</i> .....	228

## RW

7.	<b>Roll- und Wälzpaarungen</b> .....	230
7.1.	<i>Elastohydrodynamische Theorie (EHD)</i> .....	230
7.1.1.	Allgemeines .....	230
7.1.2.	Berechnung .....	232
7.1.3.	Vergleich theoretischer und experimenteller Ergebnisse .....	235
7.2.	<i>Wälzlagerschmierung</i> .....	236
7.2.1.	Reibung im Wälzlager .....	238
7.2.2.	Verschleiß von Wälzlagern .....	236

7.2.2.1.	Verschleißformen .....	238
7.2.2.2.	Abschätzung der Verschleißlaufzeit .....	238
7.2.3.	Grundlagen der Wälzlagerschmierung .....	241
7.2.4.	Wahl des Schmierstoffes .....	242
7.2.5.	Fettschmierung .....	244
7.2.5.1.	Schmierfette und Schmierfettauswahl .....	244
7.2.5.2.	Schmierstoffbedarf und Nachschmierung .....	245
7.2.5.3.	Konstruktive Ausführungen .....	247
7.2.6.	Ölschmierung .....	249
7.2.6.1.	Schmieröle und Schmierölauswahl .....	249
7.2.6.2.	Schmierölbedarf .....	250
7.2.6.3.	Konstruktive Ausführungen .....	251
7.3.	<i>Getriebeschmierung</i> .....	255
7.3.1.	Bedeutung und Ziel der Getriebeschmierung .....	255
7.3.2.	Reibungsverhalten von Zahnradgetrieben .....	255
7.3.2.1.	Reibungsarten und Geschwindigkeitsverhältnisse .....	256
7.3.2.2.	Reibungszustände .....	258
7.3.3.	Zahnradschäden .....	260
7.3.4.	Getriebeschmierstoffe .....	262
7.3.5.	Ermittlung des geeigneten Getriebeschmierstoffes .....	263
7.3.5.1.	Vorläufige Schmierstoffauswahl .....	263
7.3.5.2.	Überprüfung des gewählten Schmierstoffes .....	266
7.3.6.	Konstruktive Hinweise zur Getriebeschmierung .....	271
7.3.6.1.	Tauchschmierung .....	271
7.3.6.2.	Umlaufschmierung .....	274



8.	<b>Schmiereinrichtungen für Öl- und Fettschmierung</b> .....	276
8.1.	<i>Schmiereinrichtungen für Einzelschmierung</i> .....	276
8.1.1.	Dochtölschmierung .....	276
8.1.2.	Filzkissen- und Filzrollenschmierung .....	279
8.2.	<i>Schmiereinrichtungen für Ölumlaufschmierung</i> .....	280
8.2.1.	Ringschmierung .....	280
8.2.1.1.	Schmierung mit losem Schmierring .....	280
8.2.1.2.	Schmierung mit festem Schmierring .....	282
8.2.2.	Schmierung mit Gliederkette .....	282
8.2.3.	Schmierung durch Fliehkraft .....	284
8.3.	<i>Schmiereinrichtungen für Zentralschmierung</i> .....	284
8.3.1.	Durchlaufzentralschmierung .....	285
8.3.1.1.	Konstruktive Probleme .....	287
8.3.1.2.	Kreisläufe in Einleitungsanlagen .....	292
8.3.1.3.	Önebelschmierung .....	293
8.3.1.4.	Zentralschmierung für Fett .....	303
8.3.2.	Umlaufzentralschmierung .....	306
8.3.2.1.	Unterscheidungsmerkmale .....	306
8.3.2.2.	Arten der Umlaufschmierung .....	306
8.3.2.3.	Zumessung des Schmierstoffes .....	307
8.3.2.4.	Einzelaustrüstungen .....	309

<b>OR</b>	<b>9.</b>	<b>Oberflächenvorgänge bei Reibbeanspruchung</b> .....	<b>317</b>
	9.1.	<i>Allgemeines</i> .....	317
	9.2.	<i>Schichtbildung an Reibflächen</i> .....	318
	9.2.1.	Aufbau der Schichten .....	318
	9.2.2.	Eigenschaften der Schichten .....	320
	9.2.3.	Beeinflussbarkeit der Schichten .....	321
	9.2.3.1.	Stoffliche Einflußgrößen .....	321
	9.2.3.2.	Geometrische Einflußgrößen .....	326
	9.2.3.3.	Energetische Einflußgrößen .....	326
	9.2.3.4.	Zeitliche Einflußgrößen .....	327
	9.2.4.	Arten der Schichten .....	327
	9.2.4.1.	Reibungsmindernde Schichten .....	327
	9.2.4.2.	Freßmindernde Schichten .....	329
	9.2.4.3.	Verschleißmindernde Schichten .....	330
	9.2.4.4.	Reibungs-, freß- und verschleißmindernde Schichten .....	331
	9.3.	<i>Tribokorrosion</i> .....	332
	9.3.1.	Tribokorrosion als Verschleißvorgang .....	332
	9.3.2.	Praktische Schadenformen .....	333
	9.3.3.	Verhinderung der Tribokorrosion .....	334

<b>NS</b>	<b>10.</b>	<b>Nutzung technologisch erzeugter Schichten</b> .....	<b>340</b>
	10.1.	<i>Allgemeines</i> .....	340
	10.2.	<i>Metallische Schichten</i> .....	340
	10.2.1.	Harte metallische Schichten .....	340
	10.2.2.	Weiche metallische Schichten .....	341
	10.3.	<i>Nichtmetallisch-metallische Schichten</i> .....	342
	10.4.	<i>Nichtmetallische Schichten</i> .....	346
	10.5.	<i>Kombinierte Schichten</i> .....	347

<b>TD</b>	<b>11.</b>	<b>Technische Diagnostik</b> .....	<b>348</b>
	11.1.	<i>Aufgaben und Ziele</i> .....	348
	11.2.	<i>Technische Diagnose tribotechnischer Systeme</i> .....	348
	11.3.	<i>Verschleißgrad und Diagnosesignal</i> .....	353
	11.4.	<i>Diagnoseverfahren für tribotechnische Systeme</i> .....	355
	11.4.1.	Sichtprüfungen .....	355
	11.4.2.	Akustische Prüfverfahren .....	366
	11.4.2.1.	Subjektive Geräuschprüfung .....	366
	11.4.2.2.	Schallmeßverfahren .....	367
	11.4.2.3.	Schallemissionsanalyse (SEA) .....	373
	11.4.2.4.	Ultraschallprüfung .....	374
	11.4.3.	Schwingungsmessungen .....	377
	11.4.4.	Thermische Prüfverfahren .....	380

---

11.4.4.1.	Temperaturmessungen .....	380
11.4.4.2.	Infrarotmeßtechnik .....	382
11.4.4.3.	Thermofarbdiagnostik .....	383
11.4.5.	Geruchsprüfungen .....	385
11.4.6.	Drehzahlmessungen .....	385
11.4.7.	Drehmomentmessungen .....	385
11.4.8.	Leistungsmessungen .....	385
11.4.9.	Prüfung der Schmierstoffe .....	385
11.4.10.	Spezielle Verfahren zur technischen Diagnose von Führungen, Gleit- und Wälzlagern .....	386
11.4.10.1.	Technische Diagnose von Führungen .....	386
11.4.10.2.	Messung der Verlagerungen von Welle und Lager .....	388
11.4.10.3.	Schmierschicht-Dickenmessung .....	389
11.4.10.4.	Technische Diagnose von Wälzlagern .....	390
11.4.10.5.	Öldurchsatzmessungen .....	391
11.4.10.6.	Einrichtungen zur Überwachung des Verschleißfortschrittes ..	393

---

**Lv**

Literaturverzeichnis .....	394
----------------------------	-----

---

**Sv**

Sachwortverzeichnis .....	411
---------------------------	-----

---