

# Inhaltsverzeichnis

<b>Teil A Grundlagen</b> .....	1
<b>A1 Grund- und Ordnungsfragen</b> .....	2
<i>H. Uetz, K.-J. Groß, J. Wiedemeyer</i>	
1.1 Einführung .....	2
1.2 Terminologie – Tribologie, Reibung, Verschleiß .....	5
1.3 Abrasivstoffe .....	6
1.4 Technische Oberflächen .....	9
1.4.1 Aufbau .....	9
1.4.2 Berührung fester Körper .....	10
1.4.3 Charakterisierung der Oberfläche .....	11
1.5 Werkstoffe und Prinzipien ihrer Auswahl .....	12
1.6 Konzeption zur Behandlung tribologischer Probleme .....	15
1.6.1 Tribologisches System .....	15
1.6.2 Verschleißmechanismen und Verschleißerscheinungsformen .....	18
1.6.3 Verschleißarten .....	23
1.6.4 Behandlung eines tribologischen Problems anhand eines Beispiels (Chargenmischer) .....	26
1.7 Zusammenfassende Betrachtung .....	29
1.8 Tabellenanhang .....	30
1.9 Literatur .....	57
<b>A2 Verschleißprüftechnik</b> .....	60
<i>H. Uetz, J. Föhl, K. Sommer</i>	
2.1 Problemstellung und Zielsetzung .....	60
2.2 Kategorien der Verschleißprüfung .....	63
2.2.1 Zweck und Anwendung .....	63
2.2.2 Charakterisierung der Kategorien .....	64
2.2.3 Beispiel aus dem Gebiet des Abrasiv-Verschleißes (Kugelmühle) .....	66
2.2.4 Prüfkette .....	67
2.3 Ansatz einer Verschleißprüfung .....	67
2.4 Verschleißprüfverfahren .....	68
2.4.1 Übersicht .....	68
2.4.2 Abrasiv-Gleitverschleiß (Zweikörper-Abrasivverschleiß, Festkörper/Korn) .....	71
2.4.2.1 Prüfverfahren mit gebundenem Korn .....	71
2.4.2.2 Prüfverfahren mit losem Korn .....	74
2.4.3 Dreikörper-Abrasivverschleiß (Festkörper/Korn/Festkörper) .....	76
2.4.4 Abrasiv-Stoßverschleiß .....	80
2.4.5 Hydroabrasiv-Verschleiß .....	81
2.4.6 Strahlverschleiß .....	82
2.4.7 Verschleiß bei der Zerkleinerung .....	84
2.4.8 Sonstige Verfahren .....	85
2.5 Verschleißmessung .....	86
2.5.1 Meßgrößen für den Verschleißbetrag .....	86
2.5.2 Verschleißmeßmethoden einschließlich RNT-Anwendung .....	87
2.6 Übertragbarkeit von Versuchsergebnissen auf Bauteile .....	94

2.6.1	Anwendungsbezogene Beispiele .....	95
2.6.2	Folgerung .....	99
2.7	Hinweise für Modellversuche .....	99
2.7.1	Prinzipielles .....	99
2.7.2	Vergleich Schleifpapier- und Verschleißtopfverfahren .....	100
2.7.3	Vorgehensweise zur Lösung eines speziellen Verschleißproblems (Förderkette) .....	101
2.8	Hinweise für Betriebsverschleißversuche .....	102
2.8.1	Prinzipielles .....	102
2.8.2	Betriebsverschleißversuche an Blasversatzrohren .....	103
2.8.3	Betriebsverschleißversuche bei der Mölleraufbereitung .....	103
2.9	Schlußbetrachtung und Ausblick .....	104
2.10	Literatur .....	105

**A3    *Abrasiv-Gleitverschleiß* .....**    108

*H. Uetz, K. Sommer*

3.1	Übersicht .....	108
3.2	Ergebnisse von Prüfverfahren mit gebundenem Korn .....	111
3.2.1	Beanspruchungsbedingte Einflüsse .....	111
3.2.1.1	Flächenpressung .....	111
3.2.1.2	Gleitgeschwindigkeit .....	112
3.2.2	Strukturbedingte Einflüsse .....	112
3.2.2.1	Abrasivkornhärte .....	113
3.2.2.2	Abrasivkorngröße .....	122
3.2.2.3	Werkstoffeinfluß .....	123
3.2.2.3.1	Hochlagenverschleiß .....	123
3.2.2.3.2	Werkstoffvergleich mit Flintkorn .....	129
3.2.2.4	Harte Verschleißschutzschichten .....	130
3.3	Ergebnisse von Prüfverfahren mit losem Korn .....	132
3.3.1	Beanspruchungsbedingte Einflüsse .....	132
3.3.1.1	Pressung .....	132
3.3.1.2	Geschwindigkeit .....	133
3.3.1.3	Beanspruchungsdauer .....	133
3.3.1.4	Temperatur .....	134
3.3.2	Strukturbedingte Einflüsse .....	135
3.3.2.1	Abrasivkornhärte .....	135
3.3.2.2	Abrasivkorngröße .....	139
3.3.2.3	Abrasivkornform .....	140
3.3.2.4	Abrasivität und Schleißchärfe .....	140
3.3.2.5	Werkstoffeinfluß .....	143
3.3.2.6	Befeuchtung, Korrosion .....	144
3.4	Vergleichende Prüfung mit dem Schleifpapier- und Verschleißtopfverfahren .....	148
3.5	Optimieren der Werkstoffauswahl bzgl. Tieflage/Hochlage .....	150
3.6	Theoretische Behandlung des Abrasiv-Gleitverschleißes .....	151
3.7	Zusammenfassung und Ausblick .....	154
3.8	Literatur .....	155

**A4    *Dreikörper-Abrasivverschleiß* .....**    158

*H. Uetz, K. Sommer*

4.1	Grundlagen .....	158
4.2	Oberflächenerscheinungsformen .....	164
4.3	Beanspruchungsbedingte Einflüsse .....	171
4.4	Strukturbedingte Einflüsse .....	173
4.4.1	Abrasivstoff (Zwischenstoff) .....	173
4.4.1.1	Härte .....	173

4.4.1.2	Korngröße .....	176
4.4.1.3	Kornform .....	179
4.4.1.4	Menge .....	180
4.4.2	Grund- und Gegenkörper .....	181
4.4.2.1	Werkstoffhärte .....	181
4.4.2.2	Gefügeaufbau .....	195
4.4.2.2.1	Harte Phasen .....	195
4.4.2.2.2	Austenitische und restaustenithaltige Matrix .....	205
4.4.3	Umgebungsmedium .....	217
4.4.4	Geometrie .....	219
4.5	Zusammenfassung und Ausblick .....	220
4.6	Literatur .....	221
<b>A5</b>	<b>Strömungsmechanische Grundlagen der Erosion</b> .....	<b>226</b>
	<i>H. Uetz, K.-J. Groß</i>	
5.1	Einführung .....	226
5.2	Strömungsformen .....	228
5.3	Literatur .....	235
<b>A6</b>	<b>Strahlverschleiß</b> .....	<b>236</b>
	<i>H. Uetz, K.-J. Groß</i>	
6.1	Einführung .....	236
6.2	Strahlverschleißprüfung .....	241
6.2.1	Versuchseinrichtungen .....	241
6.2.2	Verschleißprüfung, Verschleißverlauf .....	241
6.2.3	Korngeschwindigkeitsmessung .....	243
6.3	Beanspruchungs- und strukturbedingte Einflüsse .....	244
6.3.1	Strahlwinkel .....	244
6.3.1.1	Verschleiß-Strahlwinkelschaubild .....	244
6.3.1.2	Vorgänge im Mikrobereich .....	246
6.3.1.3	Makrogeometrische Formveränderungen .....	253
6.3.2	Partikelgeschwindigkeit .....	256
6.3.2.1	Verschleißloser Zustand bei kleinen Geschwindigkeiten .....	256
6.3.2.2	Verschleißgesetz bei größeren Geschwindigkeiten .....	257
6.3.2.3	Kraft und Energie .....	258
6.3.3	Temperatur .....	262
6.3.4	Werkstoffeigenschaften .....	263
6.3.4.1	Härte .....	263
6.3.4.2	Sonstige Eigenschaften .....	266
6.3.5	Partikeleigenschaften .....	268
6.3.5.1	Härte .....	268
6.3.5.2	Partikelform .....	269
6.3.5.3	Partikelgröße .....	270
6.3.6	Tribochemische Reaktion (Korrosion) .....	272
6.4	Theoretische Behandlung des Strahlverschleißes .....	273
6.5	Schlußbemerkung .....	275
6.6	Literatur .....	275
<b>A7</b>	<b>Verschleiß unter Wirkung von Flüssigkeiten</b> .....	<b>279</b>
	<i>H. Uetz, T. Weißenberg</i>	
7.1	Flüssigkeitserosion .....	279
7.1.1	Mechanische Wirkung der Strömung .....	279
7.1.2	Flüssigkeitsströmung mit Feststoffpartikeln .....	280

7.1.2.1	Partikelbewegung .....	281
7.1.2.2	Werkstoffbeanspruchung, Einflußgrößen .....	282
7.1.3	Korrosion .....	286
7.1.3.1	Grundlagen .....	287
7.1.3.2	Strömungseinfluß .....	290
7.1.4	Erosionskorrosion .....	291
7.1.5	Hydroabrasivverschleiß .....	291
7.1.6	Erscheinungsbild .....	293
7.1.7	Werkstoffauswahl und Abhilfemaßnahmen .....	297
7.2	Kavitationserosion .....	300
7.2.1	Kavitationsvorgang .....	300
7.2.2	Werkstoffbeanspruchung, Zerstörungsmechanismus .....	302
7.2.3	Kavitation und Korrosion .....	304
7.2.4	Werkstoffauswahl .....	304
7.2.5	Abhilfemaßnahmen .....	306
7.2.6	Prüfverfahren .....	307
7.3	Tropfenschlaggerosion .....	308
7.3.1	Werkstoffbeanspruchung, Zerstörungsmechanismus .....	308
7.3.2	Einflußgrößen .....	311
7.3.3	Werkstoffauswahl .....	313
7.3.4	Prüfverfahren .....	314
7.4	Literatur .....	314
<b>A 8</b>	<b>Konstruktive Maßnahmen als Möglichkeit des Verschleißschutzes .....</b>	<b>317</b>
	<i>W. Wahl</i>	
8.1	Einführung .....	317
8.2	Grundsätzliche Möglichkeiten der Verschleißminderung .....	318
8.3	Konstruktive Maßnahmen zur Verschleißminderung .....	319
8.3.1	Allgemeines .....	319
8.3.2	Grundforderung: Verschleißarme Gesamtkonstruktion .....	320
8.3.3	Einzelanforderungen an das Verschleißteil .....	321
8.3.4	Maßnahmen zur Lebensdauer-Verlängerung .....	321
8.3.4.1	Tribologisch optimale Auswahl .....	321
8.3.4.2	Hoher Ausnutzungsgrad der Teile .....	322
8.3.4.3	Leichte Austauschbarkeit .....	326
8.3.4.4	Verschleißgünstige Geometrie .....	326
8.3.4.5	Anwenden des Prinzips-Konzentration oder Verteilen des Abriebes .....	328
8.3.4.6	Autogener Verschleißschutz .....	329
8.3.4.7	Verwendung eines geeigneten Werkstoffes in „werkstoffgerechter“ Konstruktion .....	329
8.4	Zusammenfassung und Ausblick .....	330
8.5	Literatur .....	330
<b>Teil B</b>	<b>Abrasionsbeständige Werkstoffe .....</b>	<b>331</b>
<b>B1</b>	<b>Abrasivebeständige Guß- und Walzstahlwerkstoffe auf Eisenbasis .....</b>	<b>332</b>
	<i>K. Röhrig</i>	
1.1	Einleitung .....	332
1.2	Übersicht über die abrasionsbeständigen Eisenwerkstoffe .....	333
1.3	Einflüsse von Zusammensetzung und Gefügebau auf das Verschleißverhalten von Eisenbasislegierungen .....	336
1.3.1	Gefügebau .....	336
1.3.2	Widerstand gegen Abrasiv-Verschleiß .....	337

1.3.3	Abrasion mit zusätzlicher tribochemischer Beanspruchung .....	342
1.4	Zusammensetzung und Eigenschaften der abrasionsbeständigen Werkstoffe .....	345
1.4.1	Unter- und übereutektoide Stähle .....	345
1.4.1.1	Stahlgußwerkstoffe .....	345
1.4.1.2	Verschleißbeständige Bleche .....	351
1.4.1.3	Abrasionsbeständige Schmiedestähle .....	355
1.4.2	Übereutektoider Chromstahlguß .....	358
1.4.3	Manganhartstähle .....	359
1.4.4	Carbidische Gußeisen .....	361
1.4.5	Nichtrostende Stähle aus Gußeisen .....	366
1.4.6	Graue Gußeisen .....	368
1.5	Herstellung von Teilen aus abrasionsbeständigen Eisenwerkstoffen .....	369
1.6	Literatur .....	370
<b>B2</b>	<b>Auftragschweißen .....</b>	<b>374</b>
	<i>W. Wahl, J. Kretschmer, J. Wabnegger</i>	
2.1	Einführung .....	374
2.2	Auftragschweißverfahren .....	376
2.3	Auftragschweißwerkstoffe .....	382
2.3.1	Normung .....	382
2.3.2	Auftragschweißwerkstoffe auf Eisenbasis .....	383
2.3.3	Eisenarme Auftragschweißwerkstoffe .....	386
2.4	Nutzen und Kosten der Auftragschweißung .....	388
2.5	Anwendungen .....	390
2.6	Ausblick .....	393
2.7	Literatur .....	393
<b>B3</b>	<b>Hartlegierungen, Hartstoffe, Sinterhartmetalle einschließlich harte Beschichtungen .....</b>	<b>395</b>
	<i>O. Knotek</i>	
3.1	Allgemeines .....	395
3.2	Hartstoffe .....	395
3.3	Hartlegierungen .....	396
3.3.1	Hartlegierungen auf Eisenbasis .....	397
3.3.2	Hartlegierungen auf Kobaltbasis .....	402
3.3.3	Hartlegierungen auf Nickelbasis .....	405
3.4	Sinterhartmetalle .....	408
3.5	Mechanische Legierungen .....	412
3.6	Oberflächenbehandlung durch thermo-chemische Verfahren .....	415
3.6.1	Oberflächenhärteverfahren .....	415
3.6.1.1	Einsatzhärten .....	415
3.6.1.2	Nitrierhärten .....	416
3.6.1.3	Carbonitrieren .....	420
3.6.1.4	Borieren .....	420
3.6.1.5	Metall-Diffusionsverfahren .....	422
3.7	Galvanische Verfahren .....	423
3.8	PVD- und CVD-Verfahren .....	425
3.8.1	PVD-Verfahren .....	425
3.8.2	CVD-Verfahren .....	427
3.9	Literatur .....	429

<b>B4</b>	<b>Nichtmetallische Hartstoffe</b> .....	430
	<i>E. Dörre</i>	
4.1	Einführung .....	430
4.2	Zusammensetzung und Eigenschaften .....	430
4.3	Herstellung .....	434
4.4	Anwendungen .....	435
4.5	Literatur .....	437
<b>B5</b>	<b>Elastomere-Polyurethane'</b> .....	438
	<i>H.-D. Ruprecht</i>	
5.1	Einleitung .....	438
5.2	Chemischer Aufbau .....	438
5.3	Herstellung .....	440
5.4	Eigenschaften .....	442
5.4.1	Mechanische Eigenschaften .....	442
5.4.2	Temperaturabhängigkeit der mechanischen Eigenschaften .....	443
5.4.3	Verschleißbeständigkeit .....	445
5.4.4	Chemische Beständigkeit .....	445
5.5	Anwendungen .....	446
5.5.1	Anlagen zur Klassierung und zum Transport schleißender Medien .....	446
5.5.2	Sonstige Verschleißschutzauskleidungen und Verschleißartikel .....	447
5.5.3	Rollen, Rollenbeläge und Antriebsselemente .....	449
5.6	Ausblick .....	449
5.7	Literatur .....	449
<b>B6</b>	<b>Elastomere-Gummi</b> .....	451
	<i>H.P. Lachmann</i>	
6.1	Allgemeines .....	451
6.2	Der Verschleißangriff .....	451
6.3	Gummimischung und Vulkanisation .....	452
6.3.1	Mischungsaufbau .....	452
6.3.1.1	Kautschuke .....	452
6.3.1.2	Zuschlagstoffe .....	454
6.3.2	Vulkanisation .....	456
6.4	Verschleißuntersuchungen an Gummiteilen .....	457
6.4.1	Grundlagenuntersuchungen .....	457
6.4.2	Betriebs-Verschleißuntersuchungen .....	458
6.4.3	Phänomenologische Verschleißbeurteilung .....	459
6.4.4	Laboratoriumsuntersuchungen verschleißbeanspruchter Gummiteile .....	461
6.4.4.1	Allgemeines .....	461
6.4.4.2	Prüfgeräte zur Messung des Abrasiv-Gleitverschleißes .....	461
6.4.4.3	Mechanisch-technologische Prüfungen .....	462
6.5	Tribologische Anwendung von Gummi .....	463
6.6	Ausblick .....	465
6.7	Literatur .....	465

<b>Teil C</b>	<b>Verschleiß bei Grundoperationen</b>	467
<b>C1</b>	<b>Verschleiß bei der Zerkleinerung</b>	468
	<i>M. Clement</i>	
1.1	Einführung	468
1.1.1	Aufgabe und Bedeutung der Zerkleinerung mineralischer Stoffe	468
1.1.1.1	Aufgabe der Zerkleinerung	468
1.1.1.2	Bedeutung der Zerkleinerung in der Technik	468
1.1.1.3	Überblick über die geschichtliche Entwicklung	469
1.1.1.4	Einteilung der Zerkleinerung	469
1.1.2	Beschreibung einiger technisch wichtiger mineralischer Stoffe	471
1.1.2.1	Eigenschaften der Stoffe hinsichtlich Zerkleinerung und Verschleiß	471
1.1.2.2	Beschreibung einiger Stoffgruppen	471
1.1.2.2.1	Gesteine	472
1.1.2.2.2	Erze und Kohlen	475
1.1.2.2.3	Schlacken, Zementklinker	478
1.2	Untersuchungen über den Verschleiß bei der Mahlung	479
1.2.1	Einordnung in das Verschleißgebiet	479
1.2.2	Versuche im Modell- und Pilotmaßstab	480
1.2.2.1	Problematik der Untersuchungen	480
1.2.2.2	Verschleißprüfung durch Labor- und Modellverschleiß-Versuche	480
1.2.2.3	Untersuchungen in Modell-Mahlanlagen	481
1.2.2.3.1	Vorversuche, Analyse des Verschleißvorganges in der Mühle	482
1.2.2.3.2	Durchlauf-Mahlversuche	482
1.2.2.3.3	Kreislauf-Mahlversuche	485
1.2.2.3.4	Versuche in einer Strahlmühle	491
1.2.2.4	Auswahl von Untersuchungen in anderen Ländern	493
1.2.2.4.1	Untersuchungen über den Verschleiß an Mahlkugeln und Auskleidungen	493
1.2.2.4.2	Untersuchungen in Pilot-Anlagen (pilot-plant) zur Auslegung hauptsächlich von autogenen Mahlanlagen	495
1.2.3	Untersuchungen in Betrieben	496
1.2.3.1	Untersuchungen vorwiegend über den Verschleiß an Mahlkörpern	496
1.2.3.2	Verschleißminderung an Mahlbahnauskleidungen	498
1.3	Verschleiß in Brechern	500
1.3.1	Prinzip der Vor- und Mittelzerkleinerung	500
1.3.2	Druckzerkleinerung	500
1.3.2.1	Maschinen für die Druckzerkleinerung und deren Einsatz	500
1.3.2.2	Verschleiß bei der Druckzerkleinerung	502
1.3.3	Prallzerkleinerung	503
1.3.3.1	Grundlagen und Entwicklung der Prallzerkleinerung	503
1.3.3.2	Maschinen für die Prallzerkleinerung und deren Einsatz	504
1.3.3.3	Verschleiß bei der Prallzerkleinerung	506
1.4	Verschleiß in Mahlanlagen	507
1.4.1	Allgemeines (Mahl- und Verschleißvorgang, Bauarten von Mühlen)	507
1.4.2	Verschleißerscheinungen in Stab- und Kugelmühlen	508
1.4.2.1	Beschreibung der Mühlen und deren Arbeitsweise	508
1.4.2.2	Ergebnisse aus Betrieben	510
1.4.3	Autogen-Mahlung	513
1.4.3.1	Grundlagen	513
1.4.3.2	Entwicklung der autogenen Mahlverfahren	514
1.4.3.3	Mahlverfahren und Bauarten der Mühlen	515
1.4.3.4	Verschleiß beim autogenen Mahlen	518
1.4.4	Mahlen von Kohlen	522
1.4.4.1	Mahleinrichtungen	522
1.4.4.2	Verschleiß an den Mühlen	525

1.4.5	Feinstmahlung .....	525
1.5	Zusammenfassung und Ausblick .....	527
1.5.1	Zusammenfassung .....	527
1.5.2	Ausblick .....	528
1.6	Literatur .....	529
<b>C2</b>	<b>Verschleiß bei der Siebklassierung .....</b>	<b>534</b>
	<i>L. Schlebusch</i>	
2.1	Einführung .....	534
2.1.1	Aufgabe und Bedeutung der Siebung insbesondere für Massengüter .....	534
2.1.2	Übersicht über die geschichtliche Entwicklung .....	534
2.2	Heutiger Stand der Siebklassierung .....	535
2.3	Siebklassieren, Grundlagen und Charakteristika .....	536
2.3.1	Grundlagen .....	536
2.3.2	Gliederung und Charakteristika der Siebmaschinensysteme .....	539
2.3.2.1	Statische Siebe .....	539
2.3.2.2	Schwingsiebe .....	540
2.3.2.3	Trommelsiebe .....	544
2.3.2.4	Sonderbauarten .....	544
2.4	Verschleißbereiche in Siebanlagen .....	546
2.4.1	Die Siebmaschine, ihre Aufgabe- und Ablaufeinrichtungen .....	546
2.4.2	Der Siebboden .....	547
2.5	Die Art der Siebung und die Bewegungsvorgänge des Siebbodens .....	550
2.5.1	Wurfsiebung .....	550
2.5.2	Plansiebung .....	551
2.5.3	Wälzsiebung .....	551
2.5.4	Lebende Siebböden .....	551
2.6	Kinematik des Siebbodens und ihr Einfluß auf den Verschleiß .....	552
2.6.1	Kinetik des Siebgutstroms in den Zu- und Ablaufeinrichtungen sowie an den Übergabestellen .....	552
2.6.2	Kinematik des Siebbodens und die Wechselwirkung zwischen Siebboden und Siebgut .....	552
2.7	Auswahl geeigneter Werkstoffe und Lebensdauer .....	553
2.8	Literatur .....	558
<b>C3</b>	<b>Verschleiß in erosionsbeanspruchten Apparaten .....</b>	<b>558</b>
3.1	Trübeumpen .....	558
	<i>M. Clement, T. Weißenberg</i>	
3.1.1	Einsatz .....	558
3.1.2	Aufbau und Funktion .....	559
3.1.3	Verschleißverhalten .....	562
3.1.4	Ergebnisse aus Betrieben .....	566
3.2	Flotationsrührer .....	569
	<i>M. Clement, T. Weißenberg</i>	
3.2.1	Aufbau und Funktion .....	570
3.2.2	Ergebnisse aus Betrieben .....	571
3.2.3	Literatur .....	572
3.3	Hydrozyklone .....	573
	<i>H. F. Trawinski</i>	
3.3.1	Allgemeines .....	573
3.3.2	Physikalische Grundlagen .....	574

3.3.3	Verschleiß-Ursachen .....	576
3.3.4	Werkstoffe zum Verschleiß-Schutz .....	577
3.3.5	Konstruktive Maßnahmen .....	581
3.3.6	Lebensdauer von Hydrozyklonteilen .....	585
3.3.7	Literatur .....	587
3.4	Dekanter .....	588
	<i>K.D. Partz</i>	
3.4.1	Einleitung .....	588
3.4.2	Funktionsweise .....	588
3.4.3	Verschleißbeanspruchung und Einflußgrößen .....	590
3.4.4	Maßnahmen gegen Verschleiß .....	591
3.4.4.1	Konstruktive Maßnahmen .....	592
3.4.4.2	Werkstofftechnische Maßnahmen .....	592
3.4.5	Schlußbemerkung .....	596
3.4.6	Literatur .....	596

---

**Teil D Verschleiß in einzelnen Industriezweigen .....** 597

**D1 Verschleiß im Braunkohlentagebau .....** 598

*B. Schweins*

1.1	Einleitung .....	598
1.1.1	Maßnahmen zur Verschleißbekämpfung .....	598
1.1.2	Das rheinische Braunkohlenrevier .....	598
1.2	Fördersysteme .....	600
1.2.1	Schaufelradbagger .....	600
1.2.2	Absetzer .....	600
1.2.3	Bandanlagen .....	602
1.2.4	Fördergut .....	602
1.3	Verschleißbekämpfung, Aufgabe .....	603
1.4	Verschleißprobleme an Raupenfahrwerken .....	603
1.4.1	Bodenplatte/Schake .....	605
1.4.1.1	Schake .....	606
1.4.2	Raupenschakenbuchsen und -bolzen .....	609
1.4.3	Laufräder .....	613
1.4.4	Instandsetzung .....	615
1.5	Verschleiß an Baggerschaufeln .....	616
1.5.1	Wechselschneiden .....	618
1.5.2	Verschleißschutz .....	620
1.6	Verschleiß an Prallwänden bei Fördergutübergabestellen in Bandanlagen und Fördergeräten .....	623
1.7	Optimierung von Bohrwerkzeugen zur Erstellung von Groblochbohrungen im Lockergebirge .....	627
1.7.1	Bohrwerkzeuge .....	628
1.7.2	Entwicklung, Betriebsversuche .....	630
1.7.3	Instandsetzung der Meißel, Aufwand für Verschleißreparatur .....	634
1.8	Schlußbemerkung, Ausblick .....	636
1.9	Literatur .....	636

<b>D2</b>	<b>Verschleiß in der Tiefbohrtechnik</b> .....	638
	<i>R.D. Stoll</i>	
2.1	Einleitung .....	638
2.2	Tiefbohrverfahren .....	638
2.2.1	Allgemeines .....	638
2.2.2	Das Rotary-Verfahren .....	639
2.2.2.1	Verfahrensprinzip .....	639
2.2.2.2	Rotary-Bohranlage .....	640
2.2.2.3	Bohrstrang .....	640
2.2.2.4	Bohrspülung .....	641
2.2.3	Bohren mit Meißeldirektantrieben .....	642
2.3	Bohrstrangbeanspruchung .....	643
2.4	Die wesentlichen Bohrstrangelemente und ihr Verschleiß .....	645
2.4.1	Mitnehmerstange .....	645
2.4.2	Bohrgestänge .....	646
2.4.2.1	Gestängerohre und Verbinder .....	646
2.4.2.2	Verschleiß des Gestänges .....	647
2.4.2.3	Konstruktive und werkstoffmäßige Maßnahmen zur Verminderung von Verschleiß am Gestänge .....	648
2.4.2.4	Standzeit von Bohrgestänge .....	651
2.4.3	Überschweres Bohrgestänge .....	652
2.4.4	Schwerstangen .....	652
2.4.5	Stabilisatoren .....	653
2.4.6	Prüfintervalle und Standzeiten .....	654
2.5	Bohrwerkzeuge .....	654
2.5.1	Arbeit auf der Bohrlochsohle .....	654
2.5.2	Rollenmeißel .....	655
2.5.2.1	Aufbau, Beanspruchung und Verschleiß der Bauteile von Rollenmeißeln .....	655
2.5.2.2	Verschleißbeurteilung .....	659
2.5.2.3	Verschleißbilder von Rollenmeißeln .....	661
2.5.3	Diamantmeißel .....	662
2.5.3.1	Bohrdiamanten und Meißeltypen .....	662
2.5.3.2	Verschleißerscheinungen an Diamantmeißeln .....	664
2.5.3.3	Verschleißbilder mit Hinweisen auf Ursachen .....	664
2.5.4	PDC-Meißel .....	665
2.5.5	Entscheidungskriterien für den Einsatz von Rollen-, Diamant- und PDC-Meißeln .....	666
2.6	Verrohrung .....	667
2.6.1	Aufgaben und Aufbau der Bohrlochverrohrung .....	667
2.6.2	Verschleiß der Verrohrung .....	668
2.7	Ausblick .....	669
2.8	Literatur .....	669
<b>D3</b>	<b>Verschleiß in der Stahlindustrie</b> .....	672
	<i>R. Stelzer, O. Deutscher</i>	
3.1	Einleitung .....	672
3.2	Produktionsanlagen der Stahlindustrie .....	673
3.2.1	Sinteranlagen .....	673
3.2.2	Hochöfen .....	675
3.2.3	Stahlwerke .....	677
3.2.4	Vergießen des Stahles .....	678
3.2.5	Walzwerke .....	679
3.2.5.1	Warmwalzwerke .....	679
3.2.5.2	Kaltwalzwerke .....	681
3.3	Verschleißschwerpunkte und Maßnahmen zur Verschleißminderung .....	682

3.3.1	Aufbereiten und Fördern des Hochofenmöllers .....	682
3.3.1.1	Hochofeneinsatzstoffe als Gegenkörper der Tribosysteme .....	682
3.3.1.2	Grundkörperwerkstoffe der Tribosysteme .....	683
3.3.1.3	Verschleißschwerpunkte in Sinteranlagen .....	684
3.3.1.4	Verschleißschwerpunkte in der Hochofenmöllerung .....	693
3.3.2	Verschleiß durch flüssiges Metall .....	698
3.3.2.1	Erosionserscheinungen in metallurgischen Gefäßen und Rinnen .....	698
3.3.2.2	Erosion in Bandveredelungsanlagen .....	701
3.3.3	Verschleißschwerpunkte in Stranggießanlagen .....	703
3.3.4	Umformen des Stahles .....	706
3.4	Schlußbetrachtung .....	715
3.5	Literatur .....	715

**D4 Verschleiß in der Zementindustrie .....** **717**

*B. Beigel, W. Berndgen*

4.1	Einführung .....	717
4.1.1	Produktionsablauf Zement .....	717
4.1.1.1	Verschleißschwerpunkte .....	717
4.1.1.2	Verschleißkosten .....	719
4.1.2	Rohstoffe für Zement – Hinweise zum Abrasiv-Verschleiß .....	719
4.2	Verschleißbekämpfung – Möglichkeiten .....	720
4.2.1	Konstruktive Möglichkeiten .....	720
4.2.2	Betriebliche Möglichkeiten .....	722
4.2.3	Werkstoffliche Möglichkeiten .....	724
4.2.3.1	Abrasivbeständige metallische Werkstoffe .....	724
4.2.3.1.1	Untereutektoide Werkstoffe .....	724
4.2.3.1.2	Eutektoide und übereutektoide Werkstoffe .....	725
4.2.3.1.3	Sonstige höher legierte Werkstoffe .....	725
4.2.3.1.4	Austenitische Manganhartstähle .....	725
4.2.3.1.5	Hartguß .....	728
4.2.3.1.6	Sonderwerkstoffe – Metallische Sinterwerkstoffe .....	729
4.2.3.2	Metallische Verbundlösungen .....	730
4.2.3.2.1	Auftragschweißen .....	730
4.2.3.2.2	Thermische Spritzverfahren – Metallspritzen .....	730
4.2.3.2.3	Verbundguß .....	731
4.2.3.3	Nichtmetallische Werkstoffe .....	732
4.2.3.3.1	Gegossene Hartkeramik .....	732
4.2.3.3.2	Gesinterte Hartkeramik .....	732
4.2.3.3.3	Elastomere .....	734
4.3	Verschleißbekämpfung – Beispiele .....	736
4.3.1	Gewinnen – Laden und Brechen .....	736
4.3.1.1	Ladegeräte .....	736
4.3.1.2	Brecher .....	738
4.3.2	Mahlen – Mahlaggregate .....	741
4.3.2.1	Fremdkraftmühlen .....	741
4.3.2.2	Schwerkraftmühlen mit Mahlkörpern, Rohrmühlen .....	743
4.3.2.3	Sichter .....	747
4.3.3	Förderanlagen .....	749
4.3.3.1	Gurtförderer .....	750
4.3.3.2	Brecherwerke .....	751
4.3.3.3	Schneckenförderer .....	753
4.3.4	Sonstige Maschinen und Einrichtungen .....	755
4.3.4.1	Ventilatoren .....	755
4.3.4.2	Bunker und Silos .....	757
4.3.4.3	Schurren und Rutschen .....	761

<b>XX</b>	<i>Inhaltsverzeichnis</i>	
4.4	Schlußanmerkungen .....	763
4.5	Literatur .....	763
<b>D5</b>	<b>Verschleiß in der kunststoffverarbeitenden Industrie</b> .....	<b>765</b>
	<i>G. Mennig</i>	
5.1	Einführung .....	765
5.2	Das Tribosystem .....	766
5.2.1	Plastifiziereinheit .....	767
5.2.2	Abrasiv-Formmassen .....	768
5.2.3	Metallische Werkstoffe .....	772
5.2.4	Verschleißvorgänge .....	776
5.3	Verschleiß bei der Verarbeitung .....	779
5.3.1	Aufbereiten .....	781
5.3.2	Pressen .....	783
5.3.3	Spritzgießen .....	784
5.3.4	Extrudieren und Hohlkörperblasen .....	786
5.4	Prüfverfahren .....	788
5.4.1	Praxisgerechte Prüfverfahren .....	788
5.4.2	Modellprüfverfahren .....	789
5.5	Ausblick .....	795
5.6	Literatur .....	796
<b>D6</b>	<b>Verschleißschutz in Kunststoff-Verarbeitungsmaschinen</b> .....	<b>798</b>
	<i>P. Lülldorf</i>	
6.1	Einführung .....	798
6.2	Beobachtungen im praktischen Betrieb .....	799
6.2.1	Verschleißmechanismen und Korrosion .....	799
6.2.2	Verschleiß in der Einzugszone .....	799
6.2.3	Verschleiß in der Umwandlungszone und Ausstoßzone .....	800
6.2.4	Überlagerung von Verschleiß und Korrosion .....	800
6.2.5	Schadensbeispiele aus der Praxis .....	801
6.2.5.1	Abrasive-erosiver Verschleiß .....	801
6.2.5.2	Adhäsiver Verschleiß .....	802
6.2.5.3	Torsion an Schnecken .....	804
6.2.5.4	Abplatzungen .....	804
6.2.5.5	Korrosion .....	806
6.2.5.6	Rückstromsperren (RSP) .....	807
6.3	Maßnahmen zur Standzeiterhöhung (Verschleißschutz und Festigkeit) .....	809
6.3.1	Nitrierstähle .....	809
6.3.2	Borieren .....	810
6.3.3	Durchgehärtete Werkstoffe .....	810
6.3.4	Schneckenpanzerungen .....	812
6.3.5	Schutz an Rückstromsperren .....	813
6.3.6	Bimetall-Zylinder .....	814
6.4	Zusammenfassung .....	817
6.5	Literatur .....	817
	Sachwortverzeichnis .....	819
	Namenverzeichnis .....	830
	Produktinformationen aus der Industrie .....	831