

Inhaltsverzeichnis

	Vorwort	5
	Inhaltsverzeichnis	7
	Abkürzungen und Symbole	16
	Autoren	21
1.	Grundbegriffe	23
	<i>W.-M. Kulicke</i>	
2.	Experimentelle Techniken (Rheometrie) und Stabilitätskriterien	52
	<i>W.-M. Kulicke, N. Böse</i>	
3.	Flüssigkeiten mit NEWTONschem Fließverhalten	100
	<i>H. Bauer</i>	
4.	Tonmineraldispersionen	147
	<i>G. Lagaly</i>	
5.	Polymerlösungen	187
	<i>W.-M. Kulicke</i>	
6.	Polymerschmelzen	238
	<i>H. Münstedt</i>	
7.	Tenside	280
	<i>H. Rehage, H. Hoffmann</i>	
8.	Thermotrope Flüssigkristalle	318
	<i>F. Schneider, H. Knepe</i>	
9.	Biologische Fluide	
	9.1. Blut	369
	<i>H. Chmiel, E. Walitza</i>	
	9.2. Synovialflüssigkeiten	404
	<i>H. Zeidler</i>	
10.	Schüttgüter	435
	<i>H. Wilms, J. Schwedes</i>	
	Sachregister	481

1.	Grundbegriffe (W.-M. KULICKE)	23
1.1.	Fließphänomene	24
1.2.	Stationäres Scherfließen – Fließkurven, Scherströmungen	28
1.2.1.	NEWTONsches Fließverhalten	29
1.2.2.	Nicht-NEWTONsches Fließverhalten	31
1.2.2.1.	Dilatanz	31
1.2.2.2.	Plastizität	32
1.2.2.3.	Pseudoplastizität	32
1.3.	Scherzeitabhängiges Fließverhalten	36
1.3.1.	Thixotropie	36
1.3.2.	Rheopexie	38
1.4.	Normalspannungen	39
1.5.	Instationäre Scherströmungen	42
1.6.	Mechanische Schwingungsmessungen	45
1.7.	Dehnströmungen	48
1.8.	Schüttgüter und anisotrope Flüssigkeiten	49
2.	Experimentelle Techniken (Rheometrie) und Stabilitätskri- terien (W.-M. KULICKE, N. BÖSE)	52
2.1.	Ermittlung der Materialfunktionen in Scherströmungen ..	53
2.1.1.	Auslaufbecher	53
2.1.2.	Kugelfallviskosimeter	55
2.1.2.1.	Freifallende Kugel	55
2.1.2.2.	Kugel im geneigten Fallrohr	56
2.1.2.3.	Viskowaage	57
2.1.3.	Kapillarviskosimeter	58
2.1.3.1.	Niederdruck-Kapillarviskosimeter	61
2.1.3.2.	Hochdruck-Kapillarviskosimeter	65
2.1.4.	Rotations-Rheometer	67
2.1.4.1.	Das ZIMM-CROTHERS-Viskosimeter	67
2.1.4.2.	Koaxiale Zylinder	68
2.1.4.3.	Kegel-Platte-Anordnung	71
2.1.4.4.	Platte-Platte-Anordnung	73
2.1.4.5.	Kegel-Platte-Abstands-Anordnung	74
2.1.4.6.	Kombinierte Meßgeometrien	76
2.1.5.	Stabilitätskriterien	78
2.1.5.1.	Allgemeines	78

2.1.5.2.	Trägheitskräfte	80
2.1.5.3.	Abweichungen von der Schichtenströmung und Substanzverlust	82
2.2.	Mechanische Schwingungsmessungen	88
2.2.1.	Linear viskoelastischer Bereich	90
2.2.2.	Kegel-Platte-Anordnung	91
2.2.3.	Koaxiale Zylinder	92
2.2.4.	Platte-Platte-Anordnung	93
2.2.5.	Balance-Rheometer	93
2.2.6.	Oszillierendes Kapillarrheometer	94
2.3.	Dehnrheometer	95
2.4.	Messung der Fließeigenschaften von Schüttgütern und Rheologie der thermotropen Flüssigkristalle	97
3.	Flüssigkeiten mit NEWTONschem Fließverhalten (H. BAUER)	100
3.1.	Temperaturabhängigkeit	101
3.2.	Druckabhängigkeit	108
3.3.	Niedermolekulare Flüssigkeiten – reine Stoffe	113
3.4.	Mischungsregeln	117
3.5.	Mineralöle	122
3.6.	Synthetische Öle	125
3.7.	Viskositätsstandards	132
3.7.1.	Wasser als Basis der praktischen Viskosimetrie	134
3.7.2.	Standards unterhalb der Wasserviskosität	136
3.7.3.	Standards oberhalb der Wasserviskosität	139
3.7.4.	Standards für spezielle Prüfzwecke	144
4.	Anorganische Systeme – Tonmineraldispersionen (G. LAGALY)	147
4.1.	Einführung	147
4.2.	Struktur und Eigenschaften der Tonminerale	147
4.2.1.	Kaoline, Tone, Bentonite	147
4.2.2.	Struktur der Tonminerale	148
4.2.3.	Das Kationenaustauschvermögen	149
4.2.4.	Intrakristalline Quellung	151
4.2.5.	Elektrolytabhängigkeit der intrakristallinen Quellung	153
4.2.6.	Struktur der Kristallränder	153

4.3.	Wechselwirkungen zwischen Tonmineralteilchen	155
4.3.1.	Flächen/Flächen Wechselwirkungen	155
4.3.2.	Wechselwirkungen mit Kanten	155
4.3.3.	Kartenhausstrukturen	156
4.3.4.	Bänderstrukturen	158
4.4.	Kaolin- und Bentonitdispersionen	159
4.4.1.	Kaolindispersionen	159
4.4.2.	Bentonit (Smectit) – Dispersionen	162
4.5.	Thixotropie	166
4.5.1.	Ursache	166
4.5.2.	Thixotropes Grenzvolumen und Sedimentvolumen	166
4.5.3.	Thixotropie in organischen Lösungsmitteln	169
4.5.4.	Antithixotropie	170
4.6.	Einfluß organischer Stoffe	170
4.6.1.	Kaoline und kationische und anionische Tenside	170
4.6.2.	Hydrophobierung von Smectiten	173
4.6.3.	Wechselwirkung mit Makromolekülen	174
4.7.	Technische Anwendungen	176
4.7.1.	Sedimentation und Filtrierbarkeit	176
4.7.2.	Keramik	177
4.7.3.	Papierkaolin	178
4.7.4.	Formsande	179
4.7.5.	Verwendung der Bentonite	179
4.7.6.	Bohrflüssigkeiten	179
4.8.	Quick Clays	180
4.9.	SiO ₂ -Dispersionen	181
4.9.1.	„Pyrogene“ Kieselsäuren	181
4.9.2.	Wäßrige SiO ₂ -Dispersionen	181
4.9.3.	Verdickung von Lösungsmittel	183
5.	Polymerlösungen (W.-M. KULICKE)	187
5.1.	Die verdünnte Lösung	188
5.1.1.	Die viskosimetrische Molekulargewichtsbestimmung	188
5.1.2.	Bestimmung von Knäueldimensionen	196
5.1.3.	Der STAUDINGER-Index	198
5.1.3.1.	Einfluß der Lösungsmittelgüte und Kettenverzweigung ..	198
5.1.3.2.	Einfluß der Schergeschwindigkeit und Temperatur	201
5.1.3.3.	Einfluß kleiner Kettenlängen und des chemischen Auf- baus	205

5.2.	Die konzentrierte Lösung	210
5.2.1.	Stationäres Scherfließen – Die Fließkurve	211
5.2.1.1.	η_0 - M_w - c -Beziehung	213
5.2.1.2.	Einfluß molekularer Parameter auf die Scherviskosität	216
5.2.1.3.	Zur Existenz des 2. NEWTONschen Bereichs	222
5.2.2.	Normalspannungen	224
5.2.2.1.	1. Normalspannungsdifferenz	225
5.2.2.2.	2. Normalspannungsdifferenz	227
5.2.3.	Vergleich der Scher- mit der Schwingungsviskosität	232
5.2.4.	Nachweis energetischer Wechselwirkungen beim instationären Scherfließen	233
6.	Polymerschmelzen (H. MÜNSTEDT)	238
6.1.	Rheologische Eigenschaften in Abhängigkeit vom molekularen Aufbau	238
6.1.1.	Einfluß des Molekulargewichts	239
6.1.1.1.	Viskosität	239
6.1.1.2.	Elastizität	241
6.1.2.	Einfluß der Molekulargewichtsverteilung	244
6.1.2.1.	Viskosität	244
6.1.2.2.	Elastizität	247
6.1.3.	Einfluß von Verzweigungen	250
6.1.3.1.	Viskosität	250
6.1.3.2.	Dehnverhalten	254
6.2.	Einfluß verschiedener mechanischer Vorbehandlungen auf die rheologischen Eigenschaften	255
6.2.1.	Probenpräparation	255
6.2.2.	Dehnverhalten	257
6.2.3.	Modellvorstellung	258
6.3.	Polymermischungen	259
6.3.1.	Mischungen aus engverteilten Polymeren	259
6.3.2.	Mischungen aus Handelsprodukten	261
6.4.	Gefüllte Polymere	264
6.4.1.	Anorganische Füllstoffe	264
6.4.2.	Kautschukartige Füllstoffe	267
6.4.2.1.	Einfluß der Füllstoffkonzentration	268
6.4.2.2.	Einfluß der Füllstoffgröße	273
6.4.2.3.	Modellvorstellungen	276

7.	Tenside (H. REHAGE, H. HOFFMANN)	280
7.1.	Einleitung	280
7.2.	Assoziationsverhalten von amphiphilen Molekülen	281
7.2.1.	Definition und Klassifizierung der Tenside	281
7.2.2.	Mizellarten	281
7.2.3.	Mesophasen	283
7.3.	Die Viskosität von Tensidlösungen	284
7.4.	Kugelmizellen	285
7.5.	Stäbchenförmige Mizellen	290
7.5.1.	Orientierungseffekte	290
7.5.2.	Ideal verdünnte Lösung	292
7.5.3.	Verdünnte Lösung	293
7.5.4.	Konzentrierte Lösung	295
7.5.5.	Ergebnisse	295
7.6.	Scheibchenförmige Mizellen	298
7.7.	Ermittlung der Mizellform und Teilchengröße	299
7.7.1.	Meßmethoden	299
7.7.2.	Anisotropie-Effekt der elektrischen Leitfähigkeit	299
7.7.3.	Strömungsdoppelbrechung	300
7.8.	Viskoelastische Tensidlösungen	302
7.8.1.	Definition und Eigenschaften	302
7.8.2.	Konzentrationsbereiche	303
7.8.3.	Hochverdünnte Lösung	304
7.8.3.1.	Alterung	304
7.8.3.2.	Der scherinduzierte Zustand	305
7.8.4.	Verdünnte Lösungen	307
7.8.5.	Der Einfluß von Natriumchlorid	312
7.9.	Ausblick	315
8.	Thermotrope Flüssigkristalle (F. SCHNEIDER, H. KNEPPE)	
8.1.	Einführung	318
8.2.	Aufbau calamitischer Flüssigkristalle	318
8.2.1.	Nematische Flüssigkristalle	318
8.2.2.	Cholesterische Flüssigkristalle	320
8.2.3.	Smektische Flüssigkristalle	321
8.3.	Ausrichtung von nematischen Flüssigkristallen	322
8.3.1.	Ausrichtung durch Oberflächen	322
8.3.2.	Ausrichtung durch elektrische und magnetische Felder ...	322

8.3.3.	Elastisches Verhalten von Flüssigkristallen	322
8.4.	Theorie des Fließverhaltens nematischer Flüssigkristalle .	323
8.4.1.	Kontinuumstheorie	323
8.4.1.1.	Scherviskositäten	324
8.4.1.2.	Rotationsviskosität	326
8.4.1.3.	LESLIE-ERICKSEN-Koeffizienten	326
8.4.1.4.	Strömungsausrichtung	327
8.4.1.5.	Induzierte Strömung (backflow)	328
8.4.2.	Abhängigkeit der Viskositäten vom Ordnungsgrad	329
8.5.	Experimentelle Untersuchungen zum Fließverhalten nematischer Flüssigkristalle	330
8.5.1.	Meßverfahren	330
8.5.1.1.	Scherviskositäten	330
8.5.1.2.	Rotationsviskosität	333
8.5.1.3.	Strömungsausrichtung	338
8.5.1.4.	Torsionsscherung	339
8.5.2.	Experimentelle Ergebnisse	340
8.5.2.1.	Scherviskositäten	340
8.5.2.2.	Rotationsviskosität	348
8.5.2.3.	Strömungsausrichtung	355
8.5.2.4.	Instabilitäten	356
8.6.	Fließverhalten cholesterischer Flüssigkristalle	359
8.6.1.	Theorie	359
8.6.2.	Experimentelle Untersuchungen	362
8.7.	Fließverhalten smektischer Flüssigkristalle	364
9.	Biologische Fluide	369
9.1.	Rheologie des Blutes (H. CHMIEL, E. WALITZA)	369
9.1.1.	Eigenschaften von Blut	369
9.1.1.1.	Zusammensetzung	369
9.1.1.2.	Physikalisch-chemische Eigenschaften	370
9.1.2.	Rheologisch signifikante Parameter	370
9.1.2.1.	Die Erythrozytenaggregation	371
9.1.2.2.	Deformierbarkeit der Erythrozyten	373
9.1.2.3.	Viskosität von Plasma	374
9.1.2.4.	Dichte von Plasma und Vollblut	375
9.1.2.5.	Hämatokrit	375
9.1.3.	Meßmethoden für die Blutrheologie	377
9.1.3.1.	Das stationäre Scherexperiment	377
9.1.3.2.	Das instationäre Scherexperiment	377

9.1.3.3.	Filtrationstests	378
9.1.3.4.	Optische Methoden	379
9.1.4.	Phänomenologie des Fließverhaltens von Blut	380
9.1.4.1.	Scheinbare Viskosität	380
9.1.4.2.	Viskoelastizität	381
9.1.4.3.	Hämatokritabhängigkeit	384
9.1.4.4.	Einfluß der Erythrozytenaggregation und -verformbarkeit	385
9.1.4.5.	Temperaturabhängigkeit	387
9.1.4.6.	Plasmaviskosität und Plasmaproteine	387
9.1.4.7.	Scherzeitabhängigkeit	387
9.1.4.8.	Abhängigkeit von der Geometrie	389
9.1.5.	Rheologische Zustandsgleichungen für Blut	390
9.1.5.1.	Die sinusförmige oszillierende Rohrströmung	391
9.1.5.2.	Die Durchströmung einer Verzweigung mit einem viskoelastischen Fluid	394
9.1.6.	Klinische Blutrheologie	396
9.1.6.1.	Klinische Bedeutung rheologischer Messungen	396
9.1.6.2.	Normalwerte	396
9.1.6.2.1.	Plasmaviskosität	397
9.1.6.2.2.	Parameter für die Erythrozytenaggregation	397
9.1.6.2.3.	Stationäres Fließverhalten	398
9.1.6.2.4.	Materialfunktionen der Viskoelastizität	398
9.1.6.3.	Erkrankungen	399
9.1.6.3.1.	Herzkreislauferkrankungen	399
9.1.6.3.2.	Risikofaktoren	400
9.1.6.3.3.	Hämatologische Erkrankungen	400
9.1.6.3.4.	Sonstige Erkrankungen	401
9.1.6.4.	Pharmakologische Beeinflussung	402
9.2.	Synovialflüssigkeit (H. ZEIDLER)	404
9.2.1.	Zusammensetzung und biologische Funktion der Synovia	404
9.2.2.	Synovia als verdünnte Lösung	406
9.2.2.1.	Grenzviskositätszahl (STAUDINGER-Index)	406
9.2.2.2.	Einfluß von Temperatur, pH-Wert und Ionenstärke auf die Grenzviskositätszahl	408
9.2.2.3.	Zusammenhang zwischen Grenzviskositätszahl und Molekulargewicht der Hyaluronsäure	409
9.2.3.	Synovia als konzentrierte Lösung	411
9.2.3.1.	Stationäre Messungen	412
9.2.3.2.	Instationäre Scherströmung	413
9.2.3.3.	Mechanisch-dynamische Messungen	414
9.2.3.4.	Struktur-rheologische Vorstellungen	418
9.2.4.	Veränderungen der Synovialrheologie bei Krankheiten	426
9.2.4.1.	Diagnostische Bedeutung	427
9.2.4.2.	Gelenkpathophysiologie	429

9.2.4.3.	Therapeutische Beeinflussung	431
9.2.5.	Gelenkschmierung und Knorpelabrieb	431
10.	Schüttgüter (H. WILMS, J. SCHWEDES)	435
10.1.	Schüttgutmechanik	435
10.1.1.	Beanspruchungszustand von Schüttgütern	438
10.1.2.	Fließkriterien	442
10.1.2.1.	Fließkriterium von MOHR-COULOMB	442
10.1.2.2.	Das Fließverhalten realer Schüttgüter	445
10.1.3.	Zusammenhang zwischen Spannung und Dehnung	446
10.1.4.	Dreidimensionales Zustandsdiagramm für Schüttgüter ...	449
10.2.	Messung von Schüttguteigenschaften	451
10.2.1.	Durchführung von Scherversuchen	451
10.2.2.	Einteilung von Schüttgütern nach ihrer Fließfähigkeit ...	457
10.2.3.	Übersicht über Schergeräte	458
10.2.3.1.	Direkte Schergeräte mit Translationsbewegung	459
10.2.3.2.	Direkte Schergeräte mit Rotationsbewegung	461
10.2.3.3.	Indirekte Schergeräte	463
10.2.3.4.	Vergleich der Schergeräte	466
10.3.	Verfahrenstechnische Siloauslegung	469
10.3.1.	Siloprobleme und Fließprofile	469
10.3.2.	Dimensionierung nach JENIKE	472
Sachregister		481