

Inhalt

Der Herausgeber	VII
Vorwort	IX
1 Lichtmikroskopie	1
1.1 Mikroskopie	1
1.1.1 Einleitung	3
1.1.2 Grundlagen der Lichtmikroskopie	4
1.1.2.1 Beleuchtungsoptik	6
1.1.2.2 Auflösungsvermögen und Numerische Apertur	7
1.1.2.3 Vergrößerung	8
1.1.2.4 Kontrast	9
1.1.3 Kontrastverfahren der Durch- und Auflichtmikroskopie	9
1.1.3.1 Durchlichtmikroskopie	12
1.1.3.1.1 Hellfeld	12
1.1.3.1.2 Dunkelfeld	16
1.1.3.1.3 Polarisationsoptik	19
1.1.3.2 Auflichtmikroskopie	26
1.1.3.2.1 Differential-Interferenzkontrast	27
1.1.3.2.2 Polarisationskontrast	29
1.1.3.2.3 Fluoreszenz	30
1.1.4 Stereomikroskopie	31
1.1.4.1 Technischer Aufbau	32
1.1.4.1.1 <i>Greenough</i> -Modell	32
1.1.4.1.2 Fernrohr-Modell	33
1.1.4.2 Beleuchtung	34
1.1.4.3 Aufnahmemöglichkeiten	35
1.1.4.3.1 Stereobilder	35
1.1.4.3.2 Monobilder	35
1.1.4.3.3 Bilder mit erweiterter Tiefenschärfe	36

1.1.4.4	Anwendungsbeispiel	36
1.1.4.4.1	Orientierungen und Eigenspannungen	37
1.1.4.4.2	Kristalline Strukturen – Sphärolithe	39
1.2	Normen	43
2	Polarisation	45
2.1	Analyseverfahren	45
2.1.1	Polarisationsoptik & Mikroskopie	45
2.1.1.1	Grundlagen	45
2.1.1.2	Doppelbrechung	49
2.1.1.3	Spannungsoptische Konstante	50
2.1.1.3.1	Kunststoffart	54
2.1.1.3.2	Viskoelastizität	55
2.1.1.3.3	Aggregatzustand	55
2.1.1.4	Isoklinen und Isochromaten	57
2.1.1.5	Formteile im polarisiertem Licht	59
2.1.1.6	Polarisation in der Durchlichtmikroskopie	62
2.1.1.6.1	Kristalline Überstrukturen	63
2.1.1.6.2	Durchlicht-Hellfeld und Durchlicht- Polarisation	66
2.1.1.6.3	Besondere Erscheinungen im polarisierten Licht	68
2.1.1.6.4	Beispiele für mikroskopische Strukturbilder	71
2.1.1.6.5	Verarbeitungsfehler	74
2.1.1.6.6	Glasfaserverstärkte Teilkristalline	80
2.2	Normen	83
3	Rasterkraftmikroskopie	85
	<i>Mit Dr. Rolf Peter Baumann</i>	
3.1	Einleitung	85
3.2	Funktionsprinzip	85
3.2.1	Arbeitsweise des Rasterkraftmikroskops	87
3.2.2	Praktische Beispiele	88
3.2.2.1	Messmöglichkeiten	88
3.2.2.2	Auswertung	89
3.2.2.3	Kalibrierung	90
3.2.2.4	Verschiedene Anwendungen	91
3.2.2.5	Praktische Vorgehensweise	92
3.2.2.6	Spritzgussoberflächen PUR	93
3.2.2.7	Bioabbaubare Blasfolie	94

3.2.2.8	Bewitterung von Blend aus PBT und PET	95
3.2.2.9	Struktur einer Schweißnaht	97
3.3	Vor- und Nachteile des Rasterkraftmikroskops	98
3.4	Normen	99
4	Fluoreszenzmikroskopie	101
	<i>Mit Dr. Markus Rückel</i>	
4.1	Einleitung	101
4.2	Funktionsprinzip	101
4.2.1	Konfokale Fluoreszenz	102
4.2.2	Fluoreszenzmarkierung	105
4.2.3	Autofluoreszenz	108
4.2.4	Vorteil der Fluoreszenzmarkierung	111
4.3	Normen	111
5	Rasterelektronenmikroskopie REM – FEM – EDX	113
5.1	Überblick	113
5.2	Bildsignale und Kontrastentstehung	115
5.3	Feldemissionsmikroskopie (FEM)	117
5.4	Schäden und Artefakte	120
5.4.1	Aufladungen	121
5.4.2	Kanteneffekt	122
5.4.3	Aufnahmeflächen	122
5.5	Energiedispersive Röntgenmikroanalyse (EDX)	124
5.6	Probenvorbereitung	126
5.7	Probenuntersuchung	128
5.7.1	Kunststoff-Schadensbrüche unter dem REM	128
5.7.1.1	Inneres Volumen – Innere Fehler	128
5.7.1.2	Makroskopische Beurteilung von Bruchstücken	131
5.8	Bruchverlauf	132
5.8.1	Gewaltbrüche	135
5.8.1.1	Duktile Gewaltbrüche	135
5.8.1.2	Reißbruch	138
5.8.1.3	Schubbruch	139
5.8.1.4	Crazes	140
5.8.1.5	Spröde Gewaltbrüche	143
5.8.1.6	Schwingungsbrüche	145
5.8.1.6.1	Schwingungsinduzierte Gewaltbrüche	145

5.8.1.6.2	Echte Schwingungsbrüche	148
5.8.1.6.3	Echte duktile Schwingungsbrüche	151
5.8.1.6.4	Echte spröde Schwingungsbrüche	152
5.8.1.7	Einflüsse von Chemikalien – Spannungsrissbildung	154
5.8.2	Oberflächenschäden unter dem REM	156
5.8.2.1	Strukturen in Kunststoffen	157
5.8.2.1.1	Primäre Grundstrukturen	157
5.8.2.1.2	Verarbeitungsbedingte Oberflächenstrukturen	158
5.8.2.2	Oberflächenschäden durch mechanische Einwirkungen	159
5.8.2.2.1	Gleitverschleiß	160
5.8.2.2.2	Verschleißrate (Abrieb)	165
5.8.2.2.3	Rauigkeit der verschlissenen Oberflächen	166
5.8.2.2.4	Örtlicher Gleitverschleiß (Pittings)	167
5.8.2.2.5	Örtliche mechanische Oberflächenschädigung	169
5.8.2.2.6	Strahlverschleiß	170
5.8.2.2.7	Tropfenschlag	171
5.8.2.2.8	Erosion	172
5.8.2.2.9	Kavitation	173
5.8.2.3	Oberflächenschäden durch physiko-chemische Einwirkungen	174
5.8.2.3.1	Chemikalieneinwirkung	174
5.8.2.3.2	UV-Bestrahlung	177
5.8.2.3.3	Bewitterung	177
5.8.2.3.4	Thermische Wirkung auf Thermoplaste	178
5.8.2.3.5	Oberflächenschäden durch biologische Einwirkung	180
5.8.2.4	REM-Verfahren – Rückstreuelektronen (RE-Detektion)	181
5.8.2.5	Mikroradiografie	182
5.8.2.6	Probenpräparation – RE-Proben	184
5.8.2.7	Probenpräparation – Mikroradiografie	185
5.8.2.7.1	Beispiele	186
5.8.2.7.2	Aufnahmen mit der Mikroradiografie	189
5.8.2.7.3	Vergleich Mikroradiografie und RE-Detektor	191
5.8.2.7.4	Wärmedämmsteg	192
5.8.2.7.5	Gitterelement	193
5.8.2.7.6	SMC (Sheet-Moulding-Compound)	194
5.8.2.7.7	Kohlenstofffaserverstärkte Kunststoffe	195
5.8.2.8	Oberflächenanalytik – Überblick	195
5.8.2.9	Zusammenfassung	196

5.9 Normen	197
6 Ausgewählte Fachbegriffe der lichtmikroskopischen Untersuchungen	199
Index	205