

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	XIII
1. Theoretische und verfahrenstechnische Grundlagen	1
1.1 Elastizitätstheoretische Grundlagen	1
1.1.1 Spannungen	1
1.1.1-1 Normal-, Schub- und Hauptspannungen	1
1.1.1-2 Spannungstensor	3
1.1.1-3 Randbedingungen	5
1.1.2 Dehnungen	5
1.1.2-1 Normal-, Schub- und Hauptdehnungen	5
1.1.2-2 Dehnungsrosetten	8
1.1.2-3 Dehnungstensor	9
1.1.3 Ebener Spannungszustand - ebener Formänderungszustand	10
1.1.3-1 Ebener Spannungszustand	11
1.1.3-2 Ebener Formänderungs- oder Verzerrungszustand	12
1.1.4 Geometrische Darstellung des Spannungs- und Dehnungszustandes	12
1.1.4-1 Kurvenscharen zur Beschreibung des Spannungs- und Dehnungszustandes	12
1.1.4-2 Kreis-Darstellungen des Spannungs- und Dehnungszustandes	13
1.1.4-3 Ellipsen- bzw. Ellipsoid-Darstellungen des Spannungs- und Dehnungszustandes	15
1.1.4-4 Polar-Darstellungen des zweiachsigen Spannungs- und Dehnungszustandes	17
1.1.5 Zusammenhang zwischen Spannungen und Dehnungen	17
1.1.5-1 Hookesches Gesetz	17
1.1.5-2 Allgemeine Zusammenhänge	19
1.1.5-3 Ebener Spannungszustand	22
1.1.5-4 Ebener Dehnungszustand	23
1.1.6 Differentialgleichungen des Gleichgewichtes in der Ebene	24
1.1.7 Scheiben, Platten, Schalen und Membrane	26
1.2 Optische Grundlagen	27
1.2.1 Natur des Lichtes	27
1.2.1-1 Korpuskulartheorie - Wellentheorie	27
1.2.1-2 Natürliches und polarisiertes Licht	28
1.2.1-3 Weißes und monochromatisches Licht	30
1.2.2 Die wichtigsten optischen Erscheinungen	32
1.2.2-1 Lichtausbreitung	32
1.2.2-2 Reflexion und Brechung bei optisch isotropen Medien	34
1.2.2-3 Brechung in anisotropen Medien. Natürliche und künstliche Doppelbrechung	38

1.2.2-4 Optisch aktive Stoffe	43
1.2.2-5 Interferenz	44
1.2.2-6 Beugung - Streuung	46
1.2.3 Linear, zirkular und elliptisch polarisiertes Licht	46
1.2.4 Polariskope	50
1.2.4-1 Aufbau und Wirkungsweise von Polariskopen	50
1.2.4-2 Anisotrope, doppelbrechende Medien in Polariskopen	51
1.2.4-3 Zusammenstellung verschiedener Polariskope	58
1.3 Spannungsoptische Grundlagen	64
1.3.1 Spannungsoptisches Gesetz	64
1.3.1-1 Zweidimensionale (ebene) Spannungsoptik	64
1.3.1-2 Isochromaten (Farbgleichen) und Isoklinen (Richtungsgleichen)	69
1.3.1-3 Spannungsoptische Konstante - Eichung	71
1.3.1-4 Modelldicke	80
1.3.1-5 Einfarbiges und weißes Licht	81
1.3.1-6 Hilfsmittel der Kristalloptik	87
1.3.1-7 Sekundäre Hauptspannungen	96
1.3.1-8 Dreidimensionale (räumliche) Spannungsoptik . . .	102
1.3.2 Isochromaten	107
1.3.2-1 Allgemeines	107
1.3.2-2 Isochromaten und Spannungen an lastfreien Rändern	110
1.3.2-3 Singuläre und isotrope Punkte	115
1.3.2-4 Bestimmung der Isochromatenordnung	116
1.3.2-5 Vervielfachung und Verschärfung von Isochromaten	136
1.3.2-6 Beispiele von Isochromaten	143
1.3.3 Isoklinen und Hauptspannungslinien	163
1.3.3-1 Entstehung von Isoklinen	163
1.3.3-2 Spannungsoptische Bestimmung der Isoklinen . . .	164
1.3.3-3 Allgemeine Eigenschaften von Isoklinen	167
1.3.3-4 Isoklinen und Hauptspannungslinien an singulären und isotropen Punkten	169
1.3.3-5 Konstruktion der Hauptspannungslinien aus den Isoklinen	173
1.3.3-6 Allgemeines über Hauptspannungslinien	175
1.3.3-7 Beispiele von Isoklinen und Hauptspannungslinien	177
1.4 Modellgesetze	183
1.4.1 Einführung in die Modelltechnik	183
1.4.1-1 Allgemeines	183
1.4.1-2 Physikalische Ähnlichkeit	184
1.4.1-3 Zur Ermittlung von Modellgesetzen	186
1.4.2 Strenge, erweiterte und angenäherte statische Ähnlich- keitsgesetze	187
1.4.2-1 Strenge Ähnlichkeit	187
1.4.2-2 Erweiterte und angenäherte Ähnlichkeit	192
1.4.3 Modellgesetze für Sonderfälle	196
1.4.3-1 Stabilitätsprobleme	196
1.4.3-2 Rotationsprobleme	196
1.4.3-3 Eigengewichtsprobleme	197
1.4.3-4 Schwingungen, Wellen und Stoßprobleme	198
1.4.3-5 Berührungsprobleme	200
1.4.3-6 Verbundprobleme	201
1.4.3-7 Thermoelastische Probleme	201
1.4.4 Das "De Saint Venantsche Prinzip"	204
1.4.5 Maßstabsfragen und Fehler bei spannungsoptischen Versuchen	205
1.4.5-1 Überblick	205
1.4.5-2 Maßstabsfehler	206
1.4.5-3 Versuchstechnische Fehler	213

1.4.6 Übertragung auf die Hauptausführung unter Berücksichtigung des Werkstoffverhaltens	214
1.4.6-1 Allgemeines	214
1.4.6-2 Übertragung bei statischen Beanspruchungen	217
1.4.6-3 Übertragung bei dynamischer Beanspruchung	220
2. Versuchs- und Meßtechnik	223
2.1 Überblick	223
2.2 Modellwerkstoffe	224
2.2.1 Einführung	224
2.2.2 Charakteristische Größen zur Kennzeichnung spannungsoptischer Modellwerkstoffe	226
2.2.2-1 Allgemeine Anforderungen an einen idealen Modellwerkstoff	226
2.2.2-2 Elastizitätsmodul und Querdehnungszahl	228
2.2.2-3 Spannungsoptische Konstante bzw. Empfindlichkeit	230
2.2.2-4 Dehnungsoptische Konstante bzw. Empfindlichkeit	230
2.2.2-5 Interferenzoptische Konstante	230
2.2.2-6 Zulässige Spannungen	231
2.2.2-7 Empfindlichkeit gegen Randeffekt	232
2.2.2-8 Relative optische Kriechgeschwindigkeit	232
2.2.2-9 Temperatur für den Einfrierversuch	232
2.2.2-10 Zug-, Druck- und Biegefestigkeit	232
2.2.2-11 Dauer- und Zeitstandfestigkeit, Zeitdehngrenze	234
2.2.2-12 Schlag- und Kerbschlagzähigkeit	234
2.2.2-13 Härte	235
2.2.2-14 Dichte	235
2.2.2-15 Brechungsindex	235
2.2.2-16 Thermische Eigenschaften	235
2.2.3 Einfluß der Temperatur	236
2.2.3-1 Allgemeines zur Temperaturabhängigkeit der wichtigsten spannungsoptischen Kenngrößen	236
2.2.3-2 Das Einfrierverfahren	238
2.2.3-3 Wärmebehandlung spannungsoptischer Modellwerkstoffe	241
2.2.4 Einfluß der Zeit	244
2.2.4-1 Kriechen	244
2.2.4-2 Periodische Be- und Entlastung, Schwingungsbeanspruchung	248
2.2.4-3 Stoßbeanspruchung	250
2.2.5 Nulleffekte	251
2.2.5-1 Allgemeines	251
2.2.5-2 Randeffekte	254
2.2.5-3 Schlieren	260
2.2.5-4 Bearbeitungsspannungen	260
2.2.6 Ergänzungen zur Erklärung der polarisationsoptischen Phänomene aus dem Aufbau der Kunststoffe	262
2.2.6-1 Allgemeines über Kunststoffe und ihre Einteilung	262
2.2.6-2 Beschreibung einiger mechanischer und optischer Phänomene aus dem Aufbau der Kunststoffe	264
2.2.7 Zusammenstellung der wichtigsten Modellwerkstoffe	271
2.2.7-1 Überblick	271
2.2.7-2 Epoxidharze	273
2.2.7-3 Polyesterharze	301
2.2.7-4 Phenolformaldehydharze	307
2.2.7-5 Acrylharze	311
2.2.7-6 Sonstige Modellwerkstoffe	314

2.3 Modellherstellung	324
2.3.1 Ausgangsmaterial	324
2.3.2 Spanabhebende Bearbeitung	325
2.3.2-1 Allgemeines	325
2.3.2-2 Sägen, Feilen, Fräsen, Drehen und Bohren	327
2.3.3 Schleifen und Polieren	330
2.3.4 Gießen	332
2.3.4-1 Gießformen	332
2.3.4-2 Ergänzungen zum Gießen von Scheiben bzw. Platten und von räumlichen Modellen	338
2.3.5 Kleben	340
2.4 Modellbelastung und versuchstechnische Hilfsmittel	342
2.4.1 Belastung ebener und räumlicher Modelle	342
2.4.1-1 Allgemeines	342
2.4.1-2 Reiner Zug und Druck	345
2.4.1-3 Reine Biegung	346
2.4.2 Polariskope, Kompensatoren und Lichtquellen	347
2.4.2-1 Polariskope und Kompensatoren	347
2.4.2-2 Lichtquellen	348
2.4.3 Photographische Aufnahmen	350
2.4.3-1 Allgemeines	350
2.4.3-2 Photographische Aufnahme von Isochromaten	351
2.4.3-3 Photographische Aufnahme von Isoklinen	354
2.4.3-4 Ergänzungen	356
2.4.4 Sonstige versuchstechnische Hilfsmittel	363
2.4.4-1 Öfen	363
2.4.4-2 Immersionsflüssigkeiten	365
2.4.4-3 Dickenmessung	365
3. Ebene Spannungsoptik	367
3.1 Überblick	367
3.2 Senkrechte und schiefe Durchstrahlung zur Trennung der Hauptspannungen	368
3.3 Integrationsverfahren zur Trennung der Hauptspannungen	373
3.3.1 Das Schubspannungsdifferenzverfahren	373
3.3.1-1 Einleitung	373
3.3.1-2 Ermittlung der Normalspannungen σ_x und σ_y längs eines geraden Schnittes	375
3.3.1-3 Rechenschema	378
3.3.1-4 Eine Methode zur genauen Bestimmung von $\frac{\partial \tau}{\partial y}$	381
3.3.2 Auswertungsverfahren nach Coker und Filon	384
3.4 Isopachen und interferometrische Verfahren zur Trennung der Hauptspannungen	391
3.4.1 Einführung	391
3.4.2 Lateralextensometer	392
3.4.2-1 Grundlagen	392
3.4.2-2 Mechanische Lateralextensometer	395
3.4.2-3 Elektrische Lateralextensometer	397
3.4.2-4 Optische Lateralextensometer	399
3.4.2-5 Photometrisches Dickenmeßverfahren	400
3.4.3 Analogieverfahren	402
3.4.3-1 Membran-Analogie	402
3.4.3-2 Elektrische Analogie	403
3.4.4 Numerische Verfahren	405
3.4.4-1 Einleitung	405

3.4.4-2 Grundgleichungen	406
3.4.4-3 Methode der Iteration	407
3.4.4-4 Differenzenmethode	413
3.4.4-5 Relaxationsmethode	415
3.4.4-6 Methode der harmonischen Rosette	418
3.4.5 Interferometrische Verfahren	422
3.4.5-1 Einführung	422
3.4.5-2 Interferometertypen	423
3.4.5-3 Interferometrische Isopachenbestimmung	426
3.4.5-4 Interferometrische Isopachen- und Isochromatenbestimmung	433
3.5 Weitere Verfahren der ebenen Spannungsoptik	438
3.5.1 Auswertung längs Symmetrieschnitten	438
3.5.1-1 Die grundlegenden Voraussetzungen und Zusammenhänge bei symmetrischen Problemen	438
3.5.1-2 Angenäherte Konstruktion der p-, q-Kurven über einem Symmetrieschnitt	440
3.5.2 Auswertung unter Verwendung des Schubspannungshügels	443
3.5.2-1 Auswertung unter Verwendung der Neigung des Hügels der Schubspannungen	443
3.5.2-2 Auswertung unter Verwendung des Gleichgewichtes am endlichen Ausschnitt	444
3.5.3 Verfahren nach Föppl	445
3.5.4 Das Neubersche Verfahren	446
3.5.4-1 Bezeichnungen	446
3.5.4-2 Die Neuberschen Gleichungen	447
3.5.4-3 Bestimmung der Isopachenrichtung im Innern des Modells	449
3.5.4-4 Bestimmung der Isopachen am Rand	451
3.5.4-5 Abstand der Isopachen	451
3.5.4-6 Eigenschaften der Isopachen	452
3.5.5 Photoelektrisches-interferometrisches Verfahren	455
3.5.6 Das Anbohrverfahren	456
4. Räumliche Spannungsoptik	457
4.1 Überblick	457
4.2 Das Einfrierverfahren	458
4.2.1 Grundlagen	458
4.2.2 Versuchstechnik	460
4.2.2-1 Modellwerkstoffe und Modellherstellung	460
4.2.2-2 Einfrierversuch	460
4.2.2-3 Eichung	462
4.2.2-4 Modellzerlegung und Schnittherstellung	463
4.2.2-5 Untersuchung von Schnitten	465
4.2.3 Auswertung	467
4.2.3-1 Allgemeines	467
4.2.3-2 Oberflächenspannungen	468
4.2.3-3 Symmetrische Probleme	473
4.2.3-4 Allgemeine Analyse mittels senkrechter und schiefer Durchstrahlung	475
4.2.3-5 Das Schubspannungsdifferenzverfahren der räumlichen Spannungsoptik	482
4.2.3-6 Zur Trennung der Hauptspannungen mit Hilfe der Dickenänderung	487
4.2.4 Fehler und Genauigkeit beim Einfrierversuch	488

4.3 Räumliche Spannungsoptik ohne Modellzerlegung	490
4.3.1 Das Streulichtverfahren	490
4.3.1-1 Einleitung	490
4.3.1-2 Theoretische Grundlagen	492
4.3.1-3 Versuchstechnik	505
4.3.1-4 Spezielle Anwendungen	508
4.3.2 Achsenbildverfahren	516
4.3.2-1 Einleitung	516
4.3.2-2 Allgemeiner Versuchsaufbau	517
4.3.2-3 Entstehung und Form von Achsenbildern	519
4.3.2-4 Analyse von Achsenbildern	521
4.3.3 Schichtverfahren	524
4.3.3-1 Überblick	524
4.3.3-2 Zwischen-, Zwei- und Mehrschichtverfahren	526
4.3.3-3 Untersuchung von Platten	534
4.3.3-4 Untersuchung von Schalen	541
4.3.4 Einschlußverfahren	544
4.3.4-1 Einleitung	544
4.3.4-2 Das Einschlußverfahren nach Racké	545
4.4 Ergänzungen zur Beschreibung beliebiger polarisationsoptischer Vorgänge	550
4.4.1 Allgemeines	550
4.4.2 Poincaré-Kugel	552
4.4.3 j-Kreis	555
4.4.4 Wulffsches Netz	559
Literaturverzeichnis	561
Namen- und Sachverzeichnis	600

Inhalt des zweiten Bandes:

Spezielle Verfahren und Anwendungen

1. Oberflächenspannungsoptik
2. Photoplastizität und Photoviskosität
3. Photothermoelastizität
4. Photoholoelastizität
5. Weitere Sonderverfahren
6. Anwendungen auf spezielle statische Probleme
7. Anwendungen auf spezielle dynamische Probleme
8. Ergänzungen zur Versuchstechnik und Kombination mit anderen Verfahren der Spannungs- und Dehnungsanalyse