

INHALT

0	Einführung	1
0.1.	Die photographische Schicht als Informationsträger	1
0.2.	Aufgabe des Buches und Ordnung des Stoffes	2
0.3.	Historisches	4
1.	Objekt und Bild	7
1.1.	Prinzip der Photographie	8
1.2.	Objekte	10
1.3.	Das optische Bild	11
1.3.1.	Das Schattenbild	11
1.3.2.	Abbildung mit einem Objektiv	12
1.4.	Die lichtempfindliche Schicht und der photographische Prozeß	13
1.4.1.	Photochemische Prozesse	14
1.4.2.	Photophysikalische Prozesse	14
1.5.	Das photographische Bild	15
1.6.	Beziehung zwischen Objekt und Bild	15
1.6.1.	Auswertung photographischer Bilder	15
1.6.2.	Vergleich von Objekt und Bild	16
1.6.3.	Helligkeit in Objekt und in Bild und Übertragung der Helligkeiten	17
1.7.	Allgemeines über Speicherung von Informationen	23
2.	Übertragung großer Details	25
2.1.	Definition der Schwärzung	26
2.1.1.	Durchsichtsschwärzung	27
2.1.2.	Aufsichtsschwärzung	30
2.1.3.	Farbdichte	31
2.2.	Die Schwärzungskurve	33
2.2.1.	Verlauf und Darstellungsarten der Schwärzungskurve	33
2.2.2.	Analytische Darstellung der Schwärzungskurve	35
2.2.3.	Messung der Schwärzungskurve	37
2.2.4.	Schwärzungskurven von Handelsschichten	38
2.2.5.	Schwärzungskurve bei zusammengesetzten Prozessen	38
2.2.6.	Übertragung beim Gesamtprozeß	43
2.3.	Kontrastausgleich ('Dodging')	45
2.3.1.	Maskenverfahren	46
2.3.2.	Elektronische Verfahren	47
2.3.3.	Fluoreszenzverfahren	48
2.4.	Theorie der Schwärzungskurve einer Halogensilberschicht	48

2.4.1.	Aufbau der Emulsionsschicht	50
2.4.1.1.	Größe und Größenverteilung der Emulsionskörner	51
2.4.1.2.	Mittlerer und freier Kornabstand (Raumerfüllung)	52
2.4.2.	Optische Eigenschaften photographischer Schichten	53
2.4.3.	Äußere und innere Exposition	55
2.4.3.1.	Innere Exposition bei nicht streuenden Schichten	57
2.4.3.2.	Innere Exposition bei streuenden Schichten	57
2.4.4.	Schwärzungskurve bei Halogensilberschichten	64
2.4.4.1.	Berechnung der Elementarschwärzungsfunktion	67
2.4.4.2.	Schwärzungskurve bei einer dicken Schicht	70
2.4.4.3.	Ermittlung der Elementarschwärzungsfunktion	72
2.5.	Schwärzungskurven von photographischen Prozessen ohne Halogensilber	72
2.5.1.	Schwärzungskurve der Diazotypie	72
2.5.2.	Schwärzungskurve des Pigmentprozesses	73
3.	Wiedergabe kleiner Details	74
3.1.	Allgemeine Einführung	77
3.2.	Übertragungstheorie	80
3.2.1.	Lineare Übertragungstheorie I	81
3.2.2.	Lineare Übertragungstheorie II	85
3.2.3.	Lineare Übertragungstheorie III	91
3.2.4.	Allgemeine Übertragungstheorie	97
3.2.4.1.	Lineare Übertragung	98
3.2.4.2.	Nichtlineare Übertragung	102
3.2.4.2.1.	Die beschreibende Funktion	102
3.2.4.2.2.	Verschiedene Ansätze der nichtlinearen Übertragung	103
3.2.4.2.3.	Analytische Behandlung der nichtlinearen Übertragung	105
3.3.	Beispiele für die lineare Übertragungstheorie	107
3.3.1.	Übertragungstheorie der optischen Abbildung	107
3.3.2.	Übertragungstheorie der Bildbewegung	110
3.3.3.	Übertragungstheorie der mikrophotometrischen Messung	114
3.4.	Übertragung bei dem photographischen Prozeß	119
3.4.1.	I. Stufe der Übertragung	119
3.4.1.1.	Exponentialfunktion als Verwaschungsfunktion	120
3.4.1.1.1.	Berechnung eindimensionaler Objektfunktionen	123
3.4.1.1.2.	Berechnung zweidimensionaler Objektfunktionen	127
3.4.1.2.	Erweiterter Ansatz für die Verwaschungsfunktion	130
3.4.2.	II. Stufe der Übertragung	131
3.4.3.	III. Stufe der Übertragung. Der Nachbareffekt (NE)	140
3.4.3.1.	Beschreibung des Nachbareffekts. Beispiele	140
3.4.3.2.	Übertragungstheorie des Nachbareffekts. Die 'Chemische Übertragungsfunktion' (CTF)	144
3.4.4.	Acutance	148
3.4.5.	Übertragung beim Kopierprozeß	150
3.4.5.1.	Kopie eines Sinusrasters	153
3.4.5.2.	Kopie von Strich, Spalt, Strichraster und Kante	155
3.4.5.3.	Kopie und Flächentreue	161

3.4.5.4.	Beispiele	162
3.5.	Experimentelle Ergebnisse	165
3.5.1.	Negativ-Prozeß	166
3.5.1.1.	Modulationsübertragungsfunktion beim Negativprozeß	166
3.5.1.2.	Einfluß der Art der Exposition auf die Übertragung	168
3.5.1.3.	Einfluß der Schicht auf die Übertragung	170
3.5.1.4.	Die MTF von photographischen Papieren	175
3.5.2.	Die Übertragung bei Umkehrentwicklung	175
3.5.3.	Die Übertragung bei Farbentwicklung und bei Farbfilmen	175
3.5.4.	Die Übertragung bei Bestrahlung mit Elektronen	178
3.6.	Theorie der Verwaschung und des Nachbareffekts	180
3.6.1.	Theorie der Verwaschung	180
3.6.1.1.	Theoretische Erklärung der experimentellen Ergebnisse	180
3.6.1.2.	Allgemeine Theorie der inneren Exposition	185
3.6.1.2.1.	Zusammenhang zwischen äußerer und innerer Exposition	185
3.6.1.2.2.	Schwärzungsverteilung	186
3.6.1.2.3.	Wirksame Exposition und Verwaschungsfunktion	186
3.6.1.2.4.	Die Punktschwärzungskurve	188
3.6.1.2.5.	Eindimensionale Belichtungsverteilung. Beispiele	189
3.6.1.3.	Berechnung der Verwaschung mit der Transporttheorie	191
3.6.1.4.	Berechnung der Verwaschung mittels der Monte-Carlo-Methode	195
3.6.1.5.	Verwaschung durch den Reflexionslichthof	197
3.6.2.	Theorie des Nachbareffektes	201
3.7.	Die Übertragung bei der Elektrophotographie	207
3.8.	Willkürliche Beeinflussung der Übertragung	213
3.8.1.	Verbesserung der Übertragung	213
3.8.2.	Auffinden und Isolieren von Strukturen	216
3.8.3.	Maskenverfahren	221
3.8.3.1.	Verschobene Maske. Tone-Line-Verfahren	221
3.8.3.2.	Unscharfe Maske	224
3.8.3.3.	Elektronische Maskenverfahren	226
3.9.	Messung der Verwaschung	230
3.9.1.	Abbildung der Testobjekte	231
3.9.1.1.	Testobjekte und ihre Herstellung	231
3.9.1.2.	Abbildung des Testobjekts durch Kontaktkopie	236
3.9.1.3.	Optische Abbildung des Testobjekts	237
3.9.1.4.	Erzeugung einer harmonischen Intensitätsverteilung durch Interferenzmethoden	240
3.9.1.5.	Bestimmung der Schwärzungskurve	244
3.9.1.6.	Entwickeln der Proben	245
3.9.2.	Ausmessen der entwickelten Proben	246
3.9.2.1.	Messungen mit dem Mikrophotometer	247
3.9.2.2.	Fehlerquellen bei der mikrophotometrischen Messung und Korrektur der Ergebnisse	250
3.9.2.3.	Auswertung mit Interferenzverfahren	254
3.9.2.4.	Schwärzungsmessung durch Messung des Schwärzungsreliefs	257
3.9.3.	Auswertung der Messungen	258

3.9.3.1.	Ermittlung der Schwärzungs- oder Transparenzverteilung	258
3.9.3.2.	Ermittlung der Modulationsübertragungsfunktion	258
3.9.3.3.	Bestimmung der Modulationsübertragungsfunktion bei Aufbelichtung eines Strichrasters	260
3.9.3.4.	Bestimmung der Modulationsübertragungsfunktion aus der Kantenfunktion (KF)	261
3.9.4.	Weitere Verfahren zur Bestimmung der Verwaschung	262
3.9.4.1.	Bestimmung der Verwaschung durch Aufbelichtung eines Striches	262
3.9.4.2.	Bestimmung der Verwaschung ohne Mikrophotometer	263
3.9.4.3.	Bestimmung der Verwaschung aus der Spaltbildbreite	264
3.9.4.4.	Bestimmung der Verwaschung durch großflächige Messung an Rasterbildern	266
3.9.4.5.	Untersuchung der Verwaschung durch Frequenzanalyse	268
3.9.5.	Messung des Reflexionslichthofes.	268
4.	Kornstruktur entwickelter photographischer Schichten	269
4.1.	Das Silberkorn	276
4.1.1.	Entstehung und Form des Silberkorns	276
4.1.2.	Größe und Größenverteilung der Silberkörner in der entwickelten Schicht	278
4.2.	Berechnung der Schwärzung (Schwärzungsformel)	280
4.2.1.	Schwärzungsformel für Einkornschichten	280
4.2.2.	Schwärzungsformel bei kleinen Werten der Raumerfüllung	281
4.2.3.	Schwärzungsformel für höhere Werte der Raumerfüllung	283
4.2.4.	Schwärzungsformel bei lichtdurchlässigen Körnern	285
4.2.5.	Beziehung zwischen der Schwärzung und der Flächenkonzentration des entwickelten Silbers	286
4.3.	Die Schwärzungsschwankung	289
4.3.1.	Berechnung der Schwärzungsschwankung	289
4.3.1.1.	Einfluß des Unordnungsgrades	293
4.3.1.2.	Einfluß der Größenverteilung	295
4.4.	Das Schwankungsspektrum	297
4.4.1.	Theorie des Schwankungsspektrums	298
4.4.2.	Berechnung des Schwankungsspektrums einer Modellschicht	306
4.5.	Verwendung der Autokorrelationsfunktion zur Untersuchung der Körnung	308
4.5.1.	Die Autokorrelationsfunktion	308
4.5.2.	Fouriertransformation der Autokorrelationsfunktion. Zusammenhang mit dem Schwankungsspektrum	311
4.5.3.	Messung der Autokorrelationsfunktion. Beispiele	312
4.6.	Messung der Körnung	314
4.6.1.	Theorie der Messung von Schwärzungsschwankungen und Schwankungsspektrum	314
4.6.1.1.	Theorie der Messung der Schwärzungsschwankung	315
4.6.1.2.	Theorie der Messung des Schwankungsspektrums	318
4.6.2.	Meßmethoden	321
4.6.2.1.	Messung der Korngröße	322
4.6.2.1.1.	Mikroskopische Meßmethoden	322
4.6.2.1.2.	Bestimmung der Korngröße durch Messung des Callierkoeffizienten	323
4.6.2.2.	Mikrophotometrische Messung der Schwärzungsschwankung	325

4.6.2.3.	Messung durch kontinuierliches Abtasten der Probe	329
4.6.2.3.1.	Messung der Schwarzungsschwankung	331
4.6.2.3.2.	Messung des Schwankungsspektrums	331
4.6.2.4.	Bestimmung des Schwankungsspektrums durch Messung der Autokorrelationsfunktion	333
4.6.2.5.	Messung des Schwankungsspektrums durch Interferenzmethoden	333
4.6.2.6.	Großflächige Messung mit einem Photowiderstand	334
4.7.	Ergebnisse der Körnungsmessung und Anwendungen der Theorie	335
4.7.1.	Körnung bei Exposition mit Licht	335
4.7.1.1.	Körnung bei Negativ-Entwicklung	335
4.7.1.2.	Körnung bei Umkehrentwicklung	343
4.7.1.3.	Körnung bei der Kopie	346
4.7.1.4.	Körnung bei Farbentwicklung	351
4.7.1.5.	Körnung bei Mehrschichtfarbfilmen	352
4.7.2.	Körnung bei Exposition mit Röntgen- und Elektronenstrahlen	355
4.8.	Verfahren zur Verringerung der Körnung	358
4.8.1.	Optische Verfahren zur Verringerung der Körnung	359
4.8.2.	Chemische Verfahren zur Verringerung der Körnung	360
4.9.	Die Körnigkeit	362
4.9.1.	Visuelle Beurteilung der Kornstruktur	362
4.9.2.	Messung der Körnigkeit	364
4.9.2.1.	Grenzvergrößerung	364
4.9.2.2.	Vergleich mit Standardschichten und andere Methoden	366
4.9.3.	Zusammenhang der Körnigkeit mit objektiven Meßgrößen	368
4.9.3.1.	Zusammenhang der Grenzvergrößerung mit Schwärzungsschwankung und Schwankungsspektrum	368
4.9.3.2.	Grenzvergrößerung und Callier-Koeffizient	370
4.9.4.	Körnigkeit bei Kopien und Vergrößerungen	371
4.9.5.	Körnigkeit bei Farbfilmen	372
4.9.6.	Körnigkeit bei kinematographischer Wiedergabe	373
5.	Detailwiedergabe	375
5.1.	Theorie der Detailwiedergabe	377
5.1.1.	Theorie der Detailwiedergabe ohne Berücksichtigung der Verwaschung	379
5.1.1.1.	Detailempfindlichkeit	382
5.1.1.2.	Vergleich mit dem idealen Detektor	386
5.1.1.3.	Berechnete Beispiele zur Detailwiedergabe	388
5.1.1.4.	Vergleich der Detailwiedergabe bei Photographie und Fernsehen	390
5.1.2.	Einfluß der Verwaschung	391
5.1.2.1.	Wiedergabe von harmonischen Rastern. Objektives Auflösungsvermögen	391
5.1.2.2.	Zahl der unterscheidbaren Schwärzungsstufen	396
5.1.2.3.	Die Informationsempfindlichkeit	398
5.1.3.	Strukturelle Theorie der Detailwiedergabe idealer und realer Empfänger	399
5.1.4.	Berechnung der Detailwiedergabe für Modellschichten	400
5.1.5.	Detailwiedergabe bei Elektronenbestrahlung	406
5.2.	Anwendung der Informationstheorie	407
5.2.1.	Kapazität eines Bildspeichermodells	408

5.2.2.	Der Informationsgehalt von Bildern	409
5.2.3.	Die Informationskapazität einer photographischen Schicht	410
5.2.4.	Der Informationsgehalt unter Berücksichtigung von Verwaschung und Körnung	412
5.2.5.	Bildgütekriterien	414
5.2.6.	Ortsfrequenzspektren photographischer Objekte	415
5.2.6.1.	Zeilenweise Abtastung des photographischen Bildes mit der kleinen Messöffnung eines Mikrophotometers und Frequenzanalyse des zeitlich veränderlichen Signals	417
5.2.6.2.	Berechnung der Spektralfunktion aus der Autokorrelationsfunktion	417
5.2.6.3.	Fourierspektrum aus Fraunhoferscher Beugung	418
5.2.6.4.	Abtasten der Probe mit einer sinusförmigen Intensitätsverteilung	418
5.3.	Das Auflösungsvermögen	420
5.3.1.	Messung des Auflösungsvermögens	421
5.3.1.1.	Testobjekte	422
5.3.1.2.	Kamera und Objektiv	422
5.3.1.3.	Auswertung der Messungen	422
5.3.2.	Meßergebnisse	423
5.3.3.	Einfluß der Entwicklung und Nachbehandlung auf das Auflösungsvermögen	425
5.3.4.	Einfluß der Wellenlänge auf das Auflösungsvermögen	426
5.3.5.	Theorie des Auflösungsvermögens	426
5.3.6.	Berechnung des Auflösungsvermögens bei photographischen Systemen	427
5.3.7.	Definition der Empfindlichkeit unter Berücksichtigung des Auflösungsvermögens	428
5.4.	Verbesserung der Detailwiedergabe	428
5.4.1.	Verbesserung durch Ortsfrequenzfilterung	429
5.4.2.	Kombination von zwei oder mehreren Bildern	429
6.	Detailwiedergabe bei praktischen photographischen Systemen	430
6.1.	Details in der angewandten Photographie	431
6.1.1.	Objekte mit diskretem Informationsgehalt	431
6.1.2.	Analog zu übertragende Information	432
6.2.	Photographisch-optische Systeme	432
6.2.1.	Die Optik im Abbildungssystem	433
6.2.2.	Die Mechanik der Kamera und ihr Einfluß auf die Abbildung	433
6.2.3.	Einfluß der äußeren Umstände bei der Aufnahme	434
6.2.4.	Einfluß von Film und Verarbeitung auf das Abbildungssystem	434
6.2.5.	Elektronische Glieder in der Abbildungskette	435
6.2.6.	Auswertung	436
6.3.	Prüfung und Bewertung	436
6.4.	Detailwiedergabe in verschiedenen Anwendungsgebieten der Photographie	438
6.4.1.	Reprographie und optische Datenspeicherung	438
6.4.1.1.	Die Objekte	438
6.4.1.2.	Die Abbildungssysteme	440
6.4.1.2.1.	Optik und Mechanik	440
6.4.1.2.2.	Die photographische Schicht	441
6.4.1.3.	Bewertung	442

6.4.1.3.1.	Prüfung im Betrieb	443
6.4.1.3.2.	Abschätzung eines Systems	443
6.4.1.3.3.	Übertragungskette bis zur Belichtung	443
6.4.1.3.4.	Das entwickelte Negativ	444
6.4.1.3.5.	Wahl der besten Belichtung	445
6.4.1.3.6.	Anforderungen an das System	445
6.4.1.3.7.	Informationskapazität	446
6.4.2.	Herstellung von Mikro-Halbleiterelementen	448
6.4.2.1.	Objekte und Technik	448
6.4.2.2.	Das photographische System	448
6.4.2.3.	Die Bewertung	450
6.4.2.4.	Holographische Methoden	450
6.4.3.	Astrophotographie	450
6.4.3.1.	Die Objekte der Photographie in der Astronomie und ihre Ansprüche	450
6.4.3.2.	Das Abbildungssystem in der Astrophotographie	451
6.4.3.3.	Die Bewertung der photographischen Schicht in der Astrophotographie	453
6.4.4.	Luftbildphotographie	455
6.4.4.1.	Die Objekte der Luftbildphotographie	456
6.4.4.2.	Das Aufnahmesystem	456
6.4.4.3.	Die Bewertung von Luftbildern	457
6.4.4.3.1.	Subjektive Beurteilung	457
6.4.4.3.2.	Abschätzung der Leistung eines Systems	459
6.4.4.3.3.	Messung der Wiedergabequalität (MTF) eines Luftbildsystems	460
6.4.4.4.	Luftbildaufnahmen mittels Radar	462
6.4.5.	Röntgenphotographie	463
6.4.5.1.	Die Objekte der Röntgenphotographie	464
6.4.5.2.	Die Abbildungssysteme in der Röntgenphotographie	465
6.4.5.3.	Die Aufzeichnung des Strahlenbildes	466
6.4.5.4.	Die Bewertung von Röntgenbildern	468
6.4.5.5.	Autoradiographie	472
6.4.5.6.	Das Verhalten von Photoschichten bei Bestrahlung mit Ionen	472
6.4.6.	Die Detailwiedergabe bei Elektronenbestrahlung besonders in der Elektronenmikroskopie	472
6.4.6.1.	Die Objekte	473
6.4.6.2.	Das System der Elektronenmikroskopie	473
6.4.6.3.	Die Bewertung der photographischen Schicht in der Elektronenmikroskopie	476
6.4.6.4.	Datenspeicherung mit Elektronenstrahlen	478
6.4.7.	Bildmäßige Photographie	479
6.4.7.1.	Die Objekte der bildmäßigen Photographie	479
6.4.7.2.	Das Übertragungssystem	479
6.4.7.3.	Die Bewertung	480
6.4.8.	Holographie und optische Informationsverarbeitung	487
6.4.8.1.	Aufzeichnung und Wiedergabe komplexer Wellenfelder	489
6.4.8.2.	Die photographische Schicht	493
6.4.8.2.1.	Die sensitometrischen Eigenschaften der photographischen Schicht	493
6.4.8.2.1.1.	Phasenänderungen durch den Schichtträger	494
6.4.8.2.1.2.	Charakteristische Kurven für Amplitudengitter	494

6.4.8.2.1.3.	Charakteristische Kurven für Phasengitter	496
6.4.8.2.1.4.	Nichtlineare Übertragung	500
6.4.8.2.2.	Die Auswirkung der MTF verschiedener Hologrammarten	501
6.4.8.2.2.1.	Fresnel-Hologramme	501
6.4.8.2.2.2.	Fouriertransformations-Hologramme	503
6.4.8.2.2.3.	Reflexionshologramme	505
6.4.8.2.2.4.	Die holographische Belichtungskennzahl	506
6.4.8.2.3.	Die MTF der Spezialmaterialien für die Holographie	507
6.4.8.2.4.	Streuung in der Schicht	510
6.4.8.2.4.1.	Die verschiedenen Quellen für kohärentes Störlicht	510
6.4.8.2.4.2.	Zum 'Signal/Rausch-Verhältnis'	513
6.4.8.2.5.	Der Einfluß der Schichtdicke	514
6.4.8.3.	Nicht-Halogensilber-Materialien in der Holographie	515
6.4.8.4.	Zur Informationskapazität von Hologrammen	515
6.4.8.5.	Weitere Anwendungen der Holographie	519
6.4.8.6	Optische Datenverarbeitung mit komplexen Filtern	520
7.	Anhang	523
7.1.	Mathematische Grundlagen	523
7.1.1.	Einige wichtige Formeln	623
7.1.2.	Dirac'sche Delta-Funktion	523
7.1.3.	Fourierreihe	524
7.1.4.	Das Fourierintegral	524
7.1.4.1.	Allgemeine Formulierung	525
7.1.4.2.	Zusammenstellung einiger Formeln	526
7.1.4.3.	Sätze über Fourierintegrale	526
7.1.4.4.	Das zweidimensionale Fourierintegral	528
7.1.4.5.	Verallgemeinerte Fouriertransformation	530
7.1.5.	Beispiele für Fourierreihen und Integrale	530
7.1.5.1.	Fourierreihen	530
7.1.5.2.	Fourierintegrale	530
7.2.	Einige Abbildungsfunktionen	535
7.3.	Nichtlineare Übertragung harmonischer Expositionsverteilungen	537
7.3.1.	Transparenz- und Expositionsmodulation bei Negativ- und Positiv-Prozessen	537
7.3.2.	Spektralzerlegung der Transparenzverteilung bei harmonischer Expositionsverteilung	542
7.4.	Tabellen	543
	Literaturverzeichnis	547
	Sachwortverzeichnis	563
	Autorenverzeichnis	584
	Abkürzungen und Formelzeichen	591