



# INHALTSVERZEICHNIS

## Hauptgebiete

<b>1 Elektronenphysik</b> . . . . .	<b>3</b>
1.1 Das freie Elektron . . . . .	3
1.1.1 Kinetische Energie eines Elektrons . . . . .	3
1.1.2 Elektronengeschwindigkeit als Funktion der Elektronenenergie . . . . .	3
1.1.2.1 Tafel zur Elektronengeschwindigkeit als Funktion der Elektronenenergie . . . . .	4
1.1.3 Elektronenlaufzeit bei konstanter Geschwindigkeit . . . . .	4
1.1.4 Tafel zum Verhältnis von Elektronengeschwindigkeit zur Lichtgeschwindigkeit . . . . .	5
1.1.5 Wellenlänge des Elektrons als Funktion seiner Energie . . . . .	6
1.1.5.1 Tafel zur Wellenlänge des Elektrons als Funktion seiner Energie . . . . .	6
1.1.6 Elektrostatische Ablenkung von Elektronen- oder Ionenstrahlen . . . . .	7
1.1.6.1 Abnahme der Ablenkempfindlichkeit bei hohen Frequenzen durch die Teilchenlaufzeit im Ablenkkondensator . . . . .	8
1.1.6.2 Wanderfeld-Ablenksysteme für sehr hohe Meßfrequenzen . . . . .	9
1.1.6.2.1 Wanderfeld-Ablenksystem mit Laufzeitkette . . . . .	10
1.1.6.2.2 Wanderfeld-Ablenksysteme mit gewundener Leitung . . . . .	12
1.1.7 Magnetische Ablenkung von Elektronenstrahlen . . . . .	14
1.1.8 Ablenkfehler bei elektrostatischer oder magnetischer Strahlableitung . . . . .	15
1.1.8.1 Ablenkfehler bei magnetischer Strahlableitung . . . . .	15
1.1.8.2 Ablenkfehler bei elektrostatischer Strahlableitung . . . . .	15
1.1.8.3 Zahlenbeispiel für Ablenkfehler . . . . .	16
1.1.9 Ablenkpulen für Fernsehröhren mit magnetischer Strahlableitung . . . . .	17
1.1.10 Ablenksysteme für Oszillographie und Bildschreibung in Polarkoordinaten . . . . .	18
1.1.10.1 Methoden zur kreisförmigen Fleckablenkung . . . . .	18
1.1.10.2 Methoden zur radialen Fleckablenkung . . . . .	18
1.1.10.3 Anwendungsbeispiele . . . . .	19
1.1.11 Bahnradius von Ladungsträgern im elektrostatischen Radialfeld . . . . .	20
1.1.12 Bahnkreisradius von Elektronen im Magnetfeld . . . . .	20
1.1.12.1 Tafel zum Bahnkreisradius von Elektronen im Magnetfeld . . . . .	21
1.1.13 Krümmung von Elektronenstrahlen im magnetischen Erdfeld . . . . .	22
1.2 Elektronenoptik . . . . .	23
1.2.1 Elektronenbewegung bei gekreuztem elektrostatischen und magnetischen Feld . . . . .	23
1.2.2 LAPLACESche Differentialgleichung . . . . .	24
1.2.3 Berechnung von Potentialfeldern nach der Netzmethode . . . . .	26
1.2.3.1 Rechenverfahren für zweidimensionales Potentialfeld, $U = f(x, y)$ . . . . .	26
1.2.3.2 Rechenverfahren für dreidimensionales rotationssymmetrisches Feld, $U = f(r, z)$ . . . . .	27
1.2.4 EULER-LAGRANGE-Bahngleichungen für Ladungsträger . . . . .	28
1.2.5 Graphische Methoden der Bahnbestimmung von Teilchen in Potentialfeldern . . . . .	29
1.2.5.1 Bahnbestimmung im elektrischen Potentialfeld . . . . .	29
1.2.5.1.1 Bahnkonstruktion nach dem Brechungsgesetz . . . . .	29
1.2.5.1.2 Bahnzusammensetzung aus Kreisbogenstücken . . . . .	29
1.2.5.1.3 Richtung der Bahnkrümmung und Linsenwirkung . . . . .	30
1.2.5.2 Ebene Bahn im magnetischen Zylinderfeld . . . . .	30
1.2.6 Elektrisches Brechungsgesetz für Elektronen- und Ionenstrahlen . . . . .	31
1.2.7 ABBESche Sinusbedingung und HELMHOLTZscher Satz . . . . .	32
1.2.8 Elektrostatische Einzellinse für Elektronen und Ionen . . . . .	33
1.2.8.1 Elektrostatische symmetrische Einzellinse . . . . .	34

1.2.8.2	Kurven konstanter relativer Brechkraft als Funktion von $\frac{D_L}{d}$ und $\frac{d_L}{d}$ . . . . .	35
1.2.8.3	Kurven konstanter relativer Brennpunktlage als Funktion von $\frac{D_L}{d}$ und $\frac{d_L}{d}$ . . . . .	36
1.2.8.4	Verzeichnungsfehler einer elektrostatischen Einzellinse . . . . .	37
1.2.8.5	Öffnungsfehler einer elektrostatischen Einzellinse . . . . .	38
1.2.8.6	Farbfehler einer elektrostatischen Einzellinse . . . . .	39
1.2.9	Öffnungsfehler von elektronen- und ionenoptischen Linsen bei beliebigem Abbildungsmaßstab . . . . .	41
1.2.10	Immersionslinse für Elektronen und Ionen . . . . .	42
1.2.10.1	Öffnungsfehler und Farbfehler elektrostatischer Immersionslinsen . . . . .	46
1.2.10.1.1	Tafel zum Öffnungsfehler elektrostatischer Immersionslinsen . . . . .	47
1.2.10.2	Elektrostatisches Immersionsobjektiv für Elektronen und Ionen . . . . .	48
1.2.10.3	Immersionslinse mit Widerstandswende <sup>1</sup> . . . . .	50
1.2.11	Linsenwirkung der Absaugelektrodenöffnung . . . . .	50
1.2.12	Absaugung von Ladungsträgern mit Kugelschalennetz . . . . .	51
1.2.13	Streuung von Ladungsträgerstrahlen in elektrostatischen Netzlinsen . . . . .	52
1.2.14	Abbildung im homogenen Magnetfeld . . . . .	53
1.2.15	Magnetische Linsen . . . . .	55
1.2.15.1	Kurze Spule und eisengekapselte Spule als Elektronenlinse . . . . .	55
1.2.15.2	Analytische Interpretation des Feldes symmetrischer magnetischer Polschuhlinsen . . . . .	55
1.2.15.3	Induktionsverlauf magnetischer Polschuhlinsen ohne und mit Polschuhsättigung . . . . .	56
1.2.15.4	Die Wirkungsgröße $\bar{B}_0 \cdot a$ des Feldes magnetischer Polschuhlinsen als Funktion der Durchflutung . . . . .	57
1.2.15.5	Brennweite und Brennpunktlage bei dünnen und dicken magnetischen Linsen . . . . .	58
1.2.15.6	Dünne magnetische Elektronenlinse . . . . .	59
1.2.15.7	Dicke magnetische Elektronenlinse (magnetisches Objektiv) . . . . .	60
1.2.15.7.1	Messungen an dicken magnetischen Elektronenlinsen . . . . .	62
1.2.16	Ausmessung des Feldes magnetischer Elektronen- oder Ionenlinsen . . . . .	64
1.2.17	Fokussierung langer zylindrischer Elektronen- oder Ionenstrahlen durch Linsenketten bzw. periodische Felder . . . . .	66
1.3	Erzeugung von Elektronen . . . . .	68
1.3.1	Energieverteilung nach MAXWELL für Elektronen, Ionen und Gasteilchen . . . . .	68
1.3.1.1	Die drei thermischen Geschwindigkeiten von Elektronen . . . . .	68
1.3.1.2	Darstellung zur Geschwindigkeitsverteilung nach MAXWELL für verschiedene Teilchen und Temperaturen . . . . .	69
1.3.2	Mittlere thermische Energie von Ladungsträgern . . . . .	70
1.3.2.1	Darstellung zur Energieverteilung nach MAXWELL von Ladungsträgern für verschiedene Temperaturen . . . . .	71
1.3.2.2	Anomale Verbreiterung der Energieverteilung thermischer Elektronenemission durch Wechselwirkung der Elektronen im Bereich hoher Elektronendichten . . . . .	72
1.3.2.3	Verfeinerte Gegenfeldmethode zur Messung der Energieverteilung der Elektronenemission . . . . .	74
1.3.3	Dichteverteilung nach BOLTZMANN für Elektronen und Ionen . . . . .	74
1.3.4	Elektronenaustrittsarbeiten . . . . .	75
1.3.4.1	Elektronenaustrittsarbeiten der Elemente . . . . .	75
1.3.4.2	Elektronenaustrittsarbeiten von Verbindungen . . . . .	76
1.3.4.3	Elektronenaustrittsarbeiten von Schichten auf Trägermaterialien . . . . .	77
1.3.5	Thermische Elektronenemission als Funktion von Temperatur und Austrittsarbeit . . . . .	78
1.3.5.1	Kühlung von thermischen Kathoden durch den Elektronenaustritt . . . . .	79
1.3.5.2	Thermische Elektronenemission von Standardkathoden als Funktion von der Temperatur . . . . .	80
1.3.6	Thermische Kathoden . . . . .	81
1.3.6.1	Thermische Kathoden. Reines Wolfram . . . . .	81
1.3.6.1.1	Tafel zur Bemessung der Daten von im Hochvakuum glühenden Wolframdrähten . . . . .	82
1.3.6.2	Thermische Kathoden. Lanthanborid . . . . .	83
1.3.6.3	Thermische Kathoden. Bariumoxyd-Strontiumoxyd-Mischkristalle . . . . .	84
1.3.6.3.1	Herstellung und Aktivierung von Barium-Strontium-Paste-Karbonatkathoden . . . . .	85
1.3.6.4	Thermische Kathoden. Wolfram-Kapillarkathode mit BaO-Vorrat . . . . .	86
1.3.6.4.1	Herstellung und Aktivierung von Wolfram-Kapillarkathoden mit BaO-Vorrat . . . . .	87
1.3.6.5	Herstellung von Nickel-Kapillarkathoden mit BaO-SrO-Vorrat . . . . .	88

1.3.7 Photoelektrische Kathoden. Kinetische Elektronenenergie und Grenzwellenlänge . . . . .	89
1.3.7.1 Photoelektrische Kathoden. Ausbeute . . . . .	90
1.3.7.1.1 Maximal mögliche Empfindlichkeit des Photoeffektes als Funktion der Wellenlänge	91
1.3.7.2 Spektrale Empfindlichkeitskurven von Photokathoden . . . . .	92
1.3.7.2.1 Spektrale Empfindlichkeitskurven von massiven Photokathoden . . . . .	92
1.3.7.2.2 Spektrale Empfindlichkeitskurven von geschichteten Photokathoden . . . . .	93
1.3.7.3 Photoelektrische Kathoden. Energieverteilung . . . . .	94
1.3.7.4 Dunkelstromdichte von Photokathoden als Funktion der Temperatur . . . . .	96
1.3.8 Sekundäremissions-Kathoden. Ausbeute . . . . .	97
1.3.8.1 Daten der Sekundäremission reiner Elemente bei $\perp$ Elektroneneinfall ( $\approx 20^\circ\text{C}$ ) . . . . .	98
1.3.8.2 Daten der Sekundäremission von Verbindungen bei $\perp$ Elektroneneinfall ( $\approx 20^\circ\text{C}$ ) . . . . .	100
1.3.8.3 Daten der Sekundäremission von Isolatoren bei $\perp$ Elektroneneinfall ( $\approx 20^\circ\text{C}$ ) . . . . .	102
1.3.8.4 Zahl der Sekundärelektronen $\eta$ pro auffallendes Elektron als Funktion des Einfallswinkels $\alpha$	104
1.3.8.5 Daten von Sekundäremissions-Kathoden bei Ionen- und Atomeinfall . . . . .	105
1.3.8.5.1 Daten von Sekundäremissions-Kathoden bei $\perp$ Ionen- und Atomeinfall . . . . .	105
1.3.8.5.2 Daten von Sekundäremissions-Kathoden bei $\perp$ Einfall schneller Ionen . . . . .	106
1.3.8.5.3 Daten von Sekundäremissions-Kathoden in Transmission . . . . .	106
1.3.8.5.4 Zahl der Sekundärelektronen $\eta$ pro $\perp$ auffallendes Proton als Funktion der Energie $eU_B$ des auffallenden Protons ( $\text{H}_1^+$ ) für verschiedene Metalle . . . . .	107
1.3.8.5.5 Zahl der Sekundärelektronen $\eta$ pro $\perp$ auffallendes Ion als Funktion der Energie $eU$ des auffallenden Ions für verschiedene Ionenarten und Metalle . . . . .	108
1.3.8.5.6 Zahl der Sekundärelektronen $\eta$ pro $\perp$ auffallendes Teilchen als Funktion der Energie $eU$ für neutrale Teilchen und artgleiche Ionen in Gegenüberstellung	110
1.3.8.5.7 Zahl der Sekundärelektronen $\eta$ pro $\perp$ auffallendes Ion der Ladungszahl $n$ als Funktion der kinetischen Energie $eU = n \cdot e \cdot U_B$ des auffallenden Ions für verschiedene Ionenarten und Nickel bzw. Targets aus arteigenem Metall . . . . .	111
1.3.8.6 Sekundäremissions-Kathoden. Energieverteilung . . . . .	112
1.3.8.6.1 Energieverteilungs-Daten bei $\perp$ Elektroneneinfall . . . . .	112
1.3.8.6.2 Anteil $\epsilon''$ der im Targetmaterial abgebremsten und rückdiffundierenden Primärelektronen an der gesamten Sekundäremissions-Ausbeute $\eta$ als Funktion der Energie $eU_B$ der Primärelektronen für verschiedene Targets . . . . .	114
1.3.8.6.3 Energieverteilung von 35 keV-Elektronen nach Reflexion unter einem Winkel von $5^\circ$ an einer Beryllium-Oberfläche . . . . .	114
1.3.8.6.4 Energieverteilungs-Daten bei $\perp$ Ionen- und Atomeinfall . . . . .	115
1.3.8.6.5 Energieverteilungs-Daten für Sekundäremissions-Kathoden in Transmission . . . . .	115
1.3.8.6.6 Energieverteilung der Sekundärelektronen bei mit der kinetischen Energie $eU = n \cdot e \cdot U_B$ und dem Winkel $\alpha$ gegen das Einfallslot auf das Target auftreffenden Ionen . . . . .	116
1.3.9 Grenzenergie der FERMI-Verteilung von Metallen . . . . .	118
1.3.10 Feld-Elektronenemission . . . . .	118
1.3.10.1 Feld-Elektronenemission als Funktion von Feldstärke und Austrittsarbeit . . . . .	118
1.3.10.2 Feld-Elektronenemission von verschiedenen Metallen als Funktion der Feldstärke . . . . .	120
1.3.10.3 Feld-Elektronenemission durch MALTER-Effekt . . . . .	121
1.3.10.3.1 Verschiedene Arten von MALTER-Effekt-Dielektriken . . . . .	122
1.3.10.3.2 Verschiedene Entstehungsarten von MALTER-Effekt-Polarisationsladungen . . . . .	122
1.3.11 Nach-Elektronenemission . . . . .	123
1.4 Beschleunigung von Elektronen und Raumladungseinflüsse . . . . .	124
1.4.1 Raumladungsbegrenzte Stromdichte bei ebener Elektrodenanordnung und Elektronen . . . . .	124
1.4.1.1 Tafel zur raumladungsbegrenzten Stromdichte bei Elektronen . . . . .	125
1.4.1.2 Elektronenstrahlstrom $I_e$ als Funktion der Beschleunigungsspannung $U_B$ für verschiedene Perveanz-Werte $P$ der Elektronen-Kanone . . . . .	126
1.4.1.2.1 Verschiedene Elektronen-Kanonen und ihre Perveanz-Werte . . . . .	127
1.4.1.3 Vergleichsfaktor der raumladungsbegrenzten Stromdichte bei zylindrischen Elektrodenanordnungen . . . . .	128
1.4.1.4 Potentialverlauf bei raumladungsbegrenzter Stromdichte für verschiedene Elektrodenanordnungen . . . . .	129
1.4.2 Veränderung der Elektronenstromdichte im inhomogenen Magnetfeld . . . . .	130
1.4.2.1 Erhöhung der Elektronenstromdichte im inhomogenen Magnetfeld einer Polschuhlinse	131
1.4.2.2 Elektronenstromdichte bei Stromverdichtung durch inhomogenes Magnetfeld . . . . .	132

1.4.3	Raumladungseinfluß bei Elektronenstrahlen . . . . .	132
1.4.3.1	Verbreiterung eines Elektronenstrahles durch Raumladung . . . . .	132
1.4.3.2	Rand-Mitte-Potentialunterschied eines Elektronenstrahles infolge Raumladung . . . . .	133
1.4.3.3	Axialer Potentialunterschied eines Elektronenstrahles infolge Raumladung . . . . .	134
1.4.3.4	Verbreiterung eines Elektronenstrahles auf der Beschleunigungsstrecke durch Raumladung . . . . .	135
1.4.3.4.1	Tafel zur Verbreiterung eines Elektronenstrahles auf der Beschleunigungsstrecke durch Raumladung . . . . .	136
1.5	Stromdichten in Elektronen-Strahlern und -Brennflecken . . . . .	137
1.5.1	Die Haupttypen von Elektronen-Richtstrahlern . . . . .	137
1.5.2	Schaltung und Steuerkennlinien des Elektronenstrahlers mit Dreielektrodensystem . . . . .	139
1.5.3	Strahlapertur eines idealisierten Elektronen-Richtstrahlers . . . . .	140
1.5.3.1	Tafel zur Strahlapertur eines idealisierten Elektronen-Richtstrahlers . . . . .	141
1.5.4	Strahlengang im Elektronenstrahler mit Dreielektrodensystem und Spitzkathode . . . . .	142
1.5.5	Der Richtstrahlwert von Elektronen- oder Ionenstrahlern . . . . .	143
1.5.5.1	Die Berechnung des Richtstrahlwertes von Elektronenstrahlern . . . . .	144
1.5.5.2	Die Messung des Richtstrahlwertes von Elektronenstrahlern . . . . .	145
1.5.5.2.1	Richtstrahlwert-Messungen am Elektronenstrahler mit Dreielektrodensystem . . . . .	147
1.5.5.3	Der verbotene Hohlstrahlbetrieb beim Elektronenstrahler mit Dreielektrodensystem . . . . .	149
1.5.6	Elektronenstrahler mit Dreielektrodensystem und LaB <sub>6</sub> -Punktkathode . . . . .	151
1.5.7	Elektronenstrahler mit Dreielektrodensystem und durch Elektronenstoß geheizter Wolframplatten-Kathode . . . . .	151
1.5.8	Praktische Richtstrahlwerte von Elektronenstrahlern . . . . .	152
1.5.9	Feldemissions-Elektronenstrahler mit hohem Richtstrahlwert und Emissionsstabilisation . . . . .	153
1.5.10	Der Strahlengang bei Elektronenstrahlröhren normaler Bauart . . . . .	155
1.5.10.1	Strahlenoptischer Grenzwert des Elektronen-Brennfleckstromes . . . . .	156
1.5.10.2	Stromdichte im Brennfleck bei Elektronen- und Ionenstrahlen . . . . .	156
1.5.11	Geometrie von Elektronenstrahlssystemen für spezielle Zwecke . . . . .	157
1.6	Abbremsung und Indikation beschleunigter Elektronen . . . . .	159
1.6.1	Reichweite von Elektronenstrahlen . . . . .	159
1.6.1.1	Tafel zur Reichweite von Elektronenstrahlen . . . . .	160
1.6.2	Strahlendurchlässige gasdichte Fenster oder leitende Folien . . . . .	161
1.6.2.1	Stromdurchlässigkeit $\vartheta$ von Folien für Elektronenstrahlen . . . . .	161
1.6.2.2	Ungefähre Durchlässigkeit $\vartheta$ von Folien für Protonenstrahlen . . . . .	162
1.6.2.3	Minstdicke von strahlendurchlässigen Fenstern . . . . .	163
1.6.3	Dosisleistung von Elektronenstrahl-Generatoren . . . . .	164
1.6.3.1	Produktionsgeschwindigkeit eines 2 MeV-Elektronenstrahl-Generators als Funktion der Bestrahlungsdosis . . . . .	166
1.6.3.2	Umrechnung von Strahlleistung in Curie für verschiedene Elektronenenergien . . . . .	167
1.6.4	Kontrolle schwacher Ströme hochbeschleunigter Elektronen mit Selen-Photoelementen . . . . .	168
1.6.5	Der Wirkungsgrad bei der Umwandlung von Elektronenstrahl- in Röntgenstrahlenergie . . . . .	169
1.6.5.1	Spektrale Energieverteilung von Röntgen-Bremsstrahlung bei verschiedenen Strahlspannungen . . . . .	170
1.6.5.2	Spektrale Energieverteilung von Röntgen-Bremsstrahlung mit Eigenstrahlung . . . . .	171
1.6.5.3	Die Herstellung homogener Röntgenstrahlung . . . . .	172
1.6.5.4	Energien der Elektronen und Wellenlängen der Bremsstrahlung in der Röntgenphysik . . . . .	173
1.6.5.5	Röntgendosisleistung in 1 m Targetabstand als Funktion der Elektronenenergie mit dem Elektronenstrom als Parameter . . . . .	175
1.6.5.6	Röntgendosisleistung von Fernseh-Bildröhren in 1 m Leuchtschirmabstand . . . . .	176
1.6.5.7	Röntgenstrahlenabsorption in Blei für verschiedene Elektronenenergien als Funktion der Bleischichtdicke . . . . .	177
1.6.5.8	Der Schwächungskoeffizient verschiedener Metalle im Bereich harter Röntgenstrahlen . . . . .	178
1.6.5.9	Bleiäquivalente verschiedener Röntgenschutzstoffe als Funktion der Elektronenenergie . . . . .	179
1.6.5.10	Notwendige Bleiäquivalentdicke des Endbildfensters zur Abschirmung der Röntgenstrahlen . . . . .	180

1.6.6	Elektronenindikation durch Leuchtschirme . . . . .	181
1.6.6.1	Die optischen Haupttypen von Leuchtschirmen für Elektronenstrahlen . . . . .	181
1.6.6.1.1	Verschiedene Arten der Leuchtschirm-Herstellung . . . . .	182
1.6.6.2	Leuchtschirm-Leuchtdichte bei Beschuß mit Elektronen . . . . .	184
1.6.6.3	Die Wahl des Leuchtstoffes bei verschiedenen Anwendungen . . . . .	185
1.6.6.3.1	Die Wahl des Leuchtstoffes beim Farbfernsehen . . . . .	186
1.6.6.4	Leuchtschirmausbeute als Funktion der Elektronenenergie und Schirmdicke . . . . .	187
1.6.6.4.1	Leuchtschirmausbeute für ionisierende Strahlen als Funktion der Schirmdicke . . . . .	188
1.6.6.5	Auflösungsgrenze von Aufsicht-Vielkristall-Leuchtschirmen . . . . .	189
1.6.6.6	Kornlose Leuchtschirme hoher Auflösung . . . . .	190
1.6.6.6.1	Mikroaufnahmen von Testbildern auf einem Durchsicht-Vielkristall- und einem kornlosen Leuchtschirm . . . . .	190
1.6.6.6.2	Ausbeute von kornlosen Leuchtschirmen als Funktion der Schirmdicke und Elektronenenergie . . . . .	191
1.6.6.6.3	Daten und Anwendungsbereich der kornlosen Leuchtschirme . . . . .	192
1.6.6.7	Ausbeute und Auflösungsgrenze von Leuchtschirmen für Elektronen . . . . .	193
1.6.6.8	Optischer Wirkungsgrad bei der Bildumwandlung mit Hilfe von Leuchtschirmen . . . . .	194
1.6.6.9	Strahlungsverteilung eines Vielkristall-Leuchtschirmes als Funktion der Bedeckung . . . . .	195
1.6.6.10	Kontrast und Lichthofstörung bei Durchsicht-Leuchtschirmen . . . . .	195
1.6.6.10.1	Kontrastwerte bei Durchsicht-Leuchtschirmen verschiedener Herstellungsart . . . . .	196
1.6.6.10.2	Lichthofbildung durch Totalreflexion im Schirmträger . . . . .	197
1.6.6.10.3	Die wichtigsten Methoden zur Minderung der Lichthofstörung . . . . .	197
1.6.6.11	Der Einfluß der Temperatur auf die Ausbeute verschiedener Leuchtstoffe . . . . .	198
1.6.6.12	Nachleuchten bei Leuchtschirmen . . . . .	199
1.6.6.12.1	Nachleucht-Zeitkonstanten von Leuchtstoffen . . . . .	199
1.6.6.12.2	Leuchtschirm-Nachleuchten und kritische Flimmerleuchtdichte . . . . .	201
1.6.6.12.3	Ausleuchteigenschaft von Leuchtstoffen großer Nachleucht-Zeitkonstante . . . . .	203
1.6.6.13	Leuchtschirm-Schädigungen . . . . .	204
1.6.6.13.1	Leuchtschirm-Schädigungen durch Elektronen und Restgaseinfluß . . . . .	204
1.6.6.13.2	Leuchtschirm-Schädigungen durch negative Ionen und ihre Vermeidung . . . . .	205
1.6.6.13.3	Methoden zur Vermeidung von Leuchtschirm-Schädigungen durch negative Ionen . . . . .	206
1.6.6.14	Der die Al-Reflexschicht durchdringende Energieanteil des Elektronenstrahles als Funktion der Anfangsenergie . . . . .	207
1.6.6.15	Energetischer Wirkungsgrad der Lumineszenz einiger Stoffe bei Bestrahlung mit Elektronen und Ultraviolett . . . . .	208
1.6.6.16	Leuchtschirm-Leuchtdichte bei Bestrahlung mit Röntgenlicht verschiedener Härte . . . . .	209
1.6.6.17	Elektrolumineszenz von Leuchtstoffen . . . . .	210
1.6.6.17.1	Leuchtstoffe guter Ausbeute für Elektrolumineszenz . . . . .	211
1.6.6.17.2	Aufbau einer Elektrolumineszenz-Flächenleuchte . . . . .	211
1.6.6.18	Festkörper-Bildverstärker . . . . .	212
1.6.6.18.1	Festkörper-Bildverstärker mit innerer Steuerung der Elektrolumineszenz . . . . .	212
1.6.6.18.2	Festkörper-Bildverstärker mit äußerer Steuerung der Elektrolumineszenz . . . . .	214
1.6.6.19	Leuchtstoffe für Teilchenzählungen mit Photo-Sekundär-Elektronen-Vervielfachern . . . . .	216
1.6.6.20	Ladungserscheinungen an Leuchtschirmen und Targets . . . . .	218
1.6.6.20.1	Aufladung und Entladung von Schirmen oder Schirmelementen mit Elektronenstrahlen . . . . .	218
1.6.6.20.2	Das Aufladepotential isolierter Targets als Funktion der Elektronenenergie . . . . .	219
1.6.6.21	Sichtbarmachung von Ladungsbildern . . . . .	220
1.6.6.21.1	Sichtbarmachung von Ladungsbildern mit elektronenoptischen Linsenraster-systemen . . . . .	220
1.6.6.21.2	Projektions-Elektronenstrahlröhren mit Lichtrelaisfläche aus elektrooptischen Kristallen . . . . .	221
1.6.6.21.3	Projektions-Elektronenstrahlgerät mit elektrostatisch deformierter Lichtrelaisfläche und Schlierenoptik . . . . .	222
1.6.7	Elektronenindikation durch Photoschichten . . . . .	224
1.6.7.1	Schwärzungskurven verschiedener Photoschichten bei Belichtung mit Elektronen . . . . .	224
1.6.7.2	Zusammenhang zwischen Dicke der Photoschicht und optimaler Elektronenenergie . . . . .	226
1.6.7.3	Ladungsdichte für die Schwärzung $S = 0,05$ als Funktion der Elektronenenergie . . . . .	227
1.6.7.4	Elektronenempfindlichkeit und Auflösungsgrenze von Photoschichten . . . . .	228
1.6.7.5	Auflösungsgrenze von Photoschichten als Funktion des Elektronendichtekontrastes . . . . .	230
1.6.7.6	Bildpunktarbeit elektronenbestrahlter Photoschichten als Funktion der Entwicklungszeit . . . . .	231
1.6.7.7	Elektronenempfindlichkeit photographischer Körner . . . . .	232

1.6.7.8	Die verschiedenen Arten photographischer Kameras für Elektronen und Ionen . . . . .	233
1.6.7.8.1	Versuchsausführung einer Vakuum-Filmkamera für kinematographische Aufnahmen . . . . .	235
1.6.7.9	Schreibgeschwindigkeit von Elektronenstrahloszillographen . . . . .	239
1.6.7.9.1	Schreibgeschwindigkeit von Elektronenstrahloszillographen bei Innenaufnahme	239
1.6.7.9.2	Schreibgeschwindigkeit von Elektronenstrahloszillographen bei Außenaufnahme	239
1.6.7.9.2.1	Nomogramm zur Schreibgeschwindigkeit von Elektronenstrahloszillographen bei Außenaufnahme . . . . .	240
1.6.7.9.3	Bestimmung der Schreibgeschwindigkeit aus dem Oszillogramm einer Sinusschwingung . . . . .	241
1.6.7.9.4	Nomogramm zur Bestimmung der maximalen Schreibgeschwindigkeit aus dem Oszillogramm von Sinusschwingungen . . . . .	242
1.7	Elektronenbeugung . . . . .	243
1.7.1	Beugungserscheinungen bei Elektronenstrahlen . . . . .	243
1.7.1.1	FRAUNHOFERsche Beugungserscheinungen . . . . .	243
1.7.1.2	FRESNELSche Beugungserscheinungen . . . . .	246
1.7.2	Kristallographische Grundlagen zur Elektronenbeugung . . . . .	248
1.7.2.1	Einteilung der Achsensysteme von Raumgittern . . . . .	249
1.7.3	Die Unschärfe durch Energie-Streuung bei Elektronenbeugung . . . . .	250
1.7.4	Kinematische Strukturuntersuchungen mit Elektronenbeugung . . . . .	251
1.8	Elektronengeräte . . . . .	253
1.8.1	Systematik der Elektronengeräte . . . . .	253
1.8.2	Verschiedene Methoden zur Oszillogrammschreibung . . . . .	257
1.8.2.1	Beispiel für sehr präzise Oszillogrammschreibung . . . . .	260
1.8.3	Daten verschiedener Standard-Elektronenstrahloszillographen . . . . .	261
1.8.3.1	Fleckablenkung beim Elektronen-Mikrooszillographen . . . . .	263
1.8.4	Polar-Koordinaten-Oszillographenröhre mit Elektronenstrahlspiegelung . . . . .	264
1.8.5	Geometrie einer Elektronenstrahloszillographenröhre für Außenaufnahmen sehr schneller Vorgänge	265
1.8.6	Präzisions-Elektronenstrahloszillograph . . . . .	266
1.8.6.1	Geometrie des Präzisions-Elektronenstrahloszillographen . . . . .	266
1.8.6.2	Ausführung des Präzisions-Elektronenstrahloszillographen in der Bauweise mit elektronenoptischer Bank . . . . .	267
1.8.6.3	Beispiele von Präzisions-Elektronenstrahloszillogrammen . . . . .	268
1.8.7	Herstellung räumlicher Oszillogramme oder Bilder mittels Elektronenstrahlröhren . . . . .	273
1.8.7.1	Herstellung eines stereoskopischen Bildes unter Verwendung zweier Elektronenstrahlröhren	273
1.8.7.2	Herstellung von Bildern in 3 Koordinaten auf dem Schirm einer einzelnen Elektronenstrahlröhre . . . . .	274
1.8.8	Fernseh-Bildfelderleger ohne Speicherwirkung . . . . .	274
1.8.8.1	Leuchtfleck-Abtaster (Flying spot scanner) . . . . .	275
1.8.8.2	Bildsondenröhren-Abtaster . . . . .	276
1.8.9	Fernseh-Kameraröhren mit Speicherwirkung . . . . .	277
1.8.9.1	Ikonoskop-Kameraröhre . . . . .	277
1.8.9.2	Super-Ikonoskop-Kameraröhre . . . . .	278
1.8.9.3	Super-Orthicon-Kameraröhre . . . . .	279
1.8.9.4	Vidicon-Kameraröhre . . . . .	280
1.8.10	Die Hauptwege zur Erzeugung farbiger Fernsehbilder . . . . .	281
1.8.10.1	Methoden zur Erzeugung farbiger Fernsehbilder mit wechselnden Farbfiltern . . . . .	282
1.8.10.2	Methoden zur Erzeugung farbiger Fernsehbilder mit einfarbigen Leuchtschirmen . . . . .	283
1.8.10.3	Methoden zur Erzeugung farbiger Fernsehbilder mit Mehrkomponenten-Leuchtschirmen	284
1.8.10.3.1	Farbsteuerung durch Strahlenablenkung in Leuchtschirmnähe . . . . .	284
1.8.10.3.2	Farbsteuerung durch Sequential-Synchron-System . . . . .	285
1.8.10.3.3	Farbsortierung durch Maske in Leuchtschirmnähe . . . . .	286
1.8.10.3.4	Elemente einer Dreistrahl-Farbbildröhre mit Lochmaske . . . . .	288
1.8.11	Elektronenbeugungs-Einrichtungen zur Strukturanalyse . . . . .	290
1.8.11.1	Gewöhnliche Elektronenbeugungs-Anordnungen . . . . .	290
1.8.11.2	Elektronenbeugungs-Einrichtungen an Elektronenmikroskopen . . . . .	292

1.8.11.3	Feinstrahlbeugung für punktweise Objektanalyse . . . . .	295
1.8.11.3.1	Einfache Beugungsanordnung mit Feinblende . . . . .	295
1.8.11.3.2	Feinstrahlbeugung im Elektronenmikroskop . . . . .	296
1.8.11.4	Universelle Zweilinsen-Beugungsanordnung . . . . .	297
1.8.12	Elektronen-Interferometer . . . . .	298
1.8.12.1	Elektronen-Interferometer mit Kristall-Lamellen . . . . .	298
1.8.12.2	Elektronen-Interferometer mit elektrostatischem Biprisma . . . . .	299
1.8.13	Bildwandler und Bildverstärker . . . . .	302
1.8.13.1	Die verschiedenen Arten von Bildwandlern und Bildverstärkern . . . . .	302
1.8.13.2	Daten von Bildwandlern und Bildverstärkern . . . . .	307
1.8.13.3	Geometrie und Daten eines Bildwandlers mit elektrostatischem Abbildungssystem . . . . .	309
1.8.13.4	Scintillations-Bildwandler für ionisierende Strahlen und Neutronen . . . . .	310
1.8.14	Elektronen- oder ionenoptische Herstellung von Mikrostrukturen . . . . .	312
1.8.14.1	Zur Herstellung dienende Methode der Ladungsträgeroptik . . . . .	312
1.8.14.2	Zur Herstellung dienende Art der Strahlenwirkung . . . . .	313
1.8.14.3	Geräte zur Erzeugung von Mikroelektronenbildern hoher Stromdichte für die Herstellung von Mikrostrukturen . . . . .	314
1.8.14.3.1	Mikroskalen-Apparatur . . . . .	314
1.8.14.3.2	Gerät zur elektronenoptischen Erzeugung von Mikrostrukturen mit Schablonenbestrahlung durch Elektronensonden-Raster . . . . .	315
1.8.14.4	Mit Elektronensonde hergestelltes Objektmikrometer für Elektronenmikroskopie . . . . .	315
1.8.14.5	Mit dem Strahlungswerkzeug erzielbare Leistungsdichte und zu hinreichender Strahlenwirkung erforderliche Leistungsdichte bei einer Teilchenenergie von 100 keV . . . . .	316
1.8.15	Materialbearbeitung mit Elektronen oder Ionen . . . . .	317
1.8.15.1	Beispiel elektronischer Bohrungen . . . . .	318
1.8.16	Materialerhitzung durch Elektronen . . . . .	319
1.8.16.1	Hochvakuumschmelzen von Metallen, Halbleitern und Isolatoren durch Elektronen . . . . .	319
1.8.16.2	60-kW-Elektronenstrahl-Mehrkammerofen mit Strahlablenkensystem . . . . .	320
1.8.17	Beschleuniger für Elektronen . . . . .	324
1.8.17.1	Daten linearer Resonanzbeschleuniger für Elektronen . . . . .	324
1.8.17.2	Daten verschiedener Betatrons . . . . .	325
1.8.17.3	Daten verschiedener Elektronen-Synchrotrons . . . . .	326
1.8.17.4	Daten verschiedener Microtrons (Elektronen-Zyklotrons) . . . . .	327
1.8.17.5	Methode zur Messung der Elektronenenergie bei Beschleunigern für Elektronen . . . . .	327
<b>2</b>	<b>Übermikroskopie . . . . .</b>	<b>329</b>
2.1	Arten und Strahlengänge von Übermikroskopen . . . . .	329
2.1.1	Systematik der Übermikroskope . . . . .	329
2.1.1.1	Die verschiedenen Arten von Übermikroskopen mit Objektabbildung durch Fokussierung . . . . .	329
2.1.1.2	Die verschiedenen Arten von Übermikroskopen mit Objektabbildung ohne Fokussierung . . . . .	331
2.1.1.3	Die verschiedenen Arten von Elektronen-Emissionsmikroskopen . . . . .	333
2.1.1.4	Die verschiedenen Arten von Elektronen-Rückstrahlungs- und Spiegel-Mikroskopen . . . . .	334
2.1.2	Der Strahlengang beim magnetischen Durchstrahlungs-Elektronenmikroskop . . . . .	335
2.1.2.1	Die Bemessung des Kondensors beim magnetischen Durchstrahlungs-Elektronenmikroskop . . . . .	336
2.1.3	Die Strahlengänge der Elektronen-Emissionsmikroskope . . . . .	341
2.1.4	Die Strahlengänge der Elektronen-Rückstrahlungs- und Auflicht-Mikroskope . . . . .	345
2.2	Bildfehler und Auflösung des Durchstrahlungs-Elektronenmikroskops . . . . .	347
2.2.1	Systematik der die Auflösung mindernden Bildfehler beim magnetischen Durchstrahlungs-Elektronenmikroskop . . . . .	347
2.2.2	Die Größe der Beugungsunschärfe beim Elektronen- bzw. Ionenmikroskop . . . . .	348
2.2.3	Die Größe des Öffnungsfehlers als Funktion der Objektivapertur . . . . .	349
2.2.3.1	Messung der Öffnungsfehlerkonstante von Objektiven . . . . .	350
2.2.3.1.1	Schattenbildmethode . . . . .	350
2.2.3.1.2	Beugungsnebenbilder-Methode bei elektronenmikroskopischer Abbildung von Kristallen . . . . .	351
2.2.3.1.3	Direkte Ausmessung der Größe des Öffnungsfehlerscheibchens . . . . .	352
2.2.4	Zusammenwirken von Beugungsunschärfe und Öffnungsfehler . . . . .	353
2.2.4.1	Tafel zur Größe von Beugungsunschärfe und Öffnungsfehler als Funktion der Objektivapertur . . . . .	353
2.2.4.2	Durch Öffnungsfehler und Beugungsunschärfe bedingte Auflösungsgrenze . . . . .	354
2.2.4.3	Theoretische Auflösungsgrenze für gegebene Öffnungsfehlerkonstante . . . . .	355
2.2.4.4	Erfahrungswerte zur Wahl der Kondensorapertur beim Durchstrahlungs-Elektronenmikroskop . . . . .	356



2.2.5 Die Größe des Farbfehlers als Funktion der Objektivapertur . . . . .	357
2.2.5.1 Messung der Farbfehlerkonstante von Objektiven . . . . .	358
2.2.6 Die Größe des durch magnetische Störfelder bedingten Fehlers . . . . .	358
2.2.7 Bestimmung der Auflösungsgrenze von Elektronen- und Ionenmikroskopen . . . . .	359
2.2.7.1 Beispiel zur Bestimmung der Auflösungsgrenze an einem magnetischen Durchstrahlungs-Elektronenmikroskop . . . . .	360
2.2.8 Herstellung von Testpräparaten zur Bestimmung der Auflösungsgrenze . . . . .	361
2.2.8.1 Testpräparate zur Bestimmung der Punkt-Auflösungsgrenze . . . . .	361
2.2.8.2 Testpräparate zur Bestimmung der Strich-Auflösungsgrenze . . . . .	362
2.2.8.2.1 Abbildung von Kristallgitterperioden mit dem magnetischen Durchstrahlungs-Elektronenmikroskop . . . . .	362
2.2.8.2.2 Abbildung der Kristallgitterperiodizitäten in Molybdäntrioxyd . . . . .	363
2.2.8.2.3 Dunkelfeld-Abbildung einer Einkristallschicht aus einer Kupfer-Gold-Legierung . . . . .	364
2.2.8.2.4 Abbildung einer Stahloberfläche im Elektronen-Emissionsmikroskop mit thermischer Elektronenemission . . . . .	365
2.2.9 Die Fortschritte in der Auflösung beim Durchstrahlungs-Elektronenmikroskop seit Überschreitung der lichtmikroskopischen Grenze . . . . .	366
2.2.10 Daten magnetischer Standard-Elektronenmikroskopobjektive . . . . .	367
2.2.10.1 Abbildungsfehler eines magnetischen Objektivs bei gestörter Rotationssymmetrie . . . . .	369
2.2.10.1.1 Theorie für elliptische Unsymmetrie des Linsenfeldes . . . . .	369
2.2.10.2 Abbildungsfehler eines magnetischen Objektivs bei Dezentrierung der Strahlachse . . . . .	370
2.2.10.3 Verbesserung der magnetischen Struktur von Objektiv-Polschuhspitzen durch ihre Sättigung . . . . .	370
2.2.11 Daten elektrostatischer Elektronenmikroskopobjektive . . . . .	373
2.2.11.1 Abbildungsfehler eines elektrostatischen Objektivs bei gestörter Rotationssymmetrie . . . . .	374
2.2.12 Axialer Astigmatismus von Elektronenmikroskopobjektiven . . . . .	375
2.2.12.1 Methoden zur Abschwächung des axialen Astigmatismus von Elektronenmikroskopobjektiven . . . . .	375
2.2.12.2 Methoden zur Prüfung des axialen Astigmatismus von Elektronenmikroskopobjektiven . . . . .	376
2.2.13 Zentrierung von elektronenoptischen Systemen bzw. Elektronenmikroskopen . . . . .	377
2.2.13.1 Zentrierung einer nahezu punktförmigen Strahlungsquelle (Richtstrahler) gegenüber der Achse einer Elektronenlinse . . . . .	377
2.2.13.1.1 Zentrierung durch Parallelverschiebung und Neigung des Strahlungsquellensystems mit dem Neigungsmittelpunkt in der Linsenmitte . . . . .	377
2.2.13.1.2 Zentrierung durch Parallelverschiebung und Neigung des Strahlungsquellensystems mit dem Neigungsmittelpunkt in der Strahlungsquelle . . . . .	378
2.2.13.1.3 Zentrierung durch zweimalige Neigung des Strahlungsquellensystems sowohl um die Mitte der Linse als auch um die Strahlungsquelle als Neigungsmittelpunkt . . . . .	379
2.2.13.1.4 Zentrierung durch Parallelverschiebung und Neigung des Strahlungsquellensystems an einer Stelle zwischen Strahlungsquelle und Linse . . . . .	380
2.2.13.2 Zentrierung von Elektronenmikroskopen . . . . .	381
2.2.13.2.1 Zentrierung der einzelnen Elemente des Strahlers . . . . .	381
2.2.13.2.2 Zentrierung Strahler-Kondensor-Objektiv . . . . .	382
2.2.13.2.3 Zentrierung Objektiv-Projektiv . . . . .	386
2.2.13.2.4 Zentrierfehler und Grenzen der Zentriergenauigkeit . . . . .	386
2.2.13.2.4.1 Zusammenstellung der Zentriervorrichtungen bei verschiedenen Durchstrahlungs-Elektronenmikroskopen . . . . .	387
2.2.13.2.4.2 Die beiden Hauptzentrierfehler und ihre Bestimmungsgrößen . . . . .	388
2.2.13.2.4.3 Resultierende Unschärfe $\delta_z$ als Funktion des Winkels $\gamma$ zwischen der Achse des abbildenden Strahlenbündels und der Objektivachse . . . . .	389
2.2.13.2.4.4 Drehverschiebung eines magnetischen Elektronenbildes . . . . .	390
2.2.14 Vermeidung von Polarisationsladungen an reellen Blenden . . . . .	392
2.2.14.1 Ausführung von ausheizbaren Aperturblenden für Betrieb ohne schädliche Polarisationsladungen . . . . .	394
2.2.15 Wahrnehmbarkeit dichter Partikeln mit Durchmessern $<$ Auflösungsgrenze . . . . .	395
2.2.16 Tiefenschärfe bei elektronenmikroskopischer Abbildung . . . . .	395

2.2.17	Die wichtigsten Anordnungen der Stereo-Elektronenmikroskopie . . . . .	396
2.2.17.1	Anordnungen mit nicht gleichzeitiger Gewinnung der Stereo-Teilbilder . . . . .	396
2.2.17.2	Anordnungen mit gleichzeitiger Gewinnung der Stereo-Teilbilder . . . . .	397
2.2.17.3	Zulässiger Stereowinkel für gegebene Tiefenausdehnung des Objektes . . . . .	398
2.2.17.4	Räumliche Objektausmessung aus elektronenmikroskopischen Stereobildern . . . . .	398
2.2.18	Auflösungsgrenze und Erkennbarkeitsgrenze für regelmäßige Polygone . . . . .	399
2.2.18.1	Tafel zum Zusammenhang zwischen Auflösungsgrenze und Erkennbarkeitsgrenze für Polygone . . . . .	400
2.3	Elektronenstrahlung und Objekt . . . . .	401
2.3.1	Die energetischen Beziehungen zum Energiefluß im Durchstrahlungs-Elektronenmikroskop . . . . .	401
2.3.2	Die Stromdichte im Endbild eines Elektronenmikroskopes für Objektdurchstrahlung . . . . .	402
2.3.3	Die Größe der Belichtungszeit bei elektronenmikroskopischen Aufnahmen . . . . .	402
2.3.4	Auflösungsgrenze des Auges als Funktion von Leuchtdichte und Schwärzungskontrast . . . . .	403
2.3.5	Notwendige Bildpunktleistung bei visueller Scharfstellung . . . . .	404
2.3.5.1	$P_B = f(eU_B)$ für verschiedene Werte des Elektronendichtekontrastes $j_2/j_1$ im Endbild . . . . .	405
2.3.6	Die aus Gründen der Lichtstärkengrenze noch visuell einstellbare Objektauflösung . . . . .	406
2.3.7	Visuelle Scharfstellung mit Schonung des Objektes . . . . .	407
2.3.8	Systematik der Elektronenstreuungsvorgänge im Objekt . . . . .	408
2.3.8.1	Einfluß- und Wirkungsgrößen bei der Streuung von Elektronenstrahlen in Objektschichten . . . . .	409
2.3.8.2	Elastische Streuung von Elektronen in dünnen Objektschichten . . . . .	410
2.3.8.2.1	Einzelstreuung . . . . .	410
2.3.8.2.2	Einzel- und Mehrfachstreuung . . . . .	411
2.3.8.2.3	Zahlenmäßige Ergebnisse der Theorie der elastischen Streuung . . . . .	412
2.3.8.3	Unelastische Streuung von Elektronen in dünnen Objektschichten . . . . .	415
2.3.8.3.1	Richtungsstreuung . . . . .	415
2.3.8.3.1.1	Einzelstreuung für nichtmetallische Substanzen . . . . .	415
2.3.8.3.1.2	Einzel- und Mehrfachstreuung für nichtmetallische Substanzen . . . . .	416
2.3.8.3.1.3	Zahlenmäßige Ergebnisse der Theorie der unelastischen Streuung . . . . .	417
2.3.8.3.2	Energiestreuung . . . . .	421
2.3.8.4	Kontrast im Endbild unter Berücksichtigung von elastischer und unelastischer Streuung . . . . .	424
2.3.8.5	Gradationskurven des Durchstrahlungs-Elektronenmikroskops . . . . .	426
2.3.8.5.1	Hellfeld-Gradationskurven für Kernstrahl bei elastischer Einzel- und Mehrfachstreuung . . . . .	426
2.3.8.5.2	Hellfeld- und Dunkelfeld-Gradationskurven für eine reelle Objektivapertur von $10^{-2}$ bei elastischer Streuung . . . . .	427
2.3.8.5.3	Gemessene Hellfeld-Gradationskurven für Trägerfolien . . . . .	428
2.3.8.6	Methoden der Kontrasterzeugung zur Sichtbarmachung von dünnsten Objektschichten und Atomen . . . . .	429
2.3.8.7	Kontrast- und Intensitätsverhältnisse bei Dunkelfeld-Beleuchtung im Elektronenmikroskop . . . . .	430
2.3.8.7.1	Methodik der elektronenmikroskopischen Dunkelfeld-Aufnahme . . . . .	432
2.3.8.7.2	Relative Endbildstromdichte $\frac{j}{j_E}$ bzw. Belichtungszeitfaktor $\frac{j_E}{j}$ als Funktion der relativen Objektmassendicke $p$ bzw. der Schichtdicke $x$ von drei Objektsubstanzen bei Dunkelfeld-Beleuchtung . . . . .	433
2.3.8.8	Der für gute Abbildung mit Elektronen höchstzulässige Wert des Produktes Druck $\times$ Strahlweg . . . . .	434
2.3.8.8.1	Tafel zum höchstzulässigen Gasdruck bei verschiedenen Gasen, Elektronenenergien und Strahlwegen . . . . .	435
2.3.8.9	Vielfachstreuung von Elektronen in dicken Objektschichten . . . . .	436
2.3.8.9.1	Richtungsstreuung bei kleinen Streuwinkeln . . . . .	436
2.3.8.9.2	Energiestreuung von Elektronen in dicken Objektschichten . . . . .	439
2.3.8.9.3	Absorption von Elektronen in dicken Objektschichten . . . . .	442
2.3.9	Unerwünschte und erwünschte Objekterhitzung im Elektronenmikroskop . . . . .	445
2.3.9.1	Objekterhitzung durch den abbildenden Elektronenstrahl im Durchstrahlungs-Elektronenmikroskop . . . . .	445
2.3.9.2	Maßnahmen zur Minderung der Objekterhitzung im Durchstrahlungs-Elektronenmikroskop . . . . .	452
2.3.9.3	Methoden und Anwendungen der Erhitzungs-Elektronenmikroskopie . . . . .	457
2.3.9.3.1	Methoden zur Untersuchung von Objekten bei hohen und definierten Temperaturen . . . . .	457
2.3.9.3.2	Zusammenstellung von Anwendungen des Erhitzungs-Elektronenmikroskops . . . . .	458

2.3.10	Untersuchung lebender Substanz . . . . .	460
2.3.10.1	Die bei der Untersuchung lebender Substanz erzielbare Auflösungsgrenze . . . . .	460
2.3.10.1.1	Erstes elektronenmikroskopisches Bildpaar vom Ablauf eines Lebensvorganges . . . . .	461
2.3.10.2	Die informationstheoretische Grenze bei der elektronenmikroskopischen Abbildung lebender Substanz . . . . .	462
2.3.10.3	Differentielle Ionisierung durch Elektronen für Substanz der Dichte $\rho = 1 \text{ kg dm}^{-3}$ (lebende Substanz) . . . . .	465
2.3.10.4	Ionisierungsempfindlichkeit lebender Substanz . . . . .	465
2.3.10.4.1	Kritische Dosis $D_k$ für eine Anzahl biologischer Objekte und verschiedene Abtötungsquoten $Q$ . . . . .	466
2.3.10.5	Die Wahrscheinlichkeit des Überlebens von Mikroorganismen als Funktion der Strahlendosis . . . . .	467
2.3.10.6	Theoretische Dosis-Abtötungskurven für verschiedene Zahlen zur Abtötung notwendiger Treffer . . . . .	468
2.3.11	Beispiele für Objektbelastungen im Durchstrahlungs-Elektronenmikroskop unter verschiedenen Bedingungen . . . . .	469
2.3.12	Ionisierungsempfindlichkeit anorganischer und organischer Substanz . . . . .	471
2.4	Technik der Objektpräparierung . . . . .	472
2.4.1	Arten und Herstellung von Objektträgerfolien . . . . .	472
2.4.2	Arten der Beschickung von Objektträgern . . . . .	473
2.4.3	Präparative Methoden zur Kontraststeigerung . . . . .	474
2.4.3.1	Mit dem Gold-Dekorationsverfahren gewonnene Aufnahmen von Abdampfstrukturen atomarer Größe auf NaCl-Spaltflächen . . . . .	475
2.4.4	Arten der Herstellung von Oberflächenabdrucken . . . . .	477
2.4.4.1	Mit dem Kohle-Abdruckverfahren gewonnene Aufnahme eines rhombischen Kristalls vom Tabak necrosis Virus . . . . .	479
2.4.5	Arten der Herstellung von dünnen Objektschnitten . . . . .	480
2.4.5.1	Universal-Mikrotom für ultradünne und normale Schnitte mit Schnittdicken-Meßeinrichtung	482
2.4.5.1.1	Ultramikrotom nach VON ARDENNE-WESTMEYER . . . . .	482
2.4.5.1.2	Dickenmeßgerät für Ultramikrotom-Schnitte . . . . .	483
2.4.6	Methoden der Aufhellung von Objekten großer Massendicke . . . . .	484
2.4.7	Die wichtigsten Arten von Scheinstrukturen und Objektveränderungen im Durchstrahlungs-Elektronenmikroskop . . . . .	486
2.4.7.1	Moiré-Muster bei Abbildung kristalliner Doppelschichten . . . . .	488
2.5	Der Aufbau von Durchstrahlungs-Elektronenmikroskopen . . . . .	489
2.5.1	Elektronenmikroskop SIEMENS 1939 bis 1950 . . . . .	489
2.5.2	Elektronenmikroskop AEG 1939 bis 1945 . . . . .	490
2.5.3	Universal-Elektronenmikroskop VON ARDENNE 1940 bis 1955 . . . . .	491
2.5.4	Elektronenmikroskop PHILIPS 1947 . . . . .	493
2.5.5	Elektronenmikroskop SIEMENS 1950 bis 1955 . . . . .	494
2.5.6	Elektronenmikroskop VON BORRIES 1951 bis 1955 (Kleintype). . . . .	495
2.5.7	Elektronenmikroskop VEB CARL ZEISS, Jena 1955 . . . . .	496
2.5.8	Elektronenmikroskop SIEMENS 1955 (Vereinfachte Type) . . . . .	497
2.5.9	Elektronenmikroskop PHILIPS 1955 (Vereinfachte Type) . . . . .	498
2.5.10	Elektronenmikroskop SIEMENS 1955 . . . . .	500
2.5.11	Elektronenmikroskop PHILIPS 1958 . . . . .	502
2.5.12	Universal-Elektronenmikroskop VON ARDENNE 1960 . . . . .	504
2.6	Der Aufbau von Elektronen-Emissionsmikroskopen . . . . .	506
2.6.1	Elektronen-Emissionsmikroskop TH Dresden 1959 . . . . .	506
2.6.2	Elektronen-Emissionsmikroskop TRÜB-TÄUBER 1960 . . . . .	508
2.6.3	Elektronen-Emissionsmikroskop VON ARDENNE 1960 . . . . .	510

2.7 Verwandte Abbildungsmethoden und Anordnungen . . . . .	512
2.7.1 Abbildung und Messung von Mikrofeldern mit der elektronenoptischen Schlierenmethode . . .	512
2.7.2 Feldemissionsmikroskop . . . . .	518
2.7.3 Beugungsmikroskop . . . . .	525
2.7.3.1 Prinzip des Beugungsmikroskops . . . . .	525
2.7.3.2 Verfahren der Beugungsmikroskopie mit kohärentem Hintergrund . . . . .	527
2.7.3.3 Analyse und Rekonstruktion bei der Projektionsmethode . . . . .	528
2.7.3.4 Zweiwellenlängen-Mikroskop mit Elektronen- und Lichtstrahlung . . . . .	530
2.7.3.4.1 Herstellung des Beugungsbildes (Analyse) bei der Projektionsmethode . . . . .	530
2.7.3.4.2 Herstellung des Beugungsbildes (Analyse) bei der Transmissionsmethode . . . . .	532
2.7.3.4.3 Herstellung des Endbildes (Rekonstruktion) bei der Transmissionsmethode . . . . .	534
2.7.4 Röntgen-Projektionsmikroskop . . . . .	535
2.7.4.1 Daten verschiedener Röntgen-Projektionsmikroskope . . . . .	537
2.7.4.2 Schnitt durch ein Röntgen-Projektionsmikroskop . . . . .	539
2.7.4.3 Mit dem Röntgen-Projektionsmikroskop gewonnene Aufnahme einer Ameise . . . . .	540
2.7.5 Röntgen-Rastermikroanalysator . . . . .	541
2.7.5.1 System Hauptlinse-Objekt eines Röntgen-Rastermikroanalysators . . . . .	541
2.7.5.2 Mit dem Röntgen-Rastermikroanalysator erhaltene Oberflächenbilder einer Al-Sn-Legierung . . . . .	542
<b>3 Ionenphysik . . . . .</b>	<b>543</b>
3.1 Das freie Ion . . . . .	543
3.1.1 Kinetische Energie eines Ions . . . . .	543
3.1.2 Ionengeschwindigkeit als Funktion der Ionenenergie . . . . .	543
3.1.2.1 Tafel zur Ionengeschwindigkeit als Funktion der Ionenenergie . . . . .	544
3.1.3 Ionenlaufzeit bei konstanter Geschwindigkeit . . . . .	545
3.1.4 Tafel zur Ionengeschwindigkeit im Bereich relativistischer Geschwindigkeiten . . . . .	545
3.1.5 Wellenlänge von Ionen (Atomen) als Funktion ihrer Energie und ihres Massenwertes . . . . .	546
3.1.5.1 Tafel zur Wellenlänge von Ionen (Atomen) als Funktion ihrer Energie und ihres Massenwertes . . . . .	547
3.1.5.2 Tafel zur Wellenlänge von Ionen (Atomen) im Bereich relativistischer Geschwindigkeiten . . . . .	548
3.1.6 Magnetische Ablenkung von Ionenstrahlen . . . . .	549
3.1.6.1 Bahnkreisradius von Ionen im Magnetfeld . . . . .	549
3.1.6.1.1 Tafel zum Bahnkreisradius von Ionen im Magnetfeld . . . . .	550
3.1.7 Energiefilter mit gerader Ladungsträgerbahn . . . . .	551
3.2 Ionenoptik . . . . .	553
3.2.1 Ionenbewegung bei gekreuztem elektrostatischen und magnetischen Feld . . . . .	553
3.2.2 Fokussierung erster Ordnung im elektrostatischen Radialfeld (ebener Fall) . . . . .	555
3.2.2.1 Berücksichtigung des Streufeldes bei Abbildung mit elektrostatischem Radialfeld . . . . .	558
3.2.2.2 Aberrationsfehler bei Fokussierung durch ein elektrostatisches Radialfeld . . . . .	558
3.2.3 Fokussierung erster Ordnung im homogenen magnetischen Sektorfeld (ebener Fall) . . . . .	559
3.2.3.1 Berücksichtigung des Streufeldes bei Abbildung mit magnetischen Sektorfeldern . . . . .	561
3.2.3.1.1 Näherungsverfahren bei kleinem Streufeld (kleinem Luftspalt) . . . . .	561
3.2.3.1.2 Bestimmung von Gegenstands- und Bildort aus dem wahren Bahnverlauf . . . . .	562
3.2.3.2 Aberrationsfehler bei Fokussierung durch ein homogenes magnetisches Sektorfeld . . . . .	563
3.2.4 Fokussierung zweiter Ordnung im Magnetfeld (ebener Fall) . . . . .	564
3.2.4.1 Fokussierung zweiter Ordnung durch Wahl der Magnetfeldbegrenzungen . . . . .	564
3.2.4.2 Fokussierung zweiter Ordnung durch inhomogenes Magnetfeld . . . . .	565
3.2.5 Doppelfokussierung beim Massenspektrographen . . . . .	566
3.2.5.1 Doppelfokussierungsbedingung . . . . .	566
3.2.5.2 Auflösungsvermögen . . . . .	568
3.2.5.2.1 Durch Eintrittsspaltweite bedingtes Auflösungsvermögen von doppelfokussierenden Massenspektrographen . . . . .	568
3.2.5.2.2 Durch Stromquellenschwankungen begrenztes Auflösungsvermögen von doppelfokussierenden Massenspektrographen . . . . .	568
3.2.5.2.3 Größe des Massenbereiches für Doppelfokussierung bei verschiedenen Anordnungen . . . . .	569
3.2.6 Magnetische Massentrennung mit fehlender oder unvollkommener Strahlfokussierung . . . . .	571
3.2.6.1 Prinzip eines magnetischen Massentrenners in linearer Bauweise ohne Strahlfokussierung . . . . .	571
3.2.6.2 Prinzip ring- und kreisförmiger magnetischer Massentrenner mit unvollkommener Strahlfokussierung . . . . .	572

3.2.6.3	Nomogramm über die Beziehung zwischen Auflösungsvermögen $A$ , Radienverhältnis $\frac{r_2}{r_1}$ der Magnetfeldbegrenzung und Strahlapertur $\alpha$ für die drei Ausführungsformen des magnetischen Massentrenners mit fehlender oder unvollkommener Strahlfokussierung . . .	573
3.2.7	Magnetische Massentrennung mit Fokussierung nahezu paralleler Ionenstrahlen . . . . .	573
3.2.8	Magnetische Ionenlinsen . . . . .	574
3.2.8.1	Eisengekapselte Spule als Ionenlinse . . . . .	574
3.2.8.2	Dünne magnetische Ionenlinse . . . . .	575
3.3	Erzeugung von Ionen . . . . .	576
3.3.1	Mittlere thermische Ionengeschwindigkeit . . . . .	576
3.3.2	Beziehung zwischen Prozeßquerschnitt von Teilchen und Gesamtquerschnitt pro Volumeneinheit	576
3.3.2.1	Leiter zur Beziehung zwischen Prozeßquerschnitt von Teilchen und Gesamtquerschnitt	577
3.3.3	Die verschiedenen Prozeßtypen und Größen beim Zusammentreffen von Teilchen . . . . .	578
3.3.4	Anregungs- und Ionisierungsarbeiten . . . . .	580
3.3.4.1	Ionisierungsarbeiten der Elemente . . . . .	580
3.3.4.2	Anregungsarbeiten für metastabile Niveaus . . . . .	583
3.3.4.3	Ionisierungsarbeiten von Molekülen . . . . .	584
3.3.5	Dissoziative Ionisierung von Molekülen durch Elektronenstoß . . . . .	586
3.3.6	Differentielle Ionisierung durch Elektronenstoß . . . . .	588
3.3.6.1	Kurven zur differentiellen Ionisierung von Gasen durch Elektronenstrahlen . . . . .	589
3.3.6.2	Kurven zur differentiellen Ionisierung von Dämpfen durch Elektronenstrahlen . . . . .	590
3.3.6.3	Typische Kurve zur differentiellen Ionisierung eines mehratomigen Moleküls . . . . .	591
3.3.7	Ionenerzeugung durch Stoß mittelschneller Primärelektronen . . . . .	592
3.3.8	Ionisierungsgrad und Neutralteilchenlaufzeit im Elektronenstrahl . . . . .	592
3.3.9	Erzeugung von mehrfach geladenen Ionen . . . . .	594
3.3.9.1	Zyklotron-Ionenquelle mit hoher Entladungsstromdichte . . . . .	595
3.3.10	Differentielle Ionisierung durch Strahlen positiver Ionen . . . . .	596
3.3.10.1	Kurven zur differentiellen Ionisierung von Gasen durch Strahlen positiver Ionen . . . . .	597
3.3.11	Ionisierung von Gasen durch ultraviolette Strahlung und Röntgen- bzw. $\gamma$ -Strahlung . . . . .	598
3.3.12	Thermische Ionisierung in Gasen . . . . .	598
3.3.12.1	Tafel zur thermischen Ionisierung in Gasen . . . . .	599
3.3.13	Ionisierung an Oberflächen . . . . .	600
3.3.13.1	Bildung von positiven Ionen . . . . .	600
3.3.13.2	Bildung von negativen Ionen . . . . .	600
3.3.14	Emission positiver Alkali-Ionen aus einer Platin-Glühanode in einem halogenhaltigen Gas . . .	601
3.3.15	Thermische Verdampfung von Ionen . . . . .	601
3.3.15.1	Verdampfung von positiven Ionen . . . . .	601
3.3.15.2	Verdampfung von negativen Ionen . . . . .	603
3.3.15.2.1	Massenspektrum von thermisch emittierten bzw. an der Kathode gebildeten negativen Molekülionen der Tantaloxyside . . . . .	605
3.3.15.2.2	Massenspektrum von thermisch emittierten bzw. an der Kathode gebildeten negativen Molekülionen der Wolframoxyside . . . . .	605
3.3.16	Ionisierung durch Elektronenanlagerung . . . . .	606
3.3.16.1	Die verschiedenen Prozesse der Bildung negativer Ionen durch Elektronenanlagerung (Ionenanlagerung) . . . . .	606
3.3.16.2	Differentielle Ionisierung durch Elektronenanlagerung . . . . .	607
3.3.16.2.1	Kurven zur differentiellen Ionisierung von Dämpfen durch Elektronenanlagerung . . . . .	608
3.3.16.3	Ionenerzeugung durch Anlagerung langsamer Elektronen . . . . .	609
3.3.16.4	Elektronenanlagerungs-Massenspektrogramme . . . . .	611
3.3.16.4.1	Massenspektrogramm bei Ionisierung der gleichen Substanz durch Elektronenanlagerung bzw. Elektronenstoß . . . . .	611
3.3.16.4.2	Elektronenanlagerungs-Massenspektrogramm von Tetracen . . . . .	612
3.3.17	Erzeugung negativer Ionen durch Stoß positiver Ionen gegen Metalloberflächen . . . . .	613
3.3.18	Erzeugung von $H_1^-$ bzw. $H_1^+$ -Ionen beim Durchgang von $H_1^+$ bzw. $H_1^-$ -Ionen durch dünne Folien oder Gasstrecken . . . . .	614
3.3.19	Anlagerung von positiven oder negativen Ionen an Atome und Moleküle . . . . .	614

3.4 Beschleunigung von Ionen und Raumladungseinflüsse . . . . .	615
3.4.1 Raumladungsbegrenzte Stromdichte bei ebener Elektrodenanordnung und Ionen . . . . .	615
3.4.1.1 Tafel zur raumladungsbegrenzten Stromdichte bei Ionen . . . . .	616
3.4.1.2 Raumladungsbegrenzte Stromdichte bei Ionengemischen . . . . .	617
3.4.2 Kleinster Beschleunigungselektroden-Abstand bei Ionen- und Elektronenstrahlern . . . . .	617
3.4.3 Raumladungsbegrenzte Stromdichte bei nicht vernachlässigbarer Anfangsenergie . . . . .	618
3.4.4 Raumladungseinfluß bei Ionenstrahlen . . . . .	619
3.4.4.1 Verbreiterung eines Ionenstrahles durch Raumladung . . . . .	619
3.4.4.2 Rand-Mitte-Potentialunterschied eines Ionenstrahles infolge Raumladung . . . . .	619
3.4.4.3 Axialer Potentialunterschied eines Ionenstrahles infolge Raumladung . . . . .	620
3.4.4.4 Verbreiterung eines Ionenstrahles auf der Beschleunigungsstrecke durch Raumladung . . . . .	621
3.4.4.4.1 Tafel zur Verbreiterung eines Ionenstrahles auf der Beschleunigungsstrecke durch Raumladung . . . . .	622
3.4.4.5 Vermeidung der Strahlverbreiterung durch Raumladung im Beschleunigungsraum . . . . .	623
3.4.4.5.1 Zwischen den Elektroden paralleler Strahl mit rechteckiger Begrenzung (Spalt) . . . . .	623
3.4.4.5.2 Zwischen den Elektroden paralleler Strahl mit kreisförmiger Begrenzung . . . . .	625
3.4.4.5.3 Zwischen den Elektroden konvergenter Strahl mit rechteckiger Begrenzung (Spalt) . . . . .	627
3.4.4.5.4 Zwischen den Elektroden konvergenter Strahl mit kreisförmiger Begrenzung . . . . .	629
3.4.5 Absaug- und Fokussiersystem einer Ionenquelle für sehr hohe Strahlströme . . . . .	631
3.4.6 Trägerdichte im Ionenstrahlplasma . . . . .	633
3.4.7 Ursache, Wirkung und Abschwächung vom Ionenstrahl erzeugter parasitärer Ströme negativer Ladungsträger . . . . .	633
3.4.7.1 Entstehung und Größe der vom Strahl positiver Ionen erzeugten parasitären Ströme negativer Ladungsträger . . . . .	633
3.4.7.2 Wirkung parasitärer Ströme negativer Ladungsträger in Ionenstrahlanlagen . . . . .	634
3.4.7.3 Abschwächung parasitärer Ströme negativer Ladungsträger in Ionenstrahlanlagen und Abschwächung ihrer Wirkung . . . . .	635
3.4.7.4 Die Abschwächung parasitärer Ströme negativer Ladungsträger aus dem Strahlplasma einer Duoplasmatron-Protonenquelle bzw. die Abschwächung ihrer Wirkung, gezeigt am Beispiel des Absaug- und Fokussiersystems 3.4.5 . . . . .	636
3.4.8 Raumladungskompensation bei Ionenstrahlen . . . . .	637
3.4.8.1 Aufbauzeit der Raumladungskompensation . . . . .	637
3.4.8.2 Fokussierbarer Ionenstrom bei teilweiser Raumladungskompensation . . . . .	638
3.4.8.3 Der Einfluß unvollständiger Raumladungskompensation auf den objektseitigen Strahlengang ionenoptischer Systeme . . . . .	639
3.5 Stromdichten in Ionen-Strahlern und -Brennflecken . . . . .	640
3.5.1 Die Haupttypen von Ionen-Richtstrahlern . . . . .	640
3.5.1.1 Kanalstrahlrohre . . . . .	640
3.5.1.2 Hochfrequenzfunken-Ionenquellen . . . . .	641
3.5.1.3 Thermische Ionenquellen . . . . .	642
3.5.1.4 Ionenquellen mit Ionenerzeugung durch Beschuß von Metalloberflächen mit positiven Ionen und durch Feldionisation . . . . .	643
3.5.1.5 Primärelektronenstoß-Ionenquellen . . . . .	644
3.5.1.6 Ionenquellen mit PENNING-Entladung . . . . .	645
3.5.1.7 Ionenquellen mit magnetisch geführter Elektronenpendelung . . . . .	646
3.5.1.8 Ionenquellen mit Elektronenpendelung durch Hochfrequenzspeisung . . . . .	647
3.5.1.9 Ionenquellen mit Glühkathoden-Niedervolt-Gasentladung . . . . .	648
3.5.1.10 Ionenquellen mit Glühkathoden-Gasentladung und axialem Magnetfeld; Ionenabsaugung in Richtung des Hilfsmagnetfeldes . . . . .	649
3.5.1.11 Ionenquellen mit Glühkathoden-Gasentladung und axialem Magnetfeld; Ionenabsaugung senkrecht zur Richtung des Hilfsmagnetfeldes . . . . .	650
3.5.1.12 Ionenquellen mit Glühkathoden-Kapillar-Gasentladung und seitlicher Ionenabsaugung . . . . .	651
3.5.1.13 Unoplasmatron-Ionenquellen . . . . .	652
3.5.1.14 Duoplasmatron-Ionenquellen . . . . .	653
3.5.2 Uno- und Duoplasmatron-Ionenquellen . . . . .	654
3.5.2.1 Systemgeometrie des Unoplasmatron- und des Duoplasmatron-Ionenstrahlers . . . . .	654
3.5.2.1.1 Systemgeometrie des Unoplasmatron-Ionenstrahlers mit einfacher Entladungsverdichtung . . . . .	654
3.5.2.1.2 Systemgeometrie des Duoplasmatron-Ionenstrahlers mit doppelter Entladungsverdichtung . . . . .	655

3.5.2.2	Betriebsweise und Ionenemission bei der Duoplasmatron-Quelle als Protonenstrahler . . .	656
3.5.2.3	Praktische Ausführung der Duoplasmatron-Ionenquelle mit Absaugsystem . . . . .	657
3.5.2.4	Entladungsmechanismus der Duoplasmatron-Ionenquelle . . . . .	658
3.5.3	Der Richtstrahlwert von Ionenstrahlern . . . . .	659
3.5.3.1	Die Messung des Richtstrahlwertes von Ionenstrahlern . . . . .	659
3.5.3.2	Praktische Richtstrahlwerte von Ionenstrahlern . . . . .	660
3.5.4	Ionenemission aus kleinen Emissionsöffnungen . . . . .	662
3.5.4.1	Messung des Ionenemissionsstromes $I_B$ ( $M_i \approx 16$ ) aus Emissionsöffnungen von verschiedenen Durchmessern $D_{em}$ (Flächen $S_{cm}$ ) und verschiedener Art . . . . .	662
3.5.4.2	Gründe für die Abnahme der Ionenemissionsstromdichte bei Verkleinerung der Ionenemissionsöffnung (besonders bei Plasma-Ionenquellen) . . . . .	663
3.5.4.3	Methode und Anordnung zur Aufrechterhaltung einer hohen Ionenemissionsstromdichte bei kleinen Emissionsöffnungen und zur Stabilisierung der Strahlage . . . . .	663
3.5.4.4	Anordnung mit entladungsgeheizter Platin-Emissionsblende . . . . .	664
3.5.5	Atomionenanteil bei Protonenstrahlern und Deuteronenstrahlern . . . . .	665
3.5.5.1	Maßnahmen zur Veränderung des Atomionenanteils bei Protonenstrahlern . . . . .	668
3.5.5.2	Wandrekombinationskoeffizient von Wasserstoff-Atomionen . . . . .	669
3.5.5.3	Wasserstoffionen-Spektrum der Duoplasmatron-Ionenquelle unter verschiedenen Bedingungen . . . . .	670
3.5.5.4	Wasserstoffionen-Spektrum einer Zyklotron-Ionenquelle als Funktion der Entladungsstromdichte . . . . .	671
3.5.5.5	Linien aus metastabilen Molekülionen bei Protonenquellen . . . . .	672
3.5.6	Elektronenanlagerungs-Ionenquelle . . . . .	673
3.5.6.1	System der EA-Ionenquelle mit Fernhaltung des Testdampfes von der Entladungskathode . . . . .	673
3.5.6.1.1	Der Einfluß der Fernhaltung des Testdampfes von der Entladungskathode bei der EA-Ionenquelle . . . . .	674
3.5.6.2	Betriebsweise und Emission bei der EA-Ionenquelle . . . . .	675
3.5.6.2.1	Ungefäher Verlauf des axialen Plasmapotentials $U$ relativ zur Anode der Entladung als Funktion des Abstandes $z$ von der Emissionsspaltebene bei der EA-Ionenquelle . . . . .	675
3.5.6.2.2	Strom $J_s$ zum Emissionsspalt und Absaugstrom $J_B$ als Funktion der Sonden-spannung $U_s$ für zwei typische Werte des Entladungsstromes $J_A$ . . . . .	676
3.5.6.2.3	Die zunehmende Aufspaltung des Coronen-Moleküls mit steigendem Entladungsstrom . . . . .	677
3.5.6.3	Ausführung der EA-Ionenquelle . . . . .	678
3.5.6.4	Entladungsmechanismus der EA-Ionenquelle . . . . .	678
3.5.7	Wirkungsgrad von Ionenquellen . . . . .	680
3.5.7.1	Wirkungsgradberechnung von Gas-Ionenrichtstrahlern . . . . .	680
3.5.7.2	Erforderliches Saugvermögen bei Gas-Ionenrichtstrahlern . . . . .	680
3.5.7.3	Wirkungsgradberechnung von Dampf-Ionenrichtstrahlern . . . . .	681
3.5.8	Strahlenoptischer Grenzwert des Ionen-Brennfleckstromes . . . . .	681
3.6	Abbremsung und Indikation beschleunigter Ionen . . . . .	682
3.6.1	Reichweite von Ionenstrahlen . . . . .	682
3.6.1.1	Berechnung der Reichweite von Ionenstrahlen . . . . .	682
3.6.1.2	Messungen der Reichweite von schnellen Ionenstrahlen in atmosphärischer Luft . . . . .	685
3.6.1.3	Messungen der Reichweite von schnellen Ionenstrahlen in photographischer Emulsion . . . . .	686
3.6.1.4	Reichweite von langsamen Ionenstrahlen . . . . .	687
3.6.1.4.1	Messungen über die Reichweite von Protonenstrahlen in Aluminium . . . . .	687
3.6.1.4.2	Berechnung der Reichweite für andere Bremssubstanzen und Ionenarten . . . . .	687
3.6.1.4.3	Messungen über die Reichweite von Protonenstrahlen in Luft . . . . .	687
3.6.1.5	Messungen der Reichweite von langsamen Ionenstrahlen in verschiedenen Gasen . . . . .	688
3.6.2	Metallzerstäubung durch Ionenstoß . . . . .	689
3.6.2.1	Kathodenzerstäubung in einer Glimmentladung . . . . .	689
3.6.2.2	Metallzerstäubung durch Ionenstrahlen im Hochvakuum . . . . .	690
3.6.2.2.1	Einfluß der Ionenenergie $eU$ auf die Zerstäubungsrate $\eta$ . . . . .	690
3.6.2.2.1.1	Kurven zur Größe der Zerstäubungsrate $\eta$ als Funktion der Ionenenergie $eU$ . . . . .	691
3.6.2.2.2	Der Einfluß der Ionenart auf die Zerstäubungsrate $\eta$ . . . . .	692
3.6.2.2.3	Der Einfluß der Targetart auf die Zerstäubungsrate $\eta$ . . . . .	692
3.6.2.2.4	Der Einfluß des Einfallswinkels $\alpha$ auf die Zerstäubungsrate $\eta$ . . . . .	692
3.6.2.2.5	Auftreten und Anwendung der Metallzerstäubung durch Ionenstoß . . . . .	693

3.6.3	Messung von Ionenstrahlströmen mit Auffängern . . . . .	695
3.6.4	Ionenindikation durch Leuchtschirme . . . . .	696
3.6.4.1	Leuchtschirm-Leuchtdichte bei Beschuß mit Ionen . . . . .	696
3.6.4.2	Ausbeute und Zerstörungskonstante von Leuchtschirmen bei Ionenbeschuß . . . . .	697
3.6.4.2.1	Tafel zur Ausbeute-Abnahme von Leuchtschirmen bei Ionenbeschuß . . . . .	698
3.6.5	Ionenindikation durch Ionenbildwandler . . . . .	699
3.6.5.1	Auflösungsgrenze des Parallelelektroden-Ionenbildwandlers . . . . .	699
3.6.5.2	Stromempfindlichkeit des Parallelelektroden-Ionenbildwandlers . . . . .	699
3.6.5.3	Geometrie und Ausführung eines Parallelelektroden-Ionenbildwandlers . . . . .	700
3.6.5.3.1	Strahlengang eines Parallelelektroden-Ionenbildwandlers bei seiner Verwendung im Massenspektrographen . . . . .	700
3.6.5.3.2	Horizontalschnitt durch einen Ionenbildwandler sowie ein Immersions-Elektronenmikroskop zur Beobachtung von Multipletts und Güte, Helligkeit usw. der einzelnen Massenlinien . . . . .	700
3.6.5.3.3	Vertikalschnitt durch den Ionenbildwandlerteil der Kamera eines Präzisions-Massenspektrographen . . . . .	701
3.6.5.3.4	Blick auf die Kamera eines Präzisions-Massenspektrographen mit Ionenbildwandler . . . . .	702
3.6.5.4	Daten von Bildwandlern für Korpuskularstrahlen . . . . .	703
3.6.6	Ionenindikation durch Photoschichten . . . . .	705
3.6.6.1	Ionenempfindlichkeit von Photoschichten . . . . .	705
3.6.6.2	Ionenempfindlichkeit und Auflösungsgrenze von lichtoptischen Interferenzfiltern . . . . .	705
3.7	Ionengeräte . . . . .	706
3.7.1	Systematik der Ionengeräte . . . . .	706
3.7.2	Massenspektrometer . . . . .	709
3.7.2.1	Die verschiedenen Arten von Massenspektrometern . . . . .	709
3.7.2.2	Daten verschiedener Massenspektrometer mit Richtungsfokussierung . . . . .	712
3.7.3	Massenspektrographen . . . . .	714
3.7.3.1	Die verschiedenen Arten von Präzisions-Massenspektrographen . . . . .	714
3.7.3.2	Daten verschiedener Präzisions-Massenspektrographen . . . . .	715
3.7.3.3	Präzisions-Massenspektrograph ohne Energiefokussierung. Multiplettaufnahmen . . . . .	717
3.7.3.4	Präzisions-Massenspektrograph mit Unoplasmatron-Ionenquelle und Ionenbildwandler . . . . .	718
3.7.3.4.1	Hauptmerkmale der Anlage . . . . .	718
3.7.3.4.2	Horizontalschnitt durch die Unoplasmatron-Ionenquelle und das Ionenabsaug- und Eintrittspaltsystem mit Differentialevakuiierung und Schleuse . . . . .	719
3.7.3.4.3	Horizontalschnitt durch den Präzisions-Massenspektrographen mit Unoplasmatron-Ionenquelle und Ionenbildwandler . . . . .	720
3.7.3.4.4	Ansicht der Präzisions-Massenspektrographen-Anlage mit Unoplasmatron-Ionenquelle für gasförmige und feste Substanzen sowie Ionenbildwandler. Doppelfokussierung . . . . .	722
3.7.3.4.5	Präzisions-Massenspektrograph mit Energiefokussierung. Multiplettaufnahmen . . . . .	723
3.7.3.5	Berechnung der Massendifferenz eines Dubletts bei annähernd linearer Massenskala . . . . .	724
3.7.3.6	Elektronenanlagerungs-Massenspektrograph für vielatomige Moleküle . . . . .	725
3.7.3.6.1	Der ionenoptische Strahlengang im EA-Massenspektrographen für vielatomige negative Ionen . . . . .	725
3.7.3.6.2	Ausführung des Dresdner EA-Molekülmassenspektrographen . . . . .	726
3.7.3.6.3	Massenberechnung mit Hilfe von Bezugslinien bekannter Massen beim EA-Massenspektrographen . . . . .	728
3.7.3.6.4	Bisherige Ergebnisse der Elektronenanlagerungs-Massenspektrographie . . . . .	730
3.7.3.6.4.1	EA-massenspektrometrische Bestimmung der Zahl Kohlenstoffatome in organischen Molekülen aus dem Verhältnis $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ . . . . .	733
3.7.3.6.4.2	EA-Massenspektren kondensierter aromatischer Kohlenwasserstoffe . . . . .	734
3.7.4	Ionenspektroskop . . . . .	735
3.7.4.1	Magnetisches Ionenspektroskop . . . . .	735
3.7.4.2	Parabel-Ionenspektroskop . . . . .	736
3.7.5	Magnetische Massentrenner . . . . .	737
3.7.5.1	Die verschiedenen Arten von magnetischen Massentrennern . . . . .	738
3.7.5.2	Bisherige Standardform des magnetischen Massentrenners für hohen Massentransport. . . . .	740
3.7.5.3	Magnetischer Massentrenner für hohen Massentransport bei kleinem Magnetfeldvolumen . . . . .	741
3.7.5.3.1	Strahlengang in Richtung der Hauptebene des Trennmagnetfeldes und ionenoptische Daten des Dresdner Massentrenners . . . . .	742



3.7.5.3.2	Abgewickelter Strahlengang zur Darstellung der horizontalen Strahlsammlung	742
3.7.5.3.3	Massentrenner-Ionenquelle mit Glühkathodengasentladung und axialem Magnetfeld	743
3.7.5.3.3.1	Vertikalschnitt durch die Ionenquelle mit getrennt heizbarem Verdampfungs- und Ionisierungsraum	743
3.7.5.3.3.2	Ansicht der Massentrenner-Ionenquelle mit getrennt heizbarem Verdampfungs- und Ionisierungsraum	744
3.7.5.3.3.3	Richtwerte der Ionenquelle des Massentrenners	745
3.7.5.3.4	Vertikalschnitt des magnetischen Massentrenners mit kleinem Magnetfeldvolumen	746
3.7.5.3.5	Ansicht des magnetischen Massentrenners für hohen Massentransport bei kleinem Magnetfeldvolumen	747
3.7.5.3.6	Analyse eines Ergebnisses bei Trennung von Magnesium natürlicher Zusammensetzung im Massentrenner mit kleinem Magnetfeldvolumen	747
3.7.5.4	Chargenmaterial und Temperatur des Quellenofens bei magnetischer Trennung stabiler Isotope	748
3.7.5.5	Wert der getrennten Isotopenmasse $m$ als Funktion des Ionenstromes $I_{i_{\text{Auf}}}$ mit der Trennzeit $t_B$ als Parameter	749
3.7.6	Herstellung schneller Atomstrahlen von geringer Energiestreuung	750
3.7.7	Verfeinerte Messung der Lebensdauer angeregter Zustände	750
3.7.7.1	Methode	750
3.7.7.2	Ergebnis	751
3.7.7.3	Lebensdauer angeregter Zustände des BALMERSpektrums nach einer neuen Messung und nach Messungen von WIEN, in Gegenüberstellung mit klassisch bzw. quantenmechanisch berechneten Werten	752
3.7.7.4	Meßsystem und beobachtete Leuchterscheinungen	752
3.7.8	Messung des quadratischen DOPPLER-Effektes an monoenergetischen $H^+$ -Strahlen	753
3.7.8.1	Methode	753
3.7.8.2	Ergebnis	753
3.7.9	Interferenzeigenschaften des Anregungsleuchtens von monoenergetischen $H_1$ -Atomstrahlen	753
3.7.9.1	Methodik des Spiegeldrehversuches	753
3.7.9.2	Ergebnis	754
3.7.10	Beschleuniger für Ionen	754
3.7.10.1	Grundmerkmale von Teilchenbeschleunigern mit Spiralbahn oder Kreisbahn	754
3.7.10.2	Daten linearer Resonanzbeschleuniger für Ionen	755
3.7.10.3	Daten verschiedener Zyklotrons	756
3.7.10.4	Daten von Synchro-Zyklotrons	757
3.7.10.5	Daten von Synchrotrons	758

