



aus JENA

Applikationsinformation

Mikroskopie

VEM 1/83

Formelsammlung zur Mikroskopie

Die folgende Formelsammlung enthält die gebräuchlichsten Formeln und Berechnungsgrundlagen in der Mikroskopie.

Sie dient zur Unterstützung der Ausbildung und als schnell verfügbare Hilfe für häufige Meßaufgaben in den unterschiedlichen Mikroskopierverfahren.

Ausgegangen wird von den theoretischen Grundlagen der Optik und der Mikroskopie, die den Bereich und die Leistungsfähigkeit der Lichtmikroskopie verdeutlichen.

1. Optische Grundlagen

1.1. Lichtausbreitung in optischen Medien

Lichtgeschwindigkeit

$$c = \lambda \cdot \nu$$

c... Lichtgeschwindigkeit

λ ... Wellenlänge des Lichtes

ν ... Frequenz des Lichtes

- Die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum beträgt angenähert 300 000 km/s.
- Die Wellenlängen der sichtbaren Strahlung reichen von 400 bis etwa 720 nm.
- Die Geschwindigkeit und die Wellenlänge des Lichtes ändern sich in Abhängigkeit von der optischen Dichte des zu durchquerenden Mediums.

JENOPTIK JENA GmbH · DDR

Brechzahl

$$n_M = \frac{c_L}{c_M}$$

$$\lambda_L = n_M \lambda_M$$

- n_M ... Brechzahl des Mediums
- c_L ... Lichtgeschwindigkeit in Luft
- c_M ... Lichtgeschwindigkeit im Medium
- λ_L ... Wellenlänge in Luft
- λ_M ... Wellenlänge im Medium

Energie

$$E = h \nu$$

- E ... Energie
- h ... Plancksches Wirkungsquantum
- ν ... Frequenz der Schwingung

- Die Energie ist direkt proportional der Frequenz der Strahlung.
- Absorption von Energie durch optische Medien führt zur Verringerung der Frequenz.
- Abbesche Zahl (Maßzahl für die Dispersion)

$$\zeta = \frac{n_d - 1}{n_F - n_C}$$

- ζ ... Abbesche Zahl
- n_d, n_F, n_C sind die Brechzahlen für die Fraunhoferschen Linien im Sonnenspektrum entsprechenden Wellenlängen

- Helium d-Linie: 587,6 nm (gelb)
- Wasserstoff F-Linie: 486,1 nm (blaugrün)
- Wasserstoff C-Linie: 656,3 nm (rot)

- ζ wird kleiner mit wachsender Dispersion.

Optische Weglänge

$$s_{opt} = n s$$

- s_{opt} ... optische Weglänge
- s ... geometrische Weglänge

- Die optische Weglänge ist immer größer oder gleich der geometrischen Weglänge.

Reflexion

$$\alpha = \beta$$

- α ... Einfallswinkel
- β ... Ausfallswinkel

- Die Größe des Einfalls- und Ausfallswinkels der Strahlung stimmen überein.

Brechung

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_1}{n_2}$$

(Snelliussche Brechungsgesetz)

$n_1 \dots$ Brechzahl des Mediums des einfallenden Strahls

$n_2 \dots$ Brechzahl des Mediums des gebrochenen Strahls

- Beim Übergang vom optisch dünneren zum dichteren Medium wird der Lichtstrahl zum Einfallslot hin gebrochen
- Beim Übergang vom optisch dichteren zum dünneren Medium wird der Lichtstrahl vom Einfallslot weg gebrochen

Totalreflexion

Überzieht der gebrochene Strahl bei Übergang vom dichteren zum dünneren Medium den Winkel von 90° (streifender Ausfall), erfolgt keine Brechung, sondern vollständige Reflexion des Lichtes.

Der Grenzwinkel des einfallenden Lichtstrahls errechnet sich zu

$$\sin \alpha_B = \frac{n_2}{n_1}$$

$n_2 \dots$ Brechzahl des optisch dünneren Mediums

falls dünneres Medium
Luft

$$\sin \alpha_B = \frac{1}{n_1}$$

$n_1 \dots$ Brechzahl des optisch dichteren Mediums

- Grenzwinkel für Wasser gegen Luft: $48,75^\circ$
- Grenzwinkel für Diamant gegen Luft: $24,63^\circ$

Brewsterscher Winkel

Beträgt der Winkel zwischen reflektiertem und gebrochenem Strahl 90° , so ist der reflektierte Strahl linear polarisiert. Der Einfallswinkel wird Brewsterscher Winkel genannt.

$$\tan \alpha_{Br} = \frac{n_2}{n_1}$$

$\alpha_{Br} \dots$ Brewsterscher Grenzwinkel

(Brewstersches Gesetz)

• für Luft folgt $n_1 = 1$ und $\tan \alpha_{Br} = n_2$

1.2. Helligkeit und Kontrast

Lichterregung

$$u = E_{\max} \exp [i(\omega t + \varphi_0)]$$

$E_{\max} \dots$ Amplitude der Schwingung

$\omega \dots$ Kreisfrequenz

$t \dots$ Zeit

$\varphi_0 \dots$ Ausgangsphasenlage

Intensität

$$I = u u^* \quad \text{bzw.} \quad I \sim E_{\max}^2 \quad u^* \dots \text{Komplexkonjugierte zu } u$$

- Die Intensität ist dem Amplitudenquadrat der Schwingung proportional.

Bildkontrast

$$\gamma = \frac{I_1 - I_2}{I_1}$$

- I_1 ... Intensität im Untergrund
- I_2 ... Intensität im Objekt
- γ ... Kontrast

2. Theoretische Grundlagen am Mikroskop

Auflösungsvermögen

$$d_{\min} = \frac{\lambda}{2 A}$$

$$A = n \sin \alpha$$

- d_{\min} ... minimaler Abstand zwischen gerade noch auflösbaren Objektstrukturen
- A ... numerische Apertur
- n ... Brechzahl des Mediums zwischen Objektiv und Probe
- α ... halber Öffnungswinkel vom Objektiv zur Probe

Tabelle 1: Beispiele für die theoretische Auflösungsgrenze einiger Objektive in Abhängigkeit von Apertur und Wellenlänge

Objektiv	400 nm	550 nm	720 nm
Achromat 3,2/0,10	2	2,75	3,6
Achromat 10/0,25	0,8	1,1	1,44
Apochromat 40/0,95	0,21	0,29	0,36
Apochromat HI 100/1,4	0,14	0,20	0,26
Achromat 63/0,80	0,25	0,34	0,45

Angabe der Auflösungsgrenze in μm

Tabelle 2: Auflösungsvermögen und Erkennbarkeitsgrenzen unter verschiedenen Bedingungen
(Seite 5)

- A_k ... Kondensorapertur
- A_0 ... Objektivapertur

	kohärente Beleuchtung sehr kleine A_k	partiell kohärente Beleuchtung $A_k = A_0$	inkohärente Beleuchtung selbstleucht. fluoreszier.
Grenzauflösung für periodisches Obj. p... Gitterkonst.	gerade Bel. $p = \frac{\lambda}{n \sin \alpha}$ schräge B. $p = \frac{\lambda}{2n \sin \alpha}$	$p = \frac{\lambda}{2n \sin \alpha}$	$p = \frac{\lambda}{2n \sin \alpha}$
Grenzauflösung für 2 helle Punkte auf schwarzem Grund	$d = \frac{1,63 \lambda}{2n \sin \alpha}$	$d = \frac{1,22 \lambda}{2n \sin \alpha}$	$d = \frac{1,22 \lambda}{2n \sin \alpha}$
kleinster Radius des gerade noch erkennbaren schwar- zen Scheibchens auf hellem Grund	$r = \frac{0,08 \lambda}{2n \sin \alpha}$	$r = \frac{0,08 \lambda}{2n \sin \alpha}$	$r = \frac{0,12 \lambda}{2n \sin \alpha}$
Grenze der Erkenn- barkeit eines hel- len Scheibchens auf schwarzem Grund	Hängt nur von der Leuchtstärke (Leuchtdichte) ab		
Kleinste Breite einer gerade noch erkennbaren Linie auf hellem Grund	$b = \frac{0,01 \lambda}{2n \sin \alpha}$	$b = \frac{0,01 \lambda}{2n \sin \alpha}$	$b = \frac{0,02 \lambda}{2n \sin \alpha}$
Grenze der Erkennbarkeit einer hellen Linie auf schwarzem Untergrund hängt nur von der Beleuchtungsstärke bzw. von der Leuchtdichte ab.			

Vergleich Elektronenmikroskop

$$\lambda = \frac{h}{m v} = \frac{12,3}{\sqrt{U}} \text{ [Å]}$$

- λ ... Wellenlänge der Teilchen-
strahlung
h... Plancksche Wirkungsquantum
m... Masse der Korpuskel
v... Geschwindigkeit der Teilchen
U... Spannung

- Die Wellenlängen der Elektronenstrahlung liegen praktisch zwischen 0,01 und 0,001 nm
- Die Aperturen liegen zwischen 0,001 und 0,01
- Das Auflösungsvermögen erstreckt sich somit theoretisch bis auf 0,05 nm; praktisch erreicht ist etwa 1 nm

Vergrößerung

$$V = \frac{250}{f'} \quad \text{Lupenvergrößerung}$$

- V... Vergrößerung
f'... Brennweite der Lupe

$$V_{\text{Mikr}} = \frac{250 \cdot t}{f'_{\text{Obj}} \cdot f'_{\text{Ok}}} = M_{\text{Obj}} \cdot V_{\text{Ok}}$$

M_{Obj} ... Abbildungsmaßstab des Objektivs

$$V_{\text{Ok}} = \frac{250}{f'_{\text{Ok}}}$$

V_{Ok} ... Vergrößerung des Okulars

V_{Mikr} ... Vergrößerung des Mikroskops

$$M_{\text{Obj}} = - \frac{t}{f'_{\text{Obj}}}$$

t ... Tubusfaktor

f'_{Obj} ... Brennweite des Objektivs

f'_{Ok} ... Brennweite des Okulars

Förderliche Vergrößerung

$$500 A \leq V_f \leq 1000 A$$

A ... numerische Apertur

V_f ... förderliche Vergrößerung

Tabelle 3: Maximale förderliche Vergrößerung einiger Objektive

Achromat 3,2/0,10	Achromat 10/0,25	Apochromat 40/0,95	Achromat 63/0,80	Apochromat HI 100/1,4
100 x	250 x	950 x	800 x	1400 x

Schärfentiefe

$$T = n \left(2 \frac{\lambda}{A^2} + \frac{340}{A \cdot V_{\text{Mikr}}} \right)$$

T ... Gesamtabbildungstiefe des Mikroskops

Tabelle 4: Gesamtabbildungstiefe von Mikroskopausrüstungen mit dem Tubusfaktor 1x und Okular 10x

Achromat 3,2/0,10	Achromat 10/0,25	Apochromat 40/0,95	Achromat 63/0,80	Apochromat HI 100/1,4
27,6	4,4	0,3	0,4	0,2

Abbildungstiefe in μm

Durchmesser der Austrittspupille des Mikroskops

$$D_{\text{AP}} = 500 \frac{A}{V_{\text{Mikr}}}$$

D_{AP} ... Durchmesser der Austrittspupille

Tubuslängenänderung zur Kompensation einer Deckglasdickenabweichung

$$\Delta t_m = 0,44 d M_{\text{Obj}}^2 \quad [\text{mm}]$$

d ... Deckglasdickenabweichung

Δt_m ... Tubuslängenänderung

Deckglasdickenabweichung

$$\sigma_d = \frac{1,6}{A^4} \quad [\text{mm}]$$

σ_d ... zulässige Deckglasdickenabweichung

Maßstabsänderung im Zwischenbild bei Tubuslängenänderung

$$\Delta M_{\text{Obj}} = \frac{\Delta t_m}{f_{\text{Obj}}}$$

Durchsichtigkeitsgrad bei Filtern in Abhängigkeit von der Dicke

$$J = \delta^d$$

$$d = \frac{d_{\text{neu}}}{d_{\text{alt}}}$$

J ... Transmission neu

δ ... Transmission alt

d_{neu} ... Dicke des Filters bei Transmission J

d_{alt} ... Dicke bei Transmission δ

Strahlversetzung durch Planparallelplatte

$$\Delta s = d \frac{\sin(\alpha - \beta)}{\cos \beta}$$

für kleine Winkel

$$\Delta s \approx d \alpha \frac{n_p - 1}{n_p}$$

α ... Einfallswinkel

β ... Brechungswinkel

Δs ... Versetzungsgröße

d ... Dicke der Platte

n_p ... Brechzahl der Platte

3. Mikroskopische Verfahren

3.1. Polarisationsmikroskopie

- Die in doppelbrechenden Medien durch Aufspaltung entstehenden zwei Wellen haben verschiedene Geschwindigkeit und damit unterschiedliche Brechzahlen
- Beide Wellen durchlaufen im Medium der Dicke d ungleiche optische Weglängen und erhalten einen Gangunterschied

Gangunterschied

$$R = d(n'_y - n''_y)$$

R ... Gangunterschied

n'_y ... Brechzahlen der beiden

n''_y ... Komponenten

Phasendifferenz

$$\delta = \frac{2\pi R}{\lambda}$$

δ ... Phasendifferenz

Auslöschung und Verstärkung

$$R = (2k + 1) \frac{\lambda}{2} \quad \text{Helligkeit}$$

$$R = k \lambda \quad \text{Dunkelheit}$$

Dispersion der Doppelbrechung

$$N = \frac{(n_{\gamma} - n_{\alpha})_D}{(n_{\gamma} - n_{\alpha})_F - (n_{\gamma} - n_{\alpha})_C}$$

N... Kehrwert der relativen Dispersion

Kompensatormethoden

nach Senarmont (azimutal drehbare Glimmerplatte mit $R = \frac{\Delta}{4}$ drehbarer Analysator erforderlich)

$$R = \frac{\beta}{180} \lambda$$

β ... Drehwinkel des Analysators

nach Brace-Köhler (Glimmerplatten mit Gangunterschieden von $\frac{\Delta}{10}$ bis $\frac{\Delta}{30}$)

$$R_1 = -R_2 \sin 2\gamma_2$$

R_2 ... Eichwert des Kompensators

γ_2 ... gemessene Azimutaldifferenz zwischen Nulllage und Kompensationslage des Kompensators

Achsenwinkelkorrektur

$$n_{\beta} \sin \varphi = \sin \psi$$

φ ... Achsenwinkel

ψ ... Winkel nach Kristallaustritt (meßbar)

3.2. Interferenzmikroskopie

Gangunterschied

$$\Delta = d \cdot n$$

Δ ... Gangunterschied

d ... Dickenunterschied im Objekt

n ... Brechzahlunterschied

$$\Delta = \frac{\Delta S}{b}$$

ΔS ... Streifenversetzung

b ... Streifenabstand

$\frac{\lambda}{4}$ - Bedingung

$$\frac{b \cdot B}{f} < \frac{\lambda}{4}$$

b... Spaltbreite
f... Kondensorbrennweite
B... Bildaufspaltung auf Objekt-
ebene bezogen

Objektgröße im "interphako"-Verfahren

$$f' = \frac{k \cdot r}{f} \Delta R$$

f'... zulässige Objektgröße
k... Wellenzahl
r... Radius des kreisförmigen Objekts
f'... wirksame Brennweite des abbil-
denden Systems
 ΔR ... Breite der Ringblende im
Interferometer

Meßtrommelablesung

$$\Delta = \Delta_{\text{Skt}} \cdot K$$

Δ_{Skt} ... an der Meßtrommel abgelesene
Skalenteildifferenz
K... Eichfaktor

. Eichfaktor K kann aus der Anzahl der Meßtrommelteile für die Verschiebung der Interferenzstreifen um einen Streifenabstand ermittelt werden

Dickenbestimmung

$$d = \frac{\Delta}{n_0 - n}$$

bei bekannter Brechzahl n_0

Δ ... Gangunterschied
d... Dicke des Objekts
 n_0 ... Brechzahl des Objekts
 n ... Brechzahl des Einbettmittels

$$d = \frac{\Delta_1 - \Delta_2}{n_2 - n_1}$$

bei unbekannter Brechzahl n_0

Δ_1 ... Gangunterschied gemessen bei
Einbettung mit Medium der
Brechzahl n_1
 Δ_2 ... desgleichen mit Medium der
Brechzahl n_2

$$\Delta_1 = d (n_0 - n_1)$$

$$\Delta_2 = d (n_0 - n_2)$$

Trockenmassebestimmung

$$n = n_W + \alpha C$$

n... Brechzahl der Lösung
 n_W ... Brechzahl des Lösungsmittels
C... Konzentration der gelösten
Substanz in g/100 ml
 α ... spezifisches Brechungsinkre-
ment (liegt bei 0,0018 ml/g)

$$M = \frac{\Delta p F}{n_m - n_E} \quad [g]$$

- M... Trockenmasse der ungelösten Substanz
 Δ ... gemessener Gangunterschied
 p... Dichte der ungelösten Trockensubstanz
 F... Fläche des Objekts
 n_m ... Brechzahl der ungelösten Trockensubstanz
 n_E ... Brechzahl des Einbettmediums

Brechzahl von Flüssigkeiten

$$n = n_o - \frac{\Delta}{d}$$

- $n > n_o \curvearrowright \Delta$ negativ
 $n < n_o \curvearrowright \Delta$ positiv
 n ... Brechzahl des Einbettmediums

Mikroskoprefraktometer

$$n = n_o - \frac{\Delta S \lambda}{b d}$$

- ΔS ... Streifenauslenkung
 b... Streifenabstand
 n ... Brechzahl der in der Nut befindlichen Flüssigkeit

Rauhtiefe im Auflicht

$$R = \frac{\Delta S \lambda}{b} \frac{\lambda}{2}$$

- R...Rauhtiefe

Neigungswinkel

$$\tan \theta = \frac{\Delta S \lambda}{(n' - n) a}$$

- θ ... Neigungswinkel des Objektkeils
 ΔS ... Streifenauslenkung
 n' ... Brechzahl des Einbettmediums
 n ... Brechzahl des Objekts
 a... Bildaufspaltung

3.3. Mikrofotografie

Maßstab des Negativs

$$M_{\text{Negativ}} = V_{\text{Mikr}} \frac{k}{250}$$

$$M_{\text{Negativ}} = M_{\text{Obj}} M_{\text{Proj}} p$$

$$p = \frac{k}{250} \quad \dots \text{Kamerafaktor}$$

- M_{Negativ} ... Maßstab des Negativs
 M_{Proj} ... Maßstab des Projektivs

Schwärzungskurve

$$\tan \alpha = \frac{\Delta S}{\Delta B} = \gamma$$

$$S = \log \frac{1}{\gamma}$$

$$B = E t$$

ΔS ... Schwärzung
 ΔB ... Belichtung
 t ... Belichtungsdauer
 E ... Beleuchtungsstärke
 γ ... Gradationskoeffizient

- Schleier, bedingt durch bereits in jeder Fotoschicht vorhandene Silberkeime, entspricht unterem Teil der Schwärzungskurve
- Unterexposition, bedingt durch überempfindliche Silberkörner, Helligkeitsverhältnisse im Objekt werden nicht richtig wiedergegeben, entspricht dem beginnenden flachen Anstieg der Schwärzungskurve
- Normale Exposition, Schwärzung wächst proportional zur Belichtung, entspricht geradem Kurvenverlauf
- Überexposition, alle Silberkörner sind entwickelbar geworden, weitere Belichtung bringt keinen Schwärzungszuwachs, entspricht dem Sättigungsverlauf der Kurve
- Solarisation, Abnahme der Schwärzung bei weiterer Überbelichtung

Schwarzschildexponent

$$\frac{E_1}{E_2} = \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^p$$

p ... Schwarzschildexponent (immer kleiner 1)

Farbtemperatur

$$T_{F/\text{dekamired}} = \frac{10^5}{T_{F/K}}$$

T_F ... Farbtemperatur

Umrechnung der Farbtemperatur in das mired- (dekamired-) System

Konversionsfilterbestimmung

Filter-dekamired Wert = Film-dekamired Wert - Licht-dekamired Wert

DIN-ASA-Relation

$$\text{DIN} = 10 (\log \text{ASA} + 0,1)$$

DIN... Empfindlichkeit des fotografischen Materials in DIN-Zahlen
ASA... desgleichen in ASA-Zahlen

Tabelle zur DIN-ASA-Relation

DIN	15	18	21	24	27	30	33	36
ASA	25	50	100	200	400	800	1600	3200
GOST	22	45	90	180	360	720	1440	2880

Die Tabelle gibt zusätzlich eine Übersicht zum GOST-Standard (UdSSR).

Tubeverlängerung bei Verwendung von Okularen zur Mikrofotografie

$$t_m = \frac{f_{Ok}^2}{k} = \frac{250^2}{k \cdot v_{Ok}^2} \quad k \dots \text{optische Kameralänge}$$

Tabelle zur Tubuslängenveränderung bei Verwendung von Okularen zur Mikrofotografie bei einer optischen Kameralänge von k = 125 mm

v_{Ok}	5 x	6,3 x	8 x	10 x	12,5 x	16 x	20 x
t_m	20	12,5	8	5	3	2	1 (in mm)

Änderung der Farbtemperatur in Abhängigkeit von der Versorgungsspannung bei Halogenlampen

$$\frac{T_F}{T_{Fo}} = \left(\frac{U}{U_o} \right)^a$$

- a... für Halogenlampen etwa 0,34
- T_{Fo} ... Farbtemperatur bei Nennspannung U
- T_F ... Farbtemperatur bei Betriebsspannung U

Mikroprojektion

$$D_B = \frac{S_P}{f_{Ok}} \times SFZ$$

- D_B ... Durchmesser des Bildes
- S_P ... Projektionsentfernung
- f_{Ok} ... Okularbrennweite
- SFZ ... Feldzahl des Okulars

Belichtungszeit - Filmempfindlichkeit

$$t_{neu} = \left(\frac{\text{alte ASA}}{\text{neue ASA}} \right)^2 \times t_{alt}$$

- t_{neu} ... neue Belichtungszeit
- t_{alt} ... alte Belichtungszeit

3.4. Mikrofotometrie

Transmissionsgrad

$$\tau = \frac{\Phi_n}{\Phi_o}$$

- τ ... Reintransmissionsgrad
 Φ_n ... Strahlungsfluß nach Objektdurchgang
 Φ_o ... Strahlungsfluß vor Objektdurchgang

Absorptionsgrad

$$\alpha = \frac{\Phi_o - \Phi_n}{\Phi_o}$$

α ... Reinabsorptionsgrad

- Transmission und Absorption sind wellenlängenabhängig

Extinktion

$$E_\lambda = \log \frac{1}{\tau_\lambda}$$

E_λ ... Extinktion

$$E = m d$$

m ... Masse
 d ... Objektdicke

(Lambertsches Gesetz)

- Absorption und damit Transmission und Extinktion sind der Schichtdicke des Objekts proportional

$$E_\lambda = \epsilon_\lambda c d$$

ϵ_λ ... Extinktionskonstante
 c ... Konzentration

(Lambert-Beersches Gesetz)

- Das Lambert-Beersche Gesetz gilt als Grundlage der Absorptionsfotometrie

Mengenbestimmung

$$M = \frac{1}{\epsilon_\lambda} E_\lambda A$$

M ... Masse im Objekt
 A ... Fläche des Objekts

$$M_{\text{Plug}} = \frac{1}{\epsilon_\lambda} E_{\lambda, \text{Plug}} A_{\text{Plug}}$$

- Plug-Methode kann zur Mengenbestimmung herangezogen werden, wenn das Objekt eine einfache geometrische Gestalt besitzt (z. B. Kugelförmige Zellkerne)

Gesamtgehalt an absorbierender Substanz im kugelförmigen Zellkern

$$M_K = \frac{1}{\epsilon_\lambda} E_{\lambda, \text{Plug}} \frac{4\pi r^2}{3}$$

M_K ... Gesamtgehalt im Zellkern
 r ... Radius des Meßfeldes (Plug)
 $v_{\text{Plug}} = \frac{4\pi r^2}{3}$ (Volumen des Plug)
 $v = \frac{4\pi R^2}{3}$ (Volumen des Kerns)

3.5. Mikroeindruckhärte

Härte nach Vickers

mit quadratischer Pyramide als Eindringkörper

$$H_V = 0,189 \frac{F}{d^2}$$

F... Prüfkraft in N
d... Diagonale in mm

Härte nach Knopp

mit rhombischem Eindringkörper

$$H_K = 1,4515 \frac{F}{l^2}$$

l... lange Diagonale in mm

Fehler bei der Diagonalenmessung

$$d = 1,22 \varkappa \frac{\cot \alpha / 2}{A}$$

α ... Eckenwinkel des Eindrucks, bei Vickers 90° , bei Knopp 16°
 \varkappa ... vom Kontrastverhältnis und vom Beobachter abhängiger Faktor (zwischen 0,4 und 0,5)
A... Apertur des Objektivs

3.6. Messen und Zählen

Skalenkonstante

$$K' = \frac{n}{n'} K$$

K'... Skalenkonstante
K... Teilstrichabstand in der Objektmeßplatte
n... Anzahl der sich mit n' Teilen in der Okularmeßplatte deckenden Teile der Objektmeßplatte

Streckenmessung mit Kreuztisch

$$l = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}$$

$(x_1; y_1)$... Koordinaten am Ausgangspunkt der zu messenden Strecke
 $(x_2; y_2)$... Koordinaten am Endpunkt der zu messenden Strecke
l... Länge der Strecke

Windschiefenmessung

$$l_{\text{Windschiefe}} = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2}$$

Δx ... $x_2 - x_1$
 Δy ... $y_2 - y_1$
 Δz ... $z_2 - z_1$ (Höhenunterschied)

Trefferzählung nach Glagolev

$$p_A = \frac{V_A}{V} = \frac{N_A}{N}$$

p_A ... Anteil der Komponente A am Gesamtvolumen
 V ... Volumen
 N ... Gesamtzahl der Testpunkte
 N_A ... Anzahl der auf Komponente A fallenden Treffer

Durchmesser des flächengleichen Kreises

$$d_F = \sqrt{\frac{4 A}{\pi}}$$

A ... vom Kornumriß eingeschlossene Fläche

Volumen

$$V = d \sum_i A_i$$

A_i ... Flächenelement

Standardabweichung bei Korngrößenanalyse

$$\zeta = \sqrt{\frac{p(100-p)}{N}}$$

p ... relative Häufigkeit
 N ... Teilchenanzahl
 ζ ... Standardabweichung

Korngröße im Gefüge

• Mittlere Korngröße: als Maß gilt die mittlere Länge der Abschnitte, die von einer zufälligen Meßlinie bekannter Länge L in den Körnern verlaufen

$$d_{\text{Heyn}} = \frac{L}{n}$$

n ... Anzahl der Schnitte mit Korngrenzen
 d_{Heyn} ... mittlere Korngröße nach Heyn

Spezifische Oberfläche einer Phase

$$SA = \frac{4 N_A}{L_A}$$

SA ... spezifische Oberfläche der Phase A
 N_A ... Anzahl der geschnittenen Körner
 L_A ... Gesamtlänge der Sehnenlängen (Schnittlängen in den Körnern)

Literatur:

- Beyer, H., Handbuch der Mikroskopie, 2. Aufl. 1977
VEB Verlag Technik Berlin
- Michel, K., Die Grundlagen der Theorie des Mikroskops
Stuttgart, Wissenschaftl. Verlagsges. 1950
- , Die Mikrophotographie, Bd X
Wien, New York, Springer-Verlag 1957
- van Maeren, P., statische en kinematische microscopie
Elsevier Amsterdam/Brussel 1976
- Françon, M., Einführung in die neueren Methoden der
Lichtmikroskopie
Karlsruhe, Verlag G. Braun 1967
- Burri, C., Das Polarisationsmikroskop
Basel, Verlag Birkhäuser 1950
- Bergner, Gelbke, Einführung in die praktische Mikrofoto-
Mehliss grafie
Halle, VEB Fotokinoverlag 1961
- Oettel, W., Grundlagen der Metallmikroskopie
Akademische Verlagsgesellschaft, Geest &
Portig, Leipzig 1959

Verfasser: Hartmut Steffen