

Versuchsanleitung O 3 : Lichtschnittmikroskop

1. Einleitung

Die Oberfläche eines Körpers besitzt eine Grobgestalt (z.B. die eines Quaders oder eines Zylinders) und eine Feingestalt, die sich bei mikroskopischer Betrachtung in der Form von Rillen, Mulden, Poren, Rauigkeiten, Kratzern, Rissen u.a.m. offenbart.

Mit einem einfachen Auflichtmikroskop lassen sich an dieser mikrogeometrischen Gestalt nur laterale Größen beobachten und messen; ein Erfassen der Tiefe ihrer Elemente ist erst mit einem Lichtschnittmikroskop möglich.

2. Grundlagen

Beim Lichtschnittverfahren nach Schmaltz wird das Bild B eines Spaltes S mittels eines Objektivs O_1 unter einem Winkel von 45° zur Flächennormalen n auf die zu untersuchende Fläche A projiziert (vgl. Bild 1). Die Längsrichtung des Spaltes steht dabei senkrecht auf der Zeichenebene.

Weil das Objektiv O_1 nur eine geringe Schärfentiefe besitzt und beide Kanten des Spaltbildes wegen des schrägen Lichteinfall unterschiedlich weit von O_1 entfernt sind, kann man immer nur eine Kante des Spaltbildes scharf abbilden, während die andere zwangsläufig unscharf wird. Die scharfe Kante soll im folgenden Text als Messkante bezeichnet werden.

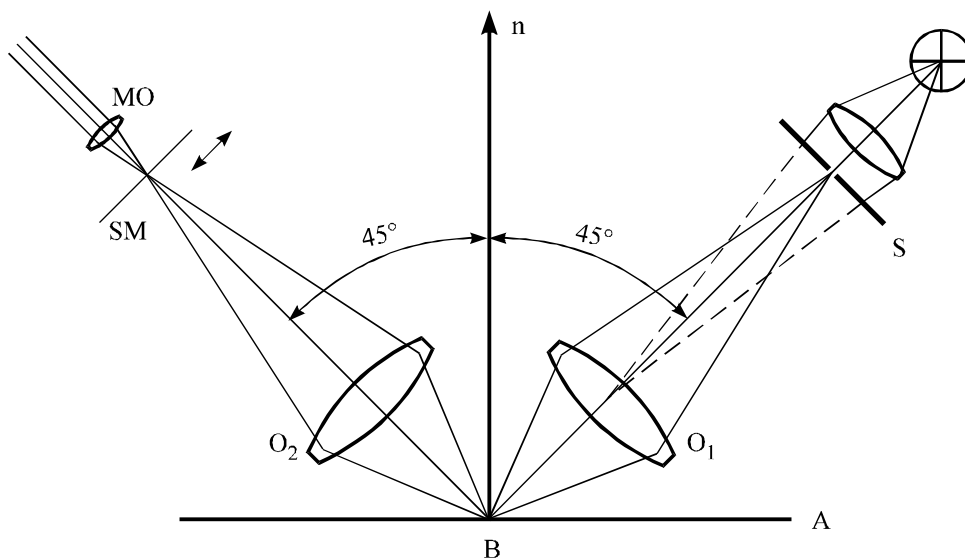


Bild 1 Schematischer Strahlengang beim Lichtschnittverfahren nach Schmaltz

Mit einem Mikroskop (Objektiv O_2 , Messschraubenokular MO) beobachtet man unter einem Winkel von 45° zu n bzw. 90° zum Lichteinfall die Messkante. Ist A eine völlig ebene Fläche, so sieht man die Messkante als gerade Linie. Ist A dagegen uneben (rauh, profiliert), so ist die Messkante entsprechend verformt und gibt so Aufschluss über die Oberflächenform von A. Im Messschraubenokular befindet sich eine Strichmarke SM, die messbar verschoben werden kann. Mit ihr lässt sich die Verformung der Messkante ausmessen.

An einem Beispiel soll die Verformung der Messkante erläutert werden. Die Fläche A weise eine Stufe auf, d.h. sie bestehe aus den beiden unterschiedlich hoch liegenden Teilen A_1 und A_2 . Die Form der Messkante zeigt dann Bild 2.

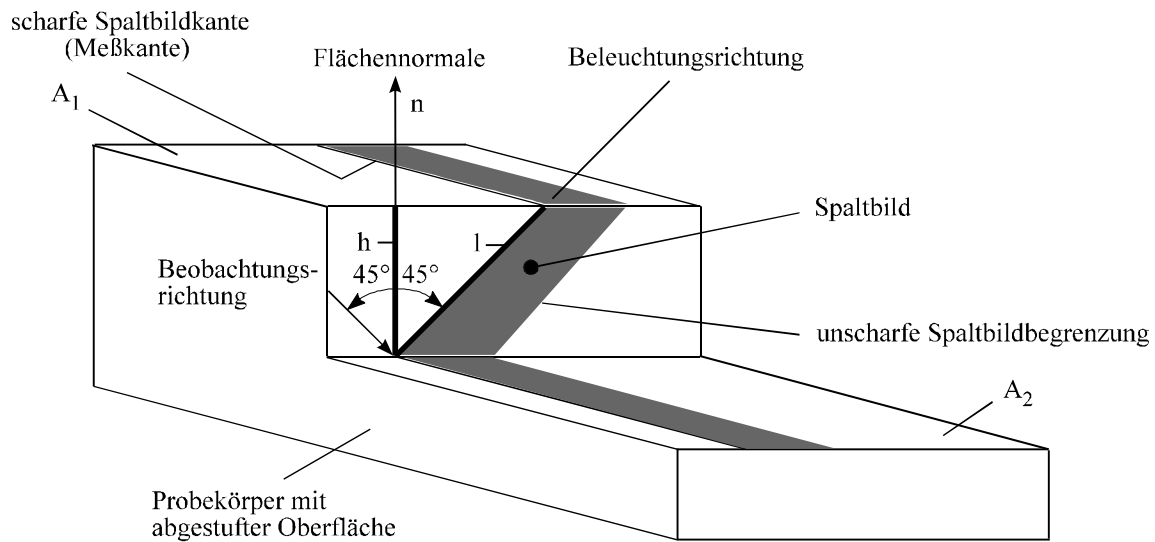


Bild 2 Spaltbild auf abgestufter Oberfläche

Wegen der unter 45° erfolgenden Spaltbildprojektion und der dazu senkrechten Beobachtung ist der bei Betrachtung der Messkante sichtbare Sprung l um den Faktor $\sqrt{2}$ größer als der tatsächliche Höhenunterschied h .

Bei der Betrachtung ist zu berücksichtigen, dass das Mikroskop (O2; MO) das Bild umkehrt. Im Okular würde man bei Beobachtung des Spaltbildes (Bild 2) etwa das Bild 3 sehen.

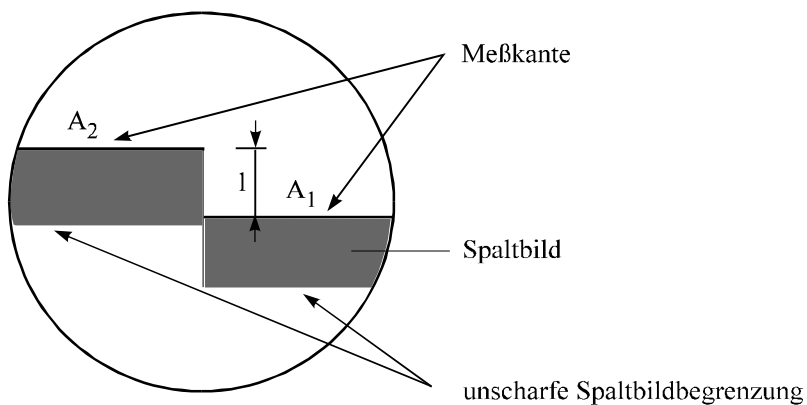


Bild 3 Okularbild des Spaltbildes (Bild 2)

3. Versuchsanordnung

Wie schon erwähnt, besitzt O_1 eine geringe Schärfentiefe. Wird h (und damit l) zu groß, so kann man die Messkante nicht mehr überall (z.B. auf A_1 und A_2 in Bild 2) gleichzeitig scharfstellen; d.h. der Messbereich für h ist begrenzt. Deshalb ist das Lichtschnittmikroskop mit verschiedenen Objektivpaaren ausgerüstet, deren Messbereiche am Arbeitsplatz angegeben sind.

Man beginnt stets mit der kleinsten Vergrößerung und steigert sie im Bedarfsfall durch Auswechseln der Objektivpaare so lange, bis der richtige Messbereich gefunden ist. Das Objektiv O_2 hat die gleiche geringe Schärfentiefe wie O_1 . Für die Betrachtung der Messkante ist das ohne Belang, da sie ungeachtet der auf A vorhandenen Höhenunterschiede stets in einer zur optischen Achse des Betrachtungsmikroskops senkrechten Ebene liegt. Die Fläche selbst ist aber natürlich nur in der Umgebung der Messkante scharf zu sehen.

Das verwendete Lichtschnittmikroskop erlaubt 3 verschiedene Spaltbilder :

- ein helles Feld mit schwarzer Liniengruppe (zum Scharfstellen und Justieren und für die Messung an schlecht reflektierenden Flächen)
- ein breiter Einzelspalt (für die Messung von Profilen und Schichtdicken)
- ein schmaler Einzelspalt (für die Schichtdickenmessung).

Für jedes ausgewählte Objektivpaar ist eine Skalenwertbestimmung vorzunehmen. Dazu beleuchtet man die Skale eines Objektmikrometers (Skalenwert b) mit dem Spaltbild 1) oder 2).

Dann tastet man mit der Strichmarke des Messschraubenokulars eine selbstgewählte Anzahl z von Skalenteilen des Objektmikrometers ab und stellt fest, um wieviel Skalenteile z' die (im Okularinneren sichtbare) Anzeige des Messschraubenokulars fortschreitet.

Der Skalenwert k des Messschraubenokulars (in Verbindung mit dem ausgewählten Objektivpaar) ist dann

$$k = \frac{z b}{z'} . \quad (3 - 1)$$

Beim Messen eines Objektes (Schichtdicke, Profiltiefe) dreht man das Messschraubenokular so, dass die Strichmarke parallel zum Spaltbild liegt. Man stellt nun fest, um wieviel Skalenteile z^* die Messschraube zu verstellen ist, um von der tiefsten (relevanten) zur höchsten (relevanten) Stelle der Messkante zu gelangen.

Für l gilt dann

$$l = k z^* \quad (3 - 2)$$

und wegen $l = \sqrt{2} h$ (vgl. Bild 2) folgt daraus

$$h = \frac{k}{\sqrt{2}} z^* . \quad (3 - 3)$$

Wird mit der gleichen Objektiv-Okular-Kombination eine laterale Größe (z.B. ein Abstand a) gemessen und die Verschiebung auf der Okularskale ist dabei z_a , so wird a natürlich nur als

$$a = k z_a \quad (3 - 4)$$

berechnet.

4. Aufgaben

- 4.1. Für zwei Objektivpaare ist mit Hilfe eines Objektmikrometers die Skalenwertbestimmung für das Messschraubenokular durchzuführen.
- 4.2. Die Dicke einer Schicht auf einer Unterlage ist zu messen (mit Fehlerangabe).
- 4.3. Es sind die kennzeichnenden Größen einer strukturierten Oberfläche zu gewinnen (mit Fehlerangabe).

5. Fragen

- 5.1. Geben Sie die Formel für die sogenannte Normalvergrößerung eines Mikroskopes an.
- 5.2. Skizzieren Sie den Strahlengang im Beobachtungsmikroskop bei visueller Beobachtung mit entspanntem Auge.
- 5.3. Was versteht man unter der optischen Tubuslänge t eines Mikroskopes?
- 5.4. Ein Mikroskopobjektiv hat 8 mm Brennweite; die optische Tubuslänge ist $t = 160$ mm . Wievielfach ist das Zwischenbild vergrößert, wenn es in der Okularbrennebene entsteht?
- 5.5. Was beinhaltet der Begriff "entspanntes Auge"?
- 5.6. Auf einer Objektskale (Skalenwert 0,01 mm) tastet man $z = 70$ Teilstrichabstände ab, wodurch die Anzeige des Messokulars (MO) von 148 Skt auf 604 Skt fortschreitet. Welchen Skalenwert k hat das MO?
- 5.7. Was versteht man unter der sogenannten deutlichen Sehweite oder Bezugssehweite S ?
- 5.8. An welcher Stelle im Strahlengang des Mikroskopes muss sich das Fadenkreuz des Messokulars befinden?
- 5.9. Rasterelemente (Näpfchen) haben einen Abstand $R = 208,3 \mu\text{m}$. Welcher Rasterzahl (Näpfchen pro cm) entspricht das?
- 5.10. Erläutern Sie, warum bei der Tiefen- und Schichtdickenmessung ein Faktor $\sqrt{2}$ zu berücksichtigen ist.

Literatur

- [1] Recknagel, A. : Physik/Optik
Verlag Technik, Berlin, 1990
ISBN 3-341-00844-6
- [2] Geschke, D. (Hrsg.) : Physikalisches Praktikum
Teubner-Verlag, Leipzig, 1998
ISBN 3-519-00206-X
- [3] Hering, E. u.a. : Physik für Ingenieure
Springer-Verlag, Berlin, 1997
ISBN 3-540-62141-5