Ueber ein Interferenzmikroskop nach Sirks;
von E. Pringsheim.

(Vorgetragen in der Sitzung vom 2. December 1898.)

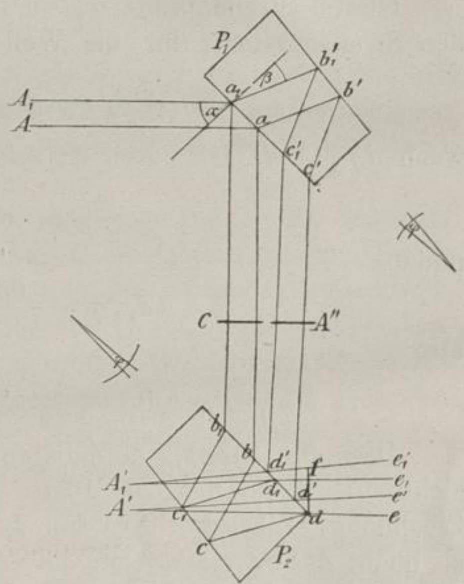
(Vgl. oben p. 133.)

Der vorgeführte Apparat verdankt seine Entstehung einer Anregung von medicinischer Seite. Vor längerer Zeit wandte sich Hr. O. Israel, Assistent am Pathologischen Institut der Universität Berlin, an mich und stellte es mir als eine für die mikroskopische Biologie sehr wichtige Aufgabe dar, einen Apparat zu construiren, der es gestatte, die Brechungsverhältnisse innerhalb mikroskopischer Objecte zu bestimmen. Es seien in den biologischen Präparaten unter dem Mikroskop verschiedenartige Substanzen zu unterscheiden, welche sich durch ihre verschiedene Lichtbrechung bemerklich machen, und es würde einen wesentlichen Fortschritt bedeuten, wenn es gelänge, die Brechungsexponenten dieser Substanzen der Messung zugänglich zu machen. Ich ging daran den Jamin'schen Interferenzrefractor für die mikroskopische Beobachtung umzugestalten, als ich durch ein Referat in den „Beiblättern“ auf eine Arbeit von Sirks[1]) aufmerksam wurde, in welcher das Problem im Princip bereits vollständig gelöst war. Hr. Sirks hat ein Interferenzmikroskop für schwache Vergrösserungen construirt, bei welchem die planparallelen Platten des Jamin'schen Interferenzrefractors durch schwach keilförmige Platten ersetzt sind. Durch diese Platten wird ein System von Interferenzstreifen entworfen, dessen Ort zwischen den Platten liegt. Bringt man daher in den Weg des einen der beiden interferirenden Strahlen zwischen den Platten ein Object, so kann man gleichzeitig dieses und die Streifen in einem hinter der zweiten Platte aufgestellten Mikroskop scharf sehen, und wenn verschiedene Stellen des Objectes verschiedene Dicke oder verschiedenen Brechungsindex haben, so werden die Streifen in

---

1) J. A. Sirks, Hand van het vierde Ned. Nat. en Gen. Congres, p. 92—95. Groningen 1893; Beibl. **18.** p. 457. 1894.

diesen verschiedenen Theilen des Objectes gegeneinander verschoben erscheinen. Die genaue Beschreibung eines mit Benutzung des Sirks'schen Princips nach meinen Angaben von der Firma Schmidt & Haensch in Berlin hergestellten Interferenzmikroskopes, welches noch bei 100 facher Vergrösserung bequem Messungen gestattet, wird Hr. Martens, welcher sich der constructiven Ausführung mit ebenso viel Eifer als Geschick angenommen hat, in der Zeitschrift für Instrumentenkunde geben. Hier soll nur eine kurze Andeutung der Theorie und der Messmethode gegeben werden.



In der nebenstehenden Figur seien P_1 und P_2 die beiden auf der Rückseite versilberten, vollständig identischen Glasplatten. Ihr Keilwinkel sei φ. (Bei dem Apparat ist $\varphi = 1{,}5'$.) Die einander gegenüberstehenden Flächen der beiden Platten seien parallel. Das einfallende Licht bestehe aus parallelen Strahlen, von denen zwei, $A a$ und $A_1 a_1$ gezeichnet sind. Der unter dem Winkel α auf P_1 einfallende Strahl $A a$ wird in zwei Strahlen zerlegt: $a b c d e$ und $a\, b' c' d' e'$. Diese verlassen die Platte P_2 divergirend, als ob sie von dem Punkte A' herkämen. Ist die Dicke der Platte P_1 bei b' gleich D_1, die der Platte P_2 bei c gleich D_2, so ist die Phasendifferenz der aus der zweiten Platte austretenden Strahlen $A' e$ und $A' e'$ in Punkten, welche von A' gleich weit entfernt sind, also auch die scheinbare Phasendifferenz in A' mit genügender Annäherung gegeben durch:

$$2\, n (D_1 - D_2) \cos \beta.$$

Für denjenigen Strahl, für welchen $D_1 = D_2$ ist, ist also die Phasendifferenz gleich Null, die Strahlen verstärken sich für alle Wellenlängen des benutzten Lichtes. Wir wollen annehmen, dies sei für den Strahl $A\,a$ der Fall. Der Strahl $A_1\,a_1$ sei der erste dem Centralstrahl $A\,a$ benachbarte, für den für eine bestimmte Wellenlänge λ die Phasendifferenz gleich $\lambda/2$ ist. Dann ist für ihn:

$$2\,n(D_1' - D_2')\cos\beta = \frac{\lambda}{2},$$

wenn wir mit D_1' und D_2' die Dicke der Platten bei b_1' und c_1 bezeichnen.

Ist die Streifenbreite des in der Ebene $A'\,A_1'$ entstehenden Streifensystems für die Wellenlänge λ gleich B, so ist

$$A'\,A_1' = \frac{B}{2} = d\,f,$$

wenn $d\,f \parallel A'\,A_1'$ ist. Nun ist sehr angenähert:

$$\frac{d\,f}{d\,d_1} = \cos\alpha$$

und

$$d\,d_1 \,.\, \varphi = \frac{D_1' - D_2'}{2},$$

also

$$B = \frac{\lambda\cos\alpha}{4\,n\,\varphi\cos\beta}.^{1)}$$

Dass die Streifen äquidistant sind, ist unmittelbar ersichtlich. Wenn man die Platte P_2 um eine zur Ebene der Zeichnung senkrechte Axe um den kleinen Winkel ψ dreht, so bleibt das Streifensystem unverändert, aber seine Lage im Raum ändert sich. Sei A'' das Spiegelbild von A' in Bezug auf die Fläche $b\,d$, so ist $A''\,d' = s$ gegebem durch die Formel:

$$s = \frac{D\cos^2\alpha}{n\cos^3\beta} + \frac{E}{2} + \frac{\psi}{\varphi}\,\frac{D\cos\alpha}{2\,n^4\cos^4\beta}(n^2\cos 2\,\alpha + \sin^4\alpha).$$

Hier bedeutet $E = a\,b$ die längs des abbildenden Büschels gemessene Entfernung der beiden Platten. Das mit ψ/φ multiplicirte Glied zeigt, um wieviel man durch Drehung der Platte P_2 den Ort der Streifen verschieben kann.[2)]

1) Sirks giebt — wohl irrthümlich — den Ausdruck:

$$B = \frac{\lambda}{4\,n\,\varphi\cos\beta}.$$

2) Sirks giebt dieses Glied — wohl irrthümlich — in der Form an:

$$\frac{\psi}{\varphi}\,\frac{D\cos\alpha}{2\,n^2\cos^2\beta}.$$

Für den Einfallswinkel $\alpha = 45^0$ und die Constanten des Apparates $n = 1{,}516$, $D = 14{,}92$ mm, $\varphi = 1'27{,}7''$ ergiebt sich für die D-Linie ($\lambda = 0{,}000589$ mm), die Streifenbreite $B = 0{,}18$ mm und $s = 7{,}1 + 0{,}5\,E + 0{,}408\,\psi/\varphi$ (in Millimetern).

Für $\psi = 0$ finden sich folgende zusammengehörige Werthe von E und s:

E	51 mm	59 mm	75 mm
s	32,6	36,6	44,6

Eine Drehung des zweiten Spiegels um $\psi = 1^0$ würde nach der Formel den Ort der Streifen um 16,7 mm verschieben. Alle diese zahlenmässigen Beziehungen haben sich experimentell bestätigen lassen.

Die Messung geschieht in folgender Weise. In den Gang der Strahlen $c'\,d'$, $c'_1\,d'_1$ wird bei A'' das Object auf dem Objecttisch des Mikroskopes eingeführt, in dem Strahlengang $a\,b$, $a_1\,b_1$ befindet sich der Compensator C. Die Objecte sind so einzurichten, dass sie zwischen denselben Glasplatten ausser den Substanzen mit unbekannten Brechungsexponenten n noch zwei Substanzen mit den bekannten Brechungsexponenten n_1 und n_2 enthalten. Als Substanz 2 wird gewöhnlich Luft benutzt, also ist $n_2 = 1$. Zuerst wird der Compensator so eingestellt, dass der mittlere achromatische Streifen in demjenigen Theil des Gesichtsfeldes, welcher von der Luft des Objectes eingenommen wird, zwischen den parallelen Fäden des Oculars steht. Sodann wird der Compensator solange geändert, bis in der Objectsubstanz 1 der achromatische Streifen zwischen den Fäden steht, dabei seien a Streifen am Fadenkreuz vorbeigegangen. Ist die Dicke des Objectes d, so ist:

$$(n_1 - 1)\,d = a\,\lambda.$$

Wird dieselbe Operation jetzt zwischsn Luft und der zu bestimmenden Substanz mit dem Brechungsindex n wiederholt, wobei die Verschiebung b Streifen betragen möge, so ist:

$$(n - 1)\,d = b\,\lambda.$$

Also ist der gesuchte Brechungsexponent

$$n = 1 + \frac{b}{a}(n_1 - 1).$$

Anstatt die Streifen zu zählen, wozu man abwechselnd weisses und monochromatisches Licht anwenden muss, ist es bequemer, die Trommeltheile des Compensators abzulesen und aus diesen das Verhältniss b/a der Streifenverschiebung zu bestimmen. Bei einem Keilcompensator kann man statt a und b unmittelbar die am Compensator abgelesenen Verschiebungen des beweglichen Keils einsetzen.

Eine Fehlerquelle besteht darin, dass bei Objecten, deren Dispersion stark von der der Compensatorgläser abweicht, eine Wanderung der Achromasie von einem Interferenzstreifen zu dem benachbarten eintreten kann. Solche Objecte sind daher zuerst in so dünnen Schichten zu untersuchen, dass die Verschiebung der Interferenzstreifen nicht mehr als drei bis vier Streifen beträgt, wobei eine Wanderung der Achromasie nicht zu befürchten ist. Hat man durch eine solche Messung den Brechungsindex n angenähert bestimmt, so kann man die Messung bei grösserer Dicke wiederholen. Da man aus der angenäherten Bestimmung von n für diese zweite Messung den ungefähren Werth von b aus der Gleichung:

$$b = \frac{n-1}{n_1 - 1} \cdot a$$

kennt, so kann man über die ganze Anzahl der Streifenverschiebungen, welche durch die Wanderung der Achromasie geändert sein könnte, nicht mehr im Zweifel sein und daher aus der zweiten Messung den genaueren Werth von n mit Sicherheit finden.