

Über die Wiederholung des Harress-Sagnacschen Versuches

Von B. POGÁNY, Budapest.

O. KNOPF hat hier vor einigen Jahren (Naturwissenschaften 8, 815. 1920) über die Versuche von F. HARRESS betreffend die Geschwindigkeit des Lichtes in bewegten Körpern berichtet. Dem aus dem Jahre 1911 stammenden Versuch von HARRESS nahe verwandt ist derjenige von SAGNAC (1914)¹⁾. Der Unterschied zwischen beiden Versuchen besteht darin, daß sich bei HARRESS das Licht in Glas, bei SAGNAC in Luft fortpflanzt. Beiden Anordnungen gemeinsam ist das rotierende Interferometer, das bei HARRESS aus einem Prismenpolygon, bei SAGNAC aus einem Spiegelpolygon besteht. Die Theorie beider Versuche wurde auf Grund einer Notiz EINSTEINS²⁾ von v. LAUE³⁾ im Zusammenhange mit derjenigen des bekannten FIZEAUSCHEN und ZEE-MANSCHEN Versuches dargestellt.

Das theoretische Ergebnis ist äußerst einfach. Auf der Peripherie eines geschlossenen Polygons, das in einem mit der Erde verbundenen Koordinatensystem *ruht*, laufe in einem beliebigen Medium von zwei kohärenten Lichtbündeln, das eine in der einen, das andere in der entgegengesetzten Richtung herum. Nachdem beide Bündel diesen geschlossenen Lichtweg einmal durchlaufen haben, werden sie zur Interferenz gebracht. Die so entstehende Lage der Interferenzstreifen in bezug auf ein Fadenkreuz nennen wir die Nullage. *Rotiert* nun das Polygon um eine Achse, die vom Lichtweg umschlossen wird, mit der Winkelgeschwindigkeit ω und bezeichnen wir die Fläche der Projektion des Polygons auf die zur Drehachse senkrechte Ebene mit F , so verschieben sich während der Rotation die Interferenzstreifen relativ zur Nullage um den in Streifenbreiten gemessenen Betrag:

$$\Delta = \frac{4 \omega F}{\lambda c}, \quad (1)$$

wo λ die im Vakuum gemessene Lichtwellenlänge, c die Lichtgeschwindigkeit bedeutet.

Bezüglich des Zusammenhanges mit dem FIZEAUSCHEN und ZEE-MANSCHEN Versuch sei kurz folgendes bemerkt: Bezeichnet man die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes in einem Medium vom Brechungsindex n , das in einem Koordinatensystem K ruht in bezug auf eben dieses System mit V und bewegt sich nun das Medium in bezug auf K mit der Geschwindigkeit q , so ist im allgemeinen die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes im bewegten Medium bezogen auf K :

$$V + q \cdot \alpha,$$

¹⁾ G. SAGNAC, Journ. de Phys. (5) 4, 177. 1914.

²⁾ A. EINSTEIN, Astron. Nachr. 198, 377 und 199, 10. 1914.

³⁾ M. VON LAUE, Ann. d. Physik 62, 448. 1920.

wo α den FRESNELSCHEN Mitführungskoeffizienten bedeutet. Dieser ergibt sich nun verschieden, je nach der Art, wie das Licht in das bewegte Medium eintritt. Beim FIZEAUSCHEN Versuch mit der strömenden Flüssigkeit, wo das Licht durch eine *ruhende* und zur Bewegungsrichtung des Mediums *senkrechte* Fläche eintritt, ist

$$\alpha = 1 - \frac{1}{n^2} - \frac{\lambda}{n} \frac{dn}{d\lambda},$$

wo λ die Lichtwellenlänge bedeutet. Beim ZEE-MANSCHEN Versuch mit dem geradlinig gleichförmig bewegten Prisma tritt das Licht durch eine *mitbewegte*, zur Bewegungsrichtung *senkrechte* Fläche in den Körper, da ist

$$\alpha = 1 - \frac{1}{n^2} - \frac{\lambda}{n^2} \frac{dn}{d\lambda}$$

und schließlich beim HARRESS-SAGNACSCHEN Versuch, wo das Licht durch eine *mitbewegte*, zur Bewegungsrichtung *parallele* Fläche in das bewegte Medium tritt, ist

$$\alpha = 1 - \frac{1}{n^2}.$$

Daß beim letzteren Versuch das Medium sich nicht geradlinig bewegt, sondern rotiert, ist kein wesentlicher Unterschied, da die in Betracht kommenden Beschleunigungen, wie W. WIEN durch eine einfache, sich auf das Äquivalenzprinzip stützende Überlegung zeigte, auf die Geschwindigkeit des Lichtes im bewegten Körper ohne Einfluß sein müssen. Bemerkenswert an der Formel (1) ist, daß der Brechungsindex darin gar nicht vorkommt, die Streifenverschiebung also bei sonst gleichen Verhältnissen sowohl bei der HARRESSSCHEN Anordnung, wobei sich das Licht in Glas, wie bei der SAGNACSCHEN, wobei es sich in Luft fortpflanzt, dieselbe sein muß.

Bei den messenden Versuchen konnte HARRESS mit seinem Apparat eine Winkelgeschwindigkeit von etwa 750 Touren pro Minute erreichen; dabei ergab sich etwa $\Delta = 0,2$, also verschoben sich die Streifen bei Linksdrehung gegenüber ihrer Lage bei einer Rechtsdrehung um etwa $2 \Delta = 0,4$. Bei größeren Tourenzahlen wurden die Interferenzen unscharf und verschwanden schließlich ganz. Die einzelnen Messungen von Δ zeigen untereinander Abweichungen von 10 bis 18%. HARRESS hat mit farbigen Gläsern filtrierte Bogenlicht benützt. Streng monochromatisches Licht — etwa der Quarz-Hg-Bogenlampe — konnte er nicht gebrauchen, denn die Interferenzerscheinung wurde dann zu lichtschwach. Um das zu erläutern und um nachher die Gesichtspunkte, die bei der Neukonstruktion des HARRESSSCHEN

Apparates berücksichtigt wurden, klar hervortreten zu lassen, muß ich mit einigen Worten auf den ursprünglichen Apparat von HARRESS eingehen. Der horizontale Grundriß des Apparates ist in Fig. 1 zu sehen. Das Licht lief in den Prismen

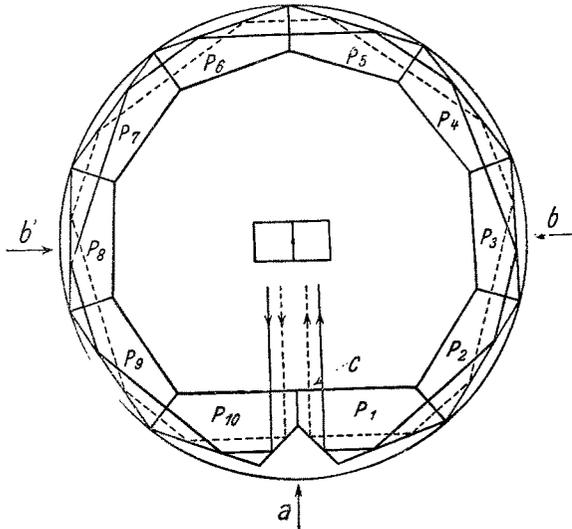


Fig. 1. Grundriß des ursprünglichen HARRESSschen Apparates.

P_1 — P_{10} herum. Die Einführung des Lichtes und die Trennung in zwei kohärente Bündel geschah im mittleren Prismenkörper, das, in der Richtung der Pfeile a und b betrachtet, in Figg. 2a und 2b zu sehen ist. Die Einstellung der Interferenzen bzw. die Regulierung von deren Breite und Orientierung geschah durch das Justierprisma P_1 (Fig. 2a), das mit Hilfe dreier Schrauben um einen Punkt dreh-

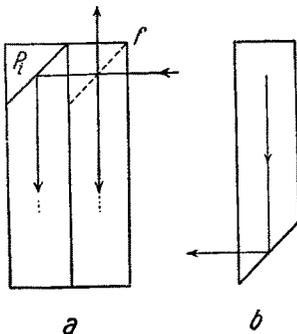


Fig. 2. Aufriß des mittleren Prismenkörpers im HARRESSschen Apparat.

bar war. Das Licht trat während einer Umdrehung bloß in zwei Azimuten des Apparates, in der Richtung der Pfeile b und b' (Fig. 1) horizontal in den Apparat ein. Nachdem die beiden kohärenten Bündel den Weg im Prismenkrans einmal zurückgelegt haben, wurden sie an der halbdurchlässigen Silberschicht f (Fig. 2a) wieder vereinigt und verließen sodann in Richtung der Drehachse den Apparat, um in die photographische Kamera zu

gelangen. Die Öffnung des Apparates war etwa $\frac{1}{4}$ Grad. Während einer Umdrehung von T Sek. Dauer fiel also nur während $\frac{1}{720}$ Sek. Licht durch den Apparat auf die photographische Kamera. Das bedingte die Lichtschwäche der Interferenzen.

SAGNAC arbeitete mit einer maximalen Geschwindigkeit von 120 Touren pro Minute, wobei etwa $2\Delta = 0,07$ war. Die Beurteilung der Meßgenauigkeit von SAGNAC ist schwer, denn es sind bloß die Resultate von vier Messungen mitgeteilt. Jedenfalls rotierte der Apparat so langsam, daß der Effekt an und für sich klein war. Er benützte das weiße Licht einer kleinen Glühlampe. Die Bestimmung der in die Formel (1) eingehenden Wellenlänge geschah durch Vergleichung der Streifenbreiten des bei ruhendem Apparat mit der Glühlampe und mit einer Hg-Linie gewonnenen Interferenzen. Über die Stabilität seines Apparates äußert sich SAGNAC in dem Abschnitt: „Précautions à prendre“ wie folgt: „Cette orientation (der bewegten Interferenzstreifen) diffère de l'orientation relative au repos et on a trouvé utile de dérégler d'avance légèrement . . ., de façon que les franges soient un peu inclinées dans le sens convenable quand le plateau est au repos. Les franges se redressent quand le plateau tourne et deviennent verticales pour une fréquence convenable.“

Bei der SAGNACSchen Anordnung hat sowohl die Lichtquelle, eine kleine Glühbirne, als auch die Kamera an der Rotation teilgenommen.

Da sowohl die Genauigkeit der HARRESSschen, wie der SAGNACSchen Messungen zu wünschen übrig ließ und die Hoffnung bestand, daß sich dieselbe steigern läßt, wurde von den Herren M. VON LAUE und M. WIEN eine Wiederholung des Versuches angeregt. Die Mittel dazu wurden teils von der Notgemeinschaft, im wesentlichen aber von der Firma Zeiß bereitgestellt, die Apparate wurden im Zeißwerk in Jena gebaut und der Versuch daselbst ausgeführt.

Bei der Wiederholung des HARRESSschen Versuches trachtete ich nun danach, bei unveränderter Interferometerfläche die Drehgeschwindigkeit so weit zu steigern, daß 2Δ nahezu 1 werde. Dazu braucht man bei dem HARRESSschen Apparat etwa 1600 Touren pro Minute. Nun verschwanden aber nach HARRESS' Beobachtung die Interferenzen oberhalb 750 Touren pro Minute. Dafür konnten zunächst zwei Gründe verantwortlich gemacht werden; erstens die bei höheren Tourenzahlen eintretenden Erschütterungen des Apparates, an denen die photographische Kamera nicht teilnahm, und zweitens durch die Zentrifugalkraft bewirkte Verlagerungen der das Licht reflektierenden Prismen. Um diese Gründe auszuschalten, wurde der Vorschlag gemacht, den Apparat mit „fliegender Welle“ zu bauen und das Innere mit einer Flüssigkeit auszufüllen, deren Dichte identisch ist mit derjenigen der Prismen, wodurch die Zentrifugalkräfte ausgeschaltet werden. Die kritische Tourenzahl der fliegenden Welle muß natürlich weit unterhalb der zu erreichenden Geschwindigkeit von

1600 Touren pro Minute liegen. Gleichzeitig wollte ich monochromatisches Licht anwenden. Da eine Quarz-Hg-Bogenlampe in den Apparat wohl nicht gut eingebaut werden kann, habe ich die Anordnung so gewählt, daß die Lichtquelle ruht und das Licht längs der Drehachse, also dauernd in den Apparat eintritt, die photographische Kamera dagegen, wie bei SAGNAC, an der Rotation teilnimmt. Die Interferometeroptik war zunächst identisch mit derjenigen des HARRESSschen Apparates. Die photographische Kamera wurde oben angebaut (Fig. 3). Das parallele Licht trat parallel der Drehachse längs der punktierten Linie in den Apparat. Die Interferenzen entstanden in der Brennebene F des Tessars T . Dasselbst war eine Glasplatte mit eingeritzten Meßmarken angebracht. Die Interferenzen wurden dann samt den Meßmarken durch das Mikroplanar M (Brennweite 2 cm) auf die photogra-

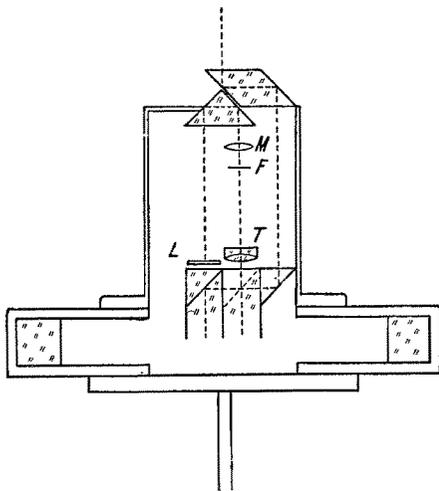


Fig. 3. Aufriß der Optik des ersten Apparates.

phische Platte L abgebildet. Wegen der Flüssigkeitsfüllung fiel die totale Reflexion an den Außenflächen der Prismen $P_1 - P_{10}$ (Fig. 1) weg und man mußte deshalb diese Flächen versilbern. Die zur Füllung verwendete Flüssigkeit durfte diese Versilberung und die innere Wand des aus Siemens-Martinstahl bestehenden Apparates, sowie die im Innern befindlichen Aluminiumteile nicht angreifen, mußte durchsichtig sein und die Dichte 3,2 haben. Von chemischer Seite wurde mir eine wässrige Lösung von Cadmium-Boro-Wolframat empfohlen. Sie erwies sich jedoch als unbrauchbar, denn gleich nach der Einfüllung quoll sie durch das Füllloch wieder heraus. Es entwickelten sich im Apparat scheinbar Gase, die die Flüssigkeit wieder herausdrängten. Die Flüssigkeit mußte daher entfernt werden. Die Prismen wurden nun durch Vermittlung von Gummipfropfen mit kräftigen Schrauben an die Außenwand gepreßt und der Apparat so in Gebrauch genommen. Der Apparat wog etwa 80 kg und wurde auf eine 16 mm dicke, vertikale

Achse aufgelegt, welche ungefähr 50 cm über die oberste Führung herausragte. An das untere Ende der Welle war die Turbine befestigt. Der ganze Apparat wurde in einen Betonklotz von etwa 4 Tonnen eingebaut und war im Kellerraum des „Wolkenkratzers“ der Zeißwerke untergebracht. In der obersten Etage befand sich der Wasserbehälter. Der Wasserdruck betrug im Kellerraum etwa $4\frac{1}{2}$ Atmosphären. Zur Messung der Drehgeschwindigkeit wurde auf einen Chronographenstreifen einerseits jede hundertste Umdrehung des Apparates, andererseits die Sekundensignale der Sternzeituhr der Zeiß-Sternwarte registriert. Die kritische Tourenzahl des Apparates betrug etwa 600 pro Minute. Mit 1600 Touren pro Minute rotierte der Apparat tadellos, jedoch beim Durchgang durch die kritische Tourenzahl erlitt er derartige Erschütterungen, daß die Optik zugrunde ging. Um das zu vermeiden, versuchte ich, statt der Glasprismen Stahlspiegel einzubauen. Der für Spiegel besonders geeignete Kruppsche Spezialstahl konnte damals nicht beschafft werden. Es wurde also versucht, die Spiegel aus Siemens-Martinstahl herzustellen. Leider gelang es nicht, im Format 4×12 cm wirklich ebene Spiegel von mindestens 1500 m Brennweite herzustellen. Die Spiegel hatten in verschiedenen Azimuten verschiedene und erheblich kleinere Brennweiten, die Interferenzen waren bei den großen Einfallswinkeln unscharf und verschwommen.

Ich mußte deshalb zu den Glasprismen zurückkehren und den Apparat unten und oben mit einer starren Drehachse versehen. Die obere Achse wurde zwecks Einführung des Lichtes durchbohrt. Gleichzeitig erhielt die photographische Kamera eine flachere Form, indem der Lichtweg desselben vermittelt Prismen um die obere Achse gewickelt wurde. Eine weitere Verbesserung betraf die Justieranordnung des Interferometers. Die Einstellung der Interferenzen geschah bislang durch das Prisma P_i . Die Fixierung der Lage dieses Prismas mit Hilfe dreier Schrauben schien unsicher zu sein. Das Prisma P_i wurde deshalb mit dem mittleren Prismenkörper ein- für allemal fest zusammengebaut und zur Einstellung der Interferenzen eine andere Anordnung in den Lichtweg eingeschaltet. Diese Anordnung bestand aus zwei kreisförmigen Glaskeilen von 4 cm Durchmesser und 3° Keilwinkel. Die Anordnung wurde bei C (s. Fig. 1) in den Lichtweg eingeschaltet und so montiert, daß jeder Keil für sich um den Lichtstrahl als Achse drehbar und in beliebiger Lage zu befestigen war. Man konnte also den Keilwinkel von 0 bis 6° kontinuierlich verändern und die dickste Stelle des Keiles in ein beliebiges Azimut um den Strahl bringen. Man konnte dadurch Breite und Orientierung der Interferenzen nach Belieben verändern. Da die Strahlrichtung an der Stelle C der Zentrifugalkraft parallel ist, so erfolgt die Drehbewegung, durch welche die Streifenbreite und die Streifenrichtung eingestellt werden, in einer zur Zentrifugalkraft senkrechten

Ebene. Die Zentrifugalkraft kann also im Sinne dieser Drehung kein Drehmoment ausüben. An der Wand der photographischen Kamera wurde ein Loch von etwa 1 cm Durchmesser gebohrt; durch dieses Loch konnte das Licht, das sonst auf die Platte fiel, mittels eines, zwischen dem Tessar und dessen Brennebene angebrachten Prismas aus dem Apparat herausgeführt werden. Waren die Interferenzen parallel der Drehebene orientiert, so konnten sie durch dieses Loch mit einem auf die Brennebene des Tessars eingestellten Fernrohr auch während der Rotation betrachtet werden. Wurden die Interferenzen durch dieses Loch visuell betrachtet, so konnte man bei 650 bis 700 Touren pro Minute das Verschwinden der Interferenzen beobachten. Bei derartiger visueller Betrachtung müssen die Interferenzen naturgemäß auch dann verschwinden, wenn sie aus ihrer horizontalen Lage infolge der Verlagerung einer reflektierenden Prismenfläche herausgedreht werden. Aufnahmen, die mit der mitrotierenden Kamera gemacht wurden, zeigten nun, daß dieses anfängliche Verschwinden der Interferenzen tatsächlich darauf beruht, daß die Streifen aus ihrer horizontalen Lage herausgedreht wurden, wobei auch ihre Breite zunahm. Bei noch größeren Geschwindigkeiten, bei 800 bis 850 Touren pro Minute, wurden die Interferenzen auch auf den mitrotierenden Platten unscharf und verschwanden schließlich gänzlich. Es war jedoch bemerkenswert, daß ihre Orientierung und Breite während dieses Unscharfwerdens fast unverändert blieb. Daraus war zu schließen, daß dieses Verschwinden der Interferenzen nicht auf einer Verlagerung einer reflektierenden Prismenfläche beruht. Denn ändert man die Lage einer solchen, oder was auf dasselbe hinauskommt, dreht man den Justierkeil bei C und bringt man die Interferenzen dadurch zum Verschwinden, so ändert sich dabei notwendigerweise die Streifenbreite, indem sie 0 oder so groß wird, daß im Gesichtsfeld keine Streifen mehr wahrgenommen werden. Die Bilder der unscharfen Interferenzen sahen genau so aus, wie die Aufnahmen, die ich bei ruhendem Apparat mit den astigmatisch reflektierenden Stahlspiegeln erhielt. Es lag deshalb die Vermutung nahe, daß das schließliche Verschwinden der Interferenzen darauf beruht, daß die Prismen, die trotz sauberster Bearbeitung der Auflageflächen schließlich doch nur auf drei Punkten aufliegen sind, durch die Zentrifugalkraft durchgebogen werden und also astigmatisch reflektieren. Dazu ist zu bemerken, daß ein Prisma von rund 0,6 kg Gewicht durch die Zentrifugalkraft mit rund 200 kg belastet wurde. Um dieses Durchbiegen der Prismen zu verhüten, wurde der Zwischenraum zwischen den Prismen und ihren Auflageflächen mit einem große Druckbeanspruchung aushaltenden Kitt ausgefüllt. Die Prismenflächen wurden mit Bleiglätte-Glycerinkitt äußerst dünn überstrichen und so an die Außenwand gepreßt. Dieser Kitt hat die an ihm geknüpften Hoffnungen erfüllt. Nachdem die Pris-

men in der oben beschriebenen Weise vermittelt des Kittes befestigt waren, erhielt ich selbst bei 2000 Touren pro Minute tadellos scharfe Interferenzen. Endgültige Messungen wurden jedoch auch mit diesem Apparat noch nicht gemacht, denn die Streifenbreite bei Bewegung unterschied sich von derjenigen bei Ruhe um mehrere Prozent der Streifenbreite.

Es wurde deshalb auf Grund aller bisherigen Erfahrungen der Bau eines dritten Apparates beschlossen. Bei heruntergenommener Deckplatte, von oben betrachtet, ist der Apparat auf Fig. 4 zu sehen. Die Anzahl der reflektierenden Flächen wurde auf ein Minimum reduziert. Es wurden bloß vier Spiegel in Anwendung gebracht und deren Befestigung mit der größten Sorgfalt ausgeführt. Das Licht trat längs der Drehachse, von oben kommend, durch die Öffnung O in den

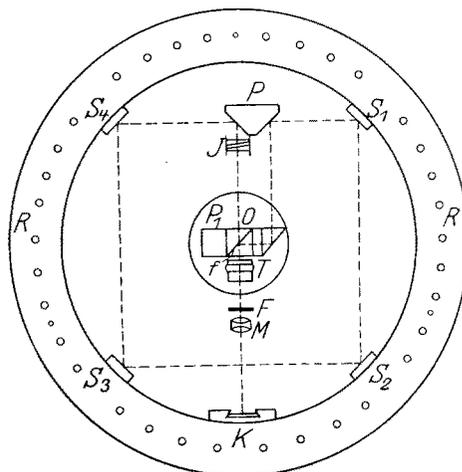


Fig. 4. Schematischer Grundriß des neuen HARRESS-SAGNACSchen Apparates.

mittleren Prismenkörper P_1 des Apparates. Auf einer halbdurchlässigen Silberschicht f wurde es in zwei kohärente Bündel getrennt, welche, aus P_1 heraustretend, auf das Prisma P fielen. Von da aus wurde das eine Bündel nach rechts auf den Spiegel S_1 , das andere nach links auf den Spiegel S_4 reflektiert. Die vom Licht im Interferometer umlaufene Fläche war, abgesehen von dem in Abzug zu bringenden Parallelogramm zwischen P und P_1 , ein Quadrat von etwa 353 mm Seitenlänge, in dessen Ecken die unter 45° reflektierenden Spiegel angebracht waren. Nachdem die zwei kohärenten Bündel das Quadrat einmal umlaufen haben, wurden sie auf der halbdurchlässigen Silberschicht in P_1 wieder vereinigt und zur Interferenz gebracht. Die Interferenzen entstanden in der Brennebene F des Tessars T . Dasselbst war eine dünne Glasplatte mit eingeritzten Meßmarken angebracht. Die Interferenzen wurden samt diesen Meßmarken durch das Mikroplanarobjektiv M (Brennweite 8 mm) auf die photographische Platte der Kamera K abgebildet. Die zwei Justierkeile sind bei J an-

gebracht. Die kreisförmigen Glasspiegel sind 14 mm dick und haben einen Durchmesser von 5 cm. Auf ihrer Rückseite in der Mitte war ein Zapfen aufgeschliffen. Die Vorderseite war eben, die Rückseite, vom Zapfen abgesehen, eine Kugelfläche von 26 cm Radius. Die Innenfläche des aus Siemens-Martinstahl hergestellten, massiven Ringes *RR*, mit 5×6 cm Querschnitt war ebenfalls eine solche Kugelfläche von 26 cm Radius. An entsprechenden vier Punkten wurden für die Spiegelzapfen vier Bohrungen im Ringe *RR* angebracht. Indem die Zapfen in diese Bohrungen versenkt wurden, legten sich die kugeligen Rückflächen der Spiegel vollkommen an die kugelige Innenfläche des Ringes *RR* an. Die Spiegel wurden dann justiert, an den Ring zementiert und er-

rund 500 kg auszuhalten. Nach mannigfachen Versuchen kam ich mit sehr kräftigen, eingeschliffenen Konussen zum Ziele.

Die fertig zusammengebaute Anordnung ist in Fig. 5 zu sehen. *L* ist die HERAEUSSche Quarzquecksilberlampe, deren Licht durch die Linse *L*₁ auf das Diaphragma *D* konzentriert wurde. Der Durchmesser des letzteren betrug 0,5 mm. Hinter *D* war ein Lichtfilter aus etwa 1 cm dickem Didymglas und dünnem grünen Glas angebracht, der aus dem Hg-Spektrum nur die grüne Quecksilberlinie durchließ. Das vom Tessar *T*₀ parallel gemachte Licht wurde vom Pentaprisma *Pe*₁ senkrecht zur Drehachse nach vorn geworfen. In dem Schnittpunkt der Achse dieses Bündels mit der Drehachse ist das Pentaprisma *Pe*₂ angebracht,

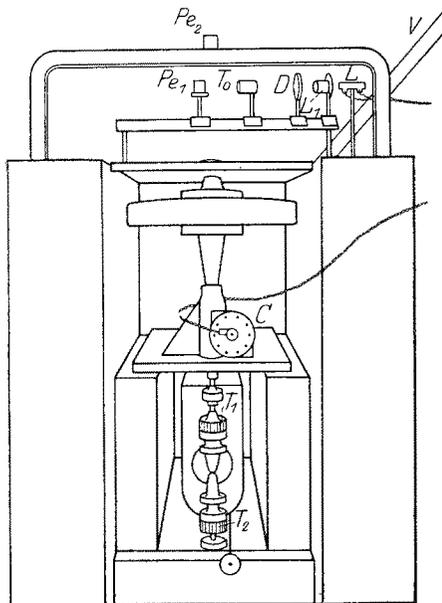


Fig. 5. Der zusammengebaute Apparat mit Turbinen und Lichtzuführung.

hielten schließlich eine Oberflächenversilberung. Da ein Teil des Interferometers, nämlich die vier Spiegel, am Ringe *RR* befestigt waren, der andere Teil jedoch, nämlich die halbdurchlässige Silberschicht bzw. das Prisma *P*, an der Grund- und Deckplatte des Apparates, so mußte für eine äußerst starre Verbindung des Ringes mit den Platten Sorge getragen werden. Die Versteifung geschah durch 18 Paar eingeschlossene und mit Schrauben anziehbare Konusse. Außer den Konussen waren noch 18 Paar kräftige Schrauben vorhanden. Die hierdurch erzielte Versteifung war derart vollkommen, daß, wenn man nach erfolgter Justierung den Apparat auseinandernahm und wieder zusammenbaute, die Interferenzen sofort, ohne jedes weitere Justieren erschienen. Ziemlich große Mühe bereitete die entsprechende Befestigung der Fassung des Prismas *P*. Dieselbe hatte bei 1500 Touren eine Zentrifugalkraft von

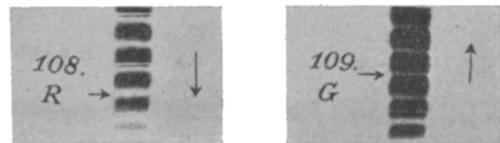


Fig. 6. Interferenzen bei 1200 Drehungen pro Minute.

das das Licht längs der Drehachse senkrecht nach unten in den Apparat wirft. *C* ist der Tourenzähler, von ihm führt ein Kabel zum Chronographen. *T*₁ ist die eine, *T*₂ die andere, in entgegengesetzte Richtung drehende Turbine, welche

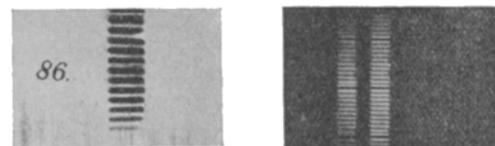


Fig. 7. Interferenzen bei 1500 Drehungen pro Minute.

Fig. 8. Interferenzen bei 2000 Drehungen pro Minute. Positivbild.

beide auf der Achse befestigt waren. Einfaches Umschalten gestattete das Wechseln der Rotationsrichtung. *V* ist das Rohr der Wasserleitung.

Mit diesem Apparat wurden im Laufe des Sommers 1925 messende Aufnahmen gemacht. Solche Aufnahmen sind in Originalgröße in Figg. 6 bis 8 zu sehen. Die Expositionszeit betrug 6 Min. Aufnahme 108 und 109 wurden mit der Rechts- bzw. Linksturbine bei etwa 1200 Touren pro Minute gemacht. Die Aufnahme 86 bezieht sich auf 1500, diejenige auf Fig. 8 auf 2000 Touren pro Minute. Auf den Aufnahmen 108 und 109 bezeichnen die vertikalen Pfeile die Richtung der Verschiebung der Interferenzen. Die links angebrachten kurzen, horizontalen Pfeile weisen also auf beiden Aufnahmen auf denselben Interferenzstreifen.

Die eine Messungsreihe — mit etwa 1,3 mm Streifenbreite — wurde direkt mit dem Komparator, die andere — mit etwa 3 mm Streifen-

breite — auf Grund der mikrophotometrisch registrierten Schwärzungskurven nach der Methode G. HANSENS ausgemessen. Die erste Messungsreihe ergab bei der Umdrehungszeit $T = 0,03989$ Sek. für 2Δ im Mittel den Wert

$$2\Delta_m = 0,917,$$

wobei die größte Abweichung des Einzelwertes vom Mittel etwa 2% betrug; die zweite Messungsreihe lieferte bei derselben Umlaufzeit

$$2\Delta_m = 0,924$$

mit der größten Abweichung des Einzelwertes vom Mittel von etwas über 3%.

Aus der Winkelgeschwindigkeit, Interferometerfläche und Wellenlänge der grünen Hg-Linie berechnet man auf Grund von (1)

$$2\Delta = 0,906.$$

Die beobachteten Mittelwerte sind um 1,2% bzw. um nicht ganz 2% größer. Nach einer brieflichen Bemerkung Hrn. v. LAUES, der ich durchaus beistimme, erscheint die Abweichung zwischen der berechneten und beobachteten (mittleren) Streifenverschiebung für die gute Übereinstimmung zwischen den Einzelbeobachtungen etwas groß.

Die Untersuchung ist noch nicht abgeschlossen.

Außer mit der grünen Hg-Linie sollen noch Aufnahmen mit anderen Wellenlängen gemacht werden. Außerdem war beabsichtigt, zwischen den Spiegeln S_1 und S_2 bzw. S_3 und S_4 je eine Flüssigkeitskammer einzuschalten, wodurch die Größe der Verschiebung nicht beeinflusst werden darf.

Die Versuche mit den Flüssigkeitskammern führten jedoch zu keinem Ergebnis. Es wurden Flüssigkeiten verschiedener Viscosität von Benzol bis Glycerin ausprobiert; infolge der Schlieren jedoch haben die Interferenzen ihre Schärfe und Geradlinigkeit eingebüßt und je nach der Größe der Viscosität haben sich Schärfe, Geradlinigkeit, Breite und Orientierung der Interferenzstreifen mit der Zeit langsamer oder schneller verändert, so daß an ein Messen nicht zu denken war.

Es werden jetzt ca. 24 cm lange Glasprismen statt der Flüssigkeitskammern eingebaut. Im Gegensatz zur HARRESSSchen Anordnung werden also diese Prismen nur zum Durchgange des Lichtes benützt und an keiner Prismenfläche erfolgt eine Reflexion des interferierenden Bündels. Sollte sich also trotz der getroffenen Maßregeln eine geringe Durchbiegung zeigen, so wird sie sich nicht in einer astigmatischen Reflexion auswirken können. Ich hoffe über die Resultate demnächst berichten zu können.

Grundsätzliches über die Lebenseinheiten höherer Ordnung und den ökologischen Einheitsfaktor¹⁾.

Von K. FRIEDERICH, Rostock.

(Schluß.)

Eine notwendige und direkte Folgerung aus der Einheit der Natur ist, daß von den zahllosen einzelnen ökologischen Faktoren, aus denen sich jedes Milieu zusammensetzt, zwar jeder einzelne für sich, aber nicht *nur* für sich einwirkt, sondern füglich alle im Verband miteinander als Einheitsfaktor einwirken. Ein bestimmtes Nebeneinander von Lebensbedingungen muß verwirklicht sein, damit eine bestimmte Art von Organismen bestehen kann, z. B. diejenige Kombination, die wir „Moor“ nennen, für die speziellen Pflanzen und Tiere des Moores. Aber nicht immer handelt es sich nur um ein Nebeneinander, sondern es kann ein Nacheinander von Lebensbedingungen erforderlich sein, also der Wechsel der Lebensbedingungen selbst Lebensbedingung werden, z. B. im Falle jener Schmetterlinge, deren Entpuppung Frost vorhergegangen sein muß.

In allen Fällen aber handelt es sich weder um ein *bloßes* Nebeneinander noch um ein Nacheinander *allein*, sondern die einzelnen Faktoren stehen untereinander in Verknüpfung und Wechselwirkung; sie bedingen sich *alle* direkt oder indirekt

gegenseitig. Aus dieser allgemeinen Verkopplung resultiert, daß die Einzelfaktoren neben ihrer Einzelwirkung zusammengefaßt als Einheitsfaktor wirken müssen, und zwar gibt es Einheitsfaktoren niederen und solche höheren Grades, die niedere einschließen. Ein Einheitsfaktor ist die Lebensgemeinschaft, aber auch das Klima. Letzteres ist ein Bestandteil desjenigen Einheitsfaktors, der durch den *physiographischen Komplex* zur Einheit gemacht wird: die Ganzheit der physiographischen Faktoren. Die Ganzheit der biocönotischen Faktoren hält der *biocönotische* (biotische) *Komplex* zusammen. Beide zusammen bilden den *tellurischen Komplex*, auf den wiederum *extratellurische* Einflüsse (wie das Sonnenlicht) einwirken. Die Gesamtheit aller Faktoren bildet in ihrer spezifischen örtlichen Beschaffenheit den *lokalen Einheitsfaktor*. Dieser ist kosmischer, d. h. universeller Natur¹⁾. Von einem solchen werden nicht nur kleine einheitliche Gebiete, wie ein Moor oder ein Wald, beherrscht, sondern auch größere oder sehr große

¹⁾ 1. Die Begriffe Lebensgemeinschaft und Lebensverein, Biotop und Standort. 2. Die Lebenseinheiten höherer Ordnung. 3. Über Zweckmäßigkeit in der Natur. 4. Der ökologische Einheitsfaktor und 5. seine Bedeutung für die Entstehung der Arten.

¹⁾ Er beruht auf dem *kosmischen Komplex*. Wir können uns zwar keine Einwirkung der tellurischen Einzelfaktoren auf extratellurische vorstellen, wohl aber eine solche der Erde im ganzen darauf. — Da der Ausdruck *Komplex* neuerdings viel mißbraucht wird, so kann gleichbedeutend *Geflecht* gesagt werden, wenn man das vorzieht.