

norrenberg

Johann Norrenberg †

Am 16. August 1931 ist JOHANN NORRENBERG von uns gegangen, ein Mann, dem der naturwissenschaftliche Unterricht an den höheren Schulen Außerordentliches verdankt, und dessen Andenken darum fortleben wird, wie das, was er geschaffen hat. Es ist Menschenlos, daß auch dessen Hand vom Pfluge lassen muß, dessen Hilfe unentbehrlich erscheint, und daß auch der abberufen wird, den viele halten möchten. Aber Dankespflicht ist es, des Hingeschiedenen zu gedenken und sich in die Erinnerung zurückzurufen, was er war und wie er war.

Am 3. März 1864 war JOHANN NORRENBERG in Köln geboren. Er war Schüler des Realgymnasiums in der Kreuzgasse und hat wohl dort die Richtung auf die Naturwissenschaften erhalten. Nachdem er im Februar 1888 in Bonn die Doktorwürde erlangt hatte mit einer Abhandlung „Über Totalreflexion an doppeltbrechenden Krystallen“, leistete er vom Herbst 1888 bis Herbst 1889 das Probejahr ab an derselben Anstalt, deren Schüler er gewesen war. Dann wurde NORRENBERG, der die Lehrbefähigung in Mathematik und Physik, in Chemie, Mineralogie, Botanik und Zoologie besaß, zu kurzfristigen Vertretungen von einer Anstalt zur andern geschickt. In den Beschäftigungspausen fand er an dem Gymnasium an St. Aposteln zu Köln eine Zufluchtstätte. Vom 1. Oktober 1893 ab war er Oberlehrer an dem Gymnasium mit Realgymnasium zu Düsseldorf, das damals von ADOLF MATTHIAS, später von PAUL CAUER geleitet wurde.

Hier ist er acht Jahre tätig gewesen. Dann begann eine neue Wanderzeit. Zum 1. Oktober 1901 wurde er als schulfachlicher Mitarbeiter an das Provinzialschulkollegium in Posen gesandt. Nachdem er im Januar 1903 den Charakter als Professor erhalten hatte, wurde er am 10. August desselben Jahres als Hilfsarbeiter ins Ministerium berufen, und zwar zur Bearbeitung von Hochschulangelegenheiten. Aber schon April 1905 kehrte er zur höheren Schule zurück: er wurde zunächst mit der Verwaltung einer neugeschaffenen Provinzialschulratstelle in Münster beauftragt und erhielt sie am 11. Dezember. Seine Aufgabe war die Betreuung besonders der Realanstalten und die Pflege der Mathematik und der Naturwissenschaften. In dieser Stellung erwarb er sich die Verehrung aller derer, die mit ihm zu tun hatten, durch seine liebenswürdige, von rheinischem Humor erfüllte Art, seine Menschenfreundlichkeit, seine Sachkenntnis und seine Sachlichkeit.

Aber schon zu Anfang des Jahres 1909 wurde er aus dieser Tätigkeit herausgenommen und an eine umfassendere Aufgabe gestellt: wieder trat er als Hilfsarbeiter ins Ministerium ein, aber diesmal in die Abteilung für das höhere Schulwesen. Am 23. Juni 1909 wurde er zum Geheimen Regierungsrat und vortragenden Rat ernannt. Welche Auszeichnungen und Titel er in seinem neuen Amte erhalten hat, ist ohne Belang. Bedeutsam ist und wird fortwirken, solange naturwissenschaftlicher Unterricht an höheren Schulen erteilt wird, was er für diesen getan hat.

Schon 1904 hatte er bei Teubner in Leipzig eine Geschichte des naturwissenschaftlichen Unterrichts an den höheren Schulen Deutschlands herausgegeben. Zehn Jahre später gründete er die „Hauptstelle“ — bis 1916 hieß sie Zentralstelle — „für den naturwissenschaftlichen Unterricht“. Der Gründungserlaß vom 19. September 1914 — UII 2321 — trägt natürlich die Unterschrift des damaligen Ministers v. TROTT ZU SOLZ, aber das Hauptverdienst um die Gründung gehört NORRENBERG. „Dieser Anstalt soll die Vorbereitung und Leitung der naturwissenschaftlichen Fortbildungskurse für die Lehrer und Lehrerinnen an den höheren Lehranstalten, sowie die Seminar- und Präparandenlehrer in Preußen, insbesondere in Groß-Berlin obliegen. Darüber hinaus soll sie in Zukunft auch als Prüfungs- und Auskunftsstelle für naturwissenschaftliche Lehrmittel dienen“. Damit sind die Aufgaben genannt, die die Hauptstelle auch heute noch bearbeitet. Ihr erster Leiter wurde Professor HERMANN HAHN, der bis dahin Oberlehrer am Dorotheenstädtischen Realgymnasium in Berlin gewesen war.

Auch die Herausgabe des Handbuchs des naturwissenschaftlichen und mathematischen Unterrichts, das seit 1913 bei Quelle & Meyer in Leipzig erscheint, beweist, wie sehr die Naturwissenschaften NORRENBERG am Herzen lagen. Aber man täte ihm Unrecht, wollte man ihn wegen dieser Pflege seiner Fächer für einseitig halten. Wer NORRENBERG gekannt hat, weiß, daß seine Sorge der ganzen Schule zugewandt war, allen ihren Fächern, ihren Lehrern und ihren Schülern. Das tritt am deutlichsten zutage in dem Buche, das er 1916 zusammen mit andern hervorragenden Schulmännern bei Teubner herausgab: Die deutsche höhere Schule nach dem Weltkriege, Beiträge zur Frage der Weiterentwicklung des höheren Schulwesens. Er war tief durchdrungen von der Überzeugung, daß die höhere Schule auch vor dem Kriege ihre Pflicht getan habe, und dachte nicht an eine tiefgreifende Umgestaltung. Aus der Weisheit der Erfahrung sind seine Worte geflossen: „Große Reformen gehen mit wirklichen Verbesserungen nicht immer im Gleichschritt.“ Er zweifelte nicht an einem glücklichen Ausgang des Krieges und erwartete nach ihm „eine weicher gebettete Friedenszeit“. Daß dann nicht die durch den Krieg geweckten sittlichen Kräfte erschlaffen möchten, war seine Sorge. Und zu diesem Zweck sollte man, so mahnte er — auch in dem von ihm selbst geschriebenen Aufsätze „Das Vertrauen zur höheren Schule“ — mehr als bisher im Schüler der oberen Klassen den werdenden Mann sehen. So heißt es im Vorwort: „Die Achtung vor den oft ganz unerwarteten Mannesleistungen unserer Kriegsprüfmaner wird uns vielleicht Anlaß sein können zu einem mehr bewußten, warmherzigen, vertrauensden, aber doch kraftvollen Eingehen auf die jugendfrohe Eigenart und erwachende Männlichkeit der Schüler in den oberen Klassen. Und auch der liebenswürdige Humor, der im Kriege so manche Heldentat vollbracht und über Schwierigkeiten so oft hinweggeholfen hat, er darf dann, ohne den Ernst der Tagesarbeit und die Höhe der Zielleistung zu gefährden, noch mehr als bisher Einlaß finden in die dem Lebensfrühling geöffneten Schulräume und nicht minder in die dem Verkehr zwischen Schule und Elternhaus dienenden Sprechzimmer.“ Diese Worte haben ihren Wert nicht verloren, als der Krieg verloren ging und eine immer wachsende Not über unser Vaterland hereinbrach. Aus ihnen sei als kennzeichnend für NORRENBERG hervorgehoben „der liebenswürdige Humor“, der ihn selbst auszeichnete und der seine Besuche für die Besuchten zu einer Freude machte. Aber NORRENBERG'S Hoffnung auf den Sieg erfüllte sich nicht. Die Umwälzung ließ eine tiefgreifende Umgestaltung des höheren Schulwesens notwendig erscheinen, als er sie für nötig gehalten hatte. Dazu fühlte er sich körperlich, vor allem aber wohl seelisch, nicht imstande. So erbat er zum 1. Juli 1919 seine Versetzung in den Ruhestand. Das war eine Form; in Wirklichkeit vertauschte er die Stelle eines vortragenden Rats mit der des Kurators der Universität Bonn. Fast zehn Jahre lang hat er hier dem Staate weiter gedient, immer aufmerksam auf das Leben der höheren Schule, ihrem Ergehn mit Teilnahme folgend. Zum 1. April 1929 trat er endgültig in den Ruhestand, nicht aus Neigung, sondern weil das Gesetz über die Altersgrenze es

verlangte. Und jetzt hat er diese Erde verlassen und ist damit in den Ruhestand getreten, der über alle einmal kommt. Sein Leib zerfällt, aber sein Name bleibt, und sein Wirken lebt weiter in dem, was er geschaffen hat, und solange die leben, die ihn gekannt haben, auch die Verehrung für ihn.

Rich. Jahnke

Lichttechnische Gesichtspunkte bei optischen Instrumenten.

Von Professor Dr. F. Hauser in Rathenow.

Mehrfach hatte ich über neuere optische Instrumente und Geräte zu berichten, teils in Einzeldarstellungen, teils in größeren Zusammenfassungen. Da eine einfache Aufzählung im letzteren Falle in der Regel für Hörer oder Leser ebenso ermüdend wirkt wie für den Verfasser selbst, so versuchte ich, die zu besprechenden Konstruktionen nach gewissen Prinzipien zu ordnen, um das Thema anregender zu gestalten. Es bringt das zugleich den Vorteil mit sich, daß auf diese Weise besprochene Anordnungen sich leichter dem Gedächtnis einprägen. Auch für die Schule mag daher eine solche Art der Betrachtung von besonderem Wert sein, wozu noch kommt, daß sie die Schüler zu tieferem Nachdenken anregt und ihnen zeigt, wie man Anordnungen, die an sich ganz verschiedenen Zwecken dienen, unter gemeinsame größere Gesichtspunkte stellen kann. Ein derartiger Versuch, mit dem ich in Vorträgen Anklang fand, sei daher hier wiedergegeben.

Als ordnende Prinzipien für optische Instrumente und Geräte schienen sich mir wie von selbst lichttechnische Gesichtspunkte zu ergeben, und zwar einmal die weitgehende Ausnutzung des zur Verfügung stehenden Lichtstroms, dann die Vermeidung störender Reflexe und schließlich die Angleichung der Beleuchtungsverhältnisse an die in der freien Natur vorhandenen.

I. Bestmögliche Ausnutzung des Lichtstroms.

Man wird das jetzige Zeitalter vielleicht einmal auch als das der Organisation der Wirtschaftlichkeit bezeichnen; denn wo wir hinsehen, wird größte Wirtschaftlichkeit angestrebt.

Das gilt insbesondere auch von der Lichttechnik, in der man früher vielfach recht unwirtschaftlich verfahren ist, während man heute auf eine möglichst wirtschaftliche Ausnutzung der Lichtquellen bedacht ist. Es ist interessant zu verfolgen, wie dieses Prinzip sich auch an optischen Instrumenten auswirkt, um auch dort eine möglichst weitgehende Ausnutzung des von der Lichtquelle gelieferten Lichtstroms anzustreben, und zwar auf zwei Wegen, zunächst einmal durch erhöhte Aufnahmevermögen — also erhöhte Apertur — der optischen Teile, sodann durch zweckgebundene Formgebung des Strahlenkegels.

A. Erhöhung des Lichtaufnahmevermögens.

1. Dia- und Epiprojektion.

Der Wunsch nach Erhöhung des Lichtaufnahmevermögens war z. B. der Anlaß zur Einführung des Dreifachkondensors statt des Zweifachkondensors bei der Diapositiv-Projektion, sowie zur Verdrängung der Kondensorlampe durch die Spiegellampe im Kinoprojektor. Fig. 1 zeigt an Hand der eingetragenen Öffnungswinkel die Überlegenheit des Dreifachkondensors gegenüber dem Zweifachkondensor und die der Spiegellampe gegenüber allen Kondensorlampen hinsichtlich des Lichtaufnahmevermögens. Unter sonst gleichen Voraussetzungen verhalten sich die Helligkeiten des Bildes am Projektionsschirm für die drei dargestellten Fälle wie 1:1,5:7,5.

Die Einführung der Spiegellampe in die Kinoprojektion war auch von größter Einwirkung auf die Entwicklung des Kinoobjektivs¹, da die Spiegellampe längst nicht eine so enge Einschnürung des Lichtkegels liefert wie die Kondensorlampe und infolgedessen bei der ersteren diese Einschnürung nicht wie bei der Kondensorlampe ins Objektiv verlegt werden kann, sondern sich im Filmfenster befinden muß. Dies alles veranschaulicht uns Fig. 2. Die gestrichelt gezeichneten Linsen deuten das Objektiv an. Bei der Kondensorlampe ist nur seine Mitte beansprucht, bei der Spiegel-

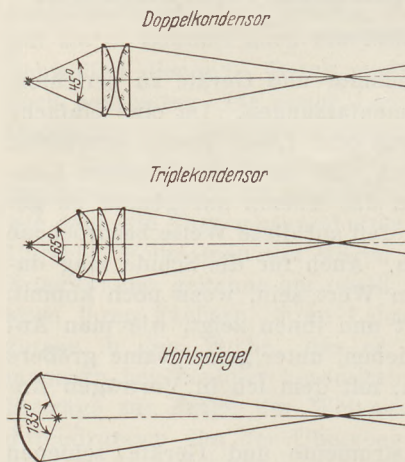


Fig. 1.

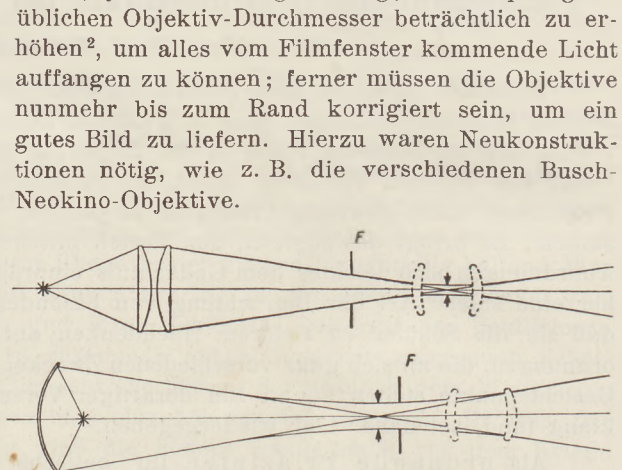


Fig. 2.

lampe dagegen sein ganzer Querschnitt; ja es war sogar nötig, die ursprünglich üblichen Objektiv-Durchmesser beträchtlich zu erhöhen², um alles vom Filmfenster kommende Licht auffangen zu können; ferner müssen die Objektive nunmehr bis zum Rand korrigiert sein, um ein gutes Bild zu liefern. Hierzu waren Neukonstruktionen nötig, wie z. B. die verschiedenen Busch-Neokino-Objektive.

Eine ähnliche Entwicklung wie die Kinoprojektions-Objektive haben auch die Projektionsobjektive der Episkope durchgemacht. Man ist hier zu denkbar großen relativen Öffnungen übergegangen, um möglichst viel von dem Licht auszunutzen, das vom Objekt reflektiert wird.

2. Mikro-Photographie und -Projektion.

Auch in der Mikrophotographie und Mikroprojektion finden wir besonders mit Rücksicht auf die Mikro-Momentphotographie und -Kinematographie Bestrebungen zur besseren Ausnutzung der Lichtquellen, wie sie z. B. in der Einführung asphärischer Lampenkollektoren und der Spiegelbogenlampe auch für diesen Zweck zum Ausdruck kommen. Die asphärischen Lampenkollektoren sind verhältnismäßig kurz-brennweitige Sammellinsen, bei denen durch eine von der Kugelgestalt abweichende Formgebung die sphärische Abweichung vermieden wird, die ja gerade bei kurz-brennweitigen, von Kugelflächen begrenzten Linsen sehr stark ist.

Einen Aufbau mit der Mikro-Spiegelbogenlampe³ stellt die Fig. 3 dar. Es ist eine dem KÖHLERSCHEN Prinzip ähnliche Anordnung getroffen, und zwar wird der Lampenkrater durch den Hohlspiegel in der Feldlinse f abgebildet, die ihrerseits ein Bild des Lampenspiegels im Mikroskopkondensor ko bzw. in dessen Blende erzeugt. Der Mikroskopkondensor bildet die Feldlinse bzw. die hinter ihr befindliche Irisblende i im Objekt scharf ab, so daß diese als Leuchtfeldblende wirkt. Die starke Hitzeentwicklung der Spiegelbogenlampe erfordert eine Kühlkuvette $kü$. Die Vorteile dieser Lampe zeigen sich beim Arbeiten mit schwachen und mittleren Objektiven,

¹ Vgl. hierzu F. HAUSER: Die Kinotechnik 9, 1—6 (1927), sowie F. HAUSER u. L. MOHR: Filmtechnik 4, 23—26 (1928).

² H. NAUMANN: Die Kinotechnik 11, 651—657 (1929). — F. HAUSER u. L. MOHR: Die Kinotechnik 12, 463—468 (1930).

³ Näheres hierzu vgl. H. NAUMANN: Blätter f. Untersuchungs- und Forschungs-Instrumente 2, 88—93 (1928).

für die auch der in unserer Figur dargestellte Aufbau gilt, und zwar beim Arbeiten mit dem Dunkelfeld im durchfallenden Licht und mit der Außenbeleuchtung im auffallenden Licht, also beim Lieberkühnspiegel, beim Dunkelfeldkondensator für Auflicht

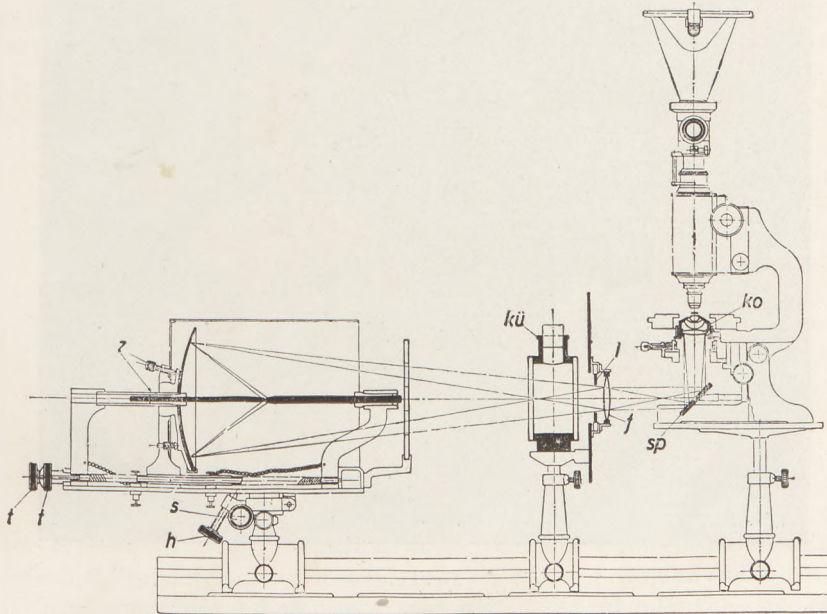


Fig. 3.



Fig. 4 a.

usw. Die Lampe gibt hier bei sonst gleichen Verhältnissen ein im Durchmesser etwa zwei- bis dreimal so großes Leuchtfeld wie die Kondensorbogenlampe. Ein Vergleich der beiden Mikroaufnahmen (Fig. 4a u. 4b) von Salmiakkristallen im Dunkelfeld bei 170facher Vergrößerung einmal mit Kondensor-, das andere Mal mit Spiegelbogenlampe zeigt, um wie viel das Leuchtfeld der letzteren größer ist als das der ersteren.

Nebenbei sei erwähnt, daß die Mikrospiegelbogenlampe auch eine vorzügliche Lichtquelle für ultraviolette Strahlung zu Fluoreszenz-Untersuchungen¹ darstellt, wenn man

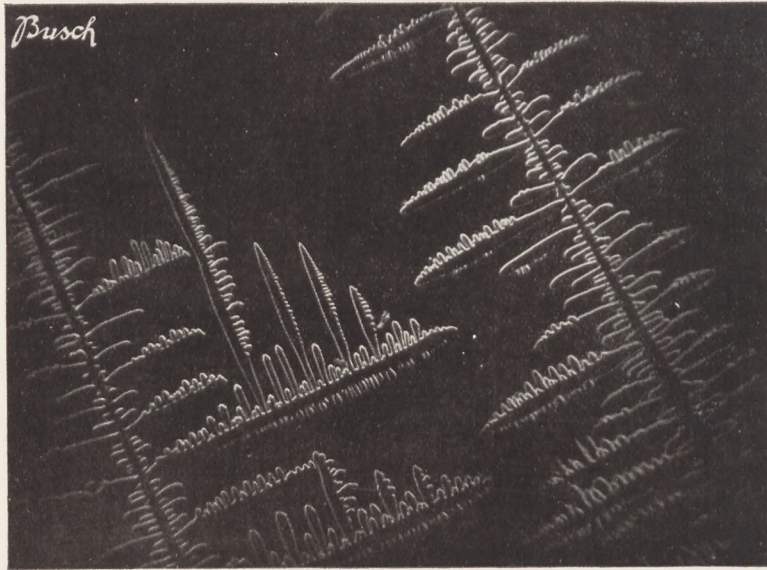


Fig. 4 b.

ihr Licht entsprechend filtert und die von der Ultraviolettstrahlung zu durchsetzenden Linsen usw. aus einem ultraviolettdurchlässigen Material, z. B. Uviolglas, anfertigt.

B. Zweckgebundene Form des Lichtkegels.

1. Verbesserung der Spiegellampen.

Zu erwähnen sind hier z. B. die Bestrebungen zur wirtschaftlichen Verbesserung der Spiegellampe, wie sie in den Kinoprojektoren benutzt wird. Eine gute derartige

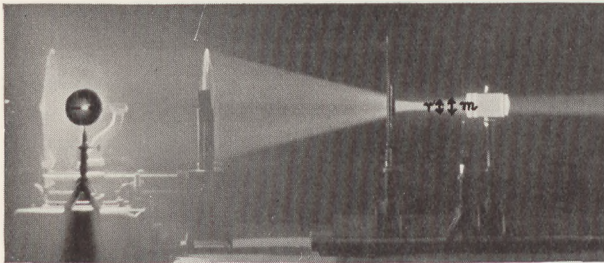


Fig. 5.

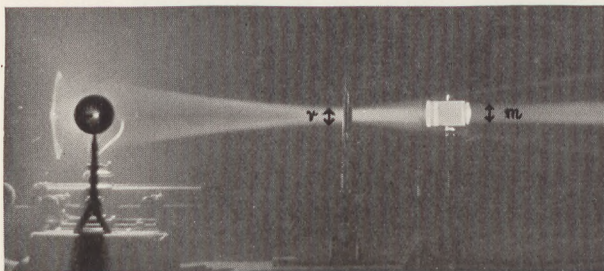


Fig. 6.

Anordnung ist die Verbindung von Parabelspiegel mit Linse bei Verwendung einer Gleichstrom-Bogenlampe. Man kann hier den Parabelspiegel so groß wählen, daß er den vom Krater kommenden Lichtstrom so gut wie vollständig auffängt. Er sendet dann, wie Fig. 5 zeigt, ein paralleles Bündel gegen die Linse, die ihrerseits das Licht im Bildfenster vereinigt. Gegen diese Anordnung ist eigentlich nur einzuwenden, daß sie etwas teurer kommt als die einfache Spiegellampe, weshalb man sich bemüht hat, auch diese zu verbessern. Fig. 6 zeigt, daß der gewöhnliche Kugelspiegel bis zu einem gewissen Öffnungswinkel einen vorzüglich geformten

¹ Vgl. NAUMANN: Blätter f. Untersuchungs- und Forschungs-Instrumente, 3, 21—27 (1929).

Lichtkegel liefert, und es haben auch theoretische Untersuchungen¹ den einfachen Kugelspiegel als besonders geeignet gezeigt.

Vergrößert man jedoch den Öffnungswinkel, also die Apertur des Kugelspiegels, so macht sich eine sehr stark störende sphärische Abweichung der Randzonen bemerkbar, und es ist daher mit dem einfachen Kugelspiegel nicht möglich, den von dem Krater der Bogenlampe gelieferten Lichtstrom voll auszunutzen, wie Fig. 7 zeigt.

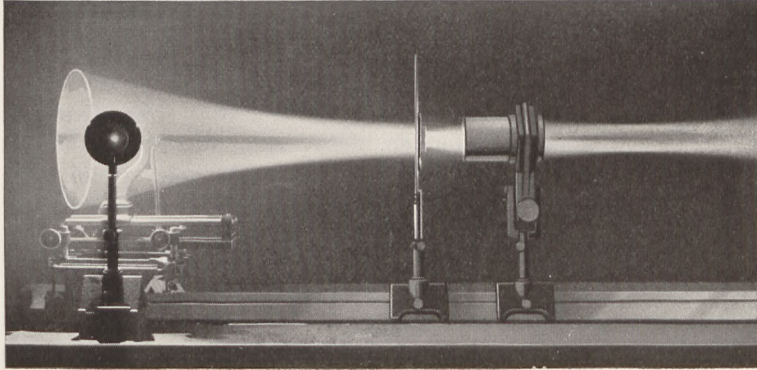


Fig. 7.

Aus dieser ersehen wir, daß der Strahlenkegel auf der Lampenseite des Filmfensters einen wesentlich größeren Durchmesser hat als auf der Objektivseite; es wird also von der Umrahmung des Filmfensters sehr viel Licht abgefangen, und man kann leicht zeigen, daß dies die Randstrahlen des Spiegels sind.

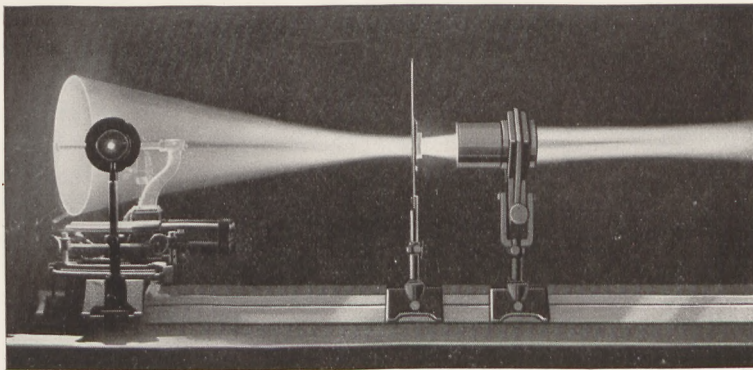


Fig. 8.

Aus der guten Wirkung, welche ein Kugelspiegel bis zu einer gewissen Öffnung ergibt, glaubte ich jedoch folgern zu dürfen, daß es wohl möglich sein müsse, durch einen Spiegel, der aus einer Kugelhaube und anschließenden Zonen von anderen Krümmungsradien sich zusammensetzt, einen gut geformten Lichtkegel zu erhalten. Ein Versuchsspiegel dieser Art bewährte sich sehr gut, und aus diesen Versuchen heraus ist der neue asphärische Kinospiegel² der Firma Busch, Rathenow, entstanden. Seinen Strahlenkegel zeigt Fig. 8; wir erkennen an der geringen Querschnittsveränderung des Strahlenkegels durch das Filmfenster, daß dieses tatsächlich mit bedeutend geringerem Verlust vom Licht durchsetzt wird als beim gleich großen Kugelspiegel. Der asphärische Spiegel, der den Namen „Neospiegel“ trägt, vereinigt

¹ A. SONNEFELD: Die Kinotechnik 9, 89—94 (1927).

² Vgl. hierzu F. HAUSER: Die Kinotechnik 12, 379—382 (1930).

gewissermaßen die Vorzüge der aus Parabelspiegel und Linse bestehenden Anordnung bzw. des Ellipsenspiegels mit denjenigen des einfachen Kugelspiegels.

2. Polyederspiegel für Episkop.

Ein interessantes Problem war auch die möglichst weitgehende Ausnutzung des von einer Glühlampe gelieferten Lichtstroms zur Beleuchtung im Episkop. Wir haben hier zwar ebenso wie bei der Kinolampe die Beleuchtung einer Fläche auszuführen, der prinzipielle Unterschied ist jedoch der, daß im Kinoprojektor das von der Lampe kommende Licht auch nach der Durchleuchtung des Films weiterhin einen streng geformten Lichtkegel bildet und bilden muß, während bei dem Episkop das Licht von dem Objekt diffus reflektiert wird, so daß hier also, wenn wir uns einmal das Objekt wegdenken, der Verlauf der Beleuchtungsstrahlen nach dem Durchtritt durch die Objektebene gleichgültig ist. Bisher hat man für die episkopische Beleuchtung dieselben Anordnungen angewendet, wie sie sich für die Diaprojektion bewährt hatten. Nun senden aber die Glühlampen im Gegensatz zu den lichttechnisch für Projektionszwecke am besten geeigneten Gleichstrombogenlampen nicht einen bestimmt begrenzten Lichtkegel aus, sondern eine allseitige räumliche Strahlung. Daher ist bei ihnen die Ausnutzung des Lichtstroms in den üblichen

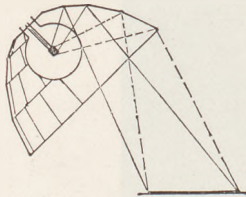


Fig. 9.

Projektionsanordnungen immer noch eine verhältnismäßig unbefriedigende, selbst dann, wenn sogenannte Verstärkungsspiegel angewendet werden.

Der gekennzeichnete prinzipielle Unterschied zwischen den Anforderungen, die an die Objektbeleuchtung für die Diaprojektion einerseits und für die Epiprojektion andererseits zu stellen sind, legt es eigentlich nahe, von den für die Diaprojektion bewährten Systemen abzuweichen und ein anderes, auf die speziellen Forderungen der Epiprojektion zugeschnittenes System zu suchen. Dieses wurde in einem Polyederspiegel¹ gefunden, der eine ebenso einfache wie erfolgreiche Lösung der gestellten Aufgabe bedeutet. Das Prinzip zeigt uns die Fig. 9. Jede der zahlreichen Polyederflächen, aus denen der Spiegel besteht, ist so gerichtet und so groß, daß die von dem Lampenleuchtkörper nach ihren Ecken gehenden Strahlen nach den entsprechenden Ecken der Objektfläche reflektiert werden. Es entstehen somit eine große Zahl von an der Spiegelfläche geknickten Strahlen-Pyramiden, deren Basis die Objektfläche bildet und deren Spitze im Leuchtkörper der Lampe liegt. Mit einem derartigen Spiegel ist es möglich, eine Lampe so zu umschließen, daß der von ihr ausgehende Lichtstrom bis auf kleine Reste ausgenutzt wird. In der Tat überrascht das mit diesem Spiegel ausgerüstete Einlampen-Episkop der Firma Busch durch seine große Helligkeit, die selbst diejenige von älteren Zweilampengeräten übertrifft.

3. Lichtsignale.

Handelt es sich bei dem Kinospiegel und bei dem Episkopspiegel um möglichst wirtschaftliche Ausleuchtung einer Fläche, so verlangen die neuen Lichtsignale der Eisenbahn mit Rücksicht auf die wirtschaftliche Ausnutzung der zur Verfügung stehenden Lichtquelle die Ausleuchtung eines bestimmten Raumgebildes.

Bei den Haltesignalen zum Beispiel, die auf der Berliner Stadtbahn bereits überall eingebaut sind, ist verlangt worden, daß die betreffenden Scheinwerferlampen einen Lichtkegel aussenden, der bei verhältnismäßig geringer Höhe nach der Seite einen ganz bestimmten Kegelwinkel ausleuchtet, so daß eine Art Strahlenfächer entsteht. Die grundlegenden Versuche für diese Signallampen wurden schon vor mehreren Jahren im Laboratorium der Firma Busch durchgeführt. Während die ersten Überlegungen unter anderem vermuten ließen, daß das gewünschte Ergebnis durch die

¹ F. HAUSER: Photographische Rundschau und Mitteilungen 67, 103—104, 132—134 (1930).

Kombination eines normalen Scheinwerfers mit einer Zylinderlinse zu erzielen sei, zeigte sich, daß man hierbei die Austrittsöffnung der Lampe nicht als Kreisfläche sehen konnte, wie von der Bahnverwaltung vorgeschrieben, sondern nur als Linie oder Stab. Dagegen erhielt man den gewünschten Erfolg, wenn man vor den Scheinwerfer ein senkrecht geriefeltes Glas brachte, das in seiner Wirkung zahlreichen schmalen, nebeneinandergesetzten Zylinderlinsen gleichkommt. Auf der Grundlage dieser Versuche wurde dann die endgültige Signallampe¹ entwickelt. Dabei war dem rechnenden Optiker die Aufgabe gestellt, mit einer einzigen Linse möglichst viel Licht aufzufangen, was natürlich nur mit Hilfe einer asphärischen Linse sich erreichen ließ. Diese Linse übertrifft, wie noch bemerkt sei, die im Auslande für solche Zwecke üblichen Fresnellinsen an Leistungsfähigkeit.

Ein zweites Signalgerät, das für die Bahnverwaltung auszuprobieren war, betrifft die Projektion von Zeichen oder Ziffern auf eine durchscheinende Fläche, wobei das Projektionsbild innerhalb eines bestimmt begrenzten Raumes zu sehen sein soll. Die hierfür grundlegenden Versuche wurden im Anschluß an diejenigen für die oben besprochene Signallampe durchgeführt. Der Grundgedanke sollte hier wieder sein, daß ein parallelstrahliger oder schwach divergierender Scheinwerferkegel nachträglich entsprechend zerstreut wird. Es kam hierfür ein Projektionssystem in Frage, bei dem das betreffende Zeichen auf eine Scheinwerferlinse projiziert wird, in deren Brennpunkt das Projektions-Objektiv angeordnet ist. Das in diesem befindliche Lichtquellen-

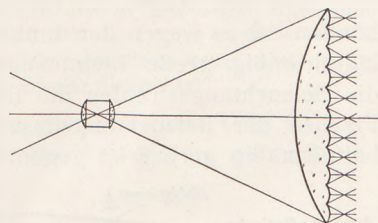


Fig. 10.

bild dient dann als Lichtquelle, und das aus der Scheinwerferlinse austretende Strahlenbündel ist dann entsprechend zu zerstreuen. Die Versuche sollten sich zunächst auf die Ausleuchtung eines keisegelartigen Raumes beschränken. Die Lichtzerstreuung konnte infolgedessen durch einfache Streuscheiben vorgenommen werden und wurde zunächst, wie das nahe liegt, mit Mattscheiben verschiedener Körnung und Milchglasscheiben verschiedener Dichte versucht. Diese Versuche verliefen jedoch negativ. Es wurden nun verschiedene Ornamentgläser, wie sie für undurchsichtige Fenster verwendet werden, durchprobiert, wobei sich als brauchbar ein Glas erwies, das auf der einen Seite in bienenwabentypischer Anordnung kleine linsenartige Buckel hatte. Durch diese kleinen Linsen wird innerhalb des durch ihre Brennweite und ihren Durchmesser bestimmten Kegels dem Beschauer von den einzelnen Stellen der Projektionsfläche das Licht so zugeleitet, daß er die ganze Projektionsfläche überblickt. Mit diesem Versuch ist die Grundlage für derartige Anordnungen gegeben; so kann man z. B. einen pyramidenförmigen oder fächerförmigen Raum ausleuchten, wenn man die als Projektionsfläche dienende Sammellinse mit einer Vielzahl kleiner linsenartiger konvexer oder konkaver Elemente von rechteckiger Form versieht, deren Brennweite in einem entsprechenden Verhältnis zu ihrer Länge und Breite steht. Fig. 10 zeigt einen schematischen Schnitt durch eine solche Linse und das zugehörige Projektionsobjektiv.

4. Bühnen-Regenbogenapparat.

Ein besonders gutes Beispiel für die Erzielung guter Lichtausnutzung durch zweckgebundene Form des Lichtkegels ist der Bühnen-Regenbogenapparat², den ich vor mehreren Jahren konstruierte. Bei diesem Apparat wird das Licht einer Glühlampe zunächst durch einen Kondensator schwach konvergent gemacht und trifft dann auf eine quadratische Zylinderlinse, so daß ein schmales bandförmiges Bild der Licht-

¹ Vgl. hierzu BUDDENBERG: Verkehrstechn. Woche 1929, H. 15—22.

² F. HAUSER: Central-Zeitung f. Optik u. Mechanik 44, 195—199 (1923).

quelle entsteht. An der Stelle dieses Lichtquellenbildes befindet sich ein verstellbarer Spalt, der mittels eines Objektivs durch ein großes Prisma hindurch auf dem Bühnenhintergrund abgebildet wird. Die Krümmung des Spaltbildes erfolgt hier, was gerade für den physikalischen Unterricht recht interessant ist, allein vermittelt einer durch die Führung der Lichtstrahlen bewirkten Steigerung der vom Spektralapparat her bekannten und dort unerwünschten Krümmung der Spektrallinien. Hinsichtlich der Einzelheiten muß auf die Originalveröffentlichung verwiesen werden.

II. Vermeidung störender Reflexe.

Dieses Prinzip ist besonders von Wichtigkeit bei den Beleuchtungsanordnungen für wissenschaftliche und medizinische Instrumente. In allererster Linie sind hier die auf dem THORNERschen Prinzip der reflexlosen Ophthalmoskopie beruhenden ophthalmologischen Instrumente zu nennen.

1. Ophthalmologische Instrumente.

Um den Augenhintergrund oder ein auf ihm entworfenes Bild betrachten zu können, ist es wegen der dunklen Färbung dieses Hintergrundes notwendig, eine verhältnismäßig große Lichtmenge in das Auge zu bringen. Hierbei entstehen da, wo die Beleuchtungsstrahlen die Hornhaut des Auges treffen, Reflexe und ebenso an den Flächen der Beleuchtungslinsen. Wenn nun auch die Intensität dieser Reflexe verhältnismäßig gering ist gegenüber der Intensität des eingestrahelten Lichtes, so ist sie

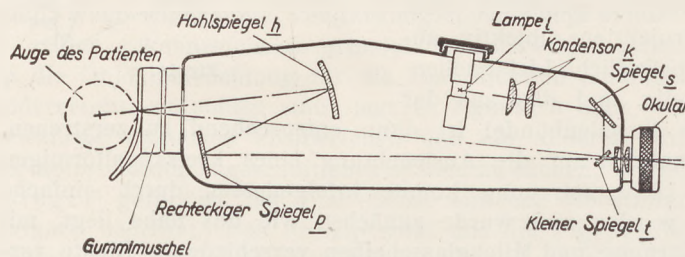


Fig. 11.

doch sehr groß im Vergleich zu der an der Netzhaut diffus reflektierten und aus der Pupille wieder ausgestrahlten Lichtmenge. Die Folge davon ist, daß da, wo ein Hornhaut- oder Linsenreflex im Gesichtsfeld erscheint, von dem Augenhintergrund

des Patienten nichts oder so gut wie nichts zu sehen ist. Bei den älteren auf HELMHOLTZ zurückgehenden Handaugenspiegeln werden die Reflexe durch entsprechendes Halten des Gerätes so gelegt, daß sie bei der Beobachtung des Augenhintergrundes nicht oder möglichst wenig stören. Das erfordert ziemliche Übung, und das Augenspiegeln auf diese Art ist daher in erster Linie Sache des Spezialisten geblieben. HELMHOLTZ hat auch schon den Vorschlag gemacht, die Reflexe durch entsprechende Anordnung NIKOLScher Prismen zu beseitigen. Es geschieht das in der Weise, daß man mit polarisiertem Licht beleuchtet und durch ein zweites Nikol beobachtet, dessen Schwingungsebene senkrecht zu der des ersten steht. Hierdurch werden die Hornhaut- und Linsenreflexe ausgelöscht, während das durch die diffuse Reflexion an der Netzhaut depolarisierte Licht durch das zweite Nikol in das Auge des Beobachters gelangen kann. Der Nachteil einer solchen Anordnung ist, neben dem hohen Preis der Nikols der große Lichtverlust, den diese bedingen; denn allein durch den Polarisationsvorgang gehen bei einer solchen Anordnung 75 % des Lichtes verloren.

Man hat deswegen versucht, die Reflexfreiheit auf geometrischem Wege, d. h. durch geeignete Führung der Lichtstrahlen, zu erreichen, und THORNER¹ dürfte wohl der erste gewesen sein, der die Grundbedingungen für dieses Verfahren erkannt und klar formuliert hat. Die von THORNER aufgestellte Bedingung für die Reflexlosigkeit lautet, daß die Beleuchtungsstrahlen und die Beobachtungsstrahlen durch räumlich getrennte Teile der Pupille des untersuchten Auges ein- bzw. aus-

¹ Vgl. W. THORNER: Die Theorie des Augenspiegels. Berlin: August Hirschwald 1903.

treten müssen. Das bedeutet also, daß zwei räumlich oder wenigstens optisch getrennte Strahlengänge vorhanden sein müssen, der eine für die Beleuchtung, der andere für die Beobachtung des Augenhintergrundes. Um auch noch die Linsenreflexe zu beseitigen, ersetzte THORNER die den Augenhintergrund beleuchtende und abbildende Linse durch einen Hohlspiegel. Diese Konstruktion ist verwirklicht in dem monokularen und binokularen Handaugenspiegel nach Professor THORNER. Das Prinzip dieser Augenspiegel sei in Fig. 11 an einer schematischen Zeichnung des monokularen Handaugenspiegels¹ erläutert. Das Licht wird hier nur durch die eine Pupillenhälfte in das Patientenaug gesandt, und das Abbild dieser Pupillenhälfte wird vor dem Beobachteraug durch eine halbkreisförmige Okularblende abgedeckt, während der Beobachter durch die freibleibende halbmondförmige Öffnung das Bild der Netzhaut erblickt.

Die von der Lampe l ausgehenden Lichtstrahlen werden von dem Kondensor k gesammelt und erzeugen nach Reflexion an dem Spiegel s ein Bild der Lichtquelle auf einem zweiten kleineren Spiegel t , der sich unmittelbar an der Okularblende befindet. Von hier aus gelangen die Strahlen über den großen rechteckigen Planspiegel p auf den Hohlspiegel h , der die Lichtquelle nochmals, und zwar auf der einen Pupillenhälfte des Patientenauges, abbildet und so den Augenhintergrund beleuchtet. Die von diesem zurückgeworfenen Strahlen gelangen durch die Pupille zunächst wieder auf den Hohlspiegel h , der ein umgekehrtes reelles Bild des Augenhintergrundes erzeugt. Dieses Bild wird von dem Beobachter über den großen Spiegel p durch das Okular betrachtet.

Die geschilderte Vermeidung störender Reflexe auf geometrischem Weg ist auch in einer Reihe anderer ophthalmologischer Instrumente zur Anwendung gelangt.

2. Der Vertikal-Illuminator.

Dieses Instrument, das in mancher Hinsicht an den Augenspiegel erinnert, dient zur Untersuchung opaker Objekte mit dem Mikroskop. Bei dem Vertikal-Illuminator tritt das Licht bekanntlich durch ein senkrecht zur Mikroskopachse liegendes Beleuchtungssystem ein, trifft dann über dem Objektiv auf ein total reflektierendes Prisma oder ein unter 45° geneigtes Glasplättchen und wird von diesem durch das Objektiv hindurch dem Objekt zugeführt. Bei Prisma und Plättchen entstehen Reflexe an den Linsenflächen des Objektivs, bei dem Plättchen erfolgt weiterhin eine allgemeine Überstrahlung durch das Licht, welches durch das Plättchen hindurch auf die Rückwand des Vertikal-Illuminator-Gehäuses trifft und diese intensiv beleuchtet. Selbst bei Belegung dieser Rückwand mit einem ganz stumpfen, schwarzen Material wird von diesem noch so viel Licht diffus reflektiert, daß es, von dem Plättchen nach oben geworfen, eine allgemeine Überstrahlung des Bildes hervorruft, die allerdings nur in verhältnismäßig seltenen Fällen merklich stört. Nachteiliger können die Linsenreflexe des Objektivs oder unerwünschte Reflexe am Objekt werden, letztere z. B. bei der Aufnahme feuchter Gewebe, bei der Untersuchung von Hautkapillaren, zu der es notwendig ist, die Haut mit Öl einzureiben, bei Objekten mit spiegelnder Oberfläche, wie Gesteinsschliffen, glasiertem Porzellan usw.

Um diese Reflexe zu beseitigen, hat man auch hier zum polarisierten Licht gegriffen, jedoch haben dieselben Gründe wie beim Augenspiegel die allgemeine Einführung dieses Verfahrens unterbunden. Weiterhin versucht man durch etwas schrägen Lichteinfall, den man z. B. durch Anordnung von Blenden im Vertikal-Illuminator erreichen kann, diese Reflexe zu vermeiden. Der schräge Lichteinfall wird jedoch wegen des Auftretens von Lichtkanten von mancher Seite abgelehnt. Beim Prisma fehlt die Gehäuseüberstrahlung, ferner kann man sich bei ihm wenigstens gegen die Linsenreflexe dadurch helfen, daß man das Prisma möglichst nahe an die oberste Linsenfläche des Objektivs heranrückt. Wir haben dann eine gewisse Trennung von Beleuchtungs- und Beobachtungsstrahlengang, ähnlich wie bei dem THORNERschen Augenspiegel. Freilich hat das Prisma den prinzipiellen Nachteil, daß es die Apertur des Objektivs

¹ Vgl. hierzu W. THORNER: Central-Zeitung f. Optik u. Mechanik 52, 169—174 (1931).

beschränkt. Wenn man auch versucht hat, diesen Nachteil durch eine besondere Form des Prismas zu vermindern, so kann man ihn doch leider nicht ganz beseitigen.

3. Reflexvermeidung durch Außenbeleuchtung bei der Auflichtmikroskopie.

Neben dem Vertikal-Illuminator finden in neuerer Zeit für die mikroskopische Auflichtbeleuchtung andere Anordnungen mehr und mehr Verbreitung, bei denen das Licht nicht durch das Objektiv hindurch dem Objekt zugeführt wird, sondern ein- oder mehrseitig außerhalb des Objektivs. Es hat sich hierfür der Begriff der „Außenbeleuchtung“ eingeführt gegenüber dem der „Innenbeleuchtung“ beim Vertikal-Illuminator. Alle diese Anordnungen, wie der Lieberkühnspiegel, der von mir angegebene Dunkelfeldkondensator für Auflicht, der Parabelspiegel nach P. METZNER und der ebenfalls von mir angegebene Schräglicht-Illuminator, vermeiden prinzipiell störende Reflexe. Trotzdem möchte ich als ihr Hauptprinzip ein anderes bezeichnen, auf das wir nun zu sprechen kommen.

III. Angleichung der Beleuchtung an die in der freien Natur gegebene.

Wir haben im Freien entweder das gerichtete Sonnenlicht oder diffuses Himmelslicht. Beim Sonnenlicht unterscheidet man Vorderlicht, wenn die Sonne sich hinter dem Beschauer befindet, Gegenlicht, wenn sie vor ihm steht, und endlich Seitenlicht. Hinsichtlich der Erkennung von Einzelheiten wirkt von diesen drei Arten der Beleuchtung das Seitenlicht am günstigsten, besonders dann, wenn eine nicht zu schwache diffuse Beleuchtung hinzukommt, also etwa der Himmel mit einem dünnen Nebelschleier überzogen ist.

Die üblichsten Beleuchtungsarten beim Mikroskop sind das durchfallende Licht, das in gewisser Beziehung dem Gegenlicht vergleichbar ist, und die Beleuchtung mit dem Vertikal-Illuminator, welche wir dem Vorderlicht gleichsetzen können. Das heißt also: ein Gegenstück zu der günstigsten natürlichen Beleuchtung fehlt bei den bisher am meisten angewendeten Verfahren. Erst in der letzten Zeit sind eine Reihe von Anordnungen und Verfahren vervollständigt und neu geschaffen worden, die sowohl für die Mikroskopie und Mikrophotographie als auch für die Makrophotographie (d. h. die Photographie in natürlicher Größe, bei geringen Verkleinerungen und bei geringen Vergrößerungen, wie sie denen der Lupen entsprechen) eine Angleichung an die natürliche Beleuchtung bringen. Damit ist zugleich — wie hier vorweggenommen sei — eine naturwahre Wiedergabe der Objektfarben verbunden, wie sie bei der bis vor kurzem überwiegenden Beleuchtung mit vertikal auffallendem Licht wegen der Überlagerung des Reflexlichtes niemals zu erzielen ist, was schon mehrfach von Wissenschaftlern hervorgehoben wurde.

Es besteht heute bereits eine recht umfassende Apparatur in dieser Hinsicht; da diese Anordnungen zugleich typische Beispiele dafür sind, wie die Physik, richtig angewandt, den anderen Wissenschaften wertvolle Hilfsmittel an die Hand liefern kann, dürfte es gerade hier interessieren, einen kurzen Überblick über solche Vorrichtungen¹ und ihre Wirkungsweise zu geben. Hinsichtlich näherer Einzelheiten über alle diese Anordnungen sei auf die in den Fußnoten angeführten Abhandlungen verwiesen.

1. Beleuchtungsanordnungen für Makroaufnahmen.

Solche sind:

a) Die bekannte Mattscheibe-Spiegel-Anordnung², bei der eine Objektseite durch eine Mattscheibe hindurch beleuchtet wird, während die Schatten auf der anderen Seite durch einen Spiegel aufgehellt werden.

¹ Es ist im Rahmen dieser Abhandlung natürlich nicht möglich, alle derartigen Anordnungen zu beschreiben. Ich werde mich daher in erster Linie auf diejenigen beschränken, die ich selbst benutzt bzw. angegeben habe. Sonst noch existierende Anordnungen lassen sich in unser Schema einfügen. Vgl. hierzu auch F. HAUSER: Zeitschr. f. wiss. Mikroskopie 48, 63—77 (1931).

² Vgl. F. HAUSER u. L. MOHR: Zeitschr. f. wiss. Mikroskopie 46, 196—200 (1929).

b) Eine Hohlspiegelanordnung¹, bei der ein Kinohohlspiegel, der sich über dem auf einem durchsichtigen Tisch liegenden Objekt befindet, eine von rückwärts beleuchtete Matt- oder Milchglasscheibe auf dem Objekt abbildet, so daß eine allseitig schräg von oben einfallende, schattenfreie Beleuchtung entsteht.

c) Eine Soffittenanordnung², bei der sich vier Soffittenlampen in einem über dem Objekt angeordneten Hohlrahmen befinden, die alle einzeln geschaltet werden können, so daß man ein-, zwei-, drei- oder allseitige Beleuchtung anwenden kann, und zwar entweder seitlich oder schräg von oben. Durch Einhängen von Mattscheiben usw. in den Rahmen kann die Beleuchtung in mannigfacher Weise abgestimmt werden.

2. Beleuchtungsanordnungen für Mikroskopie und Mikrophotographie.

Es sind das die schon unter dem zweiten Prinzip der Vermeidung von Reflexen aufgezählten Anordnungen für Außenbeleuchtung, die sich parallel den Anordnungen für Makrobeleuchtung gruppieren lassen, also diese gewissermaßen in das Arbeitsgebiet der Mikroskopie und Mikrophotographie fortsetzen. Von den hierher gehörenden Anordnungen mögen genannt sein:

a) Der Opakspiegel, ein kleiner, mittels eines Gelenkarmes am Mikroskopisch zu befestigender Spiegel, der bei Beleuchtung der einen Objektseite mittels einer Lampe zur Aufhellung der anderen Objektseite dient. Er ist also der Mattscheibe-Spiegel-Anordnung vergleichbar.

b) Der Schräglicht-Illuminator³, bei dem seitlich einfallendes Licht auf der Objektfläche konzentriert wird. Dieses Instrument verdient hier vielleicht auch deshalb besonderes Interesse, weil bei ihm in einem einzigen

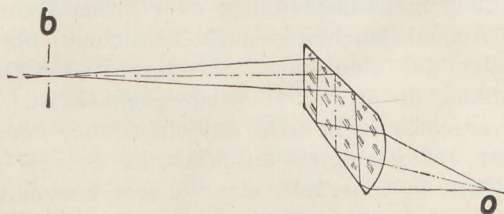


Fig. 12.

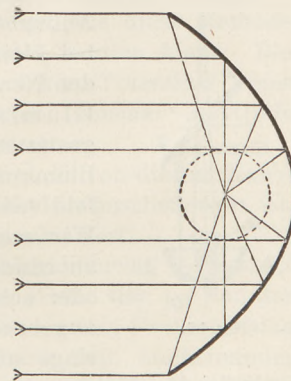


Fig. 13.

Glaskörper zwei reflektierende und eine als Sammellinse wirkende Flächen vereinigt sind. Fig. 12 zeigt schematisch den Strahlengang beim Schräglicht-Illuminator von der Lampenblende *b* bis zum Objekt *o*.

c) Dem Schräglicht-Illuminator verwandt ist der Parabelspiegel nach P. Metzner⁴, der in Fig. 13 schematisch dargestellt ist. Paralleles oder durch eine Zylinderlinse einseitig zusammengeschnürtes Licht trifft hier auf einen Paraboloidauschnitt und wird von diesem auf der Objektfläche vereinigt. Während die Beleuchtung mit dem Schräglicht-Illuminator nur ein verhältnismäßig kleines Azimut umfaßt, ist dieses beim Parabelspiegel wesentlich größer. Die Folge davon ist, daß der Schräglicht-Illuminator in erster Linie da von besonderem Vorteil ist, wo es sich um die Wiedergabe in einer bestimmten Richtung verlaufender linienförmiger Strukturen handelt, während der Parabelspiegel da am Platze ist, wo eine vielseitige, in ihrer Wirkung der allseitigen nahe kommende Beleuchtung zweckmäßig ist. Nebenbei erwähnt sei hier, daß man sowohl mit dem Schräglicht-Illuminator als auch mit dem METZNERSCHEN Spiegel die Beleuchtung so intensiv gestalten kann, daß selbst bei mittleren Vergrößerungen Moment- und kinematographische Aufnahmen möglich werden.

¹ F. HAUSER u. L. MOHR: Zeitschr. f. wiss. Mikroskopie 46, 196—200 (1929).

² F. HAUSER u. L. MOHR: Zeitschr. f. wiss. Mikroskopie 46, 392—395 (1929).

³ F. HAUSER: Zeitschr. f. Instrumentenkunde 49, 496—500 (1929).

⁴ P. METZNER: Zeitschr. f. wiss. Mikroskopie 46, 233—245 (1929).

d) Weiter zu erwähnen ist hier der bekannte Lieberkühnspiegel¹ für eine allseitig schräg von oben einfallende Beleuchtung, dessen Strahlengang die Fig. 14 zeigt. Diese ist wohl ohne ausführliche Erläuterung verständlich; das vom Mikroskopspiegel durch eine Glaseinlage im Objektisch rings um das Objekt (das also in diesem Fall eine gewisse Größe nicht überschreiten darf) nach oben reflektierte Licht wird von dem das Objektiv umschließenden Lieberkühnspiegel auf dem Objekt konzentriert.

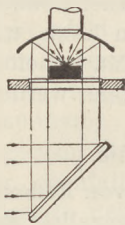


Fig. 14.

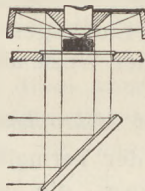


Fig. 15.

e) Für kurze Objektivbrennweiten versagt der Lieberkühnspiegel, da bei diesen die von ihm kommenden Strahlen durch die Objektivfassung abgefangen werden. Für diese Objektive dient der vom Verfasser angegebene Auflicht-Dunkelfeldkondensator², bei dem das Licht allseitig streifend der Objektobjektfläche zugeführt wird. Den Strahlengang zeigt schematisch Fig. 15. Bis zum Dunkelfeldkondensator ist er derselbe wie beim Lieberkühnspiegel. Dann treffen die Strahlen jedoch auf einen das Objekt umschließenden Kegelspiegel, der sie wagerecht nach außen gegen einen ringförmigen Hohlspiegel reflektiert, der sie auf dem Objekt vereinigt.

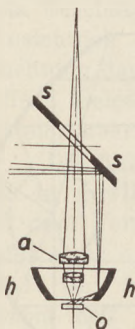


Fig. 16.

f) Wie wir aus den Fig. 14 u. 15 sehen, läßt sich die allseitige Außenbeleuchtung mit Lieberkühnspiegel und Auflichtkondensator nur bei kleinen Objekten anwenden. Das ist aber ein gewisser Nachteil den Neukonstruktionen, wie z. B. der Hell-Dunkelfeld-Vertikal-Illuminator³ der Firma Busch, vermeiden. Dieser Vertikal-Illuminator gestattet, in einfachster Weise vom Hellfeld (d. i. die übliche Vertikal-Illuminator-Beleuchtung mit Glasplättchen oder Prisma) zum Dunkelfeld (wie man die Außenbeleuchtung auch bezeichnet) überzugehen. Wir wollen uns hier auf eine kurze Skizzierung der Dunkelfeldanordnung beschränken, die in Fig. 16 wiedergegeben ist. Paralleles oder schwach konvergentes Licht trifft auf einen über dem Objektiv angebrachten, unter 45° geneigten durchbohrten Spiegel *s*, der es rings um das Objektiv *a* innerhalb einer dieses konzentrisch umschließenden Hülse (nicht gezeichnet) gegen einen Hohlspiegelring *h* leitet, von dem es in der Einstellenebene des Objektivs auf dem Objekt *o* konzentriert wird. Diese Beleuchtungsanordnung erfordert zwar besondere Objektivfassungen, läßt sich jedoch in derselben Weise für schwache und starke Systeme anwenden. Die Wirkung ist derjenigen des Lieberkühnspiegels bzw. des Auflicht-Dunkelfeldkondensators praktisch gleich.

Sowohl bei der Makro- als auch bei der Mikrophotographie können die Objekte gelegentlich für möglichst lebendige Wiedergabe eine Kombination verschiedener Beleuchtungsanordnungen erfordern. So haben wir z. B. für Insektenaufnahmen die Soffittenanordnung mit der Hohlspiegelanordnung oder auch zwei Mattscheibe-Spiegel-Anordnungen kombiniert; Grammophonnadeln⁴ erforderten eine Beleuchtung des Untergrundes mit durchfallendem Licht und eine Oberflächenbeleuchtung mit Hilfe des Lieberkühnspiegels; feinmaschige Drahtnetze⁴ wurden am besten bei Untergrundauffhellung mit durchfallendem Licht verbunden mit auffallender Beleuchtung sowohl mit seitlichem Licht (Opakspiegel) als auch mit senkrecht von oben auftreffendem Licht.

3. Raumbeleuchtung.

Erwähnt werden mag noch, daß die Bestrebungen, die Beleuchtung der im Freien vorhandenen natürlichen möglichst anzugleichen, die wir hier so schilderten,

¹ Vgl. u. a. W. HORN: Blätter f. Untersuchungs- u. Forschungs-Instrumente 1, 20—21 (1927).

² F. HAUSER: D. O. W. 11, 185—187 (1925).

³ F. HAUSER: Glastechnische Berichte 9, 139—144 (1931), sowie F. HAUSER: Zeitschr. f. wiss. Mikroskopie 48, 63—77 (1931).

⁴ F. HAUSER u. L. MOHR: Zeitschr. f. Metallkunde 21, 237—239 (1929).

wie sie sich in den letzten Jahren mehr und mehr für die Beleuchtung makroskopischer und mikroskopischer Objekte eingeführt haben, auch im großen bei der gesamten Raumbeleuchtung, insbesondere auch der modernen Schaufensterbeleuchtung sich wiederfinden, so daß wir hier also ein gleichsinniges Fortschreiten auf breitester Linie vor uns haben.

Wenn ich mich auch in dem Dargestellten vorwiegend auf Anordnungen beschränken mußte, die in erster Linie mein engeres Arbeitsgebiet betreffen, so glaube ich doch, daß die angeführten Beispiele hinreichen werden, dem Leser die Möglichkeit an die Hand zu geben, auch an hier nicht erwähnten optischen Instrumenten das eine oder andere der angegebenen lichttechnischen Prinzipien zu finden bzw. derartige Anordnungen daraufhin zu prüfen, inwieweit sie solchen Prinzipien gerecht werden.

Die Behandlung der Wasserstoffionenkonzentration im chemischen Unterrichte der Oberstufe von Oberrealschulen.

Von Dr. H. Barnstorf in Schöningen (Braunschweig).

Im 1. Heft des 42. Jahrgangs dieser Zeitschrift (Jan.—Febr. 1929) hat M. SCHNEIDER, Plauen, einen ausführlichen Bericht über die Bestimmung der Wasserstoffionenkonzentration mit Hilfe von Indikatoren gegeben. Er hat gezeigt, wie diese Methode der p_H -Bestimmung mit Vorteil im Übungsunterricht verwendet werden kann. Die eigentliche, wissenschaftliche Methode durch Messung des elektr. Potentials einer Wasserstoffelektrode in der fraglichen Lösung gegenüber einer „Normal“-elektrode lehnt er mit Recht als für den Schulunterricht zu kompliziert ab.

Doch auch die von M. SCHNEIDER angegebene Methode ist m. E. von diesem Nachteil nicht so frei, wie es für einen Übungsunterricht in der Schule wünschenswert ist. Der wesentliche Inhalt des Verfahrens sei zunächst kurz skizziert.

Für 17 verschiedene Indikatoren ist zunächst das Umschlagsintervall festgestellt worden. Sie wurden so ausgewählt, daß für 14 verschiedene Werte der p_H von der starken Säure bis zur starken Base je ein oder zwei Indikatoren einen Farbumschlag zeigen. Will man also die p_H einer Lösung prüfen, so probiert man nacheinander die Wirkung auf eine Reihe von Farbstoffen durch und findet schließlich, daß ein bestimmter Indikator gerade bei der gegebenen p_H einen Farbumschlag zeigt. Der vorher eingerichteten Umschlagstabelle wird der zugehörige p_H -Wert entnommen.

Einige der benutzten Indikatoren mit Umschlagstabelle und Umschlagsfarben entnehme ich der genannten Arbeit (s. Tabelle 1 und 2).

Tabelle 1.

| Name des Indikators | p_H Saures Gebiet | | | | | |
|---------------------------------------|---------------------|------|------|---------|--------|------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Methylviolett 0,1% in Wasser . . . | gelb | grün | blau | violett | | |
| Methylorange 0,1% in Wasser . . . | | | | rot | orange | gelb |

Tabelle 2.

| Name des Indikators | p_H Basisches Gebiet | | | | | |
|-------------------------------------|------------------------|--------------|-----|------|------|------|
| | 8 | 9 | 10 | 12 | 13 | 14 |
| Phenolphthalein 0,1% in 70% Alk. | farblos | schwach rosa | rot | | | |
| Indigolösung von Kahlbaum 1 : 40 | | | | blau | grün | gelb |

Gegenüber der umständlichen elektrischen Bestimmungsmethode der p_H hat diese Indikatorenmethode“ unleugbar große Vorzüge:

1. In einer Unterrichtsstunde lassen sich größere Versuchsreihen bequem durchführen.
2. Für die Versuche sind außer einer Anzahl von Reagenzgläsern und Meßkolben aus Jenaer Gerätéglass keine Anschaffungen an Apparaten notwendig.
3. Die Anwendung und das Verständnis der Methode folgt ohne weiteres aus der im Unterricht behandelten Ionentheorie von ARRHENIUS.
4. Der Farbumschlag kann durch geeignete Wahl des Indikators so deutlich und plötzlich in Erscheinung treten, daß kein Beobachter sich der sinnfälligen Wirkung der p_H entziehen kann.
5. Die „Versuchsordnung“ ist nichts weiter als ein Reagenzglas, sodaß alle Untersuchungen mit Leichtigkeit in gleicher Front in Schülerübungen durchgeführt werden können.

Die von M. SCHNEIDER angegebene Methode der p_H -Bestimmung hat aber, wie erwähnt, auch mehrere Nachteile:

1. Die Anschaffung der vielen Indikatoren belastet den Etat, vor allem kleinerer Lehranstalten, über Gebühr.
2. Das Ausprobieren so vieler Indikatoren ist für jede einzelne Bestimmung reichlich umständlich.
3. Das Verständnis der Vorgänge erscheint erschwert durch die Handhabung so vieler, dem Schüler in ihrer Zusammensetzung unbekannter Farbstoffe.
4. Die Herstellung der zur „Eichung“ nötigen Standardlösungen mit festem p_H ist recht umständlich. Außerdem sind diese Lösungen wenig haltbar.

Man sieht, daß dieser Methode noch Mängel anhaften, die ihre vorteilhafte Verwendung im Unterricht fraglich erscheinen lassen. Anders wäre es, wenn man mit einigen wenigen Indikatoren auskäme, die eine große Mannigfaltigkeit in den Farbtönen und ein sehr großes Umschlagsintervall besäßen.

Nun ist in neuester Zeit ein „BDH-Universalindikator“¹ im Handel erhältlich, der in ausgezeichneter Weise die geforderten Eigenschaften besitzt. Er hat ein Umschlagsintervall von $p_H = 3$ bis 12, also von mäßig saurer bis mäßig alkalischer Reaktion. Dabei geht seine Farbe von

dunkelrot über rot, orange, gelb, gelbgrün, grün, blaugrün, blau in violett und rotviolett

über. Die Farbumschläge sind gut erkennbar und die Farbtöne ohne Anwendung besonderer Hilfsmittel (wie dem von SCHNEIDER benutzten Walpolekomparator zur Farbenvergleichung) mit Sicherheit anzusprechen. Der Preis von 10,10 RM für 250 ccm bedeutet eine wesentliche Ersparnis gegenüber den etwa 50 RM, mit denen SCHNEIDER seine Indikatoren veranschlagt. Der BDH-Indikator ist im Gebrauch sehr sparsam. Für eine p_H -Bestimmung genügen im allgemeinen 2 bis 3 Tropfen. Die Zeit- und Materialersparnis gegenüber der Methode von SCHNEIDER ist sehr groß, da man bei der ersten Prüfung sofort zum Endergebnis kommt und nicht erst eine längere Versuchsreihe anzustellen braucht. Der Indikator kann nicht benutzt werden für stark saure und stark alkalische Lösungen. Für das Gebiet p_H 0 bis 3 verwendet man daher Methylviolett, für p_H 12 bis 14 eine Indigolösung von KAHLBAUM. Vor allem Methylviolett eignet sich vortrefflich zur Demonstration eines Indikators, wie weiter unten (S. 260) näher ausgeführt wird. In der Praxis wird man jedoch hauptsächlich in dem Bereich p_H 3 bis 12 arbeiten, sodaß der Universalindikator nur in seltenen Fällen nicht anwendbar ist. Hier ist eine zweite Probe sofort ausschlaggebend, denn wenn der BDH-Indikator eine tiefrote Farbe zeigte, so braucht man nur Methylviolett, zeigte er rotvioletten Ton, nur Indigolösung anzuwenden, um sofort den p_H -Wert zu erhalten. Es tritt also auch in diesen Fällen eine wesentliche Vereinfachung ein.

¹ Bei Fa. Fraenkel & Landau, Berlin-Oberschöneweide.

Die Verwendung von Jenaer Geräteglas als Material für die Reagenzgläser und die Meßkolben zum Ansetzen der Versuchslösungen ist unerlässlich, da der Indikator auf die aus dem gewöhnlichen Glase herausgelösten Alkalien und Kieselsäuren reagiert, was zu Unregelmäßigkeiten in der Bewertung der Versuchsergebnisse führen würde. Aus dem Jenaer Glas wird selbst bei längerem Kochen mit destilliertem Wasser kein Alkali in nachweisbarer Menge gelöst. Das verwendete Wasser muß vor dem Versuch aufgekocht werden, da es sonst Kohlensäure enthält, gegen deren Wasserstoffionen der Indikator empfindlich ist.

Bei der Beachtung der beiden Regeln:

1. Verwendung abgekochten destillierten Wassers,
2. Arbeiten in Jenaer Geräteglas,

kann man den Indikator für viele Versuche verwenden. Einige Beispiele geben einen Auszug aus den Versuchen, die ich im Schuljahr 1930/31 mit der Oberprima der Oberrealschule Schöningen durchgeführt habe:

1. Demonstration der Unterschiede im Dissoziationsgrad verschieden starker Säuren.
2. Untersuchung der Hydrolyse verschiedener Salze bei 18°.
3. Temperaturabhängigkeit der Hydrolyse.
4. p_H -Werte von Salzlösungen.
5. Löslichkeit des Glases im Wasser.

Zu den Versuchen zunächst einige allgemeine Bemerkungen.

Versuch 1 kann auch ohne Zuhilfenahme von Indikatoren durch Messung der elektrischen Leitfähigkeit durchgeführt werden. Jedoch stößt diese Untersuchung dort auf Schwierigkeiten, wo an einer Schule Apparate für Elektrolyse und hochempfindliche Amperemeter entweder gar nicht oder nur in ungenügender Anzahl vorhanden sind. Die Beschaffung von Apparaten dieser Art zur Durchführung von Schülerarbeiten in Übungen ist mit sehr hohen Kosten verbunden. Es ist auch die Frage, ob es sich empfiehlt, Schüler häufig mit so leicht zerstörbaren Meßinstrumenten arbeiten zu lassen, wie sie für die Strommessung in Lösungen sehr schwach dissoziierter Elektrolyte erforderlich sind. Nicht jeder Schüler besitzt die dazu erforderliche Vorsicht und Geschicklichkeit im Experimentieren. Hier hilft der Indikator in entscheidender Weise. Auch an Schulen, die keine Einrichtung zur Durchführung der Elektrolyse im Schülerpraktikum haben, kann die verschiedene Dissoziation von Elektrolyten durch die Schüler erarbeitet werden. Der Lehrer zeigt vorher im Demonstrationsunterricht an einem Beispiel die Messung des elektrischen Stromes im Elektrolyten und stellt dabei den Zusammenhang des Vorgangs der elektrolytischen Stromleitung mit der Reaktion des Indikators her.

Die übrigen Versuche sind auf elektrochemischem Wege nicht einmal qualitativ durchführbar und lassen sich bei Anwendung der Indikatorenmethode mit Leichtigkeit quantitativ ausgestalten.

In vielen Lehrbüchern wird das Kapitel „Hydrolyse“ ausführlich behandelt, ohne daß ein Schüler je eine Vorstellung über das Quantitative des Vorgangs erhalte. Man sagt wohl, die Soda sei hydrolytisch gespalten. Auf die berechtigte Frage: „Bis zu welchem Grade tritt Spaltung ein?“ gibt kein Lehrbuch Antwort. Wir haben in der Indikatorenmethode die Möglichkeit, das Quantitative dieses und vieler anderer Vorgänge in Schülerübungen erarbeiten zu lassen.

Auch biologische Untersuchungen, wie Reaktion von Mundspeichel, von Acker- oder Wiesenböden lassen sich in der angegebenen Weise durchführen. Die Anwendung der Indikatoren auf diesem Gebiete steht noch in den ersten Anfängen, und ihr Ausbau dürfte noch manche lohnende Aufgabe bieten.

Nachdem das Notwendige über die allgemeine Arbeitsmethode und den behandelten Stoff gesagt ist, sollen an dieser Stelle die erzielten Versuchsergebnisse und Einzelheiten der Ausführung mitgeteilt werden.

1. Versuch. Demonstration der Unterschiede im Dissoziationsgrad verschieden starker Säuren.

Verglichen wurden 1 n-Salzsäure, 1 n-Essigsäure und eine kalt gesättigte wäßrige Lösung von Kohlendioxyd, deren wirksamer Bestandteil die Wasserstoffionen der Kohlensäure sind. Man setzt im Reagenzglas zu je 3 ccm 2 Tropfen Indikator. Messung bei 20° C. Die Ergebnisse sind in Tabelle 3 zusammengestellt.

2. Versuch. Vergleich von Salzsäure verschiedener Konzentrationen und 1 n-Essigsäure hinsichtlich der p_H bei 20° C. Ergebnis s. Tabelle 4.

Tabelle 3.

| Name der Säure | Indikator | Farbe | p_H | Dissoziationsgrad |
|----------------------------|--------------------|---------|-------|-------------------|
| 1 n-Salzsäure | Methylviolett | orange | 0 | rund 100% |
| 1 n-Essigsäure | „ | violett | 5 | „ 0,1% |
| ges. Kohlensäure | Universalindikator | orange | 3 | „ 0,001% |

Tabelle 4.

| Name der Säure | Konzentration n (Normalität) | Indikator | Farbe | p_H |
|----------------------|---------------------------------|---------------|-------------|-------|
| Salzsäure | 1 | Methylviolett | orange gelb | 0 |
| „ | 0,1 | „ | grün | 1 |
| „ | 0,01 | „ | blau | 2 |
| „ | 0,001 | „ | violett | 3 |
| Essigsäure | 1 | „ | „ | 3 |

Zu je 10 ccm setzt man 3 Tropfen des Indikators. Der Versuch zeigt zweierlei:
1. Bei der Salzsäure als stark dissoziierter Säure ist die Wasserstoffionenkonzentration der Konzentration proportional.

2. Ein-normale Essigsäure enthält den 1000. Teil der Wasserstoffionen, die in der gleichen Menge ein-normaler Salzsäure enthalten sind. Also enthält sie ebensoviel Ionen wie 0,001 n-Salzsäure.

Dieser Versuch kann in einer qualitativen Form zur ersten Einführung in die Ionenlehre und gleichzeitig in die Theorie der Indikatoren dienen. Er eignet sich als Parallelversuch zu den qualitativen Versuchen über die elektrische Leitfähigkeit von Elektrolytlösungen, mit denen man häufig die Ionenlehre einzuleiten pflegt. Empfehlenswert ist folgende Versuchsreihe (s. Tabelle 5):

Tabelle 5.

| Versuch Nr. | I | II | III | IV | V |
|--|------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|--|-------------------------|
| Zusammensetzung der Lösung | 10 ccm verd. Salzsäure | 2,5 ccm von Lösung I + 30 ccm H_2O | 2,5 ccm von Lösung II + 30 ccm H_2O | 2,5 ccm von Lösung III + 30 ccm H_2O | 10 ccm verd. Essigsäure |
| Indikatorzusatz (0,1% Methylviolett) | 0,3 ccm | 0,5 ccm | 0,5 ccm | 0,5 ccm | 0,3 ccm |
| Farbe | orange | gelb | grün | violett | violett |
| p_H | 0 | 0 | 1 | 3 | 3 |

Die Versuche werden in 5 Kelchgläsern ausgeführt, die nebeneinander aufgestellt werden. Ein Teil der Lösung wird fortgesetzt verdünnt. Die Konzentration des

Indikators wird dabei annähernd konstant gehalten, indem zu jeder Probe etwas Indikator hinzugesetzt wird. Der Einfluß der Verdünnung auf die Wasserstoffionenkonzentration bei einem stark dissoziierten Elektrolyten wird hier demonstriert und mit dem Verhalten eines schwachen Elektrolyten verglichen.

3. Versuch. Qualitative Untersuchung der Hydrolyse bei verschiedenen Salzen bei 18° C.

Die Salze werden in 0,2n-Lösungen verwandt. Je 5 ccm werden mit 2 bis 3 Tropfen Universalindikator versetzt. Ergebnis s. Tabelle 6.

Tabelle 6.

| Nr. | Salz | Indikatorfarbe | p _H | Reaktion |
|-----|----------------------------|----------------|----------------|-----------|
| 1 | Chlorammonium | orangerot | 5 | sauer |
| 2 | Chlornatrium | gelbgrün | 7 | neutral |
| 3 | Dinatriumphosphat. | blaugrün | 9 | alkalisch |
| 4 | Kaliumnitrit. | blau | 9,5 | „ |
| 5 | Natriumkarbonat | violett | 10 | „ |
| 6 | Natriumsulfid | rötlichviolett | 10,5 | „ |

Die Basen Kaliumhydroxyd und Natriumhydroxyd sind nahezu gleich stark dissoziiert. Bei den Salzen Nr. 2 bis 6 unterscheiden sich demnach nur die beteiligten Säuren hinsichtlich des Dissoziationsgrads. Sie sind um so stärker hydrolytisch gespalten, je schwächer die Säure ist, die bei der Salzbildung mitwirkte.

Die p_H-Bestimmung ergibt also gleichzeitig ein Maß der Stärke der verschiedenen Säuren. Salzsäure ist die stärkste, Schwefelwasserstoff die schwächste Säure der Versuchsreihe. Das Versuchsergebnis wird durch elektrische Messungen in ausgezeichneter Weise bestätigt. Selbst der geringfügige Unterschied zwischen Schwefelwasserstoff und Kohlensäure ist mit Sicherheit feststellbar, eine Tatsache, deren Bestätigung auf elektrischem Wege im Schulunterricht große Schwierigkeiten bereitet. Der Widerstand des mit Schwefelwasserstoff bzw. Kohlendioxyd gesättigten Wassers ist so hoch, daß durch geringfügige Verunreinigungen elektrolytischer Art häufig große Fehler bei der Strommessung unterlaufen, die das Ergebnis ins Gegenteil verkehren können.

4. Versuch. Quantitative Ermittlung des Hydrolysegrades einer 2n-Chlorammoniumlösung bei Zimmertemperatur.

10 ccm der Lösung werden mit 3 Tropfen Universalindikator versetzt. Farbe: orangerot. p_H = 5.

Die Lösung hat also die gleiche Azidität wie eine 10⁻⁵n-Salzsäure. Um das zu zeigen, werden 3 Tropfen einer 1n-Salzsäure unter Zusatz von 1 ccm Universalindikator solange verdünnt, bis der Farbton orangerot ist.

50 ccm der erhaltenen Lösung werden mit 0,001 n-Natronlauge auf gelbgrün titriert. Verbrauch: 1,5 ccm Natronlauge.

Die 50 ccm Salzsäure enthalten also 1,5 · 10⁻⁶ Mol HCl.

In 1000 ccm Säure sind demnach 3 · 10⁻⁵ Mol HCl.

Ein Liter einer 2 n-Chlorammoniumlösung enthält 2 Mol Chlorammonium. Der hydrolytische Zerfall wäre 100%ig, wenn 2 Mol Chlorwasserstoff gebildet wären. Der Zerfall in Prozenten der Gesamtmenge beträgt daher

$$\frac{3 \cdot 10^{-5} \cdot 100}{2} = 1,5 \cdot 10^{-3} = 0,0015 \%$$

5. Versuch. Temperaturabhängigkeit der Hydrolyse in einer 2n-Chlorammoniumlösung.

Der Versuch wird in gleicher Weise wie Versuch 4 durchgeführt, nur daß man bei einer Temperatur von etwa 100° arbeitet. Es genügt dazu, die Lösungen während des Versuchs mehrfach zum Sieden zu erhitzen, ohne sie lange kochen zu lassen.

Ergebnis: Farbton = dunkelrotorange, $p_H = 4$.

Für 50 ccm einer Salzsäure gleicher p_H werden bei der Titration 4,05 ccm 0,001-Natronlauge verbraucht.

50 ccm Salzsäure enthalten $4,05 \cdot 10^{-6}$ Mol HCl.

1000 ccm Salzsäure enthalten $8,1 \cdot 10^{-5}$ Mol HCl.

Der hydrolytische Zerfall beträgt demnach bei 100° $4,05 \cdot 10^{-3} \%$, d. h. er ist 2,7mal so groß wie bei Zimmertemperatur.

6. Versuch. Nachweis der teilweisen Löslichkeit des Glases in Wasser von 100° .

Der p_H -Wert von ausgekochtem destilliertem Wasser ist zu $p_H = 7$ bestimmt (Farbe des Universalindikators = gelbgrün). Man bringt etwas gepulvertes Fensterglas in 100 ccm Wasser und erhitzt im 250 ccm-Erlenmeyerkolben aus Jenaer Glas. Nach längerem Sieden entnimmt man der heißen Lösung eine Probe von etwa 10 ccm und setzt 2 Tropfen Universalindikator zu.

Bei einer Glassorte wurde dabei der Indikator blaugrün ($p_H = 9$), bei einer anderen sogar violett ($p_H = 10$).

Die aus dem Glase herausgelöste Alkalimenge kann durch Titration mit 0,001 n-Salzsäure ermittelt werden.

Wie man erkennt, sind die Versuchsergebnisse durchweg recht gut brauchbar. Sie haben den großen Vorzug, leicht nachprüfbar und reproduzierbar zu sein, da irgendwelche experimentellen Schwierigkeiten nicht auftreten. Der Arbeitende hat sich nur der größten Sauberkeit zu befleißigen. Außerdem soll nicht geleugnet werden, daß für das richtige Ansprechen mancher Farbtöne erst eine gewisse Übung erworben werden muß.

Es ist daher empfehlenswert, den Schüler nicht sofort vor eine kompliziertere Aufgabe zu stellen, sondern ihm zunächst Gelegenheit zu geben, sich an Lösungen mit bekannter p_H (Salzsäure oder Natronlauge bekannter Verdünnungsgrade) die einzelnen Farbtöne anzusehen und einzuprägen. Die Farbtöne sind mit den entsprechenden p_H -Werten auf dem Etikett der Universalindikatorflasche angegeben. Er wird also bereits „geeicht“ geliefert, was ein großer Vorzug gegenüber den Indikatoren ist, deren Umschlagsintervall vom Verbraucher erst bestimmt werden muß. Die angegebenen Werte wurden bei der Durchführung vorliegender Arbeit unter Anwendung reiner Säuren und Laugen nachgeprüft und in vollem Umfange bestätigt. Irgendwelche etwa bei der Verdünnung von Natronlauge auftretende kleine Abweichungen im Farbton sind darauf zurückzuführen, daß die Lauge Kieselsäure aus dem Glase herauslöst und dadurch geschwächt wird. Man muß die Normallauge in Jenaer Gefäßen herstellen und aufbewahren, um genaue Werte zu erhalten. Zur Einführung in das Arbeiten mit dem Universalindikator empfehle ich folgenden Versuch, der das Verständnis für die Wirkungsweise des Indikators als Farbstoffgemisch vermitteln soll:

7. Versuch. Wirkungsweise der Indikatoren.

Drei Proben von je 5 ccm einer 0,0001 n-Salzsäure werden mit je 3 Tropfen Methylorange, Methylviolett und Lackmüslösung versetzt. Ergebnis s. Tabelle 7.

Tabelle 7.

| Versuch Nr. | I | II | III |
|---------------------|---------------|--------------|---------|
| Indikator | Methylviolett | Methylorange | Lackmus |
| Farbe | violett | orange | rot |
| Reaktion | alkalisch | neutral | sauer |

Die Lösung verhält sich gegen Methylviolett wie eine Lauge, denn in Laugen ist dessen Farbe violett. Gegen Methylorange erscheint sie neutral, denn saure Lösungen färben den Farbstoff rot, alkalische gelb. Gegen Lackmus ist die Lösung sauer, denn die rote Farbe wird durch Säuren hervorgerufen.

Es folgt hieraus die Notwendigkeit einer Festsetzung für den Neutralpunkt. Der Versuch eignet sich, mit etwas größeren Mengen in Kelchgläsern ausgeführt, als Schauversuch nach den Seite 258 angegebenen Versuchen 1 und 2.

Die Einführung des Neutralpunktes $p_H = 7$ wird hiernach in einleuchtender Weise in Anlehnung an die Untersuchung des Mundspeichels — also an die Empfindung der Geschmacklosigkeit — durchgeführt.

Die Einführung des Universalindikators zur p_H -Bestimmung vereinfacht, wie ersichtlich, das Arbeiten in den Schülerübungen sehr, so daß dieses wichtige Gebiet in jeder Oberstufe einer Realanstalt ohne großen Material- und Zeitaufwand behandelt werden kann. Der unmittelbare Anschluß an die Ionentheorie in UI ermöglicht eine bequeme Einordnung des Stoffes, auf dessen hohe Bedeutung auch für andere naturwissenschaftliche Disziplinen L. MICHAELIS¹ mit den Worten hinweist:

„Niemand wird leugnen, daß es für den Ablauf vieler chemischen Prozesse, und ganz besonders aller biologisch interessierenden Prozesse von großem Einfluß ist, ob sie bei „saurer“ oder bei „alkalischer Reaktion“ verlaufen. Trotzdem sind bis heute viele Physiologen über diese rein qualitative Erkenntnis nicht hinausgekommen. Der Grund hierfür liegt darin, daß die quantitative Bestimmung der Azidität und Alkalität eine Methode des Denkens und des Arbeitens erfordert, die noch durchaus nicht zum Allgemeingut der physiologischen Chemiker geworden ist. Und so steht denn die Sache heute so, daß trotz der prinzipiellen Anerkennung der Wichtigkeit der „Reaktion“ in Wahrheit ihre Bedeutung von der Mehrzahl der Biologen noch nicht genügend gewürdigt worden ist.“

Kleine Mitteilungen.

Zur Ostwaldschen Farbenlehre.

Von Wilhelm Volkmann in Berlin-Steglitz.

In der Abhandlung: „Grundlagen und Kritik der OSTWALDsehen Farbensystematik“² glaubt Herr CL. SCHAEFER auf Grund seiner Messungen die OSTWALDsche Farbenlehre als in den Grundlagen verfehlt und im Gebrauch irreführend beurteilen zu müssen. Er beginnt seine Darlegungen mit einer Reihe von Definitionen und Erklärungen, durch die er außer anderem OSTWALDs Ansichten kurz und klar darzustellen beabsichtigt. Ein Vergleich mit OSTWALDs Veröffentlichungen zeigt aber, daß mehrere der OSTWALDsehen Benennungen in einem anderen Sinne gebraucht sind, als OSTWALD sie versteht, und zwar zum Teil in einem so wesentlich anderen Sinne, daß man sagen muß, die Kritik trifft nicht die OSTWALDsche Farbenlehre, sondern etwas ganz anderes. Mit den vorgesetzten Zahlen und Buchstaben ist im folgenden auf die gleichbezeichneten Abschnitte der SCHAEFERSchen Abhandlung Bezug genommen.

Zu 1a. „Daß man gerade weißes Sonnenlicht als Normallicht gewählt hat, ist an sich willkürlich, kann aber allenfalls phylogenetisch gerechtfertigt werden.“ Statt Sonnenlicht müßte es Tageslicht heißen, und zwar ist für OSTWALD ein ziemlich weiter Spielraum der Helligkeit möglich, es kommt nur darauf an, daß weder Blendung eintritt, noch die Verschiebungen der Beurteilung beginnen, die in ausgeprägter Form in der Dämmerung sich einstellen. Die Wahl des Tageslichtes als Normallicht war für OSTWALD die einzig natürliche, denn er hatte die Aufgabe übernommen, für die

¹ L. MICHAELIS: Die Wasserstoffionenkonzentration I. 1922. — Oxydations- und Reduktionspotentiale 1929.

² Zeitschr. f. d. phys. u. chem. Unterricht. 40. 51—57; 1927.

Zwecke von Kunst und Gewerbe die Körperfarben zu ordnen und für sie eine eindeutige Bezeichnung zu finden.

Zu 1f. Es muß beachtet werden, daß für die Empfindung Farbton und Sättigung (im Sinne von HELMHOLTZ) unzweifelhaft Beschaffenheiten darstellen, Helligkeit aber in dem hier in Betracht zu ziehenden Gebiet nur ein Mehr oder Weniger, eine Mengenangabe. Der Ausdruck: „vom Auge wahrgenommene Pigmentfarbe“ ist nicht einwandfrei. Das Auge nimmt das farbige Licht wahr, hat aber bei der beschriebenen Art der Beobachtung keine Möglichkeit zu entscheiden, ob das Licht von einem Pigment oder anderswoher kommt. Man darf daher in diesem Zusammenhang nicht von Pigmentfarbe reden, sonst bereitet man eine Verwechslung vor. Die grauen Pigmente können sehr verschieden hell sein, im Tageslicht werfen sie sämtlich weißes Licht zurück. Bei der beschriebenen Beobachtungsweise, die OSTWALD unbezogen nennt, kann die Vorstellung von grauem Licht niemals hervorgebracht werden; es gibt kein graues, sondern nur weißes Licht. Wir müssen auf die Sache noch einmal zurückkommen, nachdem die Bedeutung des Wortes bezogen erörtert ist.

Zu 1g. Das Wort „bezogen“ wird von SCHAEFER in einem völlig anderen Sinne gebraucht als von OSTWALD. Dieser beginnt seine Erläuterung der Begriffe „bezogen“ und „unbezogen“ mit dem Satz: „Wir nennen die Körperfarben, wie wir sie mit Rücksicht auf die Natur der Beleuchtung auffassen, bezogene Farben“ (Physikalische Farblehre von 1919, Seite 50). Mit anderen Worten heißt das, wir nennen die Körperfarben dann bezogen, wenn wir ein Urteil darüber haben, welcher Anteil des einfallenden Tageslichtes das vom Pigment zurückgeworfene Licht ist. In der Regel wird uns dieses Urteil durch den gleichzeitigen Anblick von Gegenständen, die uns bekannt sind, vermittelt. Es genügt auch, wenn wir bei Gegenständen, die wir zum ersten Male sehen, Gleichartigkeit mit bekannten annehmen können. In den natürlichen Erlebnissen trifft diese Voraussetzung so gut wie immer zu. Legt man es aber darauf an, so kann man uns bei jedem Erlebnis auf unzählbar viele Arten täuschen. Führt man z. B. jemand in einen dunklen Raum, auf dessen Wand in lebhaften Farben ein Alpenglühen gemalt ist und läßt eine ihm verdeckte hellrote Lampe aufleuchten, so glaubt er unfehlbar ein Bild von Schneebergen zu sehen.

Auch wenn wir ein Pigment unbezogen beobachten, das einfallende Licht aber durch eine gesonderte Beobachtung messen und nun beide Messungen in Beziehung zueinander bringen, so haben wir in OSTWALDs Sinne das Pigment als bezogenes gewertet. Falsch bezogen ist die Farbe immer dann, wenn wir das einfallende Licht falsch beurteilen oder bei der Beobachtung des zurückgeworfenen Lichtes durch gleichzeitigen oder folgenden Kontrast oder sonst etwas getäuscht werden.

Im Gegensatz hierzu versteht SCHAEFER unter Bezogensein in erster Linie die Einflüsse von Kontrastwirkungen, aber auch allen anderen Nebenumständen, die das Urteil beeinflussen. Für diesen Begriff ist es richtig, daß dann die Farben von unendlich vielen Bestimmungsstücken abhängig werden und in drei Dimensionen nicht eingeordnet werden können. Demgegenüber ist der OSTWALDsche Begriff eindeutig. Ein Irrtum ist es ferner, wenn gesagt wird, oliv und braun seien Bezogenheitserscheinungen der gelben Körperfarbe. Oliv gehört zum Farbton 4 der alten, hundertteiligen Zählung (2 der neuen 24teiligen, vgl. „Die Farbe“, Heft 38, 1924) und die verschiedenen Braun gehören zu 17 bis 29 (5 bis 8).

Weiteres zu 1f. Bei unbezogener Betrachtung eines Pigmentes kann nicht beurteilt werden, wieviel von der Helligkeit auf die Stärke des einfallenden Lichtes und wieviel auf den zurückgeworfenen Anteil kommt; graue Anstriche werden also von weißen, olivgrüne von gelben nicht unterschieden. Der in OSTWALDs Sinne unbezogene Farbraum ist also durch zwei Bestimmungsstücke gefüllt und demnach zweidimensional. SCHAEFER behauptet wiederholt, daß der Farbraum der unbezogenen Farben dreidimensional sei. Es ist nicht bestimmt ausgesprochen, scheint aber aus dem Zusammenhange hervorzugehen, daß er zu dieser Behauptung kommt, weil er von der Remissionskurve aus-

geht. In dieser steckt aber die Kenntnis von der Stärke des einfallenden Lichtes. Mit der Remissionskurve ist in OSTWALDs Sinn das Pigment bezogen aufgefaßt. Lassen wir in Fig. 3 (bei SCHAEFER) links die Zahlen 0,5 und 1,0 weg und ebenso die von 1,0 ausgehende waagerechte Gerade, so stellt die ausgezogene Kurve das unbezogene beobachtete Licht des Pigments dar, und man würde alle Kurven zum Vergleich so zu zeichnen haben, daß der höchste Punkt in demselben Abstand von der Grundlinie liegt. Fügt man aber die Zahlen und die Linie hinzu, so hat man den Vergleich von einfallendem und zurückgeworfenem Licht. Nach OSTWALD ist der Farbstoff also bezogen aufgefaßt. Es ergibt sich daher, daß SCHAEFER auch das Wort „unbezogen“ anders auffaßt als OSTWALD.

Zu 2. Es ist nicht zweckmäßig, zur entscheidenden Aburteilung über die OSTWALDsche Farbenlehre den Leser auf eine kurze zusammenfassende Abhandlung von 1916, d. h. aus dem Anfang der Entwicklung dieser Lehre zu verweisen. Der Abschnitt ist im übrigen ganz auf die abweichende Definition der Benennungen „bezogen“ und „unbezogen“ aufgebaut.

Zu 3. Um die Bedeutung des „Farbenhalb“ zu würdigen, muß man sich wieder daran erinnern, daß OSTWALD es übernommen hatte, die Körperfarben für die Zwecke von Kunst und Gewerbe zu ordnen. Derselbe Farbeindruck für das Auge kann durch Licht sehr verschiedener Zusammensetzung hervorgebracht werden. Hierauf beruht ja die Möglichkeit, durch Mischung der Farben mit dem Farbkreislauf oder anderen Mitteln die Farben zu ordnen, den Farbkreislauf aufzustellen, ihn durch Graumischung aus gegenüberliegenden Farben auf seine Richtigkeit zu prüfen usw. Demgemäß gibt es auch Farbanstriche, die für das Auge gleich aussehen, während das Spektrum (die Remissionskurve) sehr verschieden ist. In OSTWALDs Farbkörper dürfen diese Körperfarben nicht unterschieden werden. Sie kommen also an die gleiche Stelle, aber sie sind für die Anwendung nicht von gleichem Wert. Offenbar ist unter den für das Auge gleichfarbigen Pigmenten (abgesehen von der Haltbarkeit u. dgl.) das das beste, das am wenigsten empfindlich für kleine Unterschiede der Zusammensetzung des einfallenden Lichtes oder für kleine Unterschiede der Farbenempfindung verschiedener Augen ist. Dieses Idealpigment ist das Farbenhalb, das für die Hälfte des Farbkreislaufes ein gleichbleibendes, für die andere Hälfte ein anderes gleichbleibendes Remissionsvermögen hat. Ein Farbenhalb, das in der einen Hälfte des Farbkreislaufes alles, in der anderen nichts zurückwirft, hat die Eigenschaft, daß es an Sättigkeit jede andere Remissionskurve übertrifft und wird von OSTWALD Vollfarbe genannt. Die Versuche, auf denen diese Behauptungen beruhen, sind in Kapitel 10 der Physikalischen Farbenlehre eingehend beschrieben. OSTWALD baut den Farbkörper zunächst aus Farbenhalben auf, die ihm gewissermaßen als Idealfarben gelten.

Erwähnt sei, daß die Vollfarben zwar die sättesten Körperfarben darstellen, die denkbar sind, daß sie aber noch nicht die gesättigtste Farbempfindung hervorrufen; diese wird vielmehr durch Kontrastercheinungen ausgelöst.

Zu 4. In Kapitel 14 zeigt OSTWALD an einfachen schematischen Beispielen, wie man aus der Remissionskurve ableitet, mit welchem Farbenhalb die betreffende Körperfarbe vom Auge verwechselt wird. Er deutet kurz, aber ausreichend an, wie man das Verfahren bei den verwickelteren natürlichen Farbstoffen anwendet, ist aber vorsichtig genug zu sagen, daß die vorliegenden Erfahrungen noch nicht sicher beurteilen lassen, ob das Verfahren in allen Fällen zuverlässig ist, oder noch einer kleinen Verbesserung bedarf. Auf dieses Verfahren nimmt SCHAEFER Bezug mit den Worten: „OSTWALD geht grundsätzlich von der Remissionskurve aus“, aber er schematisiert dieselbe in der durch Fig. 2 und 3 angedeuteten Weise. Hier liegt nun ein Mißverständnis vor. OSTWALD legt die waagerechte Grenzlinie des Farbenhalb um so viel tiefer, daß sie von der Kurve ein Flächenstück abschneidet, das ebenso groß ist, wie die beiden die Kurve überragenden Eckflächen. Infolgedessen kommt die in Fig. 4 OSTWALD vorgeworfene Verwechslung ungleich aussehender Farbstoffe bei

OSTWALD nicht vor. Auch die Messung mit Paßfilter, Sperrfilter und Grauleiter legt die Farbenhalblinie keineswegs durch den Gipfel der Remissionskurve, sondern tiefer. Die Genauigkeit dieses Meßverfahrens nimmt ab, je mehr die Farbe vom Farbenhalb verschieden ist, die nötigen Vorsichtsmaßregeln bei Anwendung dieses bequemen Meßverfahrens sind von OSTWALD angegeben worden.

Daß die Zumischung von Schwarz und Weiß zu einer Körperfarbe (mit dem Farbenkreisel) verschieden wirkt, hat OSTWALD in der mathematischen und in der physikalischen Farbenlehre entwickelt. Bei Zufügung von Schwarz bleibt das Verhältnis Vollfarbe zu Weiß ungeändert. Die so beschaffenen Farben liegen sowohl im linearen wie im logarithmischen Farbkörper in Geraden, und zwar in dem letzteren in Parallelen zur Graureihe. Die praktische Bedeutung liegt darin, daß diese Farben die Schattenreihen bilden. Unbezogen werden die Glieder einer Schattenreihe miteinander verwechselt (vgl. Physikalische Farbenlehre, Kap. 13).

Die Bemerkung: Oliv habe mit dem Schwarzgehalt nichts zu tun, sondern sei eine reine „Bezogenheitserscheinung“ beruht wohl nicht allein auf der abweichenden Deutung des Wortes „Bezogen“, sondern nimmt wohl auch Bezug auf die Tatsache, daß Oliv auf zweierlei Art sichtbar werden kann, nämlich einmal durch olivgrünen Anstrich, das andere Mal durch Beschattung von Gelb. Bezieht man eine runde Pappschachel oder eine Walze mit gelbem Mattpapier und stellt sie so auf, daß das Licht von einer Seite darauf fällt, so erscheinen die im Schatten liegenden Stellen olivgrün. Bemalt man ein rechteckiges Blatt Papier mit den Farbtönen von Gelb bis zu tiefem Oliv, die man an der Walze erblickt, so wird man es bei einäugigem Betrachten für eine gelbe Walze halten. Bei körperlichen Gebilden kann eine einheitliche Helligkeit des einfallenden Lichtes nicht vorhanden sein, weil die Flächen zum Lichteinfall verschieden stehen. Statt der körperlichen Wirklichkeit denken wir uns (empfinden wir) ein täuschend ähnliches Gemälde und benennen die Farben, die in ihm angewandt werden müßten, an Stelle der in der körperlichen Wirklichkeit vorhandenen Körperfarben. Auf dieses die Wirklichkeit vertretende Gemälde ist OSTWALDS Begriff „Bezogen“ anzuwenden, denn die Fläche dieses Gemäldes kann man als überall gleichbeleuchtet annehmen. Im geschlossenen Raum mit einseitigem Licht wäre der Nachsatz nicht realisierbar, als Vorstellung bleibt er aber berechtigt.

Zu 6. Das Auftreten des Wortes „metamer“ kann sinnvoller gedeutet werden. In dem für Kunst und Gewerbe bestimmten Farbkörper durften die für das Auge gleichen Farben nicht unterschieden werden, obwohl das Spektroskop sie unterscheiden kann. Andererseits mußten die Farbtöne der Schattenreihe unterschieden werden, obwohl sie für das Spektroskop gleich sind. Es gibt Parallelen dazu in OSTWALDS Heimatgebiet, der Chemie. Für den Augensein völlig verschiedene Stoffe, wie Formaldehyd, Paraldehyd und Traubenzucker werden von der Elementaranalyse als gleich zusammengesetzt erwiesen; man nennt sie polymer. Das entspricht den Schattenreihen. Nach der Elementaranalyse sind den genannten gleich die 32 Zucker von der Formel $C_6H_{12}O_6$; nach der Molekulargewichtsbestimmung sind sie dem Traubenzucker, der einer von ihnen ist, gleich; erst die Strukturereforchung weist ihre Verschiedenheit nach. Solche Stoffe heißen metamer. Diesen Ausdruck überträgt OSTWALD in die Farbenlehre und auf die Farben, die er im Farbkörper nicht unterscheiden darf, obwohl er ihre Unterscheidbarkeit durch das Spektroskop selbstverständlich längst kannte. Die Einführung des Wortes metamer in die Farbenlehre bedeutet also das Ziehen einer Grenze zwischen Unterscheidungsmöglichkeiten, deren Anwendung hier sinnvoll ist, und solchen, deren Anwendung hier sinnwidrig wäre. Mit der Ablehnung für diesen Zweck ist ihre Bedeutung für andere Zwecke keineswegs bestritten.

Das Wort metamer bezeichnet zugleich die Grenze der Anwendbarkeit der OSTWALDSchen Farbenlehre. Überall da, wo das Auge nicht letzte Instanz ist, sondern die feinere Unterscheidung des Spektroskopes nicht ausgeschaltet werden darf, z. B. in der Farbstoffabrikation, ist der OSTWALDSche Farbkörper kein geeignetes Hilfsmittel.

Für die Anwendung in Kunst und Gewerbe, wo das Auge letzte Instanz ist und immer bleiben wird, bietet der OSTWALDSche Farbkörper genau die Unterscheidungen, die wir brauchen, nicht mehr und nicht weniger; in seiner logarithmischen Stufung ist er ferner unserem Empfinden angepaßt, für das ja das FECHNERSche Gesetz gilt. Die OSTWALDSche Farbenlehre ist auch mit der größten Sachkenntnis, Umsicht und Sorgfalt aufgestellt. Verfeinerungen im einzelnen sind natürlich noch möglich, aber es besteht mit keiner Erfahrung ein Widerspruch, der ihre Grundlagen bedroht. Andererseits darf man nicht übersehen, daß ein Auskommen mit drei Dimensionen nur möglich war durch Verzicht auf Unterscheidungen, die wohl möglich, aber für den vorliegenden Zweck weder nötig noch nützlich sind. Dieser bewußte Verzicht ist nicht eine Schwäche, sondern eine Stärke der OSTWALDSchen Farbenlehre. Gerade in dieser Beschränkung zeigt sich der Meister, denn es ist, wie OSTWALD selbst gezeigt hat, schlechthin unmöglich, in drei Dimensionen eine Farbenordnung aufzustellen, die weiteren Geltungsbereich hat und über die Unterscheidungsmöglichkeiten des Auges hinausgeht. Daß der Physiker und die Farbenindustrie auf feinere Unterscheidungen nicht verzichten können, ist eine Sache für sich, aber daraus folgt zugleich, daß ihr Bedarf niemals mit einer dreidimensionalen Mannigfaltigkeit gedeckt werden kann.

Kunsthharze im Unterricht.

Von Dr. S. B. Bamberger in Hamburg.

Löst man etwa 3 g Resorcin in 5 ccm Wasser auf und gibt 3 bis 4 ccm Formalin hinzu, so entsteht beim Erwärmen eine ölige Flüssigkeit, die wahrscheinlich ein in Wasser und in vielen Lösungsmitteln lösliches Kondensationsprodukt enthält. Gibt man nun zu der siedend heißen Lösung 2 bis 3 Tropfen einer 15%igen Natron- oder Kali-Lauge, so wird durch diesen Zusatz eine stürmische exotherme Reaktion eingeleitet, die schließlich zu einem festen, rot gefärbten, spröden Kondensat führt, welches in den meisten Lösungsmitteln fast unlöslich ist. Das Kondensat ist völlig amorph und enthält noch große Mengen Wasser, obwohl ein Teil des Wassers bei der heftigen Reaktion verdampft. Durch den entweichenden Wasserdampf wird die Masse blasig aufgetrieben. Läßt man das rote Kondensat einige Zeit an der Luft liegen, oder erwärmt man es bei einer Temperatur von etwa 100° C, so entsteht als Endkondensat ein steinhartes, dunkelrotes Produkt.

Man bezeichnet ein solches aus Phenol und Formaldehyd entstehendes Produkt als Kunsthharz. Die Kunsthharze spielen heute in der Technik eine große Rolle, und es ist bekannt, daß viele Gegenstände des täglichen Gebrauchs aus ähnlichen Kunsthharzen hergestellt sind. Die Kunsthharze sind geradezu ein klassisches Beispiel dafür, daß Naturprodukte wie z. B. Kautschuk in Form von Hartgummi durch synthetische Stoffe verdrängt werden, weil die Eigenschaften der Kunststoffe vorteilhafter sind und dem Verwendungszweck besser angepaßt werden können. Man wird daher im Chemie-Unterricht gelegentlich der Besprechung des Formaldehyds oder der Phenole von den Kunsthharzen, zu deren Herstellung große Mengen dieser Chemikalien verwendet werden, zu sprechen haben, und es ist erfreulich, daß man durch die oben beschriebene Reaktion im Lehrer- oder Schülerversuch die Herstellung eines Kunsthharzes zeigen kann.

Im übrigen ist es nicht nötig, sich unbedingt an die oben angegebenen Mengenverhältnisse zu halten; die Reaktion gelingt fast immer, auch wenn man die Chemikalien nach Schätzung mischt. Es ist unnötig zu sagen, daß in dieser Form die Reaktion keine technische Verwendung finden kann, daß dann vielmehr die Kondensation unter Druck verlaufen muß, um die Blasenbildung zu verhindern.

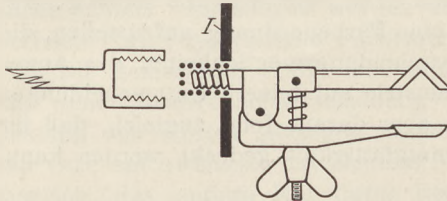
Gleichzeitig mag dieser Versuch dazu verwendet werden, die Wirkung eines Katalysators klar zu machen, denn wenn man den Zusatz von Lauge unterläßt, bleibt auch bei längerem Kochen die beschriebene Reaktion auf der ersten Stufe stehen.

Für die Praxis.

Isolierte Klemmen für Bunsenstative. Von G. Nadler in Kitzingen.

Beim Experimentieren mit Stark- und Schwachstrom, z. B. beim Improvisieren von Bogenlampen für Spektralversuche, bei elektrolytischen Versuchen, bei Übungen muß man oft einzuklemmende Kohlen, Bleche oder dergleichen durch Zwischenlagen von Papier, Asbest und ähnlichem isolieren. Dieses Verfahren ist nicht immer ganz zuverlässig und jedenfalls zeitraubend.

Ein für allemal hat man eine bequeme und sichere Lösung, wenn man in die Klemme eine Isolierung fest einbaut. Ich habe folgenden Weg eingeschlagen (s. Figur):



Punktiert: Isolierende Schicht. I: Isolierscheibe.

Der Stiel der Klemme wird abgeschnitten und auf den Stummel von etwa 2 cm Länge ein Gewinde geschnitten. An den abgeschnittenen Stiel (oder besser an einen „blanken Eisendraht“ passender Stärke) läßt man autogen eine $\frac{3}{8}$ Zoll-Verschlußkappe anschweißen. Unter Zwischenlage von Vulkanfiber oder anderem Isoliermaterial schraubt man dann die beiden Teile wieder zusammen.

Bei entsprechender Arbeit wird die mechanische Festigkeit nicht beeinträchtigt. Um den elektrischen Teil vom spannungslosen deutlich zu scheiden und ungewollte Berührungen hintanzuhalten, kann man noch eine Scheibe von 4 bis 5 cm Durchmesser aus Isoliermaterial aufstecken. Auch eine andere Farbe für den elektrischen Teil, etwa rot, ist günstig.

Isolierte Stativklemmen nach vorstehendem Prinzip können fertig von der Firma Robert Kind, Laboratoriumsbedarf, Lichtenfels i. B., Oberfranken, bezogen werden.

Berichte.

2. Forschungen und Ergebnisse.

Welleneigenschaften des Elektrons. Bericht von Dr. A. WENZEL in Lüneburg.

Treffen Elektronen auf einen Körper, so wird ein Teil in den rückwärtigen Halbraum unter Geschwindigkeitsverlust reflektiert und zerstreut. Der Rest tritt in den Körper ein und wird darin ebenfalls unter Geschwindigkeitsverlust um so stärker zerstreut, je größer die Dichte des Körpers ist. Die Tiefe, bis zu der er eindringt, ist daher begrenzt. Ist die Dicke des Körpers kleiner als die Eindringtiefe, dann wird ein Elektronenstrahl auf der anderen Seite austreten und dort ebenfalls unter Geschwindigkeitsverlust gestreut werden.

Die Reflexion der Elektronen an Materie ist schon vielfach untersucht worden, doch erst DAVISSON und KUNSMAN (1) entdeckten 1923, daß Elektronen an einer Platinoberfläche selektiv reflektiert werden; einzelne Winkelbereiche wurden bevorzugt. Diese Eigentümlichkeit führte W. ELSSASSER (2) zurück auf Interferenzerscheinungen der Elektronen, wie sie die Theorie von DE BROGLIE fordert.

L. DE BROGLIE (3) hatte schon 1924 die Behauptung aufgestellt, daß jeder Masse m , die sich mit der Geschwindigkeit v bewegt, ein Schwin-

gungsvorgang von der Wellenlänge λ zugeordnet werden muß, wobei zwischen λ , m , v und der PLANCKSchen Konstanten h die Beziehung besteht:

$$\lambda = \frac{h}{m \cdot v} \dots \dots \dots (1)$$

Will man diese Gleichung auf das Elektron anwenden, dann ersetzt man nach E. RUFF (4) mit Vorteil die Geschwindigkeit v durch die „Voltgeschwindigkeit“ U , d. h. durch die Spannung, die den Elektronen ihre Geschwindigkeit erteilt. Ist e die Ladung des Elektrons, m seine Masse, v seine lineare Geschwindigkeit, dann ist:

$$e \cdot U = \frac{m v^2}{2} \dots \dots \dots (2)$$

Setzt man für e , h und m die bekannten Werte in Gleichung (1) ein, so erhält man aus (1) und (2):

$$\lambda = \frac{h}{m \cdot v} = \sqrt{\frac{h^2}{m \cdot 2eU}} = \sqrt{\frac{150}{U}} \cdot 10^{-8} \text{ cm.} \dots (3)$$

Diese Wellenlänge liegt in der Größenordnung derer der Röntgenstrahlen.

Den Versuch, eine Prüfung dieser Gleichung durch unmittelbaren Nachweis von Interferenzerscheinungen an Elektronen nach Reflexion

an einem Beugungsgitter durchzuführen, hat E. RUPP mit Erfolg gemacht. Fallen Elektronen unter sehr kleinem Winkel θ , d. h. streifend auf ein in Metall geritztes Gitter mit der Gitterkonstante d ein, so werden sie teilweise unter dem Winkel α abgelenkt. Für diesen Fall des streifenförmigen Eintritts gilt dann die Beziehung:

$$2n \cdot \lambda = d \cdot \alpha \cdot (\alpha + 2\theta), \dots (4)$$

worin n die Ordnungszahl der unter α aufgetretenen Beugungsstreifen ist.

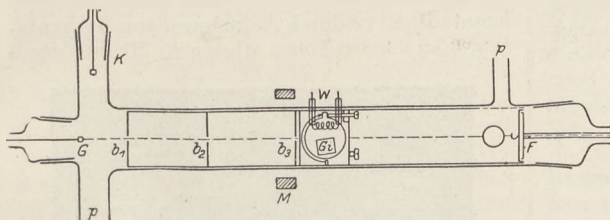


Fig. 1.

Die Versuchsröhre von RUPP zeigt Fig. 1. Hierin ist G der Glühdraht, der die zur Messung

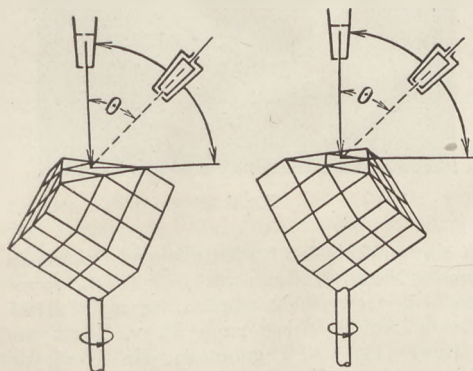


Fig. 2.

verwendeten Elektronen durch die Blenden b_1 bis b_3 sendet. Hier wird der Elektronenstrahl

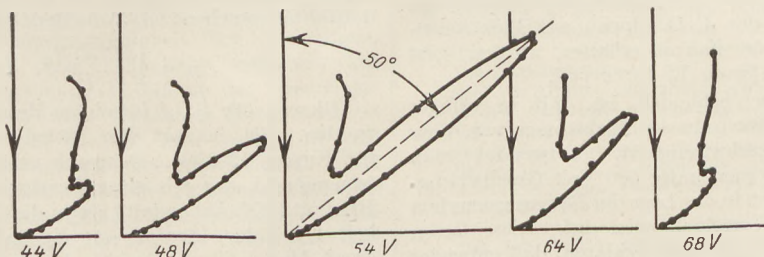


Fig. 3.

mittels eines durch die Ringspule M hervorgerufenen longitudinalen Magnetfeldes besonders scharf konzentriert [nach BUSCH (5)]. So trifft er streifend auf das Gitter G_i und wird zum Film F reflektiert. Da das Gitter G_i leicht oberflächlich Gas aufnimmt, wird es zwischen den Messungen von dem Glühdraht W mit Elektronen von 1500 Volt Geschwindigkeit beschossen, erhitzt und so entgast.

Mit dieser Versuchsanordnung gelang es RUPP, viele Beugungsaufnahmen von Elektronen zu machen, wie wir sie von der Beugung des Lichtes kennen. Die Auswertung vieler solcher Aufnahmen ergab eine empirische Sicherung der DE BROGLIESCHEN Gleichung (1). Der mittlere Fehler bewegte sich dabei zwischen 3 und 4%.

Die selektive Reflexion der Elektronen an Kristallen in bestimmten Richtungen untersuchten DAVISSON und GERMER (6). Sie ließen einen Elektronenstrahl auf einen Nickeleinkristall senkrecht zur Fläche (111) auffallen und untersuchten die Intensität der gestreuten Strahlung in ihrer Abhängigkeit vom Höhenwinkel θ (vgl. Fig. 2).

Variiert werden kann sowohl die Strahlengeschwindigkeit als auch das Azimut des Auffangkäfigs sowie auch seine Höhe θ . Fig. 3 zeigt die Ausbildung des Reflexionsmaximums an (111)

beim Nickeleinkristall bei Veränderung der Voltgeschwindigkeit. Am stärksten tritt dies bei 54 Volt unter einem Höhenwinkel $\theta = 50^\circ$ hervor. Diesem Maximum entspricht eine Reflexion an der Fläche (311). Hält man die Voltgeschwindigkeit 54 Volt und den Höhenwinkel $\theta = 50^\circ$ konstant und variiert nur das Azimut, so treten neben den Maxima der Reflexion an (111) noch solche an (100) und ganz schwache an (110) auf.

In ähnlicher Weise wurden nach einer Methode, die dem BRAGGSCHEN Röntgenuntersuchungsverfahren analog ist, von RUPP sowohl Nickel, das auf eine Unterlage aufgedampft war, als auch ein Lithiumfluoridkristall untersucht. In beiden Fällen zeigte sich selektive Reflexion, die bei dem Kristall stärker hervortrat als bei der Nickelfläche mit Faserstruktur.

Die Prüfung der DE BROGLIESCHEN Beziehung [Gleichung (1)] kann auch an Beugungsinterferenzen nach dem Durchgang der Elektronen durch Kristallfolien oder bei Reflexion

derselben an feinkörnigem Pulver erfolgen. Der Elektronenstrahl geht bei diesen Untersuchungen durch eine lange Blendenröhre von 0,2 bis 0,1 mm Weite zur Erhöhung der Schärfe, durchsetzt dann das Untersuchungsobjekt und trifft bei KIKUCHI (7) nach 15 cm, bei THOMSON (8) nach 35 cm auf die photographische Platte, wobei die Belichtungszeit nur Bruchteile einer Sekunde dauert. Eine solche Aufnahme, die KIKUCHI

durch Beugung von Elektronenstrahlen von etwa 65000 Voltgeschwindigkeit beim Durchgang durch ein weniger als $0,1 \mu$ dickes Glimmerblättchen erhalten hat, ist in dieser Zeitschrift im Jahrgang 1930 auf Seite 235 (Fig. 2) wiedergegeben. Das Verfahren ist der DEBYE-SCHERRER-Methode mit Röntgenstrahlen sehr ähnlich. Die dort geltende Gleichung

$$n \cdot \lambda = 2d \sin \frac{\varphi}{2}, \dots \dots (5)$$

worin n die Ordnungszahl des Beugungsringes, d ein Netzebenenabstand, φ der Ablenkungswinkel des n ten Beugungsringes ist, hat auch hier bei Elektronenbeugung ihre Gültigkeit. Setzt man für λ die DE BROGLIE-Gleichung (8), so ergibt sich, wenn man für $\sin \frac{\varphi}{2}$ den Durchmesser D des Beugungsringes einführt, für gleichbleibendes d und n

$$D\sqrt{U} = \text{const.} \dots \dots (6)$$

Diese Beziehung hat RUPP an Elektronenbeugungsringen an Zelluloid bei verschiedenen Spannungen U geprüft und, wie die nach RUPP wiedergegebenen Werte in nachstehender Tabelle I zeigen, innerhalb der Fehlergrenzen für richtig befunden.

Tabelle I.

| U in Volt | 9800 | 16100 | 21000 | 36000 | 50 000 |
|-----------------|------|-------|-------|-------|--------|
| D in cm . | 1,86 | 1,48 | 1,30 | 1,00 | 0,85 |
| $D\sqrt{U}$. . | 185 | 189 | 190 | 193 | 195 |

Die bei diesen Versuchen verwendeten dünnen Folien werden nach RUPP durch Aufdampfen auf Steinsalz und nach THOMSON durch Kathodenzerstäubung auf Zelluloseazetat hergestellt. Ihre Dicke liegt bei 10^{-6} bis 10^{-7} cm. Nur bei so dünnen Folien erhält man die gewünschten Interferenzringe. Bei dickeren Folien tritt nur die bekannte Streuung der Elektronen auf. Eine Aufnahme der Interferenzringe, wie sie an Goldfolie von EISENHUT und KAUPP im physikalischen Laboratorium der J. G. Oppau mit Elektronenstrahlen von 58 K-Volt erhalten wurden, gibt Fig. 4 wieder [nach E. RUPP (4)].

Was bisher behandelt ist, gilt in völliger Reinheit nur für schnelle Elektronen von über 500 Volt Geschwindigkeit. Verwendet man dagegen Elektronen unter 500 Volt Geschwindigkeit, dann treten in der Lage der Beugungsmaxima gesetzmäßige Verschiebungen auf. Diese lassen sich nach E. RUPP damit erklären, daß entweder die Elektronenwelle in der Materie eine Veränderung erfährt, die man optisch mit der Brechung vergleichen kann, oder aber, wie PATTERSON (9) annimmt, eine Veränderung der Kristalldimensionen bei langsamen Elektronen eintritt. Aus der letztgenannten Annahme geht aber nach Ergebnissen von DAVISSON und GERMER hervor, daß die Abstände der zur Oberfläche parallelen Netzebenen sich auf 70 bis 95% ihres Wertes, den wir aus Röntgenstrahlungsmessungen kennen, zusammengezogen hätten und daß diese Kontrak-

tion der Elektronengeschwindigkeit proportional ist. Dies ist aber nach E. RUPP unwahrscheinlich.

Die erstgenannte Ansicht von E. RUPP, daß die Elektronenwelle für Materie einen Brechungsindex $\mu = \frac{\lambda}{\lambda_1}$ hat, wobei λ die Wellenlänge außerhalb, λ_1 innerhalb des Kristalls ist, hat schon insofern mehr für sich, als nach H. BETHE (10) die Wellenmechanik einen solchen auch für Elektronenwellen fordert. Die experimentelle Entscheidung, ob μ kleiner oder größer als 1 ist, konnte E. RUPP durch Aufnahmen von Beugungsringen an dünnen Folien erbringen. Hieraus ergab

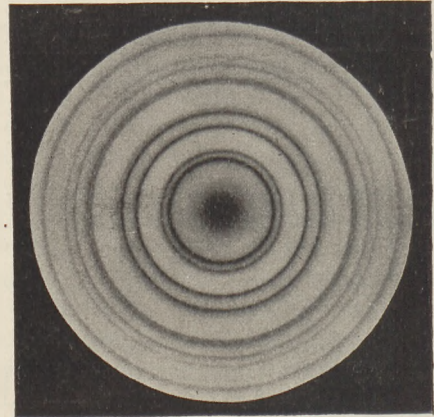


Fig. 4.

sich einwandfrei, daß für Metalle und elektronenleitende Metallverbindungen $\mu > 1$ ist, soweit diese bisher untersucht wurden, für nichtleitende Kristalle wurde bisher nach M. v. LAUE und E. RUPP (11) $\mu < 1$ gefunden, ein Wert, der sich mit steigender Temperatur der 0 nähert.

E. RUPP führt den Brechungsindex auf ein inneres Gitterpotential E_0 im Kristall zurück. Zwischen Brechungsindex μ , Gitterpotential E_0 und Voltgeschwindigkeit U im Vakuum soll danach entsprechend Gl.(3) die Beziehung bestehen:

$$\mu = \sqrt{\frac{U + E_0}{U}} \dots \dots (7)$$

Diese Größe E_0 ist für einige Metalle bestimmt worden. Sie beträgt für Nickel ungefähr 17, für Kupfer 13 Volt. Demnach erhält ein Elektronenstrahl, der mit einer Geschwindigkeit von 100 Volt in Nickel eintritt, darin die Geschwindigkeit 117 Volt. Diese Werte E_0 sind, wie RUPP durch Messungen an Cu, Ag, Au, Al, Pb, Fe, Mo und Zr feststellen konnte, von der Strahlengeschwindigkeit unabhängig. Auch für nichtmetallische Kristalle haben M. v. LAUE und E. RUPP E_0 gemessen und dabei E_0 negativ gefunden, was aber nach RUPP damit zusammenhängen kann, daß das Elektron beim Eindringen in den Kristall erst die Oberflächenladung überwinden muß, die die Wirkung des inneren Potentials in unübersichtlicher Weise überlagert. Für Ionenkristalle, wie z. B. Lithiumfluorid, ist E_0 sehr klein.

ROSENFELD und WITMER (12) haben dieses Gitterpotential E_0 in Beziehung gebracht zu der glühelctrisch oder lichtelektrisch gemessenen Austrittsarbeit A von Elektronen und zu der kinetischen Energie der Leitungselektronen W_i . Nach der SOMMERFELDSchen Theorie der Metallleitung sind diese drei Größen durch die Beziehung

$$E_0 - W_i = A \dots \dots \dots (8)$$

verbunden. W_i läßt sich berechnen aus der Anzahl n_i der Leitungs-(Valenz-)Elektronen des Atoms und dem Atomvolumen a nach der Gleichung:

$$W_i = 26 n_i^{\frac{2}{3}} a^{-\frac{2}{3}} \dots \dots \dots (9)$$

Diese Verbindung zweier verschiedener Gebiete der Physik bietet eine Möglichkeit, Theorie und Erfahrung miteinander zu vergleichen. Wie RUPP zeigen konnte, besteht qualitative Übereinstimmung zwischen den experimentellen und den aus den Gleichungen (8) und (9) gewonnenen Ergebnissen.

Daß zwischen dem Gitterpotential E_0 und der Elektronenbeweglichkeit ein Zusammenhang besteht, hat RUPP durch Versuche am Steinsalz (NaCl) gezeigt. An reinem Steinsalz, das als Ionenleiter gilt, hat er für E_0 bei 80° einen negativen Wert erhalten, was er mit der Oberflächenladung erklärt. Wird aber der NaCl-Kristall durch Röntgen- oder Elektronenbestrahlung gelb gefärbt, dann wird er lichtelektrisch wirksam, wobei nun Elektronen die Träger der lichtelektrischen Leitfähigkeit sind. Da man die Stärke der Verfärbung und damit die Elektronenzahl im Kristall beliebig verändern kann, war hiermit eine Möglichkeit gegeben, obige Gleichung (8) qualitativ wenigstens zu untersuchen, was auch E. RUPP ausführte. Er stellte dabei fest, daß der Verfärbung eine gesetzmäßige Verlagerung der Beugungsmaxima parallel geht, indem zu dem stark verfärbten, also elektronenleitenden Kristall ein größeres E_0 gehört als zu dem unverfärbten.

Bei ihren Messungen am Nickeleinkristall auf der Fläche (111) haben DAVISSON und GERMER eigentümliche Änderungen des Brechungsindex μ mit der Voltgeschwindigkeit der Elektronen, d. h. also mit ihrer Wellenlänge, gefunden. Mit steigender Spannung U nimmt der Brechungsindex μ zuerst nach Gleichung (7) zu, wächst dann aber bis 90 Volt sehr stark, so daß die Beugungserscheinungen verschwinden. Über 90 Volt kommen dann die Beugungszacken mit sehr kleinen Brechungsquotienten wieder; letzterer wächst schnell und hat bei 105 Volt wieder normale Größe erreicht. Diese Eigentümlichkeit des Brechungsquotienten läßt sich mit der anomalen Dispersion in der Optik vergleichen. Die beiden genannten Forscher haben sie eingehend in dem Gebiet zwischen 80 und 130 Volt an einer Beugungszacke bei selektiver Reflexion untersucht und fanden obiges bestätigt.

Polarisation der Elektronenwellen konnte RUPP an Goldspiegeln bei streifendem Einfall nachweisen, als er mit Spannungen von 38 KV und 80 KV arbeitete, während bei niedrigerer Voltgeschwindigkeit etwas Derartiges nicht zu

beobachten war. Er ließ dabei den Elektronenstrahl nacheinander an zwei Goldspiegeln streifend reflektieren und drehte den zweiten Spiegel zum ersten um die Strahlenachse um den Winkel φ . So erhielt er für die Intensität R des zweimal reflektierten Elektronenstrahls eine Abhängigkeit von φ , die für 38 und 80 KV Tabelle 2 wiedergibt.

Tabelle 2.

| φ in Graden | 0 | 45 | 90 | 135 | 180 | 225 | 270 | 315 |
|---------------------|-----|------|------|------|------|------|------|------|
| R für 38 KV | 100 | 97,4 | 96,3 | 95,6 | 94,2 | 95,4 | 96,8 | 98,6 |
| R für 80 KV | 100 | 97,0 | 94,0 | 90,8 | 88,2 | 91,6 | 93,7 | 95,4 |

Für $\varphi = 180^\circ$ tritt in beiden Fällen eine merkliche Verminderung der Elektronenintensität ein, die für 80 KV etwa 12% beträgt. Die Reflexionsintensität R läßt sich demnach als Funktion von φ darstellen durch die Gleichung

$$R = A + B \cos \varphi, \dots \dots \dots (10)$$

während die Reflexionsintensität R_1 des Lichtes der Gleichung $R_1 = A + B \cos^2 \varphi$ folgt.

Über die Kohärenz der Elektronenwellen hat RUPP folgendes festgestellt. Während für Natriumlicht noch ein vom gleichen Atom ausgehender Wellenzug von $10^7 \cdot 5 \cdot 10^{-5} \text{ cm} = 5 \text{ m}$ interferenzfähig ist, gilt dies bei Elektronenwellen nur für einen Wellenzug von $50 \cdot 0,1 \cdot 10^{-8} = 5 \cdot 10^{-8} \text{ cm}$. Demnach ist die Elektronenwelle also gegenüber der Lichtwelle räumlich außerordentlich eng begrenzt. Ihre Ausdehnung liegt nur in der Größenordnung der Atomabmessungen. Dies bringt E. RUPP zu der Auffassung, daß die Elektronenwelle sich nur auf einen sehr engen Raum beschränkt. Man kann sich vorstellen, daß die Amplitude der Elektronenwelle in der Mitte derselben am größten ist und nach beiden Seiten sehr stark abfällt.

Literatur.

1. DAVISSON, C. J. u. C. H. KUNSMAN: *Physic. Rev.* **22**, 243 (1923).
2. ELSASSER, W.: *Naturwiss.* **16**, 720 (1928).
3. BROGLIE, L. DE: *Thèse, Ann. physic.* **1925**; *ondes et mouvements*, Paris 1926.
4. RUPP, E.: Bericht in den Ergebnissen der exakten Naturwissenschaften, Bd. 9, S. 79, 1930, dem auch die Figuren entnommen sind. Hier sind auch RUPPs sämtliche einschlägigen Arbeiten zitiert. Vgl. ferner: *Forschung und Technik*, im Auftrage der A.E.G., herausgegeben von W. PETERSEN. Berlin 1930. S. 9; *Naturwiss.* **18**, 207 (1930).
5. BUSCH, H.: *Ann. Physik* **81**, 974 (1926) u. *Physik. Z.* **26**, 509 (1925).
6. DAVISSON, C. J. u. L. H. GERMER: *Nature (Lond.)* **119**, 558 (1927); *Physic. Rev.* **30**, 705 (1927) u. **33**, 292 (1929); *Proc. nat. Acad. Sci. U.S.A.* **14**, 317 u. 619 (1928).
7. KIKUCHI, S.: *Jap. J. Physic.* **5**, 83 (1928); *Nature (Lond.)* **121**, 726 u. 1019 (1928).
8. THOMSON, G. P.: *Nature (Lond.)* **120**, 802 (1927) u. **123**, 912 (1929); *Proc. roy. Soc.* **117**, 600; **119**, 651 u. **125**, 352 (1929).
9. PATTERSON, A. L.: *Nature (Lond.)* **124**, 986 (1929).
10. BETHE, H.: *Naturwiss.* **15**, 786 (1927) u. **16**, 333 (1928); *Ann. Physik* **87**, 55 (1928); *Z. Physik* **54**, 703 (1929).
11. LAUE, M. VON u. E. RUPP: *Ann. Physik* **4**, 1121 (1930) u. *Berl. Sitzgsber.* **1930**, 26.
12. ROSENFELD, L. u. E. E. WITMER: *Z. Physik* **40**, 534 (1928).

3. Geschichte und Erkenntnislehre.

Michelson-Versuch und Relativitätstheorie¹ II.

Von OSKAR MATHIAS in Graz.

Die Lichtgeometrie:

Übersicht und Durchführung.

In dem Berichte: MICHELSON-Versuch und Relativitäts-Theorie I (diese Zeitschrift 44, 223; 1931) ist die Hauptfrage nach der Stellung des MICHELSON-Versuches in der Relativitätstheorie in folgendem Satz formuliert worden: Ist durch einen positiven Ausfall des MICHELSON-Versuches die Relativitätstheorie, und das in ihrem ganzen Umfange, widerlegt? Zur Beantwortung dieser Frage soll nun aus der „Axiomatik der relativistischen Raum-Zeit-Lehre“ von HANS REICHENBACH die Entwicklung der „Lichtgeometrie“ skizziert werden, deren Konzeption und Ergebnis in dem genannten Bericht (unter 8 a) bereits geschildert worden ist und hier kurz wiederholt wird.

Der leere Raum sei von einer ungeheuren Menge materieller Punkte, die wir im folgenden Realpunkte nennen wollen, in regellosem Durcheinander durchschwirrt. Auf jedem dieser Punkte sitze ein Beobachter, der imstande ist, Lichtsignale nach allen Richtungen auszusenden und von allen anderen Punkten zu empfangen, zu reflektieren, Merkmale daran anzubringen usw. Es wird nun die Aufgabe gestellt, in diesem Punktechaos eine raumzeitliche Ordnung herzustellen, die nur auf Lichtsignale gegründet ist, so daß weder starre Stäbe noch mechanische Vorgänge (Trägheitsbewegung, natürliche Uhren) zur Definition der Metrik verwendet werden. Diese Aufgabe wird durch eine Reihe Definitionen und fünf Axiomgruppen gelöst. Die ersten beiden Axiome und Definitionen stellen zunächst eine topologische zeitliche Ordnung her. Es werden die Relationen „früher“ und „später“ festgelegt und die Gleichzeitigkeit so definiert, dass vermöge der genannten Axiome jeder reale Vorgang eine positive stetige Zeitdauer erhält. Das Axiom III formuliert die ausgezeichnete Rolle des Lichtes. Die Axiome IV und V endlich sind metrischer Natur und sondern aus dem Punktechaos Mannigfaltigkeiten von Realpunkten aus, die ausgezeichnete Eigenschaften haben und in denen sich eine Metrik so definieren läßt, daß diese Punktsysteme den Inertialsystemen der Mechanik entsprechen. Damit ist die Lichtgeometrie fertig. Die nunmehr zu behandelnden „Körperaxiome“ beziehen sich auf Eigenschaften starrer Stäbe und natürlicher Uhren und ihre Beziehungen zur Lichtgeometrie.

A. Die Lichtaxiome.

9. Die topologischen Lichtaxiome.

Durch die erste Definition wird die Zeitfolge in irgend einem herausgegriffenen Realpunkt P

¹ Nach Vorträgen, die der Verfasser im Sommersemester 1930 in den „Physikalischen Besprechungen“ der Grazer Universität gehalten hat.

festgelegt. Eine Reihe stetig aneinandergesetzter Signale bezeichnen wir dabei als „Signalzug“.

Definition 1. Von zwei in P stattfindenden Ereignissen E_1 und E_2 heißt E_2 „später als E_1 “, wenn man einen Signalzug derart wählen kann, daß der Abgang mit E_1 und die Rückkehr mit E_2 zusammenfällt. E_2 heißt dann auch „früher als E_2 “.

Durch diese Definition wird die topologische Zeitordnung in einem Punkte hergestellt, ohne Zuhilfenahme der zeitlichen Ordnung, die durch das menschliche Bewußtsein bestimmt ist.¹

Die Axiomengruppe I betrifft die Zeitfolge in einem Punkt und besteht aus drei Teilaussagen:

Axiom I, 1. Es gibt keinen Signalzug derart, daß Abgang und Rückkehr in P zusammenfallen (*Ordnungsaxiom*).

Axiom I, 2. Zu irgend zwei Ereignissen in P gibt es stets einen Signalzug derart, daß dessen Abgang mit dem einen, die Rückkehr mit dem anderen Ereignis zusammenfällt (*Zusammenhangsaxiom*).

Axiom I, 3. Die Ereignisse in P bilden ein lineares Kontinuum (*Mächtigkeitsaxiom*).

Diese Axiome gelten alle auch schon in der alten Physik und sind die elementaren Voraussetzungen für eine zeitliche Ordnung der Ereignisse. Aus ihnen folgt der Satz, daß sich Ereignisse in einem Punkt in der Ordnung der Zeitfolge den reellen Zahlen eindeutig zuordnen lassen. Diese Zuordnung wird zunächst irgendwie willkürlich gewählt, so daß wir von der „Zeit t eines Ereignisses“ sprechen können.

Die Axiome II vergleichen die Zeit in zwei beliebigen Realpunkten. Die ersten beiden Teilaussagen behaupten die Verbindungsmöglichkeit aller Realpunkte zu jeder Zeit.

Axiom II, 1. Gibt man in einem Realpunkt P eine beliebige Zeit t vor, so kann man in diesem Zeitpunkt t ein Signal derart wegschicken, daß es in einem vorgegebenen Realpunkt P' eintrifft.

Axiom II, 2. Gibt man in einem Realpunkt P' einen beliebigen Zeitpunkt t' vor, so kann man in einem vorgegebenen Realpunkt P ein Signal derart wegschicken, daß es in P' zur Zeit t' eintrifft.

Mit diesen Axiomen läßt sich nun beweisen, daß für Signale, die in P zu einer vorgegebenen Zeit t abgesandt werden können, eine zeitliche untere Grenze t' für das Eintreffen in P' existiert. t' heißt die Ankunftszeit des in P zur Zeit t abgehenden Erstsignales PP' . Man erkennt leicht, daß nach dieser Definition ein Erstsinal nicht notwendig auch ein realisierbares Signal sein muß, sondern bloß durch eine Grenzeigenschaft solcher definiert wird.

Die beiden folgenden Axiome schließen Unstetigkeiten in der Zeitübertragung durch Signale aus.

¹ Zu dieser Kausaltheorie der Zeit siehe die bezgl. Abschnitte in den beiden Arbeiten von H. REICHENBACH: „Ziele und Wege der physikalischen Erkenntnis“ im Handbuch der Physik, Bd. 4, Ziff. 21 und „Das Kausalproblem in der Physik“, Naturw. 19, S. 718 und 719 (1931).

Axiom II, 3. Gibt es zwischen den Punkten P und P' ein Signal t' , so gibt es für ein vorgegebenes $t_1' > t'$ ein $t_1 > t$ derart, daß es auch ein Signal $t_1 t_1'$ gibt.

Axiom II, 4. Gibt es zur Zeit t ein Signal von P nach P' , so gibt es in einem beliebig vorgegebenen Zeitpunkt $t_0 < t$ ein Signal, welches P' früher erreicht als jedes zur Zeit t abgehende Signal.

Auch diese beiden Axiome sind elementare Voraussetzungen der vorrelativistischen Physik.

Nun wird die Gleichzeitigkeit definiert, zunächst ganz allgemein, wie in 6 a des früheren Berichtes. Die Notwendigkeit einer solchen Definition ist dort ausführlich dargelegt worden. Wir wählen zu diesem Zwecke einen bestimmten Realpunkt O und in ihm einen bestimmten, sonst willkürlichen Zeitablauf und synchronisieren von diesem Punkt aus durch fortwährend abgehende Signale die „Uhren“ in allen anderen Realpunkten nach der folgenden Definition 2. Dabei sind hier unter „Uhren“ nicht mechanische Uhren zu verstehen, deren Ablauf irgendwie die Zeiteinheiten definiert, sondern lediglich Ereignisketten, deren Glieder die einzelnen Zeitpunkte markieren sollen.

Definition 2. Ein Erstsinal werde in O zur Zeit t_1 abgeschickt und kehre, in P reflektiert, zur Zeit t_3 nach O zurück: Dann soll der Zeitpunkt des Eintreffens in P die Zeitzahl erhalten $t_2 = t_1 + \varepsilon(t_3 - t_1)$, wobei $0 < \varepsilon < 1$ ist. ε ist ein willkürlicher Faktor, der aber für alle Punkte gleich groß sein soll.

Das nächste Axiom II, 5, ist für die Relativitätstheorie charakteristisch, denn es behauptet, in metrischer Sprache ausgedrückt, die endliche Geschwindigkeit jeder Wirkungsübertragung. Natürlich ist die Formulierung dieses Axiomes hier, wo noch keine Metrik festgelegt ist, eine rein topologische. II, 5 wird später durch Axiom III ersetzt und zugleich spezialisiert. Hier wird die allgemeinere Form gewählt, damit die Axiomengruppen I und II vollständig sind und der weiter unten folgende wichtige Satz daraus abgeleitet werden kann.

Axiom II, 5. Ist $PP'P$ ein Signal, welches in P zur Zeit t abgeht, so gibt es ein $t_1 > t$ derart, daß jedes in t abgehende Signal $PP'P$ später als t_1 nach P zurückkehrt.

Bezeichnen wir die Zeit, die ein Signal braucht, um von P nach P' und wieder zurück zu gelangen mit $PP'P$, so können wir II, 5 auch kurz so ausdrücken: Auch für Erstsignale ist $PP'P > 0$. Axiom I, 1 behauptet diese Relation nur für Signale. Das Erstsinal ist aber ein Limes-Begriff und muß daher nicht selbst ein Signal sein.

Durch das letzte Axiom in Verbindung mit Definition 2 folgt, daß die Ankunftszeit t_2 eines Einstellsignales in einem Punkt P zwischen den Zeiten des Abganges und der Rückkehr in O liegt, also $t_1 < t_2 < t_3$. Dadurch wird für Einstellsignale die Zeitdifferenz Null zwischen Abgang und Ankunft ausgeschlossen. Es besteht aber noch die Möglichkeit, daß Signale mit der Zeitdifferenz Null zwischen zwei Punkten P' und P'' existieren, die von dem Einstellpunkt O ver-

schieden sind. Diese Möglichkeit wird durch das letzte Axiom der zweiten Gruppe ausgeschlossen. Es gilt übrigens auch schon in der „absoluten Zeit“ der alten Physik.

Axiom II, 6. Ist für Erstsignale, die alle zur Zeit t in P abgehen, $PP'P = PP''P = PP'P'P$, so ist auch $PP'P'P = PP''P'P$ für ebenfalls in t abgehende Erstsinalzüge.

Auf Grund aller dieser Axiome I und II läßt sich der folgende Satz ableiten:

Die Gleichzeitigkeit läßt sich (durch Def. 2) so definieren, daß jeder reale Vorgang (Signal, Kausalreihe) eine stetige, positive Zeitdauer erhält.

Damit ist die topologische Ordnung der Ereignisse in unserer Punktmannigfaltigkeit geschaffen. Wir definieren nur noch die räumliche Nachbarschaft:

Definition 3. Ein Punkt P heißt räumlich benachbart zu P' mit der Genauigkeit η , wenn die Zeit $PP'P$ kleiner ist als eine beliebig vorgegebene kleine Größe η .

10. Die Sonderstellung des Lichtes.

Während die bisherigen Axiome von beliebigen Signalen gehandelt haben, wird durch das folgende die Vorzugsstellung des Lichtes behauptet. Dieses Axiom ist der Kern der relativistischen Raum-Zeit-Lehre.

Axiom III. Erstsignale sind direkte Lichtsignale.

Unser Axiom besagt zweierlei. Erstens, daß Erstsignale wirklich Signale sind, was nach der obigen Bemerkung durchaus nicht der Fall sein muß, und zweitens, daß die Lichtausbreitung in unserer Welt diese Rolle des Erstsignales spielt. Dabei ist hier natürlich „Licht“ nur ein kurzer Ausdruck für die elektromagnetischen Vorgänge allgemeinsten Art. Ein „direktes“ Signal soll ein Signal ohne Zwischenreflexionen sein, und der das Licht aussendende Apparat sei mit dem Realpunkt fest verbunden.

Man muß beachten, daß Axiom III die Sonderstellung des Lichtes rein topologisch formuliert. Der Begriff „Geschwindigkeit“ wird nicht verwendet, da wir noch keine Metrik in unserem Punktechaos eingeführt haben.

Es ist schon im vorigen Bericht (unter 6 a) bemerkt worden, daß drei Erfahrungsgebiete der vorrelativistischen Physik die Geltung dieses Axiomes stützen. Eine Wirkungsübertragung zwischen zwei Realpunkten ist ja auf dreierlei Weise möglich: Erstens durch Zustandsänderungen in dem von Materie leeren Raum (Zustandsänderungen des elektromagnetischen Feldes), zweitens durch Fortpflanzung von Zustandsänderungen in materiellen Körpern und drittens endlich durch die Bewegung materieller Körper selbst. Eine Reihe Erfahrungen und Experimente zeigt nun, daß alle elektromagnetischen Wellen sich mit derselben Geschwindigkeit fortpflanzen, nämlich mit der Lichtgeschwindigkeit c .¹ Es

¹ Nach der Relativitätstheorie gilt dies auch für Störungen im Gravitationsfelde.

muß also nur noch gezeigt werden, daß diese Geschwindigkeit eine obere Grenze darstellt.

Wie geht die Fortpflanzung von Zuständen in materiellen Körpern vor sich? Die Materie besteht nach den heutigen Anschauungen aus Elektronen und Protonen, die in komplizierter Verbindung die Bausteine der Atome bilden. Jedes dieser Teilchen trägt ein elektromagnetisches Feld mit sich und die Kräfte, die sie aufeinander ausüben, und daher auch die Kräfte von Atom zu Atom, sind elektromagnetischer Art. Eine Beeinflussung eines Materieteilchens beliebiger Art kann daher nur durch das Feld der anderen Teilchen stattfinden und es ist klar, daß infolgedessen die Fortpflanzung irgendwelcher Zustände in materiellen Körpern nicht mit einer größeren Geschwindigkeit erfolgen kann, als mit der Geschwindigkeit der elektromagnetischen Störungen, also mit Lichtgeschwindigkeit. Man kann sich das etwa durch das folgende Bild veranschaulichen. In einem Lande werde die Post nur durch Automobile befördert, die alle stets mit der gleichen Geschwindigkeit fahren. Zwischen zwei entfernten Orten kann nun die Übermittlung von Briefen entweder durch direkte, zwischen diesen Orten ohne Unterbrechung verkehrende, Wagen erfolgen oder über dazwischenliegende Postämter, wo die Briefe neu geordnet und weiterbefördert werden. Im letzteren Falle dauert natürlich die Reise eines Briefes länger, wegen der Verweilzeit auf den Postämtern. In diesem Bilde spielt das Postamt die Rolle des Atoms, die Automobile die Rolle der elektromagnetischen Wellen. Man darf demnach nicht hoffen, durch Bewegungen auch der starren Körper oder durch Wellen in ihnen die Lichtgeschwindigkeit zu überbieten.

Es bliebe also nur noch die dritte Möglichkeit offen, nämlich die, materielle Teilchen oder Körper auf Überlichtgeschwindigkeit zu beschleunigen. Versuche mit schnell bewegten Elektronen haben aber gezeigt, daß die Masse dieser Teilchen von ihrer Geschwindigkeit abhängt und bei Annäherung an die Lichtgeschwindigkeit unbegrenzt wächst. Nach dem Gesetz der Masseveränderlichkeit der Relativitätstheorie, das im beobachtbaren Gebiet die Versuchsergebnisse sehr gut wiedergibt, müßte die Elektronenmasse ebenso wie die Masse der Protonen bei Lichtgeschwindigkeit unendlich groß sein. Da alle Körper aus diesen Bausteinen bestehen, muß es demnach unmöglich sein, materiellen Körpern eine Relativgeschwindigkeit gegeneinander zu erteilen, die die Lichtgeschwindigkeit erreicht oder gar übertrifft.

Alle diese Erfahrungen der alten Physik sind hier in metrischer Sprache ausgedrückt; wir sprachen ja von der Geschwindigkeit materieller Körper und Zustandsänderungen. Es ist aber leicht, sie in die topologische Ausdrucksweise dieses Kapitels zu übersetzen. Sie finden ihren kurzen Ausdruck eben in Axiom III, das, wie wir sehen, durch die Erfahrung wohl begründet ist.

11. Die metrischen Lichtaxiome.

Die nun folgenden Axiome sondern aus den durch die ersten drei Axiomgruppen bereits topo-

logisch geordneten Mengen von Realpunkten Teilmengen mit besonderen Eigenschaften aus. Dadurch gelingt es, Koordinatensysteme zu erhalten, in denen eine vollständige raumzeitliche Metrik und damit auch die gegenseitige „Ruhe“ von zwei Realpunkten definiert ist. Die folgenden zwei Definitionen beziehen sich zunächst auf Hilfsbegriffe, die eine kurze und klare Formulierung von Axiom IV, 1 erlauben.

Definition 5. Ein System von Realpunkten heißt „überall anwesend“, wenn es in ihm keinen Realpunkt gibt, der nicht in jedem (auf ihm bestimmten) Zeitpunkt zu einem Realpunkt des Systems mit beliebiger Genauigkeit η benachbart ist.

Definition 6. Man wähle in dem Realpunkt A einen beliebigen Uhrablauf als Maß gleicher Zeiten. Man suche alle diejenigen (irgendwie bewegten) Realpunkte P , die (nach diesem Uhrablauf gemessen) fortwährend einen für jedes P konstanten Wert der Erstsinalzeit \overline{APA} ergeben. Dieses Punktsystem heißt ein „auf A bezogenes System“.

Axiom IV, 1. Es ist möglich, Realpunkte A und den Uhrablauf in ihnen so zu wählen, daß das entsprechende auf A bezogene Punktsystem für jeden seiner Punkte ein auf ihn bezogenes System ist. Ein solches Punktsystem ist überall anwesend.

Hier wird die Einheitsdauer der Uhr in A irgendwie willkürlich gewählt, etwa durch die Zeitdauer \overline{AEA} zwischen zwei bestimmten Punkten A und E .

Definition 7. Ein Punktsystem nach Axiom IV, 1 heißt ein stationäres räumliches Koordinatensystem, eine danach eingestellte Uhr hat stationäre Zeit.

Nun wird die Definition 2 der Gleichzeitigkeit spezialisiert, indem $\varepsilon = \frac{1}{2}$ gesetzt wird.

Definition 8. Ein Erstsinal werde in A zur Zeit t_1 weggeschickt und kehre, in B reflektiert, zur Zeit t_3 nach A zurück. Dann soll der Zeitpunkt des Eintreffens in B die Zeitzahl erhalten:

$$t_2 = \frac{t_1 + t_3}{2}.$$

(Einstein's Definition der Gleichzeitigkeit).

Durch diese spezielle Wahl von ε erzielt man eine bedeutende Vereinfachung, da, wie sich leicht beweisen läßt, nur durch sie der Synchronismus symmetrisch wird; das heißt: wird nach dieser Definition die Uhr in B mit jener in A synchronisiert, so ist damit auch schon A synchron zu B nach eben derselben Definition. Der Synchronismus ist aber dadurch noch nicht notwendig transitiv. Wenn also die Uhren in B und C synchron mit A laufen, so folgt daraus noch nicht, daß auch B synchron mit C ist. Die Transitivität wird erst durch das folgende Axiom gesichert.

Axiom IV, 2. Es ist möglich, unter den stationären Systemen ein „statisches“ auszuwählen, welches folgende Eigenschaften besitzt: Werden von einem Punkt A des statischen Systems zwei Lichtsignale um einen geschlossenen Dreiecksweg $ABCA$ gleichzeitig in entgegengesetztem Sinne geschickt, so kehren sie gleichzeitig zurück (Umlaufaxiom).

Beide Axiome IV gelten auch in der alten Optik. Es mag noch erwähnt werden, daß das Umlaufaxiom IV, 2 eine direkte experimentelle Bestätigung durch das überaus interessante Experiment von MICHELSON und GALE¹ gefunden hat, das ein optisches Analogon zum FOUCAULT'schen Pendelversuch ist. Zwei Lichtstrahlen werden längs des Umfanges eines horizontalen Rechteckes in entgegengesetzten Richtungen geschickt und gelangen nach dem Durchlaufen dieser Wege zur Interferenz. Durch die Lage der Interferenzfransen wird die Differenz der Zeiten, die die beiden Strahlen brauchen, gemessen. Der Versuch zeigt, daß diese Differenz genau den Betrag hat, der aus der Rotationsgeschwindigkeit der Erde gegen ein Inertialsystem und der geographischen Breite des Beobachtungsortes berechnet wird. Am Äquator muß diese Zeitdifferenz gleich Null sein und daher kann man mit der in der Physik immer üblichen und zulässigen Verallgemeinerung darauf schließen, daß sie in allen Inertialsystemen gleich Null ist.

Die folgenden Definitionen bestimmen die räumliche Geometrie unseres statischen Systemes.

Definition 9. Lichtstrahlen sind gerade Linien².

Auch diese Definition ist eine Zuordnungsdefinition. Dem geometrischen Begriff „gerade Linie“ wird das Realding „Lichtstrahl“ zugeordnet.

Die nächste Definition ist für die hier behandelte Frage von besonderer Wichtigkeit. Wir definieren die Streckengleichheit:

Definition 10. Werden zwei Signale gleichzeitig von A längs der Wege ABA und ACA geschickt und kehren sie gleichzeitig nach A zurück, so heißen die Strecken AB und AC gleich lang.

Hier ist die räumliche Kongruenz ohne den Transport starrer Stäbe rein lichtgeometrisch definiert.

Definition 11. Die Länge einer Strecke AB wird gemessen durch $\frac{c}{2} \cdot ABA$. c ist eine willkürliche Konstante.

Durch Definition 11 ist nunmehr auch die Einheitslänge bestimmt. Da die Längen- und Zeitmessung damit vollständig definiert ist, so kann nun auch die Geschwindigkeit in der üblichen Weise definiert werden. Dann ergibt sich aber aus den bisherigen Definitionen unmittelbar der Satz, daß die Lichtgeschwindigkeit in statischen Koordinatensystemen konstant ist (Axiom IV, 1; Definition 10) und $= c$ (Definition 11).

Eine Analyse zeigt, daß das auf A bezogene statische Koordinatensystem noch nicht eindeutig ist. Die Eindeutigkeit des Bewegungszustandes

der Realpunkte gegeneinander wird erst durch das fünfte Axiom erreicht, wobei aber noch verlangt werden muß, daß die Lichtaxiome in der ganzen, unendlichen Raumzeitmännigfaltigkeit ohne Singularitäten gelten¹.

Axiom V. Es ist möglich, das auf A bezogene statische System so zu wählen, daß die definierte räumliche Geometrie dreidimensional euklidisch wird.

Definition 12. Ein stationäres räumliches Koordinatensystem nach den Axiomen I bis V heißt Inertialsystem, die Punkte eines solchen Systemes heißen zueinander ruhend, die zugehörige stationäre Zeit heißt gleichförmig.

Damit ist die Lichtgeometrie in unserem speziellen Koordinatensystem, das durch den Punkt A und die Axiome IV und V bestimmt ist, fertig. Wir bestimmen nun die Metrik in Systemen, die in gleichförmiger Translation gegen dieses Ausgangssystem bewegt sind und suchen die Beziehungen zwischen den Maßbestimmungen dieser Systeme.

12. Gleichförmig bewegte Systeme.

Wir betrachten ein System K' von Realpunkten, welches sich gegen ein Inertialsystem K nach Definition 12 in gleichförmiger Translation befindet. Es müssen also nach der Definition der gleichförmigen Translation alle Punkte von K' sich gegen K gleichförmig und mit gleicher und gleichgerichteter Geschwindigkeit bewegen. Diese Geschwindigkeit muß kleiner als die Lichtgeschwindigkeit sein, damit nach dem in Abschnitt 10 Gesagten das System K' auch aus Realpunkten bestehen kann. Dann gelten auch in K' die Axiome I bis III, da sie sich auf alle Systeme von Realpunkten beziehen. Es läßt sich aber zeigen, daß auch die Axiome IV und V in K' gelten müssen und damit wird der folgende Satz bewiesen:

In einem System K' , welches sich gleichförmig gegen ein Inertialsystem bewegt, gelten die Axiome I bis V; es ist also ebenfalls ein Inertialsystem.

Da K' auch ein Inertialsystem ist, so ist in ihm nach unseren bisherigen Definitionen der Streckengleichheit (Definition 10) und des gleichförmigen Zeitablaufes (Axiom IV und V; Definition 12) die räumliche und zeitliche Kongruenz bereits bestimmt. Die Einheitsdauer und damit auch (nach Definition 11) die Einheitslänge sind aber noch frei und wir müssen daher, bevor wir die Beziehungen der Maßbestimmungen von K und K' untersuchen, diese beiden Einheiten auch für K' definieren.

¹ Soll die Eindeutigkeit für beschränkte Raum-Zeit-Gebiete erzielt werden, dann muß zur Definition der ausgezeichneten Systeme (mechanische Inertialsysteme) schon an dieser Stelle das Axiom VII beigezogen werden. Es genügt dann aber, die gegenseitige Ruhe von bloß zwei Systempunkten durch einen starren Stab festzustellen. Alle übrigen Systempunkte sind dann rein lichtgeometrisch eindeutig definiert.

¹ A. A. MICHELSON und H. G. GALE: *Astroph. Journ.* **61**, 140 (1925).

² Der nicht ganz klare Begriff „Lichtstrahl“ kann vermieden werden, indem man zunächst den Begriff „zwischen“ einführt und die Gerade dann als Feld der Zwischen-Relation definiert. (Siehe bei REICHENBACH, *Philosophie der Raum-Zeit-Lehre* S. 197.)

Hier ergibt sich zunächst eine Schwierigkeit. In Absatz 7 des vorigen Berichtes haben wir die Einheitslänge im bewegten System durch den Transport eines starren Stabes definiert, der im Ausgangssystem die Einheitslänge repräsentiert hat. Dieser Weg ist aber in der Lichtgeometrie nicht gangbar, da starre Stäbe zur Bestimmung der Metrik hier nicht verwendet werden dürfen. Die Lösung erfolgt in der Axiomatik von REICHENBACH in überaus scharfsinniger Weise so, daß zunächst die Länge einer bewegten Strecke definiert wird, ganz ähnlich wie in Abs. 7, worauf durch Definition 16 die Einheitslänge in K' festgelegt wird.

Definition 15. Die Länge einer in dem bewegten System K' ruhenden Strecke, gemessen in K (l_K^K , nach der Bezeichnungsweise des früheren Aufsatzes), ist der Abstand in K gleichzeitiger Lagen ihrer Endpunkte, gemessen in K .

Definition 16. Die Länge der in K' ruhenden Einheit, gemessen in K , soll gleich sein der Länge der in K ruhenden Einheit, gemessen in K' ; also $l_K^{K'} = l_{K'}^{K'} \cdot 1$.

Wir können also mit einer beliebigen Einheitslänge e' die Messungen in K' beginnen und durch das gegenseitige Ausmessen der bewegten Einheiten in K bzw. K' nach Definition 15 jenen Faktor bestimmen, mit dem e' multipliziert werden muß, um die Einheitslänge in K' nach Definition 16 zu erhalten. Nun ist aber auch die Einheitsdauer durch eine einfache Umkehrung der Definition 11 bestimmbar. Dort wurde die Längeneinheit durch die Zeiteinheit und die willkürliche Konstante c (Lichtgeschwindigkeit) bestimmt. Hier setzen wir umgekehrt fest:

Definition 17. Die Zeiteinheit in K' ist so zu wählen, daß die Lichtgeschwindigkeit, bezogen auf die nach Definition 16 übertragene Längeneinheit, in K' denselben Zahlenwert c erhält wie in K .

Nun ist auch in K' die Lichtgeometrie vollständig definiert. Die Messungen werden hier nach den gleichen Regeln wie in K ausgeführt. Wir suchen jene Transformation, die die räumlichen und zeitlichen Koordinaten x, y, z und t in K mit den analogen gestrichelten Größen in K' verknüpft. Es ergeben sich dabei die wohlbekannteren Formeln der LORENTZ-Transformation, deren Ableitung in der „Axiomatik“ von REICHENBACH in sehr klarer und durchsichtiger Weise gegeben wird. REICHENBACH benutzt dabei als Zwischenglied die „Fremdgeometrie“ von K' , die dadurch definiert ist, daß jedem Punkt aus K' die Zeit jener Uhr aus K zugeordnet wird, bei der er gerade vorbeikommt. Ferner werden auch die Koordinaten von K' in K gemessen, nur daß sie auf die momentane Lage des Achsenkreuzes von K' bezogen werden. Man sieht leicht ein, daß diese Fremdgeometrie von K' (so genannt,

weil sie durch die Metrik eines „fremden“ Systemes K bestimmt ist) mit der Geometrie von K durch die Gleichungen der GALILEI-Transformation verknüpft ist. Werden die Messungen aber in K' selbst nach unseren Definitionen lichtgeometrisch vorgenommen, dann tritt natürlich auch eine Änderung der Meßresultate ein, weil hier die Gleichzeitigkeitsdefinition andere Ereignisgruppen als gleichzeitig heraushebt und über die Einheiten auch bereits verfügt worden ist.

Von den vielbesprochenen Konsequenzen der LORENTZ-Transformation soll hier nur eine diskutiert werden, weil sie oft den Anlaß zu einer mißverständlichen Auffassung des MICHELSON-Versuches gegeben hat. Die Längenmaßzahl einer in K' ruhenden Strecke, mit der Einheit von K' gemessen, sei $l_{K'}^{K'}$. Die Formeln der LORENTZ-Transformation zeigen, daß die Länge ebenderselben Strecke in K nach Definition 15 gemessen gleich ist: $l_K^K = l_{K'}^{K'} \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$, wobei v die Relativgeschwindigkeit von K' gegen K ist und angenommen wurde, daß die Strecke der Bewegungsrichtung der Systeme gegeneinander parallel ist. Die „Länge der bewegten Strecke“ ist also verkürzt gegen die „Länge der ruhenden Strecke“ („EINSTEIN-Verkürzung“). Darin liegt aber, wie schon unter 7 b des früheren Berichtes bemerkt wurde, nicht die geringste Schwierigkeit, da es sich dabei um zwei verschiedene Begriffe handelt. Die „Verkürzung“ der bewegten Strecke ist eine natürliche Folge der Verschiedenheit der Definitionen für das Ausmessen einer ruhenden und einer bewegten Strecke. Man hat diese Verkürzung oft irrigerweise mit dem Ergebnis des MICHELSON-Versuches in Zusammenhang gebracht; wir werden aber weiterhin sehen, daß die sogenannte „LORENTZ-Kontraktion“, also auch eine „Verkürzung“ („LORENTZ-Verkürzung“), sich auf einen ganz anderen Sachverhalt und ganz andere zugrunde liegende Vorstellungen bezieht.

Damit haben wir eine durch die verwendeten Definitionen und Axiome bestimmte Lichtgeometrie für alle Inertialsysteme entwickelt. Durch Zugrundelegung anderer Axiome und anderer Definitionen für die Maßbestimmungen hätten wir auch eine andere Lichtgeometrie ableiten können, etwa die Lichtgeometrie der absoluten Signalzeit, die in der Axiomatik von REICHENBACH des Näheren ausgeführt und besprochen wird. Die ausgezeichnete Rolle, die gerade die hier entwickelte Lichtgeometrie in der physikalischen Welt spielt, ist durch die Geltung der Axiome II, 5 bzw. III und der „Körperaxiome“ bedingt, also durch Erfahrungssätze über das Licht und über das Verhalten von starren Körpern und natürlichen Uhren.

B. Die Körperaxiome.

13. Die Körperaxiome beziehen sich, wie schon einleitend bemerkt wurde, auf das metrische Verhalten der starren Stäbe und der natürlichen Uhren. Diese beiden Begriffe werden folgendermaßen definiert:

¹ Die Gleichzeitigkeit ist in K' schon bestimmbar, da sie unabhängig ist von der Einheitsdauer und nur einen „gleichförmigen“ Ablauf der Uhren nach Definition 12 mit willkürlichen Einheiten benutzt.

Definition 18. Natürliche Uhr heißt ein abgeschlossenes periodisches System: ihre Einheit ist eine Periode.

Definition 19. Starrer Stab heißt ein fester Stab, der gegen alle äußeren Kräfte abgeschlossen ist.

Der in beiden Definitionen vorkommende Begriff „abgeschlossen“ wird durch Definition 20 erklärt.

Definition 20. Ein System heißt abgeschlossen, wenn keine physikalischen Kräfte von außen darauf wirken.

Der Ausdruck „physikalische Kraft“ wird hier als Gegensatz zu dem der „metrischen Kraft“ gebraucht. Metrische Kräfte sind solche, die auf alle Materialien in der gleichen Weise einwirken und gegen die es keine isolierenden Wände gibt. In den beiden im vorigen Berichte zitierten Büchern von REICHENBACH ist eine ausführliche Erörterung dieser Begriffe gegeben und auch dargelegt, welche Rolle sie für eine eindeutige Festlegung der Weltgeometrie spielen. Hier kann darauf nicht näher eingegangen werden.

Definition 21. Die Länge eines starren Stabes, oder der Periode einer natürlichen Uhr, ist diejenige Länge, die nach (praktischer oder rechnerischer) Elimination aller physikalischen Kräfte entsteht, jedoch ohne Berücksichtigung metrischer Kräfte.

Das nun folgende sechste Axiom gibt jene beiden allgemeinen Erfahrungssätze wieder, von denen schon im vorigen Aufsatz die Rede war und die eine eindeutige Definition der Messungen mit starren Stäben und natürlichen Uhren erlauben. Sie beziehen sich auf Relationen zwischen den materiellen Gebilden allein.

Axiom VI, 1. Zwei starre Stäbe, die an einer Raumstelle benachbart ruhen und gleich lang sind, sind an jeder Raumstelle zu jeder Zeit, in gleicher Weise gemessen, ebenfalls gleich lang, wenn sie auf beliebigen Wegen abgeschlossen dorthin transportiert werden.

Axiom VI, 2. Zwei natürliche Uhren, die an einer Raumstelle benachbart ruhen und deren Einheiten im Nahvergleich gleich lang sind, haben an jeder Raumstelle zu jeder Zeit, in gleicher Weise gemessen, ebenfalls gleiche Einheit, wenn sie auf beliebigen Wegen abgeschlossen dorthin transportiert werden.

Die folgenden Axiome, von denen VIII für uns von besonderem Interesse ist, behaupten gewisse Beziehungen starrer Körper und natürlicher Uhren, die in Inertialsystemen nach Definition 12 ruhen, zu der durch unsere früheren Definitionen geschaffenen speziellen Lichtgeometrie dieser Systeme. Gerade in diesen Beziehungen liegt die ausgezeichnete Rolle dieser speziellen Lichtgeometrie begründet; denn nach unseren Axiomen VII bis X (wobei die Geltung von VI bereits vorausgesetzt ist) stellen sich die starren Stäbe und natürlichen Uhren auf diese relativistische Lichtgeometrie ein. Das heißt, daß die Meßresultate, die mit starren Körpern und natürlichen Uhren gewonnen werden, auch den gleichen Trans-

formationsgesetzen unterliegen, wie die Maßbestimmungen der Lichtgeometrie, also den Gesetzen der LORENTZ-Transformation.

Axiom VII. Zueinander ruhende Punkte nach Definition 12 lassen sich durch starre Stäbe verbinden.

Axiom VIII. Zwei Strecken AB und AC , die, in starren Stäben gemessen, gleich sind, sind auch lichtgeometrisch, nach Definition 10 gemessen, gleich.

Axiom IX. Die durch starre Stäbe in ein gleichförmig bewegtes System transportierte Einheit ist gleich der nach Definition 16 übertragenen.

Axiom X. Die Zeiteinheit der natürlichen Uhren ist stets derart, daß die mit ihnen in A gemessene Zeit ABA eines Lichtsignales überall gleich ist, wenn AB , in starren Stäben gemessen, gleich ist.

Wir kommen nun wieder zum Vergleich mit der Erfahrung. Axiom VII ist eine Annahme, die auch in der alten Optik gemacht wird und die die Gleichförmigkeit der Lichtbewegung in Inertialsystemen behauptet.

Axiom VIII ist der Ausdruck für das Ergebnis des MICHELSON-Versuches; denn dieser Versuch vergleicht ja die Länge von zwei (aufeinander senkrechten) Lichtwegen mit den entsprechenden Längen auf der starren Grundplatte, auf die die Spiegel montiert sind. Im ersten Bericht [„Die Geschichte des MICHELSON-Versuches und seine Bedeutung für die moderne Physik“, 44, 168 (1931)] ist S. 173 eine Skizze der Versuchsanordnung gegeben worden. Wir nehmen an, die Strecken GS_1 und GS_2 seien einander gleich, gemessen mit starren Maßstäben. Dann sind nach VIII auch die Lichtwege GS_1 und GS_2 , lichtgeometrisch nach Definition 10 gemessen, einander gleich und es kann infolgedessen bei Änderung der Lage des Apparates keine Streifenverschiebung eintreten. Es ist also dieses Axiom durch den negativen Ausfall des MICHELSON-Versuches gestützt.

Die beiden letzten Axiome IX und X sind bisher noch nicht direkt experimentell bestätigt, sondern nur durch plausible Verallgemeinerungen erschlossen. Sie sind aber einer Prüfung durch die Erfahrung prinzipiell zugänglich und möglicherweise wird es der künftigen experimentellen Forschung gelingen, wenn vielleicht auch nicht in direkter Weise, den Beweis ihrer Gültigkeit zu erbringen.

14. Beantwortung der Hauptfrage und Schluß.

Wir können nun leicht die Stellung des MICHELSON-Versuches in der Relativitätstheorie kennzeichnen. Das Ergebnis dieses Versuches wird durch Axiom VIII formuliert, welches mit zu den grundlegenden Erfahrungstatsachen gehört, auf denen die relativistische Raum-Zeit-Lehre aufgebaut ist. Die Ansicht, daß das negative Ergebnis des MICHELSON-Versuches durch die Relativitätstheorie erklärt werde, ist demnach falsch. Es ist vielmehr die durch diesen Versuch erschlossene Tatsache als Axiom, also als Erfahrungssatz, von der Relativitätstheorie in ihre Grundlagen aufgenommen worden.

Hat das Ergebnis des MICHELSON-Versuches etwas mit der oben erwähnten EINSTEIN-Verkürzung zu tun? Auch diese Frage läßt sich leicht beantworten. Wir haben gesehen, daß sich die EINSTEIN-Verkürzung ergibt, wenn eine bewegte Strecke vom „ruhenden“ System aus nach Definition 15 gemessen wird. Da in der Definition 15 das Ausmessen der gleichzeitigen Lagen der Streckenendpunkte gefordert wird, geht die Gleichzeitigkeitsdefinition mit in das Resultat der Längenmessung und damit in die Verkürzung ein. Beim MICHELSON-Versuch ist aber weder von Gleichzeitigkeit die Rede, noch von einer Beobachtung der Apparate von einem System aus, gegen das der Apparat bewegt ist. Der Beobachter befindet sich dauernd in demselben Inertialsystem wie der Apparat und stellt fest, daß bei Drehung des Apparates keinerlei Streifenverschiebung stattfindet. Ein Synchronismus nach irgendeiner Definition wird dabei gar nicht benötigt. Wir müssen daher unsere obige Frage verneinen.

Woher kommt aber die irrtümliche Ansicht, daß das negative Ergebnis des MICHELSON-Versuches durch die EINSTEIN-Verkürzung der Relativitätstheorie „erklärt“ werde? LORENTZ hat bekanntlich in seiner berühmten Kontraktionshypothese zur Erklärung des MICHELSON-Versuches angenommen, daß alle Körper, die gegen das Äthersystem bewegt sind, in ihrer Bewegungsrichtung eine Verkürzung im Verhältnis $1:\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$ gegen ihre Ruhlänge in diesem System erleiden. Diesem Ausdruck „Verkürzung“ liegt die Vorstellung zugrunde, daß sich die Körper eigentlich anders verhalten müßten, nämlich nach der klassischen Lichtgeometrie. In dieser spielt das Äthersystem eine ausgezeichnete Rolle und die Metrik in allen anderen Inertialsystemen ist mit unserer Fremdgeometrie bei bewegten Systemen identisch. Die Theorie von LORENTZ vergleicht also das Verhalten der wirklichen starren Stäbe mit einem gedachten, nämlich mit dem Verhalten nach der klassischen Theorie, und in diesem Sinne kann man von einer „Verkürzung“ sprechen. EINSTEIN hingegen erkennt, daß mit der Festsetzung der Ruhlänge in einem System K die Ruhlänge in einem bewegten System K' noch nicht mitdefiniert ist, wie man früher glaubte; daher kann man diesen Begriff in K' lichtgeometrisch so festsetzen, daß die definierten Längen dem Verhalten der starren Körper entsprechen. Weder

die EINSTEINSche noch die LORENTZsche Theorie geben für dieses Verhalten eine Erklärung. Der Vorzug der EINSTEINSchen Theorie aber liegt darin, daß in ihr die Freiheit der Längendefinition für K' erkannt wird, während LORENTZ, vom alten Ätherbilde ausgehend, ein bestimmtes Verhalten der Körper für bevorzugt hält. Bei der EINSTEIN-Verkürzung werden zwei verschiedene Begriffe verglichen, nämlich die Länge einer bewegten Strecke mit der Länge einer ruhenden Strecke. Die LORENTZ-Verkürzung hingegen bezieht sich auf einen Vergleich der wirklichen Körper mit gedachten, die die klassische Theorie befolgen.

Wir kommen zur Beantwortung unserer Hauptfrage, die wir nun so formulieren können: Fällt mit Axiom VIII die ganze Relativitätstheorie? Die Beantwortung dieser Frage hängt davon ab, was man unter Relativitätstheorie verstehen will. Versteht man darunter die gesamte spezielle Theorie in ihrer heutigen Form, wobei an keinem Satze gerüttelt werden darf, dann ist unsere Frage zu bejahen. Meint man aber mit „Relativitätstheorie“ das gedankliche System, das hinter diesen neuen physikalischen und philosophischen Erkenntnissen steht, dann ist sie unbedingt zu verneinen. Wie schon im vorigen Aufsätze gezeigt wurde, besteht die philosophische Leistung dieser Theorie darin, daß sie die Notwendigkeit einiger metrischer Zuordnungsdefinitionen nachgewiesen hat, die früher übersehen worden ist. Diese erkenntnistheoretische Einsicht ist gewissermaßen ihr unsterblicher Teil, der durch neue physikalische Erfahrungen nicht berührt wird. Aber auch auf rein physikalischem Gebiet hat unsere Theorie außer Axiom VIII Sätze geliefert, in welchen sie sich von der klassischen Theorie unterscheidet. Ein solcher ist das die Sonderstellung des Lichtes behauptende Axiom III, welches, wie wir sahen durch die Erfahrung gut fundiert ist. Immerhin müßte im Falle eines positiven Ergebnisses beim MICHELSON-Versuch ein großer Teil der Theorie geändert werden.

In einem weiteren Bericht wird eine Übersicht über die bisherigen Ausführungen des Versuches gegeben werden. Es wird sich dabei zeigen, daß die neuesten, mit der größten Sorgfalt und den modernsten Hilfsmitteln ausgeführten Experimente die alten Resultate von MICHELSON und MORLEY bestätigen, so daß Axiom VIII und damit auch alle seine Konsequenzen aufrecht erhalten werden können.

Neu erschienene Bücher und Schriften.

Einführung in die mathematische Behandlung der Naturwissenschaften. Kurzgefaßtes Lehrbuch der Differential- und Integralrechnung mit besonderer Berücksichtigung der Chemie. Von W. NERNST und A. SCHOENFLIES †. Elfte, von W. NERNST und W. ORTHMANN neubearbeitete Auflage. Mit 108 Figuren. München und Berlin

1931, Verlag von R. Oldenbourg. XIV und 478 Seiten. Geh. RM 18,—, geb. RM 20,—.

Die 10. Auflage des erfolgreichen Werkes ist in dieser Zeitschrift 36, 134; 1923 besprochen. Die jetzt vorliegende 11. Auflage hat nach dem im Mai 1928 erfolgten Tode von A. SCHOENFLIES der erste der beiden Verfasser zusammen mit

W. ORTHMANN neu bearbeitet. Die vorgenommenen Änderungen beschränken sich auf geringfügige Kürzungen und Zusätze. Das Buch hat den großen Vorzug, den Studierenden der Naturwissenschaften einen klaren Begriff davon zu geben, daß die in den Anfangsvorlesungen dargebotenen Hilfsmittel der Mathematik auch Anwendungen zulassen, und es bietet lebensvolle Beispiele dafür, wie der rechnende Naturwissenschaftler diese Hilfsmittel benutzt. In den 36 Jahren seines Bestehens hat das Werk so manchen Jünger der Naturwissenschaften in die mathematische Formulierung wichtiger Grundbegriffe seines Faches eingeführt, und diese Aufgabe wird es auch in Zukunft noch lange erfüllen können. *Mth.*

Methoden der mathematischen Physik. Von R. COURANT und D. HILBERT. I. Band. Zweite verbesserte Auflage. Mit 26 Abbildungen. Berlin 1931. Verlag von Julius Springer. XIV und 469 Seiten. Geh. RM 29,20; geb. RM 30,80. (Bd. XII der Sammlung: Die Grundlagen der mathematischen Wissenschaften in Einzeldarstellungen mit besonderer Berücksichtigung der Anwendungsgebiete, herausgegeben von R. COURANT.)

Das Buch ist 1924 neu erschienen und in dieser Zeitschrift 38, 50; 1925 besprochen. Die 7 Kapitel der ersten Auflage kehren unter gleichen Überschriften in der zweiten Auflage wieder, weisen aber in den behandelten Einzelheiten zahlreiche Änderungen auf, die vor allem durch die Berücksichtigung der neueren Forschungen bedingt waren. Das ausgezeichnete Werk hat für die so wünschenswerte wissenschaftliche Annäherung zwischen Mathematikern und Physikern schon sehr Bedeutendes geleistet, und hoffentlich werden es auch weiterhin die Vertreter beider Fächer eifrig benutzen, um einander immer gründlicher zu verstehen. *Mth.*

Punkt- und Vektorrechnung. Von ALFRED LOTZE. Göschens Lehrbücherei, I. Gruppe (Reine und angewandte Mathematik), Band 13. Berlin und Leipzig 1929. Walter de Gruyter & Co. 192 Seiten, 7 Abbildungen. Preis geh. RM 12.—; geb. RM 13.—.

Das Buch gibt eine Einführung in die Punktrechnung einschließlich der Vektorrechnung, welche dabei als Teilgebiet der umfassenden Punktrechnung erscheint. Die Punkt- und Vektorrechnung soll den alten LEBNIZschen Gedanken verwirklichen, den Gegensatz zwischen der synthetischen Geometrie der Alten und der analytischen Koordinatengeometrie dadurch zu überbrücken und zugleich die Vorteile beider zu vereinigen, daß man die geometrischen Grundelemente selbst als Größen neuer Art der Rechnung unterwirft. Indem die Punktrechnung mit den Raumgebilden selbst operiert, auch dann, wenn sie Koordinaten benutzt, bleibt ihr die Ursprünglichkeit und Anschaulichkeit der reinen Geometrie erhalten, ohne daß man auf die Hilfsmittel der Analysis zu verzichten braucht. Der Dimensionsbegriff und das Prinzip der Dualität kommen zu

vollem Recht. Das Grundelement ist der Punkt. Sind a und b zwei Punkte mit den (reellen) Zahlenwerten α und β , so versteht man unter der Summe $\alpha + \beta$ denjenigen Punkt mit dem Zahlenwert $\alpha + \beta$, der die Verbindungsstrecke von a nach b im Verhältnis $\beta : \alpha$ teilt (innerlich oder äußerlich, je nachdem ob α und β gleiches oder ungleiches Vorzeichen haben). Diese Definition schließt sich eng an die des Massenmittelpunktes an. Es ist aber darauf hinzuweisen, daß sich die Summe von Punkten auch ohne metrische Begriffe definieren läßt. Die Differenz zweier Punkte von gleichem Zahlenwert führt auf einen unendlich fernen Punkt, der durch den die beiden Punkte verbindenden Pfeil (oder freien Vektor) dargestellt wird. Das äußere Produkt zweier Punkte stellt die „Verbindungsgerade als Ganzes“ dar; sie ist eine Größe zweiter Stufe und heißt „Stab“. Das Produkt zweier Pfeile führt auf den „Bivektor“ oder „Schild“. Das Grundgebilde dritter Stufe ist das „Blatt“ (als äußeres Produkt von drei Punkten die durch die Punkte bestimmte Ebene als geometrische Größe); das äußere Produkt von 3 Pfeilen ist ein „Spat“. Das Produkt von 4 Punkten ist der „Block“, d. h. der sie umfassende Raum als Größe.

Das Buch behandelt in 4 Kapiteln das Rechnen mit extensiven Größen, insbesondere mit Punkten und Vektoren; Funktionen; Anwendungen auf die projektive Geometrie; Anwendungen auf Differentialgeometrie und Mechanik. Das klare, wenn auch nicht immer ganz leicht lesbare Buch gibt eine, auch für den Anfänger bestimmte Einführung in das interessante Gebiet, das sicherlich manchen Lesern dieser Zeitschrift noch unbekannt sein wird. *Lamla.*

Einführung in die theoretische Physik. Mit besonderer Berücksichtigung ihrer modernen Probleme. Von ARTHUR HAAS. I. Band. 5. und 6., abermals völlig umgearbeitete und wesentlich vermehrte Auflage. Berlin und Leipzig 1930. Walter de Gruyter & Co. X, 396 Seiten, 67 Abbildungen. Preis geh. RM 15.—; geb. RM 16.50.

Die Tatsache, daß 11 Jahre nach dem Erscheinen der ersten Auflage (1919) bereits die 5. und 6. Auflage erscheinen kann, zeigt, daß das Buch einem tatsächlichen Bedürfnis entspricht. Es gibt in der Tat das, was in der Vorrede zur 1. Auflage angekündigt wurde, nämlich eine „nicht zu umfangreiche Darstellung, die von durchaus modernen Gesichtspunkten aus und unter Benutzung moderner Methoden einen Überblick über den gegenwärtigen Stand der gesamten theoretischen Physik gewährt und, ohne zu sehr in Einzelheiten einzugehen, doch ein exaktes Verständnis der Grundlagen und der Hauptprobleme dieser Wissenschaft ermöglicht“.

Der vorliegende erste Band behandelt solche physikalischen Erkenntnisse, die unabhängig von allen atomistischen Hypothesen gewonnen werden können, während die eigentliche Atomistik dem (demnächst erscheinenden) zweiten Band zugewiesen wird. (Diese Teilung ist zum erstenmal bei der 3. Auflage vorgenommen worden.) Solche

Gedankengänge, die wesentlich einen rein mathematischen Charakter haben, sind in besonderen Abschnitten zusammengefaßt (Vektoren- und Tensorenrechnung, Potentialtheorie, allgemeine Theorie der Schwingungen und Wellen u. a.). Behandelt werden die Mechanik (nebst allgemeiner Theorie der Vektorfelder, der Schwingungen und der Potentiale), Theorie des elektromagnetischen Feldes und des Lichtes, die allgemeinen Prinzipie der Thermodynamik und ihre Anwendung. Überall ist diejenige Darstellungsart gewählt, die — ohne Rücksicht auf den geschichtlichen Werdegang — bei dem heutigen Stande der Physik und im Zusammenhang mit ihren modernen Problemen die einfachste und didaktisch zweckmäßigste zu sein schien.

Charakteristisch für das Buch ist die klare, durchsichtige und leicht verständliche Art der Darstellung und die zweckmäßige und geschickte Auswahl des Stoffes. Recht angenehm ist die am Schlusse des Buches auf 23 Seiten gegebene Zusammenfassung des Inhalts des 1. Bandes.

Wer für eine kürzere, leicht verständliche und meisterhaft klare Einführung in die theoretische Physik Interesse hat, dem sei das Buch bestens empfohlen.

Lamla.

Theoretische Physik. Von GUSTAV JÄGER. 5 Bände. I. Mechanik. 6. Auflage, 150 Seiten, 25 Abbildungen. — II. Schall und Wärme. 6. Auflage, 133 Seiten, 7 Abbildungen. — III. Elektrizität und Magnetismus. 6. Auflage, 151 S., 35 Abbildungen. — IV. Optik. 6. Auflage, 148 S., 44 Abbildungen. — V. Wärmestrahlung, Elektronik und Atomphysik. 4. Auflage, 130 Seiten, 16 Abbildungen. Sammlung Götschen, Bd. 76, 77, 78, 374, 1017. Berlin und Leipzig 1930. Walter de Gruyter & Co. Jeder Band geb. RM 1.80.

JÄGERS theoretische Physik hat schon in seiner alten Form vielen Studenten als Grundlage für Repetitionen gedient. Bestand das Werkchen bei seinem ersten Erscheinen (1898) aus 3 Bändchen (Mechanik und Akustik; Licht und Wärme; Elektrizität und Magnetismus), so ist jetzt die Bändchenzahl auf 5 gestiegen, entsprechend der Entwicklung der physikalischen Wissenschaft. Das erste Bändchen behandelt die Mechanik (eingeschl. Elastizitätstheorie, Hydromechanik und spezielle Relativitätstheorie), das zweite die Akustik und die Wärmelehre, das dritte Elektrizität und Magnetismus, das vierte die Optik (einschließlich Röntgenstrahlen), das fünfte endlich Wärmestrahlung, Elektronik und Atomphysik. Jedem Bändchen ist ein Verzeichnis umfangreicherer, einschlägiger Lehrbücher beigegeben. Es ist erstaunlich, welch umfangreicher Stoff auf dem engen Raum dargeboten wird, und wie klar und anschaulich die Darstellung ist. Dabei wird sowohl die klassische als auch die moderne Physik (Wellenpaket und Lichtquanten, Comptoneffekt u. a.) berücksichtigt. Das Werkchen wird jedem zur ersten Orientierung über die Fragen der theoretischen Physik, vor allem aber auch nach wie vor dem Studenten bei der Wiederholung (nicht zum eigentlichen Studium) gute Dienste leisten.

Darüber hinaus wird aber auch, glaube ich, der Lehrer an höheren Schulen gern zu den Bändchen greifen, um sich in kurzer und klarer Form über diese oder jene Frage zu unterrichten.

Lamla.

Allgemeine Grundlagen der Quantenstatistik und Quantentheorie. Von ADOLF SMEKAL. Sonderausgabe aus der Enzyklopädie der mathematischen Wissenschaften. Leipzig und Berlin. B. G. Teubner. VI, 367 Seiten. Preis geh. RM 16.—.

Die vorliegende Schrift ist ein Sonderabdruck aus dem dritten Teil des 5. Bandes der Enzyklopädie der mathematischen Wissenschaften, dessen Abschluß sie bildet. Sie behandelt in 3 Hauptabschnitten die Entwicklung der klassischen statistischen Mechanik zur Quantenstatistik, die allgemeinen Grundlagen der Quantentheorie und spezielle Anwendungen der Quantenstatistik. In Anbetracht des ungeheuer schnellen Fortschreitens gerade der Quantentheorie in den letzten Jahren ist es notwendig, darauf hinzuweisen, daß das vorliegende Buch im Juni 1925 abgeschlossen worden ist. Es fehlt daher naturgemäß alles das, was mit der neueren Quantenmechanik zusammenhängt. Das mindert zwar die Aktualität des Buches, setzt aber seinen eigentlichen Wert nicht herab. Das Werk enthält eine ausgezeichnete Darstellung des damaligen Zustandes der Quantentheorie; besonders wertvoll und willkommen sind die sorgfältigen und zahlreichen Literaturangaben (etwa 800 Fußnoten).

Lamla.

Thermodynamik. Von MAX PLANCK. 9. Aufl. Berlin und Leipzig 1930. Walter de Gruyter & Co. XI, 288 Seiten, 5 Abbildungen. Preis geb. RM 11.50.

Die vorliegende 9. Auflage enthält gegenüber der 1927 erschienenen 8. Auflage nur geringfügige Ergänzungen und Verbesserungen. Sehr erfreulich ist die Hinzufügung eines — freilich etwas knappen — alphabetischen Sachregisters, das ein schnelles Nachschlagen sehr erleichtert. Zu erwähnen ist, daß Verfasser in der 8. Auflage, für die der ganze Inhalt des Buches neu überarbeitet worden ist, dem Beweis des zweiten Hauptsatzes insofern eine andere Fassung gegeben hat, als er ihn nicht mehr wie früher zunächst für ideale Gase, sondern von vornherein für beliebige Körper geführt hat. Auch die Darstellung der Thermodynamik stark dissoziierter Elektrolyte ist damals wesentlich erweitert worden.

Über Wert und Inhalt des PLANCKSchen Buches irgend etwas zu sagen, hieße Eulen nach Athen tragen. Es wird unter den jetzt lebenden deutschen Physikern kaum einen geben, der nicht die PLANCKSche Thermodynamik studiert und aus ihr reichsten Gewinn gezogen hätte. Die vollendete Art der Darstellung, die unübertreffliche Klarheit und Eindringlichkeit auch bei den schwierigsten Problemen werden auch der neuen Auflage einen ebenso großen Kreis von Lesern und Schülern sichern wie den früheren.

Lamla.

Thermodynamik und die freie Energie chemischer Substanzen. Von GILBERT NEWTON LEWIS und MERLE RANDALL. Übersetzt und mit Zusätzen und Anmerkungen versehen von OTTO REDLICH. Wien 1927, Julius Springer. XX, 598 Seiten, 64 Abbildungen. Preis geh. RM 45.—; geb. RM 46.80.

Das Buch wird den „Chemikern der neuen Generation zugeeignet, die nicht alle Schlußfolgerungen aus Annahme oder Vermutung zurückweisen wollen, die aber auch keine Lust haben, dort zu spekulieren, wo es ein sicheres Wissen gibt“. Es ist ein Buch von stark ausgeprägter Eigenart. Es ist kein Lehrbuch eines Kapitels der theoretischen Physik. Wie schon die Widmung zeigt, wendet es sich vor allem an die Praktiker. „Wir haben darum den Versuch unternommen, bei unserer Führung durch das klassische Gebäude der Thermodynamik, durch die Werkstätten, in denen der Bau noch im Fortschreiten begriffen ist, die herkömmliche wissenschaftliche Strenge so weit zu mildern, als es die Forderung nach gedanklicher Klarheit zuläßt.“ Das Buch ist als Einführung in die Tätigkeit des Forschers und als Führer für den Ingenieur gedacht, der die Thermodynamik in produktiver Arbeit anwenden will. Es ist dabei nicht etwa mathematisch unstreng; Verfasser legt aber Gewicht darauf, alles in Worten schon so klar und einleuchtend auseinanderzusetzen, daß keine Schwierigkeiten bleiben. „Die Mathematik“, so heißt es im Text (S. 22), „liefert uns eine wunderbare Stenographie zur präzisen Wiedergabe von Ideen, die auf eine endgültige klassische Form gebracht sind. Dafür geht der mathematischen Ausdrucksweise der Humor ab, d. h., sie ist kein geeignetes Mittel zur Darstellung jener feinen Nuancen eines Gedankens, welche zur Auseinandersetzung von Ideen oft nötig sind, die sich noch auf dem Wege zur endgültigen Formulierung befinden.“

Der Stoff des Buches läßt sich in 3 Abschnitte gliedern, von denen der erste die Grundlagen der Thermodynamik behandelt (allgemeine Begriffe und Definitionen; die beiden Hauptsätze mit zahlreichen Anwendungen); der zweite befaßt sich mit den besonderen Methoden, nach denen die Grundprinzipien auf chemische Probleme angewandt werden (Begriff der Aktivität; Thermodynamik der Elektrolytlösungen, wobei der Übersetzer ein besonderes Kapitel über die neuere Theorie der Elektrolyte zugefügt hat; Theorie der galvanischen Elemente; dritter Hauptsatz; Berechnung von Entropiewerten; auch hier findet sich von seiten des Übersetzers ein Zusatzkapitel über neuere Untersuchungen über Entropie bei tiefen Temperaturen); der dritte Teil endlich ist einer systematischen Betrachtung der Daten der thermodynamischen Chemie gewidmet (Berechnung und experimentelle Bestimmung der thermodynamischen Größen von Elementen und Verbindungen bei chemisch-technischen Prozessen u. a.). Eine umfangreiche Tabelle der freien Energien schließt sich an.

Der Übersetzer hebt hervor, daß es an einem

zweckmäßig ausgearbeiteten, für praktische Anwendungen geeigneten System der Thermodynamik bisher gefehlt habe. Ein wesentlicher methodischer Fortschritt des Buches beruht auf der systematischen und folgerichtigen Einführung geschickt gewählter Bezugszustände (Nullniveaus), die den bequemen Übergang von Funktionen wie Energieinhalt und thermodynamischem Potential zu unmittelbar meßbaren Größen vermitteln; auf diese Weise wird auch die praktische Anwendung des Entropiebegriffes bequem möglich. An keiner Stelle des Buches kommt man jemals auf den Gedanken, daß nicht alle Sätze der Thermodynamik reicher praktischer Anwendung fähig seien; überall stößt man vielmehr auf Zahlenbeispiele und auf experimentell ermittelte Daten. Hierin besteht meines Erachtens ein besonderer Reiz des Buches, der es einen beim Studium schnell lieb gewinnen läßt. Überall zeigen kleine Einzelbeispiele den hohen Wert der Wissenschaft für den technischen Chemiker.

Das Ganze ist nicht nur klar und gut verständlich geschrieben; es leuchtet überall die Liebe zur Sache und vor allem auch die Liebe und die Fähigkeit zum Unterrichten hervor. Es ist meine Überzeugung, daß hier ein neues sehr wertvolles Lehrbuch vorliegt, aus dem angehende Physiker, Chemiker und Ingenieure in gleicher Weise reichsten Gewinn ziehen können, und das ihnen allen wärmstens empfohlen werden kann. Dem Übersetzer muß man für seine mühevollen und erfolgreiche Arbeit, für die von ihm zugefügten Kapitel, die sich gut in das Ganze einordnen, und für die in den Fußnoten niedergelegten Zusätze Dank wissen. *Lamla.*

Leitfaden der technischen Wärmemechanik. Kurzes Lehrbuch der Mechanik der Gase und Dämpfe und der mechanischen Wärmelehre. Von W. SCHÜLE. Fünfte, vermehrte und verbesserte Auflage. Berlin 1928. Julius Springer. VIII, 323 Seiten, 132 Abbildungen und 6 Tafeln. Preis geh. RM 7.50; geb. RM 9.—.

Der vorliegende Leitfaden lehnt sich an das größere, zweibändige Lehrbuch des Verfassers an, unterscheidet sich von diesem aber durch Beschränkung auf die notwendigsten Grundlagen und Anwendungen der Wärmemechanik. Es ist in erster Linie zum Selbstunterricht bestimmt, und zwar für solche Leser, die der Wärmemechanik zum erstenmal mit der Absicht nähertreten, für die technische Praxis verwertbare Kenntnis zu erwerben. Es wendet sich also in erster Linie an Praktiker, die auf weitgehende theoretische Vertiefung geringeren Wert legen. Daß für ein solches Buch ein starkes Bedürfnis besteht, beweist die Tatsache, daß es innerhalb 10^{1/2} Jahren bereits die 5. Auflage erlebt. Die neue Auflage ist um einen Abschnitt über Dampfbetrieb und Dampfwirtschaft vermehrt worden. Behandelt werden in 6 Hauptabschnitten die Gase, die Dämpfe, strömende Bewegung der Gase und Dämpfe, mechanische Wirkung strömender Gase und Dämpfe, Dampfbetrieb und Dampfwirtschaft, die nicht umkehrbaren Vorgänge. Ein reich ausge-

statteter Anhang bringt Tabellen und Tafeln (insbesondere Wärmeinhalt-Entropie-Diagramme).

Für den Physiker und den Lehrer an höheren Schulen ist das Buch vor allem durch seine Tafeln und Tabellen wertvoll, aber auch dadurch, daß es durch seine von der gewohnten abweichende Darstellungsart einen guten Einblick in die Welt des praktischen Wärmetechnikers gewährt.

Lamla.

Lehrbuch der Elektrodynamik. Von J. FRENKEL. Erster Band: Allgemeine Mechanik der Elektrizität. Berlin. Julius Springer. X, 365 Seiten, 39 Abbildungen. Preis geh. RM 28.50; geb. RM 29.70. Zweiter Band: Makroskopische Elektrodynamik der materiellen Körper. Berlin. Julius Springer. XII, 505 Seiten, 50 Abbildungen. Preis geh. RM 45.—; geb. RM 46.20.

Das vorliegende Werk unterscheidet sich von ähnlichen durch die Eigentümlichkeit und Neuartigkeit der gesamten Anlage. Verfasser legt größtes Gewicht auf klaren logischen Aufbau des Systemes; er verzichtet daher auch ganz bewußt auf historische Betrachtungen. Die Einteilung des Stoffes ist nach dem Beispiel der theoretischen Mechanik durchgeführt. So wie dort zuerst die Gesetze der Wechselwirkung und der Bewegung von materiellen Punkten behandelt und später auf bestimmte spezielle Systeme (starre Körper, elastische Körper, Flüssigkeiten, Gase) angewandt werden, so werden hier zunächst die allgemeinen Gesetze der Wechselwirkung und der Bewegung von elektrisch geladenen materiellen Teilchen betrachtet, wobei alle Wechselwirkung auf ihre Ladung zurückgeführt wird. Daher der Titel des ersten Bandes „Allgemeine Mechanik der Elektrizität“. In Analogie zur Mechanik kann man hier die Körper in „elektrisch flüssige“ mit frei bewegten Ladungen (Leiter) und elektrisch oder magnetisch „elastische“ mit gebundenen Ladungen einteilen. Ganz bewußt wird die Äthertheorie in jeder Form vollkommen unerwähnt gelassen. „Es ist jetzt an der Zeit einzusehen, daß der Äther seine historische Rolle ausgespielt hat, und daß er nur in der Geschichte der Physik das Recht auf einen Ehrenplatz hat.“

Nach einem einleitenden mathematischen Abschnitt über Vektoren und Tensoren beginnt Verfasser mit den von der Zeit unabhängigen elektromagnetischen Erscheinungen; er stellt dabei die einfachsten neutralen Systeme, die elektrischen Dipole, an den Anfang. Besonderes Gewicht legt Verfasser darauf, solche Begriffe, die sich später als fiktive herausstellen, von vornherein als solche zu kennzeichnen. Durch Kombination des Energiegesetzes mit dem Äquivalenzprinzip für die Wechselwirkung zwischen elektrischen Dipolen und Strömen ergeben sich die Gleichungen für das zeitlich konstante elektromagnetische Feld. Im zweiten Abschnitt des ersten Bandes werden die Gesetze auf beliebige, von der Zeit abhängige Erscheinungen ausgedehnt; zugrunde gelegt werden das Prinzip der Relativität der Geschwindigkeiten und das Prinzip der Erhaltung der Elektrizität. So

werden die MAXWELL-LORENTZschen Gleichungen gewonnen und auf verschiedene Fälle angewandt; die Theorie des räumlich ausgedehnten Elektrons schließt sich an. Der dritte Abschnitt behandelt die Relativitätstheorie sowie ihre Anwendung auf die elektromagnetischen Erscheinungen und die Bewegungen des Elektrons. An einigen wenigen Stellen hätte man gewünscht, daß Verfasser — dem Charakter des Buches entsprechend — gewisse Annahmen nicht als „offenbar“ einleuchtend, sondern eben als Annahmen (wenn auch sehr nahe liegende) charakterisiert hätte (S. 39, 43, 51); aber diese Kleinigkeiten mindern den Wert des Buches keineswegs. Die Darstellung ist unbedingt sehr interessant und bietet auch dem Neuen, der den dargestellten Stoff selbst kennt. Der Stil ist klar, wenn auch nicht immer ganz leicht lesbar.

Auch der zweite Band zeichnet sich wie der erste durch Originalität in Anordnung und Darstellung aus. Eine erstaunlich große Stoffmenge ist auf einen engen Raum zusammengedrängt worden, ohne jedoch Übersichtlichkeit und Klarheit zu unterdrücken. Der Band zerfällt in zwei Hauptabschnitte, deren erster die allgemeinen Grundlagen der makroskopischen Theorie behandelt. Das Charakteristische ist hier, daß die Gleichungen für die Felder der materiellen Körper deduktiv aus den elektronentheoretischen Gleichungen durch Mittelwertbildung abgeleitet werden, und zwar in sehr exakter und interessanter Weise. Eine Anwendung der Gleichungen auf die Theorie der elektromagnetischen Eigenschaften der materiellen Körper schließt sich an. Der zweite Abschnitt ist den allgemeinen Problemen der makroskopischen Theorie gewidmet. Hier schlägt Verfasser bei der Behandlung der Grundprobleme insofern einen neuen Weg ein, als er zuerst die allgemeine und exakte Theorie der Schwingungsvorgänge, sodann die angenäherte Theorie der langsamen Schwingungen (quasi-stationäre Vorgänge) und zum Schluß erst die rein statischen Erscheinungen behandelt. Auf diese Weise erscheinen die einfachen Vorgänge von vornherein als Spezialfall der allgemeinen. Auf die reichen Einzelheiten des Bandes einzugehen, ist hier nicht möglich; der Leser muß auf das Werk selbst verwiesen werden. Ein Anhang bringt eine Reihe mathematischer Ergänzungen.

Das inhaltreiche Werk ist durch die mehrfach hervorgehobene Eigenart in Darstellung und Anordnung sehr bemerkenswert und anziehend. Es wird zweifellos neben dem bekannten Werk von ABRAHAM einen hervorragenden Platz einnehmen.

Lamla.

Elementare Einführung in die Wellenmechanik. Von KARL K. DARROW. Aus dem Englischen übersetzt und ergänzt durch Dr. E. RABINOWITSCH. Mit einem Vorwort von E. SCHRÖDINGER. Leipzig 1929. S. Hirzel. VII, 102 Seiten, 3 Abbildungen. Preis kart. RM 5.—.

Das Büchlein wird am besten durch den ersten Satz der SCHRÖDINGERSchen Vorrede charakteri-

sirt: „Es ist mir eine große Freude, daß Herr DARROWS Einführung in die Wellenmechanik, an der ich schon beim ersten Erscheinen den klaren, leicht verständlichen Aufbau und die einfache, folgerichtige Linienführung bewundert habe, in Herrn RABINOWITSCH einen berufenen Übersetzer gefunden hat, der es sich große Mühe hat kosten lassen, nichts von dem Charme der „Ungelehrtheit“ zu verwischen, den man in den englischen Darstellungen so oft mit voller wissenschaftlicher Strenge und Tiefe vereint findet.“ Das Werk ist kein Lehrbuch der Wellenmechanik, sondern eine allererste Einführung. Es will eine Reihe wesentlicher Begriffe durch elementare Behandlung der einfachen Schwingungssysteme der Mechanik klären und ihre Übertragung in die Atomlehre verständlich machen. Meisterhaft geführt, gewinnt der Leser ohne jede Mühe einen Einblick in die vorliegenden Probleme, ohne daß dabei in ihm die irrige Vorstellung entsteht, er habe nun alle Einzelheiten und Feinheiten der Theorie kennengelernt. Nach einleitenden Bemerkungen behandelt Verfasser die Keplerbewegung in der Mechanik und bringt die Bewegungsgleichungen in die HAMILTON-JACOBISCHE Form. Er zeigt dann, daß man die Gleichung für die Wirkungsgröße W auch als Gleichung einer Schwingung auffassen kann. Er gibt die Wellengleichung von DE BROGLIE und SCHRÖDINGER an und weist auf den entscheidenden Gedanken hin, ob man nämlich die stationären Zustände des Atoms nicht als stationäre Systeme von stehenden Wellen auffassen kann. Er behandelt nun ausführlich die Schwingung einer gespannten, begrenzten Saite, einer gespannten Membran und einer Flüssigkeitskugel in einem starren Gefäß. Er diskutiert weiter die Gleichung $\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = (a - b x^2) \frac{\partial^2 y}{\partial t^2}$, die man aus der Gleichung für die schwingende Saite erhält, wenn man die Geschwindigkeit als veränderlich annimmt und ihr reziprokes Quadrat gleich $(a - b x^2)$ setzt. Es zeigt sich, daß sich die Lösung u. a. in Form einer unendlichen Potenzreihe angeben läßt, in gewissen Ausnahmefällen jedoch in Form einer endlichen Reihe, nämlich dann, wenn a/b eine ungerade ganze Zahl ist. Hier leuchtet die Verwandtschaft mit den diskreten Zuständen der Quantentheorie hervor. In der Tat ergibt sich, daß diese Gleichung aufs engste mit der Gleichung für den einfachen harmonischen Oszillator in der Wellenmechanik zusammenhängt. Verfasser behandelt weiterhin das Wasserstoffatom, den Rotator, den Stark-effekt und das freie Elektron, dessen Geschwindigkeit stets einer Wellenlänge zuzuordnen ist; die bekannte Beugung der Elektronen an Kristallgittern ist der experimentelle Beweis für die Richtigkeit dieses Ergebnisses. Das Kapitel über die physikalische Bedeutung der wellenmechanischen Gleichungen, das Verfasser damit beginnt, daß er ein Wort des Earls von Salisbury zitiert („Die Haupt-, wenn nicht einzige Funktion des Äthers scheint die zu sein, einen Nominativ zu liefern zu dem Verbum schwingen“) und dieses auf die Wellenfunktion anwendet, hat durch den Über-

setzer eine wesentliche Erweiterung und Bereicherung erfahren. Ebenso stammt das Kapitel über die Anwendung der Wellenmechanik auf Mehrkörperprobleme vom Übersetzer.

Alles in allem liegt hier ein Buch vor, das populär ist im besten Sinne des Wortes. Die klare, gefällige, recht oft geistreiche Darstellung, die ständige Verknüpfung des Neuen mit Bekanntem und Altem dürfte gerade auch vielen Lesern dieser Zeitschrift willkommen sein, die nicht Zeit haben, sich in die schwierigen grundlegenden Werke und Abhandlungen einzuarbeiten, die aber doch einen wissenschaftlich zuverlässigen Einblick in die neuen Lehren der theoretischen Physik gewinnen wollen. Ein paar Druckfehler stören nicht besonders. *Lamla.*

Atom und Welle. Von ERICH KRETSCHMANN. Vortrag, gehalten am 7. 7. 1929 in öffentlicher Sitzung der Königsberger Gelehrten Gesellschaft, Jg. 6, Heft 5 der Schriften der Königsberger Gelehrten Gesellschaft, naturwissenschaftliche Klasse. Halle (Saale), 1929, Verlag Max Niemeyer. 15 Seiten. Geh. RM 1.50.

Verfasser behandelt die Geschichte des Kampfes zwischen Atom und Schwingung. Er spricht zuerst über Lichtatom und Lichtwelle (von NEWTON und HUYGENS über FRESNEL, YOUNG und NEUMANN bis zu MAXWELL und HERTZ), dann über die Atome der Materie (bis zur RUTHERFORDSchen Atomzertrümmerung), über das PLANCKSche Wirkungsquantum und die Lichtquanten und schließlich über die Wellenmechanik und über die Rolle der punktförmigen Elementarladungen in der neuen Physik. Der Aufsatz führt in geschickter und ansprechender Form auf die hier vorliegenden Probleme und die bisherigen Lösungen und gibt zum Schluß einen Ausblick auf das, was noch der Lösung harret. *Lamla.*

Aussendung und Empfang elektrischer Wellen. Von REINHOLD RÜDENBERG. Berlin. Julius Springer. V, 67 Seiten, 46 Abbildungen. Preis geh. RM 3.90.

Das kleine Büchlein vermittelt einen recht guten Überblick über die Wechselwirkungen der Ströme und Spannungen in den Stationen mit den zwischen ihnen verlaufenden elektromagnetischen Wellen. Es behandelt den Mechanismus der Wellenübertragung vom Sender auf den Empfänger (bei ungedämpften Wellen), nicht dagegen die verschiedenen Möglichkeiten der Apparatschaltung im Sender und Empfänger selbst. Die Hauptabschnitte sind überschrieben: Das elektromagnetische Feld des Senders, der Empfang elektrischer Wellen, Wellenausbreitung längs der Erde. Trotz der Kürze der Darstellung findet der Leser alles Wesentliche und Interessante (z. B. auch über gerichtete Strahlung, Strahlungsleistung, Rückwirkung des Empfängers auf das primäre Feld, Schattenbildung, Beugung um die Erde, Einfluß der Atmosphäre u. a.). Ein umfangreiches Literaturverzeichnis erhöht den Wert des inhaltreichen und ansprechend geschriebenen kleinen Büchleins. *Lamla.*

Bandenspektren auf experimenteller Grundlage. Von RICHARD RUEDY. Sammlung Vieweg „Tagesfragen aus den Gebieten der Naturwissenschaften und der Technik“, Heft 101/102. Braunschweig 1930, Friedr. Vieweg & Sohn A. G. VI, 124 S., 62 Abbildungen. Preis geh. RM 9.60.

Die Einordnung der Spektren und die klare Bezeichnung der einzelnen Serien und Linien ist für den Außenstehenden allemal eine schwierige und unübersichtliche Angelegenheit. Andererseits ist unsere Kenntnis der Spektren der zweiatomigen gasförmigen Körper so weit vorgeschritten, daß Theorie und Experiment weitgehend übereinstimmende Ergebnisse liefern, und daß sie daher bald eine immer größere Bedeutung gewinnen werden. Eine Auseinandersetzung der in Betracht kommenden Probleme ist daher erwünscht. Die vorliegende Arbeit stellt sich die Aufgabe, die Hauptarten der Banden auf Grundlage der Erfahrung darzustellen und an Hand einiger Beispiele die Einordnung der Bandenlinien zu erläutern. In 4 Hauptabschnitten werden die Energiestufen, der Austausch von Drehenergie (die einzelne Bande), der Austausch von Schwingungsenergie (das Bandensystem) und das Bandenspektrum eines Moleküls behandelt. Ein Literaturverzeichnis und eine Übersicht über eine Reihe von Oxydspektren ist dem Buch angefügt.

Lamla.

Polare Molekeln. Von P. DEBYE. Leipzig 1929, S. Hirzel. VIII, 200 Seiten. 34 Abbildungen. Preis geh. RM 14.—; geb. RM 15.50.

Das Buch ist im Anschluß an eine Reihe von Vorträgen entstanden, die Verfasser in den Vereinigten Staaten gehalten hat. Es ist etwa gleichzeitig in deutscher und englischer Sprache erschienen. Bei der Erforschung der molekularen Struktur ist zuerst die Verteilung der elektrischen Ladung zu bestimmen; die einfachste Größe, wodurch die Verteilung in neutralen Molekeln charakterisiert wird, ist das elektrische Moment. Molekeln mit endlichem Wert des Moments heißen polare Molekeln. Das Buch gibt einen vortrefflichen Überblick, sowohl in theoretischer wie in experimenteller Hinsicht, über alles, was mit den Dipolen zusammenhängt. Nach einer einleitenden Herleitung der CLAUDIUS-MOSOTTI'schen Gleichung wird zunächst der Zusammenhang zwischen Polarität und Molekularstruktur behandelt; die zahlreich vorliegenden Messungen (insbesondere über organische Substanzen und Halogenwasserstoffe) werden erläutert und mit den theoretischen Ergebnissen verglichen. Die Übereinstimmung ist in vielen Punkten gut, in anderen aber weniger befriedigend; hier wird eine Lösung von der neueren Quantentheorie erhofft. Danach wendet sich Verfasser zu der anomalen Dispersion elektrischer Wellen und zu den elektrischen Sättigungserscheinungen. Das vorliegende experimentelle Material ist noch nicht umfangreich genug, um in allen Punkten klare Entscheidungen zu treffen; Verfasser weist daher an verschiedenen Stellen auf die Fragen hin, die noch der experimentellen Beantwortung be-

dürfen. Die Schlußkapitel beschäftigen sich mit der Anwendung der Quantentheorie älterer und neuerer Gestalt auf die Dipoltheorie.

Das Buch behandelt den schwierigen und umfangreichen Stoff in recht klarer und übersichtlicher Weise; sein Wert liegt vor allem darin, daß es die gesamte bisherige Forschung auf dem Gebiet der polaren Molekeln in einheitlicher Form zusammenfaßt. Beigefügt ist eine Tabelle, die alle zur Zeit des Erscheinens des Buches bekannten Dipolmomente (von über 400 Substanzen) enthält.

Lamla.

Theorie der Wechselströme. Von ALFRED FRAENCKEL. Dritte erweiterte und verbesserte Auflage. Mit 292 Textabbildungen. VI und 260 Seiten. Berlin 1930. Verlag von Julius Springer. Geheftet RM 20.—; geb. RM 21.50.

Ebenso wie die in dieser Zeitschrift 35, 43; 1922 besprochene 2. Auflage teilt die neue Ausgabe den dargebotenen Stoff wieder in 14 Kapitel ein. Zwischen die früheren Kapitel 6 und 7 ist ein Kapitel über allgemeine Übertragungskreise eingeschaltet und dafür das bisherige 12. Kapitel durch geeignete Umstellungen aufgeteilt. Über die Änderungen in der Darstellung und Anordnung der einzelnen Kapitelabschnitte gibt das Vorwort des Buches erschöpfende Auskunft. Trotz wesentlicher Stoffvermehrung sind rund 100 Seiten am Umfang eingespart, ohne daß die vorzügliche Druckausstattung des Werkes darunter gelitten hätte. Physiklehrer, die sich in die Wechselstromtheorie einarbeiten wollen, können sich der Führung FRAENCKEL'S mit sicherer Aussicht auf Erfolg anvertrauen und werden in dem Buche auch ausreichende Vorbereitung finden, um anschließend Einzelarbeiten verstehen zu können.

Mthh.

Über Kondensatoren und ihre Eichung. Von Dr. G. ZICKNER, Mitglied der physikalisch-technischen Reichsanstalt. Mit 27 Abbildungen im Text. Verlag: Hachmeister u. Thal, Leipzig. Preis RM 3.—.

Durch die moderne Entwicklung der Hochfrequenztechnik ist in weiten Kreisen die genaue Kenntnis vom Verhalten technischer Kondensatoren ein Bedürfnis geworden. Beim Telegraphie- und Telephoniesender ist Strahlfähigkeit und Betriebssicherheit in hohem Maße durch die Güte der Hochspannungskondensatoren bestimmt, beim Röhrenempfänger hängen Selektivität und Empfindlichkeit sehr stark vom Grad der Verlustfreiheit der verwendeten Drehkondensatoren ab. Die Zusammenstellung aller Faktoren, die bei der Entwicklung eines Kondensators zu berücksichtigen sind, aus so berufener Feder wird von der Fachwelt mit besonderer Freude begrüßt werden. Indessen enthält das Bändchen so viele wertvolle physikalische Einzelheiten, daß seine Lektüre auch für Lehrzwecke nützlich ist.

Verfasser behandelt zunächst die Theorie des Kondensators (physikalische Definition, Kapazität der Belegungen gegen Erde, Verlustwinkel, dielektrische Eigenschaften des Isolationsmaterials,

Schaltarten). — Im nächsten Abschnitt „Technische Ausführungsformen“ werden zunächst Hochspannungskondensatoren besprochen, doch legt Verfasser den größten Wert auf die Untersuchung von Drehkondensatoren. Der Begriff der „relativen Güte“ wird entwickelt und zahlenmäßig an einer Reihe von käuflichen Kondensatoren angegeben. Im gleichen Abschnitt folgt noch die Besprechung der einzelnen Formen (Kreisplatten, Nierenplatten, Siehelplatten) und ihre Änderungsgesetze.

Für den messenden Physiker zweifellos am wertvollsten ist der letzte Abschnitt, der von der Eichung von Kondensatoren handelt. Sie wird ausgeführt nach einer Reihe Methoden, die sich wieder in zwei Hauptgruppen unterscheiden lassen: absolute Messung und relative Messung. Bei allen absoluten Messungen bezieht man die Meßgröße, hier also die Kapazität, mittelbar auf die physikalischen Grundeinheiten der Masse, der Länge und der Zeit, bei relativen Messungen wird die zu messende Größe auf eine andere gleicher Art bezogen, deren Wert bekannt ist. — Die genaueren absoluten Messungen der Kapazität bieten nicht unerhebliche praktische Schwierigkeiten, so daß sie wohl nur zur Eichung von Normalen in großen Instituten, z. B. in der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt, in Frage kommen. — Unter den relativen Meßmethoden sind am bekanntesten die Messungen mit dem Glimmrelais (fälschlich oft als Glimmbrücke bezeichnet) und mit der Wechselstrombrücke. Letztere wird in der Praxis am häufigsten benutzt. Die Fehler, die bei dieser Methode auftreten können, werden eingehend behandelt, wobei von besonderem Interesse die Beweisführung ist, warum mit normalen Schleifdrahtbrücken eine genaue Messung von Kapazitäten unmöglich ist. Deswegen besitzen die technischen Ausführungen der Kapazitätswechselstrombrücken keinen Meßdraht, sondern der Abgleich erfolgt mittels eines veränderbaren Kondensators in einem Brückenweig, während die Brückenwiderstände ein festes Verhältnis haben. — Eine besondere Betrachtung ist der Meßbrücke der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt gewidmet, die zur Messung der zur Prüfung seitens der Industrie eingesandten Kondensatoren benutzt wird. Sie zeigt, mit welchen experimentellen Schwierigkeiten eine exakte Messung verbunden ist.

Dr. Friedrich Moeller.

Die elektrische Schulausrüstung¹. Mit einem Anhang: Die Glühlampe im Bildwerfer und im

¹ Anmerkung der Schriftleitung. Der Herr Verfasser des Mitteilungsheftes 12 gibt die folgende Berichtigung bekannt: „Bei einer Umstellung des Wortlautes während des Druckes ist ein Versehen vorgekommen. Auf Seite 69, Zeile 17, sind die Worte „im Raumwinkel Eins“ ausgefallen. Die Erläuterung zu diesem Winkelmaß steht auf Seite 70, Zeile 25. Die auf Seite 69 erwähnte, gedachte Lichtquelle würde also nicht eine, sondern 4π Einheiten des Lichtstromes liefern.“

optischen Versuch. Von Oberstudienrat Dr. W. VOLKMANN. Mitteilungen der Preußischen Hauptstelle für den naturwissenschaftlichen Unterricht, Heft 12. 95 Seiten, 37 Abbildungen. Quelle & Meyer, Leipzig 1930. Preis geh. RM 4,80.

Dieses neue Heft der Mitteilungen der Hauptstelle löst in erfreulicher Weise die Aufgabe, den Verwaltern naturwissenschaftlicher Sammlungen Richtlinien und Ratschläge in der Frage einer zeitgemäßen elektrischen Ausrüstung der Räume, insbesondere für Physik, zu geben. Die vielen technischen Fortschritte, die in der Herstellung von Umformermaschinen, Transformatoren, Gleichrichtern und Widerständen gemacht sind, die Ausbreitung der Schülerübungen, die ständige Erweiterung der Lehraufgaben gerade in der Elektrizitätslehre, machen es nötig, dauernd auch an die Verbesserung älterer Anlagen zu denken. Der Verfasser hat die hier mitgeteilten Vorschläge und Urteile erst auf Grund der bei der Hauptstelle sorgfältig erprobten Versuchsanordnungen gegeben. Klug ist auch „der breitesten Raum nicht dem Ergebnis, sondern der abwägenden Darstellung der Aufgabe und der Lösungsversuche gewidmet“.

Der 1. Teil des Heftes behandelt die im Vordergrund des Interesses stehenden Aufgaben und die Ausführungsformen der elektrischen Schulausrüstungen der Schülerarbeitsplätze; es folgen 2 Abschnitte, die eingehend Gleich- und Wechselstromausrüstungen hinsichtlich der Verteilung der Energie, der Hilfsmittel und ihrer Aufstellung bei mehr oder weniger reichen Mitteln behandelt; zum Schluß ist der Bedarf an Verbindungen, Anschlußzeug, die nötige Beleuchtung und anderes erörtert. Beigegeben wurde noch eine Übersicht des Bedarfs an Maschinen und Instrumenten für die verschiedenen Schulgattungen.

Eine sehr dankens- und rühmenswerte Zugabe ist der Anhang, der im letzten Drittel des Heftes die Verwendung der Glühlampe im Bildwerfer und im optischen Versuch bringt. Hier sind zunächst die photometrischen und physiologischen Grundlagen des Bildwurfs untersucht; diese Betrachtungen sind sehr beachtenswert; die wenigsten Physiklehrer werden die mitgeteilten gründlichen Überlegungen angestellt haben. Dann sind vor allem eine Reihe von Anordnungen für Bildwurf im Physikunterricht, für Mikroprojektion, Spektralversuche, Interferenz und Beugung unter Zuhilfenahme von Niedervoltlampen und mit vorhandenen oder einfach herzustellenden Geräteteilen beschrieben. Diese durch Billigkeit und Brauchbarkeit gleich ausgezeichneten Apparaturen seien zum Nachbau bestens empfohlen; sie sind Gold für den Bastler.

Jedem Physiklehrer, der seine elektrische Einrichtung ergänzen oder verbessern will, oder der eine Neuanlage zu entwerfen hat, kann nur dringend ans Herz gelegt werden, das sehr wertvolle Heft zu Rate zu ziehen; gute elektrische Einrichtungen bedeuten Zeit- und Kraftersparnis für den Lehrer, leichtes Verständnis und weitgehende Anregungen für den Schüler. *Nickel.*

Himmelserscheinungen im Januar und Februar 1932.

W.Z.: Welt-Zeit = Bürgerliche Zeit Greenwich. 0h W.Z. = Mitternacht bürgerliche Zeit Greenwich.
 Stundenzählung von 0h bis 24h. M.E.Z. = Mitteleuropäische Zeit = Bürgerliche Zeit Stargard = W.Z. + 1h.

| 0h W.Z. | Sonne ☉ | | | | Merkur ☿ | | Venus ♀ | | Mars ♂ | | Jupiter ♃ | | Saturn ♄ | |
|------------|---------|-------|----------------------|------------------------|----------|-------|---------|-------|--------|-------|-----------|-------|----------|-------|
| | AR. | Dekl. | Zeitgl. ¹ | Sternzeit ² | AR. | Dekl. | AR. | Dekl. | AR. | Dekl. | AR. | Dekl. | AR. | Dekl. |
| 1932 | h m | ° | m s | h m s | h m | ° | h m | ° | h m | ° | h m | ° | h m | ° |
| Jan. 1 | 18 41 | -23 1 | + 2 58 | 6 37 47 | 17 18 | -20,1 | 20 42 | -20,0 | 19 13 | -23,4 | 9 38 | +15,1 | 19 43 | -21,4 |
| „ 6 | 19 3 | 22,7 | 5 18 | 6 57 29 | 17 26 | 20,8 | 21 7 | 18,3 | 19 30 | 22,9 | 9 36 | 15,2 | 19 45 | 21,3 |
| „ 11 | 19 25 | 22,0 | 7 28 | 7 17 12 | 17 44 | 21,7 | 21 32 | 16,4 | 19 47 | 22,2 | 9 35 | 15,4 | 19 48 | 21,2 |
| „ 16 | 19 46 | 21 2 | 9 23 | 7 36 55 | 18 8 | 22,6 | 21 56 | 14,3 | 20 3 | 21,5 | 9 33 | 15 6 | 19 50 | 21,1 |
| „ 21 | 20 8 | 20,2 | 11 1 | 7 56 38 | 18 35 | 23,0 | 22 20 | 12,1 | 20 19 | 20,7 | 9 30 | 15,7 | 19 53 | 21 0 |
| „ 26 | 20 29 | -19,1 | +12 21 | 8 16 21 | 19 5 | -23,1 | 22 43 | - 9,7 | 20 36 | -19,7 | 9 28 | +16,0 | 19 55 | -20,9 |
| „ 31 | 20 49 | 17,8 | 13 21 | 8 36 3 | 19 37 | 22,7 | 23 5 | 7,2 | 20 52 | 18,7 | 9 26 | 16,2 | 19 58 | 20,8 |
| Febr. 5 | 21 10 | 16,4 | 14 1 | 8 55 46 | 20 9 | 21,7 | 23 27 | 4,7 | 21 8 | 17,6 | 9 23 | 16,4 | 20 0 | 20,7 |
| „ 10 | 21 30 | 14,8 | 14 21 | 9 15 29 | 20 43 | 20,1 | 23 49 | - 2,1 | 21 23 | 16,5 | 9 20 | 16,6 | 20 2 | 20,6 |
| „ 15 | 21 50 | 13,2 | 14 20 | 9 35 12 | 21 16 | 18,0 | 0 11 | + 0,6 | 21 39 | 15,2 | 9 18 | 16,8 | 20 5 | 20,5 |
| „ 20 | 22 9 | -11,4 | +14 1 | 9 54 55 | 21 50 | -15,3 | 0 33 | + 3,2 | 21 54 | -13,9 | 9 15 | +17,0 | 20 7 | -20,4 |
| „ 25 | 22 28 | 9,6 | 13 25 | 10 14 37 | 22 25 | 12,0 | 0 54 | 5,8 | 22 10 | 12,5 | 9 13 | 17,2 | 20 9 | 20,3 |
| März 1 | 22 47 | - 7,7 | +12 34 | 10 34 20 | 23 0 | - 8,2 | 1 16 | + 8,3 | 22 25 | -11,1 | 9 11 | +17,3 | 20 11 | -20,2 |

¹ Zeitgleichung = mittlere Zeit - wahre Zeit.

² Die Korrektur der Sternzeit für einen Ort λ ° östlich bzw. westlich von Greenwich ist $\mp 0^{\circ}.657 \cdot \lambda$ °.

Auf- und Untergänge des oberen Randes der Sonne und des Mondes in mittlerer Ortszeit.
 Breite von Berlin (+ 52,5°), Länge von Stargard (15° östlich v. Greenwich).

| | Sonne | | Mond | | | Sonne | | Mond | | | Sonne | | Mond | |
|--------|-------|---------|-------|---------|---------|-------|---------|-------|---------|----------|-------|---------|-------|---------|
| | Aufg. | Unterg. | Aufg. | Unterg. | | Aufg. | Unterg. | Aufg. | Unterg. | | Aufg. | Unterg. | Aufg. | Unterg. |
| 1932 | h m | h m | h m | h m | 1932 | h m | h m | h m | h m | 1932 | h m | h m | h m | h m |
| Jan. 1 | 8 11 | 15 55 | 0 12 | 11 34 | Jan. 26 | 7 53 | 16 33 | 20 32 | 9 20 | Febr. 20 | 7 9 | 17 20 | 14 59 | 6 53 |
| „ 6 | 8 10 | 16 1 | 7 29 | 13 45 | „ 31 | 7 46 | 16 42 | 2 26 | 10 27 | „ 25 | 6 59 | 17 29 | 22 37 | 8 0 |
| „ 11 | 8 7 | 16 8 | 10 8 | 20 13 | Febr. 5 | 7 37 | 16 52 | 7 40 | 15 11 | März 1 | 6 48 | 17 38 | 4 18 | 10 27 |
| „ 16 | 8 4 | 16 16 | 10 55 | 1 1 | „ 10 | 7 28 | 17 2 | 8 44 | 21 33 | | | | | |
| „ 21 | 7 59 | 16 24 | 13 23 | 7 6 | „ 15 | 7 19 | 17 11 | 9 49 | 2 29 | | | | | |

| Mondphasen 1932 M.E.Z. | Neumond | | Erstes Viertel | | Vollmond | | Letztes Viertel | | |
|------------------------------|---------|------------------|------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-----------------|------------------|------------------|
| | | 8. Jan. 0h 28,7m | 6. Febr. 15 45,1 | 15. Jan. 21h 55,0m | 14. Febr. 19 15,7 | 23. Jan. 14h 44,1m | 22. Febr. 3 7,4 | 1. Jan. 2h 23,1m | 30. Jan. 10 32,2 |

Verfinsterungen der Jupitertrabanten in M.E.Z. (E = Eintritt, A = Austritt.)

| Trabant I | | Trabant II | | Trabant III | | Trabant IV | |
|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-----|------------|-----|
| h m | h m | h m | h m | h m | h m | h m | h m |
| 3. Jan. 22 33,7 E | 4. Febr. 19 6,2 E | 7. Jan. 21 42,1 E | 24. Jan. 20 32,6 E | 7. Jan. 20 35,1 E | | | |
| 11. „ 0 27,3 E | 11. „ 23 18,9 A | 15. „ 0 17,0 E | 1. Febr. 0 30,8 E | 8. „ 1 27,4 A | | | |
| 19. „ 20 49,5 E | 20. „ 19 42,0 A | 1. Febr. 18 44,2 E | 29. „ 20 6,6 A | | | | |
| 26. „ 22 43,5 E | 27. „ 21 36,7 A | 9. „ 0 11,8 A | | | | | |
| 3. Febr. 0 37,6 E | | | | | | | |

Erscheinen und Verschwinden der Planeten. Breite von Berlin, Zeitangaben in mittlerer Ortszeit.

| | Merkur ☿ | | Venus ♀ | | Mars ♂ | | Jupiter ♃ | | Saturn ♄ | |
|----------|----------|--------------------|---------------------|--------|--------|---|---------------------|--------------------|----------|---------------------|
| | h | h | h | h | h | h | h | h | h | h |
| 1932 | | | | | | | | | | |
| Jan. 1 | A 6,5 | D _m 7,0 | D _a 16,5 | U 18,3 | — | — | A 19,6 | D _m 7,0 | h | — |
| „ 11 | A 6,5 | D _m 7,0 | D _a 16,7 | U 18,8 | — | — | A 18,8 | D _m 6,9 | — | — |
| „ 21 | — | — | D _a 17,0 | U 19,4 | — | — | A 18,1 | D _m 6,8 | — | — |
| „ 31 | — | — | D _a 17,3 | U 19,9 | — | — | D _a 17,8 | D _m 6,6 | — | — |
| Febr. 10 | — | — | D _a 17,6 | U 20,5 | — | — | D _a 18,1 | D _m 6,4 | — | — |
| „ 20 | — | — | D _a 17,9 | U 21,0 | — | — | D _a 18,4 | D _m 6,1 | — | — |
| März 1 | — | — | D _a 18,1 | U 21,5 | — | — | D _a 18,7 | D _m 5,7 | A 5,4 | D _m 5, 6 |

A = Aufgang; U = Untergang; D_a und D_m = Erscheinen bzw. Verschwinden in der Dämmerung.

2. Januar 5h M.E.Z. Erde der Sonne am nächsten.

Kohl.