

Physikalische Untersuchungen an Streichinstrumenten.

Von H. BACKHAUS, Greifswald.

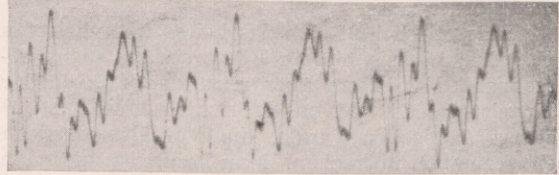
(Schluß.)

IV. Strahlungseigenschaften des Instrumentkörpers.

Bei den Klängaufnahmen der tiefsten Töne der Saiteninstrumente findet man, daß hier stets der Grundton zurücktritt, eine Beobachtung, die auch schon von MILLER und HEWLETT gemacht worden ist. Als Beispiel zeigt Fig. 17 das *g*, 196 Hertz, gespielt auf einer Carlo-Bergonzi-Geige, Fig. 18 denselben Klang einer Landolfi-Geige. In beiden Fällen ist der zweite Teilton überwiegend. In Fig. 18 ist außerdem die Entstehung des Klanges zu beobachten. Man erkennt, daß die tieferen Teiltöne sehr viel längere Zeit zu ihrer Entstehung brauchen. Beim Anstreichen der Geige hört man also in der Hauptsache die höheren charakteristischen Teiltöne. Weiter ist bei beiden Aufnahmen bemerkenswert der große Reichtum an Obertönen hoher Ordnung. Schließlich zeigt Fig. 19 das *b*, 233 Hertz, auf der früher erwähnten Testori-Geige. Hierbei überwiegt der zweite Teilton, 466 Hertz, der Wolfston des Instruments (s. Fig. 13) ganz außerordentlich: Die Amplitude des Grundtons ist demgegenüber nur 7%, die des nächst stärksten Teiltönen, des 3., nur 20%. Das beweist aufs neue das Vorhandensein der starken Resonanz bei 466 Hertz. Bemerkenswert ist das deutliche Hervortreten des 15. Teiltönen, 3497 Hertz, mit 7,5%, während die benachbarten Teiltöne nicht merkbar vorhanden sind.

Es fragt sich nun, wodurch das Zurücktreten des Grundtons bei den tiefsten Tönen zu erklären ist. Anomalien der Saitenbewegung wie bei den früher erwähnten Beispielen kommen dafür nicht in Betracht, wie am besten die Fig. 14 zeigt. Wenn sachgemäß angestrichen wird, herrscht in der Saitenbewegung hier immer der Grundton vor. Es könnte aber naheliegen, die Erklärung in dem Vorhandensein der Resonanz bei 280 Hertz zu suchen. Das Gebiet unterhalb davon würde dadurch benachteiligt sein. Zweifellos spielt diese Resonanz hierbei eine gewisse Rolle, aber sie genügt zur Erklärung des Ausbleibens der Grundtöne bei der Geige bis etwa 260 Hertz nicht. Denn einmal

prägt sich diese Resonanz so schwach aus, daß sie aus den Klängaufnahmen allein gar nicht gefolgert werden kann; sie ergibt sich vielmehr aus den



1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.			
0,32	1,00	0,11	0,62	0,29	0,32	0,14	0,55	0,29	0,19	0,28	0,00	0,19	0,14	0,13			
											16.	17.	18.	19.	20.	21.	Partialton
											0,38	0,11	0,17	0,17	0,12	0,15	Amplitude

Fig. 17. Klang *g*, *g*-Saite, 196 Hz. Carlo Bergonzi-Geige 1737.

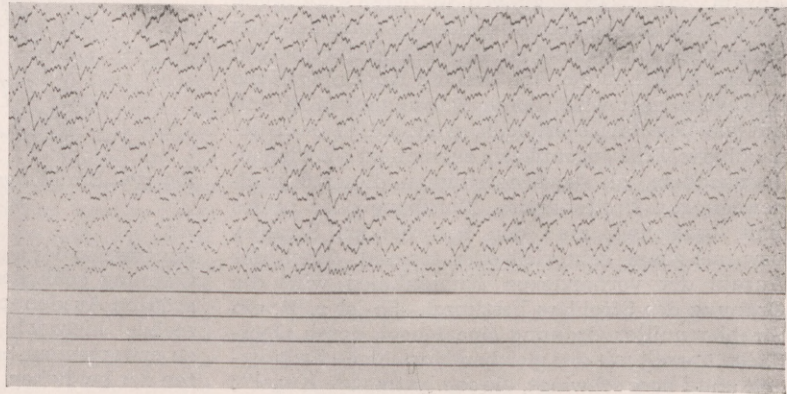
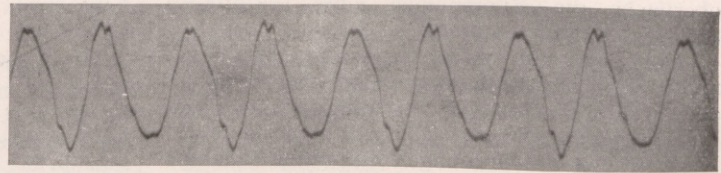


Fig. 18. Klang *g*, *g*-Saite, 196 Hz, C. F. Landolfi-Geige.



1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.	Partialton
0,07	1,00	0,20	0,15	0,05	0,05	0,06	0,05	0,00	0,03	0,04	0,02	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00	Amplitude

Fig. 19. Klang *b*, *g*-Saite, 233 Hz, Testori-Geige.

RAMANSCHEN Bogendruckmessungen; zweitens müßte man dann zur Erklärung der experimentell gefundenen Tatsachen annehmen, daß eine Resonanz des Geigenkörpers von etwa 280–520 Hertz sich

erstreckt, was mit dem Befunde bezüglich der Schärfe der Resonanzen in Widerspruch steht. Auch hat sich bisher aus den Untersuchungen der mechanischen Schwingungen des Geigenkörpers eine so auffallende Benachteiligung des Gebietes von 196–260 Hertz, wie sie bei den Klangaufnahmen durchgängig gefunden wurde, nicht feststellen lassen. Es bleibt hiernach wohl nichts anderes übrig, als die Erklärung für die auffallende Erscheinung in dem Vorgang zu suchen, durch den die Energie von dem schwingenden Instrumentkörper in die umgebende Luft übertragen wird, d. h. in den Strahlungseigenschaften des Instrumentkörpers.

Theoretisch läßt sich das bei so komplizierten Körpern, wie sie hier in Frage stehen, nicht berechnen. Man kann aber nach der Theorie der Kugelstrahler, die von STOKES und RAYLEIGH¹ zuerst angegeben wurde, die Verhältnisse doch einigermaßen übersehen. Man kann sich hiernach die akustische Strahlung, die von einem allseitig begrenzten Körper in ein homogenes isotropes Medium übergeht, formal auch erzeugt denken, durch gewisse Bewegungen der Oberfläche einer Kugel, die den fraglichen Körper einschließt. Die allgemeinste Bewegung der Kugeloberfläche hat man sich vorzustellen als Überlagerung einer großen Anzahl von Einzelbewegungen, für deren Anordnung der Verlauf der Kugelfunktionen der verschiedenen Ordnungen maßgebend ist. Die Einzelbewegungen vollziehen sich in der Art, daß die Kugeloberfläche in Teile zerlegt wird, deren Schwingungen in sich mit gleicher Phase erfolgen, während je zwei benachbarte Teile gegenphasig zueinander schwingen. Je nachdem, ob die Knotenlinien dieser Einzelbewegungen Breitenkreise, Meridiane oder beides sind, bezeichnet man den betreffenden Strahler bzw. als zonal, sektoriell oder tesseral. Nach der Anzahl der vorhandenen Knotenlinien wird die Ordnung des Strahlers bestimmt. So ist z. B. ein Strahler nullter Ordnung eine Kugel, deren Oberfläche überall mit der gleichen Normalgeschwindigkeit und Phase schwingt, die sog. „atmende Kugel“; denkt man sich eine Kugel durch zwei zueinander senkrechte Meridianebenen geschnitten, so sind die so entstehenden Schnittlinien auf der Kugeloberfläche die Knotenlinien eines sektoriellen Strahlers zweiter Ordnung.

Man kann nun nach einer Formel von RAYLEIGH² die insgesamt von einem Kugelstrahler abgestrahlte Leistung in Abhängigkeit von der Wellenlänge berechnen. Das Resultat ist für zonale Kugelstrahler der Ordnungen 0–4 unter Annahme konstanter Normalgeschwindigkeit in Fig. 20 eingetragen. Als Abszisse ist aufgetragen: $kr = \frac{2\pi r}{\lambda}$ wo r der Kugelradius, λ die Wellenlänge ist. Für hohe Werte von kr nähern sich sämtliche Kurven Grenzwerten, die für zonale Strahler rechts durch

¹ G. G. STOKES, Phil. Trans. 1868; Lord RAYLEIGH, Theory of Sound 2, § 323 ft.

² Lord RAYLEIGH, Theory of Sound 2, § 327.

Striche markiert sind. Um die Kurven in ihrem Verlauf vergleichbar zu machen, sind sie in verschiedenem Ordinatenmaßstab aufgetragen, so daß die Grenzwerte alle gleich 1 sind. Die gestrichelte Kurve entspricht der Leistung, die von einer starren Kolbenmembran vom Radius r abgestrahlt wird¹. Sie zeigt, daß auch für kompliziertere Strahlerformen für die Abhängigkeit der Strahlung von der Wellenlänge ähnliche Gesetze gelten wie bei Kugelstrahlern. Den Gang der Druckamplitude für bestimmte Punkte des Schallfeldes in Abhängigkeit von der Wellenlänge erhält man aus den Kurven der Fig. 20, indem man die Wurzeln aus den Ordinaten nimmt.

Wenn man nun diese Resultate auf Geigen anwenden will, so fragt es sich, welcher Strahlerordnung der Geigenkörper am besten entspricht. Einen Nullstrahler wird man wohl schwerlich vermuten können, selbst für die tiefsten Töne nicht, denn es ist nicht anzunehmen, daß Boden und Decke der Geige überall mit der gleichen Phase schwingen. Man wird vielmehr nach der geschilderten Wir-

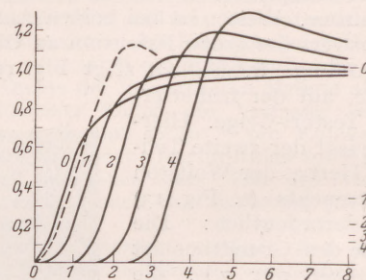


Fig. 20. Strahlungsdämpfung von Kugelstrahlern verschiedener Ordnung.

kungsweise der Geige eher auf einen Strahler erster Ordnung schließen. Setzt man entsprechend der größten Ausdehnung der Geige $r = 18$ cm, und berechnet hiernach aus der Kurve 1 der Fig. 20 die zu erwartenden Schalldruckamplituden in Prozenten der bei hohen Frequenzen angenäherten Grenzwerte, so ergibt sich folgende Tabelle:

Tonhöhe	g	c_1	e_1	a_1	d_2
Frequenz . . .	196	262	330	440	587
$kr = . . .$	0,65	0,87	1,1	1,47	1,95
Druckampl. . .	19%	34%	53%	74%	89%

Hiernach kann man sich die experimentellen Befunde einigermaßen erklären: Von 196–250 Hertz tritt der Grundton immer zurück, von 290 Hertz an herrscht er überall vor; in dem Zwischengebiet verhalten sich die verschiedenen Geigen verschieden. Das liegt wohl an der jeweiligen Lage der in Gegend von 280 Hertz gefundenen Resonanz. Sie ist augenscheinlich der Grund dafür, daß der Grundton ziemlich plötzlich als beherrschend erscheint, obgleich man das nach dem Verlauf der Strahlungskurve erst bei höheren

¹ Nach H. RIEGGER, Wiss. Veröff. a. d. Siemens-Konzern 3 II, 68 f. (1924).

Frequenzen erwarten sollte. Gleichzeitig gibt die Form der Strahlungskurve den Grund dafür, daß diese Resonanz sich in den Klangkurven so gut wie gar nicht abhebt und eigentlich nur aus den RAMANSCHEN Bogendruckmessungen gefolgert werden kann. Schließlich lernt man auch hierdurch verstehen, warum die tieferen Geigentöne im Vergleich zu den höheren so reich an Obertönen sind (vgl. Fig. 17 und 18): Der Grundton, neben dessen natürlicher Stärke die höheren Teiltöne verschwinden würden, wird nur sehr unvollkommen abgestrahlt.

Subjektiv empfindet man das Fehlen des Grundtones nicht, wie denn auch diese Feststellung erst durch objektive Aufnahme der Geigenklänge gemacht wurde. Der Grundton erscheint subjektiv anscheinend durch Kombinationstonbildung im Ohr wieder. Das steht im Einklang mit Versuchen von FLETCHER¹, der beim Abbau der Grundtöne von komplexen Klängen keine Unterschiede in der subjektiv wahrgenommenen Tonhöhe gefunden hat.

Aus der Fig. 20 folgt, daß, wenn ein Klangkörper lange Schallwellen aussenden soll, er hinreichend groß im Vergleich zu diesen Wellenlängen sein muß. Die Entwicklung des Streichinstrumentbaues hat augenscheinlich dazu geführt, daß bei den Abmessungen der Instrumentkörper bis hart an die Grenze des Möglichen heruntergegangen worden ist, in dem Bestreben, die Instrumente möglichst handlich zu machen. Das Beispiel der Geige zeigt, daß sie eigentlich für ihre tiefsten Töne etwas zu klein ist. Besonderes Interesse verdient von diesem Gesichtspunkt aus die Bratsche. Hierbei ist die Wellenlänge des tiefsten Grundtons um 50 % länger als bei der Geige. Das Instrument konnte aber, weil es auf dem Arm gespielt werden soll, gegenüber der Geige nur um etwa 10 % in seinen Abmessungen vergrößert werden. Man wird also nach unseren Überlegungen erwarten müssen, daß sich bei der Viola die Unterdrückung des Grundtons auf viel größere Tonbereiche erstrecken muß wie bei der Geige, nämlich etwa auf die ganze tiefste Oktave von c , 131 Hertz, bis h , 247 Hertz. Die Untersuchungen, die vom Verfasser an zwei Violoncellen unternommen wurden, bestätigten diese Erwartung vollkommen: Erst von c_1 , 262 Hertz, an aufwärts war im Klange die normale Teiltonverteilung mit vorherrschendem Grundton zu beobachten.

Kehren wir noch einmal zur Fig. 20 zurück. Aus den rechts angebrachten Marken folgt das, übrigens triviale, Resultat, daß ein Körper um so weniger Energie ausstrahlt, in je höherer Ordnung er schwingt. Man wird schon aus diesem Grunde die Ordnung möglichst niedrig halten. Das geschieht dadurch, daß man die schwingenden Flächen möglichst steif macht. Bei den Streichinstrumenten ist das durch den Baßbalken erreicht. Nun wird sich aber bei höheren Frequenzen doch zwangsläufig eine Unterteilung des Schwingungskörpers vollziehen. Jeder Eigenfrequenz des Kör-

pers entspricht dann etwa eine der Kurven der Fig. 20. Man muß also dann die Anordnung so treffen, daß die betreffende Frequenz, falls sie stark abgestrahlt werden soll, nicht in den ersten Teil der Kurve vor ihrem Anstieg zu liegen kommt. Es folgt daraus, daß es günstig ist, den Abstand der Eigenfrequenzen möglichst groß zu machen.

V. Richtwirkungserscheinungen an Streichinstrumenten.

Von allen Strahlern ist der Kugelstrahler nullter Ordnung der einzige, der seine Energie nach allen Richtungen gleichmäßig ausstrahlt. Kugelstrahler höherer Ordnungen strahlen in den Richtungen am stärksten, die durch Maxima der Kugelfunktionen gegeben sind. Jedenfalls ist das Schallfeld eines reinen Kugelstrahlers leicht ohne weiteres zu übersehen. Schwieriger liegen die Verhältnisse bei komplizierteren Körperformen. Der einzige Fall, der in dieser Hinsicht einigermaßen geklärt ist, ist der der kreisförmigen Kolbenmembran, die in einer unendlich großen starren Wand schwingt¹. Bei tiefen Frequenzen findet man hier eine gewisse Annäherung an eine Kugelwelle; aber mit wachsender Frequenz tritt immer stärker in der Abstrahlung eine Bevorzugung der Mittelnormalrichtung auf; außerdem bilden sich immer zahlreichere kleine Seitenmaxima, ohne daß irgendwelche Knotenlinien oder auch nur Verschiedenheiten in der Schwingungsamplitude auf der Kolbenmembran vorhanden sind.

Derartige Richtwirkungserscheinungen müssen auch bei Streichinstrumenten auftreten, und man kann erwarten, durch ihre Untersuchung bei verschiedenen Instrumenten Kennzeichen von deren Güte zu gewinnen; denn wenn ein Instrument gut klingen soll, so muß es die für einen guten Klang wichtigen Frequenzen auch in zweckentsprechender Weise abstrahlen.

Die experimentelle Untersuchung begegnet der Schwierigkeit, daß es unmöglich ist, durch Anstrich identische Klänge zu reproduzieren. Wie die Klangaufnahmen lehren (s. z. B. Fig. 12), ist es sogar unmöglich, während eines Striches die Teiltonzusammensetzung streng konstant zu halten. Es wurden daher für diesen Zweck Stahlsaiten benutzt, die elektromagnetisch angezupft wurden. Daß die Klangfarbe bei dieser Art der Erregung nicht die natürliche ist, ist belanglos; denn es kommt bei dieser Untersuchung ja nicht auf die Zusammensetzung des einzelnen Klanges an, sondern auf die Änderung dieser Zusammensetzung mit der Richtung.

Eine weitere Schwierigkeit ergab sich dadurch, daß sich die Klangfarbe als sehr stark abhängig von der Abstimmung der Saite erwies. Bei längerer Wirksamkeit des Anzupfmagneten trat infolge der Erwärmung der Saite eine Verstimmung und damit eine beträchtliche Änderung der Klangfarbe ein. Es war also nötig, die Aufnahme in möglichst

¹ H. BACKHAUS und F. TRENDELENBURG, Z. techn. Physik 7, 630 (1926).

¹ H. FLETCHER, Physic. Rev. 23, 430 (1924).

kurzer Zeit vorzunehmen. Dazu wurde so verfahren, daß das zu untersuchende Instrument in etwa 5 Sekunden um 180° um seine Längsachse gedreht wurde und während dieser Zeit der Klang mit einem fest aufgestellten Mikrophon aufgenommen und auf die erwähnte Registriervorrichtung aufgezeichnet wurde. Fig. 21 ist ein Aus-

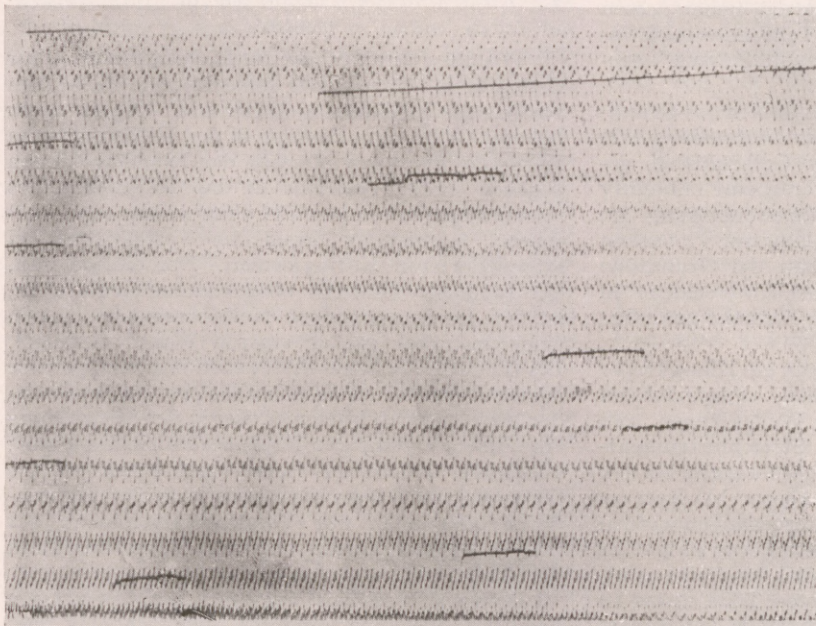


Fig. 21. Klang e_2 , e-Saite, 660 Hz, Antonius Stradivarius-Geige 1709, unter $0-180^\circ$.

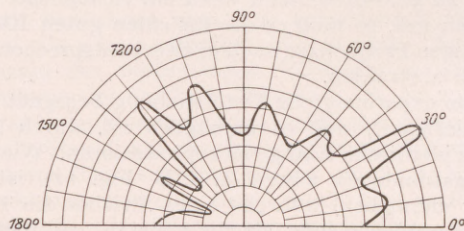


Fig. 22. Richtungsdiagramm von e_2 , 660 Hz., Grundton, Antonius Stradivarius-Geige 1709.

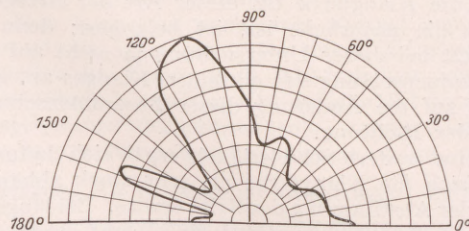


Fig. 23. Richtungsdiagramm von e_2 , 660 Hz., 5. Partialton 3300 Hz. Antonius Stradivarius-Geige 1709.

schnitt aus einer Aufnahme, die so gemacht wurde. Es handelt sich hier um das e_2 der leeren e-Saite

einer Stradivarius-Geige aus dem Jahre 1709. Die Striche in dem Bild sind Richtungsmarken, aus denen die jeweilige Stellung des Instrumentes ermittelt werden kann; sie wurden im Abstand von 10° voneinander betätigt. Wenn man nun an geeigneten Stellen die so gewonnene Klangkurve analysiert, so kann man für jeden Partialton ein

Richtwirkungsdiagramm zeichnen. Die Fig. 22 und 23 sind solche Diagramme für den Grundton 660 Hertz und den 5. Partialton 3300 Hertz. An dem Polardiagramm des Grundtons Fig. 22 ist der Ausfall zwischen $130-180^\circ$ bemerkenswert. Besonderes Interesse verdient aber der Teilton 3300 Hertz, Fig. 23, der ja in einem Frequenzgebiet liegt, das bei guten Geigen, wie aus den früheren Untersuchungen an anderen Instrumenten gefolgert war, besonders bevorzugt sein soll. Es ergibt sich nun das merkwürdige Resultat, daß diese Frequenz die Besonderheit zeigt, daß sie in scharf selektiver Weise in einer Richtung vorzugsweise abgestrahlt wird, und zwar, wenn man sich das Instrument in Spielhaltung denkt, in etwa horizontaler Richtung, wo also für den

Ton die besten Möglichkeiten zur Entfaltung gegeben sind. An zwei Fabrikgeigen, die in gleicher Weise untersucht wurden, wurde etwas Derartiges nicht gefunden. Man darf daher wohl annehmen, daß dieses Ergebnis kein Zufall ist, sondern ein Merkmal für die hervorragende Güte dieses wertvollen Instrumentes darstellt.

VI. Die Schwingungsform des Geigenkörpers.

Über die Schwingungsform des Instrumentkörpers bei tiefen Frequenzen waren oben Annahmen gemacht worden, die ihre Begründung in der Wirkungsweise des Instrumentes fanden. Es ist aber wichtig, diese Schwingungsform in Abhängigkeit von der Tonhöhe überhaupt und eingehend zu kennen, um daraus einen Weg für die Herstellung von Geigenkörpern zu finden. Es bleibt hier nur übrig, die Bewegungen der Böden und Decken von bewährten Instrumenten Punkt für Punkt abzutasten. Die Verwendung von mechanischen Mitteln hierzu ist nicht unbedenklich, denn wie die Versuche mit magnetisch angezupfter Saite besonders deutlich zeigten, ändert auch schon eine sehr kleine Belastung die Klangfarbe beträchtlich. Anders liegt das mit der Untersuchung von rein statischen Formänderungen des Geigenkörpers, wie

sie durch das Aufspannen der Saiten entstehen. Zur Untersuchung dieses Effektes kann man sich, wie A. SEIFFERT¹ gezeigt hat, mit Erfolg mechanischer Fühlhebelchen bedienen. Für die Untersuchung von Schwingungen des Körpers ist man dagegen auf optische oder elektrische Methoden angewiesen. Der Verfasser hat hierzu folgendes Verfahren benutzt: Die zu untersuchende Stelle wurde mit einer Bronzefolie von etwa 5μ Dicke und

der Decke schwingt konphas, während das auf der rechten Hälfte durchaus nicht der Fall ist. Hier dient augenscheinlich das f-Loch dazu, um eine Unterteilung zu erleichtern. Der Befund paßt gut zu dem Richtwirkungsdiagramm Fig. 22, das mit derselben Geige aufgenommen wurde und ebenfalls für den Grundton von e_2 , 660 Hertz, gilt. Der Ausfall zwischen $130-180^\circ$ wird durch die Unterteilung der rechten Hälfte der Decke erklärt.

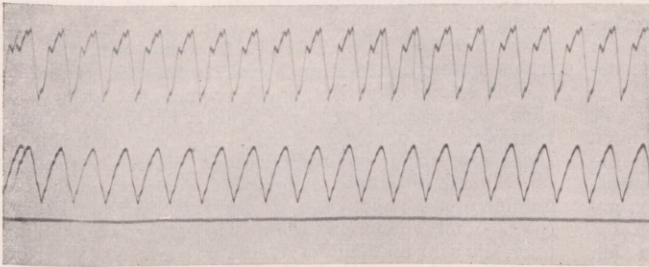


Fig. 24. Körperschwingung bei e_2 , e-Saite, 660 Hz. Antonius Stradivarius-Geige 1709.

8 mm Durchmesser beklebt, die die eine Belegung eines Kondensators darstellte; die andere Belegung war eine kleine Platte von ebenfalls 8 mm Durchmesser, die mit einer Mikrometerschraube der Folie genähert wurde. Der ganze Kondensator lag in einem Hochfrequenzschwingungskreis in der gleichen Schaltung, wie sie Fig. 4 zeigt. Die dabei verwendete sog. Methode der halben Resonanzkurve erwies sich als empfindlich genug, um die Körperschwingungen registrieren zu können. Es wurde nun zunächst erstrebt, die Schwingungsform der Geigendecke zu ermitteln. Dazu wurde einer der beschriebenen Abtastkondensatoren an einer geeigneten Stelle des Geigenkörpers fest angebracht und mit einem anderen eine Anzahl von Punkten nacheinander abgetastet. Fig. 24 zeigt eine so erhaltene Aufnahme. Nach Analyse konnten dann die Phasenbeziehungen der einzelnen Teilschwingungen ermittelt werden. Ausgesprochene Knotenlinien, d. h. stehende Schwingungen, hat man nur für bestimmte Frequenzen zu erwarten. Fig. 25 zeigt das Ergebnis in einem solchen Fall. Es handelt sich hier um den Grundton des e_2 , 660 Hertz. Das Instrument war dieselbe Stradivarius-Geige von 1709, an der die oben erwähnten Richtwirkungsmessungen gemacht wurden. Die starke durchgezogene Linie soll die Lage des Baßbalkens angeben, die gestrichelten Linien sind die ermittelten Knotenlinien. Man erkennt deutlich die versteifende Wirkung des Baßbalkens: Mehr als die linke Hälfte



Fig. 25. Schwingungsform der Geigendecke e_2 , 660 Hz., Grundton. Antonius Stradivarius-Geige 1709.

Weiter ist zu beachten, daß die Knotenlinien sich in einem Punkt schneiden, der dicht an der Ansatzstelle des Stimmstocks liegt.

Ein großer Teil der hier geschilderten Untersuchungen wurde im Forschungslaboratorium des Siemens-Konzerns ausgeführt. Der Firma Siemens & Halske habe ich auch für weitere Überlassung von Apparaten zu danken.

Weiter danke ich der Notgemeinschaft der deutschen Wissenschaft für Bereitstellung von Instrumenten und Akkumulatoren.

Schließlich wurde mir die Fortführung dieser Untersuchungen erst dadurch ermöglicht, daß mir der Elektrophysik-Ausschuß der Notgemeinschaft die Mittel zur Besoldung einer technischen Hilfskraft gewährt hat. Auch hierfür möchte ich an dieser Stelle meinen Dank aussprechen.

¹ A. SEIFFERT, Z. Instrumentenkd. 49, 116 (1929).

Zuschriften.

Der Herausgeber bittet, 1. im Manuskript der *Zuschriften* oder in einem Begleitschreiben die Notwendigkeit einer raschen Veröffentlichung an dieser Stelle zu begründen, 2. die Mitteilungen auf einen Umfang von *höchstens* einer Druckspalte zu beschränken. Bei längeren Mitteilungen muß der Verfasser mit Ablehnung oder mit Veröffentlichung nach längerer Zeit rechnen.

Für die *Zuschriften* hält sich der Herausgeber nicht für verantwortlich.

Farbentüchtigkeit künstlicher Netzhäute.

Sehpurpurhaltige Gelatineschichten, mit denen Glasplatten überzogen sind, bezeichnen wir als „künstliche Netzhäute“. Der Sehpurpur wurde mit Natriumcholatlösungen aus Frosch-Netzhäuten in der üblichen Weise extrahiert. Die Gelatineplatten behielten entweder ihren Gehalt an Natriumcholat bei oder wurden von ihm durch längeres Auswaschen befreit und dann getrocknet.

An diesen künstlichen Netzhäuten haben wir mit den empfindlichen dichrometrischen Methoden nach Erregung mit einfarbigem polarisiertem Licht die photodichroitischen Farbenanpassungseffekte untersucht. Hierbei haben wir folgende Beobachtungen gemacht.

Der Sehpurpur in den Gelatineschichten verhält sich

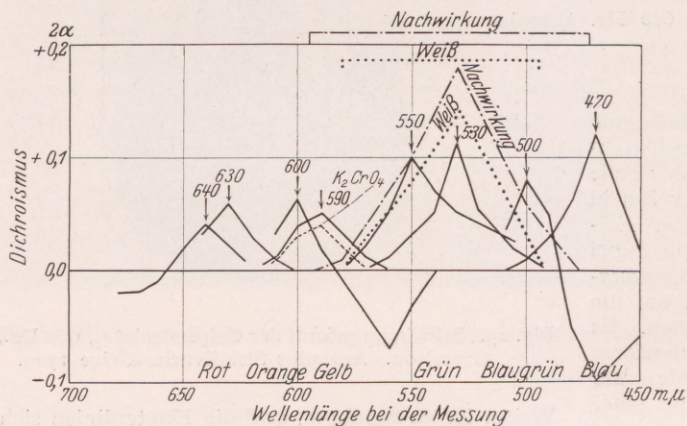


Fig. 1. Spektraler Verlauf der dichrometrischen Kurven bei Erregung von Sehpurpur-Gelatineplatten („künstliche Netzhäute“) mit weißem (---) und einfarbigem (—) linear polarisiertem Licht. Alle Kurven, außer den roten, gehen im Dunkeln in dieselbe Nachwirkungskurve (·-·-·) über. Die Kurven wurden an verschiedenen Platten mit verschieden langer Erregungsdauer aufgenommen, so daß die Höhen der Maxima nicht direkt miteinander vergleichbar sind. Das Maximum der Nachwirkungskurve liegt regelmäßig *viel* höher als die Spitzen der primären Kurven. (In der Figur nur angedeutet.)

vollkommen analog wie andere lichtempfindliche Farbstoffe und wie die Photochloride, über deren Eigenschaften im Licht vor kurzem ausführlich an anderer Stelle berichtet wurde¹. In der Figur ist die spektrale Veränderung des Dichroismus (gemessen durch den Dichrometer-Drehungswinkel der künstlichen Netzhäute nach Erregung mit weißem Licht (punktierte Kurve) und mit einfarbigem linear polarisiertem Licht (ausgezogene Kurven) wiedergegeben. In letztem Fall

¹ F. WEIGERT, Z. phys. Chem. (B) 3, 377, 389; 4, 83, (1929); F. WEIGERT und E. ELVEGÅRD, Ebenda 4, 239 (1929); F. WEIGERT und M. NAKASHIMA, ebenda 4, 258 (1929).

findet regelmäßig eine Aufhellung (positiver Dichroismus) nur für das enge Spektralgebiet statt, in dem das erregende Licht liegt (durch Pfeile angedeutet). Die dichrometrische Farbenanpassung ist also sehr scharf. Die Weißkurve ist nicht etwa aus den einzelnen Teilwirkungen zusammengesetzt, denn in ihr fehlt regelmäßig ein dichroitischer Effekt im Rot, der bei rein roter Erregung auftritt. Dasselbe wurde auch bei den früher untersuchten einfacheren Farbstoffen gefunden.

Die künstlichen Netzhäute zeigen aber ausgesprochen eine Erscheinung, die früher höchstens andeutungsweise beobachtet wurde. Die mit einfarbigem Licht erhaltenen dichrometrischen Spitzen verändern im Dunkeln innerhalb weniger Stunden ihre Form vollkommen und gehen alle in eine Nachwirkungskurve (·-·-·), mit einem Maximum zwischen 520 und 530 mμ über, die sehr ähnlich der Weißkurve ist. Nur die Rotkurven verändern sich nicht oder erst nach sehr starker Erregung.

Die neuen Versuche stützen die von dem einen von uns vor einigen Jahren vorgeschlagene Anpassungstheorie des Farbsehens¹. Sie erlaubte, durch Modellbetrachtungen die spezifische Wirkung der verschiedenen Farben, die Helladaptation der Netzhaut und die farbigen Nachbilder unter der zunächst provisorischen Annahme zu erklären, daß auch in den farbentüchtigen Zapfen Sehpurpur enthalten ist, und daß der Sehpurpur sich analog den anderen gefärbten lichtempfindlichen Stoffen verhält. Den Nachweis, daß dies der Fall ist, haben wir jetzt geliefert.

Aber auch der auffallende in den festen künstlichen Netzhäuten beobachtete Übergang der Farbkurven nach Weiß hat sein physiologisches Analogon in den bekannten farblosen Nachwirkungen („recurrent visions“) bei Momentanerregungen der Netzhaut, die bei Rotbelichtung ausbleiben. Nur verlaufen sie in den halbflüssigen Sehzellen in etwa $\frac{1}{5}$ Sekunde. Die von uns zum erstenmal ermöglichte genaue Untersuchung der photochemischen Eigenschaften des Sehpurpurs in *festen* Schichten verzögerte die Nachwirkungen auf ein bequem meßbares Tempo. Die Farbenanpassungen konnten bei früheren Untersuchungen von Sehpurpurlösungen, wegen ihres schnellen Umschlages in die Weißkurven nicht zur Beobachtung kommen. Das Nachwirkungsspektrum (s. Figur) stimmt mit den bekannten Bleichungskurven des Sehpurpurs überein.

Außerdem konnte gezeigt werden, daß die Farbentüchtigkeit der künstlichen Netzhäute eine sehr gute ist. Ob sie vollkommen dem Farbensystem eines nor-

¹ F. WEIGERT, Pflügers Arch. 190, 177 (1921); Z. phys. Chem. 100, 537 (1922). Vgl. auch den Abschnitt „Photochemisches zur Theorie des Farbsehens“ bei BETHE, v. BERGMANN, EMBDEN, ELLINGER, Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie 12 I, 536. Berlin 1929.

malen Trichromaten entspricht, ist noch nicht ganz sicher, doch zeigte ein Gelb, das durch Filtrieren von Weiß durch ein Kaliumchromatfilter erzeugt war, dieselbe dichrometrische Spitze (in der Figur gestrichelt) wie ein einfarbiges Gelb von 590 m μ . Weitere Versuche mit gemischten Lichtern zur Feststellung der Farbgleichungen der künstlichen Netzhaut sind im Gange.

In den beschriebenen Versuchen, über die demnächst ausführlich zu berichten ist, scheint ein neues sinnesphysiologisches Untersuchungsmittel vorzuliegen.

Leipzig, den 20. August 1929.

F. WEIGERT. M. NAKASHIMA.

On the quantum of cosmic radiation and the relative mass of proton and electron.

In a recent paper [Naturwiss. 17, 35 (1929)] R. FÜRTH assumes that a photon is composed of a proton and an electron in such a way that the radius of the photon is equal to the sum of the radii of the electron and the proton. Accepting the conclusion of ORNSTEIN and BURGER that the radius (r_0) of a photon is equal to the wavelength (λ) of the associated radiation, we then have

$$(1) \quad r_p + r_e = r_0 = \lambda = \frac{c}{\nu},$$

where r_p = radius of proton and r_e = radius of electron. It may be remarked that the equation (1) reduces to

$$(2) \quad r_e = r_0 = \lambda = \frac{c}{\nu},$$

when r_p is small compared to r_e as is generally accepted to be true. Accordingly the above picture of the photon can be valid only for radiation of wavelength of the order of the radius of an electron. As is known from the measurements of MILLIKAN, KOLHÖRSTER, REGENER and others, Cosmic Radiation has a wavelength of this order. We may, therefore regard the quantum of Cosmic Radiation to be a structure composed of a proton and an electron separated from each other by a distance equal to the radius of an electron. Under this condition the masses of the particles will be less than their masses in the free state.

If we assume that the electron is revolving round the proton in a COULOMB field, then we have, neglecting the gravitational force and the relativistic change of mass,

$$(3) \quad \frac{e^2}{r_e^2} = \frac{m'_p m'_e}{m'_p + m'_e} \cdot (2 \pi \omega)^2 r_e,$$

where m'_p and m'_e are the masses of the proton and the electron respectively when they are packed inside the

quant, e = elementary quantum of electricity and ω = number of revolutions per second. The potential energy of the orbit is $-\frac{e^2}{r_e}$. The kinetic energy of the motion of the two masses relative to their centre of gravity is readily seen to be

$$\frac{1}{2} \left(\frac{m'_p m'_e}{m'_p + m'_e} \right) (2 \pi \omega r_e)^2,$$

and this, from equation (3), is equal to $\frac{1}{2} \cdot \frac{e^2}{r_e}$. Thus the sum of the kinetic and potential energies of the system is $-\frac{1}{2} \cdot \frac{e^2}{r_e}$. Now, since mass and energy are related by the equation $E = M \cdot c^2$, we have

$$(4) \quad h\nu = (m'_p + m'_e)c^2 - \frac{1}{2} \cdot \frac{e^2}{r_e},$$

where ν is the frequency of Cosmic Radiation and h the elementary quantum of action. On the other hand if we consider the energy of an electron to be of purely electrostatic origin, we have

$$(5) \quad m_e c^2 = \frac{e^2}{\alpha r_e},$$

where m_e = mass of a free electron and α = a numerical factor depending on the nature of the distribution of charge. From (4), (5) and (2), we then have

$$(6) \quad \frac{m'_p + m'_e}{m_e} = \left(\frac{hc}{e^2} + \frac{1}{2} \right) \cdot \alpha.$$

Assuming a SCHRÖDINGER distribution of charge in the electron, we have $\alpha = \frac{32}{15}$. Substituting this value in (6), we get

$$(7) \quad \frac{m'_p + m'_e}{m_e} = 1839.$$

This value is in very good agreement with the experimental value 1846. If the effect of packing is taken into account the agreement would be still closer. In the above COULOMB's Law of force has been assumed to be true even for a distance of the order of 10^{-13} cm, an assumption whose validity may be questioned; but should the above considerations be true, the quantum of Cosmic Radiation would seem to be a miniature hydrogen atom. It may be mentioned that the present view does not contradict the view I put forward before [Naturwiss. 17, 27 (1929)] regarding the material nature of Cosmic Radiation.

Göttingen, September 1929.

A. K. DAS.

Besprechungen.

BĚLAŘ, K., Die cytologischen Grundlagen der Vererbung. Handbuch der Vererbungswissenschaft, Bd. 1. Berlin: Gebr. Borntraeger 1928. IV, 412 S., 280 Fig. und 2 Tafeln. 18 x 26 cm. Preis RM 80.—.

Die Herausgeber des Handbuches hätten für die Bearbeitung des Kapitels: Die cytologischen Grundlagen der Vererbung keinen geeigneteren Bearbeiter finden können als BĚLAŘ. Seine reichen Erfahrungen auf den verschiedensten Gebieten der Cytologie geben seiner Darstellung auch da den Reiz der Neuheit, wo nur referiert wird und sichern ihr Interesse auch bei den Lesern, denen das klassische und umfassende Werk „The Cell in Development and Heredity“ von WILSON (1925) vertraut ist.

Gleich eingangs, bei einer kurzen Darstellung der Methoden der Cytomorphologie setzt die kritische Sichtung ein. Fast ausnahmslos fußen die Resultate der Cytologie auf Beobachtungen an fixierten Zellen und das Vertrauen auf die Zuverlässigkeit unserer verfeinerten Methoden der Fixierung und Färbung ist tatsächlich in so bedenklichem Maße stabilisiert worden, daß eine kleine Palastrevolution heilsam wirken wird. Beobachtungen am lebenden Objekt müssen herangezogen werden, um die Gefahr der Beschreibung von Artefakten etwas zu bannen. Dabei ist allerdings größte Selbstkritik geboten, denn überall da, wo die lebenden Zellen aus Verbänden herausgenommen werden müssen, stehen der Bildung vitaler Artefakte Tür

und Tor offen. So stoßen wir denn in der vorliegenden Zusammenfassung sehr häufig auf das ominöse Wort: Artefakt! und haben zudem leider selten das Gefühl, daß seine Anwendung unbegründet wäre (vielleicht bei der Beurteilung der Spiralstrukturen der Chromosomen!).

Mehr durch das eigene Vorbild als durch Worte zeigt B. weiter, daß die Anforderungen an eine überzeugende Beweisführung in cytologischen Arbeiten hinaufgeschraubt werden müssen, daß zur richtigen Beurteilung von cytologischen Daten vor allem das Abbildungsmaterial so gehalten sein muß, daß der Leser sich überhaupt ein Urteil bilden kann (Gegenüberstellung von Zeichnung und Mikrophotographie desselben Objektes z. B.). Die Tuschklexmethode der Darstellung der Chromosomen, die sich eingeschlichen hat, genügt als einzige Darstellung nicht mehr, hat überhaupt noch nie genügt und BĚLAŘS Einstellung solchen Arbeiten gegenüber ist eher zu vertrauensselig als das Gegenteil. Man vgl. z. B. die Angaben PAINTERS über den Ausfall eines Stückes vom q-Chromosom bei der Maus (der Ausfall war vorausgesagt und abgeleitet aus Ergebnissen von Vererbungsexperimenten!) S. 344, 345. Ein sicherer Nachweis einer so geringen Größendifferenz, wie sie im q-Chromosom bestehen soll, mag bei chromosomal günstigen Objekten gelingen, bei dem vorliegenden Objekt aber, das wir aus sorgfältigen Untersuchungen kennen (FEDERLEY, 1919), niemals. Ich halte nicht einmal die Existenz von XY-Chromosomen bei der Maus für bewiesen; und dieser Beweis wäre viel leichter zu erbringen! Oder man sehe sich die Art an, wie BLAKESLEE und BELLING ihre chromosomalen Daten an *Datura* belegen (S. 207). Solche Beispiele bestehen viele, darunter Arbeiten von fundamentaler Bedeutung. Weiter ist es dem experimentellen Genetiker ein selbstverständliches Ding, daß er jede Mendel-Analyse mit genauen Zahlenangaben belegt und die Fehlergrenze berücksichtigt. Entsprechendes ist vom Vererbungs-cytologen zu fordern.

In einem ersten Kapitel, Cytomorphologie, räumt B. erfreulicherweise gründlich auf mit dem Ballast von Worten, die sich für Dinge eingestellt hatten, von denen wir nichts wissen und schafft einen begrifflich klaren Ausgangspunkt. Es folgt eine Analyse der Kern- und Zellteilung. Was die Mechanik der mitotischen Teilung angeht, diskutiert B. die Frage: Werden die Tochterchromosomen durch die Zugfasern an die Spindelpole gezogen oder werden sie geschoben durch den „Stemmkörper“ (= Gesamtheit der sog. Verbindungsfasern), der zwischen den Tochterplatten entsteht. B. tritt überzeugt für den Stemmkörper ein, wobei die linke Hand aber oft wieder nimmt, was die rechte gegeben. Man vgl. das über die Bedeutung der Zentralspindel unten S. 77 Gesagte mit der Fußnote 4; oder das über die Artefaktnatur der im fixierten Präparat sichtbaren Spindelfasern unten S. 79 mit dem S. 80 oben Gesagten; oder die Ablehnung der Zugfaserntheorie mit dem Eingeständnis (S. 84 unten), daß die Anaphasenformen der Chromosomen nur durch die Annahme einer Zugwirkung erklärt werden können, wobei allerdings diese Zugwirkung nach B. eine sekundäre Wirkung des Stemmkörpers sein soll, der an den Chromosomen nur an einer Stelle ansetzt, und zwar ausgerechnet an der Stelle, an der auf der Außenseite der Chromosomen die Zugfasern ansetzen (!), so daß das Chromosom hier polwärts geschoben wird, der übrige Teil des Chromosoms nachgezogen wird. Es ist also ersichtlich, daß wir in der Frage der Mechanik der Mitose höchstens insofern etwas weiter gekommen sind, als die Hoffnung besteht, daß durch die Methoden,

wie sie gerade B. anwendet, letzten Endes doch begründete Vorstellungen sich werden bilden lassen. Vorerst wäre vor allem zu wünschen, daß das gesamte Material über den achromatischen Apparat zusammengestellt und gesichtet würde.

Es folgen Kapitel über Amitose, Zelldifferenzierung, Befruchtung und als erster Hauptteil des Buches eine vorzügliche und didaktisch geschickte Darstellung der Chromosomenkonjugation; ein Kapitel, das der Kritik kaum Angriffspunkte bieten wird. In Übereinstimmung mit fast allen modernen Cytologen hält B. die Parallelkonjugation als den Modus der Konjugation, für den wir Beweise in der Hand haben. Die Möglichkeit, daß end to end-Konjugation vorkommen kann, wird offengelassen, was im Hinblick vor allem auf botanische Objekte durchaus begründet ist.

Im Kapitel über die Chromosomenindividualität stellt B. die Beweise für die Richtigkeit der Individualitätstheorie zusammen, wie sie sich ergeben aus den Tatsachen der Konstanz der Chromosomenzahl, Form und Größe und aus den Ergebnissen der Bastardforschung und zeigt, daß die Einwände, die dieser Theorie gemacht wurden, nicht stichhaltig sind. Dabei stellt sich aber vielleicht heraus, daß wir der BOVERISCHEN Theorie eine neue Form geben müssen, ohne ihren Sinn abzubiegen. Wir haben zwar für eine Reihe von Objekten triftige Gründe, daß die Chromosomenindividuen im Ruhekern, wenn auch in noch so metamorphosierter Form, erhalten bleiben; aber außerdem haben wir mit der Möglichkeit zu rechnen, daß das Chromosom aus Einheiten besteht, die in der Interphase sich zerstreuen oder zerstreuen können, vor der nächsten Teilung aber zufolge einer besonderen Affinität die Einheiten sich wieder richtig, d. h. in der alten Anordnung zusammenfinden. Damit geben wir den Anhängern der Manövriehypothese — die nie etwas anderes war als ein hinkendes Gleichnis — auch nicht einmal den kleinen Finger, entgegen den Bedenken BĚLAŘS (vgl. Fußnote 1 S. 262). Auch wenn wir diese Möglichkeit in Rechnung stellen, bleibt der Sinn der Individualitätstheorie ebensowenig berührt als die MENDELSCHE Gesetz über den Haufen geworfen wurden durch die Entdeckung des Phänomens der Koppelung.

Im 2. Hauptkapitel des Buches, Chromosomen und Vererbung, zieht B. die Konsequenzen aus den mitgeteilten Tatsachen für die Vererbung und zeigt, daß die Richtigkeit der Chromosomentheorie der Vererbung aus Vererbungsexperimenten, kombiniert mit cytologischen Beobachtungen direkt bewiesen werden kann.

J. SEILER, München.

TORIKATA, R., **Die volumetrische Komplementbindungsreaktion.** Beitrag zur Lehre der Komplementbindungsreaktion auf Grund neuer Untersuchungsmethoden und zur Lehre des Koktoantigens bzw. Koktoimmunogens. Jena: G. Fischer 1928. VI, 530 S., 98 Abbildungen im Text u. 2 Tafeln. 17 × 26 cm. Preis RM 26.—, geb. RM 28.—.

Das interessante Werk enthält die gesammelten Arbeiten TORIKATAS und seiner Schüler, im ganzen 12 ausführliche, sonst schwer zugängliche Aufsätze, in denen unter Mitgabe eines großen Materials an Tabellen und graphischen Schemata eine Fülle von sorgfältigen, theoretisch gut durchgearbeiteten Versuchen enthalten ist.

Eine kritische Würdigung der hier dargestellten Experimente und ihrer Deutungen müßte sich auf eine experimentelle Nachprüfung stützen, die bisher nicht stattgefunden hat und auch eine jahrelange Nacharbeit zur Voraussetzung hat.

Die Untersuchungen TORIKATAS, deren Ziel die

Aufklärung des Vorganges der Komplementbindung ist, basieren auf methodischen Verfeinerungen, die dem Autor erlauben, das Phänomen der Komplementbindung unter Bedingungen zu studieren, die zwar nicht im Prinzip von der klassischen Technik abweichen, aber deren Ergebnisse doch in oft überraschender Weise modifizieren. Der wichtigste Vorgang ist dabei die Verwendung der Zentrifugiermethode mit graduierten Röhren (Präcipitometer). Dadurch wird der nicht hämolysierte Anteil der Blutkörperchen als Maß der Hämolysen quantitativ ermittelt und an Stelle der sonst üblichen Schätzung des Hämolysengrades tritt eine rechnerisch verwertbare Messung. Dazu kommt eine genaue Austrierung des Komplements und als methodisches Prinzip für theoretische Versuche die Verwendung von 1 Komplementeinheit. Die Modifikation des Antigen bildet die Verwendung des verschieden lange Zeit bei 100° gekochten Antigens (Koktoantigen). Die Zweckmäßigkeit der Anwendung derart präparierter Antigene ergibt sich abgesehen von den früher veröffentlichten (Bern 1917) Arbeiten TORIKATAS allerdings erst aus der Benutzung der oben skizzierten Versuchstechnik.

Die Grundzüge des experimentellen Vorgehens zur Analyse der komplexen Komplementbindungsreaktion lassen sich in kurzem vielleicht so wiedergeben, daß die Funktion der einzelnen reagierenden Komponenten überaus sorgfältig und mit weitgehender Variierung der qualitativen und quantitativen Verhältnisse ermittelt wurde. Aus diesen Einzelergebnissen wird dann eine Reaktion mit optimalen Reaktionsbedingungen gewissermaßen synthetisiert und zugleich eine theoretische Deutung der Komplementbindung versucht. Dabei verdienen die Ansichten TORIKATAS über die bindenden

Fähigkeiten des Komplementes, die von der herrschenden Meinung etwas abweichen, besonderes Interesse. TORIKATA erkennt dem Komplement eine überaus aktive Rolle bei der Reaktion zu, die er geschickt mit Vorgängen bei der Phagocytose in Parallele setzt, wobei er soweit geht, das Komplement als universalen Antikörper und als „Phagocyten im flüssigen Zustande“ zu betrachten. Der ganze Bindungsvorgang spielt sich am Komplement ab und bindende Antikörper im Sinne EHRLLICHs werden nicht anerkannt. Bemerkenswert sind ferner seine Anschauungen über die Antikörper, die als Eiweißkörper, wenn auch mit einem gewissen Lipidanteil, aufgefaßt werden, während die Antigene in ihrem wirksamen Anteil vorwiegend Lipidcharakter besitzen. Bei der durch die TORIKATASche Präzisionsreaktion ermittelten sehr mannigfaltigen Bindungsfähigkeit des Komplements muß bei der Auswahl des Antigens in der Praxis der WaR. besondere Vorsicht walten. Er empfiehlt als optimales Antigen, das frei von unspezifisch bindenden Anteilen ist, das Paraffin. TORIKATA selbst empfiehlt auch seine Solitärkomplementbindungsreaktion, die ohne Antigenzusatz arbeitet zur Syphilisdiagnose.

Besondere Untersuchungen gelten der bei Verwendung nativen Antigens zu beobachtenden *Impedimentserscheinung*, ein Hemmungsvorgang bei Immunitätsreaktionen, der durch Verwendung von Koktoantigen ausgeschaltet werden kann.

Das Buch, dessen Lektüre infolge der Verwendung der zahlreichen, aber wohl durch die Fülle der Versuchsanordnungen entschuldigen Abkürzungen nicht leicht ist, wird sicher das Interesse der Serologen und der Immunitätsforscher überhaupt finden.

R. SCHNITZER, Frankfurt/Main.

Psychologische Mitteilungen.

Gemeinsame Qualitäten des Gesichts und des Gehörs.

Mit dem Ausdruck „spezifische Sinnesenergie“ bezeichnet man seit JOHANNES MÜLLER die Eigenschaft jedes Sinnesorgans, auf jederlei Reiz nur mit ein und derselben ihm eigentümlichen Empfindungsart zu reagieren derart, daß, auch bei geeigneter Reizung, durch das Auge nie Töne, durch das Ohr nie Farben wahrgenommen werden können. Lange bestand die Neigung, das Prinzip in verschiedenen Richtungen stark zu überspannen. So herrscht seit HELMHOLTZ und WUNDT die Ansicht, daß das Wahrnehmungsmaterial jedes Sinnes von dem aller andern qualitativ von Grund aus verschieden sei, daß also etwa eine Farbe und ein Klang keine vergleichbaren Eigenschaften hätten. Anschaulich erlebte feste Zusammengehörigkeiten zwischen bestimmten Gegebenheiten verschiedener Sinne wurden unter diesem Gesichtspunkt als etwas Mystisches, fast Unnatürliches empfunden, wie die Literatur über die sog. „Synästhesie“ deutlich zeigt. Im allgemeinen dachte man diese durchweg als sekundär, auf assoziativem Wege, entstanden. Mag es auch etwa auf die mannigfachen, von Mensch zu Mensch wechselnden Zuordnungen zwischen Farben und Zahlen u. dgl. gelten, daß sie in bestimmten persönlichen Erlebnissen ihren Ursprung haben, so gibt es andere Zuordnungen, die in solcher Allgemeinheit und Beständigkeit beobachtet werden, daß eine derartige Deutung nicht mehr möglich ist. Hierher gehört unter manchem andern die „Wärme“ von Farben und die „Helligkeit“ von Klängen. Besonders für die zweite der genannten Qualitäten machte eine wachsende Anzahl von Tatsachen es immer wahrscheinlicher, daß sie nicht zunächst einem Sinn, etwa dem Sehen, eigentümlich

sei, und erst nachträglich, assoziativ, auch mit bestimmten Gehörerlebnissen in Verbindung gebracht wurde, sondern von Anbeginn beiden Sinnen gemeinsam war. Besonders in pathologischen Fällen erweist sich die Helligkeit als ganz primitive Qualität, die entwicklungsgeschichtlich jedenfalls älter ist als Farben und Töne. Bei schweren Störungen des Farbensinns — bis zum Verlust sämtlicher Farben einschließlich des Schwarz und Weiß — bleibt sie schließlich als einzige Qualität erhalten, solange das Auge überhaupt noch arbeitet. Entsprechendes gilt für das Gehör. Alles Gehörte hat seine bestimmte Helligkeit. Die musikalischen Klänge, die außerdem eine ausgesprochene Tonhöhe haben, sind nur ein kleiner Teil davon, und kein biologisch besonders wichtiger, worauf mit besonderem Nachdruck KÖHLER hingewiesen hat. Amusische, die keine Tonhöhe, kein Intervall, keine Melodie erleben, unterscheiden noch Klänge nach ihrer Helligkeit. Es gibt ein Alter, in dem Kinder spontan von hellen und dunklen Tönen sprechen, während sie mit hoch und tief noch nichts anzufangen wissen. E. v. HORNBOSTEL hat nun in Versuchen, die er in Bd. 4 (1925) der Musikzeitschrift „Melos“ vorläufig erwähnt, den Nachweis führen können, daß nicht nur die Helligkeitsqualität den verschiedensten Sinnen gemeinsam ist, sondern daß sich intersensuelle Helligkeitsgleichungen von allgemeiner Gültigkeit exakt herstellen lassen. Es gelingt, dem Ton einer Stimmgabel auf dem Farbkreis eine bestimmte Farbhelligkeit zuzuordnen. Diese Helligkeit stimmt für Farbtüchtige überein; und wie Herr v. HORNBOSTEL mir ergänzend mitteilt, weicht sie für Farbenblinde in typischer Weise ab, und zwar für Grünblinde in ent-

gegengesetzter Richtung wie für Rotgrünblinde. Die Versuche hierüber werden fortgeführt. Die gefundene Regelmäßigkeit der Zuordnung spricht für einen ursprünglichen inneren Zusammenhang der verglichenen Qualitäten. Sie wäre unerklärlich, wenn sich Assoziationen zwischen bestimmten Helligkeiten von Tönen und Farben auf Grund individueller Erlebnisse nachträglich ausgebildet hätten. Die Einheitlichkeit der Zuordnung optischer zu akustischen Helligkeiten wurde durch A. ARGELANDERS ganz unabhängig angestellte Versuche über Synästhesien (Ber. 9. Kongreß exper. Psychol. Jena 1926, S. 140, und ausführlicher unter dem Titel: *Das Farbenhören und der synästhetische Faktor der Wahrnehmung*. Jena 1927) aus schönster bestätigt. ARGELANDER ließ 10 Versuchspersonen zu 10 Tönen des HORNBOSTELschen Tonometers je eine Farbe des vierundzwanzigteiligen OSTWALDSchen Farbkreises (in je 28 Nuancen) zuordnen. Den tiefen Tönen wurden, wie zu erwarten, dunkle Farben, den hohen Tönen helle Farben zugeordnet. Die mittlere Abweichung der 10 Versuchspersonen betrug dabei bezüglich der Helligkeit der Farbe nur etwas mehr als eine Stufe des OSTWALDSchen farbtongleichen Dreiecks, während für den Farbton die Abweichungen bedeutend größer waren. Aus den übrigen Ergebnissen ARGELANDERS sei noch erwähnt, daß die Vokale ebenfalls mit guter Übereinstimmung den Helligkeiten zugeordnet wurden; und zwar der Zuordnung der Tonometertöne entsprechend derart, daß einer höheren Formantenlage eine größere Helligkeit entsprach.

Helligkeit von Gerüchen. Die Ansicht HORNBOSTELS über das entwicklungsgeschichtliche Alter der Helligkeitsqualität wurde weiter bestätigt durch Versuche von JUHASZ über das, was er „Geruchshöhe“ nennt (Ber. 9. Kongr. exper. Psychol. Jena: Gustav Fischer 1926, S. 178f.), und zwar ausdrücklich in Analogie zur Höhe von Tönen, die ja mit der Helligkeit der Töne im selben Sinne wächst. Der ganzen Sachlage nach spräche man wohl besser von Geruchshelligkeit und setzte diese mit der Helligkeit von Geräuschen statt der Höhe von Tönen in Beziehung. JUHASZ versuchte aus 12 organischen Verbindungen: Amylacetat, Anisaldehyd, Benzaldehyd, Benzylacetat, Bornylacetat, Diphenyläther, Eugenol, Geraniol, Phenylacetaldehyd, Safrol, Salicylsäure-Amylester und Zimtaldehyd eine Helligkeitsreihe zu bilden, und zwar mit 6 Versuchspersonen. Dabei fanden sich 5 Gerüche, die in sämtlichen Versuchen eindeutig eingereiht wurden. Bornylacetat hat danach den hellsten („höchsten“), Diphenyläther den zweithellsten Geruch, Salicylsäureamylolester steht in der Mitte, dann kommt Geraniol als zweitdunkelster und Phenylacetaldehyd als dunkelster („tiefster“) Geruch. Bei der Einreihung sämtlicher Gerüche kommen Schwankungen vor, jedoch höchstens um zwei und nur ausnahmsweise um drei Plätze nach oben oder unten in der Reihe. Nach der Mehrzahl der Aussagen liegt Amylacetat seiner Helligkeit nach zwischen Bornylacetat und Diphenyläther. Benzylacetat und Eugenol etwas tiefer als Diphenyläther. Anisaldehyd und Benzaldehyd liegen über Salicylsäureamylolester, Zimtaldehyd und Safrol darunter, aber noch über Geraniol. Eine Untersuchung über den Zusammenhang der Geruchshelligkeit mit dem chemischen Aufbau war schon 1926 im Gang, ist aber bisher nicht veröffentlicht. Es ist übrigens v. HORNBOSTEL gelungen, die Helligkeit von Gerüchen (z. B. des Flieders) ebenso exakt wie die optische Helligkeit mit der Helligkeit von Tönen zu vergleichen. Zuordnungsversuche zwischen Helligkeit und Temperaturen stehen meines Wissens noch aus; es läßt sich aber leicht voraussagen, daß die Zuord-

nung kalt-hell, warm-dunkel lauten wird und nicht umgekehrt.

Die Haut als Aufnahmeorgan für Musik. Von ganz anderer Seite wird die Einheit der Sinne beleuchtet durch die neueren Arbeiten über den Vibrationssinn der Haut und des Körpers und seine Beziehungen zum Gehör. Daß HELEN KELLER und andere taubblinde und taube Menschen Freude an Musik hatten, die sie z. B. wahrnahmen, wenn sie die Hand auf das Instrument legten, ist schon länger bekannt. KATZ und RÉVÉSZ konnten nun kürzlich einen im Alter von 4 Jahren völlig ertaubten Menschen genauer untersuchen, der erst als 59jähriger seine Fähigkeit, Musik zu hören und zu genießen, entdeckt hat (Musikgenuß bei Gehörlosen, Z. Psychol. 99 (1926)). Hauptresonator scheint in diesem Falle der Brustkorb zu sein, den Reiz stellen die Schwingungen der Luft dar. Erschütterungen der Füße oder der Hände durch unmittelbare Übertragung sind für ihn viel zu stark und darum nur störend. Die Bedeutung dieses Falles liegt darin, daß hier auf ziemlicher Sicherheit eine Annahme ausgeschlossen werden konnte, die bei den früheren Fällen ähnlicher Art nahe lag: daß ihre Gefühlsäußerungen möglicherweise nicht auf dem unmittelbaren Erlebnis, sondern auf irgendwelchem, etwa literarisch erworbenen Wissen um die Bedeutung des Musikstücks beruhten. Überraschenderweise hat der Untersuchte für isoliert vibratorisch dargebotene Frequenzen eine bedeutend geringere Unterschiedsempfindlichkeit, als selbst Normale sie nach GUTZMANN besitzen (im mittleren Bereich ein Ganzton), ganz im Widerspruch zu der Feinheit, mit der er auf verschieden *gestaltetes* vibratorisches Material reagiert, auch dort, wo es sich nicht im Rhythmus, sondern nur in der Melodie oder der Klangfarbe unterscheidet. Das sehr wichtige Problem, das hierin liegt, konnte leider bisher nicht weiter verfolgt werden.

Die Haut als Aufnahmeorgan für die Sprache. Im Sprachunterricht der Taubstummen verfährt man schon lange so, daß man den Schüler die Finger auf den Kehlkopf des Lehrers legen läßt, während dieser einen Laut hervorbringt, und ihn dann mit oder ohne Bestasen des eigenen Kehlkopfes nachbilden läßt, was er empfunden hat. Bei diesem Verfahren dient der Vibrationssinn der Hand nur als Hilfsvorrichtung, die nach der Erlernung des Sprechens wieder beiseite gelassen wird. Der Amerikaner R. H. GAULT hat nun versucht, ob sich die Hand nicht selbst zum Aufnahmeorgan der Sprache ausbilden läßt, und anscheinend mit recht beachtlichem Erfolg. In einem Vorversuch (Sci. Monthly 22 (1926)) wurde durch ein Rohr, das durch mehrere Räume ging, gegen die Handfläche des normalen Beobachters gesprochen. Die 34 benutzten Wörter wurden unterschieden, aber nicht verstanden, wenn sie einzeln hineingesprochen wurden. Eine Auswahl davon wurde auch *verstanden*, wenn sie im *Zusammenhang* sinnvoller Sätze dargeboten wurde. In einem zweiten Versuch wurde ein Telephonhörer verwendet, der so geändert war, daß seine Schwingungen akustisch praktisch unwirksam waren, aber leicht auf einen aufgelegten Finger übertragen werden konnten. GAULT selbst erkannte in dieser Anordnung die einzeln dargebotenen Vokale a, e, i, o, u in 91% aller Fälle. Über die ersten Versuche mit Taubstummen, die zunächst ganz roh die Entwicklungsmöglichkeiten aufweisen sollten, berichtet GAULT, außer in dem schon erwähnten Aufsatz, in den Berichten der Washington Academy of Science 15, 320 (1925) und in School and Society 23, 368 (1926). 15 Taubstumme und sehr schwerhörige Versuchspersonen erhielten im Verlauf einiger Monate wöchentlich 5 mal 25 Minuten Unterricht im „Finger-

hören“ am Telephonempfänger, der mit einem Ansatz auf die Handfläche oder auf die Daumenspitze einwirkte. Benutzt wurden 20 Sätze aus je 6 einsilbigen Wörtern, 27 einzelne, dort nicht vorkommende einbis zweisilbige Wörter, kurze Redewendungen, lange Vokale und Diphthonge. Die vibratorisch dargebotenen Lautgebilde wurden auf einer Wandtafel einige Male gezeigt, und nach einer Pause wurden dann Zuordnungsversuche gemacht. Über das genauere Verfahren muß man in *School and Society* nachlesen; ebenso über die Prozentberechnung der Ergebnisse. Nach einer Übung von 55 Stunden war bei den verschiedenen Versuchspersonen zwischen 41 und 90% Erkennung isoliert taktil dargebotener, geübter Sprachgebilde erreicht. Eine einfache Geschichte und ebenso einzelne Sätze wurden verstanden, auch wenn sie neue Worte enthielten. Im *J. of Applied Psychol.* 10, 75 (1926) wird folgende genauere Prüfung des Ergebnisses 55stündiger Übung beschrieben. Die taktil nicht geübten Namen der Wochentage waren an die Tafel geschrieben und wurden in bunter Reihenfolge vibratorisch dargeboten. Dasselbe wurde für die Monatsnamen, für Namen von Tieren, Früchten, Vögeln, Städten u. dgl. versucht, immer mit ähnlichem Erfolg. Das Ergebnis ist für die Wochentage: Gesamtzahl der Zuordnungen 280; richtige Zuordnungen 161, wahrscheinliche Anzahl bei reiner Zufallsverteilung 40–42; für die Monatsnamen 300 Fälle, 165 richtig, 25–27 wahrscheinlich. Einige Versuchspersonen erzielten bis gegen 100% richtige Zuordnungen. Zum richtigen Verständnis des Durchschnittsergebnisses muß man aber bedenken, daß möglicherweise bei bestimmten Fällen von Taubheit auch der Vibrationssinn gestört ist. — Außer in dem schon genannten Akademiebericht wird in dem *J. abnorm. & soc. Psychol.* 21 (1926) berichtet, was für Maßnahmen getroffen wurden, um jede Mitwirkung des Gehörs auszuschließen. 1. Die Membran des Tasters lag offen, aber unberührt, vor den Versuchspersonen. Dabei ergab die Zuordnung vibratorisch bekannten Materials eine durchaus zufällige Verteilung. Luftleitung zum Ohr ist also ausgeschlossen. 2. Die taktilen Leistungen von Schwachhörigen und völlig Tauben wurden nach kurzer Übung an einem bestimmten Material verglichen. Dabei ergab sich 72% richtig bei den Tauben, 78% bei den Schwachhörigen, d. h. ungefähr gleiche Leistung. 3. Einer Anzahl Schwachhöriger wurden die Hände während des Versuchs in einen schon für Normale durchaus schalldichten Kasten mit Gummimanschetten gesteckt. In den folgenden Quotienten steht an erster Stelle die Prozentzahl der richtigen Erkennungen ohne Kasten, an zweiter dieselbe Zahl mit Kasten: Vokale 80 : 85; Diphthonge 86 : 85; Wörter 59 : 65. Der schalldichte Kasten hat also keinen Einfluß auf die Leistung. 4. In diesen Prüfungen konnte aber immer noch Knochenleitung von der Hand zum Ohr angenommen werden. Diese Annahme wurde u. a. durch folgenden Versuch ausgeschlossen: Einer Anzahl Tauber und Schwachhöriger, die mit den Händen eine Erkennungsleistung von 21–68% hatten, wurde der Empfänger auf die Schläfe aufgesetzt; die Leistungen sanken dann auf 20–30%. An einen Einfluß durch Knochenleitung zum Ohr ist also nicht zu denken; denn dieser hätte die Leistungen — sogar erheblich — verbessern müssen. Es kann sich demnach bei dem Sprachverständnis der Versuchspersonen GAULTS nur um eine Leistung von Sinnesorganen der berührten Körperstellen handeln.

Identität vibratorischer und akustischer Erlebnisse.
Man könnte annehmen, daß die vibratorischen Erlebnisse bei der Darbietung verschiedener Wörter unter-

einander irgendwie verschieden seien, derart, daß eine eindeutige Zuordnung zu gesprochenen Wörtern möglich wäre und infolgedessen auch ein (assoziatives) Lernen, ebenso wie es möglich ist, Buchstaben zu Lauten willkürlich zuzuordnen, obgleich sie von Natur nichts miteinander zu tun haben. Es ist aber auch denkbar, daß zwischen bestimmten erlebten Lautgebilden und den zugehörigen Tastgebilden trotz der Verschiedenheit des Empfindungsmaterials derartige innere Gemeinsamkeiten bestehen, daß sie natürlicherweise als „dieselben“ erlebt werden und man unter Umständen gar nicht weiß, durch welches Organ das Erlebnis vermittelt ist; daß es infolgedessen psychologisch nicht gut möglich ist, willkürlich eine andere Zuordnung zu vollziehen, ohne einen Widerspruch, ein Nichtzusammenpassen zu erleben. Daß die zweite Annahme richtig ist, geht aus mehreren neueren Untersuchungen hervor: Beim Lippenlesen von Taubstummen war nach GAULT das Sprachverständnis um 40 bis über 100% verbessert, wenn gleichzeitig der „Handempfänger“ benutzt wurde. Wie GAULT im *Welfare Mag.* 1927 und in den *Arch. of Otolaryng.* 4 (1926) ausführt, rührt diese auffallende Verbesserung in der Hauptsache daher, daß wesentlichste Züge der Sprache, die dem Gesichtssinn unzugänglich sind, vibratorisch wahrgenommen werden, mehr, daß sie im Vibratorischen gerade die Hauptrolle spielen: Das Dynamische im Satz, die Phrasierung, die Betonung, die Pausen, die Melodie tritt hervor. Die Tauben sind überrascht über diese Eigenschaften der Sprache, die ihnen beim Lippenlesen durchaus monoton vorkam. Erst in zweiter Linie kommt in Betracht, daß einzelne Laute, wie m und b, k und g, s und ß für das Auge identisch sind, vibratorisch aber deutlich verschieden. Neben der Satzmelodie, an der die Tauben nach kurzer Übung fühlen können, um was für eine Art Satz es sich handelt (Bedingung, Einschränkung, Frage usw.), bevor sie noch die einzelnen Worte verstehen, — haben auch die einzelnen Vokale, Diphthonge und bestimmte Vokalkonsonantenverbindungen ihr bestimmtes Gepräge: Sie sind rauher oder glatter, dicker (schwerer) oder dünner (leichter), gleichmäßig oder gebrochen, abgehackt oder auslaufend, sie steigen oder sinken vom Leichten ins Schwere (vgl. auch *Arch. of Otol.* 1 (1926)). Diese Beschreibungen sind identisch mit dem, was man bei der Wahrnehmung durchs Ohr erlebt. Die beste, nach den Angaben der Taubstummen gefertigte, bildliche Wiedergabe findet sich in den *Ann. of Otol.* Sie ist auch dem Normalen, der nie Vokale getastet hat, verständlich. — Entsprechendes fand KIETZMANN (*Z. Psychol.* 101 (1927)). Es wurden Vibrationen einer Leiste getastet, die am andern Ende mit verschiedenen, der Versuchsperson unbekanntem Körpern leicht berührt wurde. Benutzt wurden:

1. Die Spitze eines Taschenmessers.
 2. Zwei verschieden starke stählerne Präpariernadeln.
 3. Die haarfein ausgezogene Spitze eines Glasröhrchens.
 4. Feder am Federhalter.
 5. Holzspan.
 6. Pappwischer.
 7. Filzstück.
 8. Fallende Gummipropfen von 0,2–2,5 g Gewicht.
- 1–4 wurden höher, heller, feiner, leichter. 5–8 wurden tiefer, dunkler, dicker, schwerer genannt.

Aussagen einiger Kinder:

4. „Wie ein Punkt, hüpfend, leicht.“
6. „Schwerfällig, dumpf, dick.“

2. „Spitzig, Stahlspitze.“
3. „Hell und fein wie Glas.“
- 2 und 3. „Der letzte *klang* noch heller als der erste.“

Daß das Gehör nicht mitwirkte, wurde dadurch sichergestellt, daß beim Betasten einer danebenliegenden „Vexierleiste“ die Vibrationen nicht wahrgenommen wurden. Um so überraschender ist die Art der Schilderung der Erlebnisse: 1. Auch für die vibratorischen Erlebnisse ist die Hell-Dunkelreihe eine wesentliche Dimension. 2. Die Erlebnisse können subjektiv nicht mit Sicherheit von akustischen Erlebnissen geschieden werden.

Laut und Sinn. Wie aus den oben berichteten Arbeiten hervorgeht, ist es für die wichtigsten Eigenschaften vieler Erlebnisse unwesentlich, ob diese Erlebnisse aus Tastmaterial oder aus akustischem Material „gebildet“ sind. Und wie aus den Abbildungen GAULTS und aus den Bezeichnungen „dick, dünn, spitz, wie ein Punkt“ usw. hervorgeht, die von KIETZMANNS Versuchspersonen spontan gebraucht wurden, ist es außerdem möglich, solche Erlebnisse in dem Material eines dritten Sinnes, des Gesichts, derart unmittelbar abzubilden, daß sie ohne vorherige Vereinbarung „erkannt“ werden können, d. h. wiederum in hohem Maß *dieselben* sind wie in dem Material der beiden anderen Sinne. Damit wird die Frage nach dem *Ursprung der Worte* als Bezeichnungen grundsätzlich in einer Weise lösbar, die gerade von den besten Sprachforschern, wie W. v. HUMBOLDT, immer wieder in Betracht gezogen wurde, für die aber bis heute die psychologischen Grundlagen fehlten. Es handelt sich um die Ansicht, die Worte seien ursprünglich nicht Lautgruppen, die bestimmten Gegenständen willkürlich zugeordnet worden seien, etwa wie das Wort Ufa eine Filmfabrik bezeichnet oder L die Selbstinduktion; vielmehr seien sie eine *Übertragung* der Erlebnisse und Gegenstände in ein Material, das leicht formbar und stets bei der Hand ist. Die sprachliche Wiedergabe wäre danach ursprünglich nicht eindeutige Zuordnung im Sinne der Logik, sondern Abbildung im lebendigen Sinn der Geometrie. Der Sinn wäre in derart entstandenen Lautgebilden unmittelbar enthalten. Die Durchführung dieses Gedankens scheiterte immer wieder daran, daß man keine Möglichkeit sah, ihn auf etwas anderes als die sprachliche Nachbildung von Gehörserscheinungen anzuwenden, die sog. „Lautmalerei“. Nach Versuchsergebnissen, wie sie oben beschrieben sind, hat v. HORNOSTEL (Festschrift für MEINHOF, 1927) die Frage des inneren Zusammenhangs zwischen Laut und Sinn aufs Neue allgemein angegriffen, mit besonderer Berücksichtigung gerade der Fälle, in denen Nichtakustisches sprachlich bezeichnet ist. Natürlich sind für eine solche Untersuchung Sprachen sehr früher oder sehr primitiver Völker am ergiebigsten; aber es ist doch erstaunlich, wie viel unmittelbar sinnvolle Gebilde auch die europäischen Sprachen noch heute enthalten, trotz des verzerrenden Einflusses der Lautverschiebungen und der schriftlichen Überlieferung und trotz des stets wachsenden Bestandes an willkürlichen, „sinnlosen“ Bezeichnungen. — Einzelheiten können hier natürlich nicht berichtet werden. Nur zweierlei sei hervorgehoben: Wie v. HORNOSTEL an vielen Beispielen nachweist, bedeuten die primitiven Lautgebilde stets sehr viel auf einmal: nämlich immer sämtliche einander entsprechenden Inhalte aller möglichen Wahrnehmungs- oder Seinsgebiete. Es ist nicht so, daß eine Bedeutung in einem Seinsgebiet entstanden und nachträglich auf andere „übertragen“ worden wäre. „Die Bedeutungsentwicklung geht nicht durch Abstraktion vom Besonderen zum Allgemeinen, sondern durch

Differenzierung (Spezialisierung) vom Allgemeinen zum Besonderen“, ganz entsprechend der Vernetzung und Spezialisierung der Glieder gegenüber dem Ganzen in der Entwicklung eines Lebewesens. Zweitens: Lautliche Verwandtschaft gleichbedeutender Worte in verschiedenen Sprachen darf nur unter ganz bestimmten Bedingungen als Anzeichen der Entlehnung oder der Sprachverwandtschaft betrachtet werden: Nämlich nur dann, wenn die lautliche Verwandtschaft solche Worte betrifft, die infolge Lautwandels oder aus sonstigen Ursachen nachweislich keine „Abbildung“ mehr, nicht mehr unmittelbar akustischer Ausdruck ihres Sinnes sind. Beim Fehlen anderer Beweismittel kann das übrige mit beträchtlicher Sicherheit im unwissenschaftlichen Zuordnungsversuch festgestellt werden. — v. HORNOSTELS Untersuchung ist natürlich erst ein Anfang. Bei der Durchführung seines Programms müssen noch viele psychologische und entwicklungs-geschichtliche Einzelfragen gelöst werden. — In unveröffentlichten Versuchen von WERTHEIMER hat sich inzwischen schon ergeben, daß die Entstehung der Schrift in derselben Weise zu verstehen ist: In ursprünglichen Schriften sind nicht nur die Zeichen für Raumbilder Abbildungen des Wesentlichen, wie schon immer bekannt war. Sondern, wie sich experimentell nachweisen läßt, ist auch Außeräumliches, Vorgänge, Subjektzustände usw., dort überwiegend in derselben Weise im Optischen „abgebildet“, wie Außerakustisches in der Sprache.

Drucksinn und Vibrationssinn. Über das Verhältnis der Vibrationswahrnehmung zur Druckwahrnehmung ist trotz vieler eingehender Untersuchungen noch wenig Endgültiges bekannt. KATZ hat auf Grund seiner Versuche Verschiedenes gegen die Annahme vorgebracht, daß die Wahrnehmung von Vibrationen eine Leistung des Drucksinnes sei, derart, daß sie etwa der Flimmerwahrnehmung des Auges entspräche (Vibrationssinn, Jerusalem 1923; Aufbau der Tastwelt, Leipzig 1926). 1. Während das optische Flimmern zweier Helligkeiten durch gemeinsamen Helligkeitszusatz geschwächt und ausgelöscht wird, bleibt eine Vibrationsempfindung bei Vermehrung des Drucks auf die Hand von 5 g auf 5000 g unverändert. 2. An Körperstellen mit den verschiedensten Druck- und Raumschwellen (Finger und Zehe) besteht kein entsprechender Unterschied in der Empfindlichkeit für Vibrationen. 3. Bei Bedecken des Fingers mit Kollodium oder Leukoplast wird die Druckschwelle erheblich erhöht, die Vibrationsempfindung dagegen nicht wesentlich beeinträchtigt. 4. Der Drucksinn stellt sich im Erlebnis als Vorform des Gesichtsinns dar. In beiden gibt es das Erlebnis der *Ruhe*, Vorgangserlebnisse treten nur bei makroskopischen Veränderungen (Verschiebungen) der Reize auf. Der Vibrationssinn dagegen stellt sich als Vorform des Hörens dar: auch bei andauernd gleichbleibender Reizung werden in beiden stets nur *Vorgänge* erlebt. Obgleich sich noch mehr in diese Richtung weisendes vorbringen läßt (z. B. daß beim Drucksinn und beim Gesicht Nachbilder auftreten, die dem Vibrationssinn und dem Gehör gewöhnlich fehlen), ist es aber noch ganz ungewiß, ob der Vibrationssinn und der Tastsinn gesonderte, unabhängige Aufnahmeorgane besitzen, oder, wie von FREY angenommen (Psychol. Forschg 3 (1923)), im Sinne der Gestalttheorie verschiedene Reaktionsweisen eines und desselben Organs auf verschiedene Reizformen darstellen.

Einige neuere Befunde über die Leistungsgrenzen des Vibrationssinns. Der Vibrationssinn spricht auf einen Bereich von Schwingungszahlen an, der in den akustisch wirksamen fällt, aber enger ist. KATZ hatte

schon vor längerer Zeit festgestellt, daß für die Finger die untere Grenze jedenfalls unter 50 Schwingungen, die obere über 500 liegt. Nach neueren Versuchen von GAULT (J. of the Franklin Institute 1927) fällt die untere Grenze des Frequenzbereichs für die Finger mit derjenigen des Hörens (etwa 16 Schwingungen) zusammen; nach oben hin konnte die taktile Wahrnehmung von Frequenzen bis 2700 gesichert werden. — Die *kleinsten vibratorisch wahrnehmbaren Schwingungen* haben D. KATZ und F. NOLDT mikroskopisch ausgemessen (Z. Psychol. 99 [1926]). Sie benutzten ein schweres System, das mit einer Stimmgabel fest verbunden war, die 50 Schwingungen in der Sekunde ausführte. Die Schwingungsweite wurde mit einem Widerstand reguliert Als Beobachtungsobjekt dienten die Lichtpünktchen, die bei Dunkelfeldbeleuchtung an einem mit Schmirgelpulver leicht angeschrammten Objektträger im Mikroskop sichtbar sind, und die bei gut geregelter Schwingung sich in kleine Striche verwandeln. Aus technischen Gründen mußte der prüfende Finger jedesmal vor der mikroskopischen Beobachtung entfernt werden. Da er auch bei leisestem Auflegen als Dämpfer wirkt, sind also die gemessenen Werte etwas zu groß. Sie haben für KATZ den erstaunlichen Wert von $0,6-0,9 \mu$, für NOLDT sogar nur etwa $0,3 \mu$, jedenfalls also unter $\frac{1}{1000}$ mm. Diese Zahlen stimmen gut überein mit den kleinsten Höhenunterschieden, die ein angeätztes Glas von einem glatten unterscheiden lassen. KATZ berechnet diese (*Aufbau der Tastwelt*, S. 108f.) auf unter $\frac{1}{1000}$ mm. Die Rauigkeit wird ja, wie KATZ nachgewiesen hat, ebenfalls allein durch den Vibrationssinn wahrgenommen; sie ist nur bei bewegtem Tastorgan bemerkbar.

Akustische und vibratorische Richtungswahrnehmung. Seit den Versuchen von HORNBOSEL und WERTHEIMER (Berl. Akademieber. 1920) ist bekannt, daß wir den Schall auf der Seite wahrnehmen, wo das Ohr zuerst von der Wellengruppe getroffen wird. Ihre Richtung ist um so weiter aus der Mediane gedreht, je größer der Zeitunterschied ist. Bei gleichmäßiger Dauerreizung tritt für diesen Zeitunterschied die Phasenverschiebung ein, so daß bei Tönen von wachsender Schwingungszahl, also abnehmender Schwingungsdauer, der Bereich möglicher seitlicher Verlagerung immer enger wird. Der Schall erscheint im allgemeinen eben seitlich bei einem Wegunterschied von 1 cm, was einem Zeitunterschied von $0,030$ ($\frac{3}{100000}$ Sekunde) entspricht. Im KATZschen Institut wurden von KIETZMANN Versuche angestellt, um zu prüfen, ob auch der Vibrationssinn der Haut auf ungleichzeitig eintreffende Vibrationsstöße in ähnlicher Weise anspricht (Z. Psychol. 101 [1927]). Die Versuche gingen von der Beobachtung aus, daß Gehörlose, ohne hinzusehen, über die Richtung, aus der eine Erschütterung des Fußbodens durch Stampfen herkommt, oft überraschend gut Bescheid wissen. In einer Nachprüfung mit 5 Versuchspersonen bestätigte sich das: Es wurden Beobachtungen gemacht 1. mit seitlich auseinandergestellten Füßen und seitlicher Richtung, 2. ebenso, mit den Richtungen vorn-hinten, 3. mit einem Fuß vorn und einem Fuß hinten und den Richtungen vorn-hinten; in jeder Anordnung an 3 aufeinanderfolgenden Tagen je 10 Beobachtungen. Die Anzahl der richtigen Urteile vom jeweils letzten Tag ist folgende:

1. Anordnung: 10, 10, 10, 4, 10.
2. Anordnung: 3, 6, 6, 8, 2.
3. Anordnung: 10, 9, 9, 9, 10.

Diedurch Übung nicht zu überwindende Unsicherheit in der 2. Gruppe stimmt mit der Unsicherheit der Vorn-

Hintenlokalisation beim Hören überein und ist einfach daraus zu verstehen, daß das Zeit-(Intensitäts-)Gefälle zwischen beiden Aufnahmeorganen dabei unverändert gleich 0 ist. Ferner prüfte KIETZMANN, ob die Richtung, in der eine Schwingung sich durch eine Holzstange fortpflanzt, vom Normalen wahrgenommen werden kann. Die Schwingungen wurden durch leises Klopfen auf die Enden zweier weiterer Stangen erzeugt, die mit der ersten Stange fest zu einem hinten offenen Dreieck verbunden waren, so daß akustische Reize, die trotz aller getroffenen Sicherungsmaßnahmen etwa das Ohr der Versuchsperson erreichen sollten, stets aus derselben Richtung (genau von hinten) kamen. Wenn die Hände in 1 m Abstand und auch noch, wenn sie dicht nebeneinander auf der Stange lagen, wurde die Richtung von 6 Versuchspersonen in sämtlichen 120 Fällen richtig angegeben; mit *einer* Hand auf der Mitte der Stange waren von je 20 Urteilen immer noch 19, 17, 16, 18, 20, 20 richtig. KIETZMANN berechnet den Zeitunterschied in seinem Versuch mit 1 m Abstand auf $0,2 \sigma$, ohne Abstand (d. h. mit 20 cm Abstand der beiden kleinen Finger) auf $0,04 \sigma$, mit einer Hand auf $0,02 \sigma$. Die hier auftretenden Zeitunterschiede sind also etwa dieselben, teilweise sogar noch kleiner als diejenigen, die bei der akustischen Richtungswahrnehmung des Menschen wirksam sind. Ein Versuch, mit 2 getrennten geräuschlosen elektrischen Vibratoren nach NOLDT (Z. Psychol. 100 [1927]) in beiden Händen durch Kontaktvorrichtungen ähnliche Wirkungen hervorzubringen, führte zu wertvollen Feststellungen über die Erscheinungen bei allmählicher Herabsetzung des Zeitunterschiedes, die genau übereinstimmen mit dem, was man akustisch unter entsprechenden Bedingungen wahrnimmt: bei 20σ Abstand werden noch 2 getrennte Stöße wahrgenommen, bei 10σ fehlt der Zeitunterschied im Erlebnis, statt dessen wird der Stoß auf einer Seite stärker erlebt, oder er „springt von links nach rechts hinüber“. Bei 2σ wird nur noch ein Stoß aus der Richtung des früheren Reizes erlebt. Die damalige Anordnung erlaubte leider nicht, bis in den Größenbereich hinunterzugehen, der beim Stangenversuch in Betracht kam. Neue Versuche mit verbesserten Vorrichtungen sind in Aussicht gestellt.

Die Rolle des Intensitätsunterschiedes bei akustischer und vibratorischer Richtungswahrnehmung. Die Wirkung des Zeitunterschiedes läßt sich im Akustischen durch Intensitätsunterschiede bis zu einem gewissen Maß kompensieren, wie besonders WITTMANN Arch. f. Psychol. 51) gegen WERTHEIMER hervorgehoben hat. Hierzu sind aber Intensitätsunterschiede nötig, die unverhältnismäßig viel größer sind als die Zeitunterschiede; außerdem ergeben Intensitätsunterschiede nur eine verhältnismäßig grobe Unterscheidung zwischen links und rechts, während der Zeitunterschied klar bestimmbare Winkelabweichungen von der Mediane zur Folge hat, derart, daß man selbst 10 gleichzeitige Töne in richtiger Anordnung auf rechts und links verteilen kann (BALEY, Z. Psychol. 70). Nach dem heutigen Stand der Untersuchung darf man also den Zeitunterschied als adäquaten akustischen Richtungsreiz betrachten; die Frage ist aber noch nicht endgültig gelöst. — Auch beim Vibrationssinn erwies es sich als möglich, Zeitunterschiede durch Intensitätsunterschiede zu kompensieren. Ein Versuch KIETZMANNs mit eben merklicher Zeitdifferenz (20σ) zweier Vibrationsstöße deutet eine mögliche Lösung der Intensitätsfrage an: Wurde der zunächst gleichstarke vorangehende Reiz geschwächt, so war unter einer bestimmten Stärke der Zeitunterschied nicht mehr wahrnehmbar, bei weiterer Schwächung trat wieder

Zweiheit des Eindrucks auf, der objektiv frühere schwache Stoß *erschien aber an zweiter Stelle*. Insofern sich also objektive Intensitätsunterschiede physiologisch in Zeitunterschiede umsetzen können — was auch schon vom Optischen her bekannt ist (z. B. aus PULFRICH'S Versuchen über stereoskopische Photometrie vgl. auch HAZELHOFF und WIERSMA, Z. Psychol. 97, [1925]), ist eine einheitliche Zeittheorie des Richtungshörens mindestens denkbar, die auch die von WITTMANN dagegen geltend gemachten Erscheinungen umfaßt.

Die kleinsten im Nervensystem wirksamen Zeitunterschiede. Die Beobachtung KIETZMANN'S, daß Zeitunterschiede von der unvorstellbaren Kleinheit von $0,02 \sigma$, also Zeitunterschiede, die akustisch beim Menschen keine Wirkung mehr haben, vibratorisch noch eine eindeutige Richtungswahrnehmung hervorgerufen können, führte zu der Frage, welches überhaupt die kleinsten wirksamen Zeitunterschiede sind. Unter gewöhnlichen Bedingungen ist dieser Unterschied bei gegebener Lage der Tonquelle und des Kopfes vom Abstand der Ohren, d. h. von der Breite des Kopfes abhängig. Versuche an Tieren mit verschiedener Kopfbreite mußten also hier Aufklärung verschaffen. Solche Versuche wurden unter der Leitung von KATZ von W. ENGELMANN an Hunden, Katzen und Hühnern vorgenommen (Z. Psychol. 105 (1928)). Die sinnreiche Art, in der alle aus der Gesichts- oder Geruchswahrnehmung stammenden Fehlerquellen ausgeschlossen und die Versuche der Lebensweise der Tiere angepaßt wurden, kann hier nicht auseinandergesetzt werden. Ebenso muß ich von einem Bericht über die wertvollen Ergebnisse zur Höhen- und Entfernungswahrnehmung, zur Frage der Intensität und der absoluten Schwelle für Geräusche absehen. Der durchschnittliche Ohrenabstand ist beim Menschen etwa 14 cm, bei den drei benutzten Hunden 13, 12 und 9 cm, bei der Katze 7, dem erwachsenen Huhn 3 und den Kücken 1,5 cm. Man sollte also eine Abnahme der Leistungen in dieser Reihenfolge erwarten. Wir geben die wesentlichen Ergebnisse tabellarisch.

	Ohrenabstand cm	Untere Grenze der Richtungs- unterscheidung	Wirksame Zeitdifferenz σ
Versuchsperson Wilh. E.	14	$5^{\circ} 43'$	—
Versuchsperson Wald. E.	14	$5^{\circ} 43'$	—
Versuchsperson Hellwald	14	$4^{\circ} 18'$	—
Hund Asta	13	$2^{\circ} 9'$	0,014
Hund Senta	12	$3^{\circ} 35'$	0,022
Hund Fritz	9	$1^{\circ} 26'$	0,007
Katze Muschi	7	$0^{\circ} 48'$	0,0028
Glucke C	3	$1^{\circ} 55'$	0,003
Kücken	1,5	$2^{\circ} 9'$	0,0016

Die kleinste, von ENGELMANN gefundene wirksame Zeitdifferenz besitzt demnach das Tier mit dem kleinsten Ohrenabstand mit $1,6 \cdot 10^{-6}$ sec. KATZ bemerkt dazu: „Damit eine solche Zeitdifferenz wirksam werden kann, müssen sich die Erregungsvorgänge in den perzipierenden Sinnesorganen, in den zentripetalen Nerven und in gewissen Teilen des zentralen Nervensystems mit einer Konstanz abspielen, die man bis jetzt nicht vermutet hätte.“ Diese Konstanz nimmt ab mit zunehmender Kompliziertheit des Nervensystems. Nur so ist es erklärlich, daß der Mensch z. B. einen Richtungshörer mit 75,2 cm Abstand der Hörmuscheln brauchte, um die Leistungen der Katze zu erreichen. — Entsprechende Versuche mit noch kleineren Tieren, etwa Insekten, in deren Leben vibratorische Vorgänge oft eine große Rolle spielen, dürften noch überraschende Ergebnisse zeitigen. Hier sei nur noch andeutend auf die Beobachtungen von GRÜNBAUM (Psychol. Forschg. 9 (1927)) hingewiesen, nach denen Spinnen die Richtung, von der Erschütterungen ihres Netzes ausgehen, nur dann erkennen, und überhaupt nur dann darauf reagieren, wenn mindestens 2 Stellen ihres Körpers gereizt werden. Im allgemeinen handelt es sich um Reizung eines Beines und der Hinterleibsspitze. Die Reaktion ist von außerordentlicher Genauigkeit. Nur unter bestimmten ungewöhnlichen Umständen kommen (wie beim Hören des Menschen) Verwechslungen von vorn und hinten vor. W. METZGER.

Astronomische Mitteilungen.

Der Andromedanebel. Seitdem die beiden großen Reflektoren auf dem Mt. Wilson in den Dienst der astronomischen Forschung gestellt worden sind, hat unsere Erkenntnis über das Wesen der Spiralnebel beachtenswerte Fortschritte gemacht, obgleich wir uns auch heute noch trotz der großen Lichtstärke der genannten Instrumente bei vielen Untersuchungen auf die hellsten Nebel beschränken müssen.

Einen wichtigen Beitrag auf dem Gebiete der Nebelforschung liefert E. HUBBLE im Astrophys. J. 69, 103 mit einer Arbeit über den Andromedanebel, der auch unter der Bezeichnung M31 bekannt ist. In ihr faßt der Verfasser das ganze auf dem Mt. Wilson im Laufe der Jahre gesammelte Material zusammen, wobei die wichtige, schon oft diskutierte Frage nach der Entfernung dieses Objektes im Mittelpunkt steht.

Der Andromedanebel erscheint dem bloßen Auge als schwacher Lichtfleck von der Helligkeit 5. Größe in einer Ausdehnung von etwa $30' \times 15'$, während langbelichtete Platten die Spiralarme auf einer Fläche von $160' \times 40'$ erkennen lassen. Die Aufmerksamkeit der Beobachter wurde 1885 auf ihn hingelenkt durch das Aufleuchten eines neuen Sternes in der Nähe seines Kerns, der im Maximum seiner Helligkeit die 8. Größe erreichte. 1899 erhielt SCHEINER in Potsdam das erste photographische Spektrum, das sich als vom Sonnentypus herausstellte, woraus er schloß, daß das nebelige

Gebilde in Wirklichkeit gar kein Nebel etwa von der Art des Orionnebels ist, sondern als Ansammlung von Sternen aufgefaßt werden muß, die wir nur infolge der großen Entfernung nicht voneinander trennen können. Von verschiedenen Seiten wurde später die Radialgeschwindigkeit des Nebels zu etwa — 300 km/sec bestimmt, und auch eine Rotation des Objektes konnte auf spektrographischem Wege aus der Neigung der Spektrallinien nachgewiesen werden, wenn der Spalt des Spektrographen parallel der großen Achse des Nebels gestellt wird.

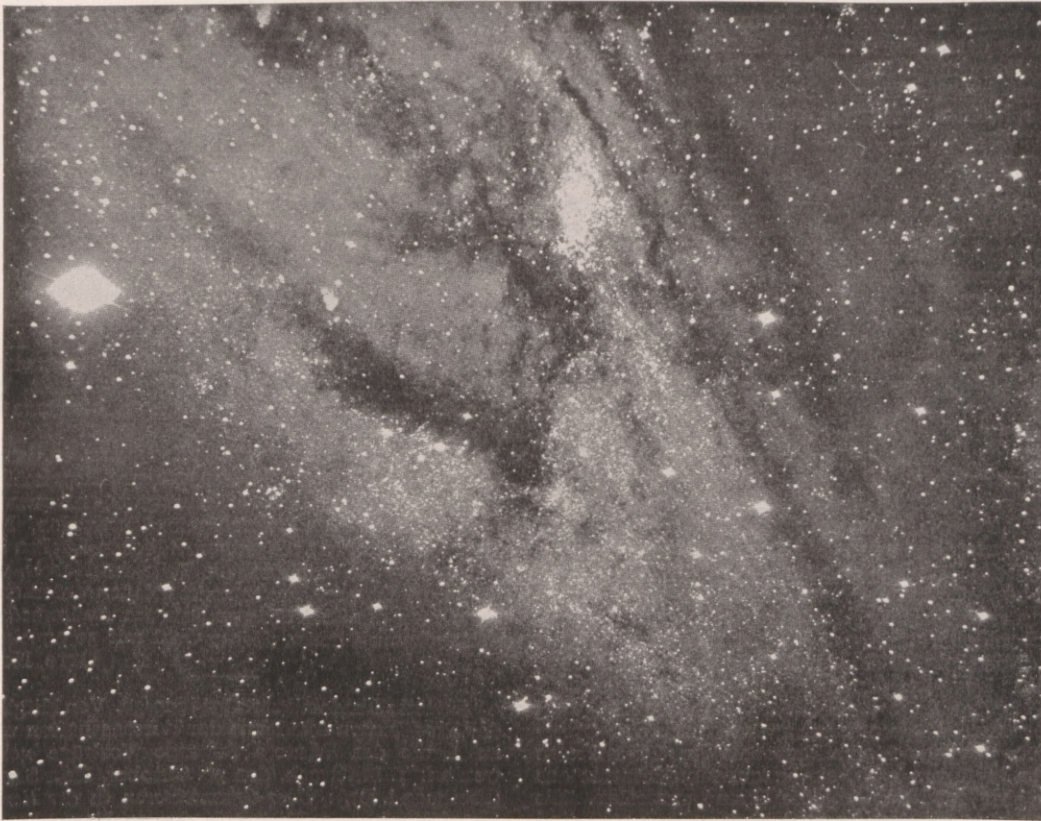
Einen neuen Anstoß erhielt die Untersuchung von M31 durch die Aufnahmen, welche RITCHEY mit dem 60-Zöller auf dem Mt. Wilson erhalten hat. Er entdeckte 1917 zwei schwache neue Sterne, die offenbar zu dem Nebel gehörten. Dadurch war der Anlaß zu einer speziellen Überwachung von M31 gegeben, und im Laufe der Zeit sind auf dem Mt. Wilson noch weitere 82 neue Sterne im Andromedanebel gefunden worden. Während dieser Untersuchungen fand HUBBLE 1923 zwei Veränderliche, die sich als Cepheiden herausstellten. Gleichzeitig zeigten Aufnahmen, welche auf die äußeren Teile des Nebels zentriert waren, die äußeren Spiralarme aufgelöst in ein Gewimmel von Sternen, wie aus der beigefügten Abbildung zu erkennen ist. Damit war ein neues Feld der Nebelforschung eröffnet: die Untersuchung einzelner Sterne in Spiralnebeln, eine

Arbeit, welche hauptsächlich mit dem 100-Zöller durchgeführt worden ist.

Das Beobachtungsmaterial, welches HUBBLE bei seiner Arbeit benutzt, besteht aus etwa 270 Platten, die sich auf einen Zeitraum von 18 Jahren verteilen. Aus dem Jahre 1909 liegen 10 Aufnahmen vor, von den nächsten 8 Jahren sind nur 3 brauchbare Platten vorhanden, aber von 1917 ab ist das Beobachtungsmaterial gut verteilt. Bis 1920 wurden die Aufnahmen mit dem 60-Zöller gemacht, von dann ab kam auch der 100-Zöller zur Verwendung. Die Belichtungszeiten für gute Aufnahmen betragen bei dem kleineren Instrument etwa

Maxima zwischen 18.1 und 19.3 Größe. Ein Stern bildet eine auffällige Ausnahme, seine Periode beträgt 175 Tage. In bezug auf die Verteilung der Perioden zeigt sich, daß die Zahl der Cepheiden mit abnehmender Periodenlänge zunimmt und eine Grenze bei ungefähr 17 Tagen erkennen läßt; nur 5 Sterne mit kürzeren Perioden sind aufgefunden worden. Auch einige schwächere Cepheiden sind gefunden worden, deren Lichtkurven noch nicht bestimmt werden konnten; ihre Perioden liegen wohl unter 10 Tagen. Bei der Untersuchung der Abhängigkeit der Periodenlänge von der Helligkeit sind die Helligkeiten im Maximum benutzt

4



Südlicher Teil des Andromedanebels, die Auflösung der Spiralarme in Sterne zeigend. Aufnahme von *Duncan* mit dem 100-zölligen Reflektor des Mt. Wilson Observatoriums. Belichtungsdauer 2 Stunden.

60 Minuten, bei dem größeren Spiegel 30—40 Minuten; gelegentlich wurden die Platten aber auch bis zu 5 Stunden und mehr belichtet. Da die brauchbaren Felder der Instrumente Radien von nur 12' bis 15' haben, mußten die Aufnahmen auf verschiedene Teile des Nebels zentriert werden. Es sind vier Gegenden speziell untersucht worden, die etwa 40% der Gesamtfläche des Nebels bedecken.

Das meiste Interesse bieten die aufgefundenen Veränderlichen. HUBBLE hat bis jetzt 50 entdeckt, wovon 40 zu den Cepheiden zu rechnen sind. Von diesen sind die Lichtkurven bestimmt worden, die in ihrer Form den Lichtkurven der Cepheiden des Sternsystems nahe gleich sind. Die Perioden liegen zwischen 10 und 48 Tagen, die scheinbare photographische Helligkeit der

worden, weil die Helligkeiten im Minimum infolge fehlender Vergleichsternhelligkeiten extrapoliert und daher unsicher sind. Die Cepheiden im Andromedanebel zeigen die gleiche Abhängigkeit der Periode von der Helligkeit wie sie von den Cepheiden des engeren Sternsystems und in nichtgalaktischen Systemen, z. B. der kleinen Magellanischen Wolke, bekannt ist. Die Neigung der Kurve ist fast die gleiche wie für die Cepheiden der kleinen Magellanischen Wolke. Um eine Deckung der Kurven zu erzielen, ist jedoch wegen der verschiedenen Entfernungen beider Objekte eine Verschiebung des Perioden-Helligkeitsdiagramms des Andromedanebels um 4.65 Größenklassen nötig. Auch in den beiden nichtgalaktischen Systemen N.G.C. 6822, einem Gebilde, daß den Magellanischen Wolken in

seinem Aufbau ähnlich ist, und dem Spiralnebel M33 sind Cepheiden gefunden und untersucht worden. Die Zusammenfassung der Variablen dieser vier Systeme zu einem einzigen Perioden-Helligkeitsdiagramm zeigt eine zwanglose Einordnung der Sterne der einzelnen Systeme in ein einheitliches Bild, das deutlich die universelle Gültigkeit der Beziehung zwischen Periode und Helligkeit auch für die Cepheiden der nichtgalaktischen Systeme erkennen läßt.

Aus dem vorstehend erwähnten Betrag von 4.65 Größenklassen, um den die Sterne des Andromedanebels schwächer erscheinen als gleichartige Sterne der kleinen Magellanischen Wolke, folgt die Entfernung von M31 zu der 8.5fachen derjenigen der kleinen Magellanischen Wolke. Mit der von SHAPLEY früher abgeleiteten Differenz der scheinbaren und absoluten Größen der Cepheiden der kleinen Magellanischen Wolke $m-M = 17.55$ ergibt sich für den Andromedanebel $m-M = 22.2$, woraus dessen Entfernung zu 275000 Parsec oder 900000 Lichtjahren folgt. Der relative Wert der Entfernungen dieser beiden Objekte ist verhältnismäßig sicher, die genannte absolute Distanz von M31 ist jedoch abhängig von dem Nullpunkt des SHAPLEYschen Perioden-Helligkeitsdiagramms, von dem es zwar scheint, daß er nahe richtig ist, der aber immerhin durch neueres, vermehrtes Material über galaktische Cepheiden noch geändert werden könnte.

Besondere Beachtung verdienen die Veränderlichen, welche nicht zu den Cepheiden zu rechnen sind; sie zeigen bemerkenswerte Eigenschaften. Sechs Sterne sind langperiodische oder unregelmäßige Veränderliche. Sie gehören mit zu den hellsten Sternen des Nebels, ihre absoluten Größen erreichen den Wert -6^m9 . Danach sind die Sterne sicher Riesen, ja sogar Übergiganten. Einer von ihnen ist deutlich rot gefärbt, doch wenigstens drei scheinen ihren Farbenindizes nach, die kleiner als 0^m2 sind, zu den früheren Spektralklassen zu gehören. Die Größenordnung der Perioden beträgt 5–7 Jahre, während die Helligkeitsschwankung nur etwa 1 Größenklasse beträgt. Sterne dieser Art sind bisher in unserem engeren Sternsystem nicht bekannt.

Neben den Veränderlichen spielen die neuen Sterne im Andromedanebel eine große Rolle. Die schon oben erwähnte Nova aus dem Jahre 1885, die im Maximum ihrer Helligkeit die 8. Größe erreichte, nimmt wohl eine Sonderstellung unter den neuen Sternen ein. Systematische photographische Beobachtungen neuer Sterne in M31 begannen 1917, als RITCHEY auf Platten aus dem Jahre 1909 zwei solcher Sterne entdeckte. Bis 1922 wurden noch weitere 19 gefunden, seit 1923 sind von HUBBLE noch 63 entdeckt worden. Für das Studium der Novae des Andromedanebels stehen etwa 300 Platten zur Verfügung. Der größte Teil der Aufnahmen ist auf die zentralen Teile des Nebels zentriert, doch sind auch Platten der Randpartien vorhanden. Die Bezeichnung „Novae“ für diese Sterne ist gerechtfertigt wegen ihres Verhaltens, das dem der neuen Sterne des Sternsystems vollkommen entspricht. Die Sterne leuchten plötzlich auf, werden langsam schwächer und verschwinden schließlich ganz. In den 85 bekannten Fällen ist kein einziger in den 18 Jahren wieder erschienen, welche durch die Beobachtungen auf dem Mt. Wilson überdeckt werden. Im Maximum ihres Lichtes sind die Novae mit die hellsten Objekte im Nebel und übertreffen die Cepheiden um etwa 2 Größen-

klassen. Von mehreren Sternen konnten die Lichtkurven vor und nach dem Helligkeitsmaximum erfaßt werden. Es ist steiler Anstieg zum Maximum vorhanden, z. B. betrug die Helligkeitsänderung bei zwei Sternen innerhalb von 4 Stunden 0.7 Größenklassen. Die Schnelligkeit des Anstieges ist völlig vergleichbar mit der bei den neuen Sternen des engeren Sternsystems. Das mittlere Helligkeitsmaximum der Novae des Nebels liegt bei etwa 16^m4 , nach 10 Tagen hat die Helligkeit auf 17^m1 abgenommen. Nur zwei Maxima sind beobachtet worden, die schwächer als 17^m5 sind. HUBBLE findet aus der Diskussion der Häufigkeit der Helligkeitsmaxima, daß die Sterne alle sehr ähnliche Objekte sein müssen, deren Helligkeiten im Maximum sich bis auf etwa eine halbe Größenklasse angeben lassen. Unter Verwendung der aus den Cepheiden gefundenen Entfernung von M31 ergibt sich die absolute Größe der Novae im Helligkeitsmaximum zu -5^m7 , ein Wert der gut übereinstimmt mit der von LUNDMARK kürzlich angegebenen mittleren absoluten Helligkeit -6^m1 für die galaktischen Novae in ihrem Maximum.

Die Verteilung der neuen Sterne über die Fläche des Nebels folgt im allgemeinen der Helligkeitsverteilung innerhalb des Nebels. Wenig Novae sind gefunden worden in den Teilen zwischen den Spiralarmen. Eine Konzentration in der Gegend des Kernes ist auffällig, doch sind innerhalb $4'$ vom Kern außer der hellen vom Jahre 1885 nur drei weitere gefunden worden. Der Teil zwischen $4'$ und $8'$ Abstand vom Zentrum ist am meisten bevorzugt; hier sind 28 neue Sterne aufgetaucht. Weiter nach außen nimmt die Häufigkeit des Auftretens immer mehr ab.

Die Beobachtungen der letzten Jahre, in denen die Überwachung des Nebels mit größerer Regelmäßigkeit ausgeführt worden ist als früher, zeigen, daß etwa 16 bis 17 neue Sterne pro Jahr aufgefunden werden. Nimmt man Rücksicht auf die unvermeidlichen Lücken in den Beobachtungen sowie auf die Teile des Nebels, welche durch die Beobachtungen nicht erfaßt worden sind, so kann man die Zahl der pro Jahr im Andromedanebel auftauchenden neuen Sterne wohl mit 30 angeben.

OTTO KOHL.

Berliner Akademievorträge 1929/30. Von Mitgliedern der Preußischen Akademie der Wissenschaften werden im Laufe des Winters folgende Vorträge gehalten werden: 1. Mittwoch, den 30. Oktober, Herr SPemann (Freiburg i. Br.): *Über Organisatoren in der tierischen Entwicklung.* — 2. Mittwoch, den 27. November, Herr VON LAUE: *Die Raumgitter der Krystalle und ihre Verwendung in der neueren Physik.* — 3. Mittwoch, den 18. Dezember, Herr JOHNSen: *Über den Unterschied zwischen Mineralien und Lebewesen.* — 4. Mittwoch, den 22. Januar, Herr GOLDSCHMIDT: *Das Grabschiff der Königin in Aasa.* — 5. Mittwoch, den 19. Februar, Herr VON HARNACK: *Einige wenig bekannte Worte Jesu.* — 6. Mittwoch, den 12. März, Herr WILCKEN: *Ein Blatt aus der antiken Wirtschaftsgeschichte.*

Die Vorträge finden sämtlich im Festsaal der Akademie statt und beginnen pünktlich um $7\frac{1}{2}$ Uhr. Eine Karte für die ganze Reihe kostet 10.— RM, für den Einzelvortrag 2.— RM; Stehplätze für Studierende je —.50 RM. Die Karten sind bei dem Pförtner der Akademie, Unter den Linden 38, zu beziehen.