Schon die Tatsache, daß eine einfache Beziehung der Blutmenge eines Tieres zu seinem Körpergewicht nicht für beide Geschlechter in gleicher Weise besteht, warnt eindringlich vor einer Überschätzung jeder Formel, die die Blutmenge als Funktion der absoluten Größe darstellt und damit alle anderen Faktoren vernachlässigt, die auf diese Größe einwirken. Trotzdem bleibt es ein Verdienst von *Dreyer*, *Ray* und *Walker*, darauf hingewiesen zu haben, daß auch für die Blutmenge die absolute Größe einen wichtigen Faktor darstellt, den man hier wie bei so vielen anderen Funktionen oder Eigenschaften bisher kaum berücksichtigt hat.

Die modernen Brillengläser und ihre Stellung in der technischen Optik.

Von Prof. Dr. M. von Rohr, Jena.

In dem Artikel „Richtlinien in der Entwicklung, Erkenntnis und Wertung der optischen Instrumente“¹⁾ waren die Brillengläser ausdrücklich aus dem Begriff der optischen Instrumente ausgeschlossen worden und zwar deshalb, weil sie nur im engsten Anschluß an das zu unterstützende Auge behandelt werden könnten. Ihre theoretische Durcharbeitung wird darum so spät — im wesentlichen in den ersten Jahren des zwanzigsten Jahrhunderts — vollendet, weil dabei von dem konstruierenden Optiker eine Reihe von Kenntnissen gefordert wurden, die ihm erst durch den Einfluß des schwedischen Ophthalmologen *Allvar Gullstrand* nahegebracht worden sind. In weiterer Übereinstimmung mit dem bereits angeführten Artikel soll in diesem Aufsatz auch streng an dem einäugigen Gebrauch festgehalten werden. Die an jener Stelle für die binokularen Instrumente bestehenden Schwierigkeiten, das Hinüberspielen der Probleme aus dem physikalischen in das physiologisch-psychologische Gebiet, finden sich bei den Brillengläsern noch in gesteigertem Maße.

In früheren, aber garnicht einmal so sehr weit zurückliegenden Zeiten sah der konstruierende Optiker das Auge an wie eine Camera obscura, und wollte man das Auge unterstützen, so mußte nach der Ansicht der Jenaer Schule die Augenpupille möglichst mit der Austrittspupille des benutzten optischen Instruments zusammenfallen. Was aber bei einem Brillengläse als Austrittspupille zu gelten habe, das war völlig unklar, und anscheinend wurde dieses Problem in der technischen Optik überhaupt nicht beachtet, da die Brille nicht als ein wissenschaftlich-technisch zu behandelndes Instrument angesehen wurde. Tatsächlich ist die erwähnte Auffassung des Auges als einer Camera obscura wohl nicht unrichtig, aber sie ist unvollständig, denn im Gegensatz zu der überwiegenden Mehrzahl der technischen Instrumente bleibt das Menschenauge während seines Gebrauchs nicht in Ruhe, sondern es vermag Änderungen zweierlei Art, die Akkommodationsbetätigung und die Augendrehung, auszuführen. Es fällt also nicht unter die Voraussetzung

der scheinbar ganz allgemeinen Abbeschen Theorie, die aber eben auf die gewohnten, beim Gebrauch stets ruhenden Instrumente der technischen Optik anzuwenden war.

Die *Sonderstellung des Auges als optisches Instrument*. Was die Akkommodation angeht, so vermag das Auge nicht allzu bejahrter Personen den Außenflächen seiner Kristalllinse stärkere Krümmungen zu verleihen und dadurch die Brennweite seines optischen Systems zu verkürzen. Durch den eigentümlich geschichteten Bau der Kristalllinse, dessen Verständnis erst durch die Arbeiten *Gullstrands* erschlossen worden ist, verkürzt sich bei der Akkommodationsbetätigung die Brennweite sogar in einem überraschend hohen Maße, so daß beispielsweise ein normalsichtiger Beobachter von 20 Jahren nicht nur weit entfernte Gegenstände deutlich wahrzunehmen vermag, sondern auch Objekte in 10 cm Abstand. Im späteren Alter nimmt diese Ausdehnung des Akkommodationsbereichs sehr merkbar ab; so können normalsichtige Personen von 30, 40, 50 Jahren beziehentlich nur noch Objekte bis zu einem Abstände von 14,3, 22,2, 40 cm heran deutlich wahrnehmen: sie werden eben mit höherem Alter *weitsichtig*, wie der Volksmund sagt, oder *presbyopisch*, wie der wissenschaftliche Ausdruck lautet.

Gullstrand hat zeigen können, daß aber der außerordentlichen Bequemlichkeit einer so ausgiebigen Akkommodationsbreite ein großes Opfer gebracht werden mußte, denn sie wurde erreicht auf Kosten der Deutlichkeit der Abbildung auf den Seitenteilen der Netzhaut. Diesem eigentümlichen Mangel der optischen Abbildung im Auge entspricht der Bau der Netzhaut: sie hat nur im gelben Fleck und namentlich in seiner Mitte, der Netzhautgrube, eine große Menge perzipierender Elemente, während deren Verteilung nach den Seitenteilen der Netzhaut außerordentlich viel weitermaschig wird. Als photographischer Apparat betrachtet würde also das Menschenauge beschrieben werden müssen als ausgestattet mit einem optischen System von sehr kleinem deutlichem Felde und mit einer Platte, deren Korn nur in der Mitte fein wäre, nach dem Rande zu aber immer gröber würde.

Die *Augendrehung*. Da also die Abbildung in den Seitenteilen der Netzhaut beim ruhenden Auge so unvollkommen ist, so wird sie auch nicht für die eigentliche Wahrnehmung gebraucht, sondern sie liefert nur ein Zeichen, um die Aufmerksamkeit und mit ihr den Blick auf den betreffenden seitlichen Punkt zu richten. Dabei soll auf dieser Stufe der Untersuchung die *Blicklinie*, d. i. die Verbindungslinie des Objektpunkts mit der Pupillenmitte, als zusammenfallend mit der (im strengen Sinne auch nur hypothetischen) Augenachse angesehen werden. Bevor diese eigentümliche Drehung des Auges genauer untersucht wurde, war sie doch beachtet worden, und Ausdrücke wie „sein Augenmerk auf etwas richten“ zeigen, daß man sich des engen Zusammenhangs zwischen der Aufmerksamkeit und der Blickbewegung bewußt geworden war. *Johannes Müller* wies 1826 darauf hin, daß die Blickbewegungen so vor sich gehen, als wenn sich das

¹⁾ Diese Zeitschrift 1913, I, 417—421; 445—450.

Auge in seiner Höhle wie in einem Kugelgelenk drehe, und zwar gilt als Zentrum der Drehung ein etwa 13 mm vom Hornhautscheitel entfernter Achsenpunkt, der *Augendrehpunkt*. Diese Zahl ist als Mittelwert anzusehen, doch sind die für kurz- und für übersichtige Augen geltenden Abweichungen nicht groß genug, um sie bei einer so summarischen Behandlung zu berücksichtigen, wie sie hier allein geleistet werden kann.

Diese Bewegung der Achse des blickenden Auges um den Augendrehpunkt ist nun der Anlaß für die Entstehung einer *Perspektive des direkten Sehens oder des Blickens*. Man erhält die perspektivischen Strahlen, indem man von dem Augendrehpunkt *Z* aus alle Strahlen nach den Objektpunkten zieht; mit einem Element des so bestimmten Strahlenbüschels fällt die Augenachse zusammen, sobald ein Objektpunkt die Aufmerksamkeit des Beschauers erregt. Bei ruhig gehaltenem Kopfe ist also die Gesamtheit aller dieser Strahlen das *perspektivische Büschel des blickenden Auges*, und es ist das alles, was dem Einzelauge von einigermaßen entfernten Objekten zugänglich ist, denn unter diesen Umständen sind

Fig. 1. Ein perspektivisches Strahlenbüschel durch *Z*, zwei vertikale perspektivische Ebenen und die auf ihnen entstehenden ähnlichen ebenen Perspektiven.

die Änderungen im Akkommodationszustande so gering, daß sie dem Beobachter unbemerkt bleiben. Man erkennt ohne weiteres, daß das perspektivische Büschel ein Gebilde zweifacher Mannigfaltigkeit ist und, durch eine beliebige — meist vertikale — Ebene geschnitten, auf eine *ebene Perspektive* führt, die wohl alle *Querausdehnungen* des Objekts durch Richtungen des Blicks nach oben oder unten, nach rechts oder links wiedergibt, dagegen die in die Strahlenrichtung selbst fallende *Tiefenausdehnung* unterdrückt, weil von zwei auf demselben Sehstrahl liegenden Objektpunkten nur der dem Auge nähere wahrgenommen, der entferntere aber von jenem verdeckt wird. Die Bewegungen der Augenachse hängen übrigens nicht von der Deutlichkeit der Wahrnehmung ab: die Drehungen eines kurzsichtigen Auges, das etwa im Dunkeln nach einer Laternenreihe gerichtet wird, stimmen überein mit denen eines normalsichtigen Auges am gleichen Ort, obwohl die Deutlichkeit der Wahrnehmung in beiden Fällen verschieden ist.

Diese Beschreibung der Augendrehung wird für den hier verfolgten Zweck genügen, solange man an der Annahme eines achsensymmetrischen Auges

festhält, weil bei einem solchen System alle im paraxialen Raume einfallenden Strahlen gleichartige Richtungsänderungen erfahren. Die allein noch mögliche Bewegung, die Raddrehung um die Blicklinie als Drehungsachse, würde also für die Abbildung von paraxialen Punkten ohne Bedeutung sein. Es mag hier darauf hingewiesen werden, daß dies von der Natur gewählte Mittel, eine mangelhafte Bildqualität in den Seitenteilen des Feldes dadurch zu umgehen, daß die Achse des Systems eine Drehbewegung nach diesen Seitenteilen ausführt, auch in der technischen Optik nicht gerade unerhört ist. In einer frühen photographischen Zeit, als die Weitwinkelobjektive noch nicht auf das später erreichte Maß der Leistung gebracht worden waren, hat man Panoramakameras vorgeschlagen, bei denen die Achse des Objektivs während der Aufnahme einen großen horizontalen Winkel von 90° und mehr beschrieb; von der auf einem geraden Kreiszylinder angebrachten lichtempfindlichen Schicht wurde jeweils immer nur ein vertikaler Streifen exponiert. Ob die Betrachtung solcher Panoramenaufnahmen immer in der richtigen Weise vor sich gegangen ist,

Fig. 2. Die zu *Z* konzentrischen Schärfenflächen bei einem normalsichtigen Auge.

mag man bezweifeln, hergestellt hat man solche Bilder in einer nicht ganz geringen Zahl.

Die Schärfenflächen. Doch um wieder zu dem eigentlichen Thema zurückzukehren, so hat das Auge diese Deutlichkeit der Abbildung infolge seiner Beweglichkeit beim Gebrauch durch eine eigentümliche Anordnung der bei gleichem Akkommodationszustande deutlich gesehenen Objektpunkte zu bezahlen. Man stelle sich ein Auge auf seinen Nahepunkt eingestellt vor, der beispielsweise auf der Achse 25 cm vor dem Hornhautscheitel oder 26,3 cm vor dem Drehpunkt liegen möge. Erhält durch die Augendrehung die Achse eine beliebige andere Richtung, so liegt bei Festhaltung des Akkommodationszustandes der Nahepunkt in der neuen Richtung wiederum 26,3 cm von dem Drehpunkt entfernt, und man erkennt leicht, daß für dieses Auge alle bei stärkster Krümmung der Flächen der Kristalllinse deutlich erscheinenden Punkte auf einer zum Augendrehpunkt konzentrischen *Kugel* liegen. Ganz entsprechendes gilt für Objektpunkte, die mit einem beliebig vorgeschriebenen festen Akkommodationszustande deutlich gesehen werden: sie liegen eben auf einer bestimmten, zum Augendrehpunkt konzentrischen *Schärfenfläche*. Ist das Auge normalsichtig (*emme-*

tropisch), so bildet sich bei völliger Entspannung der Akkommodation der unendlich ferne Achsenpunkt auf der Netzhautgrube deutlich ab, und die bei der Augendrehung zustandekommende Fernpunktsgugel wird in diesem besonderen Falle zur unendlich fernen Ebene. Der soeben ausgesprochenen Bestimmung gemäß werden anomale (*ametropische*) Augen sich dadurch kennzeichnen, daß bei ihnen der unendlich ferne Achsenpunkt nicht auf, sondern vor oder hinter der Netzhautgrube abgebildet wird, und zwar nennt man die ametropischen Augen kurzsichtig (*myopisch*), wenn die Vereinigung der abbildenden Strahlen im Auge vor der Netzhautgrube erfolgt, übersichtlich (*hypermetropisch* oder *hyperopisch*), wenn sie hinter ihr zustande kommen würde.

Die ametropischen Augen. Diese Erörterung führt, wie man ohne weiteres einsieht, zu der Frage, ob man nicht durch optische Mittel die Ametropien ausgleichen oder *korrigieren* könne. Man ist dazu in der Tat imstande, und eine eingehende Verfolgung dieses Gedankens wird zu der Entwicklung des wichtigeren Teils der modernen Brillenkunde führen, nämlich zur Entwicklung der Mittel, die *Deutlichkeit* der Wahrnehmung für *anomale Augen* zu *steigern*. Indessen sind zuweilen auch Augen zu unterstützen, die dieser Wirkung nicht bedürfen, die aber geschützt werden müssen, sei es gegen physische Angriffe (durch Zug, Staub, Splitter) oder gegen die Wirkung allzu greller Beleuchtung. Solche Schutzbrillen im allgemeinen und Lichtdämpfungsbrillen im besonderen sollen aber von der folgenden Betrachtung ausgeschlossen sein, die sich eben auf die Brillen zur Deutlichkeitssteigerung beschränken wird.

Die ametropischen Augen haben also ihren Fernpunkt nicht im Unendlichen, sondern in einer endlichen Entfernung, und es läßt sich leicht zeigen, daß der Fernpunkt myopischer Augen *reell* ist, d. h. in endlicher Entfernung *vor* dem Auge liegt, während der Fernpunkt hyperopischer Augen *virtuell* ist, d. h. in endlicher Entfernung *hinter* der ersten Augenfläche zustandekommen würde, wenn nicht die Hornhaut und das darauf folgende System des Auges den Verlauf der nach diesem Fernpunkt zielenden Strahlen so änderte, daß sie sich nachher auf der Netzhautgrube vereinigen.

Verglichen mit der Achsenlänge ist also im Falle eines Myopen die Brennweite des optischen Systems des Auges zu *klein*, ihr auf Luft bezogener reziproker Wert — die *Brechkraft* — also zu *groß*, und umgekehrt ist bei einem Hyperopen die Brennweite im Verhältnis zur Achsenlänge zu *groß* und die Brechkraft zu *klein*. Es folgt aus diesem Umstande schon von selbst, daß man die (stets positive) Brechkraft des Augensystems im ersten Falle *vermindern*, im zweiten Falle aber *vermehrten* muß, oder mit anderen Worten, daß myopische Augen durch *Zerstreuungslinsen*, hyperopische durch *Sammellinsen* korrigiert werden.

Die Konvergenzen. Schon die Einführung der Brechkraft macht es notwendig, auf einen heute allgemeinen Gebrauch der Ophthalmologen einzugehen, auf die Rechnung mit Längenreziproken oder nach *Gullstrand* mit *Konvergenzen*. Aus der Form der auf die Hauptpunkte bezogenen Gleichungen geht

es ohne weiteres hervor, daß man Konvergenzen zu addieren hat, wenn man für ein System gegebener Brechkraft von einem Objektstand zu dem konjugierten Bildabstand kommen will. Diese Erkenntnis hat dazu geführt, daß in neuerer Zeit Ophthalmologen stets die Konvergenzen angeben, deren *auf Luft bezogene Einheit* die *Dioptrie*

$$1 \text{ dptr} = \frac{1}{m}$$

ist. Demnach sagt man beispielsweise nicht, ein presbyopisch gewordener Emmetrop vermag nicht mehr auf eine Entfernung von 22 cm zu akkommodieren, sondern man gibt an, seine Akkommodationsbreite ist unter

$$\frac{1}{0,22 \text{ m}} - \frac{1}{\infty} = 4,55 \text{ dptr}$$

heruntergegangen. Auch die Leistung einer optisch wirksamen Fläche wird nicht durch die Scheitelentfernung ihres Brennpunkts in Luft angegeben, sondern durch ihren reziproken Wert.

Die korrigierenden Brillengläser. Es entsteht nunmehr die einfache Frage, was kann geschehen, um dem achsensymmetrischen ametropischen Auge die deutliche Wahrnehmung zunächst eines *fernen* Achsenpunkts zu ermöglichen? Die Antwort ist bei Beschränkung auf eine bestimmte Achsenrichtung des Auges sehr einfach. Man schalte ein dünnes zentriertes Hilfssystem, ein *Brillenglas*, vor das Auge, lasse seine Achse mit der Achsenrichtung des Auges zusammenfallen und bilde durch das Hilfssystem den fernen Achsenpunkt in den Fernpunkt des ametropischen Auges ab, dann ist durch das Hilfs- und das optische System des Auges der ferne Achsenpunkt der Netzhautgrube konjugiert. Ein solches Brillenglas nennt man dann ein *korrigierendes Glas*.

Es läßt sich leicht erkennen, daß der vor dem Auge liegende reelle Fernpunkt des Myopen in bezug auf das Brillenglas ein virtueller Bildpunkt, und daß der hinter dem Auge liegende virtuelle Fernpunkt des Hyperopen ein reeller Bildpunkt des Brillenglases sein muß. Etwas anders ausgedrückt ergibt das den schon bekannten Satz: Kurzsichtige brauchen Zerstreuungslinsen, Übersichtige Sammellinsen als korrigierende Gläser.

Eine gewisse Unbestimmtheit bleibt insofern bestehen, als der Abstand nicht genau definiert ist, der das korrigierende Brillenglas von dem Auge trennen soll. Man hat zwar die Forderung ausgesprochen, ihn so zu wählen, daß die Größe des Netzhautbildes ferner Objekte im korrigierten Ametropenauge der im Emmetropenauge gleichkäme, aber das ist kein sehr empfindliches Kriterium, denn bei gewöhnlichen Brillengläsern mittlerer Brechkraft ändert das Netzhautbild bei einer Abstandsänderung seine Größe nur langsam, und kleine Änderungen sind offenbar ohne sonderliche Bedeutung. Man hat daher zweckmäßigerweise eine andere Bedingung gestellt und verlangt, die Brille sei dem Auge soweit zu nähern, daß eben die Verunreinigung der Innenfläche durch die Wimperenden vermieden würde.

Bei der Brillenbestimmung verwendet der Augenarzt in der Regel ein nicht besonders gut passendes *Probiergestell*, und es können daher hier je nach dem Bau des Schädels des Patienten größere oder kleinere Abstände zwischen den Brillengläsern und den Augen vorkommen. Das hat wenig zu sagen, solange es sich um schwache Gläser handelt, es kann aber von Wichtigkeit werden, wenn der Arzt Gläser von hoher Brechkraft verschreibt, ohne den für die Probierbrille gültigen Abstand zu vermerken, während sie der Optiker bei der Anfertigung der dauernd zu tragenden Brille in einem bestimmten, also in der Regel abweichenden, Abstand anbringt. Man erkennt schon hieraus, daß die Aufnahme des Tatbestandes einer Augenuntersuchung mit ziemlich großer Achtsamkeit geschehen muß, wenn das verordnete Glas den Patienten wirklich dauernd befriedigen soll.

Es ist ganz charakteristisch, daß bei dieser Tätigkeit des Augenarztes stets nur von einer bestimmten, sei es positiven oder negativen, sei es hohen oder niederen Brechkraft des Brillenglases die Rede ist, während seine Form, etwa ob gleichseitig oder stärker „durchgebogen“, gar nicht erwähnt wird. Aber man darf sich darüber nicht wundern, denn bei der vorläufig festgehaltenen Beschränkung auf den paraxialen Raum, also auf außerordentlich enge Bündelöffnungen, sind alle Linsenformen gleichwertig. Man hat nun zu verschiedenen Zeiten den Vorschlag gemacht, die Linsenform dadurch zu bestimmen, daß man die sphärische Aberration weiter geöffneter Bündel berücksichtige, oder man hat sich später bemüht, die als Komafehler bekannte Asymmetrie der von seitlichen Objektpunkten ausgesandten Strahlenbündel zu beseitigen. Es wird sich weiter unten zeigen lassen, warum solchen stillschweigend Bündel von merklicher Öffnung voraussetzenden Bestrebungen ein Erfolg versagt bleiben mußte.

Die Problemstellung für die Unterstützung des blickenden Auges. erinnert man sich, daß die Überlegungen über die Brillengläser zur Korrektur der Ametropie ausdrücklich unter der Voraussetzung angestellt worden waren, daß die Achse des Auges mit der Brillenachse zusammenfalle, so erkennt man ohne Schwierigkeit, daß unter diesen Umständen von einer Unterstützung des Blickens durch solche Gläser nicht die Rede zu sein braucht, denn bei der durch die Probierbrille verwirklichten Versuchsanlage war die Augendrehung ausdrücklich ausgeschlossen worden, und es könnte sich nur durch einen glücklichen Zufall ereignen, daß ein beliebiges, nach seiner paraxialen Wirkung ausgewähltes Brillenglas auch dem blickenden Auge gute Dienste leistete.

In der Tat ist das im allgemeinen nicht der Fall, und die ganze alte Brillentheorie, wie man sie auch heute noch in den meisten Schriften der Ophthalmologen findet, reicht nur für die Brillenverordnung mittels der Probierbrille aus. Sie erledigt so wohl ein wichtiges Gebiet, die Aufnahme des Zustandes des Patienten Auges, nimmt aber auf ein anderes sehr wichtiges Thema, die Unterstützung des ametropischen Auges in seinem gewohnten Gebrauch,

gar keine Rücksicht. Eine Lösung dieser Aufgabe wird erst möglich, wenn man die Brille studiert wie ein optisches Instrument, und wenn man auf Grund exakter Methoden die Grenzen ihrer Leistungsfähigkeit umschreiben kann. Dies nach den Ergebnissen der neuesten, in der Zeißschen Werkstatt ausgeführten Untersuchungen zu tun, ist der Zweck der folgenden Darstellung, und zwar seien Leser, die etwas tiefer in dieses Gebiet eindringen wollen, auf zwei Schriften des Autors¹⁾ verwiesen.

Fig. 3. Das Bündel der Blicklinien hinter dem Brillenglas.

Hält man daran fest, daß sich unser Auge bei der deutlichen Wahrnehmung der Teile eines unter endlichem Winkel erscheinenden Objekts um seinen Drehpunkt drehen muß, so sieht man leicht ein, welches Problem sich bei der Benutzung der Brille einstellt. Sobald man sein Auge hinter ein Brillenglas bringt, setzt man im Bildraum der Brille einen Punkt Z' , den Augendrehpunkt, von dem aus innerhalb eines bestimmten, ziemlich großen Kegelwinkels alle Richtungen — eben die verschiedenen in diesen Grenzen möglichen Lagen der Augenachse — gegen das Brillenglas gezogen werden müssen. Alles, was längs diesen schiefen Strahlen abgebildet wird, wird im direkten Sehen wahrgenommen, alle anderen Strahlrichtungen, die hinter

Fig. 4. Die mit dem Augendrehpunkt zusammenfallende ideale Blende.

dem Brillenglas noch möglich sind — und ihrer gibt es eine dreifache Mannigfaltigkeit —, tragen zum direkten Sehen nicht bei. Drückt man diesen Tatbestand unter Beziehung auf das Brillenglas aus, so muß man sagen: im Bildraum des Brillenglases ist ein bestimmter Punkt Z' — jetzt als *Blendenmitte* — anzunehmen, und von ihm aus sind alle möglichen schiefen Strahlen — sie sollen hier *Hauptstrahlen* heißen — durch das Brillenglas hindurch zu verfolgen. Längs diesen Hauptstrahlen ist

¹⁾ Die Brille als optisches Instrument. Leipzig, W. Engelmann, 1911. Das Auge und die Brille. B. G. Teubners Sammlung „Aus Natur und Geisteswelt“, Nr. 372, 1912.

die *Abbildung* zu untersuchen und ferner die *Neigungsänderung* zu studieren, die diese Hauptstrahlen beim Übergang von dem Objekt- in den Bildraum erfahren. Es leuchtet unmittelbar ein, daß hier der in den „Richtlinien“⁴⁾ geschilderte Fall vorliegt, daß der Strahlengang des Instruments erst durch den Augendrehpunkt bestimmt wird: er tritt in dieser Hinsicht an die Stelle einer bestimmten, bei den eigentlichen Instrumenten physisch vorhandenen Blende.

Man erkennt, daß es sich hier handelt um die Bedingungen, unter denen die Unterstützung des ametropischen Auges durch das Brillenglas erfolgt, und zwar kommt im einzelnen in Betracht sowohl die *Deutlichkeit der Wahrnehmung* als auch die *Richtung des Wahrgenommenen*.

Es versteht sich fast von selbst, daß man bei den achsensymmetrischen Brillengläsern den Blendenort Z' auf der Achse annehmen wird. Man spricht dann von einer *zentrischen* Benutzung der Brillengläser, und man hat den in der allseitigen Symmetrie liegenden Vorteil, daß man sich für die vollständige Behandlung des vorliegenden Problems beschränken kann auf die Vorgänge in einer Meridianebene, die durch eine Rotation um die Achse in jede beliebige Lage im Raum gebracht werden kann.

Die Richtungsänderung der Hauptstrahlen. Wendet man sich zunächst zu der Richtungsänderung der Hauptstrahlen, so ist es zweckmäßig, von dem im Bildraum des Brillenglases liegenden Blendenorte Z' auszugehen und das ganze von ihm ausgesandte Strahlenbüschel entgegen der Lichtrichtung durch das Brillenglas hindurch zu verfolgen. Diese im Objektraum erhaltenen Richtungen sind eindeutig von den bildseitigen abhängig und umgekehrt. Da man bei einem jeden optischen System, ohne einen Fehler zu begehen, die Richtung der Lichtbewegung umkehren kann, so erhält man auf diese Weise das objektseitige Strahlenbüschel, das durch das Brillenglas derart gebrochen wird, daß die bildseitigen Strahlen alle durch Z' gehen. Zu gleicher Zeit erhält man einen Aufschluß darüber, wie der Augendrehpunkt einem außenstehenden (also im Objektraum des Brillenglases befindlichen) Beobachter erscheint. Denn das eine ist klar, daß dieser Beobachter durch das Brillenglas hindurch nicht den Augendrehpunkt Z' selbst erblickt, sondern sein von dem Brillenglas in dem Objektraum entworfenes Bild oder, wie man sagt, den *scheinbaren Drehpunkt* Z . Die Lösung dieser Aufgabe bietet keine Schwierigkeiten, sei es, daß man sie in erster Annäherung mit den Gaußschen Formeln für den paraxialen Raum, sei es, daß man sie mit Hilfe trigonometrischer Durchrechnung für Hauptstrahlen endlicher Neigung w' behandelt. In jedem Falle muß eine Linse positiver Brennweite sammelnd wirken, d. h. den scheinbaren Drehpunkt Z weiter zurückverlegen, und eine Linse negativer Brennweite zerstreudend wirken, d. h. den scheinbaren Drehpunkt Z dem Glase annähern, wenn es sich, wie zunächst festgehalten sei, um ein-

fache dünne Linsen handelt. Hand in Hand damit geht eine Winkeländerung vor sich von den bildseitigen Hauptstrahlneigungen w' zu den objektseitigen w in der Art, daß im ersten Falle der Betrag $w' - w$ einen positiven, im zweiten Falle $w' - w$ einen negativen Wert hat. In andere Worte gefaßt heißt das, die Verwendung eines sammelnden Brillenglases führt — verglichen mit dem Betrage der Augendrehung im Bildraum — auf ein *kleineres*, die eines zerstreuenden Brillenglases auf ein *größeres* objektseitiges Blickfeld.

Es wird sich später zeigen lassen, daß diese einfache Wirkung von Brillengläsern auf die einfachen dünnen Linsen beschränkt ist, während sie bei komplizierter gebauten Formen — etwa Fernrohrbrillen — völlig abweichend sein kann.

Man hat die zu einem bestimmten Drehungswinkel w' gehörige Differenz $w' - w$ auch als *prismatische Ablenkung* des Brillenglases bezeichnet und sie für die geringe Güte der Abbildung verantwortlich gemacht. Ein solches Vorgehen ist

Fig. 5. Die Verlagerung des Zentrums der Blickrichtungen bei zerstreuen und sammelnden Brillengläsern.

nicht zu billigen, denn Richtungsänderung und Deutlichkeit der Abbildung sind ganz und gar verschiedene Dinge. Es ist auch bei verhältnismäßig einfachen Systemen ebenso wohl der Fall möglich, daß ohne merkliche Richtungsänderung der Hauptstrahlen eine recht schlechte Abbildung zustande kommt (z. B. bei einer nahe am Scheitel abgeblendeten gleichseitigen Bikonvexlinse), wie der andere, daß die Richtungsänderung im Gegenteil ziemlich groß ist bei einer anerkennenswerten Güte der Abbildung in schiefen Büscheln (z. B. bei dem Ramsdenschen Okular eines astronomischen Fernrohrs). Und auch bei dünnen Brillengläsern besteht ein solcher Zusammenhang in Wirklichkeit nicht, sondern man hat dabei in unzulässiger Weise die ungünstige Abbildung in schlecht geplanten Brillengläsern auf die gleichzeitig beobachtete prismatische Ablenkung zurückgeführt.

Die Änderung der Tiefenwerte. Verwirft man also diesen fälschlich postulierten Zusammenhang zwischen Ablenkung und Güte der Abbildung und läßt zunächst die letzterwähnte Eigenschaft auf sich beruhen, so kann man fragen, was bedeutet denn für den Brillenträger diese Änderung der Strahlenrichtung? Hat sie Vorteile oder Nachteile im Gefolge, oder ist sie gleichgültig?

Man kann zunächst darauf hinweisen, daß der Brillenträger die prismatische Ablenkung unmittelbar gar nicht wahrzunehmen vermag. Was seinem

⁴⁾ S. 446.

Auge in Hinsicht der Richtung zugemutet wird, sind einfach Drehungen im Bildraum des Brillenglases, und er hat, wenn man die Möglichkeit ausschließt, durch den genügend dünnen Rand des Brillenglases die Pupille seines Auges zu halbieren, durchaus kein direktes Mittel, die Hauptstrahlneigungen im Objekt- und im Bildraum miteinander zu vergleichen. Abgesehen aber von der direkten Vergleichung gibt es bestimmte Folgen der Richtungsänderung, die hier etwas eingehender behandelt werden müssen.

Nach dem Vorhergehenden ergab sich das perspektivische Büschel eines umherblickenden Emmetropen als das ganze vom Augendrehpunkt aus innerhalb eines gewissen großen Kegelwinkels gezogene Strahlenbüschel. Stellt man sich einen brillentragenden Ametropen vor, dessen scheinbarer Drehpunkt mit dem Drehpunkt des Emmetropen zusammenfällt, so sind offenbar innerhalb des gemeinsamen, von der Größe des Brillenglases abhängigen Gebiets die perspektivischen Strahlenbüschel, d. h. die Mannigfaltigkeit der Winkel w , identisch, soweit sie sich auf den Objektraum beziehen. Der Unterschied ist allein der, daß dieses perspektivische Strahlenbüschel mit den Winkeln w dem Ametropen nicht unter diesen, sondern unter andern, gesetzmäßig geänderten Winkeln w' vorgeführt wird. Stellt man sich im Objektraum durch die Einführung einer Schirmebene eine ebene Perspektive her, so bedeutet es, daß diese Perspektive dem durch das Brillenglas unterstützten Auge unter andern Blickwinkeln vermittelt wird, als die sind, unter denen sie entstanden ist. Derartige Winkeländerungen treten auf — und so wurden sie auch zuerst beobachtet —, wenn Gemälde (etwa Architekturbilder oder Innendarstellungen) aus einer unrichtigen Entfernung betrachtet werden, und es sind namentlich von *Johann Heinrich Lambert* um die Mitte des 18. Jahrhunderts die Folgen ausgezeichnet untersucht worden, die eine solche Abweichung auf den Eindruck von dem Dargestellten nach sich zieht. Es handelt sich in diesem Falle stets um Perspektiven eines gut bekannten, räumlichen Objekts von regelmäßiger Gestalt (z. B. um Architekturbilder) und um seine fast unbewußt und unwillkürlich entstehende Rekonstruktion auf Grund richtiger oder unrichtiger Blickwinkel. Es läßt sich verhältnismäßig leicht nachweisen, daß bei zu großen Blickwinkeln, also zu kleinem Betrachtungsabstande, eine *Abflachung* und bei zu kleinen Blickwinkeln, also zu großem Betrachtungsabstande, eine *Übertreibung der Tiefenwerte* eintritt. Im einzelnen wird die scheinbare Tiefe proportional dem Betrachtungsabstande; sie ist übertrieben bei zu großem, zu gering bei zu kleinem Abstande vom Bilde. Wendet man diese bekannten Lehren auf den Fall des Brillenträgers — einfache Brillengläser vorausgesetzt — an, so ergibt sich eine Abflachung von Raumobjekten bei dem Hyperopen, eine Vertiefung bei dem Myopen.

Das objekt- und das bildseitige (wahre und scheinbare) Blickfeld. Man beachte, daß bei Hyperopen die objektseitigen Hauptstrahlneigungen kleiner, bei Myopen größer sind als die wirklich

ausgeführten Augendrehungen und stelle sich Brillengläser von einer und derselben ganz bestimmten Größe vor, so daß beispielsweise der Winkel in der Horizontalebene, den die Brillenfassung von dem Augendrehpunkt aus darbietet, stets von einer konstanten Größe von etwa 70° ausfalle. In einem solchen Falle sieht der Hyperop mit seiner Augendrehung von 70° die Bilder von Gegenständen, die im Objektraum unter einem kleineren Blickwinkel erscheinen; er sieht die Außenwelt also unter größeren Blickwinkeln, nimmt also vergrößerte Gegenstände, aber in einem objektseitigen Blickfelde von geringerer Ausdehnung wahr, als seiner Augendrehung entspricht. Im Gegensatz dazu übersieht der Myop mit seiner Augendrehung von ebenfalls 70° Gegenstände, die im Objektraum unter einem größeren Winkel erschienen; er sieht die Außenwelt also unter verkleinerten Blickwinkeln, erhält also verkleinerte Gegenstände, aber in einer vergrößerten Ausdehnung des objektseitigen Blickfeldes verglichen mit dem Betrage seiner Augendrehung. Weitere Bemerkungen, die sich auf diese Verhältnisse des objektseitigen Blickfeldes zum augenseitigen beziehen, sollen später noch gemacht werden, wenn die Fernrohrbrillen behandelt werden.

(Fortsetzung folgt.)

Die Physik auf der Jahresversammlung der British Association in Birmingham.

Von Dr. G. A. Shakespear, Birmingham.

Die in Birmingham abgehaltene Versammlung war eine der erfolgreichsten in der Geschichte der Association, im besonderen war die Arbeit der physikalischen und mathematischen Sektion von ungewöhnlicher Bedeutung. Im Mittelpunkt des Interesses standen die verschiedenen Anschauungen vom Wesen der Strahlung, das Interesse an der Diskussion wurde besonders belebt durch die Anwesenheit von Führern auf dem Gebiete der theoretischen und der experimentellen Physik, wie Lord Rayleigh, H. A. Lorentz, Sir J. J. Thomson, Madame Curie, S. Arrhenius, Sir J. Larmor, E. Rutherford, J. H. Jeans, Sir Oliver Lodge, E. Pringsheim, G. Barkla und Dr. Bohr.

Professor Barkla gab einen Überblick über die bisherigen *Ergebnisse der Röntgenstrahlungsforschung* und kam zu dem Schlusse, daß die Röntgenstrahlung jetzt definitiv als eine Form der elektromagnetischen Strahlung angesehen werden müsse, der Art nach identisch mit der Lichtstrahlung; verschieden von ihr nur in der Wellenlänge, die für die Röntgenstrahlen etwa $\frac{1}{10000}$ von der Länge der Lichtwellen beträgt. Barklas Ansichten wurden von Sir J. J. Thomson unterstützt.

Eine Diskussion über *Strahlung*, im allgemeinen wurde von J. H. Jeans eröffnet. Er führte aus, daß jede Strahlungstheorie notwendigerweise die Gesetze enthalten müsse, die die Molekularprozesse in der Natur beherrschen. Bisher nahm man an, daß