V. *Ueber die Strahlen, die ein leuchtender Punkt,
beim Senken der Augenlieder im Auge erzeugt;
von H. Meyer,*

Lehrer an der öffentlichen Handels-Lehranstalt in Leipzig.

In *Compt. rend. XXXVI* (1853) p. 144 sucht Hr. Trouessart die von dem größten Theil der Physiker angenommene Ansicht, daß die Strahlen, welche man bei gesenkten Augenlidern an einem leuchtenden Gegenstande nach unten und oben ¹⁾, oder auch nur nach einer Seite hin wahrnimmt, der Refraction zuzuschreiben seyen, zu widerlegen und diese Erscheinung wieder auf Reflexion zurückzuführen, indem er dafür folgenden Versuch anführt:

»Hält man vertical nahe beim Auge zur Seite einen nur einigermaßen polirten Gegenstand mit gekrümmter Oberfläche, eine Stecknadel, den Rücken eines Rasirmessers oder auch nur den Nagel eines Fingers, so bemerkt man einen langen sehr lebhaften Lichtstreifen perpendicular auf den Gegenstand und darin sehr oft eine Reihe gefärbter, sehr brillanter Spectra der Flamme (bei Stearinlicht sind diese Farben nur roth und grün).« Für die Ursache des Irrthums hält er die Färbung, welche man der Wirkung des Prisma zuschreiben zu müssen geglaubt habe.

Da ich mich in letzterer Zeit mit demselben Gegenstande beschäftigt habe, aber auf ein anderes Resultat gekommen bin, so sey es gestattet, einige hierher gehörige Betrachtungen und Versuche mitzutheilen.

Der von Hrn. Trouessart angeführte Versuch ist allerdings richtig, stimmt jedoch nicht mit den Erscheinungen überein, wie man sie an einem Lichte in der That wahrnimmt.

Ist *A*, Fig. 2, Taf. III, das Licht, *B* ein Punkt, welcher dasselbe reflectirt (z. B. das untere Augenlid), so geht

1) Der leichteren Verständigung halber wird das Auge jetzt immer aufrecht angenommen.

der Strahl vom Bilde *b* des reflectirenden Gegenstandes nach dem Bilde *a* der Lichtquelle hin, d. i. von unten nach oben, vielleicht auch zum Theil von *b* nach der entgegengesetzten Seite (s. Fig. 2), jedenfalls vom Lichtbilde *a* nach unten; umgekehrt ist es, wenn der reflectirende Gegenstand sich oben befindet ¹⁾. Bei den in Frage stehenden Strahlen aber ist das *untere* Augenlied die Ursache der vom Lichte nach *oben* gerichteten Strahlen, und das *obere* Augenlied die Ursache der vom Lichte nach unten gerichteten, wie sich durch Wegziehen und Verdecken des Augenliedes leicht nachweisen läßt. Der vom Lichte nach oben gerichtete Strahl entsteht, sobald das untere Augenlied so weit herauf kommt, daß es eben vor die Pupille tritt, der nach unten gerichtete, sobald man das obere soweit senkt, daß es vor die Pupille kommt; schließt man das Auge soweit, daß beide Ränder vor die Pupille kommen, so sieht man gleichzeitig die nach oben und unten gerichteten Strahlen. Diese Thatsache kann namentlich ein kurzsichtiges Auge gut beobachten, da sich diesem das Licht als eine von dem Durchmesser der Pupille abhängige Scheibe darstellt; sobald das Augenlied eben die Scheibe beschneidet, entstehen Strahlen. Geht man mit dem Augenliede weiter herein, so nehmen die Strahlen anfangs an Länge zu, dann wieder ab und verschwinden, noch ehe das Licht ganz verdeckt ist. Ein gutes Auge kann dieselbe Erscheinung an entfernten Lichtquellen wahrnehmen, da hier der durch die sphärische Abweichung des Auges bedingte Strahlenkranz dieselbe Beobachtung gestattet ²⁾.

Untersuchen wir nun, ob die Refraction die Erscheinungen zu erklären vermöge, so finden wir hier eine weit

1) Ist der reflectirende Punkt etwas weiter vom Auge entfernt oder tiefer, wie *B*, so wird ein Theil der dem Lichtbilde zunächst fallenden Strahlen abgehalten; der leuchtende Strahl im Auge erreicht daher dasselbe nicht.

2) Ausführlicher soll in einem folgenden Aufsätze über diesen Strahlenkranz gehandelt werden.

vollständigere Erklärung als bei vielen anderen das Auge betreffenden Erscheinungen.

Wo sich das Augenlied an das Auge anlegt, bildet die Thränenfeuchtigkeit einen erhöhten Saum; vermöge der Fettigkeit des Augenliedrandes (durch den Augenbutterapparat) ist dieser feuchte Saum jedoch nicht ununterbrochen, sondern besteht vielmehr aus lauter kleinen Viertelcylindern ¹⁾. Die durch diese Cylinder abgelenkten Lichtstrahlen convergiren in Ebenen winkelrecht auf die Axen der Cylinder Fig. 3, (bei den mehr seitlich gelegenen Cylindern nur in Ebenen winkelrecht auf die durch die jedesmalige Axe des Cylinders und die Lichtquelle gelegte Ebene) und müssen so im Auge divergirende Strahlen erzeugen, ähnlich wie Lichtlinien, die sich innerhalb der Brennweite befinden. In der Richtung der Axe eines jeden Cylinders findet ein derartiges Convergiren der Strahlen nicht statt, daher bilden sich im Auge gerade Strahlen, wie wir sie in der That wahrnehmen, deren Breite von der Breite der Lichtquelle abhängt. Der Strahl *Am*, Fig. 3., gelangt im Auge auf denselben Punkt *a*, als wenn er nicht durch den Tropfen hindurch gegangen wäre; die von *Am* abweichenden Strahlen, wie *An*, aber werden nach oben abgelenkt, wie Fig. 3, darstellt ²⁾; — da *oben* im Auge aber *unten* in der Wirklichkeit entspricht, so scheint der Strahl vom leuchtenden Gegenstande abwärts gerichtet. — Ist *A* kein Punkt, sondern auch in verticaler Richtung ausgedehnt, so wird jeder tiefer gelegene Punkt des Lichtes derartige Streifen verursachen, die zum Theil aufeinander fallen und so leicht zu Interferenzen und Farben Anlaß geben können,

1) Läßt man das Licht eines Fensters auf diesen Saum fallen, während man denselben in einem Spiegel betrachtet, so kann man diese Unterbrechungen leicht wahrnehmen. — Ob die Axen dieser kleinen Cylinder ganz gerade oder etwas gebogen seyen, ist bei ihrer Kleinheit für jetzt gleichgültig, da man auch sehr kleine Theile eines Kreises als gerade betrachten kann; ebenso kann es jetzt unbestimmt bleiben, ob der Querschnitt der vierte Theil eines Kreises o. a. sey.

2) Der Deutlichkeit halber ist der Durchschnitt des Viertelcylinders viel größer gezeichnet, als er in der That ist.

ähnlich wie es bei der Reflexion der Fall ist. Sobald mehr als ein derartiger Viertelcylinder vor die Pupille kommt, wird man mehr als einen Strahl wahrnehmen.

Auch das *Kreuzen* der Strahlen läßt sich gut nachweisen: Die dem Rande des Augenlides parallelen Cylinder haben nicht immer dieselbe Lage gegen Auge und Lichtquelle; nur wenn die erweiterte Ebene des Augenliedrandes durch die Lichtquelle geht, liegen die Axen aller kleinen Cylinder und die Lichtquelle in ein und derselben Ebene, sobald sich aber die Augenlieder aus dieser Lage entfernen, liegen die Cylinder rechts und links geneigt und um so mehr je weiter sie vom mittelsten entfernt sind. Das Divergiren der erst von einem Cylinder zusammengezogenen Strahlen geschieht aber in einer Ebene winkelrecht auf der Axe desselben; somit wird die Lage des Strahles im Auge durch eine Ebene bestimmt, die rechtwinklig auf der Axe des Cylinders durch das Bild des leuchtenden Gegenstandes gelegt werden kann. Sobald die Axen der Cylinder gegen einander geneigt sind, wird daher ein scheinbares Kreuzen der Strahlen im Ausgangspunkte eintreten müssen, und je weiter sie vom Bilde entfernt sind, um so mehr gehen sie auseinander ¹⁾. Bei einem kurzsichtigen Auge oder bei einem guten Auge in hinlänglicher Entfernung (indem hier, wie bereits oben erwähnt, die sphärische Abweichung ganz ähnliche Erscheinungen bedingt) werden die von *A* ausgehenden Strahlen zum Theil nach *a* (Fig. 5),
zum

1) Ist die Annahme, daß die Lage des Strahles im Auge durch eine Ebene winkelrecht auf der Axe des Cylinders bestimmt werde, auch nicht ganz richtig, indem die durch die seitlich gelegenen Cylinder abgelenkten Lichtstrahlen vielleicht ein etwas anderes Bild geben, als der Schnitt einer solchen Ebene auf der Fläche des Augapfels bestimmt, so geben doch jedenfalls der mittelste und der seitliche, gegen die durch diesen mittelsten Cylinder und die Lichtquelle gelegte Ebene geneigte Cylinder divergirende Bilder, worauf es hier bloß ankommt; — der von dem seitlichen Cylinder, als er mit dem Lichte und mittelsten Cylinder in einer Ebene lag, im Auge erzeugte Strahl muß bei der Neigung des Cylinders entsprechend abgelenkt werden.

zum Theil nach a , gelangen und so die langen Strahlen, welche von dem leuchtenden Punkte ausgehen, erst zusammengehen, sich schneiden und dann wieder auseinander gehen müssen, wie man es in der That auch wahrnimmt. Je mehr man die erweiterte Ebene des Augenliedrandes dem Lichte nähert, um so weniger können sich die Strahlen kreuzen, deshalb rückt der Kreuzungspunkt ¹⁾ um so weiter von der Lichtquelle ab, je mehr man das obere Augenlied herabsenkt, d. i. je mehr man die Ebene des Augenliedrandes der Lichtquelle nähert. Da die Winkel, die die Axen der Cylinder zusammen bilden, nur klein sind, so werden sich auch die Strahlen unter ziemlich spitzen Winkeln schneiden müssen. — So lange das Augenlied keinen grossen Theil der leuchtenden Scheibe abschneidet, wird dieselbe immer gröfser als die untere Breite des Strahlenbündels seyn, aa , ist nur eine Sehne; je tiefer man mit dem Augenliede in die Scheibe hereingeht, um so breiter wird das Strahlenbündel und um so gröfser die Anzahl der Strahlen; doch kann man diefs, wie bereits oben erwähnt, nicht zu weit fortsetzen. Auch bemerkt man die wahre Breite des Strahlenbüschels deshalb weniger, weil das Bild der Lichtquelle den untersten Theil verdeckt, das Büschel also schon etwas zusammengezogen ist, wenn es aus dem leuchtenden Bilde heraustritt.

Auch bei dem Betrachten eines leuchtenden Gegenstandes in der deutlichen Sehweite werden sich die langen Strahlen vermehren, sobald man mit dem Augenliede tiefer herabkommt; gleichzeitig wird sich aber die Divergenz derselben vermindern.

Ist der leuchtende Gegenstand grofs und nahe, so werden die von Punkten, die der erweiterten Ebene des Augenliedrandes näher liegen, verursachten Strahlen weniger divergiren, als die von weiter abstehenden Punkten gebildeten, und somit nur die mittelsten Strahlen aufeinander fallen.

1) Eigentlich ist es allerdings kein Punkt, in dem sie sich schneiden, da sich die verschiedenen Strahlen nicht in ein und demselben Punkte durchdringen.

Die in Fig. 4 dargestellte Erscheinung kann man gut an matt erleuchteten größeren Flächen in einiger Entfernung (15—16 Fufs) z. B. der Glocke einer Studirlampe oder an Oeffnungen, durch welche zerstreutes Tageslicht einfällt, wahrnehmen; an hell leuchtenden Flächen wird man sie bei einiger Entfernung nicht wie in Fig. 4, sondern wie in Fig. 5 sehen, weil die sphärische Abweichung das Bild vergrößert (s. oben). In größerer Nähe aber erhält man nur kurze, sehr breite Strahlen; um längere zu erhalten, muß man das Auge sehr zusammendrücken, wodurch anderentheils wieder, wie oben gezeigt, die Divergenz vermindert wird. Da die sphärische Abweichung des Auges am Tage weniger bemerkbar wird, so sieht man die Erscheinung wie in Fig. 4 vorzugsweise gut bei Tage, während Abends größere Lichtquellen in größerer Entfernung oder kleine leuchtende Punkte in der Nähe die Erscheinung wie in Fig. 5 deutlich wahrnehmen lassen.

Betrachtet man einen leuchtenden Punkt mit beiden Augen zugleich, so sieht man fast immer nach oben zwei divergirende Strahlenbüschel ausgehen; die nach unten gerichteten divergiren gewöhnlich weniger und erscheinen deshalb nur als *ein* breiteres Büschel. Die Ursache hiervon liegt in dem Sehen mit *beiden* Augen, denn hält man das linke Auge zu, so verschwindet das Strahlenbündel rechts, und umgekehrt verlischt das links, sobald man das rechte Auge zubält. Das mit einem Auge sichtbare Strahlenbüschel geht nämlich nicht vertical nach oben oder unten, sondern ist geneigt, indem die Augen etwas gegen die Nase herein geneigt sind, die Ebene des Augenlides sich also nicht um eine horizontale, sondern um eine nach Innen geneigte Linie dreht; die auf diesen Linien winkelrechten Strahlenbüschel sind in den Augen also einander zu geneigt, was, da sich die Gegenstände im Auge verkehrt abbilden, nach Aufsen ein Divergiren bedingt; s. Fig. 6, in welcher *O* und *O'* die beiden Augen im Grundrifs, *m* und *n* die beiden umgeklappt dargestellten Lichtbüschel in den Augen

und A, a, b das Licht mit seinen beiden divergirenden Strahlenbüscheln, ebenfalls umgeklappt dargestellt, bezeichnen.

Auch Herr Vallée hält (*Compt. rend. XXXV*) die bloße Annahme der Refraction für unzulänglich, indem er sagt: »Es bleibt noch zu erklären, weshalb der obere Strahl voller ist als der untere, weshalb jeder von ihnen sich in getrennte Strahlen theilt, weshalb diese Strahlen gerade Linien sind, weshalb diese Geraden ununterbrochen sind, weshalb der Strahl nach oben mehr zeigt als der Strahl nach unten, weshalb diese Absonderungen nicht bestimmten Gesetzen unterworfen sind und sich erhalten, wenn man die Augenlieder halb zudrückt, weshalb sich der größte Theil derselben ändert, sobald man den Kopf wendet, jedoch die optische Axe in ihrer Richtung erhält etc.«

Alle diese Fragen werden durch die obige Erklärung hinlänglich beantwortet, und sind sonach die Annahmen des Herrn Vallée überflüssig, nach welchen diese Erscheinungen zuzuschreiben sind:

- 1) den Körperchen der durchsichtigen Theile des Auges und vorzüglich denjenigen, welche als Staubkörnchen oder als Theilchen von durchsichtiger Materie von ungewöhnlicher Dichtigkeit auf der Oberfläche der Thränen sich befinden, und
- 2) der Ungleichheit der Oberflächen der Augenlieder.

Außer diesen langen Strahlen bemerkt man, namentlich in größerer Entfernung (also bei Einfluß der sphärischen Abweichung), noch weit kürzere, mehr parallele, sehr intensive, fast immer stark durch Interferenzen unterbrochene und daher zum Theil gefärbte Strahlen auf der den langen Strahlen entgegengesetzten Seite; sind die langen Strahlen nach unten gerichtet, so erscheinen diese kleinen intensiven Strahlen oben und umgekehrt. Schon hieraus liefs sich schließen, daß die nach *oben gerichteten* kleinen Strahlen vom *oberen*, die nach *unten gerichteten* vom *unteren* Augenlied verursacht werden, wie auch weitere Versuche durch Verdecken und Wegziehen des Augenlides bestätigten,

und daß die Ursache somit in der Reflexion zu suchen ist. Ein Theil der auf die Cylinder auffallenden Strahlen wird nämlich nicht durch dieselben gebrochen, sondern reflectirt und erzeugt somit im Auge diese kleinen Strahlen (s. Fig. 7). Da sie durch den äußersten Theil des feuchten Saumes erzeugt werden, so entstehen sie etwas eher als die langen Strahlen, namentlich wenn das Auge sehr feucht, also dieser Saum sehr breit ist; daher kann man zuweilen selbst bei intensivem Lichte diese kleinen Strahlen ohne die langen wahrnehmen; beim Hereingehen mit dem Augenlied nehmen sie anfangs ebenfalls bedeutend an Länge zu, aber etwas später als die langen Strahlen an Länge ab. Da diese kleinen Strahlen, wie so eben erwähnt, durch den äußersten Rand gebildet werden, dieser aber weiter in die Pupille hereinragt, so ist die Anzahl dieser kleinen Strahlen größer und die Breite, auf der sie sichtbar sind, bedeutender als die untere Breite des dazugehörigen langen Strahlenbüschels, wozu allerdings auch der Umstand viel beiträgt, daß sie sogleich von unten an sichtbar sind, während die durch Refraction gebildeten langen Strahlen in ihrem untersten Theile durch das Bild der Lichtquelle verdeckt werden (s. oben). — Aehnlich wie oben bei den langen Strahlen geschehen, wird sich zeigen lassen, daß diese kleinen Strahlen stets etwas divergiren müssen, während die langen Strahlen bei sphärischer Abweichung, wie wir sie jetzt angenommen haben, in der Nähe des Lichts zunächst convergiren. Bei einem in der deutlichen Sehweite sich befindenden leuchtenden Gegenstande (oder vielmehr unter Umständen, bei welchen die sphärische Abweichung von weniger Einfluß ist) müssen die Strahlen im Ausgangspunkte zusammenfallen und können dann, da sie nur sehr wenig divergiren, nur einen der Breite der Lichtquelle entsprechenden, stark von Interferenzen unterbrochenen, kurzen Streifen verursachen (ähnlich wie oben bei den langen Strahlen innerhalb der deutlichen Sehweite gezeigt); man bemerkt nur eine Erweiterung des Bildes nach oben oder unten. — Da diese kurzen Strahlen sehr intensiv sind, so

kann man sie zuweilen unter Umständen wahrnehmen, unter welchen die anderen Strahlen wegen Mangels an Helligkeit nicht wahrgenommen werden, so z. B. in der Dämmerung an Flammen, am Tage an weissen Gegenständen etc.

Viele der hier angegebenen Erscheinungen liessen sich nur durch die sphärische Abweichung des Auges genügend erklären, und können somit zugleich als Beweis für das Bestehen derselben dienen; weitere Versuche, welche dieselbe ausser Zweifel stellen, sind in der im nächsten Hefte folgenden Abhandlung enthalten.

*VI. Ueber die Erwärmung und Abkühlung, welche die permanenten Gase erfahren, sowohl durch Compression und Dilatation, als auch durch Berührung mit Körpern von verschiedener Temperatur;
von J. H. Koosen.*

In den bekannten Untersuchungen von Carnot und Clapeyron über die bewegende Kraft der Wärme ist der Satz entwickelt: »dafs wenn Wärme von einem warmen zu einem kalten Körper durch unmittelbare Berührung dieser beiden übergeht, stets ein Verlust an lebendiger Kraft stattfinden mufs«; zugleich wird daselbst die Bemerkung gemacht, dafs bei der Dampfmaschine, beim Uebergange der Wärme des Feuers zu dem Kessel, da ersteres eine 1000° bis 2000° höhere Temperatur als letzterer hat, ein ungeheurer Verlust an lebendiger Kraft stattfindet, und dafs daher nur die Anwendung der Wärme von hoher Temperatur und die Entdeckung eines zur Verwirklichung ihrer bewegenden Kraft dienenden Agens wichtige Vervollkommnungen in der Kunst, die bewegende Kraft der Wärme