

(Aus der physikalischen Abteilung des physiologischen Instituts zu Berlin.)

Über die Wahrnehmung der Blutbewegung in den Netzhautkapillaren.

Von

G. ABELSDORFF und W. A. NAGEL.

Beim Blick gegen den hellen Himmel sieht man bekanntlich sehr häufig eine Erscheinung, die nicht wohl anders aufgefasst werden kann, wie als entoptische Wahrnehmung von Blutkörperchen, die in den Kapillaren bestimmter Netzhautschichten zirkulieren. Es sind kleine glänzende Gebilde, die in nicht allzugroßer Anzahl sich auf geschlängelten Bahnen durch das Gesichtsfeld bewegen, sehr ähnlich Vibrionen oder Spirillen in einem mikroskopischen Präparat. Die stete Unruhe der Gebilde, die zudem, wie nachher gezeigt werden wird, niemals die Stelle des deutlichsten Sehens passieren, macht es unmöglich, ihre Form genau zu beschreiben. Die Figur ist im allgemeinen länglich, stäbchenförmig, zusammengesetzt aus einem Teil, der heller als der Grund ist, und einem solchen, der dunkler als der Grund ist, auf dem die Gebilde gesehen werden. Ob dunkel oder hell voran geht, ist nicht immer sicher zu erkennen, beides scheint vorzukommen.

Deutlicher wird die Erscheinung, wenn man gegen den blauen Himmel sieht, als wenn man auf weisse Wolken blickt. Eine Verstärkung des Blutumlaufes, wie sie z. B. durch Bergsteigen erfolgt, oder ein Blutandrang zum Kopf, wie beim Niesen oder Pressen, läßt die Pünktchen besonders auffällig werden.

Wer die Erscheinung jemals aufmerksam beobachtet hat, kann nicht im Zweifel sein, daß es sich um eine Zirkulations-

erscheinung in der Netzhaut handelt. Drückt man während der Beobachtung leise mit dem Finger von aussen gegen das Auge, so geht die sonst ziemlich gleichmässige Bewegung in eine sehr deutlich pulsierende über; ein etwas stärkerer Druck bringt die Bewegung fast zum Stillstand, man sieht dann im Rhythmus des Pulses nur kleine unbedeutende Verschiebungen. Nach dem Aufhören des Druckes scheinen die Körperchen mit erhöhter Geschwindigkeit durchs Gesichtsfeld zu eilen. Bei dem einen von uns (N.) ist die Bewegung auch ohne Druck aufs Auge zuweilen pulsierend.

Dafs es sich nicht um eine mechanische Reizung von lichtempfindlichen Elementen durch Blutzellen handelt, die sich durch die Kapillaren hindurchbewegen, geht daraus hervor, dafs die Erscheinung im Dunkeln und bei schwachem Licht völlig fehlt und auch bei starkem Licht nur dann nachweisbar ist, wenn die Wellenlänge des Reizlichtes zwischen ganz bestimmten Grenzen liegt.

RUETE¹ scheint der erste gewesen zu sein, der die Beobachtung machte, dafs das Zirkulationsphänomen in blauem Lichte besonders gut sichtbar ist. Wenigstens bildet er es nach einer Beobachtung ab, welche „mit Hilfe eines blauen Glases, durch welches längere Zeit gegen den Himmel geschaut wurde, gezeichnet“ ist. Auch ROOD² sah die Erscheinung am besten beim Blick durch blaues Glas. Dem einen von uns (N.) war es aufgefallen, dafs nicht jedes blaue Lichtfilter die Erscheinung beobachten läfst, sondern nur ein solches, das vorzugsweise die indigoblauen und violetten Strahlen durchläfst, während die Beobachtung im Cyanblau seltsamerweise ganz unmöglich ist.

Wir unternahmen nun gemeinschaftliche Untersuchungen, bei denen wir uns die Aufgabe stellten, die Bedingungen für die Wahrnehmung jenes Zirkulationsphänomens noch weiter klar zu legen und womöglich sein Zustandekommen zu erklären.

Zwei Erklärungsmöglichkeiten konnten unseres Erachtens in Frage kommen: es kann eine Schattenerscheinung sein, ähnlich der PURKINJESCHEN Aderfigur, bedingt durch Lichtabsorption in den Blutkörperchen; oder es kann eine Erscheinung der

¹ TH. RUETE: Bildliche Darstellung der Krankheiten des menschlichen Auges. Leipzig 1854. S. 56 u. Tabula VIII, Fig. V.

² *Sillimans Journal of Science* 30, S. 264—265, 385—386. 1860.

Lichtbrechung sein, indem die Blutkörperchen, die roten oder die weissen, in irgend welcher Weise linsenartig wirken und das Licht auf die perzipierende Schicht konzentrieren.

Gegen die letztere Annahme sprach vor allem die Schwierigkeit, sich die Blutkörperchen in dieser Weise linsenartig wirkend zu denken.¹

Gegen die Auffassung der Erscheinung als Absorptionsphänomen sprach für uns zunächst folgende Überlegung. Als lichtabsorbierende Elemente konnten natürlich nur die „roten“ Körperchen in Betracht kommen. Da diese im Spektrum am stärksten das Blau und Violett absorbieren, war es wohl erklärlich, daß diese Lichter das Phänomen so deutlich erkennen liessen. Da das Hämoglobin aber auch das Gelbgrün erheblich absorbiert, sollte man erwarten, daß die Körperchen auch bei Erleuchtung des Auges mit diesem Licht wenigstens einigermaßen sichtbar würden. Dieser Nachweis gelang uns jedoch anfangs trotz zahlreicher Versuche mit den verschiedensten Lichtfiltern und mit homogenen Spektrallichtern nicht, und wir kamen daher zu dem Schlusse, daß die Auffassung des Phänomens als Absorptionserscheinung wenig Wahrscheinlichkeit habe. In diesem Stadium der Versuche berichtete der eine von uns (A.) der Berliner physiologischen Gesellschaft (in der Sitzung vom 5. Dezember 1902) über unsere Untersuchungen. Der Zufall wollte es, daß es uns unmittelbar danach gelang, durch Verwendung zweckmäßigerer Versuchsanordnungen doch zu zeigen, daß auch gelbgrünes Licht die Blutkörperchen erkennen läßt, wenn auch nicht so deutlich, wie das violettblaue Licht. Da auch eine ganze Reihe anderer Beobachter unseren Befund bestätigten, halten wir es für erwiesen, daß das Phänomen durch partielle Absorption gewisser Lichtsorten im Hämoglobin der roten Blutkörperchen zustande kommt.

Im einzelnen teilen wir über unsere Versuche noch folgendes mit.

Um mit spektralem Lichte arbeiten zu können, bedarf es eines Apparates, der ein sehr intensives Spektrum liefert. Wird

¹ Am ehesten könnte man noch annehmen, daß die auf der Kante stehenden Blutkörperchen wie Zylinderlinsen (genauer wie torische Linsen) wirkten, und einen leuchtenden Streifen erzeugten. Wie LANDOIS (Lehrbuch der Physiologie, 6. Aufl., S. 882) sich die roten Blutkörperchen als „lichtsammelnde Konkavscheibchen“ denkt, ist uns nicht klar geworden.

vor das dispergierende Prisma eine Linse von 30—40 cm Brennweite gestellt und in deren Brennpunkt ein nicht zu enger Okularspalt, so erblickt man durch diesen die Linse mit monochromatischem Licht erfüllt, wenn das Prisma von der Rückseite her von einem parallelstrahligen Lichtbündel getroffen wird. Auf der Linse sieht man nun das Gewimmel der Blutkörperchen ausgezeichnet, wenn sie mit indigoblauem oder violetterm Lichte erfüllt ist. Im Cyanblau und Blaugrün sieht man gar nichts davon, im Gelbgrün und Grüngelb tritt die Erscheinung wieder auf, um im Orange und Rot unter allen Umständen zu verschwinden.

Zur Demonstration des hübschen Bildes geeigneter ist die Verwendung von Lichtfiltern, z. B. eines tiefdunkelblauen Kobaltglases oder einer Lösung von Kupferammoniak. Am besten erleuchtet man eine Mattglasscheibe recht intensiv durch eine Bogenlampe und betrachtet sie durch das Lichtfilter. Die Körperchen sehen dann, auf die nahe Fläche projiziert, recht groß aus. Auch der Ungeübte sieht sie leicht. Noch klarer und brillanter wird die Erscheinung, wenn man außer der Kupferlösung noch eine dünne Lösung von Kaliumpermanganat in den Gang der Lichtstrahlen bringt, wodurch aus dem Lichtergemisch das Cyanblau völlig entfernt wird.

Nach dem von dem einen von uns (N.)¹ angegebenen Verfahren kann man nun auch leicht ein Lichtfilter herstellen, welches das Cyanblau des Spektrums fast ungeschwächt hindurchläßt, alles übrige aber absorbiert. Man löst Methylgrün in solcher Konzentration, daß vom Blau gerade das Cyanblau durchgelassen wird, setzt dann etwas Kupferacetat und Essigsäure zu, um das vom Methylgrün durchgelassene Rot zu beseitigen und löscht in dem nun übrig gebliebenen Gemisch von grünen und blauen Strahlen die ersteren dadurch, daß man hinter den Absorptionstrog mit der Methylgrünlösung noch einen zweiten mit einer ganz dünnen, blaßroten Kaliumpermanganatlösung stellt.

Man kann das so gewonnene cyanblaue Licht dann dem durch Kupferammoniak und Kaliumpermanganat gewonnenen, indigoblau und violett enthaltenden an Helligkeit gleich machen (für den Dichromaten sogar auch fast völlig farbengleich). Blickt

¹ *Biologisches Zentralblatt* 18, S. 649.

man nun durch diese Lösungen gegen die hellerleuchtete Scheibe vor der Bogenlampe, so ergibt das Cyanblau ein absolut ruhiges Gesichtsfeld, das Violettblau läßt die Körperchenströmung aufs Deutlichste erkennen. Auch der Farbenblinde, für den die beiden Lichtarten, wie erwähnt, kaum zu unterscheiden sind, befindet sich doch hinsichtlich der Wahrnehmung des Strömungsphänomens in der gleichen Lage, wie der Farbentüchtige.

Rote, orangefarbene und blaugüne Erleuchtung ist in jeder Helligkeitsabstufung unwirksam. Man sieht wohl auch bei diesen Lichtern, namentlich bei sehr hellem Orange, ab und zu irgendwelche, schwer zu beschreibende Bewegungserscheinungen, aber diese sind mit den oben beschriebenen nicht identisch und leicht von ihnen zu trennen.

Die gelbgrünen Strahlenfilter, die wiederum ein positives Ergebnis liefern, stellt man her, indem man Kaliumbichromat und Kupferacetat in solchen Mengenverhältnissen löst, daß bei der gegebenen Schichtdicke ein bei der D-Linie beginnender und bis zum Anfang des reinen Grüns reichender Streifen im Spektroskop sichtbar ist.

Dieser Spektralbezirk entspricht in der Tat demjenigen, der vom Hämoglobin absorbiert wird. Betrachtet man spektroskopisch das von einer dünnen Hämoglobinlösung durchgelassene Licht, so sieht man, daß bei einer Konzentration der Blutlösung, bei der die Oxyhämoglobinstreifen nur noch ganz blaß sichtbar sind, das Indigoblau und Violett noch völlig ausgelöscht wird, während das Cyanblau ungeschwächt durchgeht. Diese intensive Absorption des Hämoglobins für Indigo, Blau und Violett¹ erklärt aufs beste das Zustandekommen der Blutkörperchenschatten, erklärt auch, daß diese Schatten im Violettblau so viel intensiver sind, als im Gelbgrün. Andererseits steht die Durchlässigkeit des Hämoglobins für Cyanblau,

¹ Es möge hier darauf hingewiesen werden, daß an vielen Stellen, an welchen die Absorptionswirkung des *Hb* in Wort und Bild dargestellt wird, nur die Absorption im Gelbgrün und Grüngelb berücksichtigt, die unvergleichlich stärkere Absorption im Blauviolett dagegen ganz übersehen wird. Als Beispiele seien genannt: NEUMBIERS Lehrbuch der physiologischen Chemie, in dem ein schönes farbiges Spektrum des *OHb* mit zwei breiten Streifen im Grüngelb abgebildet ist, das sich aber bis ins Violett ungeschwächt erstreckt; denselben Fehler weisen die (nicht farbigen) Darstellungen in LANDOIS' Lehrbuch auf; bei einer Konzentration, die starke Streifen im Grüngelb zeigt, keine Absorption im Violett!

Blaugrün, Rot und Orange im besten Einklang mit der Tatsache, daß in diesen Lichtern die Körperchenströmung nicht sichtbar ist.

Recht instruktiv erschien uns der folgende Versuch: Wir stellten wiederum zwei gleichhelle Lichtfilter her, das eine Cyanblau, das andere Indigoblau und Violett. Alsdann bereiteten wir eine Oxyhämoglobinlösung, die in 1 cm Schichtdicke die beiden Streifen im Grüngelb noch eben deutlich erkennen liefs. Vor die beiden Blaufilter gebracht, verdunkelte das Hämoglobin das Cyanblau nur ganz wenig, das Blauviolett dagegen sehr erheblich. Vor letzterem löschte es auch für unser Auge das Zirkulationsphänomen gänzlich aus. Daß dies nicht von der Verdunkelung im ganzen herrührte, sondern von der Einengung des durchgelassenen Spektralbezirks vom violetten Ende her, liefs sich alsbald erkennen, als wir eine Lösung von Kaliumpermanganat herstellten, die für unser Auge das Blauviolett in gleichem Mafse verdunkelte, wie jene Hämoglobinlösung, jedoch vom cyanblauen Ende her (so daß also die kleinen Anteile von Cyanblau noch völlig beseitigt wurden). Das Strömungsphänomen blieb hier trotz der Verdunkelung vollkommen deutlich.

Bemerkenswert ist, daß die Gegenwart einer Lichtart, die für sich allein das Phänomen nicht zustande kommen läfst, auch sein Zustandekommen hindert, wenn sie in einer Lichtermischung mit erheblichem Betrag beteiligt ist. Dies wird recht deutlich, wenn man durch eine dünne Lösung von Kaliumpermanganat blickt, die nur Rot (sehr hell) und Blauviolett durchläfst: das Zirkulationsphänomen ist nicht zu sehen. Nun braucht man nur Rot durch Vorsetzen einer Lösung von Kupferacetat auszulöschen (wodurch das Gesichtsfeld viel dunkler wird), um alsbald die Körperchen zu Gesicht zu bekommen. Im Tageslichte sind die blauen und violetten Strahlen so stark vertreten, daß das Phänomen deutlich zustande kommt. Löscht man das Violett durch eine hellgrüne Lösung von Nickelsulfat, so verschwindet das Phänomen.

In der Fovea centralis ist die Blutkörperchenströmung nicht zu sehen, wie ja selbstverständlich ist, wenn man diese Deutung der Bewegungserscheinung anerkennt. Zu dieser Feststellung gehört immerhin einige Übung. Am evidentesten fanden wir das Freibleiben der zentralen Partie bei folgender Versuchsanordnung. Man blickt monokular durch eine ammoniakalische

Kupferlösung nach der beleuchteten Mattscheibe, auf der man einen Fixierpunkt durch Bleistift markiert hat. Achtet man alsdann auf die Pünktchen, die am nächsten an die Fovea herankommen, so gelingt es nach einiger Übung sehr gut, die Stellen, an denen sie soeben gesehen wurden, durch einen Bleistiftpunkt zu markieren. Wird dies rund um den Fixierpunkt sukzessive ausgeführt, so hat man bald einen Kranz von Punkten, innerhalb dessen sich keines der glänzenden Körperchen erblicken läßt. Der so zu findende freibleibende Bezirk scheint individuell etwas zu wechseln, er beträgt bei N. $1,5^\circ$ im Durchmesser und ist hier fast genau kreisrund, bei A. queroval.

Man kann fragen, aus welchem Grunde die beschriebene Bewegungserscheinung im Gegensatz zur PURKINJESCHEN Aderfigur und den anderen Figuren, die bei Bewegung eines Spaltes vor dem Auge entstehen¹, beim einfachen ruhigen Blick gegen eine leuchtende Fläche ohne weiteres sichtbar wird und bleibt, während jene anderen Wahrnehmungen nur bei bewegter Lichtquelle gemacht werden können. Ein Grund liegt, wie ohne weiteres klar ist, darin, daß hier das schattenwerfende Objekt selbst in steter Bewegung ist, und dadurch die lokale Ermüdung wegfällt, die uns die dauernde Wahrnehmung der Aderfigur unmöglich macht.

Wir werden aber auch nicht umhin können, anzunehmen, daß es sich in den erwähnten drei Fällen um drei verschiedene Arten von Gefäßen handelt, über deren relative Tiefenlage zunächst nur das zu sagen ist, daß die Gefäße, deren Inhalt man in der oben beschriebenen Weise strömen sieht, am tiefsten liegen müssen, d. h. der Zapfenschicht am nächsten; die beiden anderen Gefäßarten mögen in gleicher Ebene miteinander liegen und nur durch die verschiedene Beleuchtungsweise in verschiedener Art sichtbar werden. Damit ein einzelnes bewegtes Blutkörperchen, oder auch eine Gruppe zusammengeballter solcher, als schattenwerfender Gegenstand sichtbar werde, muß es der perzipierenden Schicht jedenfalls bedeutend näher liegen, als ein ansehnliches Arterien- oder Venenästchen, wie wir es in der PURKINJE-

¹ Soviel uns bekannt, wird zuweilen angenommen, die Gefäße, die bei Konzentrierung eines Lichtkegels auf die Sklera und bei Bewegung eines beleuchteten Spaltes vor dem Auge wahrgenommen werden, seien dieselben. Das ist aber, wie eine aufmerksame Vergleichung beider Bilder zeigt, entschieden nicht der Fall. Wir beabsichtigen indessen nicht, auf diese Frage hier näher einzugehen.

schen Figur zu sehen bekommen. So weit in der Tiefe liegen aber fast nur Kapillaren. Die ganze Bewegungsweise der Körperchen erinnert auch in der Tat außerordentlich an die Art, wie sich die Blutkörperchen durch die Kapillaren der Froschschwimmhaut oder des Froschmesenteriums hinschlängeln.

Macht man sich zum Vergleich die feineren Netzhautgefäße über Kapillargröße sichtbar, indem man vor dem Auge ein enges Diaphragma hin- und herbewegt, durch welches helles Licht einfällt, so erkennt man leicht, daß die Gestaltung dieser Gefäße anders ist, als die Bahnen, in denen wir die Körperchen gleiten sehen; jene verlaufen gerader, gestreckter, während diese einen ausgeprägt geschlängelten Verlauf haben.

Wir werden anzunehmen haben, daß die Schattenabbildung der Blutkörperchen nur in dem Augenblick in der für die Wahrnehmung genügenden Schärfe zustandekommen, in der die Körperchen die tiefsten Schichten der Netzhaut passieren. Mit dem Aufsteigen in höhere (innere) Schichten entschwinden sie alsbald der Wahrnehmung. Dadurch erklärt sich, warum man die einzelnen Pünktchen immer nur auf relativ kurze Strecken verfolgen kann.

Wir haben bisher, um die Darstellung nicht zu komplizieren, immer nur von der Schattenabbildung einzelner Körperchen oder Körperchengruppen gesprochen. Es wäre aber auch denkbar, daß, was wir sich bewegen sehen, die Lücke zwischen je zwei Gruppen dicht beieinanderliegender und miteinander sich fortschiebender Blutkörperchen wären. Ohne eine bestimmte Ansicht über die Richtigkeit der beiden möglichen Annahmen auszusprechen, möchten wir doch darauf hinweisen, daß manches für die letzterwähnte, bereits von HELMHOLTZ¹ ausgesprochene Annahme geltend gemacht werden kann. Zunächst erscheinen die Pünktchen überwiegend hell auf dunklem Grunde, z. B. bei Beobachtung durch blaues Glas leuchtend bläulichweiß auf tiefblauen Grunde.² Obgleich ein dunkler Schatten jedes helle Pünktchen, wie oben erwähnt, begleitet, wäre diese Erscheinung leichter erklärt, wenn wir annähmen, es seien die Lücken

¹ Physiologische Optik. 2. Aufl., S. 198.

² Gelbliche, also dem Grunde komplementäre Färbung, wie sie ROOD a. a. O. und VIERORDT (Die Wahrnehmung des Blutlaufs in der Netzhaut des eigenen Auges. *Arch. f. physiolog. Heilkunde* 1856) angeben, konnten wir niemals wahrnehmen.

zwischen mehreren Blutkörperchen, die uns durch plötzliche Erhellung der dahinter liegenden Zapfen jene Lichtpünktchen erscheinen ließen. Auch die relativ spärliche Zahl der gleichzeitig sichtbaren Pünktchen könnte in diesem Sinne gedeutet werden. Wo sich der zusammenhängende Strom der Blutkörperchen durch irgend ein Hemmnis vorübergehend trennt, würde ein Lichtpunkt aufleuchten, wo sich die Reihe wieder schließt, würde er verschwinden.

Ganz zwingend sind diese Gründe jedoch nicht und wir möchten daher die Frage offen lassen, ob das einzelne bewegte Pünktchen in der Zirkulationsfigur den Schatten eines oder einiger Blutkörperchen oder die Lücke zwischen größeren Ketten von Körperchen zur Anschauung bringt.

Unsere übrigen Ausführungen werden von der Art, wie man zu dieser Frage Stellung nehmen will, ohnehin nicht berührt.

(Eingegangen am 2. Dezember 1903.)
