(Aus dem physiologischen Institut der Universität Würzburg.)

Ueber intermittirende Netzhautreizung.

Neunte Mittheilung.

Von

Prof. **F. Schenck** und **Walter Just**, approb. Arzt.

Ueber eine bisher nicht beachtete methodische Schwierigkeit und ihre theoretische Bedeutung.

Im Verlaufe unserer Untersuchungen über intermittirende Netzhautreizung sind wir auf einige Thatsachen gestossen, die einer besonderen Erwähnung bedürfen, weil sie uns auf eine unseres Wissens bisher nicht beachtete methodische Schwierigkeit bei der intermittirenden Netzhautreizung mittelst Kreiselscheiben aufmerksam gemacht haben, und weil sie geeignet erscheinen, zur Aufklärung derjenigen Erscheinungen beizutragen, die von einigen Autoren auf den Einfluss der Conturenbewegungsgeschwindigkeit bezogen worden sind.

Wir hatten uns zu einem hier nicht zu erörternden Zwecke eine Kreiselscheibe hergestellt, welche zwei concentrische Ringe von folgender Beschaffenheit enthielt: Jeder Ring war 14 mm breit. Die Entfernung der inneren Grenze des inneren Ringes vom Centrum der Scheibe betrug 43 mm, die der äusseren also 57 mm; für den äusseren Ring betrugen die entsprechenden Entfernungen 61 mm und 75 mm. Der innere Ring war in 8 abwechselnd schwarze und weisse Sektoren getheilt, der äussere in 16. Das Verhältniss der Breite der schwarzen Sektoren zu der der weissen betrug in beiden Ringen 104:256.

Die Scheibe wurde beobachtet durch ein kreisförmiges Loch von 5 mm Durchmesser, das sich in einem 30 cm von der Scheibe entfernten, parallel zu dieser aufgestellten, grauen Papier befand. Das Grau dieses Papiers war gleich hell dem durch die Sektorenmischung entstandenen Grau. Das beobachtende Auge befand sich

50 cm von der Scheibe entfernt und konnte durch das Loch eine Fläche der Scheibe beobachten, deren Durchmesser 12,5 mm, also etwas weniger als die Breite der Ringe, betrug. Das Loch wurde nun abwechselnd so gestellt, dass die beobachtete Fläche das eine Mal ganz in den inneren Ring, das andere Mal ganz in den äusseren Ring zu liegen kam.

Wir hatten nun auf Grund unserer bisherigen Anschauungen über intermittirende Netzhautreizung erwartet, dass wir bei Beobachtung des inneren Ringes die Scheibe doppelt so schnell drehen müssten, als bei Beobachtung des äusseren, um gleichmässiges Grau zu sehen. Das war aber nicht der Fall: es ergaben sich vielmehr für das rechte Auge des einen von uns (Schenck) bei Beobachtung des inneren Ringes 13,8 Umdrehungen in der Secunde, bei Beobachtung des äusseren Ringes aber nicht halb so viel, sondern fast eben so viel, wie im ersten Falle, nämlich 13,5 Umdrehungen.

Wie wenig die Umdrehungszahlen für die beiden Ringe von einander verschieden sind, davon konnten wir uns auch überzeugen, ohne diese Zahlen selbst zu bestimmen: Wir visirten den äusseren Ring und regulirten die Umdrehungsgeschwindigkeit der Scheibe so, dass gerade eben Verschmelzung bestand. Visirten wir darauf den inneren Ring, so fanden wir ihn nahezu verschmolzen, so dass nur eine offenbar sehr geringe Beschleunigung zur völligen Verschmelzung nöthig war.

Was konnte nun die Ursache dieses unerwarteten Resultates sein?

Erstens musste wieder an die Möglichkeit eines Einflusses der langsameren Conturenbewegungsgeschwindigkeit des äusseren Ringes gedacht werden. Da aber das Verhältniss der für den äusseren Ring gefundenen Umdrehungszahl zu der für den inneren Ring gefundenen grösser war, als das umgekehrte Verhältniss der mittleren Radien der Ringe $\left(\frac{13,5}{13,8} > \frac{50 \text{ mm}}{68 \text{ mm}}\right)$, die Conturen des äusseren Ringes sich also thatsächlich schneller bewegten, wie die des inneren, so konnte der genannte Einfluss mindestens nicht die alleinige Ursache des unerwarteten Resultates sein.

Zweitens musste daher die Möglichkeit in Betracht gezogen werden, dass Ungenauigkeiten in der Zeichnung die Ursache des Resultates gewesen waren. Die genaue Nachmessung ergab thatsächlich, dass eines der schwarzen Felder des äusseren Ringes etwas zu schmal ausgefallen war.

Um nun diese beiden Möglichkeiten gleichzeitig auszuschliessen, wurde eine neue Scheibe hergestellt, auf der der äussere Ring dieselben Entfernungen vom Centrum hatte, wie auf der ersten; der innere Ring der neuen Scheibe hatte dagegen seine innere Grenze 27, seine äussere Grenze 41 mm vom Centrum entfernt. Die mittleren Radien der Ringe verhielten sich also hier wie $34:68 = 1:2$, und die Conturenbewegungen waren daher gleich schnell, wenn sich der innere Ring in der Secunde doppelt so oft umdrehte, wie der äussere. Zur Vereinfachung der Zeichnung wurde das Verhältniss der Breite der schwarzen zu der der weissen Sektoren gleich $1:3$ gewählt, so dass die Ringe nicht, wie auf der ersten Scheibe, 104° , sondern nur 90° Schwarz enthielten. Unter diesen Umständen gelang die Zeichnung mit einer solchen Genauigkeit, dass bei der Nachmessung kein mit blossem Auge wahrnehmbarer Fehler vorhanden war. Die schwarzen Felder waren übrigens bei dieser, wie bei der ersten Scheibe nicht auf das weisse Cartonpapier aufgezeichnet, sondern es wurden diese Felder aus der weissen Scheibe ausgeschnitten und tiefschwarzes Wollpapier hinter den Ausschnitten angebracht.

Aber auch mit dieser neuen Scheibe erhielten wir nicht die erwartete Proportionalität in der Umdrehung der beiden Ringe. Für das rechte Auge des einen von uns (Schenck) ergaben sich als Mittel aus je vier Einzelbestimmungen beim inneren Ring 10,4 Umdrehungen, beim äusseren 8,6, d. s. für den äusseren Ring immerhin noch 3,4 Umdrehungen oder etwa 65 % mehr, als aus der für den inneren Ring nöthigen Umdrehungszahl zu berechnen war.

Nunmehr konnte aber die Abweichung der berechneten von der beobachteten Umdrehungszahl für den äusseren Ring durch nichts Anderes bedingt sein, als durch Ungleichmässigkeiten der Scheibe an verschiedenen Stellen, sei es, dass doch noch ein Zeichenfehler in den Ringen enthalten war, der trotz seiner Kleinheit für die intermittirende Netzhantreizung nicht zu vernachlässigen ist, sei es, dass — vielleicht in Folge von geringen Unebenheiten der Scheibe oder aus anderen in den Unvollkommenheiten der Methode liegenden Ursachen — das Licht nicht von allen Theilen der Scheibe in gleicher Intensität reflectirt wurde.

Dass z. B. Unebenheiten der Scheibe von grossem Einfluss sein können, davon haben wir uns durch besondere Versuche überzeugt. In diesen Versuchen wurde die Scheibe absichtlich etwas gebogen, so dass sie in geringem Grade uneben war, und festgestellt, ob die

für die Verschmelzung des äusseren Ringes nothwendige Umdrehungszahl grösser war, als bei möglichst ebener Scheibe. Es ergab sich da Folgendes: Der äussere Ring erforderte bei möglichst ebener Scheibe in zwei Versuchen erst 6,3, dann 6,8 Umdrehungen in 1 Secunde, um gleichmässig auszusehen; als die Scheibe aber nur um ein Weniges verbogen war, betrugen die Umdrehungen 9,8 und 9,0.

Uebrigens scheinen wir bei der Beobachtung durch das Loch von 5 mm Durchmesser zufällig besonders günstige Bedingungen für die besprochene Erscheinung gehabt zu haben. Die Erscheinung war nämlich weniger deutlich bei Beobachtung durch ein kleineres Loch von nur 1,5 mm Durchmesser und noch weniger bei freier Beobachtung. Es ergaben sich nämlich in fünf zum Vergleiche angestellten Versuchsreihen für das Verhältniss der Umdrehungszahl des äusseren Ringes zu der des inneren folgende Zahlen:

Nummer	Loch von 5 mm Durch- messer	Loch von 1,5 mm Durch- messer	Freie Beobachtung
1	1,56	1,82	1,89
2	1,54	1,92	1,96
3	1,38	1,48	1,54
4	1,29	1,66	1,82
5	1,26	1,29	1,41
Mittel	1,41	1,63	1,72

Das Verhältniss muss sich dem Werthe 2 um so mehr nähern, je weniger die durch die Ungleichmässigkeiten der Scheibe bedingten Beobachtungsfehler im Spiele sind. Wir sehen also, dass diese Beobachtungsfehler im Allgemeinen bei freier Beobachtung am wenigsten im Spiele sind, mehr schon bei Beobachtung durch das kleine Loch und am meisten bei Beobachtung durch das grosse Loch. Allerdings sind die Abweichungen der Einzelwerthe von dem zugehörigen Mittelwerth recht beträchtlich. Doch ist zu beachten, dass in einer und derselben Versuchsreihe die Zahlen sich immer in demselben Sinne ändern.

Wenn nun solche bei directer Beobachtung der nicht bewegten Scheibe wenig oder gar nicht wahrnehmbare Ungleichmässigkeiten für die intermittirende Netzhautreizung so sehr in Betracht kommen, dann — so sagten wir uns — kann auch für eine anscheinend ganz gleichmässige Scheibe, etwa eine ganz weisse, schwarze oder graue

Scheibe, nicht, wie bisher in der Theorie immer stillschweigend angenommen wurde, die Umdrehungsgeschwindigkeit 0 genügen, um bei unserer Art der Beobachtung einen gleichmässigen Eindruck hervorzurufen, sondern es muss dazu eine beträchtliche Anzahl von Umdrehungen nöthig sein.

Das ist nun thatsächlich der Fall!

Wir haben Versuche mit drei grauen Scheiben gemacht, die nach den Angaben Marbe's¹⁾, also photographisch, hergestellt waren. Die Scheiben wurden in Rotation versetzt und in der oben beschriebenen Weise jedes Mal durch ein Loch von 5 mm Durchmesser beobachtet, das sich in einem Stück aus demselben grauen Papier, wie die betreffende Scheibe, befand. Da ergab sich Folgendes:

Eine hellgraue Scheibe (entsprechend einem Gemisch von 104° Schwarz und 256° Weiss) erforderte 14,8 Umdrehungen in 1 Sekunde, um nicht mehr zu flimmern.

Eine mittelgraue Scheibe (entsprechend einem Gemisch von 195° Schwarz und 165° Weiss) erforderte hierzu 13,0 Umdrehungen.

Eine dunkelgraue Scheibe (entsprechend einem Gemisch von 292° Schwarz und 68° Weiss) erforderte hierzu 10,5 Umdrehungen.

Aus diesen Beobachtungen lassen sich folgende Schlüsse ziehen: Für die Untersuchung der intermittirenden Netzhautreizung mit Hilfe der aus abwechselnd weissen und schwarzen Sektoren bestehenden Kreisscheiben kommen offenbar zwei verschiedene Perioden in Betracht:

1. die durch den Sektorenwechsel bedingte Periode;
2. die auf Ungleichmässigkeiten (Zeichenfehlern, ungleichmässiger Lichtreflexion von verschiedenen Stellen) der Scheibe beruhende Periode.

Die Dauer der ersten Periode ist gleich der Zeit, in der ein schwarzer und der darauf folgende weisse Sector zusammen einmal an dem Auge sich vorbei bewegen.

Die Dauer der zweiten Periode lässt sich zwar im concreten Falle vorläufig noch nicht sicher bestimmen. Doch ist es klar, dass sie in maximo gleich der ganzen Umlaufszeit der Scheibe sein kann. Und wenn man bedenkt, wie enorm gering die Wahrscheinlichkeit

1) Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorgane Bd. 12 S. 62.

ist, dass auf irgend einem concentrischen Kreise der Kreisscheibe die Abstände der einzelnen Ungleichmässigkeiten (von ihrer Intensität gar nicht zu reden!) aliquote und einander gleiche Theile der betreffenden Kreisperipherie sind, so kommt man zu dem Schluss, dass die Dauer unserer zweiten Periode fast immer gleich der ganzen Umlaufszeit sein wird.

Es ergibt sich nun die wichtige Frage: In welcher Weise wird der längst bekannte Einfluss der ersten Periodik auf die zur Verschmelzung nöthige Umdrehungszahl durch den bisher nicht beachteten Einfluss der zweiten Periodik modificirt, resp. wie combiniren sich die beiden Einflüsse?

Die Beantwortung dieser Frage im Einzelnen ist zur Zeit noch nicht möglich, doch lassen sich im Allgemeinen auf Grund unserer Versuche schon jetzt folgende Sätze aufstellen:

Bei Scheiben mit wenigen Sektoren ist der Antheil, den die erste Periodik an der zur Verschmelzung nöthigen Umdrehungsgeschwindigkeit der Scheibe hat, grösser als der Antheil der zweiten Periodik; daher stören hier die Ungleichmässigkeiten der Scheibe nicht oder doch wenig. Wenn aber die von der zweiten Periodik abhängige Umdrehungsgeschwindigkeit grösser wird, als die von der ersten Periodik abhängige — und das kann bei Scheiben mit vielen Sektoren der Fall sein —, dann werden die Ungleichmässigkeiten der Scheibe bemerkbar und bedingen, dass man die Scheibe schneller drehen muss, als der Zahl der Sektoren entspricht.

Dass man eine Scheibe mit vielen Sektoren zur Verschmelzung schneller drehen muss, als der Zahl ihrer Sektoren entspricht, ist nun bekanntlich die Thatsache, auf die die Lehre gestützt wurde, dass die Geschwindigkeit der Conturenbewegungen Einfluss auf die Verschmelzung habe. Diese Lehre war freilich nicht mit gewissen Beobachtungen Baader's¹⁾ in Einklang zu bringen, wie in einer früheren Mittheilung²⁾ ausgeführt wurde. In derselben Mittheilung³⁾ wurde der Beweis erbracht, dass die kleinen unwillkürlichen Augenbewegungen, die wir fortwährend ausführen, zum mindesten mit

1) Dissertation. Freiburg 1891.

2) Dieses Archiv Bd. 64 S. 176 ff.

3) Dieses Archiv Bd. 64 S. 165 ff.

Ursache der in Rede stehenden Erscheinungen sind. Nun gibt aber Marbe¹⁾ an, dass er den Einfluss der Conturenbewegung auch in einem Falle hat constatiren können, wo Augenbewegungen genügend ausgeschlossen gewesen sein sollen. Er beobachtete eine Sectorscheibe durch ein kleines Loch und fand die Verschmelzung an einer Stelle nahe der Peripherie der Scheibe schon eingetreten bei einer Umdrehungsgeschwindigkeit, bei der eine Stelle nahe dem Centrum noch flimmerte. Falls in diesem Falle Augenbewegungen wirklich nicht im Spiele gewesen sein sollten, muss die Möglichkeit bedacht werden, dass die Ungleichmässigkeiten der Scheibe im Spiele gewesen sind. Insbesondere könnte in dem von Marbe beschriebenen Versuche der Zeichenfehler einen in Betracht kommenden Einfluss ausgeübt haben, da ja der Zeichenfehler nahe dem Centrum, wo die Sectorsen sehr schmal werden, relativ grösser ist, als nahe der Peripherie der Scheibe.

Auf Grund unserer neuen Versuche muss also die Möglichkeit in Betracht gezogen werden, dass Ungleichmässigkeiten der Scheiben mit Ursache der Erscheinungen sind, die manche Autoren bisher auf Verschiedenheiten der Conturenbewegungen bezogen haben.

1) Wundt, Philosophische Studien Bd. 14 S. 393 ff.