

Ueber die Frage, ob zwischen den Netzhäuten eines Augenpaares ein sympathischer Zusammenhang besteht.

Von

A. Eugen Fick.

Vortrag, gehalten in der naturforschenden Gesellschaft
am 10. Dezember 1894.

Meine Herren!

Wenn Sie Licht auf ein Auge fallen lassen, so verengt sich die Pupille; aber nicht die Pupille des belichteten Auges allein, sondern auch die des anderen, nicht belichteten. Die Irides der beiden Augen stehen also in sympathischem Zusammenhange. Die Thatsache ist ebenso bekannt, wie die Natur dieses Zusammenhanges. Wir wissen, dass Belichtung des einen Auges die Netzhaut reizt, dass der Sehnerv diesen Reiz zum Hirne leitet und dass in gewissen «primären Hirncentren», in den vordern Vierhügeln, ein Reflex ausgelöst wird, der auf den Bahnen der nervi oculomotorii zu den Irides **beider** Augen fliesst, und demgemäss in beiden Augen Pupillenverengerung bewirkt.

Verhält es sich mit den Netzhäuten eines Augenpaares ebenso? Wird ein Netzhautbild des einen Auges vielleicht auch von irgend einem primären Hirncentrum aus in das andere projiciert, so dass beide Netzhäute den Sehakt durchmachen, obgleich nur die eine belichtet wurde? In dieser Form können wir die Frage unbedenk-

lich mit Nein beantworten. Denn wenn man die eine Netzhaut z. B. rot, die andere blau belichtet, so tritt eine Erscheinung auf, die als «Wettstreit der Gesichtsfelder» bezeichnet wird. Dieser Wettstreit beweist schlagend, dass jedes Auge eine Persönlichkeit für sich ist. Die beiden Augen sind zwei wohlgezogenen Pferden eines Gespannes zu vergleichen, die für gewöhnlich in gleichem Sinne ziehen, weil eben die beiden Augen eines Paares für gewöhnlich gleich belichtet sind, die es aber ganz in der Hand haben, gelegentlich auch einmal jedes seinen eignen Weg zu gehen.

Man kann aber die Frage nach einem etwaigen sympathischen Zusammenhange der Netzhäute auch anders fassen. Das Licht, das auf unsere Netzhäute fällt, bewirkt dort nicht bloss solche Veränderungen, die mit dem Sehen unmittelbar in Zusammenhang stehen, sondern auch andere, die mit dem Sehen selber wahrscheinlich nichts zu thun haben; so haben wir z. B. in unserer Netzhaut Pigment, das bei Lichteinfall seinen Ort wechselt und wahrscheinlich eine Art innerer Iris vorstellt, die im richtigen Augenblicke Licht-verschluckende Hüllen um die einzelnen Sehzellen bilden muss. Es wäre nun wohl denkbar, dass bei Belichtung des einen Auges nicht bloss das Wanderpigment dieses Auges in die schützende Stellung übergeht, sondern dass sich der Vorgang durch den Sehnerven ins Gehirn meldet und von dort durch den anderen Sehnerven auf die zweite Netzhaut übertragen wird. Freilich würde dies voraussetzen, dass der Sehnerv nicht bloss hirnwärts, sondern auch in umgekehrter Richtung, also augenwärts leitende Fasern hat, was mit dem Gesetz von der spezifischen Energie der Sinnesnerven in geradem Widerspruch steht. Sie sehen also, meine

Herren, dass die Frage nach dem Verknüpftsein der Netzhäute eines Augenpaares in die eigentlichen Grundfragen der Sinnesphysiologie hineinspielt. Um Ihnen den dermaligen Stand dieser Frage schildern zu können, muss ich für die Nichtmediciner unter Ihnen einige Bemerkungen über den Bau der Netzhaut und über die Ortsveränderungen der Zapfen und des Pigmentes vorausschicken. (Vorweisung und Erläuterung einiger Abbildungen von Netzhäuten in Licht- und in Dunkelstellung.)

Nach dem, was ich Ihnen bis jetzt mitgeteilt habe, ist es also selbstverständlich, dass sich das Ausbleichen des Sehretes durch Belichtung des einen Auges auf das andere nicht überträgt; dagegen ist es fraglich, ob sich die Pigmentwanderung und die Zusammenziehung der Zapfennenglieder überträgt. Diese Frage ist nun durch Engelmann und seine Schüler mit Ja beantwortet worden; er belichtete das eine Auge eines Dunkelfrosches, und fand dann Innenstellung des Pigmentes und der Zapfen in beiden Augen. Er schloss daraus, dass die Innenstellung des Pigmentes und der Zapfen durch den Sehnerv einen Reiz ins Gehirn sende und dass dieser Reiz im anderen Sehnerven zur zweiten Netzhaut herabsteige, dass also der Sehnerv doppelsinnig leite, einerseits sensitiv, d. h. zum Gehirn, andererseits motorisch, d. h. vom Gehirn zur Netzhaut. Diese Ansicht schien eine Bestätigung zu finden, als es jenem Forscher gelang, durch blosse Belichtung der Haut Innenstellung des Pigmentes und der Zapfen zu erzeugen. Diese Beobachtung schien nur die Deutung zuzulassen, dass der Lichtreiz von der Haut durch sensitive Nerven ins Hirn und Rückenmark geleitet und von da durch «retinomotorische» Fäden des Sehnerven auf die Netzhaut reflektiert werde; denn nur

durch den Sehnerven steht die Netzhaut mit dem Gehirn in Verbindung.

Man sollte meinen, es müsste kinderleicht sein, diese Sätze durch Nachuntersuchung zu bestätigen, oder zu widerlegen. Denn die Netzhautelemente sind beim Frosche so gross, die Verschiebungen des Pigmentes und die Zusammenziehungen der Zapfen so ausgiebig, dass man die Pigmentverschiebungen schon mit blossem Auge, die Veränderungen der Zapfen mit mässig starken Vergrösserungen verfolgen kann. Allein als ich mich an die Arbeit machte, fand ich sie ganz ausserordentlich schwierig und zwar aus folgendem Grunde: Wir können wohl (beim Frosch) durch verschiedene Mittel vollständige Innenstellung des Pigmentes und der Zapfen erzeugen; aber wir sind bis jetzt noch nicht im stande, durch Absperren des Lichtes oder sonstige Massnahmen eine vollständige, über die ganze Netzhaut verbreitete **Aussen-Stellung** des Pigmentes und der Zapfen hervorzurufen.

Wenn man also einen Dunkelfrosch nimmt, seine Haut belichtet, nunmehr die Netzhaut mikroskopiert und Pigment und Zapfen in Innenstellung findet, so folgt daraus noch lange nicht, dass die Hautbelichtung diese Innenstellung bewirkt hat; denn der Dunkelfrosch könnte ja vor Beginn der Hautbelichtung in gewissen Teilen seiner Netzhaut trotz des Dunkelaufenthaltes Innenstellung des Pigmentes und der Zapfen besessen haben. Es wäre also als Vorfrage für die beiden Engelmann'schen Versuche zunächst einmal alles aufzusuchen, was Innenstellung bewirkt oder begünstigt; ganz besonders wichtig aber wäre es zu wissen, worauf es denn beruht, dass wir in der Netzhaut so vieler Dunkelfrösche, besonders an gewissen Stellen, ganze oder wenigstens teilweise Innen-

stellung zu finden pflegen. In dieser Beziehung ist nun bis jetzt folgendes bekannt:

1. Innenstellung des Pigmentes und der Zapfen lässt sich durch Belichtung hervorbringen. Kühne gibt sogar an, dass die Innenstellung des Pigmentes streng auf den belichteten Teil der Netzhaut beschränkt bleibt, dass man Pigment-Optogramme der Netzhaut erhält, wenn man helle und dunkle Streifen so nebeneinander stellt, dass sie sich eine Zeit lang in einem ruhig stehenden Froschauge abbilden. Andererseits ist es keineswegs leicht, einer über die ganze Netzhaut verbreitete gleichmässige Innenstellung des Pigmentes und der Zapfen hervorzu- bringen, da die einzelnen Teile der Netzhaut sehr verschiedene Neigung zur Innenstellung besitzen. So findet man bei Fröschen, die längere Zeit auf einem Porzellan- teller unter einem Lampenmilchglas gesessen haben, also möglichst gleichmässig belichtet worden sind, doch nur in den mittleren und unteren Teilen der Netzhaut aus- gesprochene Innenstellung, in den oberen Teilen dagegen mehr oder weniger gut erhaltene Aussenstellung. Ferner hat sich ergeben, dass eine recht merkliche Zeit dazu gehört, um durch Belichtung die Aussenstellung des Pigmentes und der Zapfen in Innenstellung überzuführen. Denn wenn man Dunkelfrösche für etwa zwei Minuten ins Helle bringt, jetzt die Tiere schnell tötet und fixiert, so wird man wenig oder gar nichts von Lichtwirkungen finden. Man muss den Dunkelfrosch schon $\frac{1}{4}$ Stunde oder länger in zerstreutes Tageslicht bringen, wenn man einen vollen Erfolg haben will, oder man muss den Frosch nach der kurzen Belichtung noch eine Zeit lang, sagen wir 20 Minuten, leben lassen und dann erst töten und fixieren; denn der Anstoss, den die kurze Belichtung ge-

geben hat, wirkt auch weiter, wenn das Tier in die Dunkelkammer zurückgebracht wird.

2. Innenstellung des Pigmentes und der Zapfen lässt sich bei Ausschluss alles Lichtes, durch Wärme hervorbringen.

3. Die Innenstellung soll sich bei Dunkelfröschen dadurch hervorbringen lassen, dass man elektrische Ströme von mässiger Dichte und abwechselnder Richtung durch die Augen leitet; auch Strychninvergiftung soll völlige Innenstellung des Pigmentes und der Zapfen erzeugen. Diese Angaben rühren von Engelmann her. Eigene Erfahrungen stehen mir darüber nicht zu Gebote.

4. Tötet man einen Dunkelfrosch und lässt ihn eine halbe Stunde (im Dunkeln) liegen, ehe man fixiert, so findet man mehr oder weniger verbreitete Innenstellung des Pigmentes und der Zapfen. Sie wird also durch das Absterben der Zellen hervorgerufen.

5. Behinderung der Atmung bewirkt Innenstellung des Pigmentes. Diese Thatsache habe ich Ihnen in einem Vortrage im Mai 1889 hier mitgeteilt. Herr Walo Koch, ein Schüler von mir, hat dann diese Beobachtung weiter verfolgt und gefunden, dass Behinderung der Atmung zwar das Pigment in Innenstellung treibt, die Zapfen aber nicht, so dass man bei Dunkelfröschen, die eine Zeit lang in reinem Wasserstoff geatmet haben, stärkste Innenstellung des Pigmentes mit stärkster Aussenstellung der Zapfen verbunden sehen kann.

Viel spärlicher sind unsere Kenntnisse über die Umstände, welche Aussenstellung des Pigmentes und der Zapfen begünstigen. Wir wissen nur so viel, dass die Dauer der Dunkelhaft von Bedeutung ist. Die stärkste Aussenstellung des Pigmentes wird bereits nach 3—4

Stunden Dunkelaufenthalt gefunden. Die stärkste Aussenstellung der Zapfen dagegen erst nach 8—12 Stunden. Lässt man die Frösche noch länger im Dunkeln, tage- und wochenlang, so findet man das Pigment vorherrschend in halber oder ganzer Innenstellung und die Zapfen in Innenstellung und beginnender Aussenstellung.

Sie werden es jetzt verstehen, meine Herren, dass es sehr vieler Versuche und Kontrollsversuche bedarf, um darüber ins klare zu kommen, ob die zwei in Rede stehenden Sätze Engelmann's richtig sind oder nicht. Was mich meine neueren Versuche hierüber gelehrt haben, will ich Ihnen nun kurz erzählen.

Der erste Satz Engelmann's, dass es möglich sei, durch Belichten des einen Auges im anderen, dunkel gehaltenen, Innenstellung des Pigmentes und der Zapfen hervorzubringen, ist richtig; aber ich halte es für falsch, wenn Engelmann daraus schliesst, dass die Uebertragung auf dem Wege der Sehnerven von Statton gehe und dass also in den Sehnerven ausser den centripetalen Fasern auch centrifugale vorhanden sein müssten. Denn durch Belichtung eines Auges lässt sich Innenstellung im anderen, dunkel gehaltenen Auge auch dann erzeugen, wenn vorher sein Sehnerv durchschnitten worden ist.

Diesen Versuch stelle ich folgendermassen an: Ich durchschneide bei 6—8 Fröschen von der Mundhöhle aus den Sehnerv des rechten Auges. Darauf setze ich die Frösche über Nacht ins Dunkelzimmer. Am nächsten Tage mache ich sie durch Einspritzen einer Spur von Pfeilgift bewegungslos, was erfahrungsgemäss auf die Stellung des Pigmentes und der Zapfen ebensowenig Einfluss hat, wie die Durchschneidung des Sehnerven. Nun wickle ich jeden Frosch in einen nassen Samtlappen, bringe ihn ins Helle

und lege das linke Auge durch ein Loch im Samt und durch Wegschneiden der Nickhaut frei. Hierauf wird der Frosch so auf einen Teller gelegt, dass sein linkes, weit offenes Auge gegen den blauen Himmel oder eine weisse, sonnbeschienene Wolke starrt. Nachdem das Auge eine Stunde lang in dieser Weise hellem Licht ausgesetzt gewesen ist, wird der Frosch, bezw. werden die Frösche ins Dunkelzimmer gebracht, dort getötet und die Oberkiefer mit den Augen in 10% Salpetersäure gelegt. Nach zwei Stunden ist die Fixierung der Gewebe vollendet, die Oberkiefer werden in Wasser übertragen, und die Augen sind fertig zur Untersuchung.

Wenn die Untersuchung nur eine makroskopische sein soll, wie das z. B. für uns heute Abend der Fall ist, dann nimmt man sie folgendermassen vor. Man öffnet die Augäpfel, schält die Netzhäute im Ganzen heraus und legt sie, die linke links, die rechte rechts mit der Innenfläche auf einen Objektträger. Nun pinselt man die äusserste Netzhautschicht, das Pigmentepithel, so gut als möglich ab. Wenn es sich um eine Netzhaut in Aussenstellung handelt, gelingt die Abpinselung leicht und es liegt dann die Netzhaut als ein orangegelber, nur in einem schmalen Gürtel zart-grau gefärbter Lappen vor uns. Die orangegelbe Farbe rührt von dem durch Salpetersäure veränderten Sehrote oder Netzhautpurpur her. Auch dieser «salpetersaure Purpur» ist noch lichtempfindlich und verblasst unter dem Einfluss des Lichtes mehr und mehr, so dass schliesslich, wie in diesen Präparaten (Vorweisung), nur eine blassgelbe Farbe übrig ist. Die teilweise Graufärbung dieser Netzhäute rührt nun, wie man mit dem Mikroskop sehen kann, von Pigment her, das sich mehr oder weniger weit zwischen

die Stäbchen und Zapfen vorgeschoben hat. Je weiter verbreitet das graue Feld und je dunkler es ist, desto verbreiteter und stärker ist die Innenstellung des Pigmentes.

Handelt es sich um eine Netzhaut, bei der starke Innenstellung des Pigmentes vorhanden ist, so gelingt das Abpinseln des Pigmentepitheles nicht gut. Pinselt man nun etwas dreister, so bringt man wohl das Schwarze fort, aber ein Blick mit dem Mikroskop belehrt uns, dass die Stäbchen- und Zapfenschicht mit fortgepinselt ist. Immerhin gelingt es bei einiger Vorsicht, Präparate zu erhalten, die wie die vorliegenden (Vorweisung) es möglich machen, die Diagnose auf völlige oder lappenweise Innenstellung des Pigmentes mit blossem Auge zu stellen; selbstverständlich aber können Sie sich, falls Sie Zweifel haben, durch Zuhülfenahme dieser Lupe völlige Klarheit über den Sachverhalt verschaffen. So zeigen Ihnen diese ersten drei Präparate, dass trotz vorausgeschickter Durchschneidung des rechten Sehnerven in der rechten unbelichteten Netzhaut eine nahezu ebenso verbreitete Innenstellung des Pigmentes vorhanden ist, wie in der belichteten linken. Und wenn wir aus diesen Netzhäuten mikroskopische Präparate herstellten, so würden wir ohne Zweifel bezüglich der Zapfen ganz das gleiche finden.

Es ist aber nicht bloss die Uebertragung vom einen auf das andere Auge möglich trotz vorausgeschickter Durchschneidung eines Sehnerven, sondern es ist auch möglich, die Lichtwirkung auf das eine, das belichtete Auge zu beschränken, trotz unversehrter Sehnerven. Dafür stehen uns zwei Versuche zu Gebote. Der eine Versuch besteht in folgendem: Man nimmt eine Anzahl Lichtfrösche, also Frösche, bei denen in beiden Augen mehr oder weniger Innenstellung des Pigmentes und der Zapfen

vorhanden ist. Man macht sie bewegungslos, wickelt sie in nassen Samt, legt das linke Auge frei und lässt es gegen eine gleichmässig, aber nur sehr matt helle Fläche starren, etwa durch Zudecken der Frösche mit einem Lampenschirm aus Milchglas und durch Auswählen eines trüben Tages. Nach 3—4 Stunden werden die Tiere getötet, die Augen fixiert und dann die Netzhäute untersucht. Dabei finden sich, wie Ihnen diese neun Präparate beweisen, die linken Netzhäute grau-schwarz, d. h. sie haben verbreitete und starke Innenstellung des Pigmentes; die rechten Netzhäute dagegen sind rein oder fast rein gelb, d. h. sie haben Aussenstellung, eine Aussenstellung, die erst während der Belichtung des linken Auges entstanden sein kann.

Der andere Versuch benutzt die Thatsache, dass auch eine kurze Belichtung bei Dunkelfröschen Innenstellung erzeugt, vorausgesetzt, dass man die Frösche noch für 20 Minuten nach der Belichtung im Dunkeln weiter leben lässt. Der Erfolg dieses Versuches ist, wie ich bereits früher veröffentlicht habe, dass nur in dem belichteten Auge Innenstellung des Pigmentes gefunden wird, und dass in dem anderen die Aussenstellung unverändert bleibt. Auch diesen Versuch habe ich im Sommer 1893 durch Herrn Walo Koch wiederholen und auf die Zapfen ausdehnen lassen; dabei hat sich ergeben, dass auch bezüglich der Zapfen die Lichtwirkung auf das belichtete Auge vollkommen beschränkt bleibt.

Mit dem zweiten Engelmann'schen Versuche, mit der Erzeugung von Innenstellung durch Hautbelichtung verhält es sich nicht besser wie mit dem ersten. Zunächst ist zu erwähnen, dass zuweilen der von Engelmann behauptete Erfolg gar nicht eintritt. Aber das ist

freilich Ausnahme. Die Regel ist, dass wirklich bei Dunkelfröschen, deren Köpfe mit nassem Samt bedeckt sind, durch genügend lange und kräftige Hautbelichtung das Pigment und noch besser die Zapfen in mehr oder weniger vollständige Innenstellung übergeführt werden. Aber für Engelmann's Ansichten spricht dies durchaus nicht; denn wenn wir Frösche dem Versuch unterwerfen, bei denen wir am Tage zuvor einen der Sehnerven durchschnitten haben, so finden wir, wie Sie an diesen sechs Präparaten sehen können, auf der operierten Seite ebenso viel oder selbst mehr Innenstellung als auf der unversehrten; gewiss ein genügender Beweis dafür, dass die Sehnerven bei diesem geheimnisvollen Vorgange überhaupt keine Rolle spielen.

Nun werden Sie mich wahrscheinlich fragen, ja wie bringt denn aber die Hautbelichtung, bezw. Belichtung des einen Auges im Dunkel gehaltenen anderen Auge die Innenstellung des Pigmentes und der Zapfen hervor? Auf diese Frage vermag ich Ihnen zur Zeit freilich keine befriedigende Antwort zu geben, obgleich ich ungezählte Stunden und Frösche geopfert habe, um das Rätsel zu lösen.

Ich habe daran gedacht, dass vielleicht auf anderen, noch ganz unbekanntem nervösen Bahnen die Uebertragung bewirkt werde, etwa durch den nervus sympathicus, der ja ohnehin ein geheimnisvolles Gebilde ist. Die Sympathicusfäden verlaufen mit den Blutgefässen. Nach Durchschneidung der Blutgefässe, die zum Auge führen, sollte also die Netzhaut auf der operierten Seite in Aussenstellung verharren, wenn das andere Auge belichtet wird. Indessen meine älteren Versuche (aus dem Jahre 1890) lehrten, dass dem nicht so ist, dass trotz der Durch-

schneidung der Blutgefäße die Uebertragung noch möglich bleibt. Ja es wurde mir zweifelhaft, ob die Uebertragung überhaupt auf Nervenbahnen vor sich gehe, nachdem ich mich überzeugt hatte, dass selbst bei Fröschen, denen Hirn und Rückenmark ausgebohrt ist, durch Belichtung der Haut die Innenstellung der Zapfen hervorgerufen wird. (Allerdings sind diese Versuche nicht ganz überzeugend, weil ja das Ausbohren selber, d. h. das Töten des Tieres, Innenstellung des Pigmentes und der Zapfen hervorbringt, wenn auch erst nach 20 Minuten und mehr.)

Falls Hautbelichtung nicht durch Vermittelung von Nerven auf die Netzhäute wirkt, könnte man an die Blutbahnen denken. Man könnte sich vorstellen, dass durch die Lichtstrahlen in der Haut gewisse Stoffe erzeugt werden, die nur durch den Blutstrom in das Auge befördert und dann dort wirksam würden. Allein diese Ansicht war unhaltbar gegenüber der Thatsache, dass auch entblutete, ja des Blutkreislaufes gänzlich beraubte Frösche die Lichtwirkung von der Haut auf die Netzhaut-elemente deutlich erkennen liessen.

Es blieben jetzt nur noch Wärme und Elektrizität übrig als Mittel der Uebertragung. Freilich ist für Wärme wenig Wahrscheinlichkeit vorhanden. Selbst wenn die ganze Energie der Lichtstrahlen, die während einer Stunde auf eine Froschhaut wirken, sich in Wärme unwandeln sollte, so würde das schwerlich genügen, die Temperatur des Frosches genügend zu steigern, um «Innenstellung durch Wärme» hervorzubringen. Und ich konnte mich auch sehr bald überzeugen, dass die Wirkung der Hautbelichtung nicht im mindesten gehemmt wird, wenn man den Versuch so anordnet, dass die Temperatur des Frosches während der Dauer des Versuches sinkt.

Für die Möglichkeit, dass die Hautbelichtung elektrische Stromschwankungen hervorruft und dass Stromschleifen in die Netzhäute gelangen und dort Wirkungen hervorbringen, schien manches zu sprechen. So vor allem die Thatsache, dass ziemlich starke elektrische Ströme in der Haut des Frosches thatsächlich vorhanden sind; ferner die Angabe Engelmann's, dass Durchleiten mässig starker elektrischer Ströme durch die Augen eines Dunkel-frosches Innenstellung des Pigmentes und der Zapfen hervorbringe. Indess, ich vermochte selbst mit einem sehr empfindlichen elektrischen Apparate (mit der Wiedemann'schen Spiegelbussole) wohl Hautströme beim Frosche ohne Schwierigkeit nachzuweisen, aber nicht die leichteste Stromschwankung zu erzielen, wenn ich abwechselnd die Haut belichtete und verdunkelte.

Meine Versuche scheinen also zu beweisen, dass die Belichtung des einen Auges im anderen weder durch Vermittelung des Nervensystems, noch der Blutbahnen Innenstellung hervorbringt, dass Hautbelichtung weder durch Nerven- und Blutbahnen, noch durch Wärme oder Elektrizität auf die Netzhäute wirkt. Ich bin weit entfernt, diesen Beweis für einen endgültigen zu halten. Es kann wohl sein, dass es mir oder einem Anderen durch andere Versuchsanordnungen gelingt, andere Ergebnisse zu erzielen. Aber das glaube ich endgültig bewiesen zu haben, dass die Uebertragung nicht durch den Sehnerven vermittelt wird, und dass also das Gesetz der spezifischen Energie der Sehnerven durch die erste Arbeit Engelmann's über diese Frage nicht erschüttert worden ist.
