

J

Über die galvanischen Gesichtsempfindungen.

Von

G. E. MÜLLER.

§ 1. Einleitendes.

Nach der Theorie der Gegenfarben ist zu erwarten oder wenigstens leicht begreiflich zu finden, daß den beiden einander entgegengesetzten Richtungen eines das Sehorgan durchfließenden galvanischen Stromes Empfindungen von Gegenfarben, d. h. Empfindungen, denen entgegengesetzte Netzhautprozesse zu Grunde liegen, entsprechen. In der That führt BIEDERMANN in seiner *Elektrophysiologie* (S. 616 ff.) die von HELMHOLTZ aus den Beobachtungsthatsachen abgeleitete Regel, daß elektrische konstante Durchströmung der Netzhaut in der Richtung von den Zapfen zu den zugehörigen Ganglienzellen die Empfindung von Dunkel, die entgegengesetzte Durchströmung dagegen die Empfindung von Hell giebt, als einen Beweis „für den Antagonismus der Empfindungen bei gegenseinniger Durchströmung derselben Endorgane des Sehnerven“ an. Auf einen Umstand geht indessen BIEDERMANN nicht ein, nämlich darauf, daß die Versuchsangaben mehrerer Forscher, die er nach einer von ROSSBACH zusammengestellten Tabelle mitteilt, hinsichtlich des farbigen Charakters der galvanischen Gesichtsempfindungen nicht zu demjenigen zu stimmen scheinen, was nach der Theorie der Gegenfarben zu erwarten ist. So tritt z. B. nach RITTERS Angabe bei aufsteigender Stromesrichtung (d. h. dann, wenn der Strom in der Netzhaut von der Nervenfaserschicht nach der Stäbchenzapfenschicht hinfließt) die Empfindung eines hellen Blau, bei absteigender Stromesrichtung die Empfindung eines dunkeln Rot auf. Nach der

Theorie der Gegenfarben hätte man bei letzterer Stromesrichtung die Empfindung eines dunkeln Gelb zu erwarten. Nach HELMHOLTZ entspricht der aufsteigenden Stromesrichtung die Empfindung eines weißlichen Violett, der absteigenden Stromesrichtung hingegen die Empfindung eines dunkeln Rotgelb, während nach jener Theorie bei letzterer Stromesrichtung die Empfindung eines dunkeln Grüngelb zu erwarten wäre. Ähnliche zu jener Theorie wenigstens anscheinend nicht stimmende Angaben lassen sich aus der vorliegenden Litteratur in beträchtlicher Anzahl zusammenstellen. Im Hinblick hierauf habe ich seit einiger Zeit (Juni 1896) an einer größeren Anzahl von Versuchspersonen, denen ich auch an dieser Stelle meinen Dank für ihre Bereitwilligkeit und Erduldungen ausspreche, und natürlich vor allem auch an mir selbst Versuche über die galvanischen Gesichtsempfindungen angestellt.

Bevor ich auf diese Versuche eingehe, möchte ich darauf aufmerksam machen, daß sich das Bild schon dann einigermaßen zu Gunsten der Theorie der Gegenfarben verschiebt, wenn man die vorliegende Litteratur über diesen Gegenstand etwas vollständiger berücksichtigt. Thatsächlich hat schon PURKINJE (*Beobachtungen und Versuche zur Physiologie der Sinne*. 2 Bändchen. Berlin, 1825. S. 32 ff.) gegen RITTER bemerkt, daß zwischen den beiden Gesichtsempfindungen, welche entgegengesetzten Stromrichtungen entsprechen, hinsichtlich der Färbung derselbe Unterschied bestehe, der zwischen einer Gesichtsempfindung und ihrem komplementären Nachbilde vorhanden sei. Und zwar beobachtete PURKINJE bei der einen Stromesrichtung Hellviolett, bei der anderen das komplementäre Gelb (Grüngelb) in dunkler Nüance.¹ In geradezu überraschender Weise werden ferner die nach der Theorie der Gegenfarben zu hegenden Erwartungen durch die Versuche bestätigt, welche SCHELSKE (*Arch. f. Ophthalm.* 9. 3. S. 49 ff.) anstellte, um festzustellen, in welcher Weise die Empfindungen objektiver Farben durch die galvanische Durchströmung des Sehorganes beeinflusst werden. Es zeigte sich, daß der aufsteigende Strom den objektiven Farben helles blaues (etwas violettes) Licht zu-

¹ Auf die auch bei PURKINJE hervorgetretenen, der Gegend des blinden Fleckes u. dergl. entsprechenden Besonderheiten wird hier nicht eingegangen.

mischte, der absteigende hingegen verdunkelnd und wie eine Entziehung eines gewissen Quantum desselben blauen Lichtes oder wie Zusatz eines gewissen Quantum des komplementären gelben (grüngelben) Lichtes wirkte. Diese (auch von HELMHOLTZ in seiner *Physiol. Optik.* 1. Aufl. S. 845 angeführten) Versuchsergebnisse von SCHELSKE wurden durch SCHLIEPHAKE (*Pflüger's Arch.* 8. 1874. S. 567 f.) bestätigt gefunden. Endlich hat auch O. SCHWARZ (*Arch. f. Psychiatrie.* 21. 1890. S. 588 ff.), welcher gleichfalls bei aufsteigender Stromesrichtung ein helles Violett, bei absteigender ein dunkles Gelbgrün wahrnahm, direkt den Satz ausgesprochen, daß die Farbenempfindung „im Allgemeinen bei der einen Stromesrichtung komplementär zu der Empfindung bei der anderen Richtung“ sei.¹

RUETE (*Bildliche Darstellung der Krankheiten des menschlichen Auges.* Leipzig. 1854. 1. u. 2. Lieferung. S. 62) beobachtete bei der einen Stromesrichtung „gelbrot“, bei der anderen „die blaue Komplementärfarbe“. BRUNNER (*Ein Beitrag zur elektrischen Reizung des Nervus opticus.* Leipzig. 1863) nahm bei aufsteigendem Strome ein helles Blaugrün, bei absteigendem ein dunkleres Gelbrot wahr. Auf diese zwar zur Theorie der Gegenfarben stimmenden, aber hinsichtlich der den beiden Stromesrichtungen entsprechenden Farben von den Mitteilungen der im Vorstehenden angeführten Forscher abweichenden Angaben von RUETE und BRUNNER, sowie auf die zu jener Theorie wenigstens anscheinend nicht stimmenden Aussagen anderer Beobachter wird weiterhin (im § 3) eingegangen werden.

§ 2. Bericht über meine Versuche.

Die Versuche wurden sämtlich im Dunkelzimmer angestellt, das je nach den Umständen verdunkelt blieb oder durch Öffnen eines Ladens oder mittels eines im Fensterladen angebrachten Diaphragmas u. dergl. in größerem oder geringerem Maße erhellt wurde. Den galvanischen Strom lieferte eine Batterie von Meidingererelementen, deren Zahl (im Maximum 39) je nach den Umständen und dem besonderen Versuchszwecke variierte. In die Leitung waren eingeschaltet ein SIEMENSScher Widerstands-

¹ Daß SCHWARZ sich bei dieser Behauptung auf Versuche stütze, die er an Anderen angestellt hat, erscheint nach den vorliegenden Mitteilungen desselben zweifelhaft.

kasten, ein Milliampèremeter behufs Ablesung der jeweiligen Stromstärken, ein (der Versuchsperson nicht sichtbarer) Kommutator behufs Vertauschung der Stromesrichtung und eine ENGELMANNSche Widerstandsschraube, deren Widerstand allmählich von ca. 1000 bis auf ca. 3 Widerstandseinheiten verringert werden konnte. Um ein noch allmählicheres Einschleichen in den Strom ermöglichen und die Intensität des Schließungsblitzes auf ein Minimum reduzieren zu können, wurde späterhin noch ein Flüssigkeitsrheostat in die Leitung eingeschaltet. Die eine der beiden Elektroden, welche aus einer angefeuchteten, mit weichem Leder überzogenen Metallplatte von ca. 15 qcm Fläche bestand, wurde von der Versuchsperson selbst oder einem Gehülfen hinten an den Nacken der Versuchsperson angedrückt. Als zweite Elektrode diente eine sog. Mensurbrille, auf deren Innenseite zwei zur Stromführung bestimmte Drähte mit breiten Endflächen endigten, und welche außerdem auf dieser ihrer Innenseite mit einer 1—2 cm dicken Lage feinsten Schwammes belegt war. Diese Schwammschicht liefs für jedes der beiden Augen der Versuchsperson eine Öffnung von ca. 2 cm Durchmesser frei. Wurde also diese Brille der Versuchsperson in der richtigen Weise aufgeschnallt, so war jedes Auge derselben rings von einer fest anliegenden, 2—4 cm breiten (natürlich in gehöriger Weise angefeuchteten) Schwammschicht umgeben, durch welche der elektrische Strom ein- oder austrat. Wurde der Versuch nicht bei verschlossenen Augen angestellt, so konnte die Versuchsperson mittelst der beiden erwähnten Öffnungen in der Schwammschicht einen, wenn auch nur geringen, Teil des vor ihr liegenden Gesichtsfeldes betrachten und die Veränderungen beobachten, welche die Helligkeit und Färbung der Umgebung des fixierten Punktes unter dem Einflusse des galvanischen Stromes erfuhr.¹

Wie soeben angedeutet, wurde die Wirkung des galvanischen Stromes in doppelter Weise beobachtet, nämlich entweder bei verschlossenen Augen in verdunkeltem Zimmer oder so, daß ein bestimmter Punkt einer in der Regel grauen Lichtfläche, deren Beleuchtung nach Bedürfnis reguliert wurde, fixiert und die Veränderung beobachtet wurde, welche das

¹ Eine Elektrode von brillenartiger Form, aber geringerer Solidität und Bequemlichkeit hat bereits BRUNNER angewandt.

Aussehen der Umgebung des fixierten Punktes durch den galvanischen Strom erfuhr. Im Laufe der Zeit hat sich das letztere Verfahren immer mehr als das im allgemeinen tauglichere herausgestellt, so daß dasselbe späterhin bei manchen Versuchspersonen ausschließlich zur Anwendung kam. Die Versuchsperson drehte stets dem Fenster, von welchem her eventuell Licht in das Zimmer drang, den Rücken zu und verhielt sich nur beobachtend, indem die Bedienung der Apparate mir selbst oblag.

Die Versuchspersonen, der Zahl nach 26, darunter 5 weibliche, gehörten sämtlich akademischen Kreisen an. Auf die Aussagen ungebildeter Versuchspersonen würde gar kein Wert zu legen sein. Es ist schon bei Gebildeten, die psychologischen und physiologischen Dingen bisher ganz fern gestanden haben, nicht immer gerade leicht, ein völliges Verständnis dafür zu gewinnen, worauf bei diesen Versuchen zu achten sei, und worauf es bei der Beschreibung des Beobachteten wesentlich ankomme. Die hauptsächlichen Resultate der Versuche sind folgende.

1. Der aufsteigende Strom wirkt auf den Weißschwarzsinn im Sinne einer Verstärkung der Weißerregung und einer Schwächung der Schwarzerregung. Umgekehrt wirkt der absteigende Strom.

2. Die Farbe der galvanischen Gesichtsempfindung ist bei aufsteigendem Strome ein nach dem Rot hinneigendes Blau (Violett, Blauviolett), bei absteigendem Strome ein nach dem Grün hinneigendes Gelb. Es kann also ganz allgemein der Satz aufgestellt werden: die den beiden Stromesrichtungen entsprechenden Empfindungen sind Empfindungen von Gegenfarben.

Bei der Wichtigkeit der Sache teile ich folgende Einzelheiten mit. Von den 26 Versuchspersonen gaben 15 (darunter 2 ein wenig rotgrünschwache) als die den beiden Stromesrichtungen entsprechenden Farben Violett und grünliches Gelb an. Eine (ungeübte und nur für eine Sitzung zur Verfügung stehende) Versuchsperson gab gleichfalls Violett und Gelb an, vermochte indessen eine nähere Charakterisierung des Gelb nicht zu geben. Eine andere stark rotgrünschwache Versuchsperson verhielt sich ähnlich; sie gab für den aufsteigenden Strom Blau, bei höherer Intensität Violett an, für den absteigenden Strom nur Gelb. Eine Versuchsperson entbehrte des Rotgrünsinnes völlig und nannte dementsprechend die beiden Farben im allgemeinen Blau und Gelb. Zwei weitere Versuchspersonen gaben gleichfalls Violett und Grüngelb an. Doch sind die mit

ihnen erhaltenen Resultate insofern nicht ganz befriedigend, als es vorkam, daß sie eine und dieselbe Farbe für beide Stromesrichtungen angaben.¹ Beide Versuchspersonen waren nur auf der Durchreise hier anwesend. Es war deshalb nicht möglich, sie genügend einzutüben und die Versuche zu einem befriedigenden Abschlusse zu bringen. Eine (in derartigen Beobachtungen ungeübte) Versuchsperson gab für den aufsteigenden Strom Hellblau an, konnte aber bei absteigendem Strome neben der eintretenden Verdunkelung nicht noch eine bestimmte Färbung erkennen. Eine andere (gleichfalls ungeübte) Versuchsperson gab zwar bei absteigendem Strome neben der Verdunkelung noch die grüngelbe Färbung an, konnte aber für den aufsteigenden Strom nicht zu einer völlig befriedigenden, eindeutigen Charakterisierung der Farbe gebracht werden. Die Versuchsperson bemerkte, daß in dem Grau ein Blau enthalten sei, welches sie auf Befragen geneigt war für ein reines Blau zu erklären. Am besten entspreche dem Wahrgenommenen die Bezeichnung als verschmutztes Stahlgrau.² Eine Versuchsperson nahm bei mäßiger Stärke des auf- oder absteigenden Stromes nur eine wenig ausgeprägte Aufhellung bzw. Verdunkelung wahr. Bei schneller Schliessung des aufsteigenden und Öffnung des absteigenden Stromes beobachtete sie ein „bläuliches Zucken“. Wegen zu großer Schmerzhaftigkeit der Nebenwirkungen des galvanischen Stromes konnte zu denjenigen Stromstärken, bei denen die Färbung der galvanischen Gesichtsempfindung für viele Versuchspersonen überhaupt erst erkennbar wird, nicht übergegangen werden. Eine farbenschwache Versuchsperson nahm selbst bei hohen Intensitäten des auf- oder absteigenden Stromes nur Aufhellung bzw. Verdunkelung wahr. Nur einmal sah sie nach Öffnung des aufsteigenden Stromes einen gelblichen Schimmer. Eine andere (etwas rotgrünschwache) Versuchsperson wurde schon bei mäßiger Stromstärke schwindelig und von unangenehmen (in die Herzgegend verlegten) Empfindungen gequält. Bei den benutzten mäßigen Stromintensitäten bemerkte sie überhaupt keine Veränderung im Sehfelde. Nur einmal nahm sie ein Lila wahr. Endlich kam auch noch eine Versuchsperson vor, welche schon bei mäßigen Stromstärken sich sehr unangenehm berührt zeigte und für jede Stromesrichtung die verschiedensten Farben (violett, blau, rot, grün, gelb, olivfarben u. dergl.) angab und auch dann eine Farbe wahrzunehmen vermeinte, als überhaupt gar kein Strom vorhanden war.

3. Die Wirkung des galvanischen Stromes ist im allgemeinen bei aufsteigender Richtung desselben stärker und ausgeprägter als bei absteigender Richtung. Dementsprechend

¹ Die (für manche Versuchspersonen erst nach Übung völlig überwindbaren) Fehlerquellen, die solchen Fällen zu Grunde liegen, kommen im folgenden Paragraphen zur Sprache.

² Man vergleiche hierzu die Bemerkung von BRÜCKE (*Die Physiologie der Farben*. S. 108): „Vom Stahl weiß man, daß er selbst nach einer größeren Anzahl von Reflexionen das Licht noch immer weiß zurückgibt“. Auch an die Bemerkung von VON KRIES (*diese Zeitschr.* XII. S. 29) sei hier erinnert, daß die durch schwache (weißliche) Lichter hervorgerufene Empfindung von manchen Personen direkt als leicht bläulich bezeichnet werde.

läßt sich auch die Färbung der galvanischen Gesichtsempfindung im allgemeinen bei ersterer Stromesrichtung leichter erkennen als bei letzterer.

4. Wie schon bisher von den verschiedensten Beobachtern gefunden worden ist, stimmt die Gesichtsempfindung, welche bei einer galvanischen Durchströmung des Auges vorhanden ist; im wesentlichen mit der Empfindung überein, welche bei Öffnung oder sehr schneller und ausgiebiger Abschwächung des entgegengesetzt gerichteten Stromes eintritt. Nimmt z. B. eine Versuchsperson bei aufsteigendem Strome die hellviolette Färbung wahr, so beobachtet sie nach Öffnung des absteigenden Stromes gleichfalls eine helle Nüance des Violett.

5. Die Empfindung des sog. Schließungsblitzes, welche bei schneller Schließung des Stromes eintritt, stimmt hinsichtlich ihrer Qualität wesentlich mit der Empfindung überein, welche hinterher bei Geschlossenbleiben des Stromes vorhanden ist, und unterscheidet sich von letzterer Empfindung wesentlich nur durch die höhere Intensität. Der sog. Schließungsblitz besteht also im allgemeinen bei aufsteigendem Strome in einer bläulichen oder violetten Hellempfindung, bei absteigendem Strome in einer schwach gelblichen oder schwach grüngelblichen Dunkelempfindung. Wir kommen späterhin (im § 4) nochmals auf die Beschaffenheit der Schließungsblitze zu sprechen. Wo wir von einer galvanischen Gesichtsempfindung schlechtweg reden, meinen wir niemals die Empfindung des Schließungsblitzes, sondern eine solche Empfindung, welche (bei möglichster Vermeidung des Schließungsblitzes oder nach vollständigem Schwinden der Nachwirkungen des Schließungsblitzes) dem Geschlossensein eines konstanten Stromes von bestimmter Richtung entspricht.

6. Im allgemeinen überwiegt die Wirkung des galvanischen Stromes auf den Weißschwarzsinn (die achromatische Wirkung desselben) über die Wirkung auf den Gelbblausinn, und die letztere Wirkung ist stärker als die Wirkung auf den Rotgrünsinn. Es ist also bei aufsteigendem Strome die galvanische Gesichtsempfindung im allgemeinen weißlich (hellgrau), weniger deutlich bläulich und noch weniger deutlich nach dem Rot sich hinneigend. Ebenso tritt bei absteigendem Strome im allgemeinen die Grünlichkeit hinter die Gelblichkeit und diese hinter die Schwärzlichkeit zurück.

Nimmt man die Stromstärke vom Nullpunkte ausgehend immer stärker und stärker, so wird in der Regel zuerst (bei einer individuell wechselnden Stromstärke) nur die achromatische Wirkung des Stromes merkbar; erst bei einem höheren Werte der Stromintensität, welcher dem Obigen gemäß bei absteigendem Strome noch höher liegt, als bei aufsteigendem, wird die chromatische Wirkung erkennbar. Wird nun der Strom noch weiter verstärkt, so steigern sich die Wirkungen des Stromes auf die drei optischen Spezialsinne nicht in gleichem Verhältnisse, sondern die chromatische Wirkung des Stromes tritt neben der achromatischen immer mehr hervor, und zwar in der Weise, daß zunächst die Wirkung auf den Gelbblausinn, späterhin aber diejenige auf den Rotgrünsinn immer deutlicher zu Tage tritt. Bei fortgesetzter Verstärkung des Stromes wird also die Farbigkeit der galvanischen Gesichtsempfindung immer deutlicher, und zugleich tritt weiterhin die Hinneigung des Blau (Gelb) zum Rot (Grün) immer deutlicher hervor.¹

Selbstverständlich ist vorhandene Farbenschwäche nicht ohne Einfluß auf die Stärkeverhältnisse, in denen die drei optischen Spezialsinne an der galvanischen Erregung beteiligt sind. Bei den Rotgrünschwachen trat die Wirkung auf den Rotgrünsinn, wenn sie überhaupt merkbar war, noch schwächer hervor als bei den Farbentüchtigen.

Aber auch ganz abgesehen von Fällen offener Farbenschwäche zeigen sich individuelle Verschiedenheiten hinsichtlich der Beteiligung der drei optischen Spezialsinne an der galvanischen Erregung und Abweichungen von der soeben hinsichtlich dieser Beteiligung aufgestellten Regel. Auch bei Personen von anscheinend gleicher Farbentüchtigkeit war bei gleicher Stromstärke das Übergewicht der achromatischen Wirkung des Stromes über die chromatische Wirkung entschieden von verschiedenem Grade, und dasselbe zeigte sich

¹ Der Einfluß der Stromstärke auf das Verhältnis zwischen den Erregungen der beiden chromatischen Spezialsinne läßt sich nur mittels solcher Versuchspersonen untersuchen, welche eine deutlichere Färbung der galvanischen Gesichtsempfindung besitzen, im Beobachten nicht ganz ungeübt sind und außerdem auch die Bereitwilligkeit und Fähigkeit besitzen, hohe Stromstärken mit Seelenruhe über sich ergehen lassen. Demgemäß gründet sich unsere obige Behauptung hinsichtlich dieses Punktes nur auf die Beobachtungen von neun Versuchspersonen.

hinsichtlich des Übergewichts des Gelbblausinnes über den Rotgrünsinn. Besonders bemerkenswert ist die Thatsache, daß bei drei Versuchspersonen (K., B. und S.) die achromatische Wirkung des Stromes überhaupt gar kein Übergewicht über die chromatische Wirkung besaß, sondern hinter letzterer mehr oder weniger zurückstand. Und auch eine vierte Versuchsperson (P.) wich von diesen drei Versuchspersonen nicht beträchtlich nach dem gewöhnlichen Typus hin ab. Wir kommen auf die Aussagen dieser vier Versuchspersonen sogleich näher zu sprechen.¹

7. Im allgemeinen gilt die bisher immer aufgestellte Regel, daß der galvanische Strom gemäß seiner (unmittelbaren) Wirkung auf den Weißschwarzsinn bei aufsteigender Richtung aufhellend, bei absteigender Richtung verdunkelnd wirkt. Allein es giebt Ausnahmen von dieser Regel, welche auftreten, wenn die chromatische Wirkung des Stromes das Übergewicht über die achromatische Wirkung desselben besitzt, und durch die aufhellende, bzw. verdunkelnde Wirkung der Farben bedingt sind. Beispiele für diesen Einfluß der Farben bieten uns die (völlig von einander unabhängigen) Aussagen der soeben erwähnten vier Versuchspersonen. Werden letztere in der Weise untersucht, daß sie vor und während der Einwirkung des galvanischen Stromes einen bestimmten Punkt einer grauen Fläche fixieren, so beobachtet K., welche, sobald sie überhaupt einen merkbaren Eindruck von dem galvanischen Strome erhält, auch schon die Färbung erkennt, bei aufsteigendem Strome (und nach Öffnung des absteigenden Stromes) regelmäßig ein etwas rötliches Blau und Verdunkelung, bei absteigendem Strome (und nach Öffnung des aufsteigenden Stromes) regelmäßig ein schwach grünliches Gelb und Aufhellung.²

¹ Schon NEFTL (*Arch. f. Psychiatr.* 8. 1878. S. 421f.) hat bemerkt, es gebe „Ausnahmefälle, in denen die Farbenreaktion sehr leicht eintritt, dagegen aber die Lichtempfindung äußerst schwer oder gar nicht zu erzielen ist, sogar nicht mit den stärksten Strömen, die ohne Nachteil angewendet werden können.“

² Bemerkenswert ist folgender, oft und stets mit gleichem Erfolge an K. angestellter Versuch. Ich ließ zunächst einen Strom von mäßiger Stärke einwirken. Alsdann erschien K. das betrachtete Feld blau und dunkler als zuvor, wo der Strom noch nicht wirkte. Ließ ich nun den Strom noch einige Zeit lang mit derselben Stromstärke andauern, so

Die Versuchsperson B., bei welcher die chromatische Wirkung des Stromes etwas schwächer ist als bei K., giebt bei geringer Stromstärke für den aufsteigenden Strom Verdunkelung an, ohne sich der blauen Färbung, welche thatsächlich dieses Urteil bewirkt, bewußt zu werden. Für den absteigenden Strom, bei welchem der Regel gemäß die chromatische Wirkung schwächer ist als bei aufsteigendem Strome, giebt B. bei geringer Stromstärke gleichfalls Verdunkelung an, indem die gelbe Färbung sich noch nicht geltend macht. Bei höherer Stromstärke, wo dem obigen Satze gemäß die chromatische Wirkung des Stromes mehr hervortritt, urteilt er bei aufsteigendem Strome „deutlich blauviolett und deutlich dunkler.“ Bei absteigendem Strome giebt er, wenn das Gelb erkennbar ist, neben dieser Farbe Aufhellung an, ist die gelbe Färbung nicht erkennbar, so giebt er Verdunkelung an.

Von besonderem Interesse sind die Aussagen von S., für welchen die chromatische Wirkung des Stromes schon bei recht geringer Stromstärke erkennbar war. Demselben erschien das betrachtete Feld unter dem Einflusse des aufsteigenden Stromes bei geringer Stromintensität bläulich und heller als zuvor, bei höherer Stromstärke gesättigt blau und dunkler. Ging ich von letzterer Stromstärke zu noch höherer über, so erschien das Blau deutlich rötlich und das betrachtete Feld hellte sich infolge dessen auf. Bei absteigendem Strome erschien das Feld bei geringer Stromstärke gelb und dunkler als zuvor; bei größserer Stromstärke trat Aufhellung ein.

Um nicht weitläufig zu werden, teile ich betreffs der an der Versuchsperson P. erhaltenen Resultate nur mit, daß auch bei dieser der Umstand zu Tage trat, daß bei aufsteigendem Strome der verdunkelnde Einfluß des Blau sich bei Erhöhung der Stromstärke von einem bestimmten Werte der letzteren ab verringert, weil dem oben Bemerkten gemäß bei Steigerung der Stromstärke das Blau sich immer mehr nach dem (an sich aufhellend wirkenden) Rot hinneigt. Ferner zeigte sich der Einfluß der Färbung auf die Helligkeit, wie zu vermuten, von

trat keine sicher erkennbare Änderung der Helligkeit ein. Erhöhte ich aber hierauf allmählich die Stromstärke, so wurde von K. mit voller Sicherheit neben einer Zunahme der Bläulichkeit noch eine Steigerung der Dunkelkeit konstatiert.

der Lichtstärke der Fläche, auf welche die galvanische Gesichtsempfindung projiziert wurde, nicht unabhängig.

Ich unterlasse nicht, darauf hinzuweisen, daß schon SCHLIEPHAKE (a. a. O. S. 570) davon berichtet, daß der aufsteigende Strom durch das Violett, welches er einer betrachteten Lichtfläche beigemischt habe, auf letztere verdunkelnd eingewirkt habe. Und aus gewissen Angaben von SCHWARZ (a. a. O. S. 597f.) ist zu ersehen, daß auch bei ihm sich im Falle des absteigenden Stromes unter Umständen die aufhellende Wirkung des Gelb geltend gemacht hat.

Aus Vorstehendem ergibt sich, daß die Einwirkung des galvanischen Stromes auf die Helligkeit in der That zugleich auch von der chromatischen Wirkung desselben abhängt. Sobald die letztere in gewissem Grade überwiegt, tritt bei aufsteigendem Strome, wenigstens bis zu gewisser Grenze, Verdunkelung, bei absteigendem Strome Aufhellung ein. Da die chromatische Wirkung des Stromes neben der achromatischen Wirkung allgemein umso stärker hervortritt, je intensiver der Strom ist, so kommt es vor, daß der aufsteigende Strom bis zu einem gewissen Intensitätswerte hin aufhellend, von diesem an aber verdunkelnd wirkt. Da ferner bei weiterer Verstärkung des aufsteigenden Stromes die Rötlichkeit der Empfindung immer deutlicher wird, so wird die merkwürdige Erscheinung beobachtet, daß die verdunkelnde Wirkung des aufsteigenden Stromes von einem höheren Intensitätswerte der Stromstärke ab sich wieder verringert. Ähnlich wie die Helligkeitswirkung des aufsteigenden Stromes zeigte sich auch diejenige des absteigenden Stromes bei den obigen vier Versuchspersonen von der Stromstärke abhängig. Da indessen die chromatische Wirkung des Stromes bei absteigender Richtung schwächer ist als bei aufsteigender, so tritt im allgemeinen eine aufhellende Wirkung des absteigenden Stromes weniger leicht ein, als eine verdunkelnde Wirkung des aufsteigenden Stromes; und der Punkt, von welchem ab eine vorhandene aufhellende Wirkung des absteigenden Stromes bei weiterer Verstärkung des letzteren gemäß der Zunahme der Grünlichkeit der Empfindung sich wieder verringert, liegt im allgemeinen bei einer Stromstärke, deren Anwendung unthunlich ist.

Über das Interesse, welches die im Vorstehenden mitgeteilten Beobachtungsthatsachen über den aufhellenden bzw.

verdunkelnden Einfluß der Farben besitzen, brauchen wir keine Worte zu verlieren. In einer nachfolgenden Untersuchung, welcher die weitere Verfolgung dieser Angelegenheit obliegt, werden wir uns über die theoretische Deutung dieser Resultate verbreiten.

§ 3. Fehlerquellen und besondere Maßregeln.

Mit den von mir erhaltenen Resultaten stimmen die Aussagen von PURKINJE, SCHELSKE, SCHLIEPHAKE und O. SCHWARZ, welche, wie schon erwähnt, bei aufsteigendem Strome ein helles Violett, bei absteigendem ein dunkles Gelbgrün wahrnahmen, vollkommen überein. Hingegen weichen die Angaben Anderer mehr oder weniger von dem von mir Gefundenen ab. Es kommt vor, daß als die beiden dem aufsteigenden und absteigenden Strome entsprechenden Farben helles Violett und dunkles Gelb, Hellblau und dunkles Grüngelb, Hellblau und Dunkelrot, helles Violett und dunkles Rotgelb, Blau und Violett, Hellblau und „Tiefblau“, u. a. m. angegeben werden.¹ Und seit der Veröffentlichung von BRENNER pflegt behauptet zu werden, daß hinsichtlich der Färbung der galvanischen Gesichtsempfindung eine allgemeine Regelmäßigkeit überhaupt nicht bestehe, sondern mannigfaltige individuelle Verschiedenheiten vorhanden seien. In Hinblick hierauf wollen wir uns im Nachstehenden etwas eingehender über die bei derartigen Versuchen in Betracht kommenden, zahlreichen und starken Fehlerquellen und zu ergreifenden Vorsichtsmaßregeln verbreiten, über Fehlerquellen und Vorsichtsmaßregeln, von denen die bisherigen Untersucher der galvanischen Gesichtsempfindungen so gut wie nichts erwähnen, ein Umstand, der zu denken geben kann.

1. Will man zuverlässige Resultate erhalten, so muß man selbstverständlich die zu untersuchenden Personen zuvörderst hinsichtlich ihres Farbensinnes prüfen. Ich habe diese Prüfung mittels des HERINGSchen Apparates zur Diagnose der Farbenblindheit und Farbenschwäche vollzogen. Die von mir untersuchte, des Rotgrünsinnes völlig entbehrende Versuchsperson bezeichnete die Farben der beiden galvanischen Gesichts-

¹ Man vergleiche zu Obigem R. BRENNER, *Untersuchungen und Beobachtungen auf dem Gebiete der Elektrotherapie*, 1, Leipzig, 1868, S. 67 ff.; NEFTEL im *Arch. f. Psychiatrie*, 8, 1878, S. 420 ff.; ERB, *Handbuch der Elektrotherapie*, Leipzig, 1882, S. 100 ff.

empfindungen, wie schon erwähnt, im allgemeinen als hellblau und dunkelgelb (schmutzig gelb, auch braun). Es kam aber doch gelegentlich vor, daß sie die dem absteigenden Strome entsprechende Empfindung als dunkelgrün bezeichnete, was für denjenigen, der die Farbenbenennungen der Gelbblausichtigen kennt, nicht im mindesten verwunderlich ist. Hat man also den Farbensinn der Personen, mit denen man operiert, nicht untersucht, so kann es z. B. geschehen, daß man von einer Versuchsperson die beiden Farben Blau und Grün, welche keineswegs Gegenfarben sind, genannt erhält, und hierdurch fälschlich zu der Annahme veranlaßt wird, eine individuelle Besonderheit betreffs der Färbung der galvanischen Gesichtsempfindungen konstatiert zu haben. Für die bisherigen Untersucher der Färbung der galvanischen Gesichtsempfindungen (abgesehen von NEFTEL und VELHAGEN) scheint die Thatsache des Vorkommens von Farbenschwäche und Farbenblindheit überhaupt nicht bestanden zu haben.

2. Es kommt bei derartigen Versuchen nicht blos auf das Farbenempfindungsvermögen der Versuchspersonen an, sondern auch auf die Fähigkeit derselben, die wahrgenommenen Farben richtig zu bezeichnen. Auch in dieser Beziehung suchte ich mich vor Beginn der Versuche zu sichern. Unter anderem erwies sich Folgendes als zweckmäfsig. Ich stellte mittelst rotierender Scheiben eine stark weißliche Nuance des Grün, Blaugrün, Blau und Violett und außerdem ein reines Weiß her. Ferner stellte ich mittelst der rotierenden Scheiben zugleich 5 dunkle Ringe her, deren Schwärzlichkeit durch von innen und außen her wirkenden Helligkeitskontrast möglichst verstärkt war, und welche, abgesehen von einem rein schwarzen Ringe, neben ihrer Schwärzlichkeit noch einen schwachen Stich ins Rote, Rotgelbe, Gelbe, Gelbgrün oder Grüne besaßen. Die Versuchsperson wurde nun aufgefordert, diese 10 vorgeführten Farben¹ zu benennen, und wurde, falls die Benennungen den thatsächlichen Verhältnissen nicht entsprachen, auf letztere aufmerksam gemacht. Auf diese Weise erzielte ich, daß die Versuchsperson bei ihrer Benennung der Farben der galvanischen

¹ Diese Farben sind diejenigen, welche nach den in der vorliegenden Litteratur enthaltenen Angaben für die beiden galvanischen Gesichtsempfindungen hauptsächlich in Betracht kommen. Eine grössere Zahl von Rotationsscheiben stand nicht zur Verfügung.

Gesichtsempfindungen schon von vornherein genauer verfuhr; ich erkannte, daß im allgemeinen eine Tendenz besteht, die Grünlichkeit eines schwach grüngelben Schwarz zu überschätzen; ich erfuhr, was die Versuchsperson etwa unter der Bezeichnung olivfarben verstand, welche sie nachher auf die Färbung der dem absteigenden Strome entsprechenden Gesichtsempfindung anwandte, u. dergl. m.

Bei den nachfolgenden Versuchen mit dem galvanischen Strome verfuhr ich stets in der Weise, daß ich die Versuchsperson aufforderte, mir erstens darüber Auskunft zu geben, ob bei Vorhandensein des galvanischen Stromes die Helligkeit erhöht oder verringert oder unverändert sei, und zweitens darüber, welche Färbung der betreffende Teil des Sehfeldes besitze. Gab nun z. B. die Versuchsperson bei absteigendem Strome an, daß sie eine gelbe Färbung beobachte, so bemerkte ich: „Ein Gelb kann zum Rot oder zum Grün hinneigen oder ein reines Gelb sein. Welcher Art ist das von Ihnen beobachtete Gelb?“ Durch diese Fragestellung, bei welcher jegliche Suggestion völlig vermieden ist, erreichte ich in der Regel eine speziellere Charakterisierung der wahrgenommenen Farben.

Die Hauptschwierigkeit hinsichtlich der Benennung bereitet im allgemeinen die Färbung, welche bei verschlossenen Augen bei absteigendem Strome vorhanden ist. Denn der absteigende Strom stellt einen Netzhautreiz dar, wie er sonst nicht vorkommt, nämlich einen solchen, der sozusagen neben einer Gelb- und einer Grünvalenz noch eine (im allgemeinen stärkere) Schwarzvalenz besitzt. Die grüngelben Lichter besitzen immer eine erhebliche Weißvalenz. Wir sind daher von Haus aus in der Bezeichnung der bei absteigendem Strome vorhandenen Färbung gar nicht geübt, und sobald diese Färbung zwar merkbar, aber nur schwach ausgeprägt ist, weiß man zwar, daß man es nicht mit einem reinen Schwarz zu thun hat, kann aber die Art der beigemischten Farbe nicht oder nur unsicher angeben und greift bisweilen auch in der Bezeichnung daneben, falls man nicht durch vorherige Demonstrationen der eben angedeuteten Art hinlänglich gewitzigt worden ist. Es ist zu bemerken, daß es auch unter möglichster Ausnutzung der verdunkelnden Wirkung des Helligkeitskontrastes nicht möglich ist, auf objektiven Lichtflächen (rotierenden Scheiben u. dergl.) ein solches eindringliches Schwarz von grüngelbem Farbenton zu erzielen, wie bei manchen Individuen (bei verschlossenen Augen und im dunkeln Zimmer) unter dem Einflusse des absteigenden Stromes zur Wahrnehmung kommt. Denn setzen wir einem durch Helligkeitskontrast möglichst in seiner Schwärze vertieften, schwarzen Ringe einer Rotationsscheibe etwas Grüngelb zu, so setzen wir zugleich eine Weiß-

valenz zu, welche die Schwärzlichkeit des Ringes mehr oder weniger verringert.

Was die oben erwähnte Tendenz, die Grünlichkeit eines gelblichen Tiefschwarz zu überschätzen, anbelangt, so überzeugt man sich von derselben z. B. einfach dadurch, daß man auf jeder von 2 Rotationsscheiben einen mittleren Ring herstellt, der etwa zu 25 Graden aus schwach grünlichem Gelb, im übrigen nur aus Tuschschwarz besteht. Dieser Ring sei auf der einen Scheibe innen und außen von hellem Weiß, auf der anderen Scheibe hingegen von Tuschschwarz umgeben. Bei gleichzeitiger schneller Rotation der beiden Scheiben erscheint der mittlere Ring der ersteren Scheibe schwärzlich und (vorwiegend) grünlich, derjenige der zweiten Scheibe hingegen ziemlich hell und (vorwiegend) gelblich. Und die Versuchspersonen sind in der Regel sehr erstaunt, wenn man ihnen zeigt, daß der mittlere Ring auf beiden Scheiben objektiv in ganz gleicher Weise zusammengesetzt ist. Auf die Gründe, welche diese und andere verwandte Erscheinungen¹ besitzen, soll hier nicht eingegangen werden. Ich muß nur bemerken, daß die von mir beliebte Ausdrucksweise „Tendenz zur Überschätzung der Grünlichkeit eines gelblichen Schwarz“ nur der Kürze wegen vorläufig so gewählt ist und nicht im Entferntesten die Behauptung einschließen soll, daß physikalisch-chemische Wechselbeziehungen, wie ich solche bereits hinsichtlich der einander nicht entgegengesetzten chromatischen Netzhautprozesse dargelegt habe (*diese Zeitschr.*, XIV, S. 179 ff.), hier nicht im Spiele seien. Jene Ausdrucksweise ist übrigens insofern ganz unanfechtbar, als eben jede nicht eingeweihte Versuchsperson glaubt, daß das betrachtete farbige Feld auch unter gewöhnlichen Umständen, d. h. nach Beseitigung des das Feld stark verdunkelnden Helligkeitskontrastes, vorwiegend grünlich erscheinen werde. An dieser Stelle kam es mir nur darauf an, vorläufig kurz hervorzuheben, daß jene Tendenz (ebenso wie die entsprechende Tendenz, die Rötlichkeit eines bläulichen Weiß zu überschätzen) sich vermutlich auch bei der galvanischen Reizung des Sehorganes mit geltend macht.

Es ist gar kein Zweifel, daß bei nicht wenigen Angaben anderer Beobachter, welche anscheinend nicht ganz zu dem von uns Berichteten stimmen, dieser Anschein lediglich durch eine ungenügende sprachliche Bezeichnung des Beobachteten bedingt ist. Den Reigen derjenigen, welche ihre galvanischen Gesichtsempfindungen ungenügend bezeichnet haben, eröffnet RITTER, welcher, wie bereits erwähnt, helles Blau und dunkles Rot als die den beiden Stromesrichtungen entsprechenden Farben angibt. Aus demjenigen, was er weiterhin (*Gilbert's Ann.* 7. 1801. S. 467) mitteilt, ist aber zu ersehen, daß er zwei komplementäre Farben als rot und blau bezeichnet! Auch PURKINJE bezeichnet

Man vergleiche z. B. VON KRIES, *Die Gesichtsempfindungen und ihre Analyse*, S. 60.

die bei der absteigenden Stromesrichtung vorhandene Färbung nur als gelb und nicht als grüngelb, wie gemäß der Thatsache erwartet werden kann, daß er für den aufsteigenden Strom die violette Farbe angiebt. Er selbst aber berichtet, daß die galvanische Violettempfindung bei Einwirkung von gelbem Lichte von dem Tone der galvanischen Gelbempfindung grau geworden sei, und ebenso sei der Eindruck von Grau entstanden, wenn man bei absteigender Richtung des galvanischen Stromes violettes Licht habe einwirken lassen. Das von PURKINJE bei letzterer Stromesrichtung beobachtete Gelb war also thatsächlich ein Grüngelb. Auch SCHLIEPHAKE bezeichnet die beiden galvanischen Gesichtsempfindungen als violett und gelb, obwohl er die soeben erwähnten, von PURKINJE angestellten Versuche mit gleichem Erfolge wie dieser angestellt hat. Ebenso wenig wie PURKINJE und SCHLIEPHAKE haben andere Beobachter ein Interesse an einer genaueren Bezeichnung der Färbung ihrer galvanischen Gesichtsempfindungen gehabt. Wenn also BRENNER als die Farben seiner galvanischen Gesichtsempfindungen Himmelblau¹ und Gelbgrün angiebt und hinzufügt, daß die Aussagen der von ihm untersuchten Personen bei weitem am häufigsten mit seinen eigenen Wahrnehmungen in Einklang gewesen seien, wenn NEFTEL bemerkt, daß die Mehrzahl der Personen Hellblau und Gelbgrün wahrnehme,² wenn ERB für seine Person die beiden Farben Blaurot und Gelb angiebt, wenn AUBERT (*Physiol. der Netzhaut* S. 345 f.) berichtet, bei aufsteigendem Strome Hellviolett und bei absteigendem ein schwach grünlich³ gefärbtes Dunkel wahr-

¹ Nach HELMHOLTZ (*Physiol. Optik.* 2. Aufl. S. 325) werden auch weißliche Nüancen des Violett als Himmelblau bezeichnet.

² NEFTEL fährt fort: „Manche sehen anstatt blau violett oder weiß, und anstatt gelbgrün gelb oder grün oder rot. Einige sehen überhaupt nur eine einzige Farbe, namentlich unter dem Einflusse der Anode blau, und gar keine Farbe unter dem Einflusse der Kathode, bei deren Öffnung die blaue Farbe wieder erscheint.“ Alle diese Angaben stehen mit dem von mir Gefundenem durchaus in Einklang, wenn man die übliche Ungenauigkeit der Farbenbezeichnungen berücksichtigt. Nur die Angabe von Rot für den absteigenden Strom scheint eine Ausnahme zu bilden. Allein auch diese Angabe habe ich erhalten, wenn ich gewisse, weiterhin zu erwähnende Fehlerquellen walten ließ.

³ Es liegt hier wiederum ein Beispiel für die oben erwähnte Tendenz vor, die Grünlichkeit dunkler Nüancen von Grüngelb zu überschätzen. Daß auch bei AUBERT das bei absteigendem Strome wahrgenommene

genommen zu haben, so können wir in allen diesen Angaben getrost eine Bestätigung dessen erblicken, was sich bei meinen Untersuchungen herausgestellt hat.

VIRCHOW hat gelegentlich (*Verhandl. d. Berl. Ges. f. Anthropol.* 1878. S. 289) auf die Hülfslosigkeit aufmerksam gemacht, in welcher sich nach seinen Erfahrungen die Studierenden der Medizin zu befinden pflegen, wenn es sich um eine genauere Bezeichnung von Farben handelt. Man kann hiernach ermessen, welches geringe Maß von Beachtung schon allein aus diesem Gesichtspunkte solche Untersuchungen über die galvanische Reaktion des Sehorganes verdienen, die man, ohne im geringsten nach dem Farbenbenennungsvermögen der Beteiligten zu fragen, an demjenigen Materiale von Versuchspersonen angestellt hat, welches dem Ophthalmologen, Elektrotherapeuten u. s. w. in der Klinik oder Poliklinik zur Verfügung zu stehen pflegt.

3. Wie schon erwähnt, ist die Färbung der galvanischen Gesichtsempfindung bei absteigendem Strome im allgemeinen weniger deutlich als bei aufsteigendem. Es kommt gar nicht selten vor, daß die Versuchsperson bei geschlossenen Augen zwar die violette Färbung bei letzterer Stromesrichtung ohne weiteres erkennt, hingegen bei ersterer Stromesrichtung nur angiebt, daß das Sehfeld dunkler geworden sei. In diesem Falle hilft häufig ein einfaches Mittel. Häufig ist nämlich bei absteigendem Strome die chromatische Sehnerven-erregung nicht absolut genommen zu schwach, sondern nur relativ, d. h. im Verhältnis zur vorhandenen, durch den galvanischen Strom beträchtlich gesteigerten Schwarzerregung. In solchem Falle erzielt man (gemäß den von mir in *dieser Zeitschrift*. XIV. S. 35f. gegebenen Ausführungen) die Erkennbarkeit des Gelb oder Grüngelb einfach dadurch, daß man den Versuch nicht bei verschlossenen Augen oder im Dunkeln anstellt, sondern die Versuchsperson während der Einwirkung des Stromes auf eine graue Fläche von (leicht ausprobierbarer) mäßiger Helligkeit blicken läßt. Bei drei Versuchspersonen konnte die gelbliche

Dunkel gelbgrün gefärbt war, ergibt sich daraus, daß er angiebt, die Eintrittsstellen der Sehnerven (welche stets in der Kontrastfarbe des umgebenden Grundes erscheinen, falls sie überhaupt zu besonderer Wahrnehmung kommen) seien ihm bei dieser Stromesrichtung als helle, sehr schwach violette Scheiben mit gelblichem Rande erschienen.

Färbung der Empfindung des absteigenden Stromes überhaupt nur auf die soeben erwähnte Weise festgestellt werden. Auch die oben erwähnte Schwierigkeit, welche die sprachliche Benennung der Empfindung des absteigenden Stromes vielfach bereitet, fällt weg oder ist wenigstens eine viel geringere, wenn man nicht mit verschlossenen Augen beobachten läßt, sondern die galvanische Gesichtsempfindung auf eine graue Fläche projizieren läßt. Es kommt vor, daß eine Versuchsperson hinsichtlich der Benennung jener Empfindung hin und her schwankt (gelegentlich sogar von Rötlichkeit spricht), so lange man mit verschlossenen Augen beobachten läßt, sich aber sofort mit Entschiedenheit für Gelb entscheidet, sobald man das Projektionsverfahren anwendet (oder den Strom verstärkt).

4. Natürlich muß man sicher sein, daß die galvanischen Gesichtsempfindungen nicht durch die Wirkungen gleichzeitiger unbeabsichtigter Lichtreize oder durch die Nachwirkungen vorheriger Lichtreize beeinflusst werden. Demgemäß habe ich stets in der angegebenen Weise im Dunkelmzimmer operiert. Beobachtet man bei geschlossenen Augen in einem hellen Raume, so entspringt eine Fehlerquelle daraus, daß sich der vielfach nur schwachen chromatischen Wirkung des Stromes der Einfluß des durch die Augenlider hindurchfallenden rötlichen Lichtes hinzufügt. Alsdann kann es geschehen, daß infolge letzteren Einflusses für beide Stromesrichtungen fälschlicherweise die Farben Blaurot und rötliches Gelb angegeben werden.

5. Eine andere Fehlerquelle ist dann vorhanden, wenn, wie seitens mancher Beobachter (z. B. RUETE) geschehen ist, die eine Elektrode unmittelbar auf den Augapfel oder gar auf jeden der beiden Augäpfel eine Elektrode aufgesetzt und hierdurch die Möglichkeit gegeben wird, daß sich zu der elektrischen Reizung noch eine mechanische Reizung des Auges hinzugesellt.

6. Sehr zu beachten ist Folgendes. Wird ein das Sehorgan durchfließender Strom geschlossen, so entsteht zunächst die lebhaft empfundene Empfindung eines Lichtblitzes, welcher dieselbe Färbung besitzt wie die im allgemeinen weit schwächere Empfindung, welche während des Geschlossenbleibens desselben Stromes besteht. Jener Lichtblitz ist an und für sich von einem negativen Nachbilde gefolgt, dessen Farbe zu der Farbe

des Blitzes antagonistisch ist. Es kommt nun gar nicht selten vor, zumal bei Versuchspersonen, deren Sehorgan dem konstanten Strome gegenüber nur wenig empfindlich ist, daß die negative Nachwirkung des Anfangsblitzes stärker ist als die Wirkung, welche dem Geschlossenbleiben des Stromes entspricht, so daß man auf die Frage, welche Färbung die nach dem Anfangsblitze vorhandene Empfindung besitze, die Gegenfarbe derjenigen Farbe genannt erhält, welche der vorhandenen Stromesrichtung eigentlich entspricht.¹ In manchen Fällen gestaltet sich die Sache dadurch noch komplizierter, daß die den drei optischen Spezialsinnen angehörigen Komponenten der negativen Nachwirkung des Anfangsblitzes wesentlich verschiedene Stärke und verschiedene Dauer besitzen. Ist z. B. der Strom absteigender Art und von nicht geringer Stärke und die Farbe des Anfangsblitzes demzufolge mehr grünlich als gelblich, so kann es geschehen, daß die den Gelbblausinn betreffende negative Nachwirkung des Anfangsblitzes wenig merkbar ist, hingegen die den Rotgrünsinn betreffende negative Nachwirkung desselben eine beträchtliche Stärke und Dauer besitzt. In solchem Falle giebt die Versuchsperson als Farbe der nach dem Anfangsblitze vorhandenen Empfindung weder Blaurot noch Gelbgrün, sondern vielmehr ein rötliches Gelb an.

Man vermeidet die hier angedeutete Fehlerquelle dadurch, daß man nach Schließung des Stromes einige Zeit wartet, bevor man sich ein Urteil über das Wahrgenommene geben läßt,² oder noch besser dadurch, daß man die Intensität des Anfangsblitzes auf ein Minimum herabdrückt, indem man (mit Hülfe eines eingeschalteten Flüssigkeitsrheostaten u. dergl.) die Versuchsperson sich möglichst allmählich in den Strom einschalten läßt.³ Bei Versuchspersonen, bei denen die

¹ Öffnet man kurz darauf den Strom, so erhält man wieder dieselbe Farbe genannt, welche soeben für den geschlossenen Strom angegeben worden ist.

² Es kam also bei manchen Versuchspersonen sehr häufig vor, daß sie unmittelbar nach dem Schließungsblitz diejenige Farbe angaben, welche zu der eigentlich zu erwartenden Farbe antagonistisch war, nach kurzer Zeit sich korrigierten und die richtige Farbe angaben.

³ So sind z. B. auch die auf S. 337 ff. erwähnten wichtigen Versuche an den Versuchspersonen K., B., P. und S. sämtlich mit möglichster Herabsetzung oder völliger Vermeidung des Schließungsblitzes angestellt worden.

chromatische Wirkung des konstanten Stromes bereits während der Dauer des letzteren schnell abklingt, ist das letztere Verfahren das einzig angebrachte.

7. Bei der galvanischen Durchströmung des Auges ist vielfach nicht eine einigermaßen gleichmäßige Färbung des ganzen Sehfeldes vorhanden, sondern je nach der Form und den Ansatzstellen der beiden Elektroden ist bald in der Gegend des blinden Fleckes, bald im Zentrum des Sehfeldes, bald anderwärts eine in der Kontrastfarbe des umgebenden Grundes gefärbte Stelle von größerer oder geringerer Ausdehnung wahrnehmbar. Es kommt nun in solchem Falle gar nicht selten vor, daß die Versuchsperson ihr Urteil bei beiden Stromesrichtungen nicht auf eine und dieselbe Stelle des Sehfeldes bezieht. Wie schon von HERING hinlänglich hervorgehoben worden ist, kann eine ausgedehntere farbige Fläche, deren Färbung infolge der hohen Weißlichkeit oder Schwärzlichkeit ihres Eindruckes gar nicht oder nur schwach erkennbar ist, unter Umständen dennoch eine deutlich erkennbare Kontrastwirkung auf einer angrenzenden oder umschlossenen Fläche hervorrufen. Demgemäß kommen bei Versuchen der hier in Rede stehenden Art z. B. Fälle folgender Art vor. Die Versuchsperson sieht bei aufsteigendem Strome im Sehfelde Hellviolett, abgesehen von einem Felde, wo sie ein gar nicht oder nur sehr schwach grüngelb gefärbtes Dunkel wahrnimmt. Bei absteigendem Strome sieht sie den Grund in jenem Dunkel, dagegen das Kontrastfeld in Hellviolett. Da nun letzteres ihre Aufmerksamkeit weit mehr auf sich zieht und eine viel ausgeprägtere Färbung besitzt als der Grund, so giebt sie getrost abermals Hellviolett als die wahrgenommene Farbe an. Man erhält also für beide Stromesrichtungen dieselbe Farbe angegeben.¹

Behufs Vermeidung der hier angedeuteten Fehlerquelle muß die Versuchsperson scharf dahin instruiert werden, ihr Urteil stets auf dieselbe Stelle des Sehfeldes zu beziehen. Am leichtesten aber

¹ Auch solche Fälle kommen vor, wo der Grund bei beiden Stromesrichtungen eine gar nicht oder nur sehr schwach erkennbare Färbung besitzt, und infolge dessen sich bei beiden Stromesrichtungen das Urteil auf Farbe und Helligkeit des Kontrastfeldes bezieht. In solchem Falle erhält man für beide Stromesrichtungen genau die Umkehrung der wirklich richtigen Urteile.

wird diese Fehlerquelle vermieden, wenn man eben nicht bei verschlossenen Augen beobachten läßt, sondern einen gekennzeichneten Punkt einer grauen Fläche fixieren läßt mit der Aufforderung, stets nur über die Helligkeit und Färbung der unmittelbaren Umgebung des fixierten Punktes (oder eines anderen, durch seine Beziehung zum fixierten Punkte charakterisierten Teiles der betrachteten Bildfläche) zu urteilen. Daß Versuchspersonen, bei denen die Färbung des Sehfeldes keine einigermaßen gleichförmige ist, erst recht leicht verwirrt werden, wenn sie während der Einwirkung des Stromes Augenbewegungen ausführen, durch welche die Erregung der verschiedenen Netzhautteile fortwährend eine andere wird, braucht nicht erst bemerkt zu werden.

8. Der soeben erwähnten Fehlerquelle verwandt ist diejenige, welche darin besteht, daß die Versuchsperson unter Umständen eine Tendenz hat, ihr Urteil über die Helligkeit auf andere Teile des Sehfeldes zu beziehen, als ihr Urteil über die Färbung. Es kommt z. B. bei absteigendem Strome vor, daß die gelbliche Färbung nur in der Mitte des Sehfeldes erkennbar ist, rings herum dagegen nur ein vertieftes Schwarz wahrgenommen wird. In solchem Falle wird die Versuchsperson, in Hinblick auf dieses vertiefte Schwarz, die Frage, wie sich die Helligkeit unter dem Einflusse des galvanischen Stromes verhalte, sehr leicht einfach dahin beantworten, daß eine Verdunkelung eingetreten sei, und die Frage nach der eventuellen Färbung wird sie natürlich mit der Angabe von Gelb beantworten, ohne sich dabei überhaupt die Frage vorzulegen, ob auch an demjenigen Teile des Sehfeldes, in welchem das Gelb erkennbar ist, eine Verdunkelung oder nicht vielmehr (infolge der aufhellenden Wirkung des Gelb) eine Aufhellung eingetreten sei. Nur eine zu größerer Genauigkeit bereits herangezogene Versuchsperson wird in einem Falle der hier in Rede stehenden Art bei ihrem Helligkeitsurteile auf das verschiedene Aussehen der verschiedenen Teile des Sehfeldes näher eingehen.

9. Nach dem Bisherigen wird man es leicht verstehen, weshalb es bei manchen Versuchspersonen erst einer gewissen Schulung bedarf, damit sie zu richtigen Urteilen gelangen. Diese Schulung besteht nicht in einer Suggestion dessen, was man von der Wahrnehmung der Versuchsperson erwartet,

sondern darin, daß letztere geübt wird, trotz der mehr oder weniger unangenehmen Nebenwirkungen des galvanischen Stromes ihre Aufmerksamkeit kaltblütig auf die galvanischen Gesichtseindrücke zu konzentrieren,¹ ihr Urteil immer auf dieselbe Gegend des Sehfeldes zu beziehen, Augenbewegungen möglichst zu vermeiden, von der unmittelbaren Nachwirkung des Schließungsblitzes zu abstrahieren und die wahrgenommene Färbung genau und nur dann zu benennen, wenn völlige Sicherheit besteht, daß die beabsichtigte Benennung dem Charakter der vorhandenen Empfindung wirklich entspricht. Natürlich kommen bei den Versuchspersonen außer den hier angedeuteten Fähigkeiten auch noch ganz andere Eigenschaften in Betracht. Wie jeder nicht ganz Unerfahrene weiß, giebt es Individuen, die eine Neigung haben, an einer einmal gemachten Aussage lediglich aus Eigensinn festzuhalten, ebenso solche, die sich interessant vorkommen, wenn sie glauben, etwas Besonderes, das bei anderen Versuchspersonen nicht vorkomme, von sich aussagen zu können, und aus solchem Grunde zu einer objektiven Nachprüfung und Kontrolle des einmal von ihnen Ausgesagten nicht recht geneigt sind. Ferner würde man auch solche finden, welche diese lästigen Versuche nach kurzer Zeit satt haben und dann mit den und den Aussagen, auf deren Richtigkeit es ihnen gar nicht weiter ankommt, der Sache kurzweg ein Ende machen. Und endlich dürften auch solche nicht fehlen, welche glauben, durch die Willkürlichkeit ihrer eigenen Aussagen bei den Versuchen den Erweis dafür erbringen zu können, daß alle Untersuchungen der Psychophysik und experimentellen Psychologie wertlos seien. Da die bisherigen Untersuchungen der Elektrotherapeuten u. A. über die galvanischen Gesichtsempfindungen an mehr oder weniger zufällig herausgegriffenen Versuchspersonen der verschiedensten

¹ Ein in Beobachtungen wohl geübter Naturforscher, dessen Aussagen anfänglich keine genügende Übereinstimmung zu einander zeigten, gestand mir selbst, es sei ihm anfänglich wegen der Störung durch die unangenehmen Nebenwirkungen des Stromes nicht möglich gewesen, seine Aufmerksamkeit genügend auf die Beobachtung und Benennung der eintretenden Gesichtsempfindungen zu konzentrieren. Zu den störenden Nebenwirkungen des Stromes gehören auch die häufig recht eindringlichen Geschmacksempfindungen (eines sauren oder metallischen Geschmackes). Bei einer Versuchsperson trat auch eine Geruchsempfindung auf.

Art stattgefunden haben, so habe auch ich, um eben hinter die Fehlerquellen zu kommen, welche bei einem derartigen Materiale von Versuchspersonen in Betracht kommen, nicht blos in psychologischen und naturwissenschaftlichen Beobachtungen geübte Versuchspersonen¹ benutzt, sondern Individuen der verschiedensten Art, welche zu einem grossen Teile ohne jede Beziehung zu einander waren, zu den Versuchen herangezogen. Ich habe mich aber von vorn herein wohl gehütet, bei den Versuchen solche Individuen zu benutzen, bei denen ich nicht Grund hatte, die Abwesenheit der oben angeführten ungünstigen Eigenschaften vorauszusetzen. Ferner habe ich, wie schon früher erwähnt, nur Personen von einem höheren Bildungsgrade benutzt, entsprechend den Anforderungen, welche derartige Versuche an die intellektuellen Fähigkeiten stellen. Von Versuchen an Hysterischen, an Dienstmädchen, an Bäckerlehrlingen, an elfjährigen Schlachterssöhnen u. dergl. habe ich mir, im Gegensatze zu manchen meiner Vorgänger, eine wissenschaftliche Aufklärung nicht versprochen. Und ich brauche nach dem Bisherigen nicht erst auszuführen, weshalb ich schablonenhaften Massenuntersuchungen (z. B. an Schulklassen) über unseren Gegenstand eine nennenswerte Bedeutung nicht würde zuschreiben können. —

Wenn also seit BRENNERS Veröffentlichung die Ansicht herrscht, daß hinsichtlich der Färbung der galvanischen Gesichtsempfindungen eine allgemeine Regel nicht bestehe, so glaube ich berechtigt zu sein, diese Ansicht für eine nicht hinlänglich begründete zu erklären, weil die ihr zu Grunde liegenden Untersuchungen eine genügende Berücksichtigung der im Vorstehenden angedeuteten Fehlerquellen in keiner Weise erkennen lassen. Zu dieser Erklärung glaube ich umsomehr berechtigt zu sein, weil ich die meisten derjenigen Angaben, welche von dem von mir gefundenen Verhalten der Färbung der galvanischen Gesichtsempfindungen abweichen (z. B. die Angabe einer rötlichen Farbe für den absteigenden Strom, die Angabe von Blau für beide Stromesrichtungen, die Angabe von Grünblau für den aufsteigenden Strom, von Gelb für den aufsteigenden und von Lila für den absteigenden

¹ Nur etwa vier bis fünf Versuchspersonen haben vermuten können, worum es sich bei meinen Versuchen handele.

Strom), bei meinen Versuchen gleichfalls gelegentlich erhalten habe, aber unschwer als auf dieser oder jener Fehlerquelle beruhend nachweisen konnte. Individuelle Verschiedenheiten hinsichtlich der galvanischen Gesichtsempfindungen bestehen auch nach den von mir erhaltenen Resultaten, aber diese Verschiedenheiten sind nur quantitativer Art; sie betreffen nur die Stärkegrade und Stärkeverhältnisse, in denen die drei optischen Spezialsinne an der galvanischen Erregung beteiligt sind. Daß hinsichtlich der Beschaffenheit der galvanischen Gesichtsempfindungen neben dem von mir gefundenen Typus noch andere Typen vorkommen, ist natürlich durch die Resultate meiner auf 26 Versuchspersonen beschränkten Untersuchung nicht völlig ausgeschlossen, aber andererseits auch nicht wahrscheinlich, jedenfalls durch die zur Zeit vorliegenden Untersuchungen nicht erwiesen.

Der Gedanke, daß noch ein zweiter Typus vorkomme, der mir zufällig bei meinen Versuchen nicht entgegengetreten sei, wird am meisten durch die Untersuchung nahegelegt, welche BRUNNER in ausgedehnter Weise an sich selbst angestellt hat. Wie schon früher (S. 331) erwähnt, beobachtete derselbe bei aufsteigendem Strom ein helles Blaugrün, bei absteigendem ein dunkleres Gelbrot. Dieselben (zur Theorie der Gegenfarben an und für sich gut stimmenden) Resultate erhielt auch RUKKE bei Untersuchung seiner eigenen galvanischen Gesichtsempfindungen. Bei Erhöhung der Stromstärke änderte sich bei BRUNNER die Beschaffenheit der galvanischen Gesichtsempfindung angeblich in der Weise, daß bei aufsteigendem Strome die Bläulichkeit immer mehr über die Grünlichkeit, bei absteigendem Strome die Rötlichkeit immer mehr über die Gelblichkeit die Überhand bekam. Allein man kann sich nicht verhehlen, daß den Angaben BRUNNERS gegenüber eine gewisse Zurückhaltung angezeigt ist. Er selbst sagt von sich (a. a. O. S. 7): „Feine Farbennüancen zu unterscheiden wird mir schwer und leicht unmöglich, wo bei anderen noch viel geringere Unterschiede verschiedene Empfindungen hervorrufen.“ Weiterhin (S. 12, 14, 17, 29) teilt er mit, daß die Färbung der galvanischen Gesichtsempfindung bei Schließung eines Stromes nahezu oder merkbar dieselbe gewesen sei, wie bei Öffnung desselben.¹ Diese

¹ Nur einmal (S. 33) bemerkt er, es sei ihm einige Male „ganz so vorgekommen, als ob nach dem Öffnen eine kurz dauernde schwache Empfindung von der Farbe des entgegengesetzten Poles sich einstellte“. Die Behauptung von BRUNNER, bei Öffnung des Stromes merkbar dieselbe Empfindung beobachtet zu haben wie bei Schließung desselben, erinnert an die auf S. 347 (Anmerkung 1) erwähnten Fälle, wo meine Versuchspersonen sich in gleicher Weise äußerten. Und in der That kann man sich die Hauptangaben BRUNNERS durch dieselbe Fehlerquelle erklären, welche jene Aussagen meiner Versuchspersonen bedingte. BRUNNER spricht gelegentlich (S. 14) von dem blendend grünlichen Blitze, den er bei Öffnung des aufsteigenden Stromes wahrgenommen habe. Demgemäß

Mitteilung steht in schroffem Widerspruche zu der allgemein anerkannten, für die allermeisten Individuen sehr leicht nachweisbaren Thatsache, daß die bei Öffnung eines Stromes eintretende Empfindung mit derjenigen Empfindung übereinstimmt, die bei Schließung des entgegengesetzt gerichteten Stromes stattfindet. Sehr eigentümlich ist endlich auch die Bemerkung von BRUNNER (S. 13), daß es ihm nicht gelungen sei, bei offenen Augen die galvanische Gesichtsempfindung nach außen zu projizieren. Keine meiner Versuchspersonen hat bei dem Projektionsverfahren auch nur die geringste Schwierigkeit empfunden. Ich glaube hiernach nicht zu weit zu gehen, wenn ich behaupte, daß BRUNNER auf diesem Gebiete als ein kompetenter Beobachter nicht angesehen werden darf. Inwieweit diejenigen Versuchspersonen von BRENNER, ERB u. a., deren Aussagen zu dem von mir Gefundenen anscheinend nicht stimmen, vor BRUNNER mehr voraushaben als den Umstand, daß wir sie hinsichtlich ihrer Beobachtungsfähigkeit nicht kontrollieren können, muß dahingestellt bleiben. Auch auf die oben erwähnte, beiläufige Notiz von RUETE können wir die Annahme eines zweiten, zu den Angaben BRUNNERS stimmenden Typus von Individuen unmöglich gründen. Auch gemeinsame Fehlerquellen erzeugen übereinstimmende Aussagen. Man könnte geneigt sein auch RITTER, welcher Rot und Blau als die den beiden Stromesrichtungen entsprechenden Farben angiebt, als einen Vertreter des hier in Frage stehenden zweiten Typus in Anspruch zu nehmen. Allein die schon früher (S. 343) charakterisierten Aussagen RITTERS (und vielleicht auch mancher seiner Nachfolger) dürften, wie schon PURKINJE bemerkt hat, durch die Neigung bestimmt sein, dem Gegensatze der beiden Stromesrichtungen denjenigen vermeintlichen Gegensatz entsprechen zu lassen, der zwischen den Farben der beiden Enden des Sonnenspektrums bestehe. —

Da sich nicht näher angeben läßt, inwieweit der galvanische Strom bei dem von mir benutzten Verfahren (brillenartige Form der Elektrode u. s. w.) seinen Weg gerade durch die betreffenden Teile der Netzhaut nimmt, so läßt sich auch nicht recht entscheiden, ob die Übereinstimmung, welche die von mir an den verschiedenen Versuchspersonen erhaltenen Resultate im wesentlichen zeigen, nicht zu einem Teile auch darauf beruht, daß ich im allgemeinen mit stärkeren Strömen operiert und demgemäß auch im allgemeinen eine ausgeprägtere Färbung der

hat er auch bei Schließung eines absteigenden Stromes einen blendend grünlichen Blitz empfunden. Dieser Blitz hinterließ an und für sich ein intensives negatives Nachbild von wesentlich rötlicher Färbung. Und so kam es, daß nach diesem Anfangsblitze nicht ein grünliches, sondern rötliches Gelb wahrnehmbar war. Ebenso mußte bei Schließung des aufsteigenden Stromes das negative Nachbild des stark rötlichen Anfangsblitzes bewirken, daß nach dem letzteren nicht ein schwach rötliches, sondern ein grünliches Blau auftrat. Es ist darauf aufmerksam zu machen, daß BRUNNER selbst zu wiederholten Malen (z. B. S. 15, 16 und 27) davon spricht, daß auch während der Dauer des konstanten Stromes die Empfindung durch einzelne (durch Augenbewegungen u. dergl. bedingte) stärkere Blitze unterbrochen gewesen sei, und selbst an einer Stelle (S. 29) von einer wahrgenommenen gelbgrünen Farbe spricht.

galvanischen Gesichtsempfindungen erzielt habe als meine Vorgänger. Es beliefen sich die von mir als schwach bezeichneten Ströme bis zu einer Stärke von 7 milliamp., Ströme von mäßiger Stärke besaßen 7—13, starke Ströme 13—17, sehr starke Ströme 17—22 milliamp. Das benutzte Milliampèremeter war im hiesigen physikalisch-chemischen Institut kontrolliert worden.

§ 4. In welcher Netzhautschicht erfolgt die direkte Einwirkung des Stromes?

Was die Frage anbelangt, welche Teile des Sehorganes durch den galvanischen Strom direkt gereizt werden, so hat schon SCHELSKE (a. a. O. S. 50) und späterhin HELMHOLTZ (*Physiol. Optik*, 2. Aufl., S. 246 ff.) an der Hand der Erscheinungen, welche bei seitlichem (an einem Augenwinkel stattfindenden) Ein- oder Austreten des Stromes zu beobachten sind, gezeigt, daß die Stelle, welche bei der elektrischen Durchströmung des Auges direkt gereizt wird, „in den hintersten Schichten der Netzhaut zu suchen ist, was mit den Erfahrungen über die Erregung durch Licht... zusammenstimmt“. Gegen die Annahme, daß die galvanischen Gesichtsempfindungen durch eine Reizung des Sehnerventammes zu stande kämen, hat überdies O. SCHWARZ mit Recht eingewandt, daß man sich schwer denken könne, „daß die am deutlichsten und weitaus am meisten beobachtbaren Lichterscheinungen in der Projektionsrichtung des gelben, sowie des blinden Flecks von einer partiellen Reizung derjenigen Fasergruppen des Sehnerventammes abhängen, welche zur Macula und zur unmittelbaren Umgebung der Papille ziehen; und eine durch Erregung des gesamten Sehnervenquerschnittes (resp. der Papille) bewirkte Lichterscheinung müßte doch immer das ganze Gesichtsfeld ausfüllen.“¹ Derselbe Forscher (a. a. O. S. 593 ff.) hat ferner noch einen (der Raumersparnis halber hier nicht

¹ Treten wirklich, wie BRENNER (a. a. O. S. 72) meint, im galvanischen Lichtbilde unter Umständen dunkle Linien auf, welche den Netzhautgefäßen entsprechen, so ist dies gleichfalls eine Beobachtungsthatsache, welche durch Annahme einer Reizung des Sehnerventammes absolut nicht erklärt werden kann. Ferner ist nach unseren früheren Ausführungen (*diese Zeitschr.*, 14, S. 25 ff.), nach denen der Simultankontrast peripherischen Ursprunges ist, hier auch daran zu erinnern, daß die auf elektrischer Reizung beruhenden Gesichtseindrücke gleichfalls von Erscheinungen des Simultankontrastes begleitet sind, wie z. B. die Tatsache zeigt, daß bei gewissen Arten der Durchleitung des Stromes durch

mitzuteilenden) neuen Versuch erdacht und ausgeführt, aus dessen Resultat sich ganz klar ergibt, daß die Reizung durch den galvanischen Strom auch nicht in der Nervenfaserschicht der Netzhaut, sondern in einer mehr nach außen gelegenen Retinaschicht zu stande kommt.

SCHWARZ selbst hält es für das Wahrscheinlichste, daß die Zapfenfasern und nicht die Zapfen selbst von dem galvanischen Strome direkt erregt werden. Wird nämlich das Auge von der Seite her durchströmt, so erscheinen bei geeigneter Blickrichtung rechts und links neben dem Fixationspunkte zwei querovale Felder, von denen das in die helle Hälfte des Sehfeldes hineinragende dunkel, das in die dunkle Hälfte hineinfallende hell erscheint. Das Erscheinen dieser beiden Felder führt SCHWARZ mit HELMHOLTZ darauf zurück, „daß am gelben Fleck die Faserzüge der Netzhaut radial divergierend gegen die dazu gehörigen Ganglienzellen verlaufen, und die elektrischen Ströme bei der betreffenden Blickrichtung am gelben Fleck parallel der Fläche der Netzhaut fließen.“ „Da die Zapfen selbst“, fährt SCHWARZ fort, „senkrecht zur Fläche der Netzhaut stehen, und die zur Fovea radiäre Richtung erst in den Zapfenfasern beginnt, wo sie zugleich am stärksten ausgeprägt ist, so kommt man hierdurch zu der Annahme, daß höchstwahrscheinlich die Zapfenfasern an der galvanischen Erregung teilnehmen, indem an den Stellen ihrer stärksten Krümmung virtuelle Pole entstehen — vorausgesetzt, daß die Erregung nicht etwa lediglich in den mittleren Netzhautschichten erfolgt, was sich indes schwer vorstellen ließe.“ Mir scheint die Annahme, daß diejenigen Teile, welche von dem galvanischen Strome direkt gereizt werden, die Außenglieder der Zapfen (Stäbchen) seien, in denen auch das Licht seine unmittelbaren Wirkungen photochemischer Art entfaltet,

das Sehorgan die dem blinden Flecke und seiner Umrandung entsprechende Gegend des Sehfeldes diejenige Färbung besitzt, welche zu der sonst im Sehfelde herrschenden Färbung antagonistisch ist. HELMHOLTZ (a. a. O. S. 247) führt dieses Verhalten darauf zurück, daß die starke Sehnenscheide des Sehnerven als schlecht leitende Masse in Betracht komme und bewirke, „daß die dicht davor liegenden Nerven-elemente, die das Mark des eintretenden Nerven unmittelbar umgeben, vor der Durchströmung verhältnismäßig geschützt sind. Deren Zustand aber pflegen wir... auf die ganze Ausdehnung des Sehnervenquerschnittes zu übertragen“.

keineswegs unfähig zu sein, das Auftreten der oben erwähnten querovalen Felder¹ zu erklären. Man braucht nur hinsichtlich der elektrischen Leitfähigkeit der Zapfen und ihrer Umgebung eine geeignete Annahme zu machen, z. B. die Annahme, daß jedes Zapfengebilde (Aufsen- und Innenglied, Zapfenkorn und Zapfenfaser) viel besser leite als seine Umgebung, oder die näher liegende Annahme, daß jedes Zapfengebilde einem senkrecht zu seiner Längserstreckung ein- oder austretenden Strome wegen eintretender Grenzpolarisation einen Leitungswiderstand entgegensetze, welcher in Vergleich zu dem in der Längsrichtung bestehenden Leitungswiderstande groß sei. Bei einer solchen Annahme kommt man zu dem Resultate, daß z. B. ein elektrischer Strom, welcher die Faser eines Foveazapfens in aufsteigender Richtung durchfließt, mit einem erheblichen Teile seiner Intensität diesen Zapfen in seiner Totalität durchfließen muß, mithin auch auf das Aufsenglied desselben wirken muß. Das Auftreten der beiden oben erwähnten querovalen Felder läßt sich also in der That auch dann erklären, wenn man die Annahme zu Grunde legt, daß die lichtempfindliche Schicht der Netzhaut zugleich auch der Ausgangspunkt der galvanischen Erregungen des Sehorganes sei. Es läßt sich nun aber für letztere Annahme zugleich noch Folgendes in positiver Weise anführen.

Geht man von der Voraussetzung aus, es erfolge die direkte Einwirkung des galvanischen Stromes nicht auf die lichtempfindliche Netzhautschicht, sondern auf die Zapfenfasern oder irgendwelche andere innerhalb der Netzhaut gelegene Teile der nervösen Sehbahn, so muß sich das Verhalten der bei Schließung und Öffnung des Stromes eintretenden Empfindungen aus dem Zuckungsgesetze oder vielmehr aus den diesem Gesetze zu Grunde liegenden Verhaltensweisen des elektrisch durchströmten Nerven² ableiten lassen. An die Stelle der Erregung oder Hemmung, welche in der dem Muskel zugewandten Partie des motorischen Nerven herrscht, tritt die Erregung, welche in dem zentralwärts (nach der Ganglienzellschicht

¹ Es braucht nicht erst darauf aufmerksam gemacht zu werden, daß das Auftreten dieser querovalen Felder gleichfalls mit der Annahme unverträglich ist, daß durch den galvanischen Strom der Sehnerv direkt gereizt werde.

² Man vergleiche hierzu z. B. BIEDERMANN, a. a. O. S. 558 ff.

hin) gelegenen Teile der Zapfenfasern oder der sonstigen in Betracht kommenden Elemente der nervösen Leitungsbahn hervorgerufen wird. Diese Erregung ist für die Beschaffenheit der galvanischen Gesichtsempfindung maßgebend, und zwar kann dieselbe entweder eine solche Erregung sein, welche eine galvanische (violette) Hellempfindung bewirkt, oder eine solche, welche eine galvanische (grüngelbe) Dunkelempfindung¹ hervorruft. Die eine dieser beiden Erregungen entspricht demjenigen Zustande des motorischen Nerven, welcher auf den Muskel erregend wirkt, die andere hingegen demjenigen Zustande, den man als eine Hemmung oder als eine Herabsetzung der Erregbarkeit des motorischen Nerven bezeichnet. Ob nun die der galvanischen Hellempfindung zu Grunde liegende Erregung jenem ersteren und die der galvanischen Dunkelempfindung zu Grunde liegende Erregung diesem zweiten Zustande des motorischen Nerven entspricht, oder es sich umgekehrt verhält, kann nur die Erfahrung entscheiden. Leiten wir einen schwachen aufsteigenden Strom durch das Sehorgan, so tritt bei der Stromschliessung eine Hellempfindung ein. Da bei der Schliessung eines im motorischen Nerven aufsteigenden schwachen Stromes (der ersten Stufe des Zuckungsgesetzes entsprechend) Zuckung des Muskels eintritt, so würde hiernach die der galvanischen Hellempfindung zu Grunde liegende Erregung als diejenige anzusehen sein, welche der bei der Stromschliessung von der (physiologischen) Kathode und bei der Stromöffnung von der (physiologischen) Anode ausgehenden Erregung des motorischen Nerven entspricht. Da nach dem Zuckungsgesetze ein (der ersten Stufe entsprechender) schwacher absteigender Strom bei seiner Schliessung gleichfalls Zuckung bewirkt, so wäre nun nach der hier in Frage stehenden Annahme zu erwarten, daß ein im Sehorgane absteigender schwacher Strom bei seiner Schliessung gleichfalls eine Hellempfindung hervorrufe. Dies ist aber keineswegs der Fall, sondern der Schliessung eines solchen Stromes entspricht das

¹ Es handelt sich hier nur um eine kurze Bezeichnung der beiden galvanischen Gesichtsempfindungen. Daß bei denselben von den früher (S. 337 ff.) erwähnten Ausnahmefällen abgesehen ist, wo die chromatische Wirkung des Stromes mit ihrem Einflusse auf die Helligkeit zu überwiegender Geltung kommt, braucht nicht erst bemerkt zu werden.

Eintreten einer galvanischen Dunkelempfindung.¹ Nach dem Zuckungsgesetze ruft ein mittelstarker Strom bei beiden Stromesrichtungen sowohl bei der Schließung als auch bei der Öffnung Zuckung hervor. Hiernach müßte ein das Sehorgan durchfließender mittelstarker Strom bei beiden Stromesrichtungen sowohl bei der Schließung als auch bei der Öffnung die galvanische Hellempfindung hervorrufen. Dies ist wiederum keineswegs der Fall. Denn ein aufsteigender Strom bewirkt bei der Öffnung und ein absteigender Strom bei der Schließung die galvanische Dunkelempfindung. Dem Zuckungsgesetze gemäß entspricht endlich der Schließung eines starken aufsteigenden Stromes Ruhe, der Öffnung Zuckung des Muskels, während der Schließung eines starken absteigenden Stromes Zuckung, der Öffnung Ruhe (oder schwache Zuckung) des Muskels entspricht. Hiernach müßte bei hoher Stromstärke die Schließung eines im Sehorgane aufsteigenden und die Öffnung eines in demselben absteigenden Stromes die galvanische Dunkelempfindung bewirken, hingegen die Öffnung eines aufsteigenden und die Schließung eines absteigenden Stromes die galvanische Hellempfindung hervorrufen, während tatsächlich in allen diesen vier Fällen genau die gegenteilige Wirkung eintritt.² In Wirklichkeit verhalten sich also die galvanischen Gesichtsempfindungen ganz anders, als zu erwarten wäre, wenn der galvanische Strom auf einen Teil der nervösen

¹ Wie schon früher bemerkt worden ist und weiterhin (S. 361 ff.) noch näher dargelegt werden wird, stimmt auch bei absteigendem Strome die Empfindung des sogenannten Schließungsblitzes hinsichtlich der Qualität wesentlich mit derjenigen Empfindung überein, welche bei Geschlossenbleiben desselben Stromes zur Beobachtung kommt.

² Die Behauptung von RITTER, daß bei sehr hoher Stromstärke sich die Farben der galvanischen Gesichtsempfindungen umkehrten, also z. B. die der Schließung eines aufsteigenden Stromes entsprechende Färbung bei sehr hoher Stromstärke derjenigen Färbung Platz mache, welche der Schließung eines nicht sehr starken absteigenden Stromes entspricht, haben weder PURKINJE noch BRUNNER noch HELMHOLTZ bei ihren ausdrücklich auf diesen Punkt gerichteten Versuchen bestätigt gefunden. Ich selbst bin bis zu Stromstärken von 22 milliamp. gegangen, ohne eine derartige Umkehrung der Farben beobachten zu können. Einmal habe ich auch einen Strom von 25 milliamp. über mich ergehen lassen, fand aber, daß bei dieser Stromstärke infolge der geradezu beänstigenden Nebenwirkungen des Stromes von einer Fähigkeit zu wissenschaftlicher Beobachtung nicht mehr die Rede sein kann.

Sehbahn direkt einwirkte. Und zwar beruht dieses eigenartige Verhalten der galvanischen Gesichtsempfindungen offenbar darauf, daß für dieselben immer nur derjenige Erregungszustand maßgebend ist, welcher dem peripheriewärts (zapfenwärts) gelegenen der beiden physiologischen Pole (physiologische Kathode oder Anode) entspricht. Deshalb ruft ein im Sehorgane absteigender Strom bei seiner Schließung nicht eine Hellempfindung, sondern eine Dunkelempfindung hervor. Deshalb bewirkt auch ein stärkerer aufsteigender Strom, im Gegensatze zu dem nach dem Zuckungsgesetze zu Erwartenden, bei seiner Öffnung die galvanische Dunkelempfindung; und deshalb läßt sich an den durch den aufsteigenden Strom bei seiner Schließung und Öffnung bewirkten Empfindungen im Falle sehr hoher Stromstärke nicht diejenige Umkehrung der Erscheinungen beobachten, welche der dritten Stufe des Zuckungsgesetzes entspricht.

Wenn nun aber stets nur der peripheriewärts gelegene der beiden physiologischen Pole für das Verhalten der galvanischen Gesichtsempfindung maßgebend ist, so muß derselbe in einen Teil der Sehbahn fallen, der durch seine Struktur und Erregbarkeit eine ganz besondere Stellung einnimmt. Er kann nicht in einen Teil der nervösen Leitungsbahn, z. B. die Zapfenfasern, fallen; denn dann wäre nicht einzusehen, weshalb der zentralwärts gelegene andere physiologische Pol stets so ganz ohne Einfluß ist.¹ Er muß vielmehr in diejenigen Teile fallen, welche sich dadurch als Organe von besonderer Beschaffenheit und Erregbarkeit bekunden, daß das Licht seine photochemischen Wirkungen in ihnen entfaltet. Diejenigen Teile der Zapfen (Stäbchen), auf welche das Licht direkt erregend wirkt, sind also zugleich auch die Angriffspunkte der Wirksamkeit des elektrischen Stromes.²

¹ Es ist übrigens schon von vornherein nicht einzusehen, aus welchem Grunde die Zapfenfasern vor den eigentlichen Sehnervenfasern, denen sie im Grunde ganz homolog sind, den Vorzug einer besonderen Erregbarkeit besitzen sollten.

² Man könnte glauben, diesen Satz auch dadurch erweisen zu können, daß man zeige, daß eine elektrische Durchströmung des ruhenden Auges, z. B. Froschauges, ähnlich wie die Einwirkung von Licht Pigmentwanderung, Zapfenverkürzung und andere derartige Vorgänge an der lichtempfindlichen Netzhautschicht bewirkt, wie dies ANGELUCCI (*Moleschotts Unters.*, 14, 1892, S. 257) bei der galvanischen und faradischen

Es mag hier darauf hingewiesen werden, daß HERMANN (*Pflügers Arch.*, 49, 1891, S. 530 ff.) bei seinen Untersuchungen über den elektrischen Geschmack gleichfalls zu dem Resultate kommt, daß die elektrischen Geschmacksempfindungen dadurch entstehen, daß der elektrische Strom auf die spezifischen Endorgane des Geschmacksinnes erregend wirkt.

Wie die Analyse des Zuckungsgesetzes ergibt (BIEDERMANN, a. a. O. S. 560 f.), entwickelt sich der bei der Stromschliessung von der Kathode ausgehende Erregungszustand des motorischen Nerven leichter und bei geringerer Stromstärke als der von der Anode bei der Stromschliessung ausgehende Nervenzustand. Hiermit steht die im Vorstehenden von uns aufgestellte Ansicht in bemerkenswertem Einklang, da nach ihr die galvanische Hellempfindung, welche leichter erweckbar ist und bei gleicher Stromstärke ausgeprägter auszufallen pflegt als die galvanische Dunkelempfindung,¹ in dem Falle eintritt, wo eine physiologische Kathode in den die Einwirkung des Stromes vermittelnden Zapfenaufsengliedern liegt, hingegen die galvanische Dunkelempfindung dann vorhanden ist, wenn sich eine physiologische Anode in den Aufsengliedern der Zapfen befindet.

Wie schon O. SCHWARZ (a. a. O. S. 603) bemerkt, bleibt allerdings noch die Möglichkeit bestehen, daß wenigstens sehr starke Ströme bei plötzlicher Schliessung oder Öffnung auch auf direktem Wege eine momentane Erregung der Sehnervenfasern oder anderer Teile der rein nervösen Sehbahn bewirken. Ich möchte indessen hervorheben, daß zur Zeit kein Grund

Reizung des Dunkelfrosches in der That gefunden hat. Allein Versuche der hier angedeuteten Art können nur dann beweisend sein, wenn bei denselben die Möglichkeit einer reflektorischen Erweckung der Pigmentwanderung und jener anderen Vorgänge (durch elektrische Hautreizung) völlig ausgeschlossen ist, was bei den erwähnten Versuchen von ANGELUCCI nicht der Fall war.

¹ In Übereinstimmung mit dem von mir (S. 334 f.) Gefundenen bemerkt schon PURKINJE (a. a. O. S. 33): „Die Intension ist ungleich größer beim violetten als beim gelben Lichtschein.“ Wie HOCHÉ (*Arch. f. Psychiatrie*, 24, 1892, S. 644) gefunden hat, ist der für die Erweckung einer Blitzempfindung erforderliche Schwellenwert der Stromstärke am geringsten für die Schliessung des aufsteigenden Stromes, größer in der Regel für die Öffnung des absteigenden Stromes, noch größer für die Schliessung des letzteren Stromes und am größten für die Öffnung des aufsteigenden Stromes.

vorliegt, ein dieser Möglichkeit entsprechendes Verhalten für dasjenige Gebiet von Stromstärken zu behaupten, welches bei derartigen Versuchen über die galvanischen Gesichtsempfindungen überhaupt in Betracht kommt. Nach den Darstellungen verschiedener Beobachter könnte es scheinen, als ob bei nicht ganz allmählicher Schließung eines das Sehorgan durchfließenden Stromes zunächst die Empfindung eines Blitzes eintrete, welche hinsichtlich ihrer Qualität von der Stromesrichtung unabhängig sei und vermutlich auf einer direkten Erregung der Sehnervenfasern oder anderer Bestandteile der rein nervösen Sehbahn beruhe, und als ob erst nach dieser Blitzempfindung (eine genügende Stromstärke und Stromdauer vorausgesetzt) eine in der früher angegebenen Weise von der Stromesrichtung hinsichtlich ihrer Qualität abhängige Empfindung von größerer oder geringerer Dauer eintrete. Dem gegenüber ist durchaus an dem schon früher von mir aufgestellten, bereits von PURKINJE in seiner Gültigkeit erkannten Satze festzuhalten, daß die Empfindung, welche bei schneller Schließung eines Stromes zunächst eintritt, thatsächlich zwar eine höhere Intensität, aber sonst wesentlich denselben Charakter besitzt wie die Empfindung, welche hinterher bei Geschlossenbleiben des (nicht zu schwachen) Stromes vorhanden ist. Bei schneller Schließung eines aufsteigenden Stromes und ebenso bei schneller Öffnung eines absteigenden Stromes tritt ein heller Blitz von violetter Färbung auf, bei schneller Schließung eines absteigenden und schneller Öffnung eines aufsteigenden Stromes hingegen tritt im allgemeinen eine Dunkelempfindung mit grüngelber Färbung ein.¹ Schon O. SCHWARZ (a. a. O. S. 603) hat auf Grund seiner Wahrnehmungen hervorgehoben, daß der Schließung eines absteigenden Stromes (innerhalb gewisser Grenzen der Strom-

¹ Bei denjenigen Versuchspersonen, bei denen die chromatische Wirkung des Stromes die überwiegende ist wie bei den früher (S. 337 ff.) erwähnten vier Versuchspersonen K., B., P. und S., kann natürlich auch die Empfindung des Schließungsblitzes bei absteigendem Strome nicht als eine Dunkelempfindung bezeichnet werden. Jene vier Versuchspersonen bezeichneten ohne Weiteres und ganz unabhängig voneinander den Schließungsblitz bei absteigendem Strome als gelb oder grüngelb, bei aufsteigendem Strome als bläulich oder violett. Für Versuchs-

stärke) nur eine plötzliche Verdunkelung entspreche, und im Beobachten geübte Versuchspersonen haben mir ganz spontan angegeben, daß die bei schneller Schließung zunächst eintretende Empfindung zwar weit intensiver sei wie die weiterhin zu beobachtende galvanische Dauerempfindung, aber hinsichtlich der Qualität wesentlich mit dieser übereinstimme.

Davon, daß bei mir der schnellen Schließung eines absteigenden Stromes eine plötzliche Verdunkelung entspricht, habe ich mich durch besondere Versuche, die bis zu einer Stromstärke von 13 milliamp. gingen, überzeugt. Um eine möglichst plötzliche Schließung und Öffnung des Stromes zu ermöglichen, wurde noch ein Taster in den Stromkreis eingeschaltet. Man beginnt die Beobachtung jener „Blitze“ am besten bei schwachen Strömen, was sich auch deshalb empfiehlt, weil man sich so am besten an die unangenehmen Nebenwirkungen der Ströme gewöhnt. Hierbei überzeugt man sich leicht, daß auch einer möglichst plötzlichen Schließung des absteigenden Stromes eine plötzliche Verdunkelung entspricht. Und beim allmählichen Fortschreiten zu höheren Stromstärken erkennt man, daß sich an dem Charakter des Phänomens nichts ändert als die Intensität. Es empfiehlt sich, auch mit offenen Augen und Fixation eines Punktes einer (nicht zu hellen) Fläche zu operieren und gelegentlich Versuche mit Schließung eines aufsteigenden Stromes einzuschieben, um sich von Neuem klar zu machen, wie eine plötzliche Aufhellung aussieht. Denn wie schon bei O. SCHWARZ (a. o. a. O.) vermerkt ist, kann der plötzliche Übergang des subjektiven Augengrau in ein tieferes Dunkel den Eindruck eines Blitzes leicht vortäuschen. Wie schon SCHWARZ angedeutet hat, liegt ferner eine Fehlerquelle für derartige Beobachtungen darin, daß der Strom bei den meisten Anordnungsweisen nicht für alle betroffenen Netzhautteile ein aufsteigender oder absteigender ist, sondern ein Teil der Netzhaut in aufsteigender, ein anderer Teil in absteigender Richtung durchströmt wird. Natürlich zieht dann bei der Stromschließung sehr leicht immer derjenige stärker erregte Teil, welcher in aufsteigender Richtung durchflossen wird, die Aufmerksamkeit zunächst auf sich. Auch ich habe den Eindruck gehabt, als ob bei der von mir benutzten Versuchsweise bei plötzlicher Schließung eines absteigenden Stromes an der äußersten Peripherie des Sehfeldes eine plötzliche Aufhellung auftrete, was sich aus der brillenartigen Natur meiner einen Elektrode leicht erklärt. Treten bei Schließung des Stromes erhebliche Kontraktionen von Augenmuskeln auf, so kann die Sachlage dadurch noch komplizierter werden,

personen von dem gewöhnlichen Typus ist das Erkennen der Färbung des Schließungsblitzes, namentlich bei absteigendem Strome, schwieriger. Dem auf S. 347 Bemerkten gemäß kann man bei manchen Versuchspersonen die Färbung des Schließungsblitzes auch dadurch feststellen, daß man nicht die Färbung des in der Regel mehr oder weniger überraschend kommenden Schließungsblitzes selbst, sondern des (trotz des Geschlossenbleibens des Stromes auftretenden) negativen Nachbildes desselben beobachten läßt.

dafs bei eintretender Augenbewegung die vom Strome hauptsächlich betroffenen Netzhautstellen schnell wechseln und die zunächst im Sinne der Erweckung einer galvanischen Dunkelempfindung gereizten Netzhautstellen nach ihrer Entfernung aus dem Hauptbereiche des Stromes mit einer gegenteiligen Erregung reagieren.

Es ist denkbar, dafs die Stromschliessung und Stromöffnung bei Bewirkung von Augenmuskelkontraktionen unter Umständen mittelst dieser Kontraktionen zugleich noch einen mechanischen Reiz auf die Netzhaut ausübe. Wenn aber KIESSELBACH (*Deutsche Zeitschr. f. Nervenheilkde.*, 3, 1893, S. 258) behauptet, dafs die Schliessungsblitze nur „eine Folge des Ruckes, welchen der Bulbus durch die plötzliche Kontraktion der Augenlider- und Augapfelmuskulatur erfährt“, seien, so wird diese sonderbare Ansicht wohl schon durch die oben dargelegte Abhängigkeit der Beschaffenheit jener Blitze von der Stromesrichtung hinlänglich widerlegt. Wenn KIESSELBACH bemerkt, dafs man sich durch Übung daran gewöhnen könne, seine Muskulatur ruhig zu halten, und dann nichts von Lichtblitzen verspüren werde, so mufs derselbe seine hierauf bezüglichen Versuche bei sehr schwachen Strömen angestellt haben. Die Behauptung, dafs man auch bei stärkeren Strömen durch Ruhighaltung der Muskulatur des Auges die Schliessungsblitze vermeiden könne, wird jeder, welcher genügende Versuche über diesen Gegenstand angestellt hat, als eine solche bezeichnen, welche nicht auf hinlänglichen Versuchen beruhe. Ich selbst vermag auch nicht einmal sehr schwache Lichtblitze durch Ruhighalten der Augenmuskulatur zu unterdrücken. Es ist indessen denkbar, dafs bei sehr schwachen Strömen die denselben an und für sich entsprechenden Blitzerscheinungen wenigstens bei manchen Individuen durch die Richtung der Aufmerksamkeit auf Ruhighaltung der Augenmuskulatur dem Bewusstsein ganz entzogen werden können. Ferner ist es denkbar, dafs bei manchen Individuen die Schwelle für eine mechanische Erregung des Auges (durch Augenmuskelkontraktionen u. dergl.) sehr gering sei, hingegen die Schwelle für die elektrische Reizung der Netzhaut zufällig relativ hoch liege, so dafs bei diesen Individuen der elektrische Strom bei sehr geringer Stärke in der That nur mittelst der von ihm bewirkten Muskelkontraktionen erregend auf das Sehorgan wirke. Verwechselt endlich ein Individuum kinästhetische Empfindungen, welche den durch sehr schwache elektrische Ströme bewirkten Muskelkontraktionen entsprechen, mit sehr schwachen Blitzempfindungen, so ist es selbstverständlich, dafs es diese vermeintlichen Blitzempfindungen durch Ruhighaltung der Augenmuskulatur mehr oder weniger unterdrücken kann. Von noch anderen in Betracht kommenden Fehlerquellen soll hier abgesehen werden.

Wir haben Grund anzunehmen, dafs die peripheren Teile der Netzhaut durch einen die chromatischen Sehstoffe in Anspruch nehmenden Reiz hinsichtlich dieser Stoffe schneller erschöpft werden als die zentralen Teile.¹ Entfaltet also wirklich der elektrische Strom seine er-

¹ Man vergleiche hierzu z. B. EBBINGHAUS in *dieser Zeitschrift*, 5, S. 209 f.

regende Wirkung auf das Sehorgan durch eine Einwirkung auf die Sehstoffe der lichtempfindlichen Netzhautschicht, so ist zu erwarten, daß bei Geschlossenbleiben eines Stromes die chromatische Wirkung des letzteren für die peripheren Teile des Gesichtsfeldes schneller sich abschwäche und eher unmerkbar werde als für die zentralen Teile. Dieser Erwartung wird im allgemeinen durch die Versuchsergebnisse entsprochen (man vergleiche z. B. SCHWARZ, a. a. O. S. 596; AUBERT, a. a. O. S. 345).

Auf der anderen Seite ist hier einer gelegentlichen Mitteilung EXNERS (*Pflügers Arch.*, 20, 1879, S. 614 f.) zu gedenken. Dieser Forscher berichtet, daß er die Netzhaut durch Induktionsströme direkt gereizt und die Reizung so schwach gemacht habe, daß eben ein Flimmern bemerkbar war. Hieran habe er durch Druck auf den Augapfel Druckblindheit bewirkt. „Wenn das Auge längst für äußere Objekte blind war, so erschien das Flimmern noch in unveränderter Weise. Nach der Reizung wurde das Auge noch druckblind gefunden zum Beweise, daß der Druck während der Dauer der Reizung nicht nachgelassen hatte.“ Wäre diese Mitteilung etwas eingehender (wo waren die Elektroden angelegt?) und der Verdacht völlig ausgeschlossen, daß Stromeschleifen auf das andere, nicht gedrückte Auge im Spiele gewesen seien, so würde sie von Bedeutung sein, nämlich darauf hinweisen, daß der elektrische Strom seine erregende Wirkung auf das Sehorgan nicht einer Einwirkung auf die Sehstoffe der lichtempfindlichen Netzhautschicht verdankt, sondern vielmehr dem Umstande, daß er in dieser Schicht anderweite, von den vorhandenen Mengen der Sehstoffe unabhängige chemische Vorgänge hervorruft, welche auf die Endigungen der nervösen Sehbahn erregend einzuwirken vermögen. Ich selbst habe mich nicht entschließen können, meinem nicht ganz normalen, stark kurzsichtigen Auge eine Wiederholung dieses EXNERSchen Versuches zuzumuten, da es in der vorliegenden Litteratur nicht an Warnungen vor Versuchen über Druckblindheit fehlt. Auf Grund meiner Beobachtungen kann ich nur behaupten, daß es (insbesondere wegen der nicht scharfen Begrenzung und so zu sagen diffusen Natur der durch elektrische Reizung bewirkten Lichterscheinungen) nicht so einfach ist, wie es wohl zunächst scheint, einen elektrischen Reiz so zu bemessen, daß er ein eben merkbares Flimmern bewirkt. Da man sich ein solches Flimmern im dunkeln Sehfelde leicht einbilden kann, zufällige Erscheinungen des Eigenlichtes der Netzhaut, Wirkungen von Augenbewegungen u. dergl. leicht mit einem solchen Flimmern verwechseln kann, so muß man den Reiz notwendig so bemessen, daß das Flimmern nicht an der Grenze der Merkbareit liegt, sondern einen höheren Grad von Deutlichkeit besitzt. Und es ist natürlich keineswegs ausgeschlossen, daß eine Verringerung der Deutlichkeit des Flimmerns, welche durch den Wegfall der Mitwirkung des einen Auges bedingt ist, ganz übersehen werde. In der That stimmen die Angaben von L. FINKELSTEIN (*Arch. f. Psychiatrie*, 26, 1894, S. 875 ff.) mit obiger Aussage EXNERS keineswegs überein. FINKELSTEIN fand, daß, wenn er neben der elektrischen Reizung des Auges zugleich einen starken Druck auf das letztere ausübte, alsdann ein Zeitpunkt eintrat, wo die durch den elektrischen

Reiz bewirkten Lichterscheinungen völlig schwanden, und daß nach allmählicher Beseitigung jenes Druckes diese Lichterscheinungen sich zunächst nur mit derjenigen Beschaffenheit wieder einstellten, welche sie sonst bei Benutzung einer geringeren Anzahl galvanischer Elemente besaßen.

Auch bei Versuchen, welche man an Individuen, denen ein Augapfel enukleiert ist, in der Weise anstellt, daß man die eine Elektrode in den Orbitaltrichter, die andere an den Nacken setzt, kommen die Stromeschleifen auf das andere, noch erhaltene Auge sehr in Betracht. Die Thatsache, daß unter solchen Umständen „4—8 BUNSENSCHE Elemente der konstanten Batterie genügten, um bei Stromwendungen deutliche Lichtempfindungen hervorzurufen“ (*Centralbl. f. d. medic. Wiss.* 1882, S. 4), kann an und für sich nichts beweisen, zumal da nach meinen Beobachtungen im allgemeinen viel geringere Stromstärken genügen, um an normalen Individuen Lichterscheinungen hervorzurufen, wenn die eine Elektrode an den Nacken, die andere aber auf die Stirn oder gar auf ein Auge aufgesetzt ist.

VELHAGEN (*Arch. f. Augenheilkde.*, 27, 1893, S. 62 ff.) fand bei einer Anzahl von Kranken, bei denen die Funktion der Netzhaut stark herabgesetzt und zum Teil sogar für einen Bezirk des Sehfeldes ganz aufgehoben war, die Fähigkeit des elektrischen Stromes, eine Blitzempfindung hervorzurufen, nicht merkbar verringert. In diesen Resultaten scheint uns keineswegs ein Beweis für die von VELHAGEN vertretene (durch das im Eingange dieses Paragraphen Angeführte völlig ausgeschlossene) Annahme gegeben zu sein, daß der Sehnerv das Organ sei, welches durch den elektrischen Strom direkt gereizt wird. Uns scheint die Annahme, daß die Netzhaut letzteres Organ sei, vollkommen damit vereinbar zu sein, daß Affektionen der Netzhaut, welche die Unterschiedsempfindlichkeit des Auges und die Sehschärfe stark herabsetzen oder gar die Funktion eines Teiles der Netzhaut völlig aufheben, dennoch den Schwellenwert, bei welchem der elektrische Strom soeben eine Blitzempfindung bewirkt, nicht merkbar verändern.¹ Noch weniger scheint uns die andere von VELHAGEN gefundene Thatsache, daß bei Sehnervenatrophie dieser Schwellenwert stark erhöht ist, etwas zu beweisen. Denn wenn der Sehnerv infolge von Atrophie auf die von der Netzhaut her auf ihn ausgeübten Reizungen schwächer reagiert, muß selbstverständlich auch der elektrische Strom eine größere Stärke besitzen, um die Netzhaut in eine solche Erregung versetzen zu können, welche den Sehnerven in merkbarem Grade beeinflusst.

VELHAGEN selbst hat in einem Falle, wo der rechte Augapfel erst vor fünf Tagen enukleiert worden war, gefunden, daß zur Erweckung einer eben merkbaren Lichterscheinung bei Einfügung der einen Elek-

¹ Es ist zu beachten, daß bei den Versuchen von VELHAGEN die eine Elektrode auf die geschlossenen Lider, die andere auf den Nacken gesetzt war, so daß ein hier oder da bestehender Gesichtsfelddefekt keinen Einfluß auf den Schwellenwert des elektrischen Stromes auszuüben brauchte.

trode in den rechten Orbitaltrichter eine siebenmal so groÙe Stromstärke erforderlich war, als dann, wenn dieselbe Elektrode auf das linke Auge aufgesetzt wurde. Ein solches Verhalten steht in schroffstem Widerspruche zu der von VELHAGEN vertretenen Ansicht, daÙ der Sehnerv das durch den elektrischen Strom direkt gereizte Organ sei. Wenn VELHAGEN (a. a. O. S. 69) meint, daÙ in diesem Falle an der verringerten Reaktionsfähigkeit des rechten Sehnerven „die veränderte Leitung, welche im Vergleich zu der ausgezeichneten Leitungsfähigkeit der Bulbi (ZIEMSSER) eine schlechte genannt werden muÙ“, die Schuld trage, so entzieht sich diese Auslassung meinem physikalischen Verständnisse. Offenbar muÙte der Sehnerv in dem Falle, wo die eine Elektrode in den Orbitaltrichter eingefügt und so in unmittelbare Nähe des Sehnerven gebracht war, schon bei gleicher Stromstärke von viel stärkeren Stromschleifen getroffen werden als in dem anderen Falle, wo dieselbe Elektrode dem geschlossenen Auge aufgesetzt war. Trotzdem war im ersteren Falle eine viel gröÙere Stromstärke für die Erweckung einer eben merkbaren Blitzempfindung erforderlich als im zweiten!

Man kann nun aber überdies mit sehr groÙer Berechtigung die Frage aufwerfen, ob überhaupt die von VELHAGEN benutzten, der Universitätsklinik und Poliklinik entnommenen Versuchspersonen von der Art waren, daÙ mittelst derselben wissenschaftliche Fragen entschieden werden konnten. VELHAGEN selbst berichtet (S. 63 f.) über sein Material von Versuchspersonen, es sei von denselben bei Anwendung stärkerer Ströme „ein Unterschied in der Extensität und Intensität der Erscheinung“ nicht angegeben worden. „Schließlich“, bemerkt er weiterhin, „gab mir auch nicht ein einziges der untersuchten Individuen spontan an, daÙ — analog der Beschreibung von HELMHOLTZ und anderen — ein Zentrum und Hof an der Figur zu erkennen sei, oder daÙ dieselbe bei Öffnung und Schließung der Anode und Kathode ihre Farben und Helligkeit wechsele, während ich bei gleichen Versuchen an mir selbst diese Phänomene wahrnahm. Auch konnte ich nicht eine Änderung des Lichtbildes durch Reizung verschiedener Teile der Netzhaut bei meinen Kranken feststellen“. Man ist wohl einigermaßen berechtigt, zu behaupten, daÙ zur Entscheidung wissenschaftlicher Fragen auf diesem Gebiete solche Versuchspersonen nicht geeignet sind, welche festgestelltermaßen durch die höchst auffälligen Änderungen, welche die elektrische Lichterscheinung bei Öffnung des Stromes, bei Vertauschung der Stromesrichtung, bei Erhöhung der Stromstärke und bei Änderung der Eintrittsstelle des Stromes erfährt, nicht im Mindesten berührt werden. Natürlich kann VELHAGEN auch den Satz BRENNERS, daÙ die Färbung des Lichtbildes „bei den einzelnen Individuen eine durchaus verschiedene sei“, nach seinen Untersuchungen „vollkommen bestätigen“. Bei meinen eigenen Versuchen über die galvanischen Gesichtsempfindungen bin ich sehr bald zu der stillen Überzeugung gekommen, daÙ alle bisherigen Bestätigungen jenes BRENNERSchen Satzes ungefähr so zu stande gekommen sein dürften wie diese Bestätigung durch VELHAGEN, der von den in Betracht kommenden Fehlerquellen und der Unthunlichkeit, die Färbung der elektrischen Gesichtsempfindungen mittelst eines so erbärmlichen

Materialen von Versuchspersonen¹ zu untersuchen, anscheinend keine Ahnung besaß.

§ 5. Die Bedeutung der erhaltenen Resultate.

Wie in früheren Abhandlungen gezeigt, haben wir Grund anzunehmen, daß die Empfindungen zweier Gegenfarben auf entgegengesetzten Netzhautprozessen und auf Nervenenerregungen beruhen, zu deren Hervorrufung entgegengesetzte Krafteinwirkungen erforderlich sind. Bedenken wir nun weiter, daß der galvanische Strom bei entgegengesetzter Stromesrichtung Ionen mit entgegengesetzter elektrischer Ladung an die für die galvanische Erregung des Sehorganes maßgebenden Stellen führt, und daß der galvanische Strom bei Durchströmung eines motorischen Nerven oder Muskels an der (physiologischen) Kathode und Anode entgegengesetzte Zustände setzt, so haben wir zu erwarten, daß, wenn der galvanische Strom bei seiner Einwirkung auf die Netzhaut überhaupt Gesichtsempfindungen bewirkt, alsdann den beiden Stromesrichtungen Empfindungen von Gegenfarben zugehören. Dieser Erwartung entsprechen

¹ VELHAGEN berichtet, er habe nur diejenigen Kranken verwertet: „welche durch gleiche Angaben bei oft wiederholten Untersuchungen sich im Besitz einer genügenden Beobachtungsfähigkeit erwiesen“. Leider waren die von VELHAGEN benutzten Versuchspersonen nach dem oben Angeführten in ihren Angaben so konstant, daß sie selbst dann, wenn die beobachteten Erscheinungen sich ganz wesentlich änderten, bei ihren bisherigen Angaben blieben. Ich möchte hier nochmals hervorheben, daß die (bei den Versuchen VELHAGENS angestrebte) Bestimmung der Stromstärke, bei welcher der Strom soeben eine Blitzempfindung bewirkt, für die Versuchsperson keineswegs eine sehr leichte Sache ist. Es kommt hier nicht bloß der Umstand in Betracht, daß man sehr schwache elektrische Blitzempfindungen sich unter Umständen einbilden oder mit anderen Gesichtsempfindungen, etwa subjektiver Art, verhältnismäßig leicht vertauschen kann, sondern vor allem auch der Umstand, daß der elektrische Strom (wenigstens bei manchen Versuchspersonen) schon bei sehr geringen Stärkegraden noch anderweite, von Muskelkontraktionen oder Hautreizung herrührende Empfindungen (eines „Zuckens im Auge“) hervorruft, welche in das Auge verlegt werden. Es ist nun thatsächlich schon für Geübte (z. B. für mich selbst), geschweige denn für ganz minderwertige Versuchspersonen, gar nicht immer ganz leicht, sich darüber völlig klar zu werden, ob eine durch den Strom bewirkte, ganz schwache Empfindung von momentaner Dauer eine Blitzempfindung oder eine solche Empfindung anderweiten Ursprunges gewesen ist.

die von uns erhaltenen Resultate. Es stellen also die letzteren eine Bestätigung der Theorie der Gegenfarben dar, und zwar nebenbei bemerkt eine solche, die ganz unabhängig davon ist, ob man den Angriffspunkt des galvanischen Stromes in die lichtempfindliche Netzhautschicht oder in irgend einen Teil der rein nervösen Sehbahn verlegt.¹ Wie andere psychophysische Theorien der Gesichtsempfindungen das Verhalten der galvanischen Gesichtsempfindungen erklären wollen, bleibt unerfindlich.

Eine tiefer eingehende theoretische Verwertung der erhaltenen Beobachtungsergebnisse ist bei dem gegenwärtigen Stande unseres Wissens nicht möglich. Insbesondere würde es zur Zeit auch verfrüht sein, in eine nähere Erörterung der Thatsache einzutreten, daß bei der galvanischen Reizung des Sehorganes gerade die Weiß-, Blau- und Rot-, bzw. die Schwarz-, Gelb- und Grünerregung in Verbindung mit einander auftreten.²

Was die früher (S. 336 f.) erwähnten individuellen Verschiedenheiten anbelangt, welche hinsichtlich der galvanischen Erregung des Sehorganes bestehen, so lassen sich dieselben, wie gesehen, zum Teil auf die individuellen Verschiedenheiten zu-

¹ In früheren Ausführungen (*diese Zeitschr.* 14, S. 67 ff.) habe ich die Ansicht geltend gemacht, daß die Wirkung des galvanischen Stromes auf den motorischen Nerven darauf beruhe, daß der Strom an der physiologischen Kathode und Anode entgegengesetzte Störungen eines chemischen Gleichgewichtszustandes bewirkt. Mit dieser Ansicht steht es in einem sehr bemerkenswerten Einklange, daß, wie ich im Bisherigen zu zeigen versucht habe, die Erregung des Sehorganes durch den elektrischen Strom gleichfalls darauf beruht, daß der Strom das chemische Gleichgewicht zwischen entgegengesetzten Prozessen, nämlich Netzhautprozessen (z. B. dem Weißprozeß und dem Schwarzprozeß) stört, und zwar, je nachdem die physiologische Kathode oder Anode in die lichtempfindliche Netzhautschicht fällt, dieses Gleichgewicht in dem einen oder in dem anderen, entgegengesetzten Sinne stört.

² Diese Verknüpfungen von je drei Erregungen haben nach der von mir vertretenen Modifikation der Theorie der Gegenfarben nichts Befremdliches, entsprechen aber, wie leicht ersichtlich, nicht demjenigen, was nach HERINGS Lehre, daß Grün, Blau und Schwarz als Assimilationsfarben und Rot, Gelb und Weiß als Dissimilationsfarben zusammengehören, zu erwarten ist oder mindestens zu erwarten sein würde, wenn man den Angriffspunkt des galvanischen Stromes in die nervöse Leitungsbahn hinein verlegen würde.

rückführen, welche hinsichtlich der Erregbarkeiten der drei optischen Spezialsinne bestehen. Soweit die individuellen Verschiedenheiten eine solche Zurückführung nicht zulassen, hat man sich dessen zu erinnern, daß bereits anderweite That- sachen (z. B. der Unterschied der normalen und anomalen tetrachromatischen Systeme) zu der Auffassung führen, daß die chemische Zusammensetzung der lichtempfindlichen Netzhautschicht nicht bei allen farbentüchtigen Individuen dieselbe ist, sondern infolge der Beimengung gewisser Nebensstoffe oder infolge eines verschiedenen Prozentgehaltes an solchen Nebensstoffen mehr oder weniger große Verschiedenheiten zeigt.¹ Vom Standpunkte dieser Auffassung aus (nach welcher also z. B. auch die am galvanischen Strome direkt beteiligten Ionenarten in den Netzhäuten verschiedener Individuen zum Teil oder hinsichtlich ihrer Mengenverhältnisse verschieden sein können) würden sich noch ganz andere individuelle Verschiedenheiten, als wir thatsächlich beobachtet haben, begreifen lassen.

§ 6. Beiläufiges. Durch Dunkeladaptation wird die Wirkung des elektrischen Stromes auf das Sehorgan nicht merkbar beeinflusst.

Da man bei Untersuchungen über die galvanischen Gesichtsempfindungen die Versuchspersonen nicht so viel, wie bei anderen, weniger unangenehmen Versuchen, in Anspruch nehmen kann, so muß man sich bei derartigen Untersuchungen notgedrungen ein enger begrenztes Ziel stecken. Demgemäß habe ich bei meinen Untersuchungen von allen denjenigen Fragen und Punkten ganz abgesehen, deren Erledigung für die Beantwortung meiner Hauptfrage, ob die Beschaffenheit der galvanischen Gesichtsempfindungen den nach der Theorie der Gegenfarben zu hegenden Erwartungen entspreche, nicht unbedingt erforderlich war. Zu diesen Punkten gehört z. B. die Art und Weise, wie sich die durch den galvanischen Strom bewirkte Färbung und Helligkeitsänderung je nach der Art der Zuleitung des Stromes (Form, Größe und Aufsetzungsstelle der Elektroden) auf die verschiedenen Bezirke des Sehfeldes verteilt und unter Umständen in denjenigen Partien des Sehfeldes,

¹ Man vergleiche das in *dieser Zeitschr.* 14, S. 188 von mir Bemerkte.

welche der Gegend des blinden Fleckes oder anderen Netzhautstellen entsprechen, Besonderheiten wahrnehmen läßt.¹ Ferner gehört dahin auch der nähere zeitliche Verlauf der galvanischen Gesichtsempfindungen in seiner Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren.² Wie uns scheint, dürften sich einzelne dieser besonderen Punkte ohne eine nähere Kenntnis davon, welche vasomotorischen Wirkungen der galvanische Strom in der Netzhaut hat, nicht in recht befriedigender Weise erörtern lassen.

Nur die Beantwortung einer Frage, welche in keiner unmittelbaren Beziehung zu meiner oben erwähnten Hauptaufgabe steht, habe ich mir noch angelegen sein lassen, nämlich die

¹ Selbstverständlich sind derartige Besonderheiten auch bei meinen Versuchen hervorgetreten; nur habe ich dieselben eben nicht näher verfolgt und deshalb auch nicht weiter erwähnt. Bei Anwendung der früher erwähnten brillenartigen Elektrode beobachteten die einen Personen eine ziemlich gleichförmige Färbung im Sehfelde, andere aber nahmen Verschiedenheiten der Färbung und Helligkeit im Sehfelde wahr. Auch ähnliche Ungleichförmigkeiten im Sehfelde des galvanisch durchströmten Auges, wie PURKINJE (a. a. O. S. 35f.) in Beziehung auf sich selbst beschrieben hat, sind bei meinen Versuchen gelegentlich beobachtet worden. Nicht unerwähnt lassen möchte ich die eigentümliche Thatsache, daß bei sehr hoher Stärke des absteigenden Stromes in dem grüngelblichen, dunklen Sehfelde (wenigstens bei manchen Versuchspersonen) verstreute bläuliche oder violette Sterne auftreten.

² Wie hier nebenbei bemerkt werden mag, ist bei einer Untersuchung des zeitlichen Verlaufes der galvanischen Gesichtsempfindungen der schon früher (S. 347) erwähnte Einfluß der negativen Nachwirkung des Schließungsblitzes wohl zu berücksichtigen, bzw. zu eliminieren.

Einigermassen befremdend sind gewisse auf den zeitlichen Verlauf der galvanischen Gesichtsempfindungen bezügliche Ausführungen von SCHWARZ (a. a. O. S. 602). Nach denselben soll bei aufsteigendem Strome die blaue oder violette Hellempfindung nur so lange andauern, bis der Katelektrotonus der durch den galvanischen Strom erregbaren Netzhaut-elemente sein Maximum erreicht. Ebenso dauere bei absteigendem Strome das Verdunkeltsein des Gesichtsfeldes nur so lange an, bis der Anelektrotonus jener Netzhaut-elemente sein Maximum erreicht habe. „Durch innere Polarisierung“, fährt SCHWARZ fort, „nehmen Katelektrotonus und Anelektrotonus nach Erreichung eines Maximums während der Stromdauer wieder ab. Abnahme des Katelektrotonus in den galvanisch erregbaren Elementen bewirkt . . . Verschwinden der galvanischen Lichterscheinungen, Abnahme des Anelektrotonus — was gleichbedeutend ist mit einem infolge Polarisierung neu auftretenden Katelektrotonus — wirkt als, wenn auch schwache, Erregung und erhellt dadurch wieder das vorher dunkler gewordene Gesichtsfeld, und zwar

Beantwortung der Frage, ob die Wirkung des elektrischen Stromes auf das Sehorgan durch die Dunkeladaptation eine ähnliche Beeinflussung erfahre wie die Wirkung der Lichtreize. Wie KÜHNE (*Hermanns Handb. d. Physiol.*, 3. 1. S. 298) hervorhebt, sind alle elektrischen Einwirkungen am Auge lebender Tiere ohne jeden Einfluß auf den Sehpurpur. Andererseits ist in der letzten Zeit von verschiedenen Seiten her mit Nachdruck die Ansicht vertreten worden, daß die eigentümliche Wirkung der Dunkeladaptation im Wesentlichen auf einer Anhäufung von Sehpurpur beruhe (man vergleiche hierzu *diese Zeitschrift*, 14. S. 161 ff.). Ist also letztere Ansicht richtig, so darf die Dunkel-

mit grünlich-gelbem Schimmer.“ Nach dieser Auslassung könnte es scheinen, als ob bei absteigendem Strome die grünlich-gelbe Färbung nicht von Anbeginn an, sondern nur als eine erst nach einer gewissen Stromdauer sich entwickelnde, sekundäre Erscheinung vorhanden sei. Einer solchen Behauptung muß ich auf Grund meiner Versuche auf das Allerentschiedenste widersprechen. Die grüngelbe Färbung bei absteigendem Strome verhält sich nicht anders als die violette Färbung bei aufsteigendem Strome. Beide Färbungen sind, soweit nicht die negative Nachwirkung des Schließungsblitzes störend wirkt (war diese Fehlerquelle bei den Versuchen von SCHWARZ genügend vermieden?), von Anbeginn der Stromdauer an vorhanden, und kommen, wie erwähnt, selbst den beiden Schließungsblitzen zu, wenn auch nicht bei allen Versuchspersonen in merkbarem Grade. SCHWARZ selbst erklärt sich im Sinne des soeben von mir Bemerkten, wenn er an einer anderen Stelle (S. 597) sagt, daß bei absteigendem Strome sich die Erscheinungen „nach Helligkeit und Farbe“ im allgemeinen umgekehrt verhielten wie bei aufsteigendem Strome. Wo bei aufsteigendem Strome blaue Helligkeit herrsche, finde sich bei absteigendem Strome ein schwach grünlich erscheinendes Dunkel.

Wenn SCHWARZ in der obigen Auslassung behauptet, daß Abnahme des Anelektrotonus wie ein neu eintretender Katelektrotonus erregend wirke und auf diesem Wege das vorher dunkel gewordene Gesichtsfeld mit einem grünlichgelben Schimmer aufhelle, so ist, ganz abgesehen davon, daß von einer erregenden Wirkung einer nur allmählichen Abnahme des Anelektrotonus sonst nichts bekannt ist, daran zu erinnern, daß auch nach der eigenen Darstellung von SCHWARZ ein neu auftretender Katelektrotonus das Gesichtsfeld nicht mit einem grüngelben, sondern mit einem violetten Schimmer aufhellt. Ferner ist nicht einzusehen, weshalb eine Abnahme des Katelektrotonus nicht wie ein neu auftretender Anelektrotonus wirken soll, wenn eine Abnahme des Anelektrotonus sich wie ein neu auftretender Katelektrotonus geltend machen soll. Endlich erhebt sich die Frage, ob SCHWARZ die grüngelbe Färbung, wenn sie bei Öffnung eines aufsteigenden Stromes auftritt, gleichfalls auf einen abnehmenden Anelektrotonus zurückführen will.

adaptation die Wirkungen, welche der elektrische Strom im Auge hat, nicht in merkbarer Weise beeinflussen.

Die Hauptschwierigkeit bei den Versuchen, welche ich zur Entscheidung der obigen Frage anstellte, entsprang aus dem schon früher (S. 364, 367) hervorgehobenen Umstande, daß es eine ziemlich mißliche Sache ist, mit Sicherheit den Punkt zu bestimmen, wo ein das Sehorgan treffender elektrischer Stromstoß oder Stromschluß noch soeben eine Lichterscheinung hervorruft. Da die Schwierigkeit nicht geringer, sondern noch größer ist, wenn man mit einem tetanisierenden Reize operiert oder sich auf eine Vergleichung der Eindringlichkeit oder Helligkeit übermerklicher Lichtblitze stützen will, so entschloß ich mich schließlich für folgendes Verfahren. In den Stromkreis, welcher durch die (stets verschlossenen) Augen der Versuchsperson führte, war ein JAQUETSches graphisches Chronometer eingeschaltet, welches so eingestellt war, daß es alle Sekunden einen kurzen Stromschluß bewirkte. Die Versuchsperson wurde nun dahin instruiert, stets aufzumerken, ob sie fünf hintereinander mit dem Intervalle einer Sekunde folgende Lichterscheinungen gerade noch wahrnehmen und zählen könne.¹ Der Punkt, wo das Zählen von fünf einander unmittelbar folgenden Lichterscheinungen eben noch möglich, und der Punkt, wo dasselbe eben nicht mehr möglich war, wurde durch allmähliche Abschwächung, bzw. Verstärkung der Stromstärke je zweimal ermittelt und das Mittel aus diesen zur Hälfte von oben her und zur Hälfte von unten her gewonnenen vier Bestimmungen genommen. Da die Versuche die Aufmerksamkeit der Versuchsperson sehr anstrengen, so dürfte man durch eine

¹ Der Vorteil dieses Verfahrens beruht darauf, daß es äußerst unwahrscheinlich ist, daß die Versuchsperson fünfmal hintereinander, und zwar mit bestimmtem Zeitintervalle, eine beliebige subjektive Lichtempfindung mit einer durch den elektrischen Reiz bewirkten Lichterscheinung verwechsle. Da manche Individuen, wie schon früher erwähnt, bei solchen Intensitäten der Stromstöße, bei denen sie eine Lichterscheinung noch nicht wahrnehmen, bereits ein Muskelkontraktionen oder Hautreizungen entstammendes, in das Auge verlegtes „Zucken“ verspüren, so sind die Versuchspersonen scharf dahin zu instruieren, daß es sich bei diesen Versuchen um ein Wahrnehmen und Zählen der durch die elektrische Reizung bewirkten Lichterscheinungen handle. Auch auf eine möglichst gleiche Stellung der Augen bei den einzelnen Reizversuchen ist natürlich zu halten.

längere Fortsetzung derselben die Genauigkeit der Endresultate schwerlich steigern. Zuerst wurde der erwähnte Schwellenwert bei helladaptiertem Auge bestimmt, dann bei dunkeladaptiertem Auge nach halbstündigem Aufenthalte im Dunkelmzimmer, hierauf nochmals bei helladaptiertem Auge. Der Strom wurde durch eine unmittelbar oberhalb der Nasenwurzel auf die Stirn aufgesetzte und durch eine dem Nacken angedrückte Elektrode zugeleitet und war stets im Sehorgane aufsteigend. Versuchspersonen waren die Herren V. HENRI, JOST, PILZECKER, meine Frau (K.) und ich selbst. Die nachstehende Tabelle giebt den Durchschnittswert des Widerstandes an, dessen Vorhandensein in der Leitung bei konstanter Stromquelle (3—8 Meidinger-elemente) der Erreichung des angegebenen Schwellenwertes entsprach.

Versuchs- person	Zahl der Elemente	Widerstand bei Hell- adaptation	Widerstand bei Dunkel- adaptation
H	3	5700	3400
J	3	4600	3900
P	4	3200	3100
K	8	5800	5800
M	5	4200	3700

Obwohl die hier angegebenen Resultate¹ nur auf geringe Genauigkeit Anspruch erheben können, so zeigen dieselben doch mit Sicherheit, daß die Dunkeladaptation auf die Wirkung des elektrischen Stromes einen förderlichen Einfluß nicht ausübt. Die der Erreichung des genannten Schwellenwertes entsprechenden Widerstände sind, abgesehen von der Versuchsperson K., bei der Helladaptation durchschnittlich sogar größer (mithin die zugehörigen Stromstärken schwächer) als bei der Dunkeladaptation. Stellt man den Versuch einfach in der Weise an, daß man für das Hellauge die eben merkbare Stromstärke ermittelt und dann nach vollzogener Dunkeladaptation

¹ Die für H. und M. angegebenen Resultate sind Mittelwerte von zwei Versuchstagen, beruhen also auf 16 Einzelbestimmungen des Schwellenwertes für die Helladaptation und 8 Einzelbestimmungen desselben für die Dunkeladaptation.

dieselbe Stromstärke wieder wirken läßt, so ruft letztere im Dunkelauge in der Regel eine merkbare Lichterscheinung nicht hervor.

Wie die Tabelle zeigt, war bei K. für die Bewirkung eines eben merkbaren Lichtblitzes eine deutlich höhere Stromstärke (8 Elemente) erforderlich als bei den übrigen Versuchspersonen. Dieses Verhalten erklärt sich leicht aus dem früher (S. 337) erwähnten Umstande, daß bei K. die Wirkung des Stromes auf den Weißschwarzsinn viel geringer ist, als der Norm entspricht.

An H. und P. habe ich auch noch die Intensität bestimmt, welche der elektrische Strom einerseits bei Hell- und andererseits bei Dunkeladaptation besitzen mußte, damit die Färbung der durch den Strom erweckten Empfindung eben erkennbar war. Diese Versuche ergaben gleichfalls die Bedeutungslosigkeit der Dunkeladaptation für die Wirkung des elektrischen Stromes. Die Annahme, daß die Dunkeladaptation auf einer Anhäufung des für elektrische Reize unempfindlichen Sehpurpurs beruhe, hat mithin eine sehr wesentliche Bestätigung erfahren.
