

## V. Ueber einige Fortschritte unserer Kenntnisse von den Thatsachen der Gesichtsempfindung.

Von Privatdozent Dr. G. Abelsdorff in Berlin.

Seit langer Zeit hat sich die Farbenlehre, dank der Vielseitigkeit ihrer Probleme, nicht nur des Interesses der Physiologen und Augenärzte zu erfreuen gehabt, auch für viele andere Forscher auf dem Gebiete der Natur- und Geisteswissenschaften bildete sie ein bevorzugtes Feld der Untersuchung.

In der letzten Zeit hat sich die Forschung, wie überall, so auch hier, in dem Maasse spezialisiert, dass es für denjenigen, der nicht mehr oder weniger aktiven Antheil an ihr nimmt, kaum noch möglich ist, das Ergebniss einer einzelnen Arbeit zu verstehen, geschweige denn, ihren complizirten Einzelheiten zu folgen. So kommt es, dass trotz intensiver und erfolgreicher Thätigkeit auf diesem Gebiete jetzt sogar bei manchen Physiologen und Augenärzten die Meinung Platz greift, man debattire neuerdings nur in einem wenig Neues zu Tage fördernden Streite die Berechtigung der Helmholtz'schen oder Hering'schen, resp. anderer Farbentheorien. Es mag richtig sein, dass diese Frage zuweilen allzusehr in den Vordergrund getreten ist; indessen lässt sich schon durch Zusammenstellung nur einiger Ergebnisse von allgemeinerem Interesse ohne Rücksicht auf die theoretischen Folgerungen zeigen, dass gerade die farben-theoretischen Untersuchungen etwa der letzten anderthalb Jahrzehnte im suchen nach neuen Beweisen zur Stütze der betreffenden Theorien eine ganze Reihe von Thatsachen gesichert haben, die früher als problematisch galten, und auch neue, bisher unbekannte, erschlossen haben, eine Erweiterung, die ebenso unserer Kenntniss des Farbensinnes, wie der des Gesichtssinnes im allgemeinen zu gute gekommen ist.

Es ist lange bekannt, dass die Empfindungen des letzteren durch die Stärke der Beleuchtung in hohem Maasse beeinflusst werden, es erscheint vielleicht in gewissem Sinne sogar selbstverständlich, dass die Stärke der Empfindung mit der Zunahme des Reizes wächst. Man darf indessen nicht vergessen, dass zwischen Reiz und Perzeption der Empfindung das reizaufnehmende, rezipierende Organ eingeschaltet ist und modifizierend eingreift. So hat man jetzt der früher etwas unterschätzten Bedeutung, welche in qualitativer und quantitativer Beziehung für die Gesichtsempfindungen der Beschaffenheit und dem Zustande des Sehorgans selbst zukommt, ganz besondere Beachtung geschenkt. Drei Faktoren sind hier entscheidend, von welchen jeder für sich

verändernd auf die Empfindung eines und desselben Lichtreizes einwirken kann: I. Die Stimmung des Sehorgans (Adaptationszustand). II. Die Lage der vom Lichtreize getroffenen Netzhautpartie (direktes und indirektes Sehen). III. Individuelle Unterschiede, Anomalien und angeborene Defekte des Farbensinnes (abgesehen von den durch Krankheit erworbenen pathologischen Abnormitäten).

### I. Der Adaptationszustand.

„Die Retina befindet sich, je nachdem Licht oder Finsterniss auf sie wirken, in zwei verschiedenen Zuständen, die einander völlig entgegenstehen. — Licht und Finsterniss geben ihr im ganzen verschiedene Stimmungen.“<sup>1)</sup> Diese Sätze mögen von Goethe nicht ganz in dem Sinne gemeint gewesen sein, den man ihnen jetzt unterzulegen geneigt ist, indessen deuten sie doch thatsächlich auf das hin, worauf man gerade in neuester Zeit die Aufmerksamkeit besonders gerichtet hat, den Adaptationszustand des Sehorgans (Hering). Die beiden grössten Extreme desselben stellt einerseits ein lange Zeit vor Lichteinfall geschütztes (Dunkeladaptation), andererseits ein dem Lichte mittlerer, nicht blendender Helligkeit lange ausgesetztes (Helladaptation) Auge dar. Immer mehr überzeugt man sich von dem hervorragenden Einflusse dieser Zustände auf die Art unserer Gesichtsempfindungen, welchen in dieser Hinsicht ein noch subjektiveres Element anhaftet, als die Helmholtz'sche Anschauung mit den Worten zum Ausdruck bringt, dass wir die Sterne nicht an dem, sondern an den Himmel sehen. Früher meinte man, dass die scheinbare Farbe und Helligkeit beleuchteter Körper ausschliesslich von Farbe und Helligkeit der Beleuchtung abhängen und mit diesen sich ändern: dem Zustande des Sehorgans wurde hierbei keine Beachtung geschenkt.

Eine bekannte, von Purkinje zuerst in seinem Goethe gewidmeten Werke<sup>2)</sup> niedergelegte Beobachtung diene zur Erläuterung: Man nimmt je ein Stück rothen und blauen Papiers, die bei Tageslicht annähernd gleich hell aussehen, in der Dämmerung wird das rothe dunkler als das blaue und bei noch stärkerer Verfinsterung schwärzlich, das Blau mehr grau-weisslich erscheinen. Nach einer zahlenmässigen Angabe von v. Kries sind bei heller Beleuchtung etwa 8—12 Theile blauen Lichtes auf 1 Theil rothen Lichtes für eine Helligkeitseigenschaft erforderlich, bei Dunkelbeobachtung steigert sich „das Helligkeitsverhältniss dergestalt zu Gunsten des Blau, dass sicher weniger als 0,06 Theile blauen Lichtes der Einheit des rothen gleichkommen.“<sup>3)</sup>

Durch Hering's bahnbrechende Untersuchungen ist jetzt der Nachweis erbracht worden, dass in der Dämmerung sich nicht nur die Beleuchtung, sondern auch die Stimmung des Auges ändert, und dieser Faktor ist von so grosser Wichtigkeit, dass es bei geeigneter Lichtstärke gelingt, ohne Aenderungen der Beleuchtung der Objekte, allein durch Schutz des Auges vor Lichteinfall, die von Purkinje geschilderte Aenderung in der Sättigung und dem Helligkeitsverhältniss der Farben hervorzubringen: das helladaptirte Auge sieht die Farben anders als das dunkeladaptirte. Setzt man andererseits nur die Lichtstärke der Farben herab und sorgt dafür, dass trotzdem die Augen des Beobachters hell bestrahlt werden, also im Zustande der Helladaptation verharren und keine Aenderung ihrer Stimmung durch die Aenderung der Beleuchtung erfolgt, so tritt das beschriebene sogenannte Purkinje'sche Phänomen nicht ein, sondern Roth sowie Blau werden einfach schwarz. Die Aenderungen, welche die scheinbare Helligkeit der Farben je nach dem Adaptationszustande erfahren, thun sich auch objektiv kund, indem stets dasjenige von zwei Lichtern, das den Eindruck grösster Helligkeit macht, die stärkste Pupillenverengung hervorruft.

Es ist noch strittig und schwierig zu entscheiden, ob wirklich der Einfluss von Beleuchtung und Adaptationszustand prinzipiell vollständig gesondert werden kann oder in der Hauptsache einerseits zwischen einem Sehen bei hoher Lichtstärke und Helladaptation und andererseits einem solchen bei geringer Lichtstärke und Dunkeladaptation zu unterscheiden ist.

Wie dem auch sei, die Empfindungen des Sehorgans sind mit der Lichtintensität und dem Adaptationszustande variabel, und

<sup>1)</sup> Goethe, Zur Farbenlehre. Weimar'sche Ausgabe, Abtheilung II. Bd. I, S. 2 u. 6.

<sup>2)</sup> Beobachtungen und Versuche zur Physiologie der Sinne Bd. II, S. 109. Berlin 1825.

<sup>3)</sup> v. Kries, Ueber die funktionellen Verschiedenheiten des Netzhautcentrums und der Nachbartheile. v. Graefe's Archiv für Ophthalmologie Bd. XLII, 3, S. 104, 1896.

gerade vermöge dieser Variabilität vermag der farbentüchtigste Beobachter sich in denjenigen Zustand zu versetzen, der Personen mit angeborener totaler Farbenblindheit eigen ist. Wenn nämlich, nachdem das Auge längere Zeit vor Lichteinfall geschützt war, bei eben wahrnehmbarer Beleuchtung ein Spektrum betrachtet wird, so bemerkt man anstatt der ca. 160 Farbentöne, die ein Farbentüchtiger nach einer rechnerischen Ueberlegung im Spektrum unterscheidet (A. König) und von welchen Gelb am hellsten erscheint, nur einen einzigen, ein Grau von verschiedener Helligkeit. Wie schon das Sprichwort sagt, sind eben im Dunklen alle Katzen grau. Die grösste Helligkeit des grauen dem Spektrum entsprechenden Bandes liegt aber nicht, wie es bei der gewöhnlichen farbigen Erscheinung des Spektrums der Fall ist, an einer dem Gelben, sondern dem Grünen entsprechenden Stelle; das Maximum der Helligkeit ist nämlich, wie für das total farbenblinde Auge, nach dem kurzwelligen Ende verschoben. Die Reizwerthe der verschiedenen homogenen Lichter verlaufen dann genau proportional mit den Absorptionskoeffizienten, den der in den Stäbchen der Netzhaut vorhandene Sehpurpur für dieselben Lichter besitzt (A. König), d. h. es erscheint beispielsweise eine dem Grün entsprechende Strahlung dem dunkeladaptirten Auge in demselben Maasse heller wie eine dem Roth entsprechende, in welchem Grün stärker wie Roth vom Sehpurpur absorbiert wird und demgemäss auch stärker zersetzend auf diesen lichtempfindlichen Farbstoff einwirkt. Die durch diese Thatsache nahegelegte Auffassung von der Zersetzung des Sehpurpurs als des die Lichtempfindung bei geringer Lichtstärke bedingenden Prozesses soll hier nicht näher erörtert werden, sie sei nur wegen ihrer theoretischen Tragweite und ihres schon jetzt erprobten heuristischen Werthes hervorgehoben.

Kehren wir wieder zu der im Dunklen stattfindenden Umstimmung des Sehorgans zurück, so ist noch eine Thatsache zu erwähnen, deren Existenz überhaupt die Beobachtung bei den schwächsten Graden der Beleuchtung erst ermöglicht: die Lichtempfindlichkeit nimmt in hohem Grade zu, das Auge wird für Lichtreize empfänglich, die im Hellen unter der Schwelle der Empfindung bleiben würden. Diese Steigerung der Lichtempfindlichkeit, die wiederum mit der Abnahme der zur Auslösung einer Pupillenverengung erforderlichen Lichtmenge parallel geht, betrifft vor allem die peripherischen Theile des Gesichtsfeldes; gerade das Centrum, die Fovea nimmt an ihr nicht oder jedenfalls nur in geringem Maasse Theil.

Bei sehr geringer Lichtstärke wird gerade die Stelle des schärfsten Sehens blind, der Fovea centralis entspricht dann ein Skotom, sie ist nachtblind oder tagsehend, hemeralopisch. Das Maximum der Sehschärfe liegt dann exzentrisch; so erklärt sich die von den Astronomen bereits lange gemachte Erfahrung, dass man zur Beobachtung sehr lichtschwacher Sterne gut thut, dieselben nicht direkt, sondern an ihnen vorbei zu fixiren.

### II. Die Unterschiede der Farbenempfindung beim direkten und indirekten Sehen.

Es ist also für die Beschaffenheit der Licht- und Farbenempfindung nicht nur die Stärke der benutzten Lichter und der Adaptationszustand des Auges, sondern auch die vom Lichtreize getroffene Netzhautpartie entscheidend. Der letzte Faktor macht sich für die Farbenempfindung in zwei prinzipiell verschiedenen Weisen geltend.

A. Die als Macula lutea bezeichnete Gegend der Netzhaut ist, wie ihr Name besagt, durch den Besitz eines gelben, vor der lichtempfindlichen Zapfenschicht gelegenen Farbstoffes ausgezeichnet. Es erfahren so vor allem die kurzwelligen blauen Strahlen durch Absorption einen Energieverlust, bevor sie einen Reiz auf die Sehzellen ausüben können; die Folge davon ist, dass eine blaue homogene (d. h. unzerlegbare) Strahlung bei extramakularer Betrachtung heller als bei makularer erscheint, oder ein gemischtes Licht, z. B. ein bei direkter Fixation grau aussehendes Objekt extramakular eine mehr bläuliche Empfindung hervorruft, indem die in der Macula absorbierten blauen Strahlen ausserhalb derselben zur Wirksamkeit gelangen.

B. Ausser diesem sozusagen physikalisch bedingten Unterschiede der verschiedenen Netzhauttheile ist der zweite in der Verschiedenheit des farbenempfindenden Apparates selbst zu suchen. Wenn man nämlich farbige Objekte von nicht zu starker Sättigung vom Centrum nach den äusseren Theilen des Gesichtsfeldes entfernt, so tritt auch an solchen, deren Farben keine

wesentliche Absorption in der Macula lutea erleiden, z. B. gelben oder rothen, eine Farbenveränderung und schliesslich Farblosigkeit ein. Mit dieser in der äussersten Peripherie des Gesichtsfeldes vorhandenen totalen Farbenblindheit lernen wir bereits die zweite Art derselben im farbentüchtigen Auge kennen, die von der früher erwähnten, dem Centrum nur in der Dunkelheit zukommenden verschieden ist. Trotzdem in beiden Fällen nur Hell und Dunkel gesehen wird, sind die Helligkeitwerthe der Lichter ganz andere; sie stimmen für die farbenblinde Netzhautperipherie des helladaptirten Auges annähernd mit den beim gewöhnlichen farbigen Sehen vorhandenen überein. Ein exakter Vergleich ist allerdings insofern kaum möglich, als es viel schwieriger ist, verschiedenfarbige Lichter bezüglich ihrer Helligkeit zu vergleichen, als gleichfarbige oder, wie in dem vorliegenden Falle totaler Farbenblindheit der Netzhautperipherie, ungefärbte. Indessen darf man nicht, wie man es früher that, von einer absoluten Farbenblindheit der Gesichtsfeldperipherie sprechen, es handelt sich vielmehr um einen schwachen Farbensinn, um eine allmähliche Abnahme desselben von der Art, dass man unter gewissen Bedingungen die Farben nicht mehr unterscheiden kann. Es gelingt z. B. im indirekten Sehen die noch sichtbare Farbe eines Gegenstandes dadurch farblos zu machen, dass man die Sättigung der Farbe vermindert. Da nun die Sättigung einer farbigen Empfindung mit der Beleuchtung variabel ist und bei einer gewissen mittleren Lichtstärke den höchsten Grad erreicht, so hängt auch die Grösse des Gesichtsfeldes für Farbenwahrnehmung ausserordentlich von der Beleuchtung ab, und man kann demgemäss an verschiedenen hellen Tagen auch ganz verschieden grosse Farben Gesichtsfelder erhalten.

Von grossem Einflusse sind ferner die Helligkeit und Farbe des Grundes, auf welchem das farbige Objekt betrachtet wird (Tschermak), und, ohne alle entscheidenden Bedingungen hier aufzählen zu wollen, genügt schon die Nichtbeachtung der genannten, dass die früheren Untersuchungen geübter Beobachter zu ganz verschiedenen Ergebnissen bezüglich der Ausdehnung des Gesichtsfeldes für Farben kamen; man rechnete mit der farbigen Empfindung der Netzhautperipherie, die äusserst relativ ist, wie mit einer absoluten Grösse. Es hat demnach auch klinisch nur einen Werth, von Erweiterung oder Einengung des Farbensichtfeldes zu sprechen, wenn die Beobachtungen eines normalen, den nämlichen Bedingungen unterworfenen Auges als Vergleichsobjekt zu Gebote stehen. Solche klinischen Gesichtsfeldaufnahmen an Patienten, die gewohnt sind, ihre Aufmerksamkeit nur den fixirten Gegenständen zuzuwenden, stellen oft schon an sich hohe Anforderungen an die Geduld, die Schwierigkeit wird aber dadurch noch erhöht, dass die farbigen Objekte schon peripherisch sichtbar sind, bevor ihr farbiger Charakter sich kundthut, und dass sie auch dann, wenn sie farbig im Gesichtsfelde auftauchen, noch nicht in ihrer wirklichen Farbe gesehen werden. Roth's Papier geht beispielsweise bei Annäherung von der Peripherie erst durch Gelb und Orange oder auch Blau in wirkliches Roth über, sodass der Patient leicht in Unsicherheit geräth, wann eigentlich die Farbe sichtbar wird. Es ist neuerdings mit Erfolg der Versuch gemacht worden (Hegg), eine grössere Sicherheit und Leichtigkeit in den Angaben über das Gesichtsfeld für Farben dadurch zu erzielen, dass durch Mischung sogenannte invariable Farben hergestellt werden, d. h. solche, die auf allen Punkten der Netzhautperipherie in qualitativ gleicher Weise empfunden werden. Bewegt man so gefärbte Objekte, z. B. ein rothes Quadrat, auf annähernd gleich hellem grauen Grunde von der Peripherie dem Centrum zu, so taucht dasselbe im Augenblick der Sichtbarkeit auch als Roth und nicht zuerst nur in seinen Contouren mit unbestimmter Farbe, dann als Gelb und schliesslich als Roth auf.

Wenn man nun ein in diesem physiologischen Sinne unveränderliches Roth und Grün, resp. Gelb und Blau so wählt, dass eine Mischung gleicher Theile von je zwei Farben auf dem Farbenkreisel farblos wird, und diesen Farben ferner eine solche Helligkeit verleiht, dass sie in den äussersten Theilen des Gesichtsfeldes farblos und gleich hell erscheinen, so ergibt sich: die Gesichtsfeldgrenzen für die Wahrnehmung von Gelb und Blau sind weiter als die für Roth und Grün, und zwar fallen die äusseren Grenzen für Gelb und Blau ebenso zusammen wie die für Roth und Grün. (Hess.)

### III. Individuelle Unterschiede, Anomalieen der Farbenempfindung und Farbenblindheit.

Die Farbenblindheit, zu welcher sich die peripherische Farbenschwäche unter geeigneten Umständen steigern kann, kommt auch dem zentralen Sehen mancher Individuen auf Grund eines angeborenen, seinem Wesen nach noch unbekannten Defektes zu. Eine Uebereinstimmung zwischen dieser angeborenen Farbenblindheit und der normalen der Gesichtsfeldperipherie ist nach den jüngsten Untersuchungen höchst unwahrscheinlich geworden und besteht, wenn überhaupt, nur für eine besondere Gruppe (die sogenannten Grünblinden). Nach den zahlreichen Beobachtungen, besonders der beiden letzten Jahrzehnte, lassen sich nämlich ganz bestimmte Typen angeborener Farbenblindheit unterscheiden.

A. Zunächst sind hier die auch bei Farbentüchtigen vorkommenden individuellen Unterschiede auszusondern. Personen mit starker Gelbfärbung der Macula lutea sind gelbsichtiger als solche mit schwacher Pigmentirung. Auch die mit dem Alter zunehmende Gelbfärbung der Linse macht sich in diesem Sinne geltend. Es kann hierdurch bei älteren Leuten eine so starke Gelbsichtigkeit erzeugt werden, dass man gar nicht selten dann nach gelegentlicher Entfernung der Linse wegen Katarakt Klagen darüber hört, dass alles blau erscheine, indem nun die früher absorbirten Strahlen wieder zur Wirksamkeit gelangen und einen starken Contrast mit den früheren Empfindungen, wo das Gelbe erheblich das Blaue überwog, hervorrufen.

Eine andere, ebenfalls bei Farbentüchtigen vorkommende Anomalie, die jedoch nicht physikalisch durch Absorption zu erklären ist, sondern auf ein abweichendes Verhalten der Sehsubstanzen selbst hinweist, besteht in Folgendem: Man kann ein Gemisch aus rothen und gelblich-grünen Strahlungen einem ungemischten, homogenen Gelb gleich erscheinend machen, wenn die Menge des Roth und Grün in ganz bestimmtem Verhältniss gewählt wird. Es giebt nun Farbentüchtige, welche eine solche Gleichung zwischen homogenem Gelb und einer Mischung aus Roth und Grün für die Mehrzahl der Beobachter zu grün einstellen, d. h. sie bedürfen mehr Grün als andere, damit dieses, mit Roth gemischt, die Empfindung des Gelb erzeugt. (Anomale Trichromaten.)

B. Bei den wirklich Farbenblinden sind zwei grosse Gruppen zu unterscheiden: partiell und total Farbenblinde. Die ersteren (Hering's Rothgrünblinde) zerfallen wieder in zwei scharf gesonderte Abtheilungen, die bereits in der ersten Hälfte des vorigen Jahrhunderts von Seebeck<sup>1)</sup> unterschieden worden sind. Die Bezeichnung derselben als Roth- und Grünblinder ist insofern keine sehr glücklich gewählte, als hierdurch leicht die Vorstellung erweckt wird, es handle sich hierbei um eine Blindheit in dem Sinne, dass eine rothe, resp. grüne Strahlung überhaupt keine Gesichtsempfindung, zum mindesten keine Farbenempfindung auslöst, während in Wirklichkeit diesen Farben für das farbenblinde Auge nur andere Qualitäten zukommen und jene Bezeichnung nur zum Ausdruck bringt, dass von den drei theoretisch postulirten „Grundfarben“ oder Componenten des normalen Farbensystems die rothe oder die grüne fehlt. Um das thatsächliche Vorhandensein zweier Typen aber doch auch sprachlich zu fixiren, hat v. Kries den Namen der Protanopen (Rothblinde, welchen das rothe langwellige Ende des Spektrums relativ zu dunkel und verkürzt erscheint) und Deutanopen (Grünblinde) vorgeschlagen. Die Augen dieser Farbenblinden sind im übrigen, besonders bezüglich des Sehvermögens den normalen vollständig ebenbürtig. Ganz anders bei den total Farbenblinden. Sie sehen die Welt nur in verschieden abgestuftem Grau, die Pracht der Farben einer Landschaft oder eines Gemäldes bleibt ihnen verborgen, im besten Falle erhalten sie den Eindruck einer stereoskopischen Photographie. Das Sehorgan pflegt auch im übrigen mangelhaft ausgestattet zu sein; zu dem Defekte des Farbensinnes gesellen sich Lichtscheu, Augenzittern und Herabsetzung der Sehschärfe hinzu. An dem Verhalten der letzteren bei verschiedener Beleuchtung ist eine interessante Beziehung zu der Sehschärfe des normalen Auges besonders bemerkenswerth. Die Sehschärfe ist bekanntlich in hohem Grade von der Beleuchtung abhängig und nimmt

<sup>1)</sup> Ueber den bei manchen Personen vorkommenden Mangel an Farbensinn. Annalen der Physik und Chemie Bd. XXXII, S. 178—234, 1837. Seebeck hat an dieser Stelle bereits auch den Einfluss des „Dämmerungssehens“ (Dunkeladaptation) auf die Farbenempfindungen partiell Farbenblinder in den Kreis seiner Untersuchungen gezogen.

mit der Steigerung derselben zu; das normale Auge wird nun bei schwacher Beleuchtung und Dunkeladaptation nicht nur, wie bereits oben erwähnt, total farbenblind, sondern auch die Sehschärfe und der Grad ihrer Zunahme durch Steigerung der Beleuchtung verhält sich der des totalen farbenblinden Auges analog; erst bei einer solchen Beleuchtung, bei welcher das normale Auge Farben zu erkennen vermag, zeigt sich dieses auch bezüglich der Sehschärfe dem total farbenblinden Auge überlegen.

Ich habe mit Absicht der Versuchung widerstanden, theoretische Erwägungen einzuflechten, obgleich die Thatsachen hierdurch erst einen höheren Zusammenhang erhalten und man in einer so eminent praktischen Wissenschaft, wie der Medizin, vielleicht manchmal zu sehr geneigt ist, die Bedeutung des theoretischen, die Erfahrungen vereinigenden Bandes zu unterschätzen. Der Zweck vorliegender, den Gegenstand gewiss nicht erschöpfender Zeilen ist erfüllt, wenn es mir gelungen ist zu zeigen, dass neuere Untersuchungen, die zunächst vom Gebiete der allgemeinen Medizin etwas abseits zu liegen und mehr theoretischen Zielen, im besonderen dem Ausbau der Farbentheorien zu dienen scheinen, unseren Kenntnissen von den Thatsachen der Gesichtsempfindungen eine erhebliche Förderung gebracht haben, welche auch für die klinische Untersuchung nicht ausser Acht zu lassen ist, und hier wie so oft im Leben und in der Wissenschaft, das alte Wort sich bewährt hat, dass der Streit der Vater der Dinge ist.

---