

(Aus der Universitäts-Augenklinik Freiburg i. Br. [Direktor: Geheimrat Prof. Dr. Th. Axenfeld].)

Über den methodischen Wert physiologischer Perimeterobjekte. Erfahrungen mit peripheriegleichen, invariablen Farben bei den angeborenen und erworbenen Störungen des Farben- und Lichtsinnes.

Von

Priv.-Doz. Dr. E. Engelking,
Assistent der Klinik.

Mit 26 Textabbildungen.

Inhalt:

- I. Die Prinzipien der physiologischen Perimeterobjekte.
- II. Die neuen Objekte unter physiologischen Bedingungen.
- III. Die physiologischen Objekte bei angeborenen Farbensinnstörungen.
- IV. Ergebnisse bei den progressiven konkomitierenden Farbensinnstörungen (progressiven Rotgrünblindheiten).
- V. Ergebnisse bei erworbener Tritanopie.
- VI. Ergebnisse bei Chromatopien.
- VII. Ergebnisse bei Hemeralopie.

Die Prinzipien der physiologischen Perimeterobjekte.

Jede Untersuchung des Gesichtsfeldes überhaupt kann sich auf die Festlegung zweier verschiedener Schwellenarten beziehen, nämlich der absoluten, d. h. der Empfindung überhaupt, wie wir sie mit weißem Objekt auf dunklem Untergrunde oder umgekehrt prüfen, und der spezifischen, d. h. der Farbenschwelle. Beide Prüfungen sind seit langem in Übung, aber auffallenderweise hat eigentlich nur die erstere in den letzten beiden Jahrzehnten eine bemerkenswerte Förderung erfahren. Ich brauche hier nur an die bekannten Resultate der Forschungen von Bjerrum, van der Hove, Igersheimer u. a. zu erinnern. Hier ist man durch kampimetrische Anwendung kleiner Objekte in größerem Abstände zu neuen, feineren, brauchbaren und ertragreichen Methoden gelangt.

Ganz anders dagegen auf dem Gebiete der Farbenperimetrie, wo die Hilfsmittel und damit die Ergebnisse noch ganz unzureichend geblieben sind. Allenthalben wird noch mit Pigmentfarben derartig verschiedener, ja oft beliebiger Art geprüft, daß von einer einheitlichen, an verschiedenen Orten und in der Hand verschiedener Untersucher geübten Methodik gar nicht gesprochen werden kann. Es sind nur

ganz grobe, vielen Fehlern und Verschiedenheiten ausgesetzte Bestimmungen, mit denen die Grenzen für Rot, Grün, Gelb und Blau bezeichnet werden. So besteht z. B. bei den bisher üblichen Objekten keinerlei Gewähr, daß nicht Unterschiede der Helligkeit die Angaben des Patienten beeinflussen, und ebensowenig dafür, daß im Augenblick der Benennung wirklich die spezifische Qualität empfunden wird und nicht einer der Übergangstöne, in denen diese „variablen“ Farben zunächst erscheinen.

Von der Perimetrie im Dunkelmzimmer mittels farbiger Lichter, der sog. Dunkelperimetrie muß in diesem Zusammenhange ganz abgesehen werden, da sie ein Verfahren darstellt, das sich wegen verschiedener mit ihr unlöslich verknüpfter Mißstände für die klinische Perimetrie in keiner Weise eignet; es sei hier nur darauf hingewiesen, daß derartige Untersuchungen wegen des veränderten Adaptationszustandes für das Farbsehen des Hellauges im Tageslicht natürlich nicht maßgebend sein können, daß auch die Dunkelperimetrie keine Konstanz der Objekte gewährleistet und vor allem, daß die Unsicherheit in der Kontrolle der Augenstellung immer wieder eine schwerwiegende Fehlerquelle darstellen wird.

Die Gewinnung möglichst einheitlicher, guter farbiger Perimeterobjekte ist um so mehr zu erstreben, als auch die gesamte Hellperimetrie im Tageslicht mit einer sehr wesentlichen und bisher keineswegs überwundenen Schwierigkeit zu kämpfen hat, nämlich dem Wechsel der Beleuchtung.

Das nach Jahreszeit, Tag und Stunde, fast müßte man sagen: beständig wechselnde Licht ist natürlich imstande, das Ergebnis zu verschiedenen Zeiten verschieden zu gestalten, ohne daß in der Empfindungsweise des Patienten eine Änderung eingetreten zu sein braucht. Eine ganz befriedigende, das Tageslicht ersetzende gleichmäßige Beleuchtung und damit eine durchaus konstante und zugleich gute Helladaptation des Auges und Gleichmäßigkeit der farbigen Wirkung der Perimeterobjekte ist bisher durch kein Verfahren erzielt worden und bleibt also noch ein Postulat. Solange dieses nicht erfüllt ist, wird man selbstverständlich absolut invariable Perimeteruntersuchungen überhaupt nicht erreichen können.

Allerdings liegen die Dinge so, daß in praktischer Hinsicht doch innerhalb einer nicht unerheblichen Breite des Beleuchtungswechsels eine ausreichende Genauigkeit auch mit Pigmentfarben wohl hergestellt werden kann, so daß man bei Vermeidung der Prüfung unter ungünstigen Umständen oder in allzu großen Zeitabständen doch brauchbare Werte gewinnt.

Gerade weil alle Objekte durch den wechselnden Einfluß des Lichtes in ihrer Genauigkeit bis zu einem gewissen Grade leiden, so

wird man erst recht wenigstens alle vermeidbaren Ungleichheiten und Fehlerquellen beseitigen. In dieser Hinsicht bedeutet die Anwendung physiologischer Farben auf entsprechendem Grunde zweifellos einen großen Schritt vorwärts, und das Bedürfnis nach solchen einwandfreien und vergleichbaren Objekten wird immer dringlicher, wenn die Farbenperimetrie das ihr gebührende Interesse nicht allmählich einbüßen soll.

Freilich ist bereits vor einigen Jahrzehnten mehrfach der Versuch gemacht worden, die Perimetrie auf physiologischen Grundlagen aufzubauen und fehlerfreie Perimeterobjekte herzustellen. Für das erstere Ziel darf hier der verdienstvollen Arbeiten von C. v. Hess, für das letztere der von Ole Bull und Hegg Erwähnung getan werden. Die beiden letzterwähnten Forscher bemühten sich, bei ihren perimetrischen Untersuchungen mit Farben zu arbeiten, die nach ihrem farbigen Erscheinen in der Gesichtsfeldperipherie den spezifischen Ton nicht mehr ändern, und die außerdem auch mit dem Untergrunde, auf dem sie dargeboten werden, „gleiche Helligkeit“ besitzen. Hegg konstruierte dazu ein eigenes Hohlkugelperimeter mit grauem Grunde. Seine Proben stellte er durch Aufstreichen von Ölfarbe her. Abgesehen davon, daß die von ihm benutzten Objekte heute kaum mehr in brauchbarer Form zur Verfügung stehen, sind auch die Resultate jener Perimetrie mit den hier vorgelegten nicht vergleichbar, denn auch Hegg, dessen Objekte den von uns benutzten am nächsten stehen, legte bei der Wahl der Helligkeit die sog. „weiße Valenz“ der Farben zugrunde, eine Idee, deren Unzulänglichkeit heute durch den tiefgreifenden Unterschied der Dämmerungswerte von den Peripheriewerten der Farben ohne weiteres einleuchtet.

Auf der andern Seite hat die Lehre von den Farbensinnstörungen, den angeborenen wie den erworbenen, seither eine derartige Entwicklung und Entfaltung erfahren, daß auch die Problemstellungen heute wesentlich verschoben erscheinen.

In den folgenden Zeilen sollen deshalb Erfahrungen wiedergegeben werden, die ich mit den jüngst von mir in Gemeinschaft mit Dr. Eckstein herausgegebenen „Peripheriegleichen und invariablen Perimeterobjekten“¹⁾ nunmehr an klinischen Fällen verschiedenster Art gesammelt habe, und die den Zweck verfolgen, die Aufmerksamkeit der Fachgenossen auf die in den neuen Farben gegebenen Möglichkeiten zu richten.

Die Erörterungen über den methodischen Wert solcher „physiologischer“ Perimeterobjekte kann im wesentlichen von zwei Gesichtspunkten aus erfolgen, einerseits auf Grund der Ergebnisse, die sich im

¹⁾ Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. 1920. Bd. LXIV, S. 88. Die Objekte sind im Buchhandel käuflich erschienen bei Speyer u. Kaerner. Freiburg. 1920.

Vergleich mit andern Farben an einzelnen Fällen bei der klinischen Handhabung finden, dann aber auch von der Betrachtung der physiologischen Eigenschaften der Farben selbst aus und der daraus ableitbaren Eignung als methodisches Untersuchungsmittel. Beide Wege müssen sich ergänzen und sind von mir zur Gewinnung eines abschließenden Urteils beschritten worden. Zur Charakterisierung der Eigenart dieser neuen Farben wird es zweckmäßig sein, zunächst die Gesichtspunkte, von denen wir uns bei der Berechnung leiten ließen, hier noch einmal in Kürze darzulegen.

Die landläufigen Perimeterfarben, seien es nun Stoffproben, Papiere oder andersartige Pigmente pflegen wie schon erwähnt von sehr verschiedener peripherer Helligkeit zu sein, ihre meist starke Sättigung ist physiologisch ganz ungleichwertig, und sogar die Farbentöne, von denen Rot und Grün gewöhnlich dem spektralen Rot und Grün nahestehen, dürfen als einigermaßen willkürlich bezeichnet werden. Diese Eigenschaften bedingen eine Menge von Fehlern und Unsicherheiten, die das Resultat der Untersuchung in vielen Fällen in Frage stellen oder doch seine Verwertung mindestens sehr erschweren. Oft können die Farben schon an unspezifischen Merkmalen z. B. an ihrer verschiedenen Helligkeit oder am Tonwechsel, den sie bei Annäherung von der Peripherie des Gesichtsfeldes nach der Mitte zu durchmachen, erkannt bzw. richtig benannt werden, ehe die spezifische Schwelle überschritten sein kann. Man darf es geradezu als ein Ärgernis bezeichnen, daß Protanopen oder Deutanopen — bei den Tritanopen würde es ähnlich sein — Kranke also, denen die Fähigkeit rote oder grüne Farbentöne überhaupt als solche wahrzunehmen, vollständig fehlt, sich am Perimeter eigentlich genau wie Farbentüchtigte verhalten und insofern der gewöhnlichen perimetrischen Untersuchung keinerlei Angriffspunkte bieten, wenn man sich einfach an die Farbenbenennung hält.

Auf Grund solcher und ähnlicher Mängel, auf die hier nicht näher eingegangen zu werden braucht, sind auch bereits vor Jahrzehnten von J. v. Kries endgültig die Ansprüche, die an physiologisch einwandfreie Farben zu stellen sind, dahin formuliert worden, „in der Untersuchung der exzentrischen Netzhautfunktion (auch z. B. in pathologischen Fällen) das Dämmerungssehen für sich, den Farbensinn aber unter den Bedingungen, des Tagessehens zu prüfen. Man sollte hier nach auch gegenfarbige Muster verwenden, die gleichen Farben- und Peripheriewert besitzen (nicht aber gleichen Dämmerungswert)“ (Nagels Handbuch der Physiologie III, S. 200). Von diesen Überlegungen sind wir deshalb bei unserer Berechnung ausgegangen.

Von vier stark gesättigten Papieren: Blau, Gelb, Rot und Grün wählten wir dasjenige, dessen Peripheriewert am geringsten war, aus (es war das Blau) und brachten alle übrigen bei guter Helladaptation

durch Zumischung entsprechender Sektoren Schwarz auf dem Farbkreis zu gleicher farbloser peripherer Helligkeit.

Sodann stellten wir in analoger Weise durch Mischung von Rot und Grün unter Beigabe der nötigen Menge Blau, andererseits von Blau und Gelb unter Beigabe von Grün zwei gegenfarbige Paare her, indem wir die relativen Farbmengen des Gemisches solange gegeneinander ausglich, bis dort und hier für die Betrachtung auf großem Felde ein farbloses Grau entstand, das zur Kontrolle mit einem entsprechenden gleichzeitigen Schwarzweißgemisch verglichen wurde. Jede Mischung ergab nunmehr durch beliebige Zerlegung in zwei Hälften Gegenfarben verschiedener Art, aber gleicher physiologischer Sättigung. Wir wählten daraus für unsere Zwecke die vier von v. Hess als „invariable Farben“ ausgezeichneten Töne (Archiv f. Ophthalmol. 35, IV, 1). Zur Ermittlung des Grün bedienten wir uns eines gut beobachtenden Deuteranopen, indem wir die Farbe solange änderten, bis für ihn eine Gleichung mit Grau zustande kam. Grün, Blau und Gelb wurden außerdem durch Vergleich mit Spektralfarben der in Frage kommenden bekannten Wellenlängen am Farbenmischapparat aufgesucht.

Die Vereinigung der verschiedenen geforderten und zunächst getrennt dargestellten Eigenschaften geschah nunmehr durch Berechnung.

Die Farben wurden schließlich am Kreisler hergestellt und danach gedruckt, ebenso das ihnen peripheriegleiche Grau; letzteres war unter anderm auch deshalb wünschenswert, weil von uns hinsichtlich der Wahl des Grundes, auf dem die Farben betrachtet werden sollen, des Perimeters also, der Vorschlag gemacht wurde, ihn der farblosen Helligkeit unserer Muster anzupassen.

Das Ziel dieser Untersuchungen war also, um das noch einmal zusammenzufassen, peripheriegleiche und invariable Farben, deren je zwei, nämlich Rot und Grün einerseits, Blau und Gelb andererseits gleiche physiologische Sättigung haben, auf einem Grunde von derselben Helligkeit darzubieten.

Die neuen Objekte unter physiologischen Bedingungen.

Ich habe mir nun die weitere Aufgabe gestellt, die neuen Perimeterobjekte nach allen Richtungen auf ihre Brauchbarkeit hin zu prüfen, sowie ihren Wert als methodisches Untersuchungsmittel auseinanderzusetzen.

Die Resultate dieser Untersuchungen sind im Juli 1920 abgeschlossen und auf dem Kongreß der Deutschen Ophth. Gesellschaft in Heidelberg mit allen wesentlichen Ergebnissen vorgetragen worden. Ich hob bereits hervor, daß über die praktische Verwertbarkeit unserer Farben natürlich nicht dadurch entschieden werden kann, daß man auf die

ja bekannte Tatsache hinweist, daß Peripheriegleichheit und Invariabilität von Pigmentfarben physiologisch exakt stets nur für eine ganz bestimmte Beleuchtung und eine ganz bestimmte Stimmung des Sehorgans hergestellt werden können, denn auf eine in theoretischer Hinsicht strenge Genauigkeit kommt es bei der Benutzung am Patienten gar nicht an. Es handelt sich vielmehr nur darum, ob die von uns hergestellten und hier benutzten Farben für die praktische Verwendung am Perimeter ausreichende Präzision besitzen. Ist die Genauigkeit der Farbenobjekte (hinsichtlich Peripheriegleichheit, Invariabilität und physiologischer Sättigung) genügend, uns einwandfreie Auskünfte zu vermitteln? Diese Frage allein steht zur Diskussion; sie scheint mir bereits durch die von uns in Heidelberg vorgelegten Tatsachen, die hier mit dem zugrunde liegenden Material dargestellt werden, positiv entschieden¹⁾. Auch ohne komplizierte und teure Apparate kann mit den sehr einfachen Mitteln nach physiologischen Gesichtspunkten gewählter Perimeterobjekte alles wesentliche hinsichtlich des Farbengesichtsfeldes zur Darstellung gebracht werden.

Was zunächst den Druck unserer neuen Farbenobjekte anlangt, so war zu befürchten, daß er unter den augenblicklichen ungünstigen wirtschaftlichen Verhältnissen große Mängel aufweisen würde, zumal von farbigen Drucken überhaupt nur schwer eine absolute Gleichmäßigkeit zu erzielen ist. Doch hat sich gezeigt, daß die Farben einschließlich des Grau den zunächst an sie gestellten Forderungen nach Helligkeit, Ton und Sättigung praktisch ausreichend entsprechen, obwohl bei den verschiedenen Blättern der einen oder anderen Farbe die Unterschiedsschwelle etwas überschritten ist. Der Nachweis hierfür war sehr leicht durch Kontrolleinstellungen auf dem Farbenkreisel zu erbringen. Ich konnte freilich nicht erwarten, zu jeder beliebigen Tageszeit bei der Mischung von 180 g Rot bzw. Blau mit 180 g Grün bzw. Gelb in idealer Weise ein Grau von genau der Zusammensetzung unseres Musters zu bekommen. Schon die verschiedene Helligkeit des Tageslichtes, die ja bekanntlich mit einer nicht unbeträchtlich wechselnden Zusammensetzung aus den einzelnen Strahlenarten einhergeht, macht das unmöglich. Um so mehr ist es von Interesse zu wissen, wie weit die fertigen Farben der ursprünglichen Idee entsprechen, und in welcher Weise sich die Einflüsse der Witterung geltend machen.

Ich habe deshalb an einer Reihe von Tagen unter verschiedenen Lichtverhältnissen die beiden Farbenpaare kontrolliert, indem ich am Kreisel z. B. im großen Kreise Grau, im kleinen das Gemisch aus Rot

¹⁾ Ich verweise schon hier auf die unten mitgeteilten Gesichtsfelder bei angeborenen und erworbenen Störungen des Farbensinnes, sowie auf meine Untersuchungen am Farbenkreisel.

und Grün oder Blau und Gelb herstellte und prüfte, ob, bzw. wann ich Gleichungen erhielt. Das Ergebnis, bezogen auf sehr große Felder, geht aus der nachfolgenden Tabelle hervor.

Zur Herstellung eines farblosen Grau waren erforderlich:

181 Grün + 179 Rot
184 Grün + 176 Rot
179 Grün + 181 Rot
184 Grün + 176 Rot
175 Grün + 185 Rot
184 Grün + 176 Rot
180 Grün + 180 Rot
180 Grün + 180 Rot
184 Grün + 176 Rot
180 Blau + 166 Gelb + 14 Grün
180 Blau + 160 Gelb + 20 Grün
180 Blau + 166 Gelb + 14 Grün
173 Blau + 173 Gelb + 14 Grün.

Die Helligkeit des Grau der verschiedenen Gemische war im allgemeinen recht gut. Die Unterschiedsschwelle wurde entweder nicht, oder nur um ein wenig überschritten, z. B. war das Grau des Rotgrüngemisches an trüben Tagen einige Male etwas, aber nicht wesentlich zu hell usw.

Man darf also wohl sagen, daß eine praktisch ausreichende Genauigkeit erzielt worden ist, obwohl die Zusammensetzung der Gemische, wie das im Wesen der Sache liegt, etwas wechselt und das Blaugelbgemisch für die Kontrollperson nicht genau farblos, sondern eine Spur zu rötlich ausgefallen ist. Es muß hier daran erinnert werden, daß nach den einschlägigen Untersuchungen von v. Helmholtz, v. Kries, König, Angier, Trendelenburg u. a. die Stellung der Komplementärfarben im Spektrum überhaupt nicht derartig genau fixierbar ist, daß von allen Beobachtern die gleichen Töne als gegenfarbig anerkannt werden.

Solche Differenzen spielen natürlich keine Rolle für die Verwendung unserer Objekte am Perimeter, d. h. auf kleinem Felde, im peripheren Gesichtsfelde, zumal bei Fällen mit erworbenen Farbensinnstörungen, für die sie ja in erster Linie in Frage kommen.

Die praktische Prüfung am Perimeter ergibt denn auch, daß, wie erwartet werden konnte, für den normalen Trichromaten einerseits die Grenzen für Blau und Gelb, andererseits die für Rot und Grün bei günstigen Lichtverhältnissen, guter Helladaptation und im hellen Raume praktisch zusammenfallen. Ich stelle hier die an einer normalen Versuchsperson gewonnenen Resultate für die wichtigsten Objektgrößen zusammen, um einen ungefähren Überblick über die Größe der farbigen Gesichtsfelder zu geben.

Ort	Nasal				Temporal				Oben				Unten			
	20	10	5	2	20	10	5	2	20	10	5	2	20	10	5	2
Seitenlänge der Objekte in mm	20	10	5	2	20	10	5	2	20	10	5	2	20	10	5	2
Blau	48	44	35	16	100	80	63	38	50	39	25	20	65	58	38	18
Gelb	48	44	35	10	100	80	63	38	50	39	25	20	65	58	38	18
Rot	27	24	17	12	65	45	25	22	25	19	12	10	48	28	20	11
Grün	25	24	17	10	65	42	25	20	25	19	13	9	45	26	20	10

Es ist ferner wünschenswert zu erfahren, wie sich das Gesichtsfeld nach der neuen Methode gegenüber den bisher üblichen Mustern, die auf schwarzem Grunde dargeboten zu werden pflegen, verhält. Folgende Zusammenstellung ermöglicht einen solchen Vergleich mit einigen gebräuchlichen älteren Objekten. Die Zahlen beziehen sich auf die nasalen Bezirke des Gesichtsfeldes, weil hier die Beobachtungen am exaktesten ausführbar sind, und auf eine Objektgröße von 10 mm Seitenlänge.

Art der Objekte	Blau	Gelb	Rot		Grün	
			Gelb- grenze	Rot- grenze	Gelb- grenze	Grün- grenze
Physiologische Objekte	44	44	—	24	—	24
von Jeß benutzte Farben ¹⁾	52	46	40	24	42	19
Marxsche Tuchmuster	45	42	40	22	35	17

Die Peripheriewerte, bei physiologischen Farben alle gleich groß und gleich der des Grundes, sind bei den Tuchobjekten durchweg ziemlich gering, die Reihenfolge ist in absteigender Helligkeit: Gelb-Rot-Grün-Blau-Schwarz (Grund); die von Jess benutzten Pigmente zeigen noch größere Unterschiede: auf unserem grauen Grunde sieht das Gelb sehr hell, fast weiß aus, Grün mittelgrau, Blau dunkelgrau und Rot fast schwarz, also sehr dunkel.

Entgegen naheliegenden Vermutungen zeigt sich, daß für die neuen Proben, obgleich ihre objektive Sättigung zweifellos viel geringer ist als die der meisten bisher verwandten, das Gesichtsfeld mindestens ebensoweit, wenn nicht noch weiter ist. Der Grund ist leicht einzusehen: bei allen älteren Perimeterobjekten wird außer dem Farbenreiz und Farbenkontrast gleichzeitig ein namhafter Helligkeitskontrast erzeugt, und dieser wirkt bekanntlich erhöhend auf die Farbenschwelle. Die relativ große Weite tritt vielleicht am wenigsten zutage für Rot, weil nach bekannten physiologischen Erfahrungen das invariable Rot und Grün die relativ schwerst erkennbaren Farben überhaupt sind. Das Rot weist überdies bei den meisten älteren Perimeterobjekten neben stärkerer Helligkeit zugleich eine unverhältnismäßig große Sättigung

¹⁾ Jeß benutzte eine Kombination von Heidelberger und Heringschen Farben. Die Angaben dieser Spalte beziehen sich wie bei Jeß auf eine Objektgröße von 1,2 cm Seitenlänge.

auf. Ein Teil der Patienten beantwortet außerdem den farbigen Gelbreiz der roten Vorlage bereits mit der Aussage „Rot“, sobald er das Muster kennengelernt hat.

Eine derartige Angabe könnte z. B. bei einigen Gesichtsfeldern, die Jess mitgeteilt hat, in Frage kommen. Mit seinem Rotmuster (1,2 cm Seitenlänge) fand ich für mich an einem hellen Tage nachmittags 3 Uhr die Gelbgrenze temporal bei 79° , die zugehörige Rotgrenze bei 62° ; sein Patient (1916, S. 216, Abb. 6a; Ers.-Res. Frank) die Rotgrenze bei etwa 73° und auf dem Gesichtsfelde *c* bei 75° , wo auch seine Gelbgrenze des gelben Objektes lag! Die nasale Rotgrenze bei 46° , während für mich die nasale Gelbgrenze des Rotobjektes bei 40° , die eigentliche Rotgrenze erst bei 24° lag; derartige Beispiele würden sich wahrscheinlich leicht aus der Literatur vermehren lassen, wenn man die benutzten Objekte genügend genau kannte.

Die verhältnismäßig große Weite unserer Gesichtsfelder soll übrigens hier nur festgestellt werden. Ob sie einen Wert bildet oder nicht, hängt noch von verschiedenen hier nicht hergehörigen Umständen ab, über die erst später gesprochen werden kann.

Benutzt man einen grauen Perimetergrund, so wird die farblose Feldgrenze zweckmäßig mit Weiß ermittelt. Man könnte von theoretischen Vorstellungen aus vermuten, daß aus dem geringeren Helligkeitskontrast eine Einengung der Weißgrenze resultieren würde. Auf Grund vielfältiger Erfahrung kann ich jedoch mitteilen, daß bei der praktischen Perimeterprüfung der Unterschied die Breite der Fehlergrenze nicht überschreitet.

Um ein Perimeterobjekt im klinischen Betriebe unter allen Umständen, z. B. auch bei weniger guter Helladaptation, mit Nutzen verwenden zu können, sollte man wissen, inwieweit sich der Einfluß veränderter Lichtzusammensetzung und -stärke auf die Farbenschwellen der benutzten Vorlagen geltend macht.

Die Unveränderlichkeit (Invariabilität) der Farbtöne in den verschiedenen Teilen des Gesichtsfeldes, die ja zunächst vom spektralen Ort abhängig ist, geht unter physiologischen Verhältnissen praktisch nicht verloren. Das Zusammenfallen der farbigen Felder von Rot und Grün oder auch von Blau und Gelb ist aber nicht vom Ton an sich abhängig, sondern vielmehr von der Persistenz einer gleichen physiologischen Sättigung, die bei Pigmenten bekanntlich durch Schwankungen der Außenbeleuchtung nicht unwesentlich beeinflussbar ist. Inwieweit sich dadurch beim Perimetrieren eine Störung bemerkbar macht, kann allerdings nur auf Grund von darauf gerichteten Erfahrungen beurteilt werden.

Auf die wichtigen Folgen, die sich aus der Wahl der Farbtöne und ihrer relativen Sättigung hinsichtlich der Gesichtsfelduntersuchungen

bei pathologischen Fällen ableiten lassen, komme ich unten genauer zurück. Unter physiologischen Verhältnissen und bei der gewöhnlichen hellen Tagesbeleuchtung wurde von uns in der Regel ein praktisch in Betracht kommendes Auseinanderfallen der Grenzen nicht beobachtet (die physiologische Sättigung war also innerhalb jedes Farbenpaares gleich), wohl aber an trüben Tagen, besonders dann, wenn gleichzeitig eine ungünstige Lichtzusammensetzung vorlag. Dann fand ich des öfteren die Grüngrenze deutlich enger als die für Rot, bisweilen auch die Gelbgrenze enger als die Blaugrenze; auch die verschiedenen Quadranten verhielten sich dann verschieden. Die Erklärung dafür ist z. B. beim Grün darin zu suchen, daß die Dämmerungswerte von Grün und Rot sehr verschieden sind, also durch subjektive Zumischung von Weiß der Einfluß des Helligkeitskontrastes auf die physiologische Sättigung sich in unterschiedlicher Weise geltend macht. Unter gewissen Umständen kann das hinderlich werden. Aber alle Farbensinnprüfungen erfordern eben einen bestimmten Grad von Helladaptation sowie eine wenigstens annähernd fixierbare neutrale Stimmung des Sehorgans u. dgl.; wo diese nicht erreichbar sind, muß man wohl oder übel auf die unter günstigeren Verhältnissen mögliche Genauigkeit verzichten.

Unter besondere Bedingungen stellt man sich natürlich stets für die Untersuchung bei „herabgesetzter Beleuchtung“. Inwieweit ein solches Verfahren der Farbensinnprüfung von Wert ist, darüber kann man verschiedener Ansicht sein, da die Farbenperimetrie naturgemäß in erster Linie dem Hellapparat des Auges dienen soll. Immerhin wird unter gewissen Umständen der Einfluß des Dämmerungssehens auf die Farbenschwellen, d. h. die Prüfung des Purkinjeschen Phänomens, auch am Perimeter selbst dann von Interesse sein, wenn man sich der Schwierigkeit bewußt bleibt, die Beteiligung beider Sehweisen in einem Falle mit der im anderen und unter anderen Voraussetzungen zu beurteilen.

Ich gebe deshalb hier die Dämmerungswerte der neuen Farben, wie ich sie am Kreisel durch Vergleich mit einer Mischung von schwarzen und weißen Sektoren gefunden habe. Der zugehörige Peripheriewert ist für alle gleich einem Grau aus 111° Weiß + 249° Schwarz. In der Tabelle sind nur die erforderlichen Weißsektoren angegeben.

Farben	Rot	Grün	Blau	Gelb
Dämmerungswerte . .	92°	193°	122°	106°

Hieraus läßt sich wenigstens im großen erkennen, in welcher Richtung und in welchem Umfange Änderungen der Farbgrößen unter dem Einfluß des Dämmerungssehens zu erwarten sind. Man sieht auch hier, daß vor allem für die Grünschwellen schon kleine Helligkeitsdifferenzen bedeutsam werden können.

Ich wende mich noch speziell der Darstellung einiger Eigenschaften der neuen Farben zu, die sich aus der Wahl peripheriegleicher Muster ergeben. Schon oben war darauf hingewiesen worden, daß es hierdurch den Patienten unmöglich gemacht wird, die Farben lediglich an der verschiedenen Helligkeit zu erkennen, da dem Normalen alle gleich erscheinen.

Es folgt daraus ohne weiteres zugleich die differentialdiagnostische Verwendbarkeit gegenüber der erworbenen und angeborenen totalen Farbenblindheit, für die Unterscheidung der Protanopie von der Deutanopie usw. Einen Vorzug bedeutet es natürlich auch, daß das Auge während der ganzen Untersuchung die gleiche neutrale Stimmung beibehält und durch Helligkeitskontraste nicht gestört wird. Die große Helligkeit des Grundes verbürgt überdies eine bessere Helladaptation als das bei schwarzen Perimetern möglich ist. Ich denke hier u. a. an die Benutzung der Uthoffschen Scheibe, die natürlich ebenfalls in unserem Grau Verwendung finden muß.

Wichtig ist die Peripheriegleichheit weiterhin für die dadurch gebotene Möglichkeit, auch die fovealen und parazentralen Empfindungen mit einfachen Mitteln in verhältnismäßig exakter Weise in den Bereich der Beobachtung hineinzuziehen. Für eine eingehendere Durchprüfung des Farbensinnes wird das stets erforderlich sein. Es stehen dazu ja bereits eine Reihe guter Methoden zur Verfügung, auf die hier nicht eingegangen zu werden braucht. In vielen Fällen ist es aber erwünscht, peripheres und zentrales Sehen unter genau vergleichbaren Bedingungen hinsichtlich des Farben-, wie auch besonders des Lichtsinnes, der Adaptationsverhältnisse usw., zu beobachten. Dies läßt sich mit unseren Farben ohne Weiteres ausführen.

Die einfachste und handlichste Art zur quantitativen Feststellung der Farbschwelle beim helladaptierten Auge ist immer noch die Kreiselmethode. Schon früher hat man die dabei auftretenden bekannten Nachteile bzw. Fehlerquellen durch Wahl solcher Farben und farblosen Scheiben auszumerzen versucht, die bei der Mischung keine Helligkeitsdifferenzen auftreten lassen. Pflüger und Miéville sind hier zu nennen. Unsere Farben eignen sich in gleicher Weise für derartige Schwellenbestimmungen. Man kann damit sowohl die spezifische Schwelle überhaupt, wie auch die Unterschiedsschwelle feststellen, indem man einer oder besser noch zwei grauen Kreiselscheiben verschiedener Größe bestimmte Gradmengen der Farbe zumischt und die Grenzen der Erkennbarkeit für die jeweils gewünschte Feldgröße und Zusammenstellung festlegt¹⁾.

Durch Angabe der erforderlichen farbigen Winkelgrade gewinnt man einen quantitativ ablesbaren Überblick der vorhandenen Farben-

¹⁾ Zur Herstellung der großen Kreiselscheiben habe ich je zwei der käuflichen Papiere zusammengeklebt und ausstanzen lassen.

empfindlichkeit. Man tut gut, stets eine normale Vergleichsperson zur Kontrolle mitbeobachten zu lassen. Die Helligkeit zeigt sich im allgemeinen als hinreichend genau ausgeglichen.

Für manche Untersuchungen mag es bequemer sein, nach Art des von Landolt angegebenen „Chromatometers“ der Grauscheibe in umeinanderliegenden, konzentrischen Zonen farbige Kreisbögen verschiedener Winkelgröße aufzukleben. Auch hier wird man natürlich die Feldgröße durch teilweises Verdecken des Kreisels mittels eines grauen Kartons beschränken. Die Feststellung, wie viel farbige Ringe vom Patienten erkannt werden, liefert schnell einen allerdings nicht sehr genauen Anhaltspunkt für die Beurteilung.

Zur Prüfung des farblosen Lichtsinnes bei Tage, d. h. im Zustande der Helladaptation, würde man nur statt der farbigen weiße Sektoren einzuführen haben. Diese Lichtsinprüfung hat im Anschluß an die der farbigen Schwelle die Annehmlichkeit, daß dabei keinerlei Umstimmung des Sehorganes in Betracht kommt, wie das bei Benutzung schwarzer Scheiben der Fall ist. Man kann demnach alle Untersuchungen am Perimeter wie am Kreisels bei ein und demselben Adaptationszustande des Auges vornehmen. Bei etwaigen Störungen der Dunkeladaptation ist das nicht ohne Bedeutung.

Schließlich sei hier noch erwähnt, daß die physiologischen Farben auch zur Prüfung des „kleinsten Netzhautbildes“, das zur Farberkennung notwendig ist, benutzt werden können. Da geläufigen Erfahrungen zufolge die sog. Minimalfeldhelligkeiten den Peripheriewerten entsprechen, ist auch hier die Peripheriegleichheit wieder von Nutzen. Ich habe die letztere Methode allerdings selbst bisher nicht angewandt.

Auf Grund der bisher erörterten Eigenschaften der neuen Objekte ergeben sich nun bestimmte Folgerungen hinsichtlich der angeborenen sowohl wie der erworbenen Störungen des Farben- und Lichtsinnes.

Freilich kann diese Abhandlung nicht alle überhaupt möglichen Störungen auf diesem Gebiete im einzelnen enthalten, zumal manche Formen von Farbensinnstörungen, z. B. die verschiedenen Chromatopien, nur selten zur Verfügung stehen und andere ihrem Wesen nach noch nicht ausreichend bekannt sind; vielmehr hat es sich für mich zunächst darum gehandelt, die wichtigsten Bilder herauszugreifen und das typische an ihnen hinsichtlich des Farbengesichtsfeldes zur Darstellung zu bringen. Weitere Erfahrungen sollen folgen. Daß der klinische Einzelfall nicht immer in idealer Weise den zu entwickelnden theoretischen Voraussetzungen entspricht, bedarf angesichts der Eigenart perimetrischer Untersuchungen am Kranken kaum der Erwähnung.

Die physiologischen Objekte bei angeborenen Farbensinnstörungen.

Für die Lehre von den angeborenen, übrigens aber auch den erworbenen Farbensinnstörungen haben bekanntlich bestimmte Stellen des Spektrums eine ausgezeichnete Bedeutung dadurch, daß die ihnen entsprechenden Lichter vom Farbenblinden farblos gesehen werden, und daß hier, z. B. für den Protanopen und Deutanopen, der warmtonige Teil des Spektrums durch ein farbloses Zwischenstück, die neutrale Zone, in den kalttonigen übergeht. Wir bezeichnen diese Stellen deshalb auch als „neutrale Stellen“.

Die invariablen Töne nun, durch die ja unsere Objekte mit definiert sind, decken sich, wie seit langem bekannt ist und sich immer wieder bestätigt hat, ziemlich genau mit diesen wohl charakterisierten Stellen. Praktisch entspricht nämlich unser

Gelb	einer Wellenlänge von	575 $\mu\mu$
Grün	„ „ „	495 $\mu\mu$
Blau	„ „ „	471 $\mu\mu$

während das Rot, als im physikalischen Sinne den Purpurtönen zugehörig, im Spektrum nicht enthalten ist. Das Grün von der Wellenlänge 495 $\mu\mu$ und ebenso das ihm gegenfarbige Rot wird also vom Deutanopen und Protanopen farblos gesehen, von ersterem als Grau annähernd in der Helligkeit des Grundes (des Perimeterbogens), von letzterem zwar auch grau, aber mit den Helligkeitsdifferenzen, die seiner bekanntlich andersartigen Reizbarkeit durch spektrale Lichter überhaupt eigen sind (z. B. Rot dunkler!). Gelb und Blau dagegen entsprechen etwa jenen beiden Tönen, in denen diesen Dichromaten unserer Vermutung nach die beiden Teile des Spektrums erscheinen.

Das Gesichtsfeld enthält also in typischen Fällen die farblose und die Blau-Gelbgrenze, während das Rot- und Grünfeld fehlt. Bei Verwendung älterer Objektarten ist das wegen der willkürlichen Lage ihrer Töne im Spektrum keineswegs der Fall, wenn man sich wie gewöhnlich einfach an die Benennungen des Untersuchten hält. Dieser gibt vielmehr auch die spezifischen Grenzen für Rot und Grün richtig an, oft nicht einmal mit einer merklichen Einschränkung, so daß derartige Fälle der üblichen Perimetrie entgehen. Den neuen Farben gegenüber ist das selbstverständlich ausgeschlossen selbst dann, wenn bei zentraler Fixation einmal die Farben noch richtig benannt werden. Daß dies bisweilen geschieht, wird wohl bei der Art, wie die Dichromaten und anomalen Trichomaten unsere Farbenbezeichnungen anwenden und zugleich auf die Bewertung feinsten Helligkeitsdifferenzen eingestellt sind, nicht wunder nehmen. Stets ist dann aber auch bei ihnen eine sehr starke Einschränkung vorhanden. Selbst bei den anomalen Trichomaten habe ich die letztere bisher niemals vermißt, allerdings standen mir solche Fälle, die dem Normalen sehr nahe verwandt waren, bisher

nicht zur Verfügung. Für die Protanopen und Protanomalen ändert sich die periphere Helligkeit unserer Farben. Daß dies zu einer verschiedenen Beeinflussung der physiologischen Sättigung und damit der farbigen Schwellen führen kann, bedarf nur der Erwähnung. Aus einer größeren Anzahl auch am Perimeter untersuchter Fälle von angeborener Farbensinnstörung gebe ich hier nur einige typische Beispiele wieder:

Der Kürze halber verzeichne ich nur die typischen Einstellungen am Anomaloskop. Alle Patienten wurden aber außerdem mit Nagels, Stillings, Podestas und Cohns Tafeln gegengeprüft. Einzelne auch

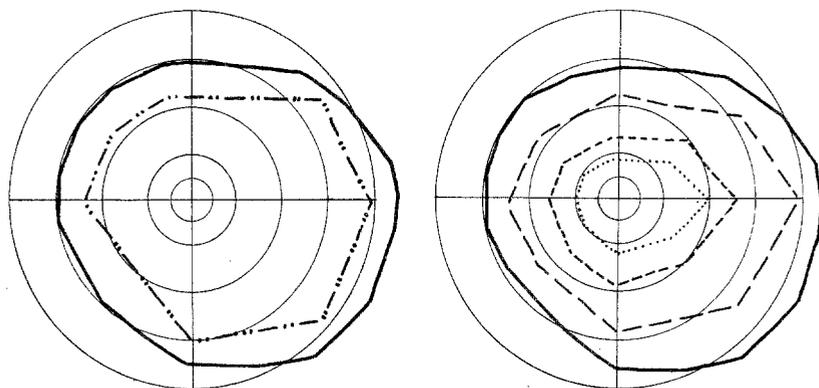


Abb. 1. Deuteranopie; Fehlen der Rot-Grün-grenze, verhältnismäßig weite Blau-Gelbgrenze (physiol. Farben).

Abb. 2. Derselbe Fall wie Abb. 1 mit älteren Tuchproben.

„Zeichenerklärung.“		
Weiß: —————	Blau: - - - - -	Gelb: ········
Rot: ········	Grün: ········	Blau-Gelb: - · - · - ·
	Rot-Grün: ········	

an einem für Praktikumsversuche bestimmten Spektralfarbenmischapparat.

I. F. W., 27 Jahre. Deuteranopie, Visus L. $\frac{6}{8}$. Nagels Anomaloskop: Lithium-Natriumgleichung bei Einstellung rechts auf 13; Thallium-Natriumgleichung bei Einstellung rechts auf 34; Rayleighgleichung R. 14 = L. 64.

Gesichtsfeld (vgl. Abb. 1)¹⁾ mit unsern Proben: Farblose Feldgrenze und Blaugelbgesichtsfeld o. B. Letzteres sehr weit. Rotgrün Gesichtsfeld fehlt. Letztere beiden Farben werden also auch zentral nicht erkannt; Helligkeit beider Farben annähernd gleich der des Grundes. Das alte Gesichtsfeld (Abb. 2) zeigt keine Besonderheiten.

II. H. H., 23 Jahre. Protanopie. Visus beiderseitig $\frac{6}{8}$. Anomaloskopgleichungen: L. 0 = R. 66, L. 87 = R. 4, R. 14 = L. 63. Das Gebiet der neutralen Zone ließ sich am Farbenmischapparat etwa durch die Wellenlängen 494 und 484

¹⁾ Alle Gesichtsfelder dieser Arbeit sind, wo nichts anderes bemerkt ist, mit Objekten von 10 mm Seitenlänge aufgenommen worden. Die Kreise auf den Abbildungen haben 20° Abstand voneinander; nur zwischen 0° und 20° ist noch der 10°-Kreis eingefügt.

umgrenzen, alle langwelligeren Lichter wurden in Abstufungen des Gelb, alle kurzwelligeren als solche des Blau gesehen.

Gesichtsfeld (Abb. 3), farblose Feldgrenze und Blaugelbgrenze o. B., letztere allerdings ziemlich eng. Blau- und Gelbgrenze liegen in der Regel zusammen, an zwei Tagen war jedoch die Gelbgrenze in mehreren Quadranten um 10—15° enger. Rot und Grün auch zentral nicht erkannt. Grün wird als „etwas heller“, Rot als „deutlich dunkler“ dem Perimetergrunde gegenüber bezeichnet, Gelb und Blau peripher etwa gleichhell, vielleicht das Gelb etwas dunkler. Das Gesichtsfeld nach der alten Methode (Abb. 4) zeigt keine Besonderheiten. Die zentrale Empfindlichkeit für Blau sowohl wie für Gelb, geprüft am Kreisel, war einer normalen Vergleichsperson gegenüber nicht herabgesetzt.

In Anbetracht der zeitweiligen Einschränkung der Gelbgrenze wurde auch eine Prüfung der Dunkeladaptation vorgenommen: reduzierte Empfindlichkeitswerte sofort 21 (normale Kontrolle 21), nach 2 Minuten 32 (Kontrolle 32),

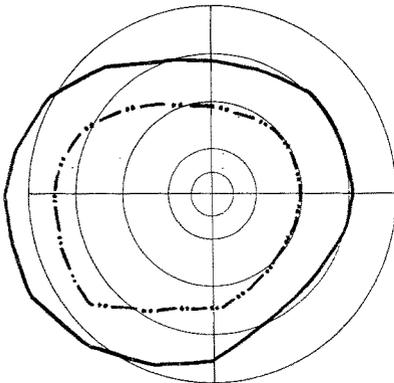


Abb. 3. Protanopie; Fehlen der Rot-Grüngrenze, normale, aber vielleicht etwas enge Blau-Gelbgrenze (physiol. Farben).

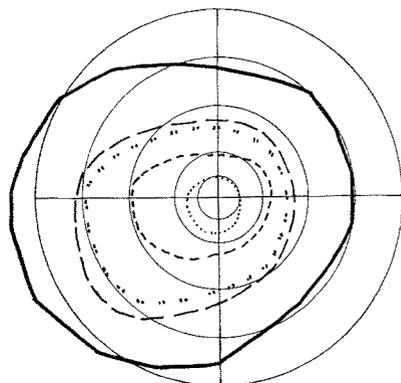


Abb. 4. Derselbe Fall wie bei Abb. 3 mit Tuchproben.

nach 15 Minuten 10 400, nach 30 Minuten 58 000, nach 45 Minuten 65 000. Also kein pathologischer Befund.

Es wurde bereits erwähnt, daß nicht alle Deuteranopen und Protanopen sich genau so verhalten. Ein Farbwechsel wurde allerdings auch für Rot und Grün nicht beobachtet, ist übrigens theoretisch auch kaum zu erwarten.

Als Beispiel für ein typisches Deuteranomalengesichtsfeld verweise ich auf den unten genauer mitgeteilten Fall (V. B., Nr. XIV) und die Gesichtsfelder (Abb. 5, 6 u. 7).

Der letzte hier anzuführende Fall betrifft eine Protanomalie:

III. A. Sch., 33 Jahre. Anomaloskop: R. 14 = L. 69, L. 87 = R. 7, L. 50 = R. 28, L. 40 = R. 39, L. 30 bis L. 0. keine Gleichung. Gesichtsfeld: (Abb. 8). Grenzen für Gelb und Blau zusammenfallend, ebenso für Rot und Grün. Letztere werden nur im Umkreise von etwa 2° um den Fixierpunkt erkannt. Gesichtsfeld mit Stoffproben uncharakteristisch. Die zentrale Empfindlichkeit gegenüber Blau und Gelb für die Prüfung am Kreisel normal.

Aus diesen Gesichtsfeldern erhellt die leichte und sichere Erkennbarkeit der angeborenen Farbensinnstörungen. Natürlich kann nicht daran gedacht werden, dieses Ergebnis dahin auszu-

legen, daß hier eine Methode zur Prüfung angeborener partieller Farbenblindheit vorgeschlagen werde, die andere ersetzen könnte. Immerhin darf sie meines Erachtens als eine willkommene Bereicherung der uns sonst zur Verfügung stehenden Mittel angesehen werden, und erst eine sehr umfangreiche Erfahrung wird herausstellen, ob sie uns etwas zu

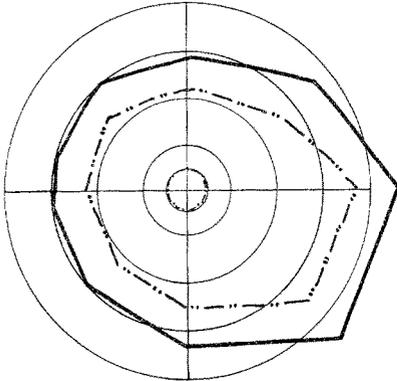


Abb. 5. Deuteranomalie (+ Hemeralopie) auffallende Einengung der Rot-Grüngrenze, normale, ziemlich weite Blau-Gelbgrenze (physiol. Farben).

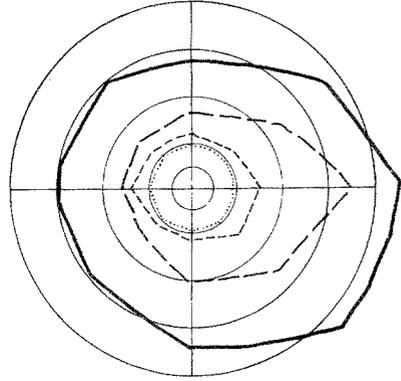


Abb. 6. Derselbe Fall wie bei Abb. 5 mit älteren Tuchproben.

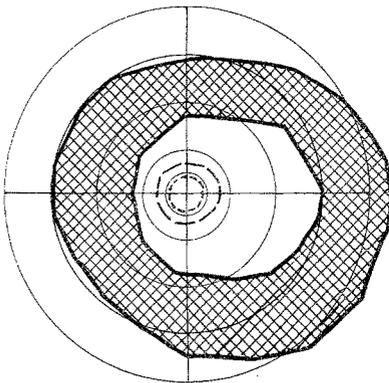


Abb. 7. Derselbe Fall wie bei Abb. 5 bei herabgesetzter Beleuchtung (physiol. Farben).

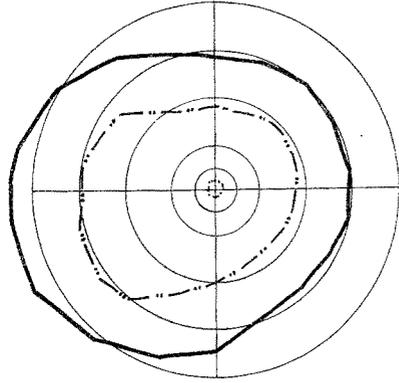


Abb. 8. Protanomalie; hochgradige Einengung der Rot-Grüngrenze, verhältnismäßig enge Blau-Gelbgrenze (physiol. Farben).

lehren vermag, was in so einfacher Form auf andere Weise nicht darstellbar ist.

Diese Hoffnung darf man vielleicht in erster Linie für die Auffindung angeborener Tritanopien hegen. Diese entgehen bisher so leicht der Beobachtung, weil sie hinsichtlich der praktisch wichtigsten Farben: Rot, Gelb und Grün, keine auffälligen Fehler machen. Bei Verwendung physiologischer Perimeterobjekte ist ein Fehlen der Gelbblaugrenze zu erwarten, denn unser Gelb liegt ja dem Ton nach wahrscheinlich,

wie für den Deuteranopen das Grün, an der neutralen Stelle des Spektrums (etwa $575 \mu\mu$). Daß die Beurteilung der farblosen Helligkeit eine andere als beim Gesunden ist, daß also die Peripheriegleichheit der Farben für den Tritanopen sowenig wie für den Protanopen erhalten bleibt, ergibt sich ohne weiteres aus einem Vergleich der Aichwertkurven und bedarf keiner besonderen Erörterung.

Das eigentliche Ziel der neuen Perimeterobjekte liegt allerdings stets in der Erkennung und Durcharbeitung der erworbenen Farbensinnstörungen.

Die eigenartig regionäre Beschränkung eines Teils derselben in Gestalt von Skotomen und Einengungen, die Mannigfaltigkeit der tatsächlichen Übergänge, hier zum normalen Verhalten, dort zum dichromatischen oder monochromatischen Zustande, schließlich auch der verschiedenen Störungen zueinander, macht die Farbenperimetrie unentbehrlich trotz der in anderen Beziehungen selbstverständlichen Überlegenheit der spektralen Untersuchungsmethoden. Die Grenzen, die hier jeder Perimetrie und damit auch unsern Vorlagen gezogen sind, sollen nicht verkannt werden und sind bereits in der Einleitung berührt worden. Die Vielgestaltigkeit der erworbenen Farbensinnstörungen, sowie das oft ganz Atypische der Empfindungen macht überdies das Bedürfnis nach einer reichlichen und sorgfältigen Auswahl von Pigmentfarben rege. Es kann nicht in unserer Absicht liegen, durch die Empfehlung physiologischer Perimeterobjekte solche Farben als überflüssig hinzustellen, im Gegenteil werden sie als notwendige Ergänzung anzusehen sein; aber sie können ihren Zweck nicht voll erfüllen, solange uns zur eigentlichen Perimetrie physiologisch fest charakterisierte Muster fehlen. Gerade den erworbenen Störungen gegenüber muß auf diese großer Wert gelegt werden, denn hier gewinnen ihre Beziehungen zur Lage der neutralen Zonen, sowie der sog. „Endstrecken“ des Spektrums, eine besondere Bedeutung.

Bei den angeborenen Anomalien war dargelegt worden, daß und warum die älteren Objekte versagen. Für die erworbenen ist das zwar nicht in gleichem Umfange der Fall, weil die Patienten durch den ihnen aus der Erinnerung oder durch Betrachtung in verschiedenen Regionen des Gesichtsfeldes möglichen Vergleich mit der normalen Empfindung die Unterschiede leichter bemerken. Trotzdem aber ist ihre Unterlegenheit auch hier auffallend genug. Den neuen Farben ist nämlich durch ihre Stellung im Spektrum wie ihre Helligkeitsverhältnisse von vornherein eine Empfindlichkeit als Prüfungsmittel gesichert, die auf anderem Wege nicht erreichbar ist, und die doch für die klinische Perimetrie eine wesentliche Erleichterung darstellt. Um das zu würdigen, ist es nur notwendig, sich zu überlegen, wie die Farben auf Patienten mit einigermaßen typischen erworbenen Farbensinnstörungen wirken.

Ergebnisse bei den progressiven konkomitierenden Farbensinnstörungen (progressiven Rot-Grün-Blindheiten).

Man vergegenwärtige sich an Hand zweier von Köllner aufgestellter Tabellen, die ich hier wiedergebe, wie zunächst den Patienten mit progressiver konkomitierender Farbensinnstörung — so möchte ich die „erworbene Rot-Grün-Blindheit“ wegen der wohl stets gleichsinnigen, wenn auch nicht gleichmäßigen Beeinträchtigung der Empfindungen für Gelb und Blau lieber nennen, um eine vorzeitige theoretische Stellungnahme zu vermeiden — die verschiedenen Töne des Spektrums erscheinen. Bereits in einer Phase, in der noch trichromatisches Sehen besteht, ändern bekanntlich die meisten Farben ihre Sättigung und ihren Ton, nämlich:

	Zunächst in:	Dann in:	Schließlich in:
Spektralrot ¹⁾	schmutzigziegelrot (grauziegelrot)	schmutzigorange	weißlichgelb
Orange	graugoldgelb	weißlichgelb	
Gelb (575 $\mu\mu$)	wird nur allmählich weißlicher		
Grüngelb	weißlichgelb		
Bläulichgrün (etwa 495 $\mu\mu$)	blaßgrün	grau, farblos	
Grünblau	blaßblau		
Blau (etwa 470 $\mu\mu$)	wird nur allmählich weißlicher		
Violett	blau, etwas blasser		

Ist der Prozeß soweit vorgeschritten, daß ein rein dichromatisches System erreicht ist, so ist das Verhalten folgendermaßen:

Wellenlängen des homogenen Lichts und Empfindung des Normalen	Farbenempfindungen nach Angaben des Patienten	Die Empfindung des Patienten kann bei dem Normalen erzielt werden (nach H e s s).	
690 $\mu\mu$ (dunkelrot).	dunkelgelb, feuerfarben, dunkelgraugelb schmutzigdunkelgelb	Gelb von 575 $\mu\mu$ unter Mischung von Weiß bei geringer Intensivität.	
656 $\mu\mu$ (rot)	schmutziggelb, feuerfarben		
610 $\mu\mu$ (orange)	gelb, feuerfarben, lichtfarben	Gelb von 575 $\mu\mu$ unter Mischung von Weiß	
589 $\mu\mu$ (goldgelb)	„ „ „		
575 $\mu\mu$ (gelb)	„ mattgelb, lichtfarben		
551 $\mu\mu$ (gelbgrün)	gelblichgrau, lichtfarben		
550—520 $\mu\mu$ (grün)	gelblichgrau, lichtfarben		
520—496 $\mu\mu$ (blaugrün)	gelblichgrau, grau, weiß	farbloses Tageslicht	
495 $\mu\mu$ (blaugrün)	grau, weiß		
494—485 $\mu\mu$ (grünblau)	mattblau, bläulichweiß		
471 $\mu\mu$ (indigoblau)	violettblau, kornblumenblau, lilablau		Blau von 471 $\mu\mu$ unter Mischung von Weiß
440—430 $\mu\mu$ (violett)			

¹⁾ Koellner: Die Störungen des Farbensinnes. Berlin 1912, S. 145 u. 148.

Als erste wichtige Tatsache ist daraus zu entnehmen, daß für jene drei Spektralfarben, denen unsere Muster praktisch entsprechen, die Invariabilität bei der unkomplizierten progressiven Farbensinnstörung bis zum Schluß bestehen bleibt, und zwar sind das, wenn man unser Rot hinzu nimmt, das zwar nicht im Spektrum enthalten, aber ja die gleichen Eigenschaften hat, die einzigen inner- und außerhalb des Spektrums, die ohne Änderung ihres Tones nur an Sättigung verlieren, um schließlich in farbloses Grau überzugehen. Dadurch wird die einzelne Grenze in jedem Augenblicke des Leidens leicht und sicher feststellbar. Farbverwandlungen, wie sie bei dem alten Rot und Grün schon für den Normalen vorkamen, bedingen allemal große Unsicherheiten, da wir es in der Regel mit ungeübten Beobachtern zu tun haben.

Dazu kommt dann noch etwas anderes: Je weiter die Störung fortschreitet, desto mehr nähern sich alle Töne des Spektrums unserem Blau und Gelb (sogenannter kalt- bzw. warmtoniger Teil des Spektrums) jenen beiden Farben, die im dichromatischen Stadium der Erkrankung allein, wenn auch selbst bereits geschwächt, noch übrigbleiben. Während als erste Töne Grün und Rot verschwinden, d. h. am empfindlichsten reagieren, bleiben diese bis zuletzt erhalten, als die für den „Rotgrünblinden“ annähernd optimalen Farben. Solches Verhalten, das natürlich im Gesichtsfeld in analoger Weise an der Lage der Grenzen bemerkbar wird, muß für die perimetrische Untersuchung zur Folge haben, daß die Rot- und Grüngrenze bei unseren Farben früher in Bewegung gerät als bei solchen, die dem spektralen Rot und Grün entsprechen. Letzteren bleibt selbst dort, wo unser Rot und Grün bereits verschwunden ist, durch die erwähnte wesentliche Tonänderung immer noch eine gewisse Sättigung erhalten, wodurch dann natürlich auch die Schwellenlage mit beeinflußt wird.

Für die physiologischen Objekte wird also beim Auftreten einer progressiven konkomitierenden Farbensinnstörung die normalerweise gleich weite Grenze für Rot und Grün enger sein, als für die sonst üblichen Vorlagen. Dagegen verharren Blau und Gelb, auch sie im Ton unverändert, verhältnismäßig sehr lange in größerer Weite, während sich für jede diesem Blau und Gelb ähnliche Farbe von anderer Stellung im Spektrum mit gleichzeitiger Tonvariabilität schon eine stärkere Sättigungsabnahme und damit die Einengung des spezifischen Feldes bemerkbar macht.

Das Gesamtergebnis ist eine frühere und zugleich deutlichere Ausprägung des pathologischen Zustandes am Perimeter, weil von den spezifischen Schwellen die normaleren verhältnismäßig niedrig, die in erster Linie krankhaft veränderten dagegen besonders hoch liegen.

Vorteile eines spektralen Rot und Grün sowie einiger bestimmter anderer Farben des Spektrums könnten vielleicht in der Möglichkeit gesucht werden, durch Benennenlassen des Farbwechsels die Art der vorliegenden Veränderung genauer zu definieren und so über die Empfindungen des Patienten eingehendere Auskunft zu erlangen. Für solche Zwecke wird man sich aber besser eine ohnehin notwendige Reihe farbiger Papiere von stärkster Sättigung vorrätig halten, die für die Perimetrie selbst nicht in Frage kommen. Mit dem unmittelbaren Ziel der Gesichtsfeldprüfung berühren sich derartige Wege der Untersuchung nur indirekt. Die Feststellung der Grenzen ist zweifellos sicherer, wenn man eine gewisse Gewähr hat, daß die Qualität der Empfindungen während der Untersuchung normalerweise die gleiche bleibt.

Es liegt der Einwand nahe, daß durch eine von Natur etwas andere Lage der neutralen Zone, und weil unsere Farben als Pigmente nicht eine einzige Strahlenart vermitteln, die Invariabilität des Rot und Grün aufgehoben werden könnte. Die Erfahrung lehrt jedoch, daß dem hier nicht so ist, sei es weil die neutrale Zone verhältnismäßig gut fixiert ist, oder weil sie sehr früh eine ziemlich große Ausdehnung gewinnt, da stets gleichzeitig auch die Empfindungen für Blau und Gelb geschädigt werden, und zwar um so stärker, je weiter der Prozeß vorgeschritten ist.

Da wir unter Berücksichtigung dieser speziellen Verhältnisse und nach den obenerwähnten andersartigen Versuchen mit Pigmenten und vor allem am Spektralapparat wissen, daß bei der progressiven konkomitierenden Farbensinnstörung die Invariabilität der vier Farben praktisch erhalten bleibt, wird jede Änderung des Farbtones, die mit Sicherheit als solche festgestellt wird, unsere erhöhte Aufmerksamkeit beanspruchen, weil der Verdacht einer Komplikation z. B. mit irgendeiner Form der Chromatopie, des Farbsehens also oder dgl., nahegelegt wird. Ich komme unten auf solche Phänomene zurück.

Die mitgeteilten Eigenschaften der physiologischen Objekte erlauben nun einigen Fragen näher zu treten, die der bisherigen Perimetrie unzugänglich waren.

Die wichtigste Frage wird vielleicht sein, in welcher Reihenfolge bei der progressiven konkomitierenden Farbensinnstörung die Farbensinnempfindungen verloren gehen, und zwar zunächst innerhalb eines Farbenpaares, insbesondere also, ob etwa die Grünempfindung eher schwindet als die Rotempfindung. Bei spektralem Grün und Rot ist das bekanntlich der Fall; da aber diese beiden Farben auch normalerweise nicht die gleiche physiologische Sättigung haben, so liegt hier ein immer noch ungelöstes Problem vor, obgleich eine gewisse Wahrscheinlichkeit von der Betrachtung des allgemeinen Charakters

dieser Schädigung aus auf einen gleichmäßigen Verlust beider Empfindungen hindeuten könnte: die bisher gebräuchlichen Pigmente können natürlich darauf keine Antwort geben, wohl aber unsere Objekte.

Die Fragestellung kann für die Perimeterprüfung so formuliert werden, ob in jeder Phase der Erkrankung Rot- und Grünschwelle, d. h. auch -grenze zusammenfalle. Zur Entscheidung stehen mehrere Wege offen; erstens kann man diese Beziehungen in den verschiedenen Stadien, bei gleichbleibender Objektgröße verfolgen, und zweitens ist in geeigneten Fällen das farbige Feld solange zu vermindern, bis eine Farbe auch zentral nicht mehr erkannt wird, und nun das Verhalten der anderen zu beobachten. Zum dritten können am Kreisel die farbigen Sektoren, die zum Überschreiten der spezifischen Schwelle oder Unterschiedsschwelle erforderlich sind, festgestellt und verglichen werden. Doch ist diese Methode für den allgemeinen klinischen Betrieb nicht so geeignet, weil die Schwellen nicht in allen Teilen des Gesichtsfeldes gleich hoch liegen und eine gewisse Übung der Patienten Voraussetzung ist, wenn die Resultate exakt verwertbar sein sollen. Wie für Rot und Grün, so wird dann auch für Blau und Gelb das relative Verhalten der Empfindungsschwellen festzulegen sein.

Von nicht minderem Interesse ist es, zu untersuchen, wie sich die Lage der Grenzen von Paar zu Paar verhält. Steht die Beeinträchtigung der Empfindlichkeit für Blau in einem festen Verhältnis zu der für Rot, schwinden beide in gleicher Proportion, oder finden sich hier Unterschiede, und wie ist das Verhältnis beider zur farblosen Feldgrenze? Die Antwort wird hier nicht so eindeutig und sicher ausfallen können, weil die Beziehungen der verschiedenen Gesichtsfelder schon normalerweise verhältnismäßig locker, überdies auch in weitem Umfange veränderlich zu sein scheinen. Immerhin, gewisse große Richtlinien müssen sich auffinden lassen und sind, wie zu zeigen sein wird, leicht angebbar. Schließlich wird sich dann schon hier ergeben, inwieweit es berechtigt ist, sich zur übersichtlichen Darstellung des Farbensinnes unter pathologischen Verhältnissen auf weniger als die vier angegebenen Farben zu stützen, insbesondere, ob ein erschöpfendes Bild womöglich schon durch eine Farbe, etwa Rot, zu gewinnen ist.

Ehe ich in die Erörterung der hier vorgelegten Fragen eintrete, gebe ich eine Auswahl von Gesichtsfeldern und Berichten über Kranke mit progressiver konkomitierender Farbensinnstörung. Am reinsten findet sich diese nach wohl begründeten Erfahrungen bei retrobulbären Leiden. Ich beginne deshalb mit solchen:

IV. St. P. 44 Jahre alt, seit Jahren ist das linke Auge erblindet, Patientin kommt, weil sie rechts oben schlechter sieht, besonders beim Anzünden von Lampen usw.

Interner Befund 1919: Hemiplegie l., pluriglanduläre Störungen, Polyurie, Polydipsie, Amenorrhöe, Myxödem, Adipositas, Fehlen der Libido, Fehlen des Schwitzens usw., Wa. —. Diagnose: Vasculäre und gummöse Lues cerebri mit Beteiligung der Hypophyse.

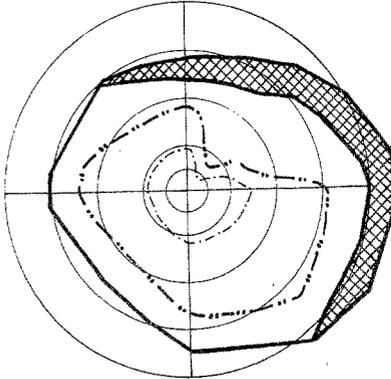


Abb. 9. Sektorenförmige Einengung der Blau- und Gelb-, sowie der Rot- und Grüngrenze bei gummöser Lues cerebri mit Beteiligung der Hypophyse.

Augenbefund jetzt: Links: vis. Lichtschein bei stärkster Beleuchtung, einfache Sehnervenatrophie. Gesichtsfeld —. Rechts $\frac{6}{6}$. Fundus: vielleicht geringe temporale Abblässung, sonst o. B.

Gesichtsfeld: deutliche Einengung für alle Farben im obern äußern Quadranten. Grenzen für Rot und Grün sowie für Gelb und Blau fallen zusammen (vgl. Abb. 9). perimetrische Diagnose: beginnende progressive Farbensinnstörung im obern äußern Gesichtsfeldquadranten. —

Auch die beiden folgenden Fälle zeigen eine retrobulbär bedingte progressive Farbensinnstörung:

V. I. E. 63 Jahre. Schon seit 1906 Augenkrank, 1907 zum erstenmal hier in Beobachtung. Damals Wa. +. Beiderseits Atrophia nervi optici simplex, reflektorische Pupillenstarre und hochgradige Beschränkung beider Gesichtsfelder, besonders temporal. Hemianopische Begrenzung der Farbengesichtsfelder. 1920:

Kommt wieder, weil er bei Nacht schlecht sieht. Visus r. $\frac{6}{36} + 1,0$ D. = $\frac{6}{20}$.

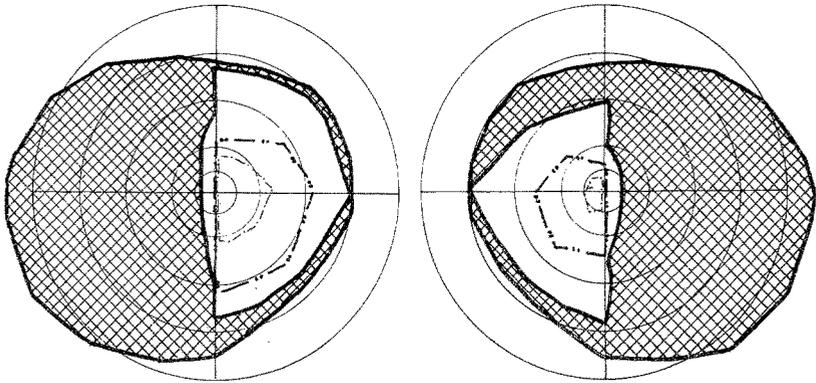


Abb. 10 u. 11. Progressive konkomitierende Farbensinnstörung bei doppelseitigerluetischer Sehnervenatrophie, Chiasmaerkrankung (+ Hemeralopie).

l. $\frac{6}{24}$ part. + 1,75 D. $\frac{6}{10} + 4,5$ D. Nd. II bzw. I. Beiderseits einfache Sehnervenatrophie, rechts stärker als links, Miosis, reflektorische Pupillenstarre.

Gesichtsfelder (vgl. Abb. 10 und 11). Beiderseits für Weiß und Farben hochgradig eingeengt, letztere temporal noch mit hemianopischer Begrenzung, Grenzen für Blau und Gelb einerseits, Rot und Grün andererseits zusammenfallend.

Dunkeladaptation bedeutend herabgesetzt:

	Sofort	Nach 2 Min.	Nach 15 Min.	Nach 30 Min.	Nach 45 Min.
Rechts	0	0	130	520	580
Links	0,7	5,3	370	1040	1 040
Beiderseits	0,93	5,3	435	1300	1 300
Norm. Kontrolle bds. . .	13,0	132			148 000

Die perimetrische Diagnose lautet: Progressive Farbensinnstörung beiderseits, gleichzeitig hochgradige Hemeralopie. R. stärker als L.

VI. H. J., 59 Jahre. In letzter Zeit Abnahme der Sehschärfe. Visus r.: $\frac{6}{36}$ Gl. b. n. l. $\frac{6}{36}$ Gl. b. n. + 5,0 Nd. XI. Fundus beiderseits o. B. Beiderseits zentrales, relatives Skotom für Weiß, absolutes für alle Farben.

Gesichtsfeld (vgl. Abb. 12): Die Grenzen für Rot und Grün, sowie für Blau und Gelb fallen zusammen, das Blaugelbskotom deutlich kleiner als das für Rot und Grün. Diagnose: Retrobulbäre Neuritis beiderseits mit zentraler typischer progressiver konkomitierender Farbensinnstörung. —

Intrabulbäre Lokalisation zeigt die progressive Farbensinnstörung bei allen folgenden Patienten.

VII. J. G., 75 Jahre, seit 2 Jahren Abnahme der Sehkraft rechts, seit 1 Jahr auch links. Beiderseits Glaucoma simplex. Visus r. Amaurose, l. Abb. 2. Beiderseits flache Vorderkammer und atrophische Iris. Tiefe glaukomatöse Exkavation bei sonst normalem Fundus. Druck: L. 40, R. 28.

Gesichtsfeld (vgl. Abb. 13): L. Weiß mit 10 mm., Farben mit 20 mm Obj.mäßige konzentrische Einengung für Weiß, stärkste für Farben. Mit 10 mm Obj. wird Rot und Grün nur in Ausdehnung von etwa 2° jederseits, Blau und Gelb in 4 Gr. jederseits um den Fixierpunkt erkannt. Mit 5 mm Obj. hat das Blaugelbfeld eine Ausdehnung von 2 Gr. jederseits, Rot und Grün werden nur bei genauester zentraler Fixation erkannt, beide gleichmäßig. Von den 3 mm Obj. wird nur noch Blau und Gelb zentral, Rot und Grün nicht mehr erkannt. Es liegt also eine typische progressive konkomitierende Störung mit sehr starker Beeinträchtigung auch der Blaugelbempfindung vor. Die Rot- und Grüngrenzen liegen stets genau zusammen und schwinden gemeinsam, ebenso die für Gelb und Blau.

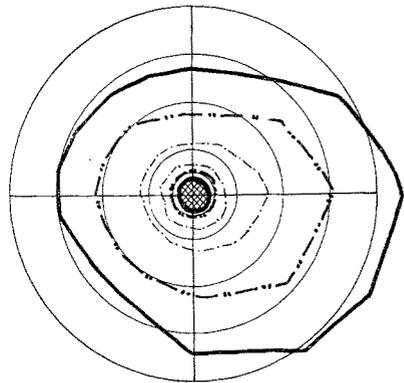


Abb. 12. Zentraler Ausfall bei Neuritis retrobulbaris.

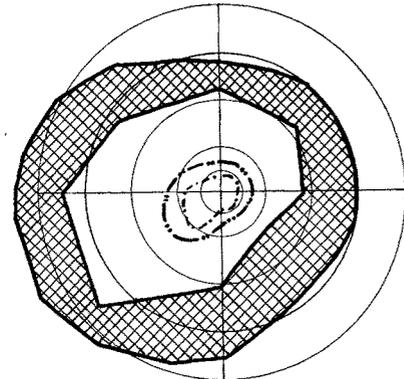


Abb. 13. Konzentrische Einengung bei Glaucoma simplex, besonders stark für alle Farben. (Weißgrenze mit 10 mm-, farbige mit 20 mm- (!) Objekten.)

Auch der unten (Fall XVIII) mitgeteilte Bericht über Hemeralopie bei Siderosis bulbi zeigt eine typische progressive Farbensinnstörung, ich kann deshalb schon hier darauf verweisen (Abb. 14).

Die nächsten beiden Fälle sind deshalb von Interesse, weil bei ihnen relativ sehr hochgradige Veränderungen der Rot- und Grünempfindungen nachweisbar waren. Der eine betrifft ein sekundäres Glaukom nach chronischer Iritis.

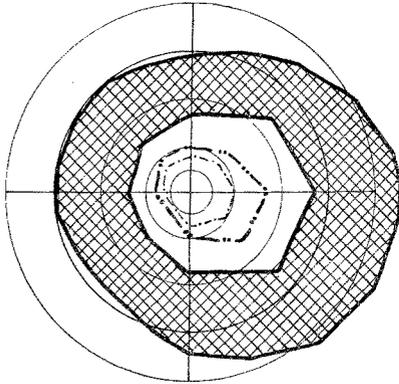


Abb. 14. Konzentrische Einengung bei Siderosis bulbi (+ Hemeralopie).

VIII. E. B., 50 Jahre, Patient kommt mit lebhaft gesteigertem intraocularem Druck rechts (Tonomet. 62 mm Hg.) zur Untersuchung. Visus Finger in 4 m, die Gesichtsfeldprüfung mit den neuen Farben ergab außer dem typischen nasalen Sprung eine konzentrische Einengung für Weiß und Farben, und zwar bei verhältnismäßig weitem Blaugelbfeld besonders für Rot und Grün, die überhaupt nur noch parazentral erkannt werden, beide in gleichem Umfang. Für alte Objekte (Stoffproben) war das Rotgesichtsfeld auffallend weiter und auch die zentrale Rotempfindung noch erhalten. Das Bild ist also viel weniger typisch.

Cyclodialyse am 23. 4., worauf Druckregulierung erfolgte.

11. 5. Tension 14,0. Visus: Finger 6 m. Das Gesichtsfeld (vgl. Abb. 15 und 16) weist eine weitgehende Restituierung der Blaugelbgrenzen, die zusammen-

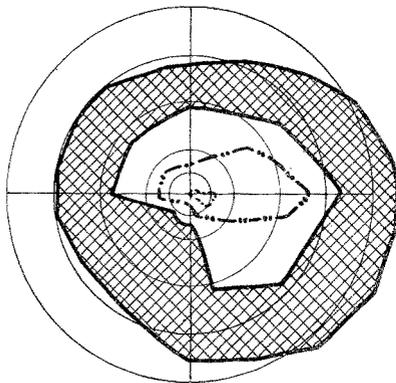


Abb. 15. Konzentrische Einengung mit nasalem Sprung bei Glaucoma chron. inflam. Charakteristisch weite Blau-Gelb-, sehr enge Rot-Grün-grenze. (Physiol. Farben).

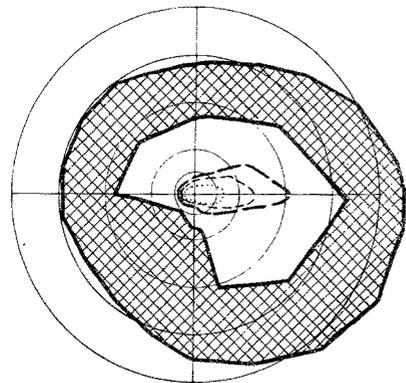


Abb. 16. Derselbe Fall wie Abb. 15 mit älteren Tuchproben; relative Lage der Farb-grenzen weniger charakteristisch.

liegen, auf. Rot und Grün dagegen werden auch jetzt nur in einem kleinen parazentralen Bezirk, der eben bis in den Fixierpunkt hineinragt, erkannt. Im Vergleich zu diesem Gesichtsfelde muß das nach der alten Methode (Abb. 16) ermittelte auch jetzt als ziemlich uncharakteristisch angesehen werden, sowohl was die relative Lage der Farb-grenzen zueinander betrifft, als auch bei Beachtung der Beziehungen zum Fixierpunkt.

Der andere Fall stellt für unsere 10 mm Objekte ein rotgrünblindes dichromatisches System dar.

IX. B. O., 5. 5. Seit gestern Verdunkelung vor dem rechten Auge. Visus r.: Handbewegung in 1 m Gl. b. n. sehr ausgedehnte um die Papille herum flache, sonst stärker gewellte Netzhautabhebung. Vom Gesichtsfeld ist nur ein sichelförmiger etwa 50 Gr. breiter und durch $1\frac{1}{2}$ Quadranten konzentrisch zum Fixier-

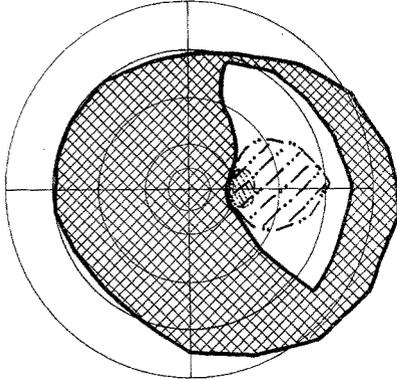


Abb. 17. Seröse Netzhautabhebung mit progressiver konkomitierender Farbensinnstörung. Stärkste Beeinträchtigung des Rot-Grünesichtfeldes, geringere für Blau und Gelb.

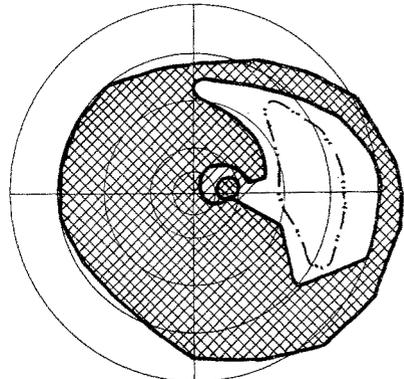


Abb. 18. Derselbe Fall wie bei Abb. 17, etwas später. Feldgrenzen für Rot und Grün verschwunden, für Weiß, Blau und Gelb teilweise wieder hergestellt. Vis. Hbw. 1 m.

punkt gelegener Bezirk erhalten, Rot und Grün in engen, Blau und Gelb in etwas weiteren Grenzen erkannt (Abb. 17). Nach einigen Tagen ist das Restgesichtsfeld mit dem blinden Fleck durch eine schmale Brücke verbunden. Es werden nur Blau und Gelb, diese aber in großer Ausdehnung und gleichen Grenzen erkannt (Abb. 18). Links Visus — 21,0 D = $\frac{6}{24}$ Fundus außer myopisch-atrophischen Veränderungen o. B. Farbensichtsfeld o. B.

II. 5. R. Visus — 16,0, Finger in 3 m.

Gesichtsfeld (Abb. Nr. 19): Blau und Gelb in gleichen Grenzen erkannt. Rot und Grün weder zentral noch exzentrisch. An einigen Tagen wurde die Gelbgrenze um etwa 15 Gr. enger als die für Blaugefunden. Die Angaben waren jedoch während dieser Zeit unsicher, so daß auch über den genauen Farbenton, sowie über die Helligkeitsverhältnisse in dieser Netzhautpartie ein sicheres Urteil nicht zu gewinnen war; wahrscheinlich lag eine der bei Ablatio üblichen Komplikationen vor.

Der Fall soll die große Unabhängigkeit der Schwellen von Paar zu Paar illustrieren durch Fehlen des Rot- und Grünesichtfeldes bei in großer Ausdehnung erhaltenen Gelb- und Blaugrenzen. Dieser für Ablatio retinae ungewöhnliche und insofern bemerkenswerte Befund ändert sich nach etwa 6 Wochen

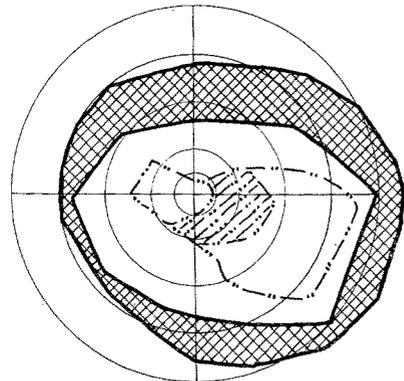


Abb. 19. Derselbe Fall wie bei Abb. 17, noch später; nur noch geringe Beeinträchtigung der Blau-Gelbgrenze und Weißgrenze. Trotzdem fehlt das Rot-Grünesichtsfeld nach wie vor!

dahin, daß beide Farbenpaare nur in und unmittelbar um den Fixierpunkt erkannt wurden, und zwar jetzt Rot und Grün in weiteren Grenzen als Blau und Gelb.

Gesichtsfelder mit reiner progressiver konkomitierender Farbensinnstörung liegen auch bei dem unten (S. 119) mitgeteilten Beispiele von Retinitis pigmentosa vor.

Zum Schluß gebe ich noch kurz einen Befund bei erworbener totaler Farbenblindheit.

X. K. J., einfache Sehnervenatrophie beiderseits, metaluetisch, Wa. positiv. Rechts: Lichtschein, träge Pupillenreaktion. Links Visus: Finger in 2,5 m, Pupillenbewegung o. B. Dunkeladaptation: sofort 7,2 (Kontrolle durch Normalen: 32) nach 15 Minuten 2900, nach 30 Min. 5800, nach 50 Minuten 6500. Also deutliche Hemeralopie.

Gesichtsfeld mit 10 mm Objekten (Abb. 20) für Weiß mäßige konzentrische Einengung. Farben wurden selbst bei 4, ja 8 cm Seitenlänge der Vorlagen nicht

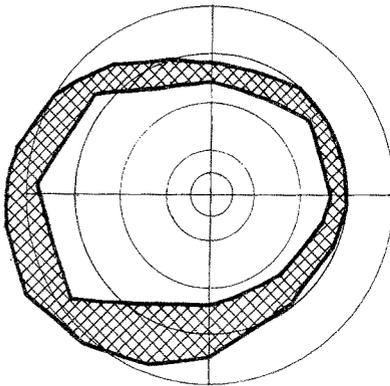


Abb. 20. Erworbene totale Farbenblindheit bei luetischer einfacher Sehnervenatrophie. Sehr geringe Einschränkung der Weißgrenze.

erkannt, alle aber in der Helligkeit des grauen Perimetergrundes gesehen. Im Gegensatz dazu bezeichnete ein Knabe mit angeborener totaler Farbenblindheit, dessen Gesichtsfeld aus technischen Gründen nicht aufgenommen werden konnte, mit Bestimmtheit Rot als Schwarz, Grün und Blau dagegen als sehr hell.

Aus dem angeführten Material, das nur Beispiele darstellt, die sich leicht vermehren ließen, geht zunächst hervor, daß bei der typischen unkomplizierten progressiven konkomitierenden Farbenblindheit die Farbgrenzen für Rot und Grün

einerseits, für Blau und Gelb andererseits identisch bleiben in der Art, wie das für das normale periphere Sehen zuerst von C. v. Hess dargelegt worden ist.

Ob der krankhafte Prozeß, wie im Beginn, nur eine leichte konzentrische Einengung der spezifischen Grenzen zeitigt, oder ob er so weit vorgeschritten ist, daß ein Teil der farbigen Qualitäten weder peripher noch zentral mehr wahrgenommen wird, ob sich der Verlust in Form eines zentralen Skotoms oder einer nur noch exzentrisch erhalten gebliebenen Gesichtsfeldpartie zeigt, bedeutet für die Art und Reihenfolge, in der die Farbenempfindungen zu Verlust geraten, keinen Unterschied: Rot und Grün verschwinden ohne Änderung ihres Tones durch einfache Sättigungsabnahme zur gleichen Zeit und in gleichem Umfange, und da es sich um Farben gleicher physiologischer Sättigung handelt, ist der Schluß berechtigt: auch die Empfindlichkeit für die erwähnten Qualitäten sinkt in gleichem Maße.

In genau analoger Weise liegen die spezifischen Schwellen unseres peripheriegleichen, invariablen Blau und Gelb stets in gleicher Höhe. Auch hier kann eine Verwandlung der Qualitäten nicht wahrgenommen werden.

Soweit also scheint der sich hier geradezu aufdrängende Vergleich mit dem peripheren Sehen des Normalen unbedingt statthaft. Ja man darf noch einen Schritt weitergehen und hinzufügen: genau so, wie in der Peripherie des Gesichtsfeldes als erstes Farbenpaar überhaupt das Blau-Grün etwa von der Wellenlänge $495 \mu\mu$ mit dem zugehörigen Purpur farblos wird, als letztes dagegen ein Gelb von $575 \mu\mu$ und das zugehörige Blau von $471 \mu\mu$, so schwindet auch bei der hier zur Erörterung stehenden Erkrankung typischerweise jenes Paar zuerst, dieses zuletzt. Damit dürfte die strenge Analogie allerdings auch erschöpft sein.

Für die normale Peripherie gilt im allgemeinen die Regel, daß zwischen der Schwellenhöhe des einen und anderen Farbenpaares zwar ein zahlenmäßig fixierbares Verhältnis nicht, wohl aber ein im großen abschätzbarer und wahrscheinlich, was die Empfindlichkeit anlangt, ziemlich beständiger Abstand bleibt. — Das geht ja unter anderm daraus hervor, daß beim Normalen die Farbgrenzen sich beim Perimetrieren nicht kreuzen, wenn nicht Versuchsfehler einschließlich Unaufmerksamkeit oder Ermüdung des Patienten das Ergebnis stören.

Für die besprochenen pathologischen Zustände ist das keineswegs der Fall. Hier liegen die spezifischen Feldgrenzen bald nahe beieinander, bald sehr weit auseinander, d. h. die relative Schädigung der Blau-Gelb- und der Rot-Grünempfindung ist nicht in allen Fällen und an allen Stellen des Gesichtsfeldes gleich, wenn auch die Art der Schädigung wesentlich gleichsinnig sein mag. Als Belege weise ich auf die oben angeführten Fälle hin. — So ist auch das Verhalten der farblosen Feldgrenze zu den farbigen sehr verschieden, was am einleuchtendsten ist, wenn man das Gesichtsfeld eines Patienten mit engem Röhrengesichtsfeld und erhaltenen Farben bei Retinitis pigmentosa mit unserem Falle erworbener totaler Farbenblindheit oder auch mit Fällen von Farbenhemianopsie usw. vergleicht.

Eine befriedigende Erklärung dieser letzteren Tatsachen ist zur Zeit noch nicht möglich. In einzelnen Fällen, bei denen die Blau-Gelbempfindung auffallend früh und umfangreich gestört ist, könnte man sich vielleicht denken, daß tritanopische Symptome das Bild komplizieren, wie das umgekehrt ja bekanntlich nicht selten ist. Man muß dann allerdings fordern, daß die typischen Helligkeitsänderungen, vor allem des blauen und gelben Objektes nachweisbar sind, was keineswegs immer möglich ist; vielmehr handelt es sich oft um eine Beeinträchtigung der Blau- und Gelbempfindungen, die, der Tritanopie nicht ohne wei-

teres vergleichbar, den gewöhnlichen Veränderungen des Rot- und Grünsinnes insofern aufs nächste verwandt bleibt, als sie offenbar eine einfache Empfindlichkeitsabnahme der fraglichen Qualitäten darstellt.

Ein eigenartiges Verhalten der oben erörterten Form der Farbenblindheit im Gegensatz zur normalen Peripherie bekundet sich endlich auch in den Wahrnehmungen der farblosen Helligkeit. Allerdings scheinen auch bei der ersteren selbst in der Phase der totalen Farbenblindheit die Helligkeitsgleichungen des Normalen angenommen zu werden. Der Grad der Unterschiedsempfindlichkeit ist aber bekanntlich in beiden Fällen ungemein verschieden und nach ihrem allgemeinen Charakter auch durchaus verständlich. Auf Darstellung solcher Befunde, die sich nicht aus der perimetrischen Untersuchung ergeben, soll jedoch in diesem Zusammenhange nicht eingegangen werden.

Faßt man diese Tatsachen zusammen, so darf man sagen, daß trotz einiger bemerkenswerter Unterschiede eine auffallende Ähnlichkeit zwischen den Verhältnissen, die für die progressiven konkomitierenden Farbensinnstörungen und für die normale Gesichtsfeldperipherie gelten, besteht, ein Ergebnis, das auch ein gewisses theoretisches Interesse beanspruchen wird, wenn man bedenkt, daß die erwähnten pathologischen Vorgänge sich typischer Weise — vielleicht stets — in den nervösen Leitungsbahnen und nicht im Sinnesepithel abspielen.

Ergebnisse bei erworbener Tritanopie.

Im Gegensatz zu den Verhältnissen bei der progressiven konkomitierenden Farbensinnstörung lassen sich so allgemeingültige Regeln über die Wirkungsweise unserer Objekte bei Schädigungen ausschließlich oder doch vorzugsweise innerhalb der Blau-Gelbempfindung nicht ohne weiteres aufstellen, weil wir es hier in der Mehrzahl der Fälle mit zweifellos verschiedenen, gleichzeitigen Störungen zu tun haben, die sich in wechselnder Weise kombinieren können, nämlich erstens mit einem als erworbene Tritanopie zu bezeichnenden Ausfall, zweitens mit Beeinträchtigungen, die der „progressiven Farbenblindheit“, wie obenerwähnt, in vieler Hinsicht nahe stehen, wenn nicht mit ihr identisch sind, und drittens mit Komplikationen durch besondere Absorptionsverhältnisse, durch subjektives Farbensetzen, d. h. Chromatopien u. dgl.

Typisch erworbene Tritanopien sind überhaupt erst in beschränkter Zahl eingehend untersucht, und die Resultate sind nicht ganz einheitlich. Am meisten gesichert ist wohl die Existenz einer neutralen Zone im Spektrum in der Gegend der Wellenlängen von etwa 565 $\mu\mu$ bis 575 $\mu\mu$, also mindestens sehr annähernd unserm Gelb entsprechend, sowie eine starke Verkürzung des Spektrums im Gebiet der kurzwelligen

Strahlen. Nach der eigenartigen Lage des neutralen Punktes sollte man eine zweite neutrale Zone, entsprechend dem Ort der Komplementärfarbe, d. h. eines Blau von etwa 461—471 $\mu\mu$ vermuten. In der Tat wurde sowohl bei den Fällen von König, von v. Vintschgau und Hering, von Piper, Levy, sowie von Collin und Nagel eine zweite neutrale Zone beobachtet. Ich selbst habe unten einen ähnlichen Fall beschrieben. Die ungefähr dem Ton der ersten neutralen Stelle entsprechende Gegenfarbe wurde also unter bestimmten Bedingungen ebenfalls farblos gesehen.

Freilich stimmen diese Angaben nicht genau miteinander überein, und von anderen Autoren wird ein ähnliches Phänomen nicht berichtet, der sichtbare kalttonige Spektralteil wurde vielmehr bis zum Ende grün, auch selbst blau genannt.

Wenn man aber bedenkt, daß die uns bekannten angeborenen partiellen Farbenblindheiten und ebenso auch die progressive „Rot-Grün-Blindheit“ eine zweite neutrale Stelle zwar nicht im Spektrum, aber an einem genau bestimmbar Ort der Farbtafel besitzen, und daß bei der erworbenen Tritanopie für einzelne Fälle mit großer Wahrscheinlichkeit die zweite Zone in der theoretisch zu erwartenden Gegend angetroffen wurde, daß ferner an den mit erworbener „Blau-Gelb-Blindheit“ behafteten Netzhautpartien sich zweifellos sehr oft wegen der vorliegenden Erkrankung der Retina gleichzeitig exsudative oder transsudative Prozesse abspielen, so liegt es nahe, zunächst in jedem Falle von Tritanopie hypothetisch von der Voraussetzung einer solchen zweiten neutralen Zone im Blau auszugehen. Die Ermittlung stößt in manchen Fällen offenbar wegen der veränderten Absorption vor oder in der percipierenden Schicht auf Schwierigkeiten, vielleicht auch deshalb, weil, wie erwähnt, die Verkürzung des Spektrums meistens sehr weitgehend ist und bei der geringen Reizbarkeit des erkrankten Auges für derartige Lichter eine höhere Strahlenintensität zum Nachweis erforderlich ist, als wir sie gewöhnlich anzuwenden pflegen.

Als gesichert darf dann wohl noch gelten, daß die reinen Tritanopen das Spektrum in den Tönen etwa unseres Grün (um 495 $\mu\mu$) und eines dazu komplementären Rot sehen, d. h. daß unsere Objekte, wie bei den anderen typischen Farbensinnstörungen, so auch hier, zwei Paare von annähernd optimalem und pessimalem Empfindlichkeitswert darstellen.

Man sollte demnach erwarten, daß die Invariabilität der vier Farben auch hier erhalten bleibt, daß insbesondere Gelb und Blau, wenn auch letzteres unter starkem Helligkeitsverlust, analog dem Rot bei der Protanopie, durch einfache Abnahme der Sättigung farblos werden. In Wirklichkeit ist das jedoch, wie schon angedeutet, nicht regelmäßig der Fall. Die Beurteilung der kurzwelligen Teile des Spektrums durch den Patienten scheint vielmehr je nach dem Falle ziemlich stark zu wechseln. Von

der ersten neutralen Zone an aufwärts beginnt zwar wohl meist ein rötlicher, abwärts ein grünlicher Ton vorzuherrschen. Oft wird aber das Spektrum bis ans kalte Ende der Sichtbarkeit als Grün verschiedener Helligkeit, bisweilen scheinbar auch als Blau bezeichnet, und eine neutrale Zone ist dann am Perimeter nicht erkennbar. Köllner hat darauf hingewiesen, daß diese Farbänderung bis zu gewissem Grade charakteristisch ist und von eigenartig veränderten Absorptionsverhältnissen abhängig. Aber es sind nicht alle Farbenercheinungen, die beobachtet werden, in dieser Weise erklärlich. Es erscheint vielmehr angebracht, darauf hinzuweisen, daß auch unabhängig von solchen oder ähnlichen Komplikationen, z. B. durch Chromatopien u. dgl., die Invariabilität der Perimeterobjekte aufgehoben werden kann, wenn nämlich die neutralen Zonen nicht in allen Fällen genau an den gleichen spektralen Orten liegen. Die Wellenlänge von $575 \mu\mu$ scheint in der Tat meistens nicht der Mitte, sondern der oberen Grenze der neutralen Zone zu entsprechen, ja für sechs Fälle von König lag der fragliche Bezirk sogar im ganzen weiter nach dem Grün zu ($566-570 \mu\mu$). Ein Gelb von $575 \mu\mu$ muß dann rötlich und hell, ein Blau von $471 \mu\mu$ grünlich und dunkel erscheinen. Für die Gesichtsfelduntersuchung ergeben sich aus diesen Erörterungen zwanglos folgende Richtlinien: in reinen Fällen werden die Rot- und Grüngrenzen so lange unverändert bleiben, als eine Einmischung durch angeborene oder progressive konkomitierende Farbensinnstörung nicht vorliegt. Für unsere physiologischen Objekte bedeutet eben jede echte Einschränkung der spezifischen Rot- und Grüngrenze auch eine Beeinträchtigung der Rot- und Grüneempfindung. Alle nichtinvariablen Rot- und Grünobjekte verlieren im Gegensatz dazu schon durch Ausfall der in ihnen enthaltenen Gelb- bzw. Blaukomponente an Sättigung und ändern damit die Schwellenlage, ohne daß daraus hinsichtlich der Rot-Grün-Empfindungen etwas geschlossen werden könnte.

Für Blau und Gelb muß, wenn praktisch das dichromatische Stadium der Tritanopie vorliegt, erwartet werden, daß das Blau- und Gelbgesichtsfeld fehlt; dabei würde Blau als dunkelgrau oder schwarz, Gelb als hellgrau angegeben werden. Nun wurde aber bereits dargelegt, daß und inwiefern sowohl eine für verschiedene Strahlenarten veränderte Absorption, als auch eine relativ andere Lage der neutralen Spektralstelle die Farbenbezeichnungen zu ändern geeignet sind. Auch ist zu bedenken, daß es sich bei den Pigmenten ja nie um reine Farben handelt, sondern um ein Strahlengemisch. Alles das spielt bei der erworbenen Tritanopie eine wesentlichere Rolle als bei der vorwiegend im Sehnerven gelegenen, weniger zu solchen Komplikationen neigenden progressiven „Rot-Grün-Blindheit“, der stets eine konkomitierende Beeinträchtigung aller Empfindungsqualitäten eigen ist, oder auch bei den angeborenen

Anomalien, wo die Farbenbezeichnung sich nicht in dem Maße nach dem Ton richtet, wie bei Normalen. Gelb und Blau verlieren also bei der erworbenen Tritanopie sowohl ihre Peripheriegleichheit, als auch, unter den erwähnten Bedingungen, ihre Invariabilität. Damit ist natürlich auch die Möglichkeit eines Auseinanderfallens der Grenzen innerhalb des Farbenpaares gegeben. Inwieweit sich all das im einzelnen Falle ausprägt, hängt ganz von den individuellen Verhältnissen, besonders auch der Begrenzung des pathologischen Bezirkes ab, die zum voraus nicht angegeben werden können.

Hier liegt der Einwand nahe, daß unter solchen Umständen die Grundlage für eine aussichtsreiche Benutzung unserer Objekte nicht mehr vorhanden ist, diese also unbrauchbar werden. So weit eine quantitative physiologische Untersuchung und Bestimmung der vorliegenden Farbensinnstörung das Ziel unserer Perimetrie bildet, ist das in der Tat richtig und trifft in noch höherem Maße für alle anderen Pigmentfarben zu.

Andererseits ist aber gerade aus der Art, wie sich in solchem Falle die Empfindungen unseren Objekten gegenüber ändern, insofern es sich dabei um typische Angaben handelt, sehr wohl eine Einsicht in die qualitative Veränderung des Farbensinnes zu gewinnen, und häufig genug sind Rückschlüsse auf die zugrunde liegende Erkrankung, z. B. der Netzhaut, möglich. Die Perimetrie mit physiologischen Farben bleibt also auch hier von nicht zu unterschätzendem Wert, obgleich die solcher Methode notwendig gezogenen Grenzen hier besonders einleuchtend sind.

Angesichts dieser Schwierigkeiten liegt ein besonderer Vorteil anderen Objekten gegenüber hier zweifellos in der wohl durchgeführten Definition unserer Farben, die ein leichtes und sicheres Eingehen auf alle gelegentlich der Untersuchung zutage tretenden typischen und atypischen Phänomene gestattet. Die Aufmerksamkeit wird jetzt geradezu auf solche Dinge gestoßen, und die Beurteilung gestaltet sich verhältnismäßig einfach, wenn man die physiologischen Eigenschaften der Vorlagen vor Augen hat. Die Kenntnis dieser Eigentümlichkeiten ist also von ausschlaggebender Bedeutung für die Diagnose. Zur Erläuterung füge ich hier zunächst einen Fall von typischer erworbener Tritanopie ein, der auch spektralanalytisch kontrolliert werden konnte.

XI. W. Sch. 1916 Kriegsverletzung des r. Auges durch Granatsplitter. Seither Abnahme der Sehschärfe rechts, seit einigen Tagen angeblich auch schlechteres Sehen links.

Befund: Links Visus $\frac{5}{6}$, Emmetropie. Am Fundus, vor allem in der Peripherie, zahlreiche einzelne, meist spritzerförmige, feine retinale und subretinale Hämorrhagien, die größtenteils ausgesprochene Beziehungen zu den Netzhautgefäßen haben. Keine periphlebitischen Herde. Farbensinn und Gesichtsfeld normal.

Rechts: Visus $\frac{3}{50}$ Gl. b. n. Fundus: in verschiedenen Richtungen lange weiße Kämme und Pigmentstreifen, wie bei wiederangelegter Amotio retinae; längliche dreieckige Netzhautruptur; beim Blick nach innen unten ein präretinales Schwartengewebe. Auch an diesem Auge einzelne retinale und subretinale Blutungen, aber in geringerer Zahl.

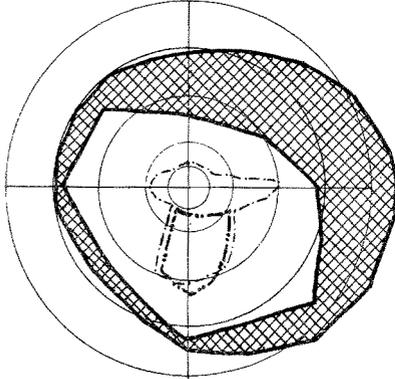


Abb. 21. Erworbene Tritanopie + progressive konkomitierende Farbenstörung (+ Hemeralopie) bei Ablatio retinae, aufgenommen bei guter Helladaptation. Blau und Gelb zentral ausgefallen; dabei typische Änderung beider Farben.

Objekten wird Gelb und Blau nicht mehr farbig gesehen. Am Anomaloskop wurde die mit dem gesunden linken Auge normal eingestellte Rayleighgleichung rechts anerkannt, eine selbständige Einstellung mit dem rechten Auge war nicht mit ausreichender Genauigkeit möglich.

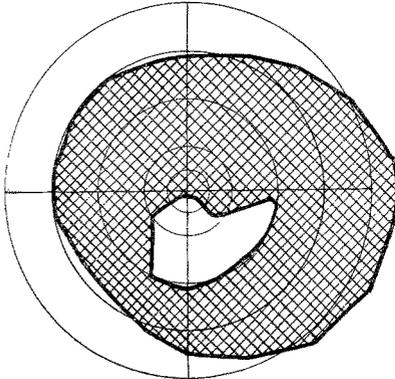


Abb. 22. Derselbe Fall wie bei Abb. 21 bei herabgesetzter Beleuchtung. (Mit dem linken Auge Farben noch erkannt.)

lich geringe relative Lageverschiebung der neutralen Zone nach dem kurzwelligen Spektralteil zu.

Ausführliche Farbensinnprüfung:

Holmgrenschen Wollproben: Zu Blau werden gelegt: violette und grünblaue Docken, außerdem eine blaue; zu Grün: außer den richtigen Farben sehr viele blaue und violette, auch einzelne gelbgrüne; zu Rot: die meisten gelblichen,

Gesichtsfeld (vgl. Abb. 21): Die Grenzen für Rot und Grün fallen zusammen, desgleichen die für Gelb und Blau. Das Gelb-Blau-Gesichtsfeld, wie das des anderen Farbenpaares peripher eingeengt, fehlt in einer zentralen Netzhautzone von mindestens 10° nach jeder Richtung. Hier wird Blau als „sehr dunkel und etwas grünlich“, Gelb als „sehr hell, fast weiß, aber etwas rötlich“ bezeichnet. Diese Zone ist auch gegenüber den blau-gelb-tüchtigen unteren Gesichtsfeldteilen scharf abgesetzt. Ein Vergleich mit unserm Rot und Grün ergibt, daß ihnen die bei Gelb und Blau angebenen Töne ungefähr entsprechen, nur werden die Farben ganz ungesättigt gesehen. Weiß wird überall als weiß, Grau als grau bezeichnet. Ein relatives Weißskotom besteht nicht. Bei Benutzung von 5-mm-

Das Weiß-Gesichtsfeld bei so weit herabgesetzter Beleuchtung, daß mit dem linken Auge noch alle Farben, einschließlich Blau und Gelb, bequem erkannt werden, entspricht annähernd dem Hellgesichtsfeld für Rot (Abb. 22). Rot wurde in engeren Grenzen, Blau nicht mehr erkannt.

Ergebnis der Adaptationsprüfung (in Ered.):

	Sofort	2 Min.	15 Min.	30 Min.	45 Min.
Links	260	650	26000	26000	30000
Rechts	2,1	2,1	650	1300	1300

Vorläufige perimetrische Diagnose der Farbensinnstörung: Erworbene Tritanopie, wahrschein-

außerdem alle roten Muster; zu Weiß bzw. Grau: hellgelbe, hellbläuliche. ein ziemlich kräftiges Grünlichgelb, hellviolette und auch eine ganz zart rosafarbene Probe.

Beobachtung eines etwa 1 m breiten Spektrums einer Bogenlampe: die Begrenzung des Spektrums nach dem roten Ende entspricht etwa der des linken Auges und unserer eigenen. Im kurzwelligen Teil ist eine sehr auffallende Verkürzung bemerkbar, das farbige Ende wird ziemlich genau angegeben an der Stelle, wo für uns der Übergang vom Grünblau zum reinen Blau stattfindet. Alle kurzwelligeren Teile werden als „dunkel“ „grau“ bzw. „schwarz“ angegeben. In der Gegend etwa des Gelb wird eine schmale Zone als „Grau“ gesehen.

Am Farbenmischapparat werden nun einzelne Töne dargeboten, die Benennung ist folgende:

Wellenlänge ($\mu\mu$)	Rechts	Links
671	rot	Rot
628	rot, aber bedeutend heller	Gelbrot
618	rötlich	
608	etwas mehr weißlich, aber deutlich rot	Orange
599	noch heller, immer noch rötlich	Goldgelb
590	immer noch rötlicher Schimmer	
580	mehr graulich, mit rotem Schimmer	
575	gräulich, vielleicht noch etwas rötlich	Gelb
573	grau, keine Farbe	
566	grau	
560	schwach grünlich	Gelbgrün
547	grün	Grün
535	grün, aber dunkler	
525	grün	Grün
505	dunkelgrün, aber blasser	Bläulichgrün
488	sehr dunkel, aber noch grünlich	Blaugrün
480	noch dunkler, aber noch grünlich	Grünblau
471	dunkelgrau, vielleicht grünlicher Schimmer	Blau
468	nichts Deutliches mehr erkennbar	Blau

Am Farbenkreisel wird in 2 m Abstand eine Gleichung zwischen Blaugrün und schwarz einerseits, Cyanblau andererseits angenommen. Ebenso zwischen Grünblau und schwarz einerseits, violett andererseits.

$$360^\circ \text{ Cyanblau} = 165^\circ \text{ Blaugrün} + 195^\circ \text{ Schwarz}$$

$$360^\circ \text{ Violett} = 88^\circ \text{ Grün} + 272^\circ \text{ Schwarz.}$$

Die entsprechenden Gleichungen sind auch mit unseren Perimeterobjekten am Kreisel herzustellen: nämlich $360^\circ \text{ Blau} = 225^\circ \text{ Grün} + 135^\circ \text{ Schwarz}$.

Die perimetrisch mit großer Wahrscheinlichkeit gestellte Diagnose eines zentral gelegenen dichromatischen, tritanopischen Systemes bestätigt sich also am Spektrum wie am Kreisel. Die Tatsache, daß unsere größeren Objekte noch einen leichten Farbeindruck erzeugten, ist aus der Lage der neutralen Zonen unmittelbar einleuchtend, wenn man beachtet, daß z. B. unser Gelb, selbst spektrale Reinheit vorausgesetzt, von der aber natürlich keine Rede sein kann, hart an der langwelligen Grenze der ersten neutralen Zone seinen spektralen Ort hat. Die physiologische Kontrolle stellt demnach aufs deutlichste heraus, daß die einfache klinische Untersuchung mit physio-

logischen Farben einen doch recht befriedigenden Überblick der vorliegenden Farbenstörung ermöglicht. Im nichttritanopischen Teil des Gesichtsfeldes besteht eine gewöhnliche progressive konkomitierende Farbensinnstörung.

Ein zweiter Fall zeigt am Perimeter die Kombination einer zentralen erworbenen Tritanopie mit veränderter Absorption und gleichzeitiger progressiver konkomitierender Farbensinnstörung.

XII. M. K., 56 Jahre. Kommt wegen einer Brille.

10. 6. Rechts: Visus = $\frac{6}{6}$ (+ 1,0 D) mit + 3,25 N. I. Augeninneres o. B. Gesichtsfeld für Weiß und Farben o. B.

Links: Visus anfangs nur Fingerzählen, allmählich stockend mehr, endlich sehr mühsam $\frac{6}{6}$ und mit + 3,0 D., ebenfalls sehr mühsam, Nieden I.

Die Untersuchung am Perimeter mit physiologischen Farben von 5 mm Seitenlänge ergibt ein relatives Weißskotom, das den Fixierpunkt eben freiläßt. Ihm entspricht ein absolutes Rot-Grün- und Blau-Gelb-Skotom. Ein relatives Rot-Grün-Skotom schließt sich ringsherum in einer Ausdehnung vom Fixierpunkt von etwa 10° an. In diesem Gebiet wird Blau als Grün bezeichnet, bei gleichzeitiger Darbietung des grünen Objekts als „von gleicher Farbe, aber viel dunkler und schwächer, fast schwarz“. Gelb wird als „sehr blaß, weißlich mit gelblichem oder rötlichem Schimmer“ angegeben. Bisweilen wird im erwähnten Gebiet andererseits Grün als Blau bezeichnet. Die Grenzen für Rot und Grün, ebenso aber auch die der Farbänderung für Blau und Gelb stimmen praktisch überein. Weiß wird überall farblos gesehen. Perimetrische Diagnose: zentrale Tritanopie, wahrscheinlich mit veränderten Absorptionsverhältnissen und kombiniert mit progressiver Rot-Grün-Blindheit.

Die Adaptation sprüfung ergibt: sofort: R. 13,0, L. 5,5; nach 2 Min. R. 32, L. 9,3; nach 15 Min.: R. 4350, L. 4350; nach 40 Min.: R. 26 000, L. 26 000.

Das erkrankte Auge ist also anfangs deutlich im Rückstande, die Endadaptation jedoch für beide Augen gleich. Die Erklärung dafür ist darin zu suchen, daß mit fortschreitender Adaptation die Peripherie das Übergewicht bekommt, d. h. Netzhautteile, die in beiden Augen noch gesund sind.

Der Augenhintergrund zeigt im umgekehrten Bilde normalen Befund. Im aufrechten und bei erweiterter Pupille sind bei genauestem Absuchen in der Maculagegend und ihrer näheren Umgebung einzelne ganz feine Punkthämorrhagien erkennbar. Papille o. B.

Untersuchungsbefund des Internisten: Keine Symptome einer Erkrankung des Nervensystems (multiple Sklerose usw.). Verstärkter zweiter Aortenton, erhöhter Blutdruck (270/120 mm Hg), Urin Spuren Eiweiß, einige Erythrocyten, Leukocyten und Epithelien.

Gesichtsfeld 10. 6. Äußere Feldgrenzen für Rot und Grün unverändert. Die Gelbgrün-Grenze peripher und zentral merklich enger als die für Blau. Blau wird in größerem Umfange als bisher als „dunkel, grün“ bezeichnet. Weiß überall farblos. Also Ausdehnung der tritanopischen Erscheinungen. Dementsprechend ist auch der objektive Befund: Am Fundus viel mehr einzelne feine Hämorrhagien, besonders entlang den Netzhautgefäßen, nicht nur im zentralen Gebiet.

1. 7. Gesichtsfeld für 5-mm-Objekte: Blau wird innerhalb der überhaupt erkannten Grenzen Blau, im blaugelbblinden Gebiet dunkel, farblos, Gelb als gelb, im „Skotom“ als hellgrau bezeichnet. Den zentralen absoluten Skotomgrenzen für Farben sind schätzungsweise 5° breite relative Zonen vorgelagert. für Weiß besteht nur ein relatives Skotom.

Die tritanopischen Symptome sind also im Rückgang. Im Zentrum hat sich dagegen ein als total oder fast total farbenblind zu bezeichnendes Gebiet ausgebildet; objektiv ist die Zahl und Ausdehnung der Hämorrhagien stark vermindert. Am meisten betroffen bleibt immer noch das Maculagebiet.

Beide Fälle beweisen, daß die Handhabung der physiologischen Objekte für die Auffindung der erworbenen Tritanopie verhältnismäßig einfach ist, der erste überdies, daß der Methode eine für die Klinik ausreichende Exaktheit zukommt.

Die Stellung der Farben im Spektrum ermöglicht die leichte Feststellung jeder Schädigung der Blau-Gelb-Empfindung, die damit verknüpfte Peripheriegleichheit die Entscheidung darüber, ob es sich um einen tritanopischen Prozeß oder um ein Schwinden der Blau-Gelbempfindung handelt, das auf Rechnung einer eventuell gleichzeitig vorhandenen progressiven konkomitierenden Farbenblindheit oder dergleichen zu setzen ist. Im ersteren Falle tritt die typische Helligkeitsänderung auf: Blau sehr dunkel, Gelb hell; im letzteren fehlt sie aus den oben dargelegten Gründen. Dort kann die Invariabilität aufgehoben sein. Hier bleibt sie dagegen erhalten.

Mit den beschriebenen Erscheinungen sind aber die gelegentlich der perimetrischen Untersuchung auftretenden Möglichkeiten keineswegs erschöpft. Vielmehr kommen noch einige nicht seltene Momente in Betracht, die, an sich selbständig, oft als Komplikationen der bisher erörterten typischen Farbenseinstörungen auftreten. Für die Verwertung der Beobachtungen, besonders bei der Tritanopie, besitzen sie naturgemäß größte Tragweite.

Ich denke hier vor allem an solche Erfolge, die sich aus eintretenden Änderungen der Absorptionsverhältnisse ergeben, aus subjektiven Farbenercheinungen anderer Art, sowie endlich den Störungen der Dunkeladaptation. Alle diese Phänomene müssen der diagnostischen Überlegung in jedem Einzelfalle zugrunde gelegt werden. Nur so ist für die klinische Perimetrie der ihr überhaupt erreichbare Grad von Klarheit zu gewinnen, zumal der strenge Nachweis eines dichromatischen Systemes auf diesem Wege allemal außerordentlich schwer ist.

Über die eigentlichen Störungen des Dämmerungssehens und das Verhalten der farbigen Schwellen dabei wird unten noch zusammenhängend zu sprechen sein; hier sei nur folgendes gesagt: Je geringer die Reizbarkeit des Auges für kurzwelliges Licht bei der Tritanopie an sich ist, desto sorgfältiger ist auf beste Helladaptation zu achten, wenn nicht heterogenste Symptome verwechselt werden sollen. Wissen wir doch, wie oft die tritanopischen Erscheinungen mit solchen der Hemeralopie verknüpft auftreten. Die genaue Kenntnis des Einflusses vorhandener oder fehlender Dunkeladaptation ist also, wenn schon bei jedem Peri-

metrieren, so vor allem dort unbedingt erforderlich, wo eine Tritanopie in Betracht kommt. Geringe Änderungen des Zustandes während der Prüfung sind freilich bei Benutzung der Tagesbeleuchtung nicht zu umgehen. Bei den von uns verwandten Objekten wird sich das aber verhältnismäßig wenig bemerkbar machen, da Vorlage und Grund große und zugleich übereinstimmende Peripheriewerte haben, die Dämmerungswerte überdies durch die schwache objektive Sättigung nicht so differieren, wie etwa die der Heidelberger Papiere usw. Nicht unbeträchtlich ist die Gefahr einzig beim Grün, weil dieses allerdings von besonders großem Dämmerungswert ist (vgl. S. 84).

Ergebnisse bei Chromatopien.

Die Diagnose der Chromatopien, wenn sie auch zunächst aus der Anamnese und sodann mit dem Weißobjekt gestellt zu werden pflegt, bietet doch auch der perimetrischen Untersuchung mancherlei Angriffsflächen. Die neuen Objekte können sich besonders in solchen Fällen bewähren, in denen das Farbsehen eine geringe Intensität hat. Die verhältnismäßig geringe objektive Sättigung der Farben verhindert nämlich ein Übersehen auch der mäßigeren Grade. Dabei gestalten sich die Symptome einigermaßen einfach.

Je nach der Form des vorliegenden Farbsehens sowie dem Grade der Störung werden die Bilder natürlich wechseln, so daß es keinen Sinn hat, hier alle Möglichkeiten zu erörtern. Es ist auch selbstverständlich, daß Farbenton, Sättigung und Helligkeit der einzelnen Perimeterobjekte verschieden beeinflußt werden. Von Interesse ist vielleicht die Unterscheidung der Chromatopie von gleichzeitiger Tritanopie bei Erkrankungen der Netzhaut, z. B. der Ablatio retinae. Das erste und wichtigste Merkmal liegt, wie gesagt, in der Benennung des farblosen Objektes (Weiß bzw. Grau). Wird es farbig gesehen, so liegt eine Chromatopie mindestens mit vor. Die zu erwartende Benennung der Farben ergibt sich unschwer aus der Erwägung, daß eine Mischung der Chromatopiefarbe mit der des Objektes stattfinden muß. Auch die Darstellung der Ausdehnung im Gesichtsfelde stößt natürlich nicht auf Schwierigkeiten. Ich gebe deshalb sogleich einen Fall von Grünsehen bei Netzhautablösung als Beispiel einer Chromatopie wieder. Durch Komplikation mit Schädigungen der Blau-Gelb- wie der Rot-Grünempfindung erscheint er für die Bewertung physiologischer Perimeterobjekte besonders geeignet.

XIII. St. C. kommt, weil er seit einigen Tagen vor dem rechten Auge schwarze Flocken „wie fliegende Raben“ in der Luft beobachtet

17. 3. Befund: Links: Visus kleiner als $\frac{5}{50}$. — 5,5 D = $\frac{6}{8}$. Fundus o. B. Rechts: Handbewegungen in 1,5 m; exzentrisch Finger in 2 m, Gl. b. n. Hintergrund: unten außen und oben außen breite, zum Teil wellenförmig flottierende

Netzhautabhebung mit weißlich-grünen Kämmen und dunklen Gefäßen. Papille und Macula von der Abhebung bedeckt. Tension R. 10, L. 18.

19. 3. Die Abhebung hat sich größtenteils wieder angelegt; einzelne Kämme und, besonders beim Blick nach unten, auch noch eine breitere Falte erkennbar.

Gesichtsfeld: Konzentrische Einengung für alle Farben, besonders stark für Blau und Gelb. Die Farbgrenzen innerhalb jedes Paares fallen zusammen, Farb- oder Helligkeitsänderungen werden nicht angegeben.

Während der nächsten Tage heben sich Sehvermögen und Gesichtsfeld allmählich. Klagen über Metamorphopsie.

6. 4. Gesichtsfeld mit neuen (Abb. 23) und alten Objekten (Abb. 24). Vergleich zeigt, daß, während die Rotgrenzen annähernd übereinstimmen, die Blaugrenzen bei den neuen Objekten bedeutend enger liegen. Das Bild ist hier also insofern viel klarer, als die elektive Schädigung der Blau-Gelb-Empfindung cha-

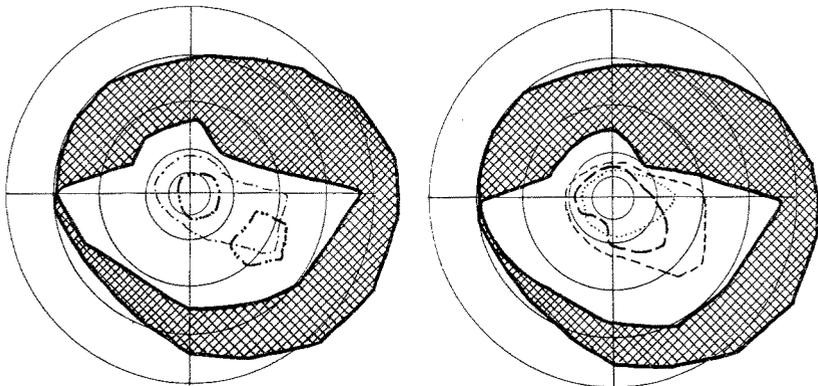


Abb. 23. Fall von Ablatio retinae. Auffallend starke Beeinträchtigung der Blau- und Gelbgrenze (physiol. Farben).

Abb. 24. Derselbe Befund wie Abb. 23 mit älteren Tuchproben, wenig charakteristisch.

rakteristischer hervortritt. Blau- und Gelbgrenze fallen auch jetzt zusammen. Änderungen von Helligkeit oder Ton nicht nachweisbar.

25. 5. Seit 21. 4. bemerkte Pat., daß die Straßenlaternen alle von einem violetten Hof umgeben seien. Dieses Phänömen hielt etwa 8 Tage lang an, derweil das gesunde Auge alles in natürlichen Farben sah. Allmählich begannen sodann alle Gegenstände grün auszusehen, besonders der blaue Himmel, weiße Wolken und weiße Hauswände! Blaue Gegenstände erschienen zugleich dunkler, schwarzgrün; das Grün der Bäume, das anfangs heller aussah, wurde später ebenfalls dunkel, Gelb wurde blasser, ins Weißlichgrüne übergehend.

Bei Dunkelheit sieht Pat. überhaupt nur ein kleines helles Dreieck mit dem kranken Auge.

Gesichtsfeld für Weiß und bei herabgesetzter Beleuchtung s. Abb. 25.

Visus: Finger in 4-5 m. Am Fundus objektiv keine deutliche Veränderung gegen früher. Die Untersuchung des Farbengesichtsfeldes ergibt folgende Farbenbenennung (vgl. auch Abb. 26):

Weiß wird grün genannt — etwa in gleichem Umfange wie Blau, Gelb und Grün (graugetönter Bezirk der Abbildung),

Grün wird grün genannt,

Rot wird grünlichgelb genannt, in etwas engeren Grenzen.

Blau wird grün genannt,

Gelb wird blaßgrün genannt.

Nur zwischen den Radien 120° und 160° (internationaler Einteilung) und dem 20° - und 30° -Kreise werden die normalen Bezeichnungen mit geringen Abweichungen angegeben.

Danach kann mit Sicherheit die perimetrische Diagnose einer Chloropie gestellt werden.

15. 6. Pat. klagt nicht mehr über Grünsehen. Die Farbenbenennung hat eine Änderung dahin erfahren, daß bei zentraler Darbietung genannt wird:

Grau = grau,

Grün = weißlichgrün,

Rot = weißlichrot, aber etwas ins violette gehend.

Weiß = weiß,

Blau = sehr blaß,

Gelb = fast weiß, etwas rötlich.

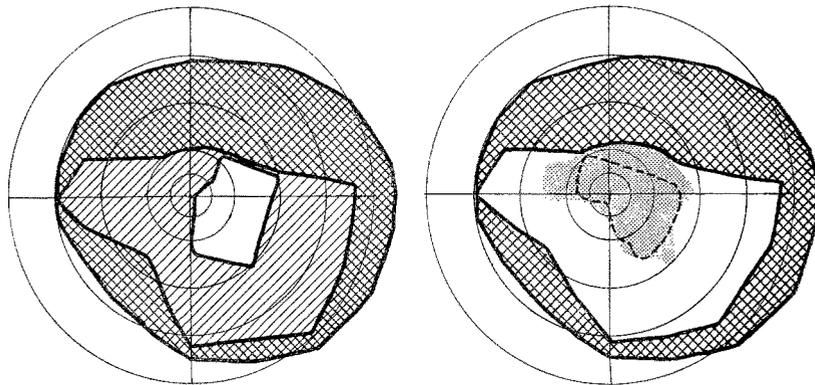


Abb. 25 und 26. Derselbe Fall wie bei Abb. 23. 6 Wochen später mit „Grünsehen“. Abb. 25. Verhältnis der Weißgrenze zu der bei herabgesetzter Beleuchtung. Abb. 26. Chromatopischer Bezirk (Grau). Weiß, Blau, Gelb und Grün wird, etwa im graugetönten Gebiet, in verschiedenen Tönen von Grün, Rot in der bezeichneten Grenze mehr gelblich gesehen. (Physiol. Farben.)

Es geht aus diesen Angaben hervor, daß an Stelle der Chromatopie eine gleichsinnige Beeinträchtigung aller Farbenempfindungen getreten ist, wobei besonders bemerkenswert ist, daß auch Grün und Blau nicht als dunkel angegeben werden, wie man es bei typischer Tritanopie erwarten müßte.

In diesem Falle von Ablatio retinae, der mit konzentrischer Einengung des Rotgrünesichtsfeldes und relativ höhergradiger Verengung der Blaugelbgrenze einherging, tritt also im Verlauf der Erkrankung typisches Grünsehen auf, dem ein kürzeres Violettsehen vorangegangen zu sein scheint. Nach Abklingen dieser Chromatopie bleibt ein Farbenssehen zurück, das durch Schädigung der 4 Hauptempfindungsqualitäten eine Annäherung an den Zustand der erworbenen totalen Farbenblindheit bildet. Typische Tritanopie liegt dagegen nicht vor.

Diese Gesichtsfelduntersuchungen bezeugen die leichte Erkennbarkeit der Art des Farbsehens. Sie zeigen im Vergleich mit einem Gesichtsfelde nach der

alten Methode die gesteigerte Empfindlichkeit derjenigen von unseren Farben, deren Reizkraft besonders geschädigt ist, d. h. die pathologisch veränderten Schwellen treten deutlicher hervor. Die Beachtung der Helligkeitsverhältnisse endlich deutet daraufhin, daß die Blaugelbempfindungen aus dem Gesichtssinne auf zwei verschiedene Arten verschwinden können, nämlich unter der für die Tritanopie bekannten charakteristischen Änderung der Peripheriewerte des Blau und Gelb, dann aber auch ohne eine solche.

Ergebnisse bei Hemeralopie.

Der methodische Wert der neuen Farben muß schließlich auch noch im Hinblick auf solche Erkrankungen geprüft werden, bei denen Störungen der Anpassungsfähigkeit des Auges an verschiedene Helligkeit in Frage kommen, d. h. für alle Formen von Hemeralopie. Es bedarf kaum der Erwähnung, daß hier wohlausgewählte und -charakterisierte Farben von besonderer Wichtigkeit sind, da über Wesen und Bedeutung der Nachtblindheit die Ansichten bekanntlich immer noch auseinandergehen, und zwar gerade mit Bezug auf einige in unserem Zusammenhange besonders interessierende Erscheinungen, sowie die Folgerungen, die sich daraus für die allgemeineren Theorien unserer Gesichtsempfindungen ergeben müssen. Aus solchen Gründen ist eine eingehendere Erörterung an dieser Stelle unumgänglich.

In den neueren Arbeiten wird der Begriff der Nachtblindheit — vielleicht zum Teil auf Grund von Erfahrungen während des Feldzuges — oft nicht als Symptom, wie es doch das Näherliegende wäre, sondern als Krankheitsbezeichnung verwandt, weil „die Störung des Anpassungsvermögens (an herabgesetzte Beleuchtung) das Hauptsymptom der Nachtblindheit“ ist (Birch - Hirschfeld). Natürlich ist gegen diesen Sprachgebrauch nicht viel einzuwenden, solange man sich vor Augen hält, daß das Symptom der Hemeralopie den ätiologisch allerverschiedensten Krankheiten eigen sein kann, und daß auch tatsächlich, wo die Krankheit gemeint ist, eine einigermaßen willkürlich zusammengefaßte Gruppe verschiedenartiger Veränderungen vorliegt. Ich werde jedoch in meinen Ausführungen von der Hemeralopie nur als von einem Symptom sprechen, das zunächst von einer Störung der Anpassungsfähigkeit an herabgesetzte Beleuchtung, des Dämmerungssehens also, seinen Namen nimmt.

Nach den Arbeiten von Birch - Hirschfeld über diesen Gegenstand haben wir 3 getrennte Typen zu unterscheiden: erstens Fälle mit niedriger Anfangsempfindlichkeit aber normalem Adaptationskurvenverlauf, zweitens solche mit hoher Anfangsempfindlichkeit aber sehr flacher

Adaptationskurve und endlich Fälle mit niederer Anfangsempfindlichkeit und flacher Kurve.

Geht man, wie es hier geschehen soll, nur auf solche Erscheinungen ein, die der Untersuchung mit Pigmentfarben zugänglich sind, so treten folgende bekannte Probleme in den Vordergrund:

Zunächst die Frage, ob, wie von verschiedenen Autoren angenommen wird, die ja nicht bezweifelte Schädigung des Dämmerungssehens in einer so gesetzmäßigen Weise mit Störungen des Tagessehens, des peripheren und zentralen Farbensinnes, eventuell auch der diesem eigenen Adaptationsfähigkeit verknüpft ist, daß eine Trennung beider Sehweisen, eine grundsätzliche Funktionsteilung des Sehorganes also auf solche Weise unbegründbar ist. Da wohl von niemandem übersehen worden ist, daß natürlich eine gleichzeitige Schädigung des Tages- wie des Dämmerungsapparates möglich, ja sogar bei der sehr weitgehenden Durchflechtung der hypothetisch als Grundlage der beiden Seharten angenommenen Elemente in der Netzhaut höchstwahrscheinlich ist, vor allem bei Erkrankungen, die schon durch Beteiligung andersartiger Zellgruppen als der Sinnesepithelien, z. B. des Pigmentepithels, auf eine allgemeinere Veränderung der Netzhaut hindeuten, so kann diese Problemstellung auch dahin präzisiert werden, ob die von manchen Seiten vorausgesetzte Möglichkeit einer isolierten, d. h. praktisch allein nachweisbaren Schädigung des Dämmerungsapparates auch in der klinischen Beobachtung bestätigt werden kann.

Eine zweite Frage, die gleichsam als eine andere Wendung der ersten auftritt, ist die, welcher Art die gelegentlich hemeralopischer Erscheinungen vorgefundenen Störungen des Tagesapparates sind, insbesondere ob hier ein so einheitliches Bild beobachtet wird, daß es dem wohlabgegrenzten Symptomenkomplex der Hemeralopie streng zugeordnet werden kann.

Daß in den allermeisten Fällen, wo klinisch Hemeralopie nachweisbar ist, gleichzeitig Störungen in den Funktionen des Tagesapparates auftreten, ist allgemein bekannt und wird also nicht bestritten. Die Erfahrungen über Schädigung des Farbensinnes sind aber, selbst wenn man sich nur an solche Fälle hält, bei denen anders charakterisierte Erkrankungen z. B. der Netzhaut oder Aderhaut nicht gefunden wurden, so zahlreich, auffällig und zum Teil widersprechend, daß hier eine eingehende Erörterung unumgänglich ist.

Die Prüfung dieser Verhältnisse unter den Gesichtspunkten der erwähnten Fragen setzt aber meines Erachtens um so differenziertere Erwägungen voraus, je unvergleichbarer die Hilfsmittel der Prüfung, z. B. die verwandten Farben waren. Unsere physiologischen Farben sollen hier eine Lücke ausfüllen, indem sie in einfacher und übersicht-

licher Weise die Resultate der Perimetrie zu verwerten gestatten. Bei jeder Untersuchung auf Hemeralopie können drei Ziele unterschieden und müssen sorgsam auseinandergehalten werden. Erstens die Prüfung des Dämmerungsapparates, wobei uns einerseits die Höhenlage der Schwellenwertskurve (besonders Anfangs- und Endempfindlichkeit), dann aber vor allem die sog. „Adaptierungsfunktion.“ interessiert. Daß diese Beobachtungen im Dunkelzimmer geschehen, ist selbstverständlich. Zweitens die des Tagesapparates; neben der Sehschärfe also in erster Linie die der farbigen Schwellen. Diese Feststellungen sollten unter den Bedingungen möglichst reinen Tagessehens, d. h. bei guter Helladaptation vorgenommen werden; drittens die Prüfung der Zusammenarbeit beider Funktionen in der Beobachtung des Purkinjeschen Phänomens.

Natürlich wird sich hier der Wunsch regen, in ähnlicher Weise auch die Adaptierungsfunktion des Tagesapparates oder mindestens die Endempfindlichkeit der Farbenswellen bei Dunkelanpassung zu bestimmen. Beides stößt auf klinisch kaum überwindbare Schwierigkeiten, ersteres, weil wir auch physiologisch noch keineswegs genügend über eine solche Funktion orientiert sind, und eigentlich nicht viel mehr wissen, als daß sie einen hinsichtlich der zu Vergleich stehenden Stäbchenadaptation nur ganz minimalen Umfang hat, das letztere, weil bei allen landläufigen Methoden der Schwellenbestimmung nicht rein foveale Werte ermittelt zu werden pflegen, also die Einmischung des Purkinjeschen Phänomens nicht ausgeschlossen werden kann.

Am Perimeter sind zwar die erwähnten Wege alle gangbar und auch eingeschlagen worden, ich erinnere nur an die Gesichtsfelder bei herabgesetzter Beleuchtung für Blau, Rot und Weiß, die ja nichts anderes sind als grobe Darstellungen des Purkinjeschen Phänomens und der absoluten peripheren Empfindlichkeitsschwelle im Dämmerlichte. Es stehen uns jedoch für diese beiden Untersuchungen so wesentlich bessere Hilfsmittel zur Verfügung, daß der Perimeterprüfung eine erhebliche Bedeutung nur unter ganz bestimmten Bedingungen zukommen kann.

Das ist aber anders bei der Prüfung der Funktion des Tagesapparates, des Verhaltens der farbigen Schwellen bei hohen Lichtstärken. Hier ist die Farbenperimetrie die Methode der Wahl. Für hemeralopische Untersuchungen eignen sich nun naturgemäß nur Objekte, welche Fehlerquellen, die in Helligkeitsunterschieden liegen können, ausschalten, d. h. die also bei guter Adaptation untereinander gleich hell und ferner auch dem Hintergrunde gegenüber keinem Helligkeitskontrast unterworfen sind. Endlich ist es wünschenswert, daß die Helligkeit der Farben möglichst groß sei, weil man hier noch vielmehr als sonst bei Farbensinnprüfungen verpflichtet ist, eine namhafte Einmischung des

Dämmerungssehens zu vermeiden. Diesen verschiedenen Anforderungen werden nur die physiologischen Objekte gerecht. An ihrer Hand lassen sich allerdings verhältnismäßig leicht und stets einwandfrei die Fragen lösen: liegt eine Farbensinnstörung vor, wenn ja, handelt es sich um konkomitierende Farbensinnstörungen, um reine Tritanopie oder eine „Blaublindheit“ im Sinne einer Kombination tritanopischer mit chromatopischen Symptomen, womöglich sogar um eine totale Farbenblindheit? Die Beeinträchtigung des Farbensinnes sowie des Purkinjeschen Phänomens ist klar und eindeutig bestimmbar, wenn auch nicht exakt in dem Sinne, daß dadurch die bekannten feineren Methoden der Farbensinnprüfung mittels spektraler Farbmischung u. dgl. überflüssig werden.

Ich möchte dies durch Bericht über einige typische Fälle erläutern, die aus einem größeren Material so ausgewählt sind, daß sie nicht dem Typus I von Birch-Hirschfeld angehören, weil man in diesen Fällen eine Intaktheit des Farbenapparates durch Hinweis auf die ja dabei unveränderte Adaptierungsfunktion zu erklären und damit aus dem Gebiet der „eigentlichen“ Hemeralopie auszuschalten geneigt sein könnte. Andererseits erschien es zweckmäßig, sowohl Fälle zu berücksichtigen, bei denen die Hemeralopie als Teilerscheinung einer irgendwie anders wohlcharakterisierten Erkrankung auftrat, dann aber auch solche, wo den hemeralopischen Beschwerden kein organischer Befund zugeordnet werden konnte.

XIV. V. B. 18 Jahre alt, Landwirt. Die Nachtblindheit soll sich bei ihm vor etwa 4 Jahren allmählich ausgebildet haben und besteht seither unverändert fort.

Die Untersuchung des Hintergrundes ergab: Papillen normal (Arterien etwas eng?) die umgebenden Retinateile leicht graulich, vielleicht etwas markhaltig. Fundus im allgemeinen sehr dunkel, getäfelt, in der Peripherie etwas gekörnt. Kein pathologischer Befund (Geh. Axenfeld).

Die reduzierten Empfindlichkeitswerte an Nagels-Adaptometer waren folgende:

Sofort	3 Min.	15 Min.	25 Min.	35 Min.	50 Min.
3,2	16,5	43	52	77	77

Visus r. $\frac{5}{5}$ pt. + 1,25 Cyl Achse horiz. komb. mit
+ 1,0 D = $\frac{5}{5}$.

l. $\frac{5}{5}$ pt. + 1,25 Cyl Achse horizont. komb. mit
+ 1,0 D = $\frac{5}{5}$.

Die Gesichtsfeldprüfung wurde mit physiologischen und zum Vergleich mit Tuchobjekten ausgeführt (Abb. 5 u. 6). Für Gelb und Blau, sowie Rot und Grün fielen die Grenzen zusammen, nämlich

Farbe	Nasal	Oben	Außen	Unten
Farblose Grenze	60	56	90	68
Blau und Gelb .	45	44	74	52
Rot und Grün .	10	10	10	10

Bei herabgesetzter Beleuchtung, die für den Normalen die Blaugrenze außerhalb der Rotgrenze zeigte, entspricht das Gesichtsfeld der oben beigefügten Abb. 7. Die Grenzen für Weiß, Blau und Gelb waren bei Tageslicht und entsprechender Helladaptation also sicher unverändert, dagegen erwies sich die Rot-Grüngrenze stark eingengt.

Die daraufhin erfolgte Prüfung des Farbensinnes nach Nagels und Stillings Tafeln, sowie an Nagels Anomaloskop ergaben die Anwesenheit einer typischen angeborenen hochgradigen Deuteranomalie!

Gleichungen am Anomaloskop:

- L. 10 = R. 28 (nur für Momente gleich),
- L. 20 = R. 31,
- L. 40 = R. 32,
- L. 70 = R. 14,
- L. 75 = R. —

Insbesondere zeigte sich im Hinblick auf die erwogene Möglichkeit einer erworbenen Farbensinnstörung, daß Pat. eine sehr feine Empfindlichkeit gegenüber jeder Helligkeitsänderung aufwies, worin zugleich eine Prüfung dieser Funktion gesehen werden konnte.

Ich wandte meine Aufmerksamkeit nun besonders einer noch genaueren Prüfung des Blau-Gelbsinnes zu. Daß B. nach den Ergebnissen am Perimeter die entsprechenden Tafeln von Stilling las, war wohl selbstverständlich. Ich prüfte deshalb unter Kontrolle durch eine normale Vergleichsperson unter den üblichen Kautelen die Blau-Gelbempfindungen am Kreisel mit unsern Farben durch Darbietung von Grau einerseits und gleichzeitiger Mischung von Blau bzw. Gelb mit Grau auf der größeren Scheibe. Es wurde also unter Vermeidung von Helligkeitskontrasten die spezifische Schwelle der zentralen und parazentralen Netzhautteile geprüft.

Das Ergebnis einer Reihe von mehrfach wiederholten Versuchen war:

Farbenzumischung	Kontrolle: D. K.	V. B.
Blau 10°	erkannt	erkannt
Blau 8°	erkannt	erkannt
Blau 7°	nicht erkannt	nicht erkannt
Gelb 8°	erkannt	erkannt
Gelb 7°	erkannt	erkannt
Gelb 6°	nicht erkannt	nicht erkannt

Die Gelb- und Blauempfindungen waren demnach sicher nicht weniger fein als die der normalen Vergleichsperson. Entsprechende Untersuchungen mit Rot und Grün nach der gleichen Methode erübrigten sich wegen der ja bereits erwiesenen angeborenen Farbensinnanomalie.

Obwohl hier ein Fall vorliegt, der mangels eines Hinweises auf Vererbung des Leidens als möglicherweise erworben und progredient angesehen werden kann, ist also der zentrale wie der periphere Blau-Gelbsinn ungestört.

Das symptomatische Ergebnis der in Betracht kommenden Funktionsprüfungen würde also zu lauten haben: Hemeralopie, angeborene Deuteranomalie, inaktiver Blau-Gelbsinn.

Ähnlich verhält sich der nächste Fall, hier ist der ganze Farbenapparat völlig intakt:

XV. H. G. Seit 1915 (Malaria in afrikanischer Gefangenschaft) Nachtblind. Visus beiderseits $\frac{6}{8} + 1,0$ D angenommen Nieden I.

Dunkeladaptation praktisch aufgehoben. Anfangs- und Endempfindlichkeit nach 45 Minuten fast gleich. (Nach 10 Min, 21 bzw. 23, nach 30 Minuten dasselbe, nach 45 Minuten 26 bzw. 29) Augenhintergrund beiderseits durchaus normal (Geh. Axenfeld). Nur links zwischen Papille und Macula ein kleiner Naevus. Keinerlei organischer Augenbefund. Verhalten gegenüber Farbensinnproben und am Anomaloskop normal. Änderungen der Helligkeit werden bei guter Helladaptation in normaler Weise angegeben.

Auch das Gesichtsfeld zeigt keine Veränderungen, Grenzen für Blau und Gelb zusammenfallend (nasal 45°, oben 45°, außen 80°, unten 48° usw.) für Rot und Grün ebenfalls (nasal 32°, oben 35°, außen 48°, unten 38° usw.). Bei herabgesetzter Beleuchtung, bei der für mich die Blaugrenze temporal bei 30°, die Rotgrenze bei 20°, lag, zeigte sich bei dem Patienten die Lage von Blau und Rot bereits verkehrt (Rot nasal 18°, oben 18°, außen 25° unten 20°) Blau allseitig etwa 10°.

Die Prüfung des Gelbsinnes und Blausinnes am Kreisels ergab gegenüber einer gesunden farbentüchtigen Kontrollperson keine Herabsetzung der Farbenschwellen oder der farbigen Unterschiedsschwelle.

Symptomatische Diagnose also: Hemeralopie bei intaktem Farbensinn.

XVI. Otto Kl. 12 Jahre alt, taubstumm neben 3 gesunden Geschwistern, lebt in der Taubstummenanstalt. Seit $\frac{1}{2}$ Jahr wurde vom Lehrer bemerkt, daß der Junge abends schlechter sieht; er taste sich in der Dämmerung stets nur mit vorgestreckten Händen in den Räumen voran, in denen andere noch völlig ausreichend orientiert waren.

Alle Prüfungen, sowohl der Adaptation, als auch des Gesichtsfeldes usw., wurden erst ausgeführt, nachdem dem Knaben die nötigen Begriffe vom Lehrer eingeübt und bei verschiedenen Vorversuchen erprobt waren. Die Angaben waren alsdann recht brauchbar, da es ein intelligenter Patient war.

Visus r. $\frac{6}{12}$ + Cyl 1,5 D. 80° = $\frac{6}{12}$ } beiderseits $\frac{6}{10}$ Nd. I. 20 cm.
 l. $\frac{6}{12}$ + Cyl 1,5 D. 80° = $\frac{6}{13}$ }

Dunkeladaptation ohne besondere vorherige Helladaptation:

Person	Sofort	2 Min.	5 Min.	20 Min.	45 Min.
Otto Kl.	1,4	3,2	16,5	520	1040
Kontrolle	13,0	68	—	17 500	35 000

Das Gesichtsfeld war für Weiß unverändert, für Rot und Grün und besonders Blau und Gelb dagegen hochgradig eingeengt. Helligkeit von Blau und Gelb scheinbar unverändert.

Farbe	Nasal	Oben	Temporal	Unten
Weiß	58	55	90	68
Blau-Gelb	8	8	10	6
Rot-Grün	6	6	18	8

Die Grenzen innerhalb jedes Farbenpaares fielen zusammen. Subjektives Farbensehen lag nicht vor.

Es ist möglich, daß in der intermediären Zone vielleicht ein Ringskotom für Weiß oder Farben vorhanden war, doch ließ sich das wegen der immerhin erschwerten Verständigung mit dem Kranken nicht mit Sicherheit feststellen.

Aus dem gleichen Grunde habe ich mich bei der Untersuchung am Kreisels auf die Bestimmung der Blauschwelle und zwar der Unterschiedsschwelle be-

schränkt. Ich habe in diesem Falle zunächst innen und außen eine gleiche Menge Blau (12°) zugemischt und dann das Blau der einen Scheibe vermehrt. Das Ergebnis war folgendes:

Äußere Scheibe	Innere Scheibe	Unterschiede	Erkannt?	
			O. Kl.	Kontrolle
65°	20°	45°	ja	ja
50°	15°	35°	ja	ja
65°	40°	25°	ja	ja
65°	42°	23°	nein	ja
37°	15°	22°	nein	ja
65°	45°	20°	nein	ja
12°	32°	20°	ja	ja
12°	27°	15°	nein	ja
12°	24°	12°	nein	ja
12°	20°	8°	nein	ja
12°	16°	4°	nein	nein
12°	9°	3°	nein	nein
12°	15°	3°	nein	nein
12°	12°	0°	nein	nein

Es bestand also auch bei Helladaptation eine sehr deutliche Unterwertigkeit des Farbenapparates.

Wassermann negativ.

Hintergrund beiderseits pigmentreich. Netzhautgefäße eng. Papillen kaum verändert. Über den Fundus verstreut kleine rundliche, im umgekehrten Bilde kaum stecknadelkopfgroße, gelblichweiße Punkte, hie und da, besonders beim Blick nach oben im rechten Fundus einzelne spinnwebartige, zum Teil auch nur punktförmige feine Pigmentveränderungen.

Diagnose: Retinitis punctata albescens, mit progressiv konkomitierender Farbensinnstörung und Hemeralopie.

XVII. C. R. 27 Jahre. Seit 3 Jahren Abnahme des Sehens. Visus r.: Finger in 2 m, l. $\frac{6}{36}$ — $\frac{6}{24}$ Gl. b. n. Typische Retinitis pigmentosa mit knochenkörperartigen Pigmentveränderungen in beiden Retinen.

Gesichtsfeld: Beiderseits geringe konzentrische Einengung für Weiß; breites bis 30° tiefes Ringskotom, das am linken Auge außer dem zentralen Bezirk von etwa 10° Radius nur eine nasal unterbrochene sichelförmige, funktionsfähige Zone übriggelassen hat. Farben werden bei 10 mm Seitenlänge rechts nicht mehr erkannt, links Rot und Grün nur genau zentral, Blau und Gelb in einem ungefähr kreisförmigen zentralen Bezirk von etwa 6° Durchmesser.

Die Prüfung der Dunkeladaptation ergibt, sofort 1,1 (Kontrolle des Normalen 21,0), nach 15 Minuten 1,1, nach 45 Minuten 1,6. Man kann also geradezu von einem vollständigen Verlust der Dunkeladaptation sprechen. Symptomatische Diagnose: Hemeralopie bei progressiver konkomitierender Farbensinnstörung.

XVIII. Z. A. wurde 1916 am rechten Auge verwundet, sieht seither schlechter. 1918 beginnende Siderosis der Linse und des Bulbus überhaupt.

1920. Rechtes Auge in leichter Divergenz. Iris rechts und links von ungleicher Farbe, links graugrün, rechts braungelblich. Pupille rechts etwas weiter als links, beide reagieren konsensual und auf Licht, die rechte etwas träger. Linkes Auge o. B. Visus $\frac{6}{8}$ + 0,5 = $\frac{6}{8}$ Nd. I. Gesichtsfeld o. B. Rechts: an der Hornhaut-hinterfläche, vor allem aber unter der vordern Linsenkapsel sowie im Gebiet der

hinteren Rinde zahlreiche bräunlichgelbe Pünktchen (Siderosis). Fundus überall gleich deutlich erkennbar, scheinbar ohne Veränderungen. Visus: Handbewegung in 4 m.

Gesichtsfeld: konzentrische Einengung für Weiß und Farben, annähernd gleichmäßig. (Vgl. Abb. 14.) Die Grenze für Rot und Grün einerseits, für Blau und Gelb andererseits fallen zusammen. Untersuchung am Kreisel:

Erkennbarkeit der farbigen Beimischung.

Grade	Blau		Rot		Grün	
	R	L	R	L	R	L
45	ja	ja	ja	ja	ja	ja
25	nein	ja	nein	ja	nein	ja
15	nein	ja	nein	ja	nein	ja
8	nein	Unterschied	nein	ja	nein	Unterschied
4	nein	nein	nein	nein	nein	nein

Die Prüfung der Dunkeladaptation ergibt folgende Werte: Sofort l. 68, r. 0. Nach 15 Minuten l. 2600, r. 0,8. Nach 30 Minuten l. 5210, r. 1,6. Nach 45 Minuten l. 5210, r. 1,6.

Perimetrie bei herabgesetzter Beleuchtung, bei der für mich die Blaugrenze noch weiter als die Rotgrenze lag:

Richtung Augen	Nasal		Oben		Temporal		Unten	
	R	L	R	L	R	L	R	L
Grau	15	35	18	38	38	55	22	42
Blau (Gelb fast ebenso)	0,5	22	0,5	20	0,5	26	0,5	20
Rot (Grün etwas enger)	6	15	8	12	10	18	8	15

Es wurde zuerst die Untersuchung des linken Auges vorgenommen, die ergab, daß zwar alle Grenzen enger, die Blaugrenze aber noch deutlich weiter als die Rotgrenze war. Für das erkrankte Auge dagegen zeigten sich alle Grenzen nicht nur noch enger, sondern Blau wurde überhaupt nur noch unmittelbar im Zentrum erkannt.

Es handelt sich also auf dem Boden von Siderosis bulbi um eine hochgradige Hemeralopie bei gleichzeitiger typischer progressiver Farbensinnstörung.

Als ein weiterer Fall von Hemeralopie bei progressiver Farbensinnstörung, diesmal aus retrobulbärer Ursache, darf hier auf die oben wiedergegebene Krankengeschichte des J. E. (Fall Nr. V) hingewiesen werden.

Hemeralopie bei typischer erworbener Tritanopie liegt im Falle W. Sch. (Fall Nr. XI) vor.

Geht man die zahlreichen Berichte über Farbensinnstörungen bei Hemeralopie, die die Literatur bietet, unter gleichen Gesichtspunkten durch, so muß gleich hier bemerkt werden, daß das Resultat im großen sich mit unseren Befunden durchaus deckt. Im einzelnen sind die Angaben allerdings oft so widersprechend, daß man den Mangel einheitlicher physiologischer Perimeterobjekte hier besonders spürt.

Nicht jede solche Veränderung, die sich verzeichnet findet, sei es der farbigen Schwellen oder der Adaptation bei Tage, bezeugt eine

Beeinträchtigung im „Hellapparat“ der Netzhaut. Wenn z. B. Jess von einem Fall berichtet: „der Fortfall des Purkinjeschen Phänomens infolge der Störung des Dämmerungssehens des Hemeralopen läßt ihm das Blau dunkel, bei herabgesetzter Beleuchtung fast schwarz erscheinen, während Rot besser erkannt wird“, so bedarf es kaum der Erwähnung, daß dies einerseits nur für die gerade dort verwendete Farbenart in der beschriebenen Art gültig ist, für andere mehr, für meine z. B. weniger, daß es für die beiden Töne des von Jess benutzten Blau-Gelb-Paares in verschiedenem Maße zutrifft und, wie der Autor selbst sehr richtig bemerkt, mit einer Störung des Hellapparates zunächst natürlich nichts zu tun hat.

Ähnliches gilt vielleicht in gewissem Umfange auch von einer Beobachtung, die v. Hess an Hemeralopen gemacht hat, daß diese nämlich durch hohe Lichtstärken viel weniger gestört werden als Normale. Man wird daraus allein keineswegs schon auf ein Miterkranktsein der Hellfunktion schließen, da wir wissen, daß z. B. angeborene Totalfarbenblinde mit einer Helligkeitsverteilung im Spektrum, die unseren Dämmerungswerten entspricht, und deren Dämmerungssehen nicht merklich gestört ist, sehr empfindlich unter den normalen oder gar höheren Lichtstärken des Tageslichtes leiden, d. h. also, daß dort der Dämmerungsapparat Blendungssensationen vermittelt, deren Fehlen beim Hemeralopen erwartet werden darf. Die Herabsetzung der Empfindlichkeit gegen Lichtreize, die dem Normalen unangenehm sind, z. B. in die Sonne sehen, ist also verständlich auch ohne die Annahme, daß die Adaptation des Hellapparates defekt sei. Damit soll hier übrigens nicht bestritten werden, daß in den erwähnten Fällen auch die Tagesreizschwellen verändert waren.

Wie stark auch in das normale Tagessehen die Funktion der Stäbchen bzw. die vermutlich durch sie vermittelte Helligkeitsempfindung eingreift, ist von verschiedenen Seiten in überzeugender Weise dargestellt und auch bei der Auswahl der neuen Perimeterfarben durch Einführung des Begriffes der „praktischen Peripheriewerte“ in Rechnung gezogen worden.

Für die Bewertung der auf dem Gebiete der Farbenempfindungen erhobenen Befunde wirkt nun die Unvergleichlichkeit der bisher verwandten Farbenreize besonders störend, wo es sich um die Untersuchung der Farbenswellen handelt.

Es läßt sich dieses leicht belegen. Krienes, der die quantitative Herabsetzung der Blauempfindung als „auffallendstes Symptom“ der Hemeralopie bezeichnet, schreibt: „Wir finden bei akuter und chronischer Hemeralopie entweder schon bei Tageslicht oder erst bei herabgesetzter Beleuchtung: a) nicht nur eine Herabsetzung der Blauempfindung, sondern auch der Violett- und Grünempfindung; b) auch die Rotempfindung ist beeinträchtigt, jedoch in geringerem Grade;

c) am besten wird Gelb (!) wahrgenommen.“ (Arch. f. Augenheilk. 33, 1896, S. 388.) Jess dagegen, der auch von der Annahme einer erworbenen „Tritanopie“ ausgeht, empfiehlt zur Erkennung der Hemeralopie gerade die Prüfung der Gelbgrenze, weil diese auch bei wenig oder gar nicht verschobener Blaugrenze bereits eine z. T. erhebliche Einschränkung zeige. Ich meine, daß dies — richtige Beobachtungen vorausgesetzt — so schlagend wie nur möglich die Insuffizienz der alten Farben beweise, zumal wenn mit Jess daraus eine Schädigung des „Gelb-Blau-Sinnes“, also eine gleichmäßige Störung beider Funktionen, abgeleitet werden soll. Er spricht sich über die von ihm beobachteten Veränderungen des Farbensehens bei Hemeralopie folgendermaßen aus: „Der Gelb-Blau-Sinn erscheint gegenüber dem Rot-Grün-Empfinden stärker oder allein geschädigt, was sich vor allem in einer Einschränkung seiner peripheren Grenzen erkennen läßt, aber auch in zentralen Farbensinnstörungen zum Ausdruck kommt.“ Offenbar tritt „unter dem Einfluß irgendeiner Schädigung der perzipierenden Elemente der Netzhaut eine Farbensinnstörung im Sinne einer erworbenen Tritanopie auf, jedenfalls ist die bei Hemeralopie gleichzeitig beobachtete relative klinische Blau-Gelb-Blindheit eine so konstante Erscheinung, daß man sie zur Feststellung, ob wirklich die Dunkeladaptation gestört ist, stets heranziehen sollte“.

Es wird also außer Veränderungen des Farbensehens bei herabgesetzter Beleuchtung, die der Schädigung des Dämmerungsapparates zur Last gelegt werden müssen, ausdrücklich eine erworbene Tritanopie, und zwar als „so konstante Erscheinung, daß man sie zur Feststellung usw. stets heranziehen sollte“, angenommen. Es wäre aber ein Irrtum, daraus zu entnehmen, daß damit eine notwendige Verknüpfung von Hemeralopie und erworbener Tritanopie oder doch einer Farbensinnstörung überhaupt nahegelegt würde. Eine nähere Betrachtung gerade auch der Jessschen Fälle (1916) zeigt vielmehr, daß davon keine Rede sein kann.

Von den 32 auf Hemeralopie untersuchten Patienten ohne bemerkenswerten Hintergrunds Befund zeigten

2 Fälle Hemeralopie ohne nachweisbare Schädigung des Farbenapparates,
23 Fälle Hemeralopie mit nachweisbarer Schädigung des Farbenapparates,
7 Fälle die typische Gesichtsfeldveränderung, aber keine Hemeralopie,

und wenn man die Hemeralopiefälle nach der Art der vermutlich vorliegenden Farbensinnstörung beurteilt und einteilt, so findet man unter den Fällen sehr verschiedene Gruppen vertreten, nämlich:

1. Hemeralopie ohne Farbensinnstörung,
2. Hemeralopie + erworbene Tritanopie.
3. Hemeralopie + Störungen des Rot-Grün- + Gelb-Blau-Sinnes.
4. Hemeralopie + erworbene totale Farbenblindheit.

In ähnlicher Weise vielgestaltig verhält sich das Bild, wenn man die Befunde verschiedener Autoren nebeneinanderstellt: hielt Krienes die typische Blaublindheit, vor allem bei herabgesetzter Beleuchtung, für einen charakteristischen Bestandteil der Hemeralopie, so weist v. Hess darauf hin, daß in seinen Fällen die adaptativen Fähigkeiten innerhalb des ganzen Farben- und Tageslichtsinnes geschädigt seien. Er hat mit ganz anderen Methoden und also auch ganz anderen farbigen Objekten Beobachtungen nicht nur über den Blausinn, sondern, was auch von hohem Interesse ist, überdies über den Rotsinn unter Heranziehung auch der zentralen bzw. parazentralen Netzhautteile angestellt. Er fand bei abnehmender Beleuchtung eine Steigerung der absoluten Schwelle für rotes Licht in einem Falle um das 6—8fache der für den Normalen erforderlichen Lichtstärke, der für Blau um das 800fache, in weiteren Fällen für Rot um das 2—3fache, für Blau um das 100—200fache. Für zwei Leberleidende war für Rot gar die 80—100fache, für Blau die 14000—18000fache Lichtstärke zur Erkennbarkeit erforderlich, v. Hess benutzt seine Zahlen, um daraus eine adaptative Minderwertigkeit auch des Tagessehens abzuleiten, mithin „die Nachtblindheit durch Versagen bzw. durch angeborenes Fehlen der Fähigkeit zu solchen (uns noch unbekannt) Veränderungen im Sehepithel, insbesondere auch in den Zapfen, zu erklären, an welche die Anpassung des Auges an verschiedene Lichtstärken geknüpft ist“ (1911, S. 211).

Auf die spezielle Deutung dieser Befunde kann ich hier jedoch nicht eingehen, sie ist auch m. E. angesichts gewisser Erfahrungen über das physiologische Ausmaß der Abhängigkeit der Farbenschwellen von der Adaptation nicht ganz einfach.

v. Kries betont demgegenüber die prinzipielle Unabhängigkeit des Symptoms der Hemeralopie von Schädigungen des Farbennapparates, auch wo solche bemerkbar sind. Er faßt von dem Boden der Duplizitätstheorie aus die „Nachtblindheit ganz allgemein als eine Funktionsstörung der Organe des Dämmerungssehens“ auf. Hiermit stimmt gut überein, wenn Leber schreibt [Graefe-Saemisch VII (II), 121/2]: „Bei gutem Tageslicht sind Sehschärfe, Gesichtsfeld und Farbensinn in der Regel vollkommen normal“, wenn er auch an anderer Stelle hinzufügt, daß er eine „leichte Einschränkung“ des Gesichtsfeldes „wiederholt beobachtet“ habe.

Wagenmann sah eine sichere Hemeralopie „bei beginnender Siderosis, während die Sehschärfe und das Gesichtsfeld noch völlig normal waren“ (Graefe-Saemisch Bd. IX, 5, 1159). Trotzdem die Siderosis bulbi in der Regel zu Herabsetzung des Visus, konzentrischer Einengung und Farbensinnstörungen führt, ist er der Ansicht, daß die Hemeralopie „das früheste Symptom der Netzhautdegeneration“ sei,

d. h. also doch, daß sie mindestens zeitweise auch ohne Farbensinnstörungen zu beobachten ist.

Köllner hält die erworbene Tritanopie und Adaptationsstörungen für zwei eng verwandte Funktionsstörungen, macht aber darauf aufmerksam, daß, obschon die erworbene Tritanopie bei Netzhauterkrankungen meist auch mit hochgradiger Störung der D.-A. einhergehe, eine Identifikation nicht berechtigt sei. Bei der „akuten Hemeralopie“ nämlich konnte er niemals Violettblindheit nachweisen, nur zweimal Störungen, die „eine gewisse Ähnlichkeit mit ihr“ hatten und die „auffallenderweise nur in der Dämmerung auftraten“. Nicht weniger wichtig ist, daß Piper und Köllner typische, auch spektral-analytisch als dichromatisches System erwiesene Tritanopie in zwei Fällen gefunden haben, ohne daß eine Hemeralopie bemerkbar gewesen wäre.

Birch-Hirschfeld bestätigt im allgemeinen die Einengung der Farbegrenzen, besonders der Blaugrenze bei Tageslicht, sowie die abnorme Einengung für Weiß und Farben bei herabgesetzter Beleuchtung, doch zeige die Gesichtsfeldeinschränkung erhebliche Unterschiede, die nicht vom Grade der Hemeralopie allein abhängen. In 8,5% seiner Fälle fand er sogar die Außengrenzen für Weiß und Farben normal, in 23,1% für Weiß normal, für Blau weniger als 30° eingengt. Starke Einengung (mehr als 30°) für Blau nur in 6,8%, mäßige für Weiß und Blau in 19,7%, hochgradige in 23,9%.

„Die Störung der zentralen und peripheren Blauempfindung läßt sich besonders gut feststellen, wenn man den Nachtblinden nach längerer Dunkeladaptation rote und blaue, zu bestimmten Mustern geordnete Punkte auf neutral grauem Grunde bei verminderter Beleuchtung darbietet, die blauen Punkte bleiben ihm dann viel länger unsichtbar als dem gleichadaptierten normalen Auge, während die roten fast ebensogut erkannt werden wie von diesem. Diese Prüfung eignet sich wegen ihrer Einfachheit recht gut als Beihilfe zur Feststellung des Leidens.“

Soweit diese Untersuchungen den Farbensinn nur bei herabgesetzter Beleuchtung prüfen, ist natürlich ein Schluß darüber, ob wirklich bzw. in welcher Art der „Blausinn“ gestört war, kaum möglich, doch scheint jedenfalls, wenn es sich so verhielt, den meisten Autoren nur erworbene Tritanopie in Frage zu kommen, nicht aber eine allgemeine konkomitierende Farbensinnstörung.

Birch-Hirschfeld will sowohl die Störungen der Adaptation, als auch einfache Erhöhungen der Reizschwelle als Hemeralopie bezeichnet wissen, wenn die Veränderungen ein gewisses Maß überschreiten. Dies mag unter verschiedenen, besonders praktischen Gesichtspunkten Berechtigung haben, man muß dann aber bedenken,

daß hier auch Fälle mit in die Betrachtung hineingezogen werden, deren Adaptierungsfunktion völlig normal sein kann. Inwieweit das in älteren Arbeiten geschehen ist, läßt sich nicht immer mit Sicherheit feststellen. Man tut daher gut, nicht nur diese Möglichkeit stets zu erwägen, sondern auch künftig derartige Unterschiede spezieller zu berücksichtigen, besonders sofern Schlüsse hinsichtlich der allgemeineren theoretischen Vorstellungen gezogen werden sollen.

Macht man sich diese Nomenklatur zu eigen, so ist es natürlich von vornherein wahrscheinlich, mindestens aber möglich, daß die verschiedenen Typen sich auch bezüglich der farbigen Schwellen verschieden verhalten, zumal die Erhöhung der Reizschwelle bei Dunkeladaptation stets ein Dauerzustand sein soll. Genau so, wie unter normalen Verhältnissen die Endadaptation sehr verschieden ist und in gleicher Weise die Anfangsreizschwelle des Dämmerungsapparates, so kann es auch die des Farbenapparates sein. Da nun für jene Typen außerdem noch die rein adaptativen Verhältnisse, d. h. die Adaptierungsfunktion durch pathologische Zustände veränderlich angetroffen werden kann, wie ebenfalls Birch-Hirschfeld ausführlich dargetan hat, so komplizieren sich hier die Zustände ganz besonders.

Aus diesem Grunde habe ich den Typus I von Birch-Hirschfeld oben zunächst von der Betrachtung ausschließen zu sollen gemeint. Auch die Beobachtungen Köppes, der bei Hemeralopie eine eigenartige diffuse Durchlässigkeitsbeschränkung der Linse, eventuell auch der Hornhaut fand, fallen demnach für unsere Erörterungen nicht ins Gewicht, weil sie mit einer Änderung der Adaptierungsfunktion, auf die es uns vor allem ankommt, an sich nichts zu tun haben.

Es liegt ja nahe, die normalen absoluten Schwellen im Dämmerungsehen und die normalen spezifischen und absoluten der Farben beim Tagessehen irgendwie in Beziehung zueinander zu setzen. Für die allgemeinen Anschauungen über das Sehorgan ist das aber meines Erachtens ohne Belang. Vielleicht werden durch die hier in Erwägung gezogenen Möglichkeiten einige in der Literatur aufgetauchte Angaben verständlicher, besonders, wenn man noch die Erfahrungen über Abhängigkeit der Farbenswellen von der Dunkeladaptation hinzunimmt.

Nach v. Kries ist, wenn man von einer „Helladaptation in der mäßigen Beleuchtung eines gut hellen Zimmers bei Tageslicht“ ausgeht und „überdies den Übergang von dieser Helligkeit zur Verdunkelung nicht momentan, sondern nur mit einem kleinen Zeitverlust stattfinden läßt“, von einer Empfindlichkeitssteigerung in der Fovea überhaupt nichts zu bemerken (S. 246). Selbst nach extremer Helladaptation fanden Nagel und Schäfer nur eine Empfindlichkeitszunahme um höchstens das 20fache. Danach muß dann wohl angenommen werden, daß es sich bei den Größenunterschieden hinsichtlich der absoluten und

Farbenschwellen, die z. B. v. Hess für seine Hemeralopen angegeben hat, nicht um rein adaptative Veränderungen im Zapfenapparat gehandelt haben kann, wenn zur Erkennbarkeit des Rot das 80- bis 100fache, zu der des Blau gar das 14000—18000fache der für den Normalen genügenden Lichtstärke erforderlich war. Genaue Angaben über die Steigerung der spezifischen Schwellen sind leider nicht gemacht worden.

Endlich seien hier noch die interessanten Ergebnisse von Untersuchungen angeführt, die Behr mit seinem Dunkelperimeter ausgeführt hat. Am meisten kommt für uns in Betracht, daß bei zweifellos rein retrobulbären Erkrankungen, z. B. entzündlichen Optikusstamm- affektionen, bei Chiasma- und Tractuserkrankungen hochgradige Beeinträchtigungen der D.-A. vorkommen, ohne daß an Sehschärfe oder Farbengesichtsfeld irgendeine Veränderung wahrnehmbar ist, während wiederum bei intracerebral bedingten inkompletten relativen Hemianopsien, trotz beträchtlicher Schädigung des Farbensinnes, die Dunkeladaptation normal war. Wo sich bei den erwähnten Prozessen der Leitungsbahnen gleichzeitige Beeinträchtigungen des Farbensinnes und der Adaptation einstellten, bestand natürlich „progressive Rot-Grün-Blindheit“; denn andere Formen von Farbensinnstörungen, vor allem erworbene Tritanopien, sind bei retrobulbären Leiden unbekannt.

Aus den hier zusammengestellten Erfahrungen der verschiedensten Autoren geht zwar die weitgehende Unabhängigkeit der beiden Symptomgruppen, der Hemeralopie und der Farbensinnstörungen, wie wir sie an unseren Fällen demonstrieren konnten, ebenfalls hervor. Eine spezielle Bewertung der betreffenden Befunde stößt jedoch im einzelnen auf Schwierigkeiten, denn einerseits sind oft die angewandten Methoden zwar für die Diagnose der Hemeralopie von Nutzen, aber nicht von solcher physiologischen Genauigkeit, um exakt auf die Art der zugrunde liegenden Farbensinnstörung schließen zu können. Ferner ist es in vielen Fällen unmöglich, auch nur eine genügende Vorstellung von dem Adaptationszustande, in dem sich das Auge während der Prüfung befand, zu gewinnen, obwohl das für die Abschätzung der einzelnen mit im Spiel befindlichen Faktoren notwendig wäre.

Dieses Moment fällt um so schwerer in die Wagschale, da wir durch Untersuchungen von Angier und von Revesz wissen, daß stets ein bedeutsamer Einfluß auf die Farbenschwellen in dem etwa wirksamen Helligkeitskontrast besteht und dieser sich mit den Beziehungen der Helligkeit des farbigen Objektes zum Felde, auf dem es erkannt werden soll, d. h. zum Perimetergrunde, schon unter normalen Verhältnissen sehr veränderlich zeigt. Beim Hemeralopen kommt noch hinzu, daß

für ihn die Helligkeitsverhältnisse etwas anders als für uns sind, und daß wir noch nicht wissen, in welcher Weise die subjektive Zumischung von Weiß durch die Lichtperzeption des Dämmerungsapparates, wie sie beim Gesunden stattfindet, anzuschlagen ist gegenüber einer entsprechenden objektiven Weißzumischung zu der auf farblosem Grunde als kontrastleidendes Feld dargebotenen Farbe. Es könnte dadurch unter gewissen Bedingungen sogar eine Herabsetzung der farbigen Schwelle für den Hemeralopen denkbar werden, doch sind diese Verhältnisse noch zu ungeklärt, insbesondere auch die Bedeutung der mitspielenden farblosen Erregung durch den Tagesapparat selbst, so daß man hieraus eigentlich nur den Schluß ziehen kann, daß all unseren Untersuchungsmethoden am Perimeter so lange nur ein untergeordneter Wert zukommen kann, als wir, wie bisher üblich, unsere Prüfungen mit willkürlichen Farben auf einem ebenso willkürlich gewählten „schwarzen“, besser gesagt dunkelgrauen, Grunde anstellen, statt doch wenigstens nach Möglichkeit die wichtigsten Fehlerquellen auszuschalten.

Jess, der diesen Mangel seiner Farben wohl einsah, versuchte den Nachteil der Verschiedenartigkeit seiner Pigmente dadurch auszunutzen, daß er sein Augenmerk auf die „Grenzfläche“ richtete, die sich ihm dadurch ergab, daß „in einer größeren Anzahl angeborener und erworbener Hemeralopien . . . die Blaugrenze sich nicht oder noch nicht sicher verengt hatte, daß aber die Gelbgrenze bereits die Rotgrenze überschritten, ja sogar die Grüngrenze stellenweise erreicht hatte“.

Ich meine aber, dies beweist entweder, daß hier eine sehr verschiedene Schädigung des Gelb- und des Blausinnes vorliegt, oder wenn man diese aus theoretischen Gründen glaubt ablehnen zu dürfen, eine vollständige Inkommensurabilität des gelben und blauen Objektes, verbunden mit einer offenkundigen Unbrauchbarkeit des letzteren, da es eine, der Gelbgrenze nach zu urteilen, sehr vorgeschrittene Tritanopie gar nicht anzeigt. Will man beiden Gedanken nicht beipflichten, so müßte man versuchen, die Deshiszenz der Blau- und Gelbgrenze durch unterschiedliche Wirkungen rein adaptativer Störungen, durch Änderungen in der Zusammensetzung des Lichtes oder dgl. zu erklären, wobei dann aber wieder die Annahme einer Farbensinnstörung, die doch von Jess gemacht wird, wegfallen würde. Die von dem Autor gewünschte „Grenzfläche“ ist bei physiologischen Farben in der Tat vorhanden, zwar nicht als Fläche, sondern als Linie, was wohl das Ideal jener Forderung darstellen dürfte.

Aus den oben mitgeteilten Fällen geht hervor, daß wir an Hand unserer Objekte ohne weiteres die verschiedenen Angaben anderer

Autoren über die Gelb- und Blaugrenze dahin berichtigen dürfen, daß auch bei der Hemeralopie diese beiden Gesichtsfelder an sich, d. h. solange nicht komplizierende Umstände wirksam werden, identisch und in ihrer Lage unverändert sein können. Eine für Hemeralopie charakteristische isolierte oder vorwiegende Einengung der Gelbgrenze wurde von uns nicht beobachtet.

Auch die Feststellung, welche Form von Schädigung des Farbensinnes vorliegt, ist nach dem, was über die verschiedenen Möglichkeiten gesagt ist, durch die physiologischen Objekte sehr erleichtert. Wir fanden auf diese Art, daß sich alle wesentlichen Typen von Farbensinnstörungen mit Hemeralopie vergesellschaften können.

Wo bei „idiopathischer Hemeralopie“ der periphere Blausinn unverändert war, zeigte sich auch die zentrale Empfindlichkeit, bei guter Helladaptation in der Form der Schwellenwertbestimmung am Kreisel mit den am Perimeter benutzten Farben geprüft, nicht herabgesetzt. Die oben erwähnten Fälle v. B. und H. D. sind hier um so beweisender, als sie zu jenem Birch-Hirschfeldschen Typus gehören, der mit herabgesetzter Anfangsempfindlichkeit eine flache Kurve verbindet (Typus III), und den er in etwa 63% seiner Fälle vorfand. Wenn ein und dasselbe Organ dem Tages- und Dämmerungssehen vorstünde, so hätte man eine gleichsinnige Herabsetzung der spezifischen Schwellen bei Tage hier am ehesten erwarten dürfen; ihr Fehlen spricht also mindestens nicht für die Einheitlichkeit jener Apparate.

Die Prüfung der Farbschwellen bei herabgesetzter Beleuchtung ergab auch mit unseren Objekten die bekannte stärkere Einengung der Blaugrenze; es darf hier aber nochmals betont werden, daß dies nicht eine Untersuchung des Farbensinnes im engeren Sinne darstellt, sondern eine solche des Purkinjeschen Phänomens. Das gilt natürlich auch für solche Methoden, die einen Vergleich der absoluten Schwellen für langwellige und kurzwellige Lichter erstreben und trifft wohl überhaupt für fast alle Vorschläge zu, die zur Untersuchung des Farbensinnes bei herabgesetzter Beleuchtung einschließlich der zentralen Teile für den klinischen Betrieb gemacht worden sind. Rein foveale Schwellen werden dabei kaum gefunden.

Ich möchte also unter Verwertung der vorliegenden Literatur meine Erfahrungen mit den neuen Farben bei der Hemeralopie dahin zusammenfassen, daß es erstens zweifellos Fälle von Hemeralopie gibt, in denen bei starker Beeinträchtigung des Dämmerungssehens vielleicht immer, sicher aber zeitweise erkennbare Störungen des Farbensinnes, insbesondere auch der Blauempfindung bei Helladaptation, fehlen;

diese Fälle mögen verhältnismäßig selten sein¹⁾, sie kommen aber vor. Zweitens, daß, wo Farbensinnstörungen beobachtet werden, diese keineswegs immer oder auch nur in der Regel den gleichen Typus darstellen, etwa den der Tritanopie. Dieser scheint nach Erfahrungen anderer Autoren, wenn auch selten in reiner Form, bei der sog. idiopathischen Hemeralopie bevorzugt zu sein, und das ist zutreffendenfalls schließlich nicht gerade verwunderlich, da man es hier gewiß häufig mit einer anderweitig noch nicht manifesten Erkrankung der Netzhaut zu tun hat, die die Neuroepithelschicht mitbeteilt. Man findet aber bei Hemeralopie zweifellos auch oft genug gleichmäßige Veränderungen mehrerer Hauptempfindungspaare im Sinne einer progressiven konkomitierenden Farbensinnstörung, und die verschiedenen Veränderungen stehen keinesfalls etwa in einem derartigen Verhältnis zur Schwere der Hemeralopie, daß den leichten Graden tritanopische, den schwereren daneben Zeichen von „Rot-Grünblindheit“ eigen wären. Selbst das kann nicht bestätigt werden, daß etwa alle Hemeralopen mit herabgesetzter Anfangsempfindlichkeit auch eine in gleicher Weise gesteigerte Tagesfarbenschwelle besitzen. Es wäre von Interesse zu wissen, wie sich bei Normalen die Höhe der Anfangsempfindlichkeit zur farbigen Tagesschwellenempfindlichkeit verhält, ob hier überhaupt eine bedeutsame Regelmäßigkeit erkennbar ist. Das Vorkommen von erworbener totaler Farbenblindheit braucht bei dieser Gelegenheit nicht erwähnt zu werden, und ebensowenig die obenerwähnte Tatsache, daß sich selbstverständlich auch einmal irgendeine angeborene Farbensinnanomalie mit dem Symptom der Hemeralopie zusammen vorfinden kann.

Ein theoretisch verwertbarer Parallelismus zwischen Hemeralopie und Störungen des Farbenapparates ist jedenfalls nicht nachweisbar. Für die allgemeineren theoretischen Vorstellungen folgt daraus, daß die Auffassung der Hemeralopie als einer isolierten Störung der Dämmerungsfunktion, die man sich an die Tätigkeit der Netzhautstäbchen geknüpft denkt, mit den Erfahrungen, die wir gleichzeitig am Farbenapparat zu machen Gelegenheit haben, ohne Schwierigkeit vereinbar ist.

Zusammenfassung.

Die physiologischen Musterfarben sind gegenüber den sonst üblichen Perimeterobjekten dadurch charakterisiert, daß sie erstens von gleichem Peripheriewert untereinander und mit dem Grau des Perimetergrundes

¹⁾ Die mir zur Verfügung stehenden Fälle von „idiopathischer“ Hemeralopie (ohne sonstigen Krankheitsbefund) zeigten keine Veränderung des Farbensinnes; dieses Material ist aber nicht groß genug, um allgemeine Schlußfolgerungen hinsichtlich der Häufigkeit von Farbensinnstörungen zuzulassen.

sind, zweitens dem Tone nach die vier sogenannten „invariablen“ Farben darstellen und drittens so gewählt sind, daß die physiologische Sättigung von Rot und Grün einerseits, von Blau und Gelb andererseits gleich¹⁾.

Die Prüfung der physiologischen Eigenschaften ergibt außer dem Zusammenfallen der beiden Feldgrenzen jedes Paares, daß auch vom ungeübten Patienten der Übergang von Grau zur Farbe leicht und sicher erkannt und angegeben wird. Durch Aufhebung des Helligkeitskontrastes bei diesem Verfahren der Perimetrie liegen trotz der relativ geringen objektiven Sättigung der Farben die spezifischen Grenzen im Gesichtsfelde für unsere Objekte mindestens ebenso peripher, wie für die meisten älteren. Auch die Weißgrenze ist auf grauem Grunde nicht wesentlich enger als bei Benutzung „schwarzer“ Perimeter.

Die Peripheriegleichheit der Farben bewirkt eine besondere Eignung zur Prüfung auch des zentralen Farbensinnes (z. B. am Farbenkreisel) ohne Einwirkung von Helligkeitskontrasten.

Wegen der geringen objektiven Sättigung der Farben ist die Differenz der Dämmerungswerte verhältnismäßig gering (mit Ausnahme des Grün), so daß geringe Änderungen der Außenbeleuchtung auf die perimetrischen Untersuchungen im allgemeinen nicht störend einwirken; stärkere Schwankungen können aber naturgemäß die Peripheriegleichheit und Identität der Gesichtsfelder innerhalb der beiden Farbenpaare aufheben. Die Invariabilität bleibt unter physiologischen Verhältnissen praktisch erhalten.

Klinische Erfahrungen an geeigneten Fällen bestätigen die nach der Wahl der Töne theoretisch selbstverständliche Voraussetzung, daß bei Deutanopen und Protanopen das Rot- und Grüngesichtsfeld fehlt, bei den sogenannten „Anomalen“ eingeengt ist. Bei Protanopen und Protanomalen werden überdies die typischen Helligkeitsänderungen bemerklich.

Wie bei den angeborenen Farbensinnstörungen, so entsprechen auch bei den erworbenen unsere Objekte praktisch den „neutralen Stellen“ des Spektrums.

Für die progressiven konkomitierenden Farbensinnstörungen (progressive Rot-Grünblindheit), wie wir sie z. B. von retrobulbären Leiden her kennen, stellen unser Rot und Grün das pessimale, unser Blau und Gelb dagegen das optimale Farbenpaar überhaupt

¹⁾ Anm. (während der Korrektur). Gegenüber gewissen Bedenken, die aus theoretischen Gesichtspunkten von v. Hess geäußert worden sind (Arch. f. Augenheilk. 1920, S. 222ff. und 317ff.), sei auch hier nochmals ausdrücklich darauf aufmerksam gemacht, daß die Brauchbarkeit unserer Perimeterobjekte nicht davon abhängig ist, daß bekanntlich im strengsten Sinne Peripheriegleichheit, Invariabilität und physiologische Sättigung bei Pigmentfarben überhaupt nicht allgemeingültig herstellbar sind. Wie aus unseren Untersuchungen hervorgeht, kann man aber sehr wohl eine praktisch ausreichende Genauigkeit erzielen, und darauf allein kommt es an.

dar; dies bedingt eine besondere Empfindlichkeit der physiologischen Objekte in dem Sinne, daß im Gesichtsfelde die pathologisch veränderten Grenzen, z. B. Rot- bzw. Grüngrenze verhältnismäßig sehr früh und stark, die normaleren, hier Blau und Gelb, dagegen wenig verändert erscheinen.

Invariabilität und Peripheriegleichheit bleiben auch im weiteren Verlauf der progressiven Farbenblindheit erhalten. Die Grenzen für Rot und Grün fallen dauernd zusammen und beweisen dadurch, daß auch die Rot- und Grüne mpfindung bei diesen Erkrankungen in gleichem Maße und zur gleichen Zeit schwindet. Die relative Lage der Grenzen von Paar zu Paar dagegen scheint je nach dem Falle sehr variabel zu sein, sei es, daß die Felder der beiden Farbenpaare sich nur wenig unterscheiden, oder daß die Rot-Grüngrenze bei wenig beeinträchtigtem Gelb-Blaugesichtsfeld sehr stark eingengt ist.

Auch im Stadium der erworbenen totalen Farbenblindheit werden, im Gegensatz zur angeborenen, die für den Normalen gültigen Helligkeitsverhältnisse anerkannt.

Im ganzen betrachtet zeigen die konkomitierenden Farbensinnstörungen also eine weitgehende Analogie zur Farbenblindheit der normalen Netzhautperipherie.

Bei der erworbenen Tritanopie (der sogenannten Blaublindheit) fehlt in klassischen Fällen das Blau- und Gelbgesichtsfeld. Beide Farben erfahren zugleich typische Helligkeitsänderungen, die sich aus der Lage der Aichwertkurven schon theoretisch erschließen lassen. Insbesondere wird das Blau als sehr dunkel empfunden. Hat die „neutrale Zone“, was bisweilen der Fall ist, eine etwas andere Lage im Spektrum, nämlich bezüglich unseres Gelb und Blau mehr nach dem kurzwelligen Teil zu, so wird damit nicht nur die farblose Helligkeit, sondern auch die Invariabilität der erwähnten Farben aufgehoben; das Gelb erscheint dann schwach rötlich, das Blau grünlich, wenn auch sehr dunkel. Dieses Phänomen darf deshalb in gleicher Weise als pathognomonisch für Tritanopie bezeichnet werden wie die so häufig auftretenden Änderungen der Absorptionsverhältnisse.

Änderungen des Farbtones finden sich natürlich auch bei den verschiedenen Formen des subjektiven Farbensehens.

Allen Farbensinnstörungen gegenüber bedeutet die präzise physiologische Definition unserer Farben durch die Möglichkeit eindeutiger Beurteilung der Resultate eine wesentliche Erleichterung und zugleich Steigerung der Exaktheit und Feinheit der perimetrischen Untersuchungen.

Die gleichen Vorteile bestehen endlich für die Verwendung bei Störungen der Dunkeladaptation, ja hier in gesteigertem Maße, weil die relativ große Helligkeit der Objekte, sowie die Ausschaltung jeglichen Helligkeitskontrastes eine auf andere Art nicht zu erzielende gleichmäßige Stimmung des gut helladaptierten Sehorganes zulassen.

Unsere Erfahrungen lehren hier, daß das Symptom der Hemeralopie, genauer der gestörten Adaptierungsfunktion, nicht nur mit den verschiedensten Arten und Graden erworbener und angeborener Farbensinnstörung vergesellschaftet gefunden wird, sondern zweifellos auch bei völlig intaktem Farbenapparat. Streng fixierbare Beziehungen finden sich hier also nicht.

Literaturverzeichnis.

- Angier Roswell, P., Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorg. **41**, 344. — Augstein, Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. **55**, 474. 1915. — Augstein, Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. **57**, 272. 1916. — Behr, Arch. f. Ophthalmol. **75** (II), 201. 1910. — Best, Arch. f. Ophthalmol. **76** (I), 146. 1910. — Best, Arch. f. Ophthalmol. **97**, 168. 1918. — Birch-Hirschfeld, Ber. d. Ophthalmol. Ges. Heidelberg 1916, S. 197. — Birch-Hirschfeld, Arch. f. Ophthalmol. **92**, 273. 1916. — Birch-Hirschfeld, Zeitschr. f. D. Ophthalmol. Optik **5**, (II), 44. 1917. — Birch-Hirschfeld, Zeitschr. f. Augenheilk. **38**, 57. 1917. — Birch-Hirschfeld, Klin. Monatsschr. f. Augenheilk. **55**, 53. 1918. — Ole Bull, Arch. f. Ophthalm. **27** (I), 54; **29** (III), 71. — Ole Bull, Perimetrie Bonn 1895. — Collin und Nagel, Zeitschr. f. Sinnesphysiol. **41**, 74. 1906. — Engelking und Eckstein, Klin. Monatsschr. **64**, 88 u. 664. 1920. — Engelking und Eckstein, Speyer u. Kaerner, Freiburg 1920. — Goldmann, Zeitschr. f. Augenheilk. **36**, 220. 1916. — Hegg, Arch. f. Ophthalm. **38** (III), 145. — Helmholtz, v., Handbuch d. phys. Optik, 3. Aufl. — Hess, C. v. Arch. f. Ophthalm. **35** (II), 1; Arch. f. Augenheilk. **84**, 1. 1919; Arch. f. Augenheilk. **85**, 1. 1919. — Hess, C. v., Arch. f. Augenheilk. **69**, 205. 1911. — Hess, C. v., Arch. f. Augenheilk. **62**, 50. 1909. — Hillemanns, Klin. Monatsschr. f. Augenheilk. **47**, 302. 1909. — Jess, Ber. d. ophth. Ges. Heidelberg 1916 u. 1918; Deutsch. med. Wochenschr. 1917, S. 681; Klin. Monatsschr. f. Augenheilk. 1919, S. 400. — Koenig, Ges. Abhandlungen z. physiol. Optik 1903, S. 14. — Koenig, Ges. Abhandlungen z. physiol. Optik 1903, S. 396. — Köllner, H., Zeitschr. f. Sinnesphysiol. **42**, 15. 1908. — Köllner, H., Zeitschr. f. Sinnesphysiol. **42**, 281. 1908. — Köllner, H., Zeitschr. f. Sinnesphysiol. **44**, 269. 1910. — Köllner, H., Zeitschr. f. Augenheilk. **17**, 234. 1907. — Köllner, H., Zeitschr. f. Augenheilk. **19**, Erg. S. 1. 1908. — Köllner, H., Zentrabl. f. prakt. Augenheilk. 1910, S. 330. — Köllner, H., Die Störungen des Farbensinnes. Berlin 1912. (Hier auch weitere Literaturangaben.) — Köllner, H., Zeitschr. f. Augenheilk. **21**, 193 u. 309. 1909. — Koeppe, Münch. med. Wochenschr. Nr. 15, 392. 1918. — Krienes, Zeitschr. f. Augenheilk. **20**, 392. 1908. — Krienes, Zeitschr. f. Augenheilk. **20**, 392. 1908. — Krienes, Arch. f. Augenheilk. **33**, 251 u. 439. 1896. — Kries, v., Nagels Handbuch der Physiologie III. 1905. — Kries, v., Klin. Monatsschr. f. Augenheilk. **46**, 241. 1911. — Kries, v., Abhandlungen zur Physiologie der Gesichtsempfindungen. **1**, 1 u. 105; **2**, 1, 34 u. 138; **4**, 125. — Löhlein, Ber. d. Ophthalm. Ges. Heidelberg 1916, S. 205. — Löhlein, Med. Klin. 1917, Nr. 11 u. 12. — Mayer, A., Diss. Freiburg 1905. — Meyer, Zeitschr. f. Augenheilk. **39**, 48. 1918. — Nagel, Zeitschr. f. Sinnesphysiol. **43**, 299. 1908. — Oguchi, Arch. f. Ophthalm. **81**, 109. 1912. — Piper, Zeitschr. f. Psychol. u. Psychiol. d. Sinnesorg. **38**, 153. 1905. — Piper, Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorg. **31**, 161. 1903. — Schjelderup, H. R., Zeitschr. f. Sinnesphys. **51**, 19. 1920. — Stargardt, Klin. Monatsschr. f. Augenheilk. **2**, 353. 1906. — Wessely, Münch. med. Wochenschr. 7. XII. 1915, Nr. 49, S. 1698. — Wessely, Arch. f. Augenheilk. **81**, Erg. S. 1. 1916.