

(Aus der physikalischen Abteilung des physiologischen Instituts in Berlin.)

Vergleichende Bestimmungen der Peripheriewerte des trichromatischen und des deutanopischen Auges.

Von

ROSWELL P. ANGIER, Cambridge U. S. A.

Farbiges Licht, das die äußerste Netzhautperipherie trifft, erscheint bekanntlich im allgemeinen farblos. Sehr leicht ist diese Tatsache am dunkeladaptierten Auge zu beobachten, am helladaptierten nur unter bestimmten Voraussetzungen, deren wichtigste die ist, daß der Lichtreiz eine nicht zu große Netzhautfläche trifft. Farbige Objekte, die unter einem Gesichtswinkel von nur wenigen Graden erscheinen, sehen für die äußerste Netzhautperipherie farblos aus. Verschiedene Farben unterscheiden sich demnach, mit diesem Teile der Netzhaut betrachtet, nur durch ihre im allgemeinen verschiedene Helligkeit.

Messende Untersuchungen über den relativen Helligkeitswert der verschiedenen Spektrallichter hat zuerst v. KRIES ausgeführt; v. KRIES bezeichnet die hierbei gefundenen Werte als „Peripheriewerte“.¹

Es stellte sich sogleich heraus, daß diese Peripheriewerte von den durch v. KRIES und NAGEL² bestimmten „Dämmerungswerten“ ganz erheblich abweichen, daß m. a. W. die Verteilung der Reizwerte im Spektrum für die Netzhautperipherie eine wesentlich verschiedene ist, je nachdem diese Netzhautpartie helladaptiert oder dunkeladaptiert ist. Bei kurvenmäßiger Darstellung liegt der Gipfel der Peripheriewertkurve des normalen Auges im reinen Gelb oder etwas orangewärts davon, der Gipfel der

¹ Diese Zeitschrift 15, 247.

² Diese Zeitschrift 12, 1.

Dämmerungswertkurve dagegen im Grün, wo jene erste Kurve schon steil abfällt.

v. KRIES¹ hat auch schon die Frage in Angriff genommen, wie sich die Peripheriewerte des partiell farbenblinden Auges darstellen. Während bekanntlich die Dämmerungswertkurven bei sämtlichen bekannten Arten von Farbensystemen eine fast vollständige Übereinstimmung zeigen, gilt dies nach den Erfahrungen von v. KRIES nicht für die Peripheriewerte. Die diese Werte darstellende Kurve rückt beim Protanopen (sog. Rotblinden) merklich vom roten Ende her in das Spektrum hinein, so daß ihr Gipfel, statt wie beim normalen Trichromaten im Gelborange, im Gelbgrün liegt.

Nicht mit derselben Sicherheit hat sich bis jetzt die Frage beantworten lassen, ob auch die Peripheriewerte des Deutanopen (sog. Grünblinden) von denen des normalen Trichromaten eine gesetzmäßige Abweichung zeigen. Versuche in dieser Richtung, die v. KRIES (l. c.) in Gemeinschaft mit dem Deutanopen NAGEL unternahm, ergaben wohl das Resultat, daß die Peripheriewerte des letzteren im Grün etwas geringer schienen als die des normalen Auges. In gleicher Richtung fielen die Versuche POLIMANTIS² aus, bei denen ebenfalls NAGEL als deutanopische Versuchsperson fungierte.

Da indessen bei derartigen Versuchen, wie leicht zu verstehen, der Adaptationszustand des untersuchten Auges von großer Bedeutung ist, und man sich nicht ganz leicht gegen die Fälschung der Resultate durch ungleichen Adaptationszustand der in Vergleich gesetzten Versuchspersonen sichern kann, hält v. KRIES die Frage eines wesentlichen Unterschiedes zwischen den Peripheriewerten des Deutanopen und des Trichromaten noch nicht für endgültig entschieden. In diesem Sinne spricht sich v. KRIES in seiner Bearbeitung der Physiologie der Gesichtsempfindungen in NAGELS Handbuch der Physiologie Bd. III aus.

Herr Prof. NAGEL, der dieser Frage auch weiterhin seine Aufmerksamkeit zugewendet hat, und in neueren Beobachtungen die Differenz der Peripheriewerte bei Trichromaten und Deutanopen erheblicher gefunden hatte, als früher, machte mir den Vorschlag, unter Anwendung der größtmöglichen Vorsichtsmaßregeln

¹ Diese Zeitschrift 15, 247.

² Diese Zeitschrift 19, 263.

gegen störendes Eingreifen von Adaptationsverschiedenheiten nochmals derartige Vergleichsbestimmungen der Peripheriewerte vorzunehmen. Die Versuche, die ich, diesem Vorschlage folgend, ausgeführt habe, sollen im folgenden kurz mitgeteilt werden.

Die Versuchsanordnung lehnte sich eng an die von v. KRIES und POLIMANTI benutzte an und beruhte in der Hauptsache auf der zuerst von HERING vorgeschlagenen sog. „Fleckmethode“. Inmitten einer grossen mit weissem Licht bestrahlten Fläche befand sich ein kreisrunder Fleck von 6 mm Durchmesser, der in dem betreffenden zu untersuchenden Spektrallicht leuchtete und unter dem Gesichtswinkel von 1° erschien. Der Blick wurde so gerichtet, daß das Bild dieses Fleckes auf die total farbenblinde Netzhautzone des zu den Versuchen dienenden Auges fiel. Durch geeignete Regulierung der Helligkeit des farbigen Fleckes wurde alsdann der Fleck zum Verschwinden gebracht, was, wie leicht verständlich, dann eintritt, wenn Fleck und umgebendes Feld gleich hell sind. Die Helligkeit des den Fleck erleuchtenden Lichtes wurde dann abgelesen und auf diese Weise der Peripheriewert für eine Anzahl von Punkten des Spektrums bestimmt.

Auf die Einzelheiten der ganzen Versuchsanordnung einzugehen, erscheint mir überflüssig, da ähnliche Anordnungen zu verwandten Zwecken schon öfters benutzt und beschrieben worden sind; nur folgende Punkte mögen besonders erwähnt werden.

Der Fleck wurde von spektralem Licht erleuchtet, das durch prismatische Zerlegung des Lichtes eines Auerbrenners gewonnen wurde. Die Abstufung der Helligkeit erfolgte durch Variierung der Spaltweite. Das den Fleck umgebende Feld bestand aus einer weissen Kartonplatte, die von drei Osmiumlampen hell beleuchtet war (ca. 1000 MK.). Diese künstliche Beleuchtung zog ich der Tagesbeleuchtung vor, deren Schwankungen messende Versuche von dieser Art allzusehr erschwert und unsicher gemacht haben würden.

Der Ocularspalt ($\frac{3}{4}$ mm breit, 3 mm hoch) war durch eine Schraubenvorrichtung horizontal längs einer Skala verstellbar gemacht, um successive die verschiedenen homogenen Lichter zu erhalten.

Besondere Sorgfalt wurde aus dem oben angeführten Grunde der Erzielung guter Helladaptation zugewandt. Durch das bloße Hinblicken auf eine helle Fläche konnte dieser Zweck nicht er-

reicht werden, da man sich in einfachen Versuchen leicht davon überzeugt, daß selbst nach längerem Aufenthalt im Freien an hellen Sommertagen die Netzhautperipherie sich noch im Zustande mittlerer Dunkeladaptation befindet. Um auch in der total farbenblinden Zone gute Helladaptation zu erhalten, ist künstliche Pupillenerweiterung durch Atropin oder Homatropin unbedingt erforderlich.

Demzufolge erweiterten auch die bei meinen Versuchen beteiligten Versuchspersonen für die entscheidenden Messungen stets ihre Pupillen durch Homatropin. Einige Versuchsserien zur Einübung der Einstellungen wurden zuvor bei nicht erweiterter Pupille ausgeführt.

Es ist selbst bei erweiterter starrer Pupille nicht wohl möglich und für unsere Versuche jedenfalls nicht nötig, die gesamte Netzhautperipherie in den Zustand voller Helladaptation zu bringen; es genügte, etwa einen Quadranten der Netzhaut hinreichend zu adaptieren. In einigen Versuchen bewirkten wir die Helladaptation mit Hilfe einer Mattglasscheibe, die von einer Bogenlampe aus geringer Entfernung bestrahlt war und deren Licht den für die Versuche benutzten Netzhautteil vor jeder Einstellung einige Minuten lang beleuchtete.

Als angenehmer und wirksamer erwies sich die Belichtung vom sonnenhellen, am besten mit weißen Wolken teilweise bedeckten Himmel. Die Versuchsperson ging, nachdem sie sich vor Beginn der ganzen Versuchsreihe gründlich helladaptiert hatte, vor jeder Einstellung wieder auf etwa 2—3 Minuten in ein Nebenzimmer, exponierte den betreffenden Netzhautteil während dieser Zeit dem hellen Himmelslicht, das durch die maximal erweiterte Pupille einfiel. Bis zu jeder Einstellung im Arbeitszimmer verliefen im allgemeinen etwa 1—2 Minuten.

Sehr deutlich bemerkbar war der Unterschied sowohl in der objektiven wie in der subjektiven Sicherheit der Einstellungen zwischen der nach diesem Verfahren erzeugten guten Helladaptation und einem mittleren Adaptationszustand, und zwar durchaus zugunsten des ersteren. Im mittleren Adaptationszustand gelingt es nur bei gewissen Lichtern (gelb und gelbgrün) leicht, den Fleck zum Verschwinden zu bringen, bei den übrigen ist es schwer oder unmöglich. Das Hindernis liegt alsdann darin, daß der Fleck keine einheitliche Helligkeit hat, sondern ungleichmäßig hell erscheint und infolgedessen nie völlig ver-

schwindet. Im reinen Rot machte sich übrigens selbst bei bester Helladaptation die von v. KRIES beschriebene Erscheinung geltend, daß der Fleck gewissermaßen Glanz zeigte, indem er zugleich heller und dunkler als der Grund aussah. Dabei ist natürlich nur eine ungenaue Einstellung möglich.

Die gewählte Exzentrizität der Beobachtung liefs die spektralen Lichter vom Orange-Rot (ca. $630\text{ }\mu\mu$) bis ins Grün von etwa $520\text{ }\mu\mu$ Wellenlänge als farblos erscheinen; rotwärts von dieser Strecke störte die erwähnte Glanzerscheinung, blauwärts das schon bei Lichtern von $500\text{ }\mu\mu$ sehr auffällige Blauwerden des Fleckes die Gewinnung befriedigender Gleichungen. Auf den Versuch, die Bestimmungen noch weiter im Spektrum auszu-dehnen, konnte ich um so eher verzichten, als, wie die untenstehenden Kurven und Tabellen zeigen, in dem benutzbaren Bezirk die speziellen Eigentümlichkeiten des Kurvenverlaufes für die beiden Farbensysteme deutlich genug zum Ausdruck kommen.

Bedauerlich war es in gewisser Hinsicht, daß als deuteranopische Versuchsperson nur Herr Prof. NAGEL in Betracht kommen konnte; die Versuche erfordern indessen ein nicht geringes Maß von Übung und sie sind auch ziemlich ermüdend. Versuche mit einem anderen Deuteranopen ergaben so inconstante Resultate, daß ihre Verwertung ausgeschlossen war.

Als Versuchspersonen vom normalen trichromatischen System fungierten außer dem Verf. die Herren Dr. BUSCK und Dr. PIPER.

Die Beobachtungen wurden stets in der Weise ausgeführt, daß eine der genannten drei Versuchspersonen mit dem Verf. zusammen eine Versuchsreihe durchs ganze Spektrum durchführte. Solche Doppelreihen waren deshalb notwendig, weil die an einem Tage gewonnenen Zahlen nicht ohne weiteres mit den an einem anderen Tage erhaltenen vergleichbar waren. Erstens ergab die Einstellung der Natriumlinie, die natürlich vor jeder Versuchsreihe aufgesucht wurde, die zwar wohlbekannten aber nicht recht erklärlichen Schwankungen, die meines Wissens selbst bei den bestgebauten Spektralapparaten nicht fehlen. Außerdem war aber auch die Skala, an welcher die eingestellte Wellenlänge abzulesen war, nicht so fein hergestellt, daß man sicher sein konnte, immer wieder genau denselben Wert zu erhalten.

Diese kleinen Ungenauigkeiten fielen ganz außer Betracht, wenn stets nur die Peripheriewerte zweier Beobachter bei einer

und derselben Ocularspaltstellung hintereinander bestimmt wurden, wobei es also hauptsächlich auf Vergleichswerte, viel weniger auf absolute Werte ankam. Ob das jeweils verwendete Reizlicht die Wellenlänge 626 oder 630 hatte, machte wenig aus, wenn nur die beiden Beobachter bei derselben Ocularspaltstellung beobachteten.

In der Tat zeigen denn auch die drei unten wiedergegebenen Kurvenpaare, in deren jedem eine für den Verf. gültige Kurve enthalten ist, daß diese drei Kurven nicht völlig übereinstimmen. Das Wesentliche aber, worauf es ankam, zeigen die Kurvenbilder wie die Tabellen, auf Grund deren jene konstruiert sind: daß die Peripheriewerte des Verf. mit denjenigen anderer normaler Trichromaten so gut wie ganz zusammenfallen, gegenüber denen des Deuteranopen dagegen eine deutliche Differenz in dem zu erwartenden Sinne aufweisen.

In den nachstehenden Tabellen sind die Ergebnisse unserer Bestimmungen in der Weise registriert, daß in der obersten Horizontalreihe die Wellenlänge des Reizlichtes angegeben ist, darunter die einzelnen Spalteinstellungen, unter ihnen ihr arithmetisches Mittel; in der untersten Reihe endlich stehen die Peripheriewerte, so berechnet, daß stets die für den Verf. gültigen Werte des Natriumlichtes ($\lambda = 589 \mu\mu$) gleich 100 gesetzt sind. Dementsprechend sind dann auch die Kurven gezeichnet.

In Tabelle II und IV bedeutet R. „richtig“, D. „zu dunkel“, R(d.) „richtig oder wenig zu dunkel“, H. „zu hell“. Die Versuche in Tabelle I sind bei Helladaptation mit Bogenlicht, die übrigen mit Tageslicht gemacht.

Tabelle I.

Peripheriewerte von Dr. PIPER (P.) und Dr. ANGIER (A.).

| 610 | | 589 | | 569 | | 557 | | 546 | | 527 | | 512 | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|
| P. | A. | P. | A. | P. | A. | P. | A. | P. | A. | P. | A. | P. | A. |
| 8,3 | 8,4 | 6,8 | 6,6 | 7,3 | 7,9 | 8,8 | 8,3 | 10,4 | 10,1 | 16,3 | 17,7 | 24,2 | 24,3 |
| 8,6 | 8,6 | 7,2 | 6,5 | 7,3 | 7,7 | 8,5 | 8,1 | 10,9 | 10,5 | 16,6 | 16,6 | 26,5 | 26,3 |
| 7,9 | 7,4 | 6,5 | 7,3 | 7,6 | 7,8 | 8,1 | 8,5 | 10,3 | 10,6 | 16,7 | 17,1 | 27,2 | 25,5 |
| 8,3 | 8,1 | 6,8 | 6,8 | 7,4 | 7,8 | 8,5 | 8,3 | 10,5 | 10,4 | 16,5 | 17,1 | 26,0 | 25,4 |
| 82 | 84 | 100 | 100 | 92 | 86 | 80 | 82 | 64 | 65 | 41 | 40 | 26 | 27 |

Tabelle II.

Peripheriewerte von Dr. BUSCK (B.) und Dr. ANGIER (A.)

| 643 | | | | 626 | | | | 610 | | | |
|------|---------------|------|---------------|------|---------------|------|---------------|-----|---------------|-----|---------------|
| B. | Scheint A. | A. | Scheint B. | B. | Scheint A. | A. | Scheint B. | B. | Scheint A. | A. | Scheint B. |
| 16,6 | D. | 18,2 | R. | 10,2 | R(d.) | 10,0 | R. | 7,7 | R. | 8,0 | R. |
| 18,3 | R. | 16,3 | R. | 10,9 | R. | 10,6 | R. | 8,3 | R. | 7,8 | R. |
| 18,2 | R. | 17,9 | R. | 11,1 | R. | 10,2 | R. | 7,6 | R. | 7,8 | R. |
| 18,3 | R. | 17,5 | R. | 10,2 | R. | 10,1 | D. | 8,3 | R. | 7,5 | R. |
| 17,9 | R. | 17,5 | R. | 11,5 | H. | 9,3 | — | 7,8 | R. | 7,9 | R. |
| 17,9 | | 17,5 | | 10,8 | | 10,0 | | 7,9 | | 7,8 | |
| 36 | | 37 | | 60 | | 65 | | 82 | | 83 | |

| 589 | | | | 569 | | | | 557 | | | |
|-----|---------------|-----|---------------|-----|---------------|-----|---------------|-----|---------------|-----|---------------|
| B. | Scheint A. | A. | Scheint B. | B. | Scheint A. | A. | Scheint B. | B. | Scheint A. | A. | Scheint B. |
| 6,9 | R. | 6,5 | R. | 7,6 | R. | 7,3 | R. | 8,7 | R. | 8,8 | R. |
| 6,7 | R. | 6,6 | R. | 7,1 | R. | 7,4 | R. | 9,2 | R. | 9,0 | R. |
| 6,8 | R. | 6,5 | R. | 7,1 | R. | 7,6 | R. | 9,1 | R. | 9,4 | R. |
| 6,5 | R. | 6,3 | R(d.) | 7,3 | R. | 7,0 | R. | 9,2 | R. | 9,2 | R. |
| 7,1 | R. | 6,5 | R. | 7,5 | R. | 7,0 | R. | 8,8 | R. | 9,6 | R. |
| 6,8 | | 6,5 | | 7,3 | | 7,3 | | 9,0 | | 9,2 | |
| 96 | | 100 | | 89 | | 89 | | 72 | | 71 | |

| 546 | | | | 527 | | | | 513 | | | |
|------|---------------|------|---------------|------|---------------|------|---------------|------|---------------|------|---------------|
| B. | Scheint A. | A. | Scheint B. | B. | Scheint A. | A. | Scheint B. | B. | Scheint A. | A. | Scheint B. |
| 10,9 | R. | 11,3 | R. | 16,3 | R(d.) | 15,2 | R. | 30,8 | R.? | 28,1 | R. |
| 10,7 | R. | 11,4 | R. | 17,3 | R. | 16,9 | R. | 29,3 | R.? | 26,5 | R. |
| 11,0 | R. | 11,3 | R. | 16,8 | R(d.) | 16,9 | R. | 28,8 | R.? | 27,4 | D. |
| 11,4 | R. | 11,5 | R. | 17,1 | R. | 17,5 | R. | 30,6 | R.? | 27,8 | D. |
| 11,1 | R. | 10,9 | R. | 16,8 | R(d.) | 16,9 | R. | 30,0 | R.? | 28,9 | D. |
| 11,0 | | 11,3 | | 16,9 | | 16,7 | | 29,8 | | 27,7 | |
| 59 | | 58 | | 38 | | 39 | | 22 | | 24 | |

Tabelle III.

Peripheriewerte von Prof. NAGEL (N.) und Dr. ANGIER (A.).
Erste Bestimmung.

| 643 | | 626 | | 610 | | 601 | | 589 | |
|------|------|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| N. | A. | N. | A. | N. | A. | N. | A. | N. | A. |
| 11,0 | 12,1 | 7,4 | 10,5 | 6,1 | 7,3 | 5,6 | 7,1 | 6,0 | 6,4 |
| 11,5 | 12,5 | 8,2 | 10,2 | 5,7 | 6,9 | 5,7 | 6,6 | 5,7 | 6,4 |
| 10,1 | 10,3 | 8,0 | 9,9 | 5,6 | 6,9 | 5,5 | 5,8 | 5,1 | 6,0 |
| 10,2 | 12,6 | 7,3 | 9,5 | 5,7 | 7,1 | 5,4 | 6,2 | 6,0 | 6,1 |
| 9,7 | 13,4 | 7,6 | 8,8 | 5,5 | 7,4 | 6,0 | 6,3 | 5,9 | 6,3 |
| 10,5 | 12,2 | 7,7 | 9,8 | 5,7 | 7,1 | 5,8 | 6,4 | 5,7 | 6,2 |
| 53 | 51 | 81 | 63 | 108 | 88 | 111 | 97 | 108 | 100 |

| 581 | | 569 | | 546 | | 527 | |
|-----|-----|-----|-----|------|-----|------|------|
| N. | A. | N. | A. | N. | A. | N. | A. |
| 6,2 | 6,3 | 6,5 | 6,9 | 10,9 | 9,5 | 19,0 | 16,0 |
| 6,4 | 6,7 | 7,5 | 6,5 | 11,2 | 9,6 | 19,8 | 15,1 |
| 6,3 | 5,8 | 7,3 | 6,3 | 10,4 | 9,8 | 18,7 | 16,9 |
| 6,3 | 6,1 | 7,5 | 7,5 | 10,6 | 9,3 | 20,1 | 15,2 |
| 6,4 | 5,5 | 7,6 | 6,9 | 11,0 | 9,6 | 18,7 | 16,5 |
| 6,3 | 6,1 | 7,3 | 6,4 | 10,8 | 9,6 | 19,3 | 17,2 |
| 99 | 102 | 85 | 91 | 58 | 65 | 32 | 39 |

Tabelle IV.

Dasselbe. Zweite Bestimmung.

| 626 | | | | 610 | | | | 601 | | | |
|-----|---------------|-----|---------------|-----|---------------|-----|---------------|-----|---------------|-----|---------------|
| N. | Scheint A. | A. | Scheint N. | N. | Scheint A. | A. | Scheint N. | N. | Scheint A. | A. | Scheint N. |
| 8,5 | D. | 9,3 | H. | 6,7 | D. | 7,8 | H. | 6,7 | D. | 7,4 | R. |
| 7,6 | D. | 9,0 | H. | 6,9 | D. | 8,0 | H. | 6,7 | D. | 7,3 | H. |
| 8,0 | D.? | 8,5 | R(h.) | 6,5 | D. | 8,5 | H. | 7,0 | R. | 6,5 | R. |
| 8,1 | | 8,9 | | 6,7 | | 8,1 | | 6,8 | | 7,1 | |

| 589 | | | | 569 | | | | 557 | | | |
|-----|---------------|-----|---------------|-----|---------------|-----|---------------|-----|---------------|-----|---------------|
| N. | Scheint A. | A. | Scheint N. | N. | Scheint A. | A. | Scheint N. | N. | Scheint A. | A. | Scheint N. |
| — | R. | 5,5 | R(h.) | 7,1 | R. | 7,3 | R. | 8,9 | H. | 7,3 | D. |
| — | R(d.) | 5,5 | R. | 7,0 | H. | 6,6 | R. | 8,2 | R. | 7,1 | D. |
| 5,5 | R(d.) | 6,3 | R. | 6,7 | R. | 6,9 | R(d.) | 9,2 | H. | 6,3 | D. |
| 5,5 | | 5,8 | | 6,9 | | 6,9 | | 8,8 | | 6,9 | |

| 546 | | | | 535 | | | | 518 | | | |
|------|---------------|------|---------------|------|---------------|------|---------------|------|---------------|------|---------------|
| N. | Scheint A. | A. | Scheint N. | N. | Scheint A. | A. | Scheint N. | N. | Scheint A. | A. | Scheint N. |
| 13,9 | H. | 10,4 | D. | 14,2 | H. | 12,7 | D. | 37,8 | H. | 27,3 | D. |
| 12,7 | H. | 10,5 | D. | 14,5 | H. | 11,7 | D. | 40,4 | H. | 26,8 | D. |
| 12,5 | H. | 10,4 | D. | 14,0 | H. | 12,3 | D. | 39,9 | H. | 28,1 | D. |
| 13,0 | | 10,4 | | 14,2 | | 12,2 | | 39,4 | | 27,4 | |

Tabelle V.

Dasselbe. Dritte Bestimmung.

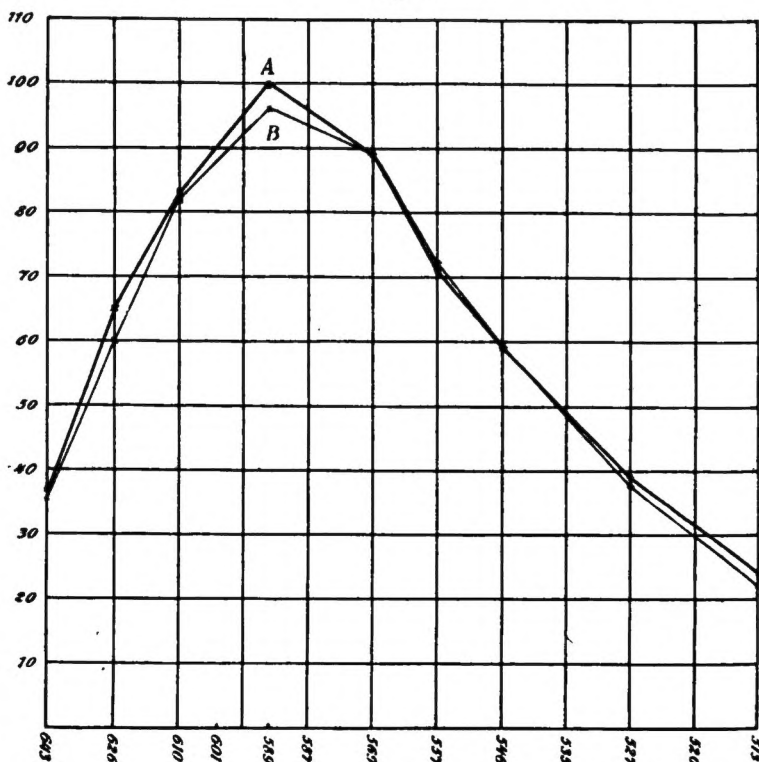
| 626 | | 610 | | 601 | | 589 | | 581 | |
|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| N. | A. | N. | A. | N. | A. | N. | A. | N. | A. |
| 9,2 | 9,9 | 6,5 | 7,9 | 6,6 | 6,6 | 6,5 | 7,1 | 6,5 | 6,8 |
| 8,5 | 10,2 | 6,9 | 7,6 | 6,3 | 6,8 | 7,3 | 7,2 | 7,4 | 6,1 |
| 8,6 | 9,2 | 6,9 | 7,5 | 6,3 | 7,0 | 7,4 | 6,3 | 6,1 | 6,4 |
| 9,3 | 8,9 | 7,1 | 7,2 | 6,6 | 7,0 | 6,9 | 6,2 | 6,4 | 6,4 |
| 9,2 | 9,6 | 6,9 | 7,1 | 6,3 | 6,8 | 6,8 | 6,8 | 6,4 | 6,6 |
| 9,0 | 9,6 | 6,9 | 7,5 | 6,4 | 6,8 | 7,0 | 6,7 | 6,6 | 6,4 |
| 74 | 69 | 97 | 89 | 105 | 99 | 96 | 100 | 101 | 105 |

Die Schwankungsbreite der einzelnen Einstellungen ist, wie man sieht, nicht so groß, daß die typischen Differenzen zwischen Trichromat und Dichromat nicht deutlich herauskämen. Anschaulicher noch werden die Unterschiede durch die Kurven, Fig. 1—3. Fig. 3, den Vergleichsversuch zwischen Prof. NAGEL und dem Verf. darstellend, ist nach der Tabelle III gezeichnet. In Fig. 3 ist, mit P. bezeichnet, noch die Kurve der Peripheriewerte des Protanopen eingefügt, wie sie v. KRIES unter zwar nicht völlig über-

einstimmenden, aber doch sehr ähnlichen Versuchsbedingungen (Triplexbrenner statt Auerlicht) gewonnen hat.

Die in Tabelle IV wiedergegebenen Messungen sind vom Orange bis Gelbgrün wahrscheinlich fehlerhaft, weshalb unter besonders vorsichtiger Einhaltung von Helladaptation und neuer Bestimmung der Na-Linie die Beobachtungen der Tabelle V angeschlossen wurden, die wiederum mit denjenigen der Tabelle III gut übereinstimmen.

Fig. 1.

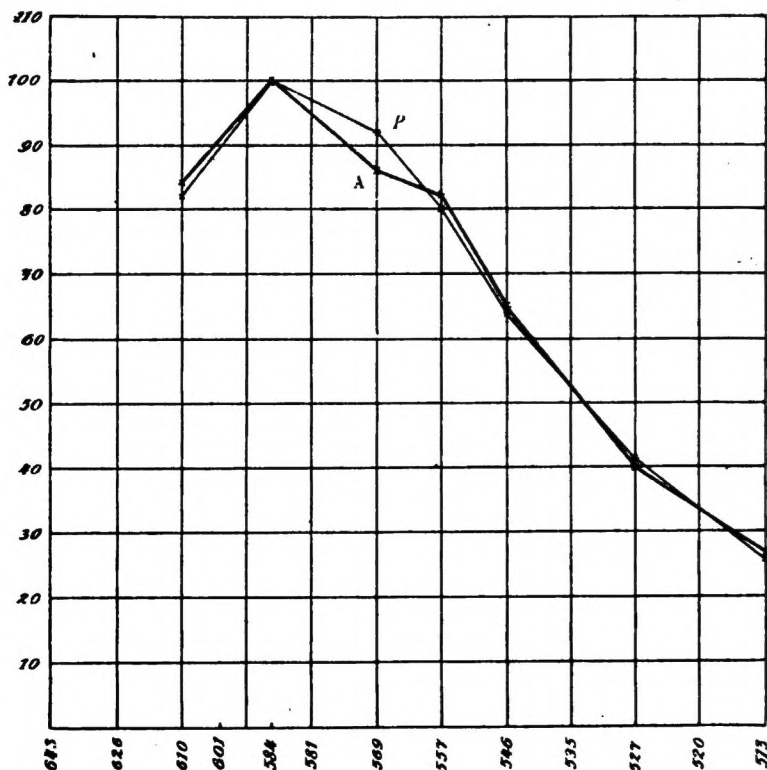


Kurven der Peripheriewerte von Dr. ANGIER (A) und Dr. BUSCK (B).

In einigen Versuchsreihen gingen wir auch in der Weise vor, daß eine der Versuchspersonen die für sie gültige Einstellung des Fleckes vornahm; der andere Beobachter, der unterdessen für gute Helladaptation seines Beobachtungsauges gesorgt hatte, verglich dann, ob die Einstellung des anderen für ihn auch gelte. Bei Vergleich zwischen zwei Trichromaten war dies

in der Regel mindestens mit grosser Annäherung der Fall. War aber der zweite Beobachter der Dichromat, so konnte dieser die Einstellungen des Trichromaten im allgemeinen nur dann anerkennen, wenn die Wellenlänge des farbigen Lichtes bei $589 \mu\mu$ oder etwas grünwärts davon lag. Schon von 569 ab hob sich der vom Trichromaten auf Verschwinden eingestellte Fleck für Prof. NAGEL deutlich als dunkel vom Grunde ab, wie umgekehrt bei Prof. NAGELS Einstellung der Fleck für mich leuchtend hell war.

Fig. 2.

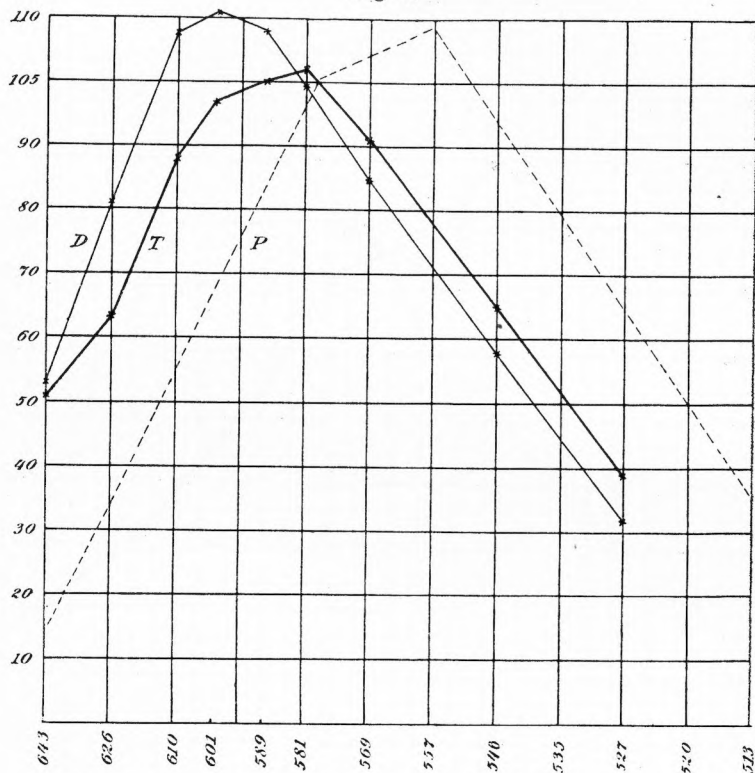


Kurven der Peripheriewerte von Dr. ANGIER (A) und Dr. PIPER (P).

Das umgekehrte Verhältnis, nur noch ausgeprägter, ist im Orange zu finden. Bei $600 \mu\mu$ erscheint der von mir eingestellte Wert für Prof. NAGEL als viel zu hoch, d. h. der Fleck erscheint ihm leuchtend hell, wenn er für mich verschwindet oder sogar etwas zu dunkel ist.

Die Kurven der Peripheriewerte geben, wie bekannt, auch die Verteilung der Helligkeit in dem foveal betrachteten Spectrum wenigstens mit groſser Annäherung wieder. Das Urteil hierüber ist ja natürlich bei der groſsen Unsicherheit heterochromer Helligkeitsvergleichung im allgemeinen ein sehr unbestimmtes; doch läſt sich nicht verkennen, daſs die von v. KRIES gefundene

Fig. 3.



Kurven der Peripheriewerte des normalen Trichromaten (T), des Deuteranopen (D) und des Protanopen (P), letztere nach v. KRIES.

Hereinschiebung der Peripheriewertkurven des Protanopen in das Gebiet der kürzerwelligen Spectrallichter auch damit in Übereinstimmung ist, daſs für den Protanopen, der mit seiner farbenunterscheidenden zentralen Netzhautzone das Spectrum betrachtet, die scheinbare Helligkeit von einem Maximum im Grüngelb nach dem Rot zu schnell abfällt und im Rot an einer Stelle schon sehr gering wird, wo die Helligkeit für den Trichromaten noch

recht beträchtlich ist, — bekanntlich der Ausdruck dessen, was von Manchen als „Verkürzung des roten Spectralendes“ bei den „Rotblinden“ beschrieben wird.

Es fragt sich nun, ob die Reduktion des trichromatischen Sehorganes zum deuteranopischen sich in ähnlicher Weise durch Verschiebung der Helligkeitsverhältnisse auch bei zentraler Betrachtung bemerklich macht. Nach den Vergleichsbeobachtungen, die Prof. NAGEL mit mir anstellte, scheint dies in der Tat der Fall zu sein.

Wir beobachteten an der gleichen Vorrichtung, die auch zur Bestimmung der Peripheriewerte gedient hatte, richteten jetzt aber den Blick durch den Ocularspalt direkt auf den farbigen Fleck inmitten des weissen Feldes. Die Aufgabe war dann, die Helligkeit des homogenen Lichtes so zu regulieren, daß Fleck und Grund die gleiche Helligkeit zu haben schienen. Die Schwankungsbreite der Einstellungen war hierbei nicht merklich gröfser als bei Bestimmung der Peripheriewerte.

Es ergab sich hierbei, daß in der gesamten grünen Spectral-region vom Grüngelb bis zum Blaugrün Prof. NAGEL den Fleck, um ihn dem umgebenden Felde helligkeitsgleich zu machen, merklich heller einstellte, als ich. Am deutlichsten kam diese Differenz zum Ausdruck, wenn wir den Fleck mit demjenigen grünen Licht erleuchteten, das für den Deuteranopen mit dem von dem weissen Karton reflektierten Licht eine vollständige Gleichung, Helligkeits- und Farbengleichung, ergab. War diese Gleichung eingestellt, so konnte ich keinen Augenblick zweifeln, daß für mich das Grün viel heller war als die gelblich-weiße Umgebung. Der von mir auf Helligkeitsgleichung eingestellte Fleck war für Prof. NAGEL zu dunkel.

Es möge ausdrücklich bemerkt werden, daß diese Differenz über den Bereich der Schwankungen, die bei heterochromer Helligkeitsausgleichung unvermeidlich sind, erheblich hinausgeht. Jeder der beiden Beobachter ist zunächst überrascht, in wie hohem Grade die Einstellung des anderen für ihn ungünstig ist.

In der roten Spektralregion treten die entsprechenden Differenzen zwischen Trichromat und Dichromat ebenfalls auf, doch minder deutlich.

(Eingegangen 1. November 1904.)