

(Aus dem Physiologischen Institut zu Freiburg i. Br.)

## Ueber die anomalen trichromatischen Farbensysteme.

Von

J. VON KRIES.

In meiner Arbeit über Farbensysteme<sup>1</sup> konnte wahrscheinlich gemacht werden, daß die sogenannten anomalen Trichromaten sich von den normalen nicht durch eine stärkere Pigmentirung der Macula, sondern in der Beschaffenheit der optischen Substanzen selbst unterscheiden. Diese Anschauung konnte hauptsächlich darauf gestützt werden, daß bei der Herstellung von Gleichungen zwischen homogenem Gelb und Mischungen aus Roth und Grün der anomale die Mischungen weit grüner einstellt und gegenüber den innerhalb eines mäßigen Spielraums schwankenden Werthen der normalen Trichromaten „aus der Reihe fällt“. Es liefs sich annehmen, daß jene kleineren Schwankungen physikalisch, durch Absorption der Augenmedien, zu erklären wären, die vereinzelt sehr grofsen Abweichungen aber auf etwas anderem beruhten. Eine genauere Prüfung dieser Annahme war durch systematische Untersuchung von anomalen Trichromaten (welche ich damals auszuführen noch nicht Gelegenheit gehabt hatte) ganz wohl möglich. Sie konnte zunächst von der folgenden Ueberlegung ausgehen. Würde im Auge des normalen Trichromaten das Grün durch Absorption auf  $\frac{1}{x}$  seines Werthes geschwächt, so würde, sofern sonst keine Differenzen

---

<sup>1</sup> Diese Zeitschr. XIII, S. 287.

vorliegen, der anomale in jeder Gleichung dem Grün den  $x$ -fachen Betrag von demjenigen geben müssen, den der normale erfordert. Mit anderen Worten: das Mengenverhältniß von Grün zu Roth  $\left(\frac{\text{Grün}}{\text{Roth}}\right)$ , welches der anomale braucht, um mit einem bestimmten homogenen Licht Gleichheit zu erzielen, müßte das  $x$ -fache sein von demjenigen, das der normale einstellt. Diese Aenderung müßte (und darin liegt der Angriff für die experimentelle Prüfung) für alle homogenen Lichter, mit denen man Gleichungen herstellt, dieselbe sein. Bestimmt man also für eine Reihe homogener Lichter die Quotienten der für den einen und für den anderen Beobachter sich herausstellenden Werthe  $\frac{\text{Grün}}{\text{Roth}}$ , so wird, wenn diese constant bleiben, eine physikalische Ursache der Differenz zu vermuthen sein, wenn sie sich aber in erkennbarer Weise ändern, die physikalische Ursache ausgeschlossen und das Vorhandensein einer andersartigen nachgewiesen sein.

Beobachtungen dieser Art sind im Laufe der letzten Jahre mehrfach in der Form von Parallelversuchen ausgeführt worden. Verwendet wurde der HELMHOLTZ'sche Farbenmischapparat und es wurde mit kleinem Feld (ca.  $1,5^\circ$ ) und bei helladaptirtem Auge gearbeitet. Die Ergebnisse sind in den folgenden Tabellen enthalten, zu denen nur noch zu bemerken ist, daß jede Zahl das Mittel aus 5 Einstellungen giebt.

Tabelle I enthält eine Versuchsreihe, die von mir selbst und Herrn cand. med. LOTZE ausgeführt wurde, nachdem dieser durch eine Reihe von Vorversuchen auf derartige Einstellungen hinlänglich eingeübt war.

Tabelle II enthält 2 Versuchsreihen desselben Herrn LOTZE in Gemeinschaft mit einem anderen normalen Trichromaten (cand. med. HALBEN).

Tabelle III endlich enthält in den 4 oberen Abtheilungen 4 Versuchsreihen, die von Dr. POLIMANTI (normaler Trichromat) und Prof. ZEHNDER angestellt wurden. In der untersten Abtheilung der Tabellen II und III ist unter der Rubrik Quotienten noch der Mittelwerth der in jenen 2 resp. 4 Reihen gefundenen Quotienten aufgeführt worden.

Tabelle I.

Beobachter v. KRIES und LOTZE.

Homogenes Licht	Verhältniß $\frac{\text{Grün}}{\text{Roth}}$ für		Quotient
	v. KRIES	LOTZE	
628 $\mu\mu$	0,062	0,280	4,51
615 „	0,136	0,520	3,74
603 „	0,257	0,810	3,15
591 „	0,455	1,43	3,14
581 „	0,791	2,12	2,68
571 „	1,266	3,15	2,48
561 „	2,02	4,43	2,15
552 „	3,85	8,15	2,12

Tabelle II.

Beobachter HALBEN und LOTZE.

Homogenes Licht	Verhältniß $\frac{\text{Grün}}{\text{Roth}}$ für		Quotient	
	HALBEN	LOTZE		
628 $\mu\mu$	0,039	0,16	4,2	1. Reihe.
603 „	0,16	0,59	3,7	
581 „	0,55	1,74	3,2	
561 „	1,44	4,04	2,9	
628 $\mu\mu$	0,04	0,19	4,5	2. Reihe.
603 „	0,20	0,67	3,4	
581 „	0,63	1,77	2,8	
561 „	1,74	3,94	2,3	
628 $\mu\mu$			4,35	Mittelwerthe.
603 „			3,6	
581 „			3,0	
561 „			2,6	

Tabelle III.

Beobachter Dr. POLIMANTI und Prof. ZEHENDER.

Homogenes Licht	Verhältniß $\frac{\text{Grün}}{\text{Roth}}$ für		Quotient
	POLIMANTI	ZEHENDER	
628 $\mu\mu$	0,062	0,33	5,41
603 „	0,25	1,04	4,20
581 „	0,81	3,41	4,21
561 „	2,32	7,97	3,44
552 „	4,06	9,25	2,27
} 1. Reihe.			
628 $\mu\mu$	0,067	0,30	4,49
603 „	0,22	0,96	4,24
581 „	0,76	3,04	4,00
561 „	2,18	5,94	2,72
552 „	4,16	6,57	1,57
} 2. Reihe.			
628 $\mu\mu$	0,064	0,28	4,41
603 „	0,22	0,99	4,36
581 „	0,66	2,68	3,83
561 „	2,00	6,00	2,98
552 „	2,97	8,24	2,80
} 3. Reihe.			
628 $\mu\mu$	0,042	0,21	4,97
603 „	0,20	0,81	3,90
581 „	0,73	2,68	3,67
561 „	2,86	8,00	2,80
552 „ (?)	7,80	13,5	1,73
} 4. Reihe.			
628 $\mu\mu$			4,82
603 „			4,17
581 „			3,92
561 „			2,98
552 „			2,09
} Mittelwerthe.			

Betrachtet man die obigen Zahlen, so sieht man sehr deutlich, daß die Quotienten, die die Vermehrung des Grün-Roth-verhältnisses für die anomalen Trichromaten darstellen, mit der



abnehmenden Wellenlänge des homogenen Vergleichslichts ganz regelmässig kleiner werden. Hiernach scheint mir denn die Annahme, dass die Eigenthümlichkeit der betr. Beobachter in einer Pigmentirung begründet sei, definitiv ausgeschlossen zu sein. Bemerkt sei noch, dass der Unterschied der Herren Z. und L. untereinander so gering ist, dass sie jedenfalls beide einer wiederum einheitlichen Gruppe zugerechnet werden dürfen, deren Repräsentanten voraussichtlich unter einander mässige Unterschiede in ähnlicher Weise darbieten werden, wie das die überwiegende Gruppe, die normalen Trichromaten thun.

Herr LOTZE hat noch einige weitere Beobachtungen angestellt, aus denen Folgendes mitgetheilt sei.<sup>1</sup> Parallelbeobachtungen an der brechbareren Hälfte des Spectrums, bei denen eine Mischung aus Grün (517  $\mu\mu$ ) und Blau (460  $\mu\mu$ ) einem homogenen Licht von dazwischen gelegener Wellenlänge gleich zu machen war, ergaben, dass hier die Unterschiede des normalen und anomalen Trichromaten durchweg nur gering sind; doch schien auch hier eine Abhängigkeit von der Wellenlänge des Vergleichslichts bemerkbar zu sein.<sup>2</sup>

Es wurden ferner in der von BREUER<sup>3</sup> beschriebenen Weise die Unterschiede centraler und paracentraler Gleichungen untersucht. Verglichen wurde die Einstellung für ein kleines direct zu betrachtendes Feld von 1° Durchmesser mit der für ein grösseres (3° Durchmesser) dessen Erstreckung von 3 bis 6° Centralabstand ging. Es ergab sich hierbei, dass ganz wie beim normalen Trichromaten central etwas mehr Grün eingestellt wurde als paracentral. Die Differenzen waren aber sehr gering und liessen eher auf eine relativ schwache als auf eine abnorm starke Macula-Tingirung schliessen; das Verhältniss  $\frac{\text{Grün}}{\text{Roth}}$  betrug central nur etwa das 1,1fache des paracentralen.

Bleibe nun hier allenfalls noch die Möglichkeit bestehen, dass es sich um Tingirungen von grosser Ausdehnung handelte

<sup>1</sup> Genaueres wird in der Dissertation des Herrn LOTZE (Freib. 1898) mitgetheilt.

<sup>2</sup> Ich lege auf diese Versuche weniger Werth, theils weil die Differenzen überhaupt geringe sind, theils, weil die Gleichungen dieser Art stets kleine Sättigungsdifferenzen bestehen lassen und somit weniger zuverlässig sind wie die an der weniger brechbaren Spectralhälfte.

<sup>3</sup> BREUER, Ueber den Einfluss des Maculapigments auf Farbengleichungen. *Diese Zeitschr.* XIII, S. 464.

oder vielleicht um Absorptionen, die nicht in der Macula, sondern in der Linse oder in dem Glaskörper stattfänden, so liefs sich auch diese Möglichkeit ausschliessen und zwar durch Parallelbeobachtungen der Dämmerungswerthe spectraler Lichter, die von dem anomalen und einem normalen Trichromaten angestellt wurden. Als Vergleichslicht diente dauernd ein Blau von 460  $\mu\mu$ . Wäre im anomalen Auge ein das Blau stark absorbirendes Medium vorgelagert, so müfste dieses, um Dämmerungsgleichheit mit langwelligeren Lichtern zu erhalten, constant gröfsere Mengen des Blau verlangen. Es ergab sich aber in diesen Versuchen, dafs die Einstellungen durchgängig sehr nahezu übereinstimmten.

War das andere Licht ein grünes, so war die Uebereinstimmung in den Fehlergrenzen eine vollständige, wurde es längerwellig gewählt (es konnte bis zu 589  $\mu\mu$  gegangen werden), so verlangte der anomale durchschnittlich etwas weniger Blau als der normale Mitbeobachter (cand. med. HALBEN).

Zum Beleg diene die nachfolgende kleine Tabelle:

	Wellenlänge in $\mu\mu$ :							
	591	581	571	561	552	544	536	529
Verhältniß d. dem obigen Lichte für HALBEN und für LOTZE dämmerungs- gleich. Mengen blauen Lichts $\frac{H.}{L.}$	1,03	1,49	1,31	1,10	1,24 (0,99)	1,18	0,90	1 09

Man wird auch aus diesen Zahlen folgern dürfen, dafs der anomale Trichromat sich nicht durch eine ungewöhnlich starke und zugleich ausgedehnte Pigmentirung von dem normalen unterscheidet.

Bekanntlich ist mehrfach angegeben worden, dafs die anomalen Trichromaten auch insofern eine Abnormität darbieten, als sie einen „schwachen Farbensinn“ haben. In den beiden Fällen, von denen hier berichtet worden ist, traf dies nicht zu. Es wurden, um dies zu prüfen, bei den oben erwähnten Nicol-Einstellungen sowohl für den normalen, wie für den anomalen Trichromaten die mittleren Abweichungen berechnet; dabei zeigte sich, dafs die beiden Anomalen mit sehr nahe derselben Präcision einstellten wie die Normalen. Natürlich kann auf Grund dieses

Ergebnisses nicht ausgeschlossen werden, daß sich doch die Anomalie des trichromatischen Systems vorzugsweise häufig mit schwachem Farbensinn verknüpfe. Doch sei erwähnt, daß die Beurtheilung in dieser Hinsicht einige Vorsicht erfordert. Auch in unsern Beobachtungen war einmal der Verdacht gegeben, daß die Herren L. und Z. für „farbenschwach“ zu erklären seien, da sie eine dem Normalen leicht lesbare STILLING'sche Tafel nicht zu entziffern vermochten. In der That erschien ihnen die Farbe der Zahlzeichen und des Grundes gleich, die uns deutlich verschieden war. Es ist aber zu bedenken, daß dies kein sicheres Zeichen von Farbenschwäche ist. Am Spectralapparat können wir auch Felder herstellen, die dem Anomalen verschieden und uns gleich sind. Wäre zufällig in einer Tafel eine Combination solcher Art getroffen, so könnten die Anomalen uns für farbenschwach zu erklären geneigt sein. Eine derartige einzelne That-sache ist also nicht maafsgebend; man wird die Unterschieds-empfindlichkeiten direct oder auf Grund der mittleren Fehler vergleichen müssen. Eine solche Vergleichung stellte, wie gesagt, in unsern Fällen einen schwachen Farbensinn nicht heraus.

*(Eingegangen am 4. Oktober 1898.)*

---