

Zur Lehre von den Gesichtsempfindungen, welche aus successiven Reizen resultiren.

Von

Karl Marbe.

(Aus dem psychologischen Laboratorium des Herrn Prof. G. Martius in Bonn.)

Mit einer Figur im Text.

Wenn zwei oder mehrere Lichtreize successive denselben Punkt der Netzhaut treffen, so entstehen entweder zwei oder mehrere, oder aber eine einzige intensiv und qualitativ constante Empfindung.

Nach Plateau¹⁾ und Emsmann²⁾ kommen die Qualitäten der successiven Reize für die zu ihrer Verschmelzung erforderlichen Verhältnisse in Betracht³⁾. Beide Autoren stellten Kreisscheiben mit gleichviel schwarzen und farbigen Sektoren her und ließen dieselben um ihren Mittelpunkt rotiren. Dabei zeigte sich, dass die Rotationsgeschwindigkeit, welche erforderlich war, damit die Scheiben constante Empfindungen erzeugten, verschieden war je nach der von den farbigen Sektoren reflectirten Lichtart. Da es aber höchst unwahrscheinlich ist, dass die farbigen Pigmente hinsichtlich der Intensität und Sättigung (im physikalischen Sinne des Wortes) des reflectirten Lichtes genau gleich waren, so beweisen die erwähnten Versuche nichts.

1) Ueber einige Eigenschaften der vom Licht auf das Gesichtsorgan hervorgebrachten Eindrücke. Pogg. Ann. Bd. XX. S. 311 ff.

2) Ueber die Dauer des Lichteindrucks. Pogg. Ann. Bd. XCI. S. 617 f.

3) Den Ausdruck »Verschmelzung« gebrauche ich hier und an allen übrigen Stellen der Kürze halber und nur in bildlichem Sinne.

Sicher ist dagegen, dass für die Verschmelzung eine gewisse Intensität und Dauer der einzelnen Reize erforderlich ist, und zwar muss die Intensität um so geringer sein, je größer die Dauer ist¹⁾. Findet einmal eine Verschmelzung statt, so ist es für dieselbe gleichgültig, ob die Dauer der einzelnen Reize noch mehr verkürzt bezw. die Intensität noch mehr vermindert wird.

Nur für wenige und ungenau bestimmte Intensitäten sind die Zeitwerthe beobachtet, bei welchen eben eine constante Empfindung entsteht. Plateau²⁾ fand, dass im diffusen Tageslicht von zwei Reizen, von welchen der eine weiß, der andere schwarz³⁾ ist, jeder höchstens $\frac{0,191}{24}$ (= 0,0080) Secunden dauern darf, wenn eine constante Empfindung entstehen soll. Nach Emsmann⁴⁾ beträgt der fragliche Werth $\frac{0,55}{24}$ (= 0,0229) Secunden⁵⁾. v. Helmholtz⁶⁾ fand für Lampen- und Vollmondbeleuchtung die Werthe $\frac{1}{48}$ (= 0,0208) und $\frac{1}{20}$ (= 0,0500)⁷⁾.

Ich stellte mir die Aufgabe, für einen möglichst großen Theil der Intensitäts- und Zeitscala den Verlauf der zusammengehörigen Intensitäts- und Zeitwerthe exact zu bestimmen.

1) v. Helmholtz, *Physiol. Optik.* 2. Aufl. S. 488.

2) a. a. O. S. 313.

3) Schwarz heißt nicht soviel als kein Licht reflectirend (vergl. Fechner, *Pogg. Ann.* Bd. XLIV. S. 514; Aubert, *Physiologie der Netzhaut.* S. 71 f.; Lehmann, *Phil. Stud.* IV, S. 238; Kirschmann, *Phil. Stud.* V, S. 292 ff.), was v. Helmholtz auch neuerdings (a. a. O. S. 484 und an anderen Stellen) vernachlässigt.

4) a. a. O. S. 617.

5) v. Helmholtz citirt a. a. O. S. 488 irrtümlich die bei Emsmann (*Pogg. Ann.* Bd. XCI) S. 615 stehenden Zahlen statt der S. 617 unten angegebenen Werthe.

6) a. a. O. S. 489. — v. Helmholtz findet (S. 489) die von Plateau angegebenen Zahlen im Gegensatz zu den seinen auffallend groß, weil er vergisst, dass sie sich auf die Zeiten einer ganzen Scheibenumdrehung beziehen. Thatsächlich sind sie kleiner als seine eigenen, was aus obigem Text ersichtlich ist. Vergl. Plateau a. a. O. S. 313: »sie drücken die Dauer eines Umlaufs aus«.

7) D'Arcy (*Mém. de l'Acad.* 1765) bestimmte die Geschwindigkeit, welche für eine im Dunkeln rotirende Kohle zur Erzeugung einer constanten Empfindung erforderlich war. Da er aber die Breite seiner Kohle nicht angibt, so haben seine Versuche für uns keinen Werth.

Als Lichtquelle diente entweder das diffuse Tageslicht oder eine verschiebbare Gasglühlichtflamme. Letztere befand sich in einem 0,92 m hohen Kasten von quadratischem Querschnitt und in gleicher Entfernung von jeder der vier Wände des Kastens. Eine vom Mittelpunkt der Flamme nach einer Kastenwand gedachte senkrechte Linie traf den Mittelpunkt eines kreisrunden Loches von 10 cm Durchmesser. Der ganze Kasten stand auf Rädchen und konnte auf einem Tische längs eines bis auf Millimeter eingetheilten Maßstabes verschoben werden. Eine Marke an der Außenseite der dem Maßstabe zugekehrten Kastenwand diente zur Ablesung der Entfernung des Lichts vom Nullpunkt des Maßstabes.

Wie Plateau, Emsmann und v. Helmholtz bediente ich mich als Beobachtungsobjectes einer aus weißen und schwarzen Sektoren bestehenden Scheibe. Hinter ihr war ein großes schwarzes Tuch angebracht.

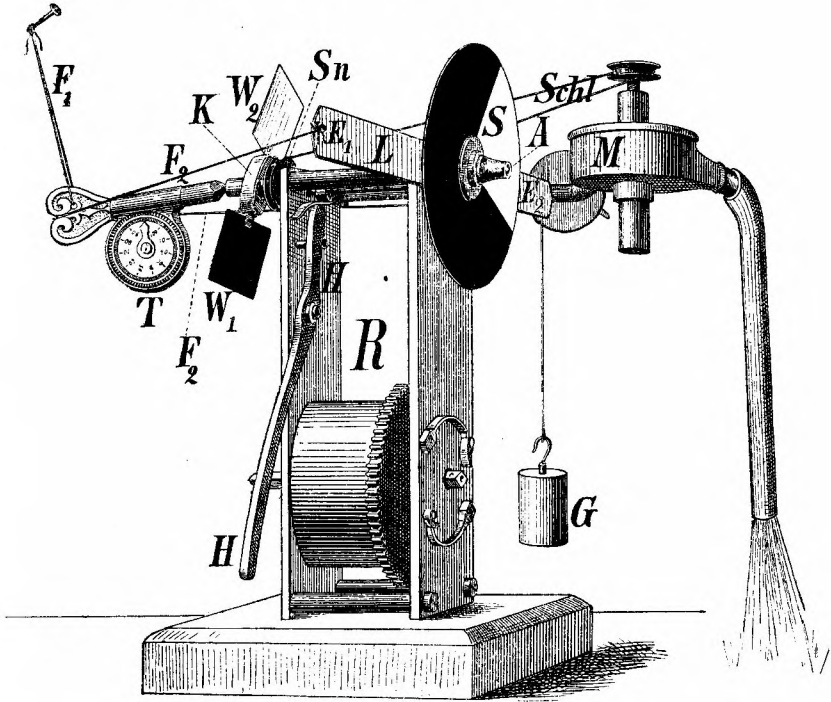
Die Scheibe (S) befand sich auf der mit einem Schnurlauf (Sn) versehenen Achse (A) eines Rotationsapparates (R)¹⁾, dessen Uhrwerk theilweise entfernt war²⁾. Ein Wassermotor (M)³⁾ setzte mittelst einer über den Schnurlauf gestreiften knotenlosen Schleife ($Schl$) aus Bindfaden die Achse in rotirende Bewegung. Auf das der Scheibe abgekehrte Achsenende waren zwei verstellbare Windflügel ($W_1 W_2$) aufgesetzt, in deren Drehungsmittelpunkt sich eine Kapsel befand. Diese nahm die Spitze eines Tourenzählers (T) auf. Da durch den Druck desselben die Rotationsgeschwindigkeit beeinträchtigt wurde, so musste er beim Ablesen der Geschwindigkeit und während der Beobachtung gleichmäßig auf den Gang des Instrumentes wirken. Er durfte also nicht mit der Hand vorgehalten werden, sondern musste ein für allemal befestigt sein. Er wurde zu diesem Zweck an einem Faden (F_1) aufgehängt und mittelst eines zweiten Fadens (F_2) gegen die Kapsel des Flügels gepresst. Am Gehäuse des Rotationsapparates, auf derjenigen Seite, wo sich

1) Heidelberger Modell (Mechaniker Jung).

2) Die Uhrwerke und Federn dieser Apparate sind, wie sich aus Beobachtungen an zwei Exemplaren ergab, nicht so exact gearbeitet, dass die Instrumente für derartige Versuche verwandt werden könnten. Auch die sogenannten Leipziger Rotationsapparate sind zu solchen Untersuchungen nicht geeignet.

3) Modell von Rab.

die Scheibe befand, war parallel zur Rotationsebene eine Messingleiste (L) angebracht. Der zweite Faden war an einem Ende derselben (E_1) befestigt, zog sich von hier um das hintere Ende des Tourenzählers und kehrte zum andern Leistenende (E_2) zurück, in welchem sich ein Loch befand. Der Faden war durch dasselbe hindurchgezogen und mit einem Gewicht (G) versehen.



Diese freie Aufhängung des Tourenzählers erwies sich erheblich zweckmäßiger als eine starre Befestigung. Eine solche setzt voraus, dass die Rotationsebene der Achse absolut constant ist, was aber (wenigstens bei größerer Umdrehungsgeschwindigkeit) nicht der Fall ist. Infolge der freien Aufhängung jedoch kann der Tourenzähler die kleinen Hebungen und Senkungen der Achse mitmachen, wodurch bedeutendere Verschiedenheiten der Reibung vermieden werden.

Es zeigte sich bald, dass es vorteilhafter ist, mit möglichst großem Druck und ungünstig gestellten Windflügeln als mit geringerem Druck

und günstigerer Flügelstellung zu arbeiten. Im ersten Fall werden die Ungleichheiten des Wasserdrucks von den Windflügeln leichter ausgeglichen.

Die Regelmäßigkeit der Bewegung, welche mit dieser Anordnung erzielt wurde, war vollkommen ausreichend, wie folgende Tabelle zeigt. Sie enthält die mittleren Variationen für verschiedene Geschwindigkeiten. Je zwei zusammengehörige Zahlen sind aus dreimaliger Bestimmung der Zeit, welche für 1000 Umdrehungen erforderlich war, gewonnen. Die Zeitmessung erfolgte mittelst einer Fünftelsecundenuhr.

Tabelle I.

Dauer einer Umdrehung in Sekunden	Mittlere Variation
0,0275	0,0002
0,0297	0,0001
0,0346	0,0005
0,0467	0,0004
0,0468	0,0005

Entweder wurde bei constanter Beleuchtung die Rotationsgeschwindigkeit successive verändert oder es wurde bei gleichbleibender Geschwindigkeit die Beleuchtung variiert.

Im letzteren Fall war der Gang der Versuche folgender: Der Assistent stellte die Scheibe so ein, dass noch keine constante Empfindung entstand, und bestimmte die Rotationsgeschwindigkeit durch zweimalige¹⁾ Ablesung der für je hundert Umdrehungen erforderlichen Zeit. Dann wurde der auf Rädchen bewegliche Kasten mit dem Licht so lange von der Scheibe entfernt, bis die Reize verschmolzen. Aus der Entfernung des Lichtes vom Nullpunkt des Maßstabes und der Distanz des letztern von der Scheibe konnte deren Entfernung vom Licht gefunden werden. Für ein und die-

1) Die beiden Ablesungen waren gewöhnlich gleich. Niemals differirten sie mehr als eine Fünftelsecunde. War dies der Fall, so wurde das arithmetische Mittel der beiden Ablesungen der Rechnung zu Grunde gelegt.

selbe Rotationsgeschwindigkeit wurde dieses Verfahren fünf mal nacheinander wiederholt.

Natürlich musste bei diesen Versuchen durch sorgfältige Einstellung von Tisch und Maßstab dafür gesorgt sein, dass das Licht lediglich in einer im Scheibenmittelpunkt errichtet gedachten Normalen verschoben wurde. Ferner durfte ein Versuch nicht so lange dauern, bis ein Nachbild eintrat. Ist letzteres der Fall, so erscheint die Scheibe erheblich früher homogen als sonst.

Bei den Versuchen mit constanter Beleuchtung wurde folgendermaßen verfahren: Der Assistent setzte die Scheibe so in Bewegung, dass sie dem Beobachter merklich zu flimmern schien. Dann arre- tirte er mittelst der Haltevorrichtung (*H*) die Scheibe, stellte die Windflügel um ein geringes günstiger und setzte die Scheibe durch Lösung der Haltevorrichtung wieder in Bewegung. Nach einigen Secunden (nachdem die Scheibe einen regelmäßigen Gang angenommen hatte,) rief der Assistent »Jetzt«, worauf die Versuchsperson, welche, wenn sie nicht beobachtete, stets auf das schwarze Tuch blickte, nach der Scheibe sah. Der Assistent zählte »Eins«, »Zwei«. Auf »Zwei« wandte der Beobachter das Gesicht wieder von der Scheibe ab. Er hatte nun anzugeben, ob die Scheibe noch flimmerte oder nicht. Die Versuche wurden fortgesetzt, bis das Urtheil, dass eine constante Empfindung entstehe, erfolgte. Dann las der Assistent zwei mal nach einander die Zeit für hundert Umdrehungen ab und schrieb sie auf¹⁾.

Die Versuchsperson saß bei allen Versuchen 90 cm von der Scheibe entfernt, direct neben der Bahn, in welcher der Kasten mit dem Lichte verschoben wurde. Ruhiges Fixiren war strengstens gefordert. Alle Urtheile beziehen sich auf das Verschmelzen der Reize am Fixationspunkt. Außerhalb desselben werden sie einzeln aufgefasst, wenn sie am Fixationspunkt längst verschmelzen. Es hängt dies offenbar mit der Thatsache zusammen, dass die Seitentheile der Netzhaut für farbloses Licht empfindlicher sind als der gelbe Fleck²⁾.

1) Vergl. die Anmerkung auf voriger Seite.

2) Kirschmann, Ueber die Helligkeitsempfindung im indirecten Sehen. Phil. Stud. V, S. 447 ff. — Fick, Studien über Licht- und Farbenempfindungen. Pflüger's Archiv, XLIII. S. 441 ff.

Fixirt wurde stets ein Punkt, welcher gleichweit vom Ran und von der Mitte der Scheibe entfernt war. Wählt man statt dessen mehr der Peripherie zu gelegene Punkte, so wirkt das schwer ganz zu vermeidende Flattern des Scheibenrandes störend, fixirt man mehr in der Mitte, so entsteht infolge der Halteschraube eine Contrastwirkung.

Die Dauer eines einzelnen Eindrucks erhält man, wenn man die für hundert Umdrehungen gefundenen Zahlen mit $\frac{\alpha}{100 \cdot 360}$ vervielfacht, wobei α die Breite des dem fraglichen Reiz entsprechenden Sectors in Graden bezeichnet. Die Intensitäten der Beleuchtungen verhalten sich direct wie die Quadrate der reciproken Werthe der jeweiligen Entfernung des Lichtes von der Scheibe. Vervielfacht man diese Zahlen jeweils mit den Reflexionscoefficienten ¹⁾ der Sektoren, so erhält man die Verhältnisse der Reizintensitäten. Die geringste Reizstärke, welche vorkam, entsprach der Lichtstärke, die unser Schwarz, wenn es von einem in 324,64 cm Entfernung befindlichen Gasglühlicht beleuchtet wird, reflectirt. Auf diese Intensität als Einheit sind in den Tabellen (abgesehen von denjenigen, welche sich auf Versuche im diffusen Tageslicht beziehen) alle übrigen Reizstärken bezogen.

Bei den Experimenten fungirten außer mir (M.) auch die Herren stud. philos. Karl Schneider (S.) und Prof. Serebrenikoff (Ser.) als Versuchspersonen.

Ich theile zunächst in Tabelle II bis VII diejenigen Ergebnisse mit, welche nach dem zuerst beschriebenen Verfahren gewonnen sind. In diesen und allen übrigen Tabellen bedeutet *I_w* die Intensität des durch den weißen Sector erzeugten Reizes, *I_s* diejenige, welche dem schwarzen Sector entspricht. *D_w* und *D_s* bedeuten die Dauern der Reize.

1) Eine Reihe von Bestimmungen nach Kirschmann (Phil. Stud. V, S. 292 ff.) ergaben für das Verhältniss des benutzten Schwarz zu Weiß die Werthe 1 : 40,01. Ich lege für Weiß die Zahl 40 zu Grunde, was bei der Ungenauigkeit der fraglichen photometrischen Methode erlaubt ist.

Tabelle II.

Den 28. April 1893, Abends 10 Uhr. Beobachter M.

<i>I_s</i>	Arithm. Mittel	Mittlere Variation	<i>D_s</i>	<i>I_w</i>	Arithm. Mittel	Mittlere Variation	<i>D_w</i>
17,55	17,24	0,26	0,011	702,0	689,6	10,4	0,011
17,55				702,0			
16,81				672,4			
17,01				680,4			
17,28				691,2			
17,28	16,68	0,34	0,012	691,2	667,0	13,7	0,012
16,35				654,0			
16,55				662,0			
16,27				650,8			
16,93				677,2			

Tabelle III.

Den 2. Mai 1893, Abends 10 Uhr. Beobachter M.

<i>I_s</i>	Arithm. Mittel	Mittlere Variation	<i>D_s</i>	<i>I_w</i>	Arithm. Mittel	Mittlere Variation	<i>D_w</i>
1,18	1,33	0,22	0,021	47,2	53,4	8,9	0,021
1,21				48,4			
1,24				49,6			
1,89				75,6			
1,15				46,0			
5,69	5,83	0,25	0,016	227,6	233,3	9,9	0,016
5,54				221,6			
5,65				226,0			
6,12				244,8			
6,16				246,4			

Tabelle IV.

Den 4. Mai 1893, Abends 10 Uhr. Beobachter M.

<i>I_s</i>	Arithm. Mittel	Mittlere Variation	<i>D_s</i>	<i>I_w</i>	Arithm. Mittel	Mittlere Variation	<i>D_w</i>
5,68 6,10 5,98 6,00 5,93	5,94	0,11	0,015	227,2 244,0 239,2 240,0 237,2	237,5	4,3	0,015
11,09 11,91 11,98 11,18 11,99	11,63	0,40	0,013	443,6 476,4 479,2 447,2 479,6	465,2	15,8	0,013
1,03 1,03 0,98 0,96 1,01	1,00	0,03	0,024	41,2 41,2 39,2 38,4 40,4	40,1	1,0	0,024

Tabelle V.

Den 9. Mai 1893, Abends 10 Uhr. Beobachter M.

<i>I_s</i>	Arithm. Mittel	Mittlere Variation	<i>D_s</i>	<i>I_w</i>	Arithm. Mittel	Mittlere Variation	<i>D_w</i>
1,88 1,86 1,97 1,91 1,89	1,90	0,03	0,019	75,2 74,4 78,8 76,4 75,6	76,1	1,2	0,019
65,31 92,81 92,26 81,39 64,24	79,20	11,54	0,010	2612,4 3712,4 3690,4 3255,6 2566,6	316,81	461,7	0,010

Tabelle VI.

Den 10. Mai 1893, Abends 10 Uhr. Beobachter S.

<i>I_s</i>	Arithm. Mittel	Mittlere Variation	<i>D_s</i>	<i>I_w</i>	Arithm. Mittel	Mittlere Variation	<i>D_w</i>
1,93 1,94 1,56 1,88 1,94	1,85	0,12	0,025	77,2 77,6 62,4 75,2 77,6	74,0	4,6	0,025
22,46 22,01 23,69 21,39 19,95	21,90	0,98	0,013	898,4 880,4 947,6 855,6 798,0	876,0	39,4	0,013

Tabelle VII.

Den 18. Mai 1893, Abends 10 Uhr. Beobachter S.

<i>I_s</i>	Arithm. Mittel	Mittlere Variation	<i>D_s</i>	<i>I_w</i>	Arithm. Mittel	Mittlere Variation	<i>D_w</i>
3,44 3,92 3,57 3,54 3,45	3,58	0,13	0,015	137,6 156,8 142,8 141,6 138,0	143,4	5,4	0,015
3,43 3,42 3,42 3,35 3,28	3,38	0,05	0,015	137,2 136,8 136,8 134,0 131,2	135,2	2,1	0,015
11,58 10,92 11,04 10,95 11,65	11,23	0,31	0,014	463,2 436,8 441,6 438,0 466,0	449,1	12,4	0,014

In den folgenden Tabellen VIII und IX ordne ich die Ergebnisse der Tabellen II bis VII, nach den Mittelwerthen von I , ohne Rücksicht auf die Tage, an welchen die Versuche angestellt sind.

Tabelle VIII.
Beobachter M.

I_s	$D_s (= D_w)$	I_w
1,00	0,024	40,1
1,33	0,021	53,4
1,90	0,019	76,1
5,83	0,016	233,3
5,94	0,015	237,5
11,63	0,013	465,2
16,68	0,012	667,0
17,24	0,011	689,6
79,20	0,010	3168,1

Tabelle IX.
Beobachter S.

I_s	$D_s (= D_w)$	I_w
1,85	0,025	74,0
3,38	0,015	135,2
3,58	0,015	143,4
11,23	0,014	449,1
21,90	0,013	876,0

Diese Zahlen bestätigen die Annahme, dass die für die Verschmelzung zweier successiven Reize erforderlichen Dauern mit wachsender Intensität der Reize geringer werden. Zugleich ergibt sich der Satz, dass die erforderliche Dauer ungleich langsamer abnimmt, als die entsprechenden Intensitäten wachsen.

Bei den folgenden Versuchen sind die Dauern der beiden successiven Reize auch unter sich verschieden. Der Versuchsgang war derselbe wie oben, jedoch mussten hier für die Variirung der Geschwindigkeiten Scheiben mit verschiedenem Sectorenverhältniss zur Anwendung gelangen.

Tabelle X.

Den 26. Mai 1893, Abends 10 Uhr. Beobachter M.

<i>I_s</i>	Arithm. Mittel	Mittlere Variation	<i>D_s</i>	<i>I_w</i>	Arithm. Mittel	Mittlere Variation	<i>D_w</i>
11,58 12,92 12,13 11,74 13,18	12,31	2,96	0,004	463,2 516,8 485,2 469,6 527,2	492,4	118,4	0,060
10,31 10,28 10,50 10,67 10,86	10,52	0,96	0,009	412,4 411,2 420,0 426,8 434,4	421,0	38,6	0,045
9,40 10,06 11,05 9,60 10,60	10,14	2,73	0,011	376,0 402,4 442,0 384,0 424,0	405,7	109,3	0,022
8,57 8,16 9,58 8,82 8,77	8,78	1,68	0,019	342,8 326,4 383,2 352,8 350,8	351,2	67,2	0,019
11,41 10,67 11,09 11,55 11,09	11,16	1,27	0,023	456,4 426,8 443,6 462,0 443,6	446,5	50,9	0,013
13,13 13,74 12,56 12,98 12,87	13,06	1,51	0,030	525,2 549,6 502,4 510,2 514,8	520,4	67,8	0,006
13,74 17,28 15,94 14,97 15,82	15,55	0,96	0,050	549,6 691,2 637,6 598,8 632,8	622,0	38,2	0,003

In der folgenden Tabelle fasse ich die Ergebnisse aus der vorhergehenden zusammen.

Tabelle XI.
Beobachter M.

I_s	D_s	D_w	I_w
12,31	0,004	0,060	492,4
10,52	0,009	0,045	421,0
10,14	0,011	0,022	405,7
8,78	0,019	0,019	351,2
11,16	0,023	0,013	446,5
13,06	0,030	0,006	520,4
15,55	0,050	0,003	622,0

Hiernach ist zur Entstehung einer constanten Empfindung aus zwei successiven Reizen die geringste Intensität dann erforderlich, wenn die beiden Reize gleich lange dauern; je verschiedener die Dauer der Reize ist, desto größer darf auch ihre Intensität sein. Die Tabelle zeigt deutlich, dass die Unterschiede der Dauern ungleich schneller wachsen, als die zugehörigen Intensitäten. Dass die Werthe für I von der Mitte der Columnen nach oben langsamer zunehmen als nach unten, erklärt sich daraus, dass die Werthe für die Gesamtdauer der beiden Reize ($D_s + D_w$), deren Abhängigkeit von der Intensität schon gezeigt ist, nach oben mehr wachsen als nach unten.

Aus diesen Tabellen ist der Einfluss des Unterschieds der Dauern auf das Verschmelzungsphänomen ersichtlich. Um denselben unbeeinflusst von den Intensitätsunterschieden zu studiren, wurden folgende Versuche nach der an zweiter Stelle beschriebenen Methode angestellt.

Tabelle XII.

Den 28. Mai 1893, Abends 10 Uhr. Beobachter Ser.

<i>Iw</i>	<i>Is</i>	<i>Dw</i>	<i>Ds</i>
5780,0	144,50	0,032	0,002
		0,024	0,005
		0,017	0,008
		0,010	0,010
		0,007	0,015
		0,004	0,020
		0,001	0,025

Tabelle XIII.

Den 28. Mai 1893, Abends 11 Uhr. Beobachter M.

<i>Iw</i>	<i>Is</i>	<i>Dw</i>	<i>Ds</i>
5780,0	144,50	0,034	0,002
		0,023	0,005
		0,017	0,009
		0,011	0,011
		0,005	0,016
		0,004	0,020
		0,002	0,028

Tabelle XIV.

Den 23. Mai 1893, Mittags 3 Uhr. Beobachter M.

<i>Iw</i>	<i>Is</i>	<i>Dw</i>	<i>Ds</i>
Weißer	Schwarzer	0,036	0,002
Sector	Sector	0,024	0,005
im diffusen	im diffusen	0,019	0,010
Tageslicht	Tageslicht	0,014	0,014
		0,009	0,019
		0,005	0,025
		0,002	0,032

Aus diesen Tabellen¹⁾ ergibt sich, dass einer gleichen Dauer der einzelnen Reize die geringste Gesamtdauer entspricht; mit wachsendem Unterschied der Dauern wächst auch die Gesamtdauer. Doch ist eine geringere Gesamtdauer erforderlich, wenn der intensivere Reiz der kürzere von beiden ist, als im umgekehrten Fall.

Um letzteres direct nachzuweisen, wurde von einer Scheibe alles ausgeschnitten außer zwei nebeneinanderstehenden Sektoren von je 90° Größe, von welchen der eine weiß, der andere schwarz war. Die Sektoren wurden dann vor einem dicht (ca. 1 mm) hinter ihnen befindlichen weißen Hintergrund in rotirende Bewegung versetzt und nach der an zweiter Stelle (S. 387) beschriebenen Methode auf eine Geschwindigkeit eingestellt, bei welcher sie mit dem Hintergrund am Fixationspunkt eine constante Empfindung erzeugten. Wurde nun der weiße Hintergrund durch einen schwarzen ersetzt, so war auch am Fixationspunkt ein deutliches Flimmern sichtbar (Beobachter: M.—S.), welches erst verschwand, als die Gesamtdauer um einige Tausendstelsekunden verkürzt war. Die überwiegende Dauer des stärkeren Reizes ist also für die Verschmelzung günstiger als die überwiegende Dauer des schwächern.

Im folgenden fasse ich die gewonnenen Sätze zusammen:

I. Die für die Verschmelzung zweier Reize zu einer constanten Empfindung erforderlichen Gesamtdauern nehmen mit wachsenden Intensitäten ab und zwar ungleich langsamer, als die entsprechenden Intensitäten wachsen.

II. Die erforderlichen Unterschiede der beiden Dauern nehmen mit wachsenden Intensitäten zu und zwar ungleich schneller, als die entsprechenden Intensitäten wachsen.

III. Die erforderlichen Unterschiede der Dauern nehmen mit wachsender Gesamtdauer zu und zwar ungleich schneller als die letztere.

IIIa. Es ist für die Verschmelzung günstiger, wenn die Dauer des intensiveren Reizes, als wenn die des weniger intensiven überwiegt.

1) Von den Abweichungen in den Tabellen XIII und XIV darf wohl abgesehen werden.

Die Anschauungen von Plateau¹⁾ und v. Helmholtz²⁾, nach welchen es für die Verschmelzung ohne Einfluss sein soll, wenn man das Verhältniss zwischen der Breite der weißen und schwarzen Sektoren einer rotirenden Scheibe verändert, wofern man nur die Anzahl der Sektoren constant lässt, sind nach diesen Untersuchungen von selbst beseitigt.

Zum Schluss möchte ich noch darauf hinweisen, dass derartige Versuche ungeeignet sind zur Bestimmung der Zeit, während welcher ein Eindruck ungeschwächt andauert³⁾. Denn wenn man auch mit einer ähnlichen Vorrichtung wie das Kirschmannsche Photometer Reize intermittirend folgen lässt, so ist eine etwa resultirende constante Empfindung nicht durch die Reize allein, sondern auch durch die lichtlosen Componenten⁴⁾ bedingt.

1) A. a. O. S. 316.

2) A. a. O. S. 489. Versuche mit der von v. Helmholtz daselbst abgebildeten Scheibe sind nicht genau genug. Auch bei mir ergab sich das Resultat, dass das Flimmern »bei steigender Umlaufgeschwindigkeit in allen Abtheilungen der Scheibe nahezu gleichzeitig« aufhört.

3) Wozu Plateau (a. a. O. S. 310 f.) dieselben zu verwenden suchte.

4) Vergl. das entsprechende Gesetz bei v. Helmholtz (a. a. O. S. 482 f.). Weniger gut ist die Talbot'sche Formulirung: »Wenn ein leuchtender Gegenstand regelmäßig intermittirend auf das Auge wirkt und die successiven Momente seines Erscheinens so nahe an einander liegen, dass das Auge sie nicht mehr unterscheiden kann, sondern eine ununterbrochene Empfindung erhält, so ist die scheinbare Helligkeit dieses Gegenstandes geschwächt in dem Verhältniss der Erscheinungs- und Verschwindungsdauer zur bloßen Erscheinungsdauer«. (Philos. Magaz. Nov. 1834. S. 327. — Alfred Lehmann, Ueber Photometrie mittelst rotirender Scheibe. Phil. Stud. IV, S. 232.) Denn die »scheinbare Helligkeit« kann in keinem zahlenmäßigen Verhältniss geschwächt werden.