Beiträge zur Psychologie der Gestalt.

Herausgegeben von **K. Koffka** (Gießen).

V.¹⁾

Untersuchungen über Bewegungs- und Verschmelzungsphänomene.

Von

P. Cermak (Gießen) und **K. Koffka**.

Mit 6 Abbildungen.

Inhaltsverzeichnis.

Erster Teil: Versuche über Bewegungssehen bei intermittierender Beleuchtung.
(S. 67).

- § 1. Fragestellung (S. 67).
- § 2. Versuchsanordnung (S. 68).
- § 3. Die Versuchsgrößen. (S. 69).
- § 4. Versuchsverlauf. Allgemeine Ergebnisse (S. 71).
- § 5. Die Resultate der Versuche mit Schlitz vor der Lampe (S. 73).
- § 6. Die Resultate der Versuche ohne Schlitz vor der Lampe (S. 79).
- § 7. Versuche mit höheren Frequenzen. Modifikation der Anordnung (S. 82).
- § 8. Quantitative Bearbeitung der Resultate (S. 83).

Zweiter Teil: Versuche über Sehen wirklicher Bewegung bei konstanter Beleuchtung (S. 88).

- § 9. Fragestellung (S. 88).
- § 10. Versuchsanordnung (S. 89).
- § 11. Versuchsverlauf. Allgemeine Ergebnisse (S. 89).
- § 12. Die Resultate (S. 91).
- § 13. Quantitative Bearbeitung der Resultate (S. 94).

Dritter Teil: Zur Theorie (S. 97).

- § 14. Die Parallel-Gesetzlichkeit (S. 97).
- § 15. Über Nachbilder (S. 110).
- § 16. Allgemeines über physiologische Hypothesen (S. 114).
- § 17. Kritik spezieller Theorien (S. 117).
- § 18. Theoretische Folgerungen (S. 122).

Anhang: Reaktionsversuche (S. 125).

- § 19. Problemstellung, Versuchsanordnung (S. 125).
- § 20. Resultate (S. 126).

Literaturverzeichnis (S. 127).

---

¹⁾ Nr. I—IV dieser Beiträge sind in Buchform, Leipzig 1919, und früher in der Zeitschr. f. Psychol. **67**, **72**, **73**, **82**. 1913—19 erschienen (vgl. das Literaturverzeichnis am Ende dieser Arbeit).

Die Untersuchung des Sehens von Bewegungen hat zu der Aufstellung der *Korteschen* Gesetze geführt, welche die Abhängigkeit der Bewegungsphänomene von den zeitlichen, räumlichen und Intensitätseigenschaften der Reize bestimmen. Diese Gesetze konnten spezielle, gerade für die besonderen Versuchsbedingungen gültige Regeln sein. Es zeigte sich aber, daß sie eine viel allgemeinere Bedeutung haben und nicht einmal auf das Gebiet des Bewegungssehens beschränkt sind. Es ergaben sich Parallelitäten, die darauf hinweisen, daß man es hier mit sehr allgemeinen Gesetzmäßigkeiten zu tun hat, so daß Gebiete, die bisher gänzlich heterogen erschienen, zusammengeschlossen werden. Damit ist dann auch eine tiefer gehende theoretische Erfassung dieser Gebiete angebahnt.

Im vorigen Beitrag ist versucht worden, eine bestimmte Form physiologischer Theorie des Bewegungs-Sehens zu skizzieren. Als Grundlage dienten dazu in erster Linie die *Korteschen* Gesetze. Der Gültigkeitsbereich dieser Gesetze ist mithin entscheidend für die Tragweite dieses Versuchs. *Korte* hat sein Tatsachenmaterial nach diesem Gesichtspunkt zusammengestellt¹⁾; es erhob sich die Frage: gelten die Gesetze über dies Material hinaus und wenn ja, wo sind die Grenzen der Gültigkeit? Diese Frage, deren Beantwortung sehr allgemeine theoretische Konsequenzen nahelegte, war der erste Anlaß zu den im folgenden mitgeteilten Untersuchungen, auf deren Anfang schon *Korte*²⁾ hinweisen konnte.

Erster Teil.

§1. *Kortes* Versuche beziehen sich alle auf „Scheinbewegungen“, auf Bewegungsphänomene, die durch *nichtbewegte*, einfach sukzedierende Reize hervorgerufen wurden. Sind es demnach im Prinzip kinematographische Bewegungen, so unterscheiden sie sich von diesen außer durch die Einfachheit der Objekte und die auf Zwei beschränkte Zahl der Phasen dadurch, daß der Abstand dieser Phasen relativ sehr groß ist. Im Kinematographen ist es in der Regel so, daß zwei aufeinanderfolgende Phasen sich mehr oder weniger überdecken, bei *Korte* waren die Phasenobjekte stets durch einen Zwischenraum getrennt, der meist ein beträchtliches Vielfaches der Objektbreite betrug. So lautete die erste Frage: Gelten die Gesetze auch dann, wenn der Abstand der Phasen, *Kortes* Größe s kleiner wird und wenn mehr als zwei Phasen aufeinanderfolgen?

Beide Probleme ließen sich mit derselben Versuchsanordnung untersuchen: man beobachtet ein wirklich bewegtes Objekt bei intermittieren-

¹⁾ (31) S. 279. Die Zahlen vor der Seitenzahl beziehen sich auf das Literaturverzeichnis am Ende der Arbeit.

²⁾ (31) S. 289 A.

der Beleuchtung¹⁾. Schon Korte hatte gezeigt, daß die bei intermittierendem Licht auftretende Vervielfältigung der bewegten Objekte sich aus seinem 3. Gesetz erklären läßt²⁾. Man kann aber ganz allgemein fragen, unter welchen Bedingungen sieht man bei intermittierender Beleuchtung ein bewegtes Objekt in guter glatter Bewegung, unter welchen Bedingungen tritt Vervielfältigung, Zerfall, unter welchen Flimmern auf? Wir hätten dann 3 Klassen von Phänomenen, die zu den 3 Hauptstadien Wertheimers³⁾ in Parallele gebracht werden könnten, zum Optimal- (*Opt*), Simultan- (*Sim*) und Sukzessiv- (*Suk*) Stadium. Tatsächlich ist ein bewegtes, intermittierend beleuchtetes Objekt für die photographische Platte einer Folge unbewegter Objekte sehr ähnlich, um so ähnlicher, je größer das Dunkelintervall, die Pause p , im Verhältnis zum Lichtintervall, der Expositionszeit e , ist. Daß das Objekt während der Exposition bewegt ist, erscheint zunächst als ein Unterschied, der freilich bei sehr kurzer Expositionszeit kaum ins Gewicht fällt. Für größere e muß allerdings die Frage aufgeworfen werden, ob die Anordnung noch der Kortesehen vergleichbar ist. Die Experimente geben aber eine eindeutige bejahende Entscheidung⁴⁾.

Demnach war die Fragestellung sehr einfach: eine bestimmte Frequenz des Beleuchtungswechsels gegeben, wie schnell darf oder muß die Bewegung eines Objekts sein, wenn sie als glatte Bewegung, als Vervielfältigung oder als Flimmern gesehen werden soll?

§ 2. Wir bauten im physikalischen Institut⁵⁾ die folgende Anordnung auf (vgl. Abb. 1): Über zwei horizontale Walzen W_1 und W_2 läuft ein endloses Band B aus dunklem leicht biegsamen Stoff von 148 cm Länge und 2 cm Breite, auf dem symmetrisch 2 zu beleuchtende Marken angebracht sind. Die Marken waren rechteckig aus weißem Papier geschnitten 6×20 qmm und 2×20 qmm, auf dem Band so angebracht, daß sie sich bei Bewegung des Bandes senkrecht zu ihrer langen Achse bewegten. Die Bewegung des Bandes wird durch den Motor M_1 (in der Abbildung ganz links) bewirkt, dessen Umlaufgeschwindigkeit durch einen im Bilde nicht sichtbaren Widerstand regulierbar ist.

Beleuchtet wird das Band senkrecht von oben durch eine Glühlampe, die in einem geschwärzten Pappzylinder G sitzt, der mit einem Deckel nach unten abgeschlossen werden kann; der Deckel enthält einen spaltförmigen Schlitz von 35×2 qmm, der ebenso wie die Streifen auf dem Band quer zu diesem liegt. Der Abstand Deckel—Band beträgt 40 cm. Zwischen Lampe und Band, 3 cm unter dem Deckel, rotiert die auswechselbare Sektorenscheibe. Sie sitzt auf einer Zentrifugalmaschine, die durch den Motor M_2 betrieben wird. Die Geschwindigkeit des Motors ist wieder durch Widerstände regulierbar.

¹⁾ Vgl. Marbe (³⁹) S. 346.

²⁾ (³¹) S. 289.

³⁾ (⁶³) S. 5f.

⁴⁾ Auch Marbe und Dürr haben kinematographische Bewegung mit Hilfe wirklichler untersucht. Vgl. (³⁹) und (⁶).

⁵⁾ Wir ergreifen die Gelegenheit, dem Direktor des Instituts Herrn Geheimrat W. König herzlich dafür zu danken, daß er uns in der freundlichsten Weise die Hilfsmittel seines Instituts zur Verfügung stellte.

Wir benutzten 4 verschiedene Sektorenscheiben vom Radius 24 cm,

A:	4	Ausschnitte à	22,5°	Im ganzen	90°	frei
B:	4	„	à 45°	„ „	180°	„
C:	4	„	à 67,5°	„ „	270°	„
D:	8	„	à 22,5°	„ „	180°	„

Bei den meisten Versuchen befand sich zwischen Sektorenscheibe und Band, 7 cm über diesem, ein großer, in der Abbildung nicht enthaltener, horizontaler Pappschirm, der dem von oben blickenden Beobachter den größten Teil des Bandes verdeckte; er enthielt senkrecht unter der Lampe ein Fenster von 11×20 qcm, das quer zum Band stand und ein gut beleuchtetes Beobachtungsfeld freigab.

Beobachtet wurde vom stehenden Beobachter direkt von oben durch das Fenster und zwar jeweils die Durchgänge der weißen Streifen durch das Gesichtsfeld. Fixiert wurde ein Punkt in der Mitte des sichtbaren Feldes.

Abb. 1.

Gemessen wurde die Geschwindigkeit des Bandes mit der Stoppuhr, die der Sektorenscheibe mit dem Tourenzähler.

Die Versuche wurden im verdunkelten Zimmer ausgeführt, außer der Lampe *G* war keine Lichtquelle vorhanden. Nach jeder Beobachtung wurde aber zur Messung und Protokollierung mehr Licht gemacht.

Die Versuche wurden im Sommer 1919 durchgeführt, nachdem wir schon im März 1915 mit der gleichen Anordnung einige orientierende Experimente angestellt hatten.

§ 3. Ehe wir zur Besprechung der Resultate übergehen, müssen wir unsere Versuchsgrößen näher betrachten. Wir nennen, wie schon bemerkt, die Verdunkelungszeiten p , die Belichtungszeiten e , $e + p = t$, ferner die Geschwindigkeit des Bandes und damit der beobachteten

bewegten weißen Streifen c , die Intermissionsfrequenz in der Sekunde $\nu^1)$, endlich die Wegestrecken, die die Streifen während der Zeiten p bzw. e zurücklegen, s_p bzw. s_e , $s_p + s_e = s$. Direkt variiert wurden von uns ν und c , damit aber auch t und s . Denn es ist: $t = \frac{1}{\nu}$ und $s = c t$, also $s = \frac{c}{\nu}$, d. h.: je größer ν , desto kleiner $t = e + p$, somit, bei konstantem c , auch $s[s_p + s_e]$; je größer c , um so größer s bei konstantem ν . Die Größen von p und e , jede für sich gemessen, mithin auch die von s_p und s_e , hängen außer von den genannten Veränderlichen auch noch vom Verhältnis $\frac{p}{t} = q_p$ bzw. $\frac{e}{t} = q_e$ ab, $q_p + q_e = 1$, d. h. vom Bau der gerade benutzten Sektorenscheibe ab.

$$p = \frac{1}{\nu} \cdot q_p, \quad e = \frac{1}{\nu} \cdot q_e, \quad s_p = c p = \frac{c \cdot q_p}{\nu}, \quad s_e = \frac{c \cdot q_e}{\nu}.$$

Jede Veränderung von ν bedingt eine Veränderung von s und t , jede von c eine Veränderung von s allein. Es war daher zweckmäßig, ν als die unabhängige, c als die abhängige Variable zu behandeln. Bei einem bestimmten ν wurden verschiedene c beobachtet, bis die gesamte Mannigfaltigkeit der Erscheinungen beobachtet war und die einzelnen Phänomene eingegrenzt werden konnten, dann wurde zu einem anderen ν übergegangen, beobachtet usw. Man sucht also jeweils zu einem gegebenen ν die charakteristischen c , also auch zu gegebenem t die s , mithin auch zu p die s_p . Über die Beziehung dieser zwei Größen sagt aber das dritte *Kortessche* Gesetz etwas aus, das in der Fassung des vorigen Beitrags²⁾ lautet:

$$\varphi = f\left(\frac{s}{p}\right).$$

Ist irgendein Stadieneindruck vorhanden und ändere ich p in bestimmter Richtung, so muß ich s in der gleichen Richtung ändern, wenn der Eindruck erhalten bleiben soll. Damit ist aber noch nichts über die Beziehung von ν und c ausgesagt; denn wenn ich ν bei konstantem c verändere, so verändere ich t und s , also auch p und s_p proportional mit. Das dritte *Kortessche* Gesetz sagt aber nur aus, daß diese Größen sich im gleichen Sinn, nicht auch daß sie sich im gleichen Maße verändern müssen, im Rahmen dieses Gesetzes ist es daher möglich, daß c von ν unabhängig ist, daß es sich im gleichen oder entgegengesetzten Sinn ändert, solange nur die qualitative Bedingung für p und s_p erfüllt ist.

Was lehren nun die Versuche?

¹⁾ Da jede der Scheiben A bis C 4, Scheibe D 8 Ausschnitte besitzt, so ist ν für $A-C$ 4 mal so groß wie die Tourenzahl der Scheibe, für D 8 mal.

²⁾ (25) S. 261.

§ 4. Wir geben zunächst ein Beispiel für den qualitativen Verlauf eines Versuchs.

Tabelle 1.

26. 7. Scheibe A. $q_p = \frac{3}{4}$.

ν	$c \left(\frac{\text{cm}}{\text{sec}} \right)$	$p(\sigma)$	$s(\sigma)$	$t(\sigma)$	$s_p(\text{cm})$	$s_e(\text{cm})$	$s(\text{cm})$	Beobachtung
6,7	41	113	38	151	4,6	1,5	6,1	Beide Striche glatt
6,7	51	113	38	151	5,8	1,9	7,7	Breiter an der Grenze, schmal. zerfallen ¹⁾
8,8	53	84	26	110	4,4	1,5	5,9	Beide zerfallen
8	48	94	31	125	4,5	1,5	6,0	Breit. zieml. glatt, schmaler zerfallen
7,6	43	100	33	133	4,3	1,4	5,7	Breiter glatt, schmaler noch nicht ganz
11,5	34	66	22	88	2,2	0,7	2,9	Beide glatte, aber ruckweise kinemato- graphenartige Bewegung. Schmalere noch verbreitert ²⁾
10	27	75	25	100	2,0	0,7	2,7	Schmalere jetzt ohne Verbreiterung. Be- wegung wie eben, aber schon mit Flimmern ¹⁾ .
9	23	84	28	112	1,9	0,6	2,5	Flimmern stärker
9	40	84	28	112	3,4	1,1	4,5	Breiter glatt, schmaler zerfällt
7,3	35	103	34	137	3,6	1,2	4,8	Breiter glatt, schmaler fast
7,3	29	103	34	137	3,0	1,0	4,0	Beide glatt bewegt mit Flimmern
7,3	39	103	34	137	4,0	1,3	5,3	Breiter schön glatt bewegt, aber an der Grenze des Flimmerns, schmaler flim- mert nicht, bewegt sich ruckweise

Diese Tabelle enthält eine Reihe wichtiger Resultate, von denen wir zunächst nur zwei hervorheben. Vergleichen wir die p und s_p bei gleichem Eindruck in den 3 Gruppen, so finden wir das dritte Kortesche Gesetz bestätigt, je größer p , um so größer auch s_p , wenn *Opt* beobachtet wird. Vergleichen wir in derselben Weise die ν und c , so sehen wir, daß zu großem ν kleineres c gehört als zu kleinem ν . Während also p und s_p miteinander variieren, verändern sich ν und c gegeneinander.

Es sei gleich gesagt, daß, wie im folgenden gezeigt, beide Resultate mit einer nachzuholenden Ergänzung sich durchweg bestätigt haben. Betrachten wir das zweite etwas näher. Wir setzen es zunächst mit dem ersten in Beziehung: Wird, von einer Konstellation mit *Opt* ausgehend, ν vergrößert, so wird nach der oben abgeleiteten Formel p und s_p proportional verkleinert, nach dem zweiten Resultat bleibt aber das *Opt* nicht bestehen, an seine Stelle tritt *Sim*, die Striche zerfallen und erst durch Herabsetzung der Geschwindigkeit c wird wieder *Opt* erzielt. D. h. durch Vergrößerung von ν habe ich für die Kortesche Beziehung $s-p$ zu stark bzw. s_p zu wenig verkürzt, dies wird durch Verringerung von c kompensiert. Das (ν, c) -Gesetz gibt also eine Be-

¹⁾ Über die Bedeutung dieser Ausdrücke vgl. unten S. 72.

²⁾ Über die Verbreiterung der Striche bei großer Geschwindigkeit vgl. unten S. 83.

stimmung für die Art der Funktion $\varphi = f\left(\frac{s}{p}\right)$. In sich betrachtet heißt das (ν, c)-Gesetz: Bei großem ν tritt relativ leicht, d. h. schon bei relativ langsamen c , Zerfall, *Sim*, bei kleinem ν relativ leicht, d. h. schon bei relativ schnellen c , Flimmern *Suk*, ein.

Daraus folgt, daß innerhalb gewisser Grenzen, die sich aus den weiteren Resultaten ergeben, eine Erhöhung von ν für das Sehen nur insoweit von Vorteil ist, als langsam bewegte Gegenstände in Frage kommen, nicht dagegen für schnell bewegte.

Ehe wir uns zur Betrachtung unseres ganzen Versuchsmaterials wenden, muß noch einiges über die Erscheinungen selbst gesagt werden. Wir gehen aus vom *Opt*. Da sehen wir den Strich ruhig durchs Gesichtsfeld wandern; vergrößern wir seine Geschwindigkeit, so tritt der „Zerfall“ auf, wir sehen den Strich vervielfältigt. Dies entspricht durchaus dem *Sim Wertheimers* und *Kortes*. Es schließen sich nun u. U. viele solche *Sim* räumlich und zeitlich aneinander, statt eines Striches sieht man dann nicht nur, wie in *Wertheimers* und *Kortes* Anordnung, zwei, sondern mehr, sagen wir n , die wir in der Bewegungsrichtung fortlaufend von 1 bis n numerieren wollen. Dann kommt es etwa vor, daß Strich 1 verschwindet, wenn Strich $n-3$ auftaucht, Strich 2 beim Auftauchen von $n-2$ usw., und dies Kommen und Gehen der Striche macht einen unruhigen Eindruck und wird auch als „Flimmern“ bezeichnet. Dies Flimmern ist aber von dem eigentlichen Flimmern eines ruhenden Gegenstandes (oder eines rotierenden Kreisels) wohl zu unterscheiden, es handelt sich um verschiedene Phänomene. Wir haben daher bisher die Bezeichnung „Flimmern“ für die beim Zerfall auftretende Erscheinung nicht gebraucht, wir werden sie auch weiterhin für das andere Phänomen vorbehalten. Daß es sich wirklich um zwei verschiedene Phänomene handelt, geht auch daraus hervor, daß das eigentliche Flimmern durch Erhöhung der Intermissionsfrequenz, der Zerfall durch ihre Erniedrigung zum Verschwinden gebracht werden kann¹⁾.

Kehren wir zu unserer Betrachtung zurück. Vom *Opt* ausgehend verlangsamen wir jetzt die Geschwindigkeit c . Bei nicht zu großem ν (s. u.) tritt dann das dritte zu beschreibende Phänomen auf: die Bewegung wird unruhig, der Strich flackert, im Extrem so, daß eine kontinuierliche Bewegungsbahn nicht mehr zu sehen ist, daß der Strich vielmehr sukzessiv an verschiedenen Orten erscheint, ohne sich dabei zu vervielfältigen. Dies entspricht völlig dem *Suk Wertheimers*, wie auch wieder daraus hervorgeht, daß es durch Vergrößerung von ν , also Verkürzung von p , in *Opt* übergeführt werden kann. Bei gleichem ν tritt dies *Suk* um so stärker auf, je langsamer c . Hierbei ist $c = 0$ als

¹⁾ Vgl. auch *Korte* (³¹⁾ S. 289.

Grenzfall zugelassen, d. h. das *Flimmern eines ruhenden intermittierend beleuchteten Gegenstandes läßt sich als ein Grenzfall des Suk auffassen.*

§ 5. Wir teilen jetzt das gesamte Material mit und behandeln zunächst die Versuche, in denen der die Lampe umschließende Zylinder mit dem Deckel versehen war, so daß das Licht nur durch den schmalen Schlitz fallen konnte. Die nächsten Tabellen geben an, unter welchen Bedingungen *Opt* auftrat, sie enthalten die Größen p und s_p einerseits, die ν und c andererseits. Nach Möglichkeit sind die Grenzen angegeben. Wo nur eine Zahl steht, ist der Bereich sehr eng. Wo in einer Reihe kleine Schwankungen der ν vorkommen, durch Änderungen in der Rotation des Motors M_2 , ist ein Mittelwert gesetzt.

Das Material, dem diese Tabellen entnommen sind, ist in sich widerspruchsfrei, keine Beobachtung fällt aus dem Zusammenhang der übrigen¹⁾. Dabei sind sehr verschiedene Versuchstage in den Tabellen vereinigt, speziell stammen die Werte der langsamen Frequenzen von Tagen, die um Wochen von den andern getrennt sind. Die jetzt abzuleitenden Gesetze sind keine Kunstprodukte dieser Tabellen, sondern spiegeln das Gesamtverhalten wider.

1. Sehen wir von den hohen ν , kleinen p , ab, so ist das dritte *Korte*-sche Gesetz durchweg bestätigt; mit wachsendem p wächst auch s_p . Für die großen ν ergibt sich ein Ergänzungsgesetz: Mit kleinem p , großen ν , wächst bei weiterer Verkleinerung der Bereich der passenden s_p bzw. c , und zwar zunächst so, daß die obere Grenze annähernd unverändert bleibt, die untere sich der 0 immer mehr nähert und sie schließlich erreicht; ν ist dann der Wert der kritischen Verschmelzungsfrequenz, t der der kritischen Periodendauer im Sinne *Marbes*. Weitere Steigerung der Frequenz vergrößert den Bereich nun auch nach oben.

Wir wollen dies Gesetz das „Gesetz der wachsenden Zone“, kurz das „Zonengesetz“ nennen. Es erklärt das bekannte Gesetz vom kleinsten Abstand²⁾, sobald es sich um wirklich kleine Abstände handelt. Für solche ist es nach dem Zonengesetz leicht, ein für *Opt* passendes p zu finden, man braucht nur ein genügend kurzes p zu wählen, während für größere Abstände die Wahl der p weniger beliebig ist.

Marbe formuliert an der unten angegebenen Stelle einen Satz, der mit unserem Zonengesetz große Ähnlichkeit zu haben scheint. Er schreibt: „Doch darf die Bewegungsgeschwindigkeit (unser ν) beliebig gesteigert werden, wenn die Phasen einander räumlich genügend nahetreten...“ Die Versuche, denen dies Resultat entnommen ist,

¹⁾ Alle Unregelmäßigkeiten im Gang der Motoren (veranlaßt vor allem durch Schwankungen der Spannung) und die dadurch gegen unsere Absicht auftretenden Änderungen von ν oder c führten zu Beobachtungen, die in die Serien paßten. Die vielen ν -Werte der Tabelle 1 sind auf solche Unregelmäßigkeiten zurückzuführen.

²⁾ Vgl. *Korte* (³¹) S. 288ff.; auch *Linke* (³⁴) S. 494, 536; *Marbe* (⁴⁰) S. 63ff.; *Wertheimer* (⁶³) S. 17f., 59, 90.

Tabelle 2. $q_p = \frac{2}{3}$ (Scheibe A).

p (a)	r	Breiter Strich		Schmäler Strich	
		s_p (cm)	$c \left(\frac{\text{cm}}{\text{sec}} \right)$	s_p	c
18	40	0-0,4	0-23	0-0,23	0-12,9
33	22,5	$0 < \cdot < 0,3-0,45^2)$	$0 < \cdot < 9,3-13,4$	$0-0,32 < \cdot < 0,45$	$0-9,3 < \cdot < 13,4$
66 ¹⁾	11,5	2,2	34	2,2	34
84	9	3,4	40	—	—
100	7,5	$3,6-4,3 < \cdot$	$35-43 < \cdot$	—	—
113	6,7	4,6-5,5	41-50	4,6	41
138	4	14-25	74-135	zu lichtschwach	

Tabelle 3. $q_p = \frac{2}{3}$ (Scheibe B, D).

p	r	Breiter Strich		Schmäler Strich	
		s_p	c	s_p	c
6	77	0-0,17	0-29,1	0-0,14	0-21,8
20	22	0-0,35	0-17,4	0-0,26	0-12,9
26	19	$0 < \cdot < 0,3-0,45$	$0 < \cdot < 11-19$	$0-0,3 < \cdot < 0,4$	$0-11 < \cdot < 16,4$
44	11,4	0,9-0,97	21-22	0-0,8	0-19

Tabelle 4. $q = \frac{1}{4}$ (Scheibe C).

p	r	Breiter Strich		Schmäler Strich	
		s_p	c	s_p	c
8	32	0-0,25	0-35,2	—	—
10	24	0-0,23	0-24	0-0,12	0-12,3
20	13	0,13-0,31	6,5-15,4	$0-0,12 < \cdot < 0,2$	$0-6,2 < \cdot < 9,9$
35	7,3	0,7-0,9	20-25,5	0,6	13,5

¹⁾ Die Bewegung erfolgte ruckweise, aber ohne Flimmern.²⁾ Dieser Bezeichnungsweise ist angewendet, wo der Grenzwert selbst nicht beobachtet wurde. Im obigen Beispiel heißt es: die untere Grenze (der Punkt) liegt zwischen 0 und 0,3. Analog die übrigen Fälle.

sind folgender Art: Das Bild einer Glühlampe wird auf einen Schirm geworfen, die Glühlampe wird mit der Hand hin und her bewegt. Vor ihr rotiert eine Sektorenscheibe. Wurde nun die Bewegung der Lampe so schnell wie möglich ausgeführt, so trat bei $\nu = 150$ Zerfall, bei $\nu = 800$ *Opt* ein. Der Versuch beweist also nur, daß zu großen c sehr große ν gehören — eine Folge des Zonengesetzes —, nicht aber, daß die ν beliebig gesteigert werden *dürfen*. Unser Zonengesetz ist also durch den zitierten Satz *nicht* ausgesprochen, ebensowenig wie *Marbe* daran gedacht hat, bei großem c die ν zu verkleinern. *Marbes* Theorie soll dazu auch nur dann gelten, wenn wir die Bewegung mit dem Blick verfolgen, was durch kleine s erleichtert werde (vgl. § 17, S. 117), während unsere Versuche gerade bei fixiertem Blick angestellt worden sind.

Der Beweis, daß für diese Bedingungen das *Kortesche* Gesetz gilt, besagt theoretisch, daß es sich nicht um Reproduktion oder Ergänzung von Bewegungsvorstellungen handelt, daß ein „Nichtbemerken“ diesen Erscheinungen gegenüber vollkommen versagt¹⁾. Die Beobachtungen geben auch ein neues Argument gegen *Linkes* Identifikationstheorie: das Flimmern erweist sich als *Suk* und doch ist im Flimmern die Identität keineswegs immer aufgehoben, meist war in unseren Versuchen das Gegenteil der Fall, es war *ein* Strich, der flimmerte. Das *Opt* ist also unter diesen Bedingungen nicht durch Identität vor dem *Suk* ausgezeichnet.

Das dritte *Kortesche* Gesetz hat durch unsere Versuche eine beträchtliche Erweiterung seines Geltungsbereichs erfahren, es gilt noch für den breiten Strich, wenn s_p kleiner als die Strichbreite, für den schmalen, wenn es etwa ebensogroß ist, erst jenseits dieser Grenzen beginnt die Wirksamkeit des Zonengesetzes.

2. Auch die oben (S. 71) abgeleitete Beziehung zwischen ν und c findet sich mit der gleichen Einschränkung bestätigt. Unterhalb einer Grenze fällt c mit wachsendem ν , oberhalb dieser Grenze gilt wieder das Zonengesetz. Die hier eintretende Erweiterung des Bereichs bewirkt, daß trotz dem oben (S. 72) aufgestellten Satz hohe Frequenzen für das Sehen im allgemeinen viel günstiger sind als niedrige, weil nicht nur ruhende, sondern auch in einem gewissen Geschwindigkeitsbereich bewegte Gegenstände bei großem ν ruhig und klar erscheinen, während bei kleinem ν die meisten Gegenstände nicht optimal gegeben sind, sondern nur solche, die sich mit ganz bestimmter Geschwindigkeit bewegen.

3. Ein drittes ausnahmslos bestätigtes Gesetz ergibt sich aus dem Vergleich des breiten und schmalen Strichs. Dieser neigt mehr zum *Sim*, jener mehr zum *Suk*. Der schmale Strich zerfällt bei großen s_p , bei denen der breite noch im *Opt* ist, er ist glatt bei kleinen s_p , bei denen

¹⁾ Siehe *Korte* (³¹) S. 276, *Koffka* (²⁷) S. 599ff.

der große schon *flimmert*. In besonderen Versuchen haben wir für die verschiedenen q_p die kritischen Flimmerfrequenzen festgestellt, d. h. die kleinsten Frequenzen, bei der die unbewegten Striche schon glatt erscheinen. Die Zahlen finden sich in der Tabelle 5, es sind Durchschnittswerte aus je 3 Messungen.

Tabelle 5.

$q_p =$	Die kritischen ν für		
	$\frac{1}{2}$ (A)	$\frac{1}{2}$ (B)	$\frac{1}{2}$ (C)
Breiter Strich	21,6	21,2	20,8
Schmalere Strich	18,0	20,0	13,6

Bei allen Scheiben ist das kritische ν für den breiten Streifen größer als für den schmalen, auch unter diesem Gesichtspunkt gehört der Grenzfall $c = 0$ zu der Reihe der Fälle, in denen c eine endliche Größe ist. Auf die theoretische Bedeutung unseres Befundes über die Streifenbreite werden wir später, im § 14 zurückkommen. Jetzt sei nur eine Möglichkeit abgewiesen. Man könnte daran denken, den Einfluß der Größe auf einen der Intensität zurückführen zu wollen, dem breiteren Strich, der als Ganzes mehr Licht ins Auge sendet als der schmale, entspräche eine größere Intensität, dann muß nach dem zweiten Korteschens Gesetz der breite im Verhältnis zum schmalen zum *Suk* neigen. Dagegen spricht freilich von vornherein, daß, wie schon *Hering* gefunden hat¹⁾, bei gleicher Beleuchtung ein kleines Feld heller erscheint als ein großes, ein Tatbestand, der sich erst in der Nähe der Schwelle umkehrt. Wir haben aber noch einen besonderen Versuch zur Prüfung dieser Frage ausgeführt. Wir verglichen 2 Streifen, einen von $2 \times 30 \text{ mm}^2$, den anderen von $6 \times 10 \text{ mm}^2$, also beide von gleicher Fläche, miteinander und fanden wieder, daß der breitere ($6 \times 10 \text{ mm}^2$) ein größeres kritisches ν braucht als der schmalere. Liegen beide Streifen nebeneinander, so kann man ganz deutlich sehen, daß der breite noch flimmert, wenn der schmale schon in Ruhe ist. Die mit Scheibe A gemessenen kritischen ν sind für den breiten 20,8, für den schmalen 16,4. Auf Intensität läßt sich also dieser Tatbestand nicht zurückführen²⁾.

4. Wir vergleichen die verschiedenen Scheiben mit ihren verschiedenen $q_p = \frac{p}{t}$ miteinander. Bei gleichem ν haben alle Scheiben gleiches $t = e + p$. Wir stellen daher in den Tabellen 6 und 7 die dem *Opt* entsprechenden s_p für gleiches t dar, soweit verschiedene Scheiben mit gleichem oder annähernd gleichem ν untersucht wurden.

¹⁾ (18) S. 93 vgl. auch *Stiegler* (59) S. 378f., (60) S. 149.

²⁾ *Bourdons* Befunde über die größten noch als Bewegung wahrnehmbaren Geschwindigkeiten, die auch eine Abhängigkeit von der Streifenbreite ergaben, scheinen gut zu unserem Befunde zu passen. Vgl. *Zoth* (66) S. 367.

Tabelle 6. Breiter Strich.

$t =$	24	32	40	44	80	88
Die opti- malen s_p , wenn	$\left\{ \begin{array}{l} q_p = \frac{3}{4} \\ q_p = \frac{2}{4} \\ q_p = \frac{1}{4} \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 0-0,4 \\ - \\ 0-0,25 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} - \\ 0-0,35 \\ 0-0,23 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 0 < \cdot < 0,3-0,45 \\ - \\ - \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} - \\ - \\ 0,13-0,31 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 2,2 \\ 0,9-0,97 \\ - \end{array} \right.$

Tabelle 7. Schmäler Strich.

$t =$	24	40	44	80	88
Die opti- malen s_p , wenn	$\left\{ \begin{array}{l} q_p = \frac{3}{4} \\ q_p = \frac{2}{4} \\ q_p = \frac{1}{4} \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 0-0,23 \\ 0-0,23 \\ 0-0,15 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 0-0,32 < \cdot < 0,45 \\ - \\ - \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} - \\ - \\ 0-0,12 < \cdot < 0,20 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 2,2 \\ 0-0,8 \\ - \end{array} \right.$

Beide Tabellen enthalten eindeutig das gleiche Resultat: bei gleichem t variiert s_p mit p , zu großem p gehören große, zu kleinem kleine s_p . Die Gesetzmäßigkeit ist keine einfache, da zu jeder Veränderung von p eine umgekehrte von e gehört. Der weiteren Analyse dienen die Tabellen 8 und 9, in denen statt s_p s angegeben und die Geschwindigkeit c hinzugefügt ist.

Betrachten wir zunächst Tabelle 8. Bei kleinem t , im Gebiet der großen Zonen, hat sich das Verhältnis umgekehrt, zu großem p gehört kleines s , zu kleinem großes, erst bei den größten t -Werten wächst auch s mit p . Entsprechend verhalten sich die Geschwindigkeiten.

Aus Tabellen 6 und 8 läßt sich also entnehmen: Wächst unter Konstanthaltung von t die Pause p , so wächst der Weg s_p , unabhängig von der Größe von t , der Weg s und die Geschwindigkeit c dagegen nur, wenn t groß ist, sonst entspricht dem Wachen von s_p ein Sinken von s und c . Anders ausgedrückt: Vergrößere ich bei konstantem kleinem t p , so muß, soll der gleiche Stadieneindruck bestehen bleiben, die Geschwindigkeit c zwar abnehmen, aber nur so stark, daß s_p immer noch wächst; bei großem t muß ich mit Vergrößerung von p auch c steigern.

Dieser Satz bestätigt das von Wertheimer¹⁾ und Korte²⁾ gefundene Resultat, daß die Variation der Pause die Phänomene stärker tangiert als die Variation der Expositionszeit.

Tabelle 9 enthält die gleiche Gesetzmäßigkeit, eine kleine Unregelmäßigkeit findet sich unter $t = 40$, wo s_t mit p wächst.

Das eben ausgesprochene Ergebnis läßt sich aber noch unter einem andern Gesichtspunkt betrachten. Mit fallendem q_p wird e bei gleichem t größer. Da nun während der Zeit e in unserer Anordnung der Streifen *wirklich* bewegt ist, so könnte man meinen, daß diese wirkliche Bewegung von Einfluß sei auf die Scheinbewegung in dem Sinne: je mehr

¹⁾ (⁶³) S. 19.

²⁾ (³¹) S. 270.

Tabelle 8. Breiter Strich.

$t =$	24	32	40	44	80	88
Die opti- malen Größen, wenn	$\begin{cases} q_p = \frac{3}{4} \\ q_p = \frac{3}{4} \\ q_p = \frac{3}{4} \end{cases}$	$\begin{cases} s \\ c \end{cases}$	$\begin{cases} s \\ c \end{cases}$	$\begin{cases} s \\ c \end{cases}$	$\begin{cases} s \\ c \end{cases}$	$\begin{cases} s \\ c \end{cases}$
	$\begin{cases} 0-0,53 \\ 0-23 \\ 0-23 \end{cases}$	$\begin{cases} - \\ - \\ - \end{cases}$	$\begin{cases} - \\ - \\ 0-0,7 \end{cases}$	$\begin{cases} 0 < \cdot < 0,4-0,6 \\ 0 < \cdot < 9,3-13,4 \\ 0 < \cdot < 9,3-13,4 \end{cases}$	$\begin{cases} - \\ - \\ 0,52-0,93 \end{cases}$	$\begin{cases} 2,9 \\ 3,4 \\ 1,8-1,94 \end{cases}$
	$\begin{cases} - \\ - \\ 0-1,0 \end{cases}$	$\begin{cases} - \\ - \\ 0-35,2 \end{cases}$	$\begin{cases} - \\ - \\ 0-0,92 \end{cases}$	$\begin{cases} - \\ - \\ 0-24 \end{cases}$	$\begin{cases} - \\ - \\ 6,5-15,4 \end{cases}$	$\begin{cases} - \\ - \\ 21-22 \end{cases}$

Tabelle 9. Schmalen Strich.

$t =$	24	40	44	80	88
Die opti- malen Größen, wenn	$\begin{cases} q_p = \frac{3}{4} \\ q_p = \frac{3}{4} \\ q_p = \frac{3}{4} \end{cases}$	$\begin{cases} s \\ c \end{cases}$	$\begin{cases} s \\ c \end{cases}$	$\begin{cases} s \\ c \end{cases}$	$\begin{cases} s \\ c \end{cases}$
	$\begin{cases} 0-0,31 \\ 0-12,9 \\ 0-12,9 \end{cases}$	$\begin{cases} - \\ - \\ 0-0,52 \end{cases}$	$\begin{cases} 0-0,43 < \cdot < 0,6 \\ 0-9,3 < \cdot < 13,4 \\ 0-0,48 < \cdot < 0,8 \end{cases}$	$\begin{cases} - \\ - \\ 0-6,2 < \cdot < 9,9 \end{cases}$	$\begin{cases} 2,9 \\ 3,4 \\ 0-1,6 \end{cases}$
	$\begin{cases} - \\ - \\ 0-0,49 \end{cases}$	$\begin{cases} - \\ - \\ 0-12,3 \end{cases}$	$\begin{cases} - \\ - \\ 0-12,3 \end{cases}$	$\begin{cases} - \\ - \\ 0-6,2 < \cdot < 9,9 \end{cases}$	$\begin{cases} - \\ - \\ 0-1,6 \end{cases}$

wirkliche Bewegung gesehen wird, um so leichter wird eine Scheinbewegung vorgetäuscht oder reproduziert. Dem widersprechen aber die Tatsachen. Verlängerung von e , Verkürzung von p , bewirkt eine Verkleinerung von s_p und bei großen t -Werten sogar eine Verkleinerung von s und c , während nach der eben dargelegten Annahme das Gegenteil der Fall sein müßte. Also wo mehr wirkliche Bewegung gesehen wird, wird doch über eine kleinere Strecke Scheinbewegung gesehen, ein neues¹⁾ Argument gegen jede Theorie, die das stroboskopische Sehen auf Reproduktion, Nichtbemerken oder ähnliches zurückführen will.

Verlängerung von e , das sei hier besonders hervorgehoben, wirkt aber nur bei konstantem t im angegebenen Sinn. Wird bei konstantem p e vergrößert, so tritt nie Verkleinerung von s_p , wohl aber, wenn die Veränderung von e genügend groß ist, Vergrößerung von s_p ein²⁾, ein Beweis, daß es sich bei den unter Konstanthaltung von t auftretenden Tatsachen wesentlich um eine p -Gesetzlichkeit handelt.

5. Ein letztes Resultat, das bei den Hauptversuchen nur gelegentlich bestätigt wurde,

¹⁾ Vgl. Koffka (²⁷).

²⁾ Vgl. etwa Tabelle 2 $p = 33$ mit Tabelle 4 $p = 35$, und auch die Ergebnisse Kortes, nach denen Vergrößerung von e im gleichen Sinn, nur weniger stark, wirkt wie Vergrößerung von p .

ergab sich bei eigens darüber angestellten Beobachtungen der Vorversuche im Frühjahr 1915 mit voller Deutlichkeit. Während bei den Hauptversuchen im allgemeinen nur so beobachtet wurde, daß ein Punkt in der Mitte des Feldes, durch das die Bewegung ging, als Fixationspunkt dient, wurde in den Vorversuchen die Fixation außerdem an einen vom Bewegungsfeld entfernten Punkt verlegt. So konnten zwei Konstellationen verglichen werden, die sich dadurch voneinander unterschieden, daß in der einen das bewegte Objekt sich zentral und parazentral, in der anderen stark peripher abbildete. Dabei zeigte sich, daß die periphere Beobachtung im Verhältnis zur zentralen das *Suk*-Stadium bevorzugt. *Opt* und *Sim* treten peripher beobachtet bei größeren s_p auf als zentral beobachtet. Um ein Beispiel zu geben: $\nu = 18,8$; direkte Beobachtung ergibt zwischen $s_p = 1,31$ und $s_p = 1,54$ *Opt*, indirekt Flimmern; bei $s_p = 3,9$ ergibt indirekte Beobachtung *Opt*, direkte Zerfall mit großen Abständen.

In den Hauptversuchen mußte von einer genaueren Verfolgung dieses Resultats Abstand genommen werden, gelegentliche Beobachtung hat es aber wie erwähnt stets bestätigt.

§ 6. Wir teilen jetzt die Ergebnisse der Versuche mit, bei denen vor der Lampe kein Schlitz war. Das hatte die Wirkung, daß die Aufhellung und Verdunkelung des Streifens nicht plötzlich, sondern allmählich erfolgte. Durch ν ist daher zwar t noch bestimmt, aber die q genügen nicht mehr zur Bestimmung von e und p , denn es ist nicht zu entscheiden, welcher Grad der Verdunkelung schon als völlige „Pause“ zu rechnen ist. In unseren Tabellen ist p so berechnet wie bisher, in Wirklichkeit muß es durchweg kürzer angenommen werden.

Die Tabellen 10 und 11 entsprechen genau den Tabellen 2—4. Für Scheibe A, $q_p = \frac{3}{4}$, fehlen Beobachtungen ohne Schlitz.

Wir finden in den Zahlen das dritte *Kortessche* Gesetz sowie unser Zonengesetz wieder: Der Gang der Zahlen in Tabelle 8 ist nicht sehr gleichmäßig, Scheibe B und D zeigen kleine Unterschiede gegeneinander¹⁾.

Vergleichen wir jetzt die beiden Konstellationen mit und ohne Schlitz. Sie unterscheiden sich in doppelter Hinsicht. Erstens ist, wie schon gesagt, in der zweiten Konstellation die Pause kürzer, d. h. bei einem t und s , bei dem die erste Konstellation *Opt* ergibt, müßte hier *Sim* auftreten, s müßte also gegenüber der ersten Konstellation kleiner werden. Zweitens aber ist in der zweiten Konstellation die Beleuchtung stärker. Nun bedingt aber nach dem ersten *Kortesschen* Gesetz

¹⁾ Wir haben nicht untersucht, woran dies liegt. Es ist ja aber bekannt, daß für die Talbotsche Verschmelzung Scheiben entsprechend B und D nicht äquivalent sind, insofern als B größeres kritisches ν hat als D. Vgl. Baader (¹⁾ S. 34f., Marbe (³⁷) S. 281, 290.

Tabelle 10. $q_p = \frac{1}{4}$ (Scheibe B und D).

p	v	Breiter Strich s_p	Schmalere Strich s_p
7(D)	75	$0-0,38 < \cdot < 0,4$	$0-0,19$
10(D)	48	$0-0,39$	$0-0,21 < \cdot < 0,26$
20(B)	25,6	$0,1-0,25$	$0-0,17^1)$
22(D)	22,4	$0,35-0,6$	$0-0,28 < \cdot < 0,35$
45(B)	11	$1,5$	$0-12,9 < \cdot < 16$
			$35,2$

Tabelle 11. $q_p = \frac{1}{4}$ (Scheibe C).

p	v	Breiter Strich s_p	Schmalere Strich s_p
6	41	$0-0,25$	$0-0,1$
10	24	$0 < \cdot < 0,11-0,26$	$0-0,11 < \cdot < 0,26$
20	11	$0,26-0,45 < \cdot < 0,54$	$0 < \cdot < 0,25-0,33$
		$14,2-22,3 < \cdot < 26,1$	$0 < \cdot < 12,3-0,18,1$

Tabelle 12. $q_p = \frac{1}{4}$.

$t =$	12	14	40	90
Die Opt. { Mit Schlitz s_p { Ohne Schlitz	b $0-0,17$ —	b — $0-0,4$	b $0-0,35$ $0,1-0,25$	b $0-0,23$ $0-0,17^1)$
	sch $0-0,14$ —	sch — $0-0,19$	sch $0-0,23$ $0-0,17^1)$	sch $0-0,97$ $1,5$

Tabelle 13. $q_p = \frac{1}{4}$.

$t =$	24	32	40	80
Die Opt. { Mit Schlitz s_p { Ohne Schlitz	b $0-0,25$ —	b $0-0,25$ —	b $0-0,23$ $0 < \cdot < 0,11-0,26$	b $0,13-0,31$ $0,26-0,45 < \cdot < 0,54$
	sch $0-0,14$ —	sch $0-0,15$ $0 < \cdot < 0,11-0,26$	sch $0-0,15$ $0,13-0,31$	sch $0-0,12 < \cdot < 0,2$ $0 < \cdot < 0,25-0,33$

1) Ungenau.

$\varphi = f\left(\frac{s}{i}\right)^1$) eine Erhöhung der Intensität i eine Vergrößerung von s .

Die beiden Faktoren wirken also gegeneinander, aus den Tabellen 12 und 13 ist zu ersehen, welcher der stärkere ist. Angegeben sind wieder die dem *Opt* entsprechenden s_p ; die Zahlen unter b gelten für den breiten, die unter sch für den schmalen Strich.

Die Tabellen zeigen deutlich, daß der Intensitätsfaktor der überwiegende ist; sobald wir den Bereich des Zonengesetzes verlassen, sind die s_p in der zweiten Konstellation größer als in der ersten. Das zeigt sich auch in der Tatsache, daß die Ausdehnung des Bereichs auf $s_p = 0$ ohne Schlitz erst bei kleinerem t , größerem ν , eintritt als mit Schlitz. Die zur Bestimmung der Flimmerfrequenz dienenden, oben auf S. 76 beschriebenen Versuche wurden auch mit der Konstellation ohne Schlitz ausgeführt und bestätigten dies Resultat vollauf, wie aus Tabelle 14 zu ersehen ist. Auch die Abhängigkeit des kritischen ν von der Strichbreite findet sich wieder bestätigt.

Tabelle 14.

Die kritischen ν für			
q_p	$\frac{1}{4}$ (A)	$\frac{1}{2}$ (B)	$\frac{3}{4}$ (C)
Breiter Strich	36,8	36,4	33,6
Schmalere Strich	31,2	32	26

Die Verschmelzung fällt also auch unter dem Gesichtspunkt des ersten *Korteschen* Gesetzes mit den Tatsachen des Bewegungssehens in eine Gruppe. Wird durch Steigerung der Intensität das optimale s_p größer, dann flimmert der ruhende Strich bei einer Frequenz, bei der er vorher noch glatt erschien.

Um dem Einwand zu entgehen, es fehle der direkte Beweis für die Gültigkeit des ersten *Korteschen* Gesetzes unter unseren Versuchsbedingungen, haben wir einige besondere Versuche angestellt, von denen ein der Kontrolle dienender gleich hier erwähnt sei; ein anderer wird im § 7 beschrieben werden und der 2. Teil dieser Abhandlung wird sich besonders mit dem Einfluß der Intensität beschäftigen.

Bei Beobachtung ohne Schlitz erwies sich für Scheibe A $\nu = 9,6$ $c = 53$ als optimal. Wurde nun durch Einschaltung eines Widerstandes in die Lampenleitung die Beleuchtung stark geschwächt, so trat Zerfall ein. Für das kleine i war s_p jetzt zu groß.

Im Zusammenhang hiermit steht noch ein weiteres Ergebnis. Wir untersuchten noch, welche Geschwindigkeiten unter unseren Bedingungen bei normaler, nicht-intermittierender Beleuchtung noch deutlich gesehen werden können. Es wurde einfach die Sektorenscheibe ent-

¹⁾ (25) S. 261.

fernt, so daß die Lampe, die ja mit Gleichstrom brannte, direkt und ohne Unterbrechung den Streifen beleuchtete. Beim Durchprobieren der verschiedensten Geschwindigkeiten ergab sich für jeden Streifen eine obere Grenze, bei der der glatte Bewegungseindruck verschwand, der Streifen sich in einen grauen nebelhaften Fleck auseinanderzog. Ein Zerfall im Sinn der Vervielfältigung trat dagegen nicht auf. Tab. 15 enthält den Bereich der c , innerhalb dessen noch klare Streifenbewegung gesehen wurde für beide Striche mit und ohne Schlitz vor der Lampe.

Tabelle 15.
Die Grenzen des optimalen c bei konstanter Beleuchtung.

	Breiter Strich	Schmaler Strich
Mit Schlitz	0—35	0—26
Ohne Schlitz	0—41	0—34

Wir finden die gleichen Gesetzmäßigkeiten wie bei der intermittierenden Beleuchtung: der breite Strich und die stärkere Beleuchtung lassen größere Geschwindigkeiten zu als der schmale und die schwächere.

Vergleichen wir diese Geschwindigkeiten mit denen bei intermittierender Beleuchtung, so sehen wir, daß sie diese keineswegs durchweg übertreffen, daß vielmehr die bei sehr kleinen ν und $q_p = \frac{3}{4}$ auftretenden Geschwindigkeiten ihnen weit voranstellen. Es gibt also große Geschwindigkeiten, für die eine intermittierende Beleuchtung günstiger ist als die konstante, nur darf man eben nicht vergessen, daß die zu dieser Geschwindigkeit passende Frequenz eben *nur* zu ihr paßt, während die konstante Beleuchtung für alle Geschwindigkeiten von 0 bis zum Grenzwert gleich günstig ist. So ordnet sich aber auch die konstante Beleuchtung durchaus in die Gruppe der intermittierenden ein, wenn man sie als intermittierende Beleuchtung hoher Frequenz betrachtet ¹⁾.

§ 7. Es lag uns daran, auch noch bei höherem ν Beobachtungen zu machen. Unsere Anordnung hatten wir aber in dieser Hinsicht bis zur Grenze ihrer Leistungsfähigkeit beansprucht und mußten sie, soweit die Beleuchtungsvorrichtung in Betracht kam, durch eine andere ersetzen. An die Stelle der Glühlampe trat eine Funkenstrecke, die Sektorenscheibe fiel fort. Die Funkenstrecke lag in einem Kasten, auf den ein Deckel mit einem Loch von 5 cm Durchmesser gesetzt werden konnte. Sie befand sich in einem Schwingungskreis, dem durch einen Induktor von 20 cm Schlagweite Energie zugeführt wurde. Die Frequenz wurde sowohl durch verschiedene Wahl und verschiedenen Betrieb der Unterbrecher wie durch Änderung des Schwingungskreises variiert. Bestimmt wurde sie nicht exakt, sondern nur annäherungsweise durch Vergleichung des Funkengeräusches mit passend gewählten Stimmgabeln. 5 verschiedene ν zwischen etwa 130 und 870 wurden geprüft. Das Zonengesetz findet sich für die c bestätigt, bei $c = 0$ war der Strich natürlich immer glatt, die obere Grenze des c nahm mit steigendem ν erst langsam,

¹⁾ Die näheren Ausführungen in Teil 3.

dann schnell zu. Die Zone der s_p wurde zuerst mit wachsendem ν kleiner, erst ganz zum Schluß, beim Anstieg von 770 zu 870 scheint sie wieder größer geworden zu sein, doch ist das wegen der geringen Genauigkeit der Frequenzmessungen nicht mit Sicherheit zu sagen.

Wichtiger als diese quantitativen ist ein qualitatives Ergebnis. Es zeigte sich nämlich, daß zwischen *Opt* und dem klaren Zerfall der Strich breit und verschwommen wurde, gerade so wie bei konstanter Beleuchtung und großem c ; doch führt genügend gesteigerte Geschwindigkeit stets zum Zerfall. Es gelang nicht, eine Frequenz zu finden, die der konstanten Beleuchtung völlig äquivalent ist, unsere Versuche brachten nur insofern eine Annäherung, als das „Verschwommenheitsstadium“ jetzt mit derselben Deutlichkeit zu beobachten war wie bei konstanter Beleuchtung, während bei den Versuchen mit Sektorenscheiben, und da nur bei den höchsten ν , nur Ansätze hierzu zu beobachten waren, bei großem c wurden die Striche deutlich breiter, so daß breiter und schmaler gelegentlich nur noch an Helligkeitsunterschieden zu erkennen waren.

Bei den hohen Frequenzen veränderten wir auch einmal planmäßig die Beleuchtungsintensität, indem wir vor die Funkenstrecke eine Blende setzten, deren Wirkung durch aufgelegtes Florpapier noch gesteigert werden konnte. Das Ergebnis des Versuches, das in Tabelle 16 niedergelegt ist, war: je heller die Beleuchtung, um so größer die obere Grenze von c und damit s .

Tabelle 16. $\nu = \text{ca. } 870$.

c	ohne Blende	mit Blende	mit Blende und Flor
106	eben noch Zerfall	deutlicher Zerfall	
92,5	kein Zerfall mehr	deutlicher Zerfall	sehr deutlicher Zerfall
80	ganz glatt	ganz glatt	
77			eben Zerfall

Das entspricht dem ersten *Kortes*chen Gesetz, das somit im Gebiet des Zonengesetzes für die obere Grenze des Bereichs gilt.

§ 8. Wir gehen jetzt in quantitativer Richtung einen Schritt weiter und fragen, ob uns unsere Versuche, namentlich die des § 5, einen Anhaltspunkt geben für die Form der Funktionen, die unsere Versuchsgrößen verbinden.

In Betracht kommt in erster Linie Tabelle 2, breiter Strich, weil hier am meisten Daten vorhanden sind, vor allem auch solche der vollen Gültigkeit des dritten *Kortes*chen Gesetzes, jenseits des Bereichs des Zonengesetzes.

Freilich können wir aus dieser Tabelle, wie aus jeder andern für sich allein, die Funktion zwischen p und s_p selbst nicht direkt ermitteln, da mit p gleichzeitig auch immer e variiert wird. Dagegen erscheint es möglich, die Art der Funktion $s_p = f(t)$, $t = e + p$, zu eruieren. Da s_p schneller wächst als t , so setzen wir versuchsweise:

$$s_p = k t^2 \quad (1)$$

und berechnen aus verschiedenen Werten der Tabelle 2 den Wert für

$$k = \frac{s_p}{t^2}.$$

Wir erhalten dann folgende Übersicht:

Tabelle 17. $q_p = \frac{3}{4}$.

Aus $t =$	berechnet sich $k =$
88	0,000 28
112	0,000 27
133	0,000 20—0,000 24
150	0,000 22
250	0,000 24—0,0004

Die Werte stimmen soweit miteinander überein und schwanken um eine Mittel-lage herum, daß wir hypothetisch unsere Formel $s = kt^2$ als richtig ansehen und $k = 0,000\ 25$ setzen können. Die sehr hohe obere Grenze des letzten Wertes ist sicher dadurch zu erklären, daß bei dieser großen Geschwindigkeit vor dem Zerfall schon ein „Breiterwerden“ des Striches auftrat, also schon eine Art von *Sim*, so daß dieser Wert schon jenseits der Grenze des *Opt* liegt.

Rechnen wir hiernach die bei einem gegebenen t zu erwartenden s_p aus und setzen wir die wirklich gemessenen da-neben, so erhalten wir

Tabelle 18. $q_p = \frac{3}{4}$.

t	s_p berechnet	s_p gemessen (vgl. Tab. 2)
44	0,48	$0 < \cdot < 0,3-0,45$
88	1,94	2,2
112	3,14	3,4
133	4,42	3,6—4,3
150	5,63	4,6—5,5
250	15,63	14—25

Graphisch ist das Verhältnis der beiden Wertscharen in Abb. 2 dargestellt.

Wendet man das gleiche Verfahren auf Tabellen 3 und 4 an, wo freilich die Meßwerte viel weniger Anhaltspunkte bieten, so erhält man die

Abb. 2.

Tabelle 19.

Aus $t =$	berechnet sich $k =$
$q_p = \frac{3}{4} \left\{ \begin{array}{l} 88 \\ 52 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 0,000\ 12 \\ < 0,000\ 11 - 0,000\ 17 \end{array} \right.$
$q_p = \frac{1}{4} \left\{ \begin{array}{l} 140 \\ 80 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 0,000\ 036 - 0,000\ 046 \\ 0,000\ 020 - 0,000\ 048 \end{array} \right.$

Die Zonen sind hier, zumal für $q_p = \frac{1}{4}$, schon so groß, daß man aus den Zahlen nicht mehr mit Sicherheit entnehmen kann, ob unsere Formel stimmt. Da aber die Zahlen ihr auch keineswegs widersprechen, so erhalten wir sie auch hier versuchs-weise aufrecht und setzen für $q_p = \frac{3}{4}$ $k = 0,000\ 12$ für $q_p = \frac{1}{4}$ $k = 0,000\ 04$. Wir berechnen unter dieser Voraussetzung wieder die s_p . Das ergibt

Tabelle 20. $q_p = \frac{2}{4}$.

t	s_p berechnet	s_p gemessen (vgl. Tab. 3)
40	0,19	0—0,35
52	0,32	0 < . < 0,3—0,45
88	0,93	0,9—0,97

Tabelle 21. $q_p = \frac{1}{4}$.

t	s_p berechnet	s_p gemessen (vgl. Tab. 4)
40	0,064	0—0,23
80	0,26	0,13—0,31
140	0,78	0,7 —0,9

Die berechneten Werte fallen durchweg in die Zone der gemessenen. Mehr ist in diesem Meßbereich, in dem das Zonengesetz gilt, auch nicht zu erwarten.

Es erhebt sich die Frage, ob unsere Gleichung (1) auch auf die Versuchsdaten von *Korte* anwendbar ist. Wir berechnen aus den einschlägigen Tabellen¹⁾ die k -Werte und erhalten so die folgenden Tabellen:

Tabelle 22.

Aus *Kortes* Tabellen auf S. 263—264. (Vpn. *Koffka* und *Korte*) berechnet sich aus

t	k
182	0,0905
255	0,0923

Aus *Kortes* Tabelle auf S. 264 (Vp. *Wulf*) berechnet sich aus

t	k
182	0,0905
218	0,126
255	0,131

Aus *Kortes* Tabelle auf S. 266 (Vp. *Koffka*) berechnet sich aus

t	k
182	0,0905
218	0,124
255	0,122

Aus *Kortes* Tabelle auf S. 266 (Vp. *Wulf*) berechnet sich aus

t	k
182	0,0905
218	0,145
255	0,130

Man darf aus diesen Zahlen wohl entnehmen, daß in erster Annäherung das Gesetz auch hier gilt. Im allgemeinen zeigen die k -Werte jeweils eine kleine Tendenz, mit t zu wachsen. Es mag dies Zufall sein, aber auch darauf beruhen, daß der ja auch nachweisbare Einfluß von e_2 nicht berücksichtigt ist²⁾.

Kehren wir zu unserem Material zurück. Der Vergleich der Tabellen 17 und 19 ergibt, daß k von q_p abhängig ist. Versuchen wir, auch diese Funktion näher zu bestimmen, so ergibt sich, daß die Funktion

$$k = r q_p^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

recht gut zu den Meßwerten paßt.

¹⁾ (³¹) S. 263—266.

²⁾ e_2 bleibt freilich absolut genommen konstant, nur sein Verhältnis zu p ändert sich, mit steigendem t wird es kleiner.

Berechnen wir nämlich aus dieser Gleichung r , indem wir nacheinander für k und q die Zahlenwerte einsetzen, so ergeben sich die folgenden Werte:

Tabelle 23.		
Aus $q_p =$	und $k =$	berechnet sich r zu
$\frac{3}{4}$	0,000 25	0,000 384 9
$\frac{2}{4}$	0,000 12	0,000 339 4
$\frac{1}{4}$	0,000 04	0,000 32

In Anbetracht des Umstandes, daß die k -Werte für $q_p = \frac{3}{4} + \frac{1}{4}$ wenig gesichert sind, scheint die Übereinstimmung hinreichend, wir setzen, die größere Bedeutung des ersten k -Wertes berücksichtigend, für weitere Rechnungen $r = 0,000\ 38$.

Setzen wir jetzt in unsere Gleichung (1) für k den Wert aus (2) ein, so erhalten wir die umfassendere Gleichung

$$s_p = r q_p^{\frac{3}{2}} t^2 \quad (3)$$

und wenn wir hier für q_p den Wert $\frac{p}{t}$ einsetzen, so ergibt sich

$$s_p = r \frac{p^{\frac{3}{2}}}{t^{\frac{3}{2}}} \cdot t^2$$

$$s_p = r p^{\frac{3}{2}} t^{\frac{1}{2}}. \quad (4)$$

Da $t = e + p$, so ersieht man aus dieser Gleichung den Einfluß, den die Veränderung jeder dieser Größen auf s_p ausübt. p kommt, als höchste Potenz, im Quadrat, e nur in der Wurzel vor¹⁾.

Daß nun Gleichung (4) in der Tat wohl mit unseren Resultaten verträglich ist, ergibt sich aus Tabelle 24, die in der Anlage den Tabellen 18, 20 und 21 entspricht.

Tabelle 24.			
	d	t	s_p berechnet nach Gleichung (4) für $r = 0,000\ 38$
$q_p = \frac{3}{4}$	33	44	0,48
	66	88	1,91
	84	112	3,10
	100	133	4,38
	113	150	5,59
$q_p = \frac{2}{4}$	188	250	15,49
	20	40	0,22
	26	52	0,36
	44	88	1,04
	10	40	0,076
$q_p = \frac{1}{4}$	20	80	0,30
	35	140	0,93
			s_p gemessen (vgl. Tab. 2—4)
			$0 < \cdot < 0,3-0,45$
			2,2
			3,4
			3,6—4,3
			4,6—5,5
			14—25
			0—0,35
			$0 < \cdot < 0,3-0,45$
			0,9—0,97
			0—0,23
			0,13—0,31
			0,7—0,9

¹⁾ Denken wir wieder daran (vgl. oben S. 77 f.), daß während der Zeit e die wirkliche Bewegung des Striches sichtbar ist, so ergibt sich wieder, daß eine Verlängerung der Dauer dieser wirklichen Bewegung bei unveränderter Pause die von der „Scheinbewegung“ übersprungene Strecke viel weniger vergrößert als eine Vergrößerung der Pause bei unveränderter Dauer der wirklichen Bewegung. Wir verweisen auch auf die oben aus diesem Tatbestand gezogenen Folgerungen.

Aus unseren Formeln können wir nun auch die Beziehung zwischen c und ν ableiten.

Es ist:

$$s_p = r q_p^3 t^2 \quad (3)$$

und $s_p = \frac{c \cdot q_p}{\nu}$, $t = \frac{1}{\nu}$ nach unserer Anordnung (vgl. S. 70). Also:

$$\frac{c \cdot q_p}{\nu} = \frac{r q_p^3}{\nu^2},$$

$$c = \frac{r q_p^{\frac{1}{2}}}{\nu} \quad (5)$$

Wie sich die nach dieser Formel berechneten Werte von c zu den gemessenen verhalten, zeigt Tabelle 25.

Tabelle 25.

	ν	c berechnet nach (5) für $r = 0,00038$	c gemessen (vgl. Tab. 2—4)
$q_p = \frac{3}{4}$	22,5	14,63	$0 < \cdot < 9,3-13,4$
	11,5	26,82	34
	9	36,57	40
	7,5	43,88	$35-43 < \cdot$
	6,7	49,12	41—50
$q_p = \frac{2}{4}$	4	82,27	74—(135)
	22	12,21	0—17,4
	19	14,14	$0 < \cdot < 11-19$
	11,4	23,57	21—22
$q_p = \frac{1}{4}$	24	7,92	0—24
	13	14,62	6,5—15,4
	7,3	26,03	20—25,5

Abb. 3.

Abb. 3 gibt für $q_p = \frac{3}{4}$ graphisch das Verhältnis der beiden Wertscharen wieder.

Sollten sich unsere Funktionen weiter bestätigen, so geben sie ein Mittel zur näheren Untersuchung des Zonengesetzes an die Hand, man kann die Erweiterung der Zone dann an den berechneten Wert messen. Doch muß dies späteren Untersuchungen vorbehalten bleiben.

Zweiter Teil.

§ 9. Wir haben die Gültigkeit der *Korteschen* Gesetze über ein sehr großes Gebiet verfolgt. Wir fanden, daß von einem gewissen Wert von ν ab, der wieder von q_p abhängig war, das dritte Gesetz durch das Zonengesetz verdeckt wird, während das erste auch hier für die obere Grenze der Zone seine Gültigkeit behält. Unsere Versuchsbedingungen waren äußerlich völlig verschieden von denen *Kortes*, stimmten aber prinzipiell insofern mit ihnen überein, als auch bei uns — freilich neben anderer — mit einer Ausnahme immer stroboskopische Bewegung beobachtet wurde. Nun gehört es aber zum Kern der *Wertheimerschen* Theorie, daß sie auch für das Sehen wirklicher Bewegung Geltung beansprucht¹⁾. *Wertheimer* hat eine Reihe von Beweisen für diese These erbracht. So erhebt sich die Frage, ob sich auch die *Korteschen* Gesetze beim Sehen wirklicher Bewegung als gültig nachweisen lassen. Der folgende Gedankengang führte zur experimentellen Entscheidung. Von den drei Hauptstadien des stroboskopischen Bewegungssehens fehlt beim Sehen wirklicher Bewegung das *Suk*. Das scheidet aber wirkliche und stroboskopische Bewegung nicht in allen Fällen, denn wir sahen ja, daß infolge des Zonengesetzes auch bei stroboskopischer Bewegung bei großem ν das *Suk* fortfällt. Dagegen läßt sich vom *Opt*, dem Eindruck der klaren Bewegung des Objekts, ein anderer Eindruck unterscheiden, den wir schon im 1. Teil (S. 82) beschrieben haben und der ein Analogon des *Sim* bedeutet: das bewegte Objekt wird breiter und verschwommener, und man kann es durch Steigerung seiner Geschwindigkeit dahin bringen, daß der Bewegungseindruck völlig verschwindet, man nur noch ein unbewegtes breites Band sieht. Bekannt ist der Leuchtkreis, den man sieht, wenn man eine glühende Kohle an einem Faden herumschwenkt. Betrachten wir dies Phänomen als *Sim*, so haben wir ein Mittel, die Gültigkeit der *Korteschen* Gesetze bei wirklicher Bewegung zu prüfen. Wir können nämlich untersuchen, wie sich die kritischen Geschwindigkeiten, d. h. die, bei denen eben deutliches *Sim* auftritt, verändern, wenn wir die Intensität des bewegten Objekts variieren.

Diese Überlegung gehört in den Kreis des zweiten *Korteschen* Gesetzes, das in der neuen Fassung²⁾ so lautet:

$$\varphi = f\left(\frac{1}{i \cdot p}\right).$$

Auf unseren Fall angewandt: liegt *Sim* vor, und wird die Intensität verstärkt, so muß die Pause verkürzt werden.

¹⁾ Vgl. ⁽⁶³⁾ S. 67f., 72f., 75. ⁽²⁷⁾ S. 602.

²⁾ ⁽²⁵⁾ S. 261.

Die Übertragung auf die wirkliche Bewegung scheint aber daran zu scheitern, daß hier keine „Pausen“ existieren. Jedoch im gleichen Sinn wie p wirkt auch e ; und wir können uns eine wirkliche Bewegungsbahn zerlegt denken in eine Anzahl kleiner Bahnteilchen mit entsprechend kleinen Expositionszeiten. Gilt für jedes von diesen das Gesetz, so auch für ihre Summe, für die ganze Bahn. Wir müßten also erwarten, daß die Steigerung der Intensität eine Herabsetzung der Expositionszeit bedingt. Auf die Bahnstrecken und -zeiten können wir die im 1. Teil (S. 70) abgeleiteten Formeln anwenden. $s = c \cdot t$, wo $t = e + p$, und wenn wir $p = 0$ setzen¹⁾, $s = c \cdot e$, $e = \frac{s}{c}$. Herab-

setzung von e wird durch Steigerung von c bewirkt, Steigerung der Intensität i müßte also durch Steigerung von c kompensiert werden.

Wir verschieben die Diskussion der theoretischen Konsequenzen auf den 3. Teil und beschreiben gleich unsere Versuchsanordnung.

§ 10. Ein in der Anordnung 1²⁾ als Transmission dienendes Gestell D wurde, um 180° gedreht, hinter einem Schirm aufgestellt. Der rotierende Arm A trug an seinem Ende eine Glühlampe, deren Zuführungsdrähte durch die Achse liefen. Am andern Ende von A war ein Gegengewicht angebracht. Die durch Gleichstrom gespeiste Glühlampe befand sich in dem in § 2 beschriebenen Gehäuse mit Deckel und Schlitz. Ihre Lichtstärke konnte durch einen geeigneten Vorschaltwiderstand reguliert werden. In Rotation wurde sie durch den Motor M_1 gesetzt, dessen Gang durch Widerstände geregelt werden konnte.

Der senkrecht davor stehende Schirm aus schwarzer Pappe besaß einen Schlitz von 9 cm Breite und 90° Ausdehnung, entsprechend dem rechten oberen Quadranten der Bahn der Lampe. Sein innerer Radius betrug 26 cm. Durch übergelegten Pappkarton konnte er nach Belieben verkleinert werden. Als Fixationspunkt diente der weiße Knopf einer am inneren Rande des Schlitzes jeweils in der Mitte des freien Bogens eingesteckten Stecknadel.

Es sollten nie mehr als ein bis zwei Durchgänge der Lampe durch den offenen Bogen des Schlitzes unmittelbar hintereinander beobachtet werden. Zu diesem Zwecke hatten die Beobachter, die beiden Verf., während der Versuche schwarze Pappschirme in der Hand, mit denen sie das Gesichtsfeld abdeckten und nur für kurze Zeit freigaben.

Während der Versuche brannte im Zimmer außer der rotierenden Lampe noch eine schräg hinter den Beobachtern befindliche 25 kerzige Birne. Die Beobachtungen geschahen aus einem Abstand von ca. $1\frac{1}{2}$ m. Die Lichtstärken wurden so festgelegt, daß die Helligkeit der Lampe bei verschiedenen Stellungen des Regulierwiderstandes mit einem Lummer-Brodhunschen Photometer geeicht wurde. Für die Rechnungen wurde die geringste Lichtstärke als Einheit gewählt.

Die Umlaufzeiten der Lampe wurden mit der Fünftelsekundenuhr bestimmt. Die Versuche wurden im März und April 1919 durchgeführt.

§ 11. Der Gang der Versuche war der folgende: Bei einer bestimmten Sektorengröße des Schlitzes wurde am Widerstand eine Lampenhelligkeit eingestellt, dann durch Variation der Umlaufgeschwindigkeit der

¹⁾ Daß dies wahrscheinlich nicht richtig ist, wird im 3. Teil erörtert werden. An der Überlegung des Textes wird dadurch aber nichts geändert.

²⁾ Vgl. Abb. 1 S. 69.

Lampe die Grenze gesucht, bei der eben *Sim* auftrat, bei der also der ganze offene Schlitzbogen von einem leuchtenden Band ausgefüllt war. Um auf diese Weise den Einfluß relativ kleiner Intensitätsschwankungen zu verfolgen, braucht man eine gewisse Übung. Man muß sich einen festen Maßstab bilden, sich eine bestimmte Form des Phänomens wählen, die man als Grenzphänomen festhält. Das grob qualitative Resultat bei starken Differenzen von i ist dagegen ganz leicht zu beobachten.

War die Grenze gefunden, so wurde der Lampenwiderstand verändert und das gleiche Verfahren eingeschlagen. Anfänglich wurden so drei verschiedene Werte von i gemessen, außerdem der Anfangswert von i gewöhnlich am Schluß wiederholt und dann eine andere Sektorengroße gewählt. Bald gaben wir es auf, an einem Versuchstage auch die Sektorengroße zu variieren, und erhöhten dafür die Zahl der Intensitätsstufen, um mehr Werte der Funktion zu erhalten.

Ehe wir unsere endgültige Anordnung fertig gebaut hatten, machten wir ein paar Versuche unter einfacheren Bedingungen, vor allem ohne Schirm, so daß also die Lampe dauernd und auf ihrem ganzen Wege sichtbar war. Dabei ergab sich ein für den Fortgang der Versuche wichtiges Resultat. War die Lampe in Rotation, so erschien bald außer der bewegten Lampe ein bläulich leuchtender Vollkreis; und zwar trat dieser Leuchtkreis um so leichter, bei um so kleineren Geschwindigkeiten auf, je heller die Lampe war. Daß dies Nachbild aber mit dem eigentlichen Bewegungssehen nichts zu tun hatte, ließ sich auf folgende Weise feststellen. Man ließ die Lampe einige wenige Male so langsam rotieren, daß optimale Bewegung gesehen wurde, und hielt sie dann an. Auch dann entwickelte sich nach und nach der gleiche leuchtende Kreis, der also auf einer *Nachwirkung*, und zwar von relativ sehr langer Dauer, beruhte¹⁾.

Daraus folgte aber für uns, daß wir uns bei den entscheidenden Beobachtungen vor solchen Nachwirkungen schützen mußten. So kamen wir zu der im vorigen § erwähnten Regel, nie mehr als zwei Durchgänge der Lampe nacheinander zu beobachten.

Unter diesen Bedingungen war das Resultat völlig eindeutig und entsprach dem *Kortescen* Gesetz: *je heller die Lampe, um so größer die Geschwindigkeit, bei der eben Sim eintrat*. Dies Resultat war nach wenigen Beobachtungen klar, die meiste Zeit wurde der quantitativen Ermittlung der Funktion zwischen e und i gewidmet. Dabei ergab sich ein weiterer Befund, der leicht als Fehlerquelle hätte wirken können. Wie gesagt wurde der Anfangswert von i zum Schluß noch einmal nachgeprüft, dabei stellte sich eine konstante Abweichung der beiden e -Werte heraus, e war am Schluß durchweg größer

¹⁾ Vgl. die Diskussion im dritten Teil S. 112.

als am Anfang. Die fortschreitende Dunkeladaptation wirkt also begünstigend für *Sim*. Dieser Tatbestand läßt sich nicht auf Intensitätswirkung zurückführen; stärkere Dunkeladaptation wirkt ja wie Heraufsetzung der Lichtintensität, ihr entspricht aber nicht wie dieses Verkürzung, sondern Verlängerung von e^1). Diese Intensitätswirkung trat sofort ein, wenn man die Intensität der bewegten Lampe nicht durch Veränderung ihres Regulierwiderstandes, sondern dadurch heraufsetzte, daß man die andere, das Zimmer erhellende Birne ausdrehte. Dann mußte sofort die Umdrehungsgeschwindigkeit gesteigert werden. Die Dunkeladaptation bringt also einen neuen Faktor hinzu. Da wir stets mit den schwachen Intensitäten angingen, so ist unser allgemeines Resultat a fortiori richtig. Eine spätere Beobachtung mußte ceteris paribus einen größeren e -Wert ergeben als eine frühere, Steigerung der Helligkeit ergab aber immer kleinere e -Werte. Zur Bestimmung der Funktion zwischen i und e mußte dieser Faktor aber nach Möglichkeit ausgeschaltet werden. Wir suchten das so zu erreichen, daß wir stets mindestens eine halbe Stunde vor Beginn der Beobachtungen das Zimmer bis auf die eine auch während der Beobachtungen brennenden Lampe verdunkelten²). Das ergab eine wesentliche Besserung, brachte aber den Einfluß doch nicht immer ganz zum verschwinden, so daß wir gelegentlich unsere gemessenen Werte mit einer die Adaptation berücksichtigenden Korrektur versehen müssen. Dies wird dadurch erleichtert, daß wir, sobald wir diesen Einfluß erkannt hatten, zu jeder Beobachtung die Uhrzeit notierten.

§ 12. 1. Wir teilen die Hauptergebnisse wieder in Tabellenform mit; die i sind in den angegebenen Einheiten, die e in $\frac{1}{100}$ Sekunden aufgeführt.

Tabelle 26. Sektor 56°.

Es wurden als kritische e gemessen in $\frac{1}{100}$ sec. am						
	7. 4.	8. 4.	9. 4.	$AM(Vp. K)$	$m. V.^3)$	10. 4. ($Vp. Ce$)
1			{16,1} 17,3	17,3	—	{16,4} 17,2
3	15,9	16,3	14,9 (15,9)	16,0	0,17	16,0
11	15,2	15,4	14,4 (14,9)	15,2	0,17	15,4
53	14,6	14,0	13,7 (14,2)	14,3	0,23	14,6
93	13,5	13,9	13,2 (13,4)	13,6	0,20	
155	13,1	[14,0]	13,1	13,1	0,00	
240	13,0	12,6	12,7	12,8	0,17	
453	12,8	12,5	12,5	12,6	0,13	13,8

Tabelle 26 bedarf einiger Erläuterungen. Der in [] gesetzte Wert vom 8. 4. ist augenscheinlich eine Fehlmessung, wie sie durch plötzliches, zwischen Beobach-

¹⁾ Vgl. wieder den dritten Teil.

²⁾ Nach dieser Zeit ist bei Aufenthalt in völligem Dunkel der steilste Teil der Adaptionkurve überwunden. Vgl. ⁽⁴⁸⁾; ⁽³²⁾ S. 168f.; ⁽⁴⁵⁾ S. 270f. Ob man dies Resultat auf unsere Verhältnisse übertragen darf, ist freilich nicht festgestellt

³⁾ Mittlere Variation.

tung und Messung der Geschwindigkeit auftretendes Nachlassen der Spannung und dadurch bewirktes Zurückgehen der Geschwindigkeit gelegentlich auftraten, meist aber sofort bemerkt wurden. Der Wert ist bei der Berechnung des arithmetischen Mittels (AM) fortgeblieben. Die beiden in $\{ \}$ stehenden Werte sind die ersten des Tages, daneben steht der am Schluß gemessene Kontrollwert.

Die Werte in $( )$ endlich sind korrigiert. Vergleicht man einerseits die Werte für $i = 1$ am 9. 4. miteinander, anderseits die ganze Reihe mit der der Vortage, so ergibt sich mit aller Deutlichkeit, daß im ersten Teil der Reihe vom 9. 4. die Wirkung der Adaptation noch deutlich zutage tritt und erst bei $i = 155$ verschwindet. Dazu paßt gut, daß am 9. 4. die Versuche 36 Minuten nach der Verdunkelung begonnen wurden, am 7. 4. aber erst 45' und am 8. 4. gar, weil ein anderer Versuch voranging, erst 1^h 20' später. Die Größe dieser Adaptationswirkung läßt sich der Differenz der beiden Werte für $i = 1$ entnehmen, sie beträgt danach 12σ . Zwischen dem ersten Versuch und dem Ende der störenden Adaptationswirkung sind 25 Minuten vergangen, jede Messung hat 5 Minuten beansprucht. Verteilt man die Adaptationswirkung gleichmäßig über diesen Zeitraum¹⁾, so ist zum letzten Wert, $i = 93$, $\frac{12}{5} \sigma$ hinzu zu addieren, zum vorletzten, $i = 53$, $2 \cdot \frac{12}{5} \sigma$ usw. Die so erhaltenen Werte sind in Klammern beigelegt, sie sind bei der Berechnung des AM verwertet. Wie gut die drei Reihen übereinstimmen, zeigen die durchweg sehr niedrigen $m. V.$ Auch die Reihe von C_e stimmt bis auf den letzten, viel zu hoch ausgefallenen Wert, glänzend zu den übrigen.

Es sei an dieser Stelle besonders darauf hingewiesen, daß die Versuche durchaus unwissentlich waren. Der eine von uns beobachtete, der andere veränderte je nach der Beobachtung den Regulierwiderstand des Motors. Dabei wurde nicht so vorgegangen, daß etwa von einer Einstellung zur nächsten die Geschwindigkeit einfach bis zur neuen Grenze gesteigert wurde, es wurde vielmehr dauernd „gegabelt“, d. h. der kritische Punkt in immer engere Grenzen gebracht, aber auch wieder nicht so, daß der Beobachter irgendwie voraussehen konnte, was für eine Geschwindigkeit jetzt kommen würde. Das konnte nicht einmal der Versuchsleiter, da, wie schon erwähnt, die Spannung unserer Leitung häufig schwankte²⁾. Übrigens hätte man bei voller Wissenschaftlichkeit nicht solche fein abgestuften Reihen messen können, wenn man nur nach Vorurteil, nicht nach dem Phänomen geurteilt hätte.

Wir teilen in der nächsten Tabelle eine andere Versuchsreihe mit.

Tabelle 27. Sektor 48° (17. 4.) Vp. K.

i	e
1	{18,1} 17,1
3	16,8
11	15,7
53	13,9
93	13,6
155	13,1
240	12,8
453	12,8

¹⁾ Was nach den Kurven von *Piper* angängig ist.

²⁾ Eine Akkumulatorenbatterie, die bald mehr bald weniger in Anspruch genommen wurde.

Die beiden Kurven der Abb. 4 geben einen Überblick über den Verlauf dieser Zahlen. Die Kurve für den Sektor 48 zeigt den gleichen Typus wie die Durchschnittskurve, stellenweise fällt sie vollkommen mit ihr zusammen — dort ist sie nicht besonders gezeichnet —, die kleine Abweichung am Schluß liegt in den normalen Fehlergrenzen. Am Anfang aber sind zweifellos zu hohe Werte gemessen worden, der Kontrollversuch am Schluß ergab auch im Gegensatz zu allen übrigen Erfahrungen einen niedrigeren Wert als der Anfangsversuch.

Solche „Vollreihen“ sind bei anderen Sektorengrößen nicht durchgeführt worden, sondern nur Reihen von 3 (oder 4) Größen von i (nämlich $i = 3, [7], 53, 453$) bei den Sektoren $32^\circ, 56^\circ, 90^\circ$. Alle diese Werte zeigen den gleichen Gang, wie aus den unter anderem Gesichtspunkt

Abb. 4.

aufgestellten Tabellen 29 und 30 zu ersehen ist. Überall bestätigte sich somit das zweite *Kortesc* Gesetz.

2. Die Variation der Sektoren kann auch für das dritte *Kortesc* Gesetz Material liefern. Werden auch die kleinen Wegstrecken, in die wir uns oben die Bewegungsbahn zerlegt dachten, durch die Veränderung der Sektorengröße nicht tangiert, so doch eben ihre Summe. Man kann fragen, wie wirkt die Veränderung der Bogengröße B auf die Rotationsgeschwindigkeit und damit auf e ? Der Beantwortung dieser Frage dienten die Versuchsreihen, in denen nur wenige i bei verschiedenen B untersucht wurden. Später wurde eine besondere Versuchsreihe durchgeführt, in der bei konstantem i eine größere Anzahl von B geprüft wurde. Wir teilen das Ergebnis dieser Reihe zuerst mit (in Tabelle 28). Unter T steht die Umlaufszeit der Lampe, unter ω die Winkelgeschwindigkeit; auf die beiden letzten Kolonnen kommen wir später zurück.

Tabelle 28. $i = 53$. Vpn. C. und K. (11. 4.).

B	ω	$T(\text{sec})$	$e \left(\frac{\text{sec}}{100} \right)$	e berechnet	κ
32	5	1,24	11,0	11,09	0,2645
48	5,9	1,06	14,2	13,59	0,2381
56	6,7	0,94	14,6	14,68	0,2627
76	7,85	0,80	16,9	17,10	0,2661
90	8,6	0,73	18,2	18,60	0,2717

$$\left. \begin{array}{l} AM: 0,2606 \\ mV: 0,0090 \end{array} \right\}$$
Reihenfolge: $B = 90, 32, 48, 76, 56$.

Wie man sieht, nimmt mit steigendem B T ständig ab, ω ständig zu. Diese Veränderungen erfolgen aber so langsam, daß e gleichfalls zunimmt, so daß sich auch hier e und B im gleichen Sinn verändern.

Die übrigen Ergebnisse, die aus der ersten Zeit der Versuche stammen, sind in den beiden nächsten Tabellen mitgeteilt.

Tabelle 29. Vp. K. (3. 4.)

(Reihenfolge: $B = 56, 90, 32$.)

B	ω	T	e	κ
32	5,9	1,07	9,5	0,35
56	7,85	0,80	12,8	0,345
90	11,0	0,57	14,3	0,44
32	6,4	0,99	8,8	0,41
56	8,6	0,73	11,4	0,43
90	11,4	0,55	13,8	0,47
32	7,3	0,86	7,7	0,54
56	9,4	0,67	10,4	0,52
90	11,8	0,53	13,3	0,51

Tabelle 30. Vp. C. (4. 4.)

(Reihenfolge: $B = 32, 90, 56$.)

B	ω	T	e	κ
32	6,8	0,92	8,2	0,48
56	9,0	0,70	10,9	0,47
90	9,5	0,66	16,6	0,33
32	7,2	0,87	7,7	0,54
56	10,0	0,62	9,6	0,60
90	9,7	0,65	16,2	0,34
32	7,85	0,80	7,1	0,63
56	10,5	0,60	9,3	0,65
90	12,6	0,50	15	0,40

Wir finden wieder: mit steigendem B steigt auch ω und e bei fallendem T . Bei Cermak findet sich eine Ausnahme; bei $i = 53$ wächst zwar e , nicht aber ω beim Übergang von $B = 56^\circ$ auf $B = 90^\circ$. Diese Messung fällt, wie wir noch sehen werden, auch sonst ganz aus dem Rahmen, sie ist als Fehlmessung anzusehen, fand auch zu Beginn der Versuche statt, als der Übungsgrad noch gering war.

§ 13. Wir versuchen wieder quantitative Beziehungen aufzustellen.

1. Die Betrachtung der Kurven auf Abb. 4 legt die Vermutung nahe, daß es sich bei der Beziehung zwischen den Größen e und i um eine logarithmische Funktion handelt. Trägt man entsprechend (vgl. Abb. 5) auf der Abszisse die $\log i$, auf der Ordinate die e -Werte auf, so bestimmen die gemessenen Werte jeweils eine Gerade. Es ist also

$$e = a \log i + b \quad (6)$$

Von dem Grad der Übereinstimmung der geraden Linie mit den Meßwerten für die Durchschnittswerte der Tabelle 26 gibt Tabelle 31 ein Bild.

Tabelle 31.

In Tabelle 26 berechnet sich nach der Formel $e = a \log i + b$, indem man kombiniert die Werte:

$i =$	a	b
3 und 53	—1,84	16,88
11 „ 93	—1,72	17,0
155 „ 240	—1,58	16,56
3 „ 453	—1,57	16,7
1 „ 453	—1,77	17,3

Beide Werte schwanken, b weniger und unregelmäßiger, a in dem Sinn, daß es bei kleinem i größer ist als bei großen. Zieht man aus den b -Werten das arithmetische Mittel, so erhält man $b = 16,89$. Nun ist $b = e$, wenn $i = 1$, da dann $a \log i = 0$. Der Meßwert für $i = 1$, der auch kein Durchschnittswert ist, sondern aus einer einzigen Reihe stammt, ist demnach zu hoch ausgefallen.

Nehmen wir $b = 17$ an, was auch der Kurve der Abb. 5 entspricht, und berechnen wir dann aus Tabelle 26 für alle i die a , so erhalten wir folgende Werte:

Abb. 5.

Tabelle 32.

Aus Tabelle 26 (AM) berechnet sich aus der Formel $e = a \log i + b$, wenn $b = 17$ für

$i =$	a	
3	—2,10	$\left. \begin{array}{l} AM: -1,726 \\ mV: 0,137 \end{array} \right\}$
11	—1,73	
53	—1,28	
93	—1,73	
155	—1,78	
240	—1,77	
453	—1,69	

Die Übereinstimmung ist gut, die Werte schwanken regellos.

Wir dürfen also die Formel (6) als genügende Annäherung für unsere Resultate ansehen. Wir können sie noch auf eine allgemeinere Form bringen. Der allgemeinste Ansatz für die logarithmische Beziehung ist:

$$i = \mathfrak{A} e^{\mathfrak{B} e} \quad (7)$$

wo i und e die alte Bedeutung haben, während e die Basis des natürlichen Logarithmensystems ist:

Logarithmieren wir (7), so erhalten wir

$$\log \text{nat } i = \log \text{nat } \mathfrak{A} + \mathfrak{B} e, \text{ woraus folgt}$$

$$e = \frac{\ln i}{\mathfrak{B}} - \frac{\ln \mathfrak{A}}{\mathfrak{B}} \quad (7a)$$

Da allgemein $\log x = 0,434 \cdot \log \text{nat } x$, so können wir Gleichung (6) schreiben:

$$e = 0,434 a \ln i + b \quad (6a)$$

Aus dem Vergleich von (6a) und (7a) ergibt sich:

$$0,434 a = \frac{1}{\mathfrak{B}} \quad \text{und} \quad b = -\frac{\ln \mathfrak{A}}{\mathfrak{B}}.$$

Aus unsern Messungen hatten wir $a = -1,726$ und $b = 17$ errechnet. Also:

$$\frac{1}{\mathfrak{B}} = 0,434 \cdot (-1,726) = -0,749.$$

$$\mathfrak{B} = -1,335 \text{ oder nahezu } \mathfrak{B} = -\frac{4}{3}$$

$$\ln \mathfrak{A} = -b \cdot \mathfrak{B} = +17 \cdot 1,335$$

$$\ln \mathfrak{A} = 22,70$$

$$\ln \mathfrak{A} = 2,3026 \cdot \log \mathfrak{A}, \quad \log \mathfrak{A} = \frac{22,7}{2,3026} = 9,856$$

$$\mathfrak{A} = 7,178 \cdot 10^9.$$

Setzen wir die Werte für $\mathfrak{A}$ und $\mathfrak{B}$ in (7) ein, so erhalten wir:

$$i = 7,2 \cdot 10^9 \cdot e^{-\frac{4}{3}e}. \quad (8)^1$$

Unsere Ableitung stützte sich bisher ausschließlich auf die Resultate der Tab. 26, d. h. für $B = 56^\circ$. Wir sahen aber schon oben, daß auch die den Werten der Tabelle 27 entsprechende Kurve der Abb. 4 ($B = 48^\circ$) einen ganz analogen Verlauf hat. Die Rechnung ergibt etwas größere Schwankungen der a - und b -Werte, war nicht weiter wundert, wenn wir bedenken, daß hier keine Durchschnittswerte vorliegen, die zufälligen Fehler also größer sein müssen.

Auch die Werte der Tabellen 29 und 30 fügen sich der Formel, wenn auch die Abweichungen, entsprechend der geringen Zahl von Meßwerten, dem Fehlen einander ausgleichender Beobachtungen und dem geringen Übungsgrad bedeutend größer sind. Aus ihnen kann man aber noch mehr entnehmen, nämlich wie sich die a und b mit B verändern. Und zwar wachsen die b mit B , während die a in der Mitte (in Tabellen 29 und 30 bei 56°), vermutlich bei 45° ein Maximum haben. Wenn wir bedenken, daß $b = e$ für $i = 1$ ist, so paßt das eine dieser Resultate zu der früher abgeleiteten Beziehung zwischen B und e .

2. Wir verfolgen jetzt diese Beziehung. Der Versuch, die Meßwerte mit einer linearen Funktion zur Deckung zu bringen, gelingt nicht. Wir probieren:

$$B = \kappa e^2 \quad (9)$$

und berechnen aus den Werten der Tabelle 28 (S. 94) die $\kappa = \frac{B}{e^2}$. Sie sind dort in der letzten Kolonne angegeben und zeigen eine außerordent-

¹⁾ Es lohnt sich vielleicht, noch auf folgendes hinzuweisen: es ist die Lichtgeschwindigkeit $c = 3 \cdot 10^{10} \frac{\text{cm}}{\text{sec}}$. Wir können Gleichung (8) nun auch schreiben:

$$i = 0,72 \cdot 10^{10} e^{-\frac{4}{3}e}; \quad \text{und wenn wir die Lichtgeschwindigkeit einführen:}$$

$$i = 0,24 \cdot c \cdot e^{-\frac{4}{3}e}.$$

lich gute Übereinstimmung (die mV unter 4% des AM), so daß wir (9) als erste Annäherung betrachten dürfen. Rechnen wir nach (9) für $\alpha = 0,26$ die $e = \sqrt{\frac{B}{\alpha}}$ aus, so erhalten wir die in der vorletzten Kolonne der Tabelle 28 mitgeteilten Werte. Gemessene und berechnete Werte sind aus der Kurve der Abb. 6 zu ersehen.

Dieselbe Berechnung des α ist auch für die Tabellen 29 und 30 durchgeführt und dort zu entnehmen. In Tabelle 29 zeigen die α bei gleichem i recht gute Übereinstimmung, in Tabelle 30 dagegen fallen die Werte für $B = 90$ ganz heraus. Daß dieser Wert bei $i = 53$ eine Fehlmessung darstellt, haben wir schon hervorgehoben, auch die übrigen sind im gleichen Sinn verschoben, der Beobachter hat zu früh, bei zu kleinen ω sein Urteil für *Sim* abgegeben. Auch die aus diesen Tabellen berechneten b -Werte widersprechen der Gesetzmäßigkeit nicht¹⁾.

Unsere Formel (9) ist im Grunde die gleiche wie (1): $s_p = k t^2$, beide Male steht eine Weglänge in der gleichen Beziehung zu einer Zeitgröße. Formel (1) entstammt aber dem Sehen stroboskopischer, Formel (2) dem wirklicher Bewegung. Auf diese Übereinstimmung werden wir im 3. Teil zurückkommen.

Wir betrachten noch kurz die Beziehung von α und i . Aus den Tabellen 29 und 30 sehen wir, daß α mit i wächst, dazu passen auch die aus den b -Werten berechneten α -Werte. Zu einer Quantifizierung stehen zu wenig Werte zur Verfügung. Daß es sich um eine lineare Funktion handelt, ist ganz unwahrscheinlich, eher möglich erscheint eine logarithmische.

Abb. 6.

Dritter Teil.

§ 14. In den Versuchen des 1. Teils über die Wahrnehmung bewegter Objekte bei intermittierender Beleuchtung stießen wir bei Variation der Geschwindigkeit auf den Grenzfall, daß diese gleich null, d. h. auf den Fall der „Verschmelzung sukzessiv periodischer Reize“. Es zeigte sich, daß in mehrfacher Hinsicht dieser Grenzfall in der Reihe der c keine Sonderstellung einnahm, daß Gesetze, die bei endlichem c für *Sim* gelten, im Falle $c = 0$ für die Verschmelzung ihre Gültigkeit behalten. Diese Übereinstimmung ist theoretisch von großer Be-

¹⁾ Absolut genommen stimmt übrigens der Wert der Tabelle 29, $c = 53$, $B = 56$ nicht zu den entsprechenden der Tabelle 28. Beide Reihen liegen über eine Woche auseinander, außerdem sind die Versuche der Tabelle 29 mit geringerer Dunkeladaptation angestellt worden.

deutung¹⁾, wir werden daher im folgenden zu untersuchen haben, auf ein wie großes Gebiet von Tatsachen sie sich erstreckt.

1. Für rotierende, aus schwarzen und weißen Sektoren bestehende Scheiben gilt der Satz: je heller die Beleuchtung, desto größer die kritische Umdrehungsgeschwindigkeit v_k , desto kleiner die kritische Periodendauer t_k , bei der eben Verschmelzung eintritt. Über diesen Befund sind alle Forscher einig, nur bei sehr hohen Lichtstärken soll nach *Grünbaum*²⁾ v_k wieder langsam zurückgehen. Auch über die Form der Kurve sind schon von *Baader*³⁾ nähere Angaben gemacht worden; trägt man auf der Abszisse die Lichtintensität, auf der Ordinate die Frequenzen ab, so steigt die Kurve erst sehr steil an, wird dann immer weniger steil, nach *Grünbaum*⁴⁾ folgt ein zur Abszisse paralleles und schließlich einfallendes Stück. *Porter*⁵⁾ formuliert die Funktion quantitativ, v_k wachse linear mit dem log der Intensität.

Rein quantitativ betrachtet entspricht dies dem zweiten *Kortes*chen Gesetz: $\varphi = f\left(\frac{1}{i \cdot p}\right)$. Bei Erhöhung von i muß p , somit auch $e + p = t$ kleiner werden, wenn φ unverändert bleiben soll. Läßt man p konstant, so muß e mit wachsendem i kleiner werden⁶⁾.

Ehe wir diese Parallele weiter verfolgen, müssen wir auf die Auffassung von *Marbe* eingehen. *Marbe* sieht in unserem Tatbestan nicht die Auswirkung eines einfachen Gesetzes, sondern die Resultante von zwei einander entgegengewirkenden Gesetzmäßigkeiten⁷⁾. Verändert man nämlich die Beleuchtung einer rotierenden Scheibe, so verändert man im gleichen Sinn ihre resultierende Helligkeit m und die mittlere Variation der Elementarreize einer Periode v ⁸⁾, da man die Differenzen der Reizintensitäten verändert. Nun bewirkt zwar Vergrößerung von v auch eine Vergrößerung von v_k , Vergrößerung von m bei konstantem v aber Verkleinerung von v_k . Die Resultate der Versuche über die Abhängigkeit von Intensität und Frequenz beruhen nur darauf, daß der Einfluß der Veränderung von v größer ist als der entgegengesetzte von m . Der Beweis beruht auf folgendem von *Marbe* bewiesenen Satz: „Es ist für die Verschmelzung günstiger, wenn die Dauer des intensiveren Reizes als wenn die des weniger intensiven überwiegt.“⁹⁾ Vergleicht

¹⁾ Vgl. dazu *Korte* (³¹) S. 290—291 und *Linke* (³⁵) S. 323.

²⁾ (¹⁶) S. 435.

³⁾ (¹) S. 30.

⁴⁾ A. a. O.

⁵⁾ (⁴⁹) S. 318. Vgl. dazu auch die Angaben von *Ives*, daß für das Zapfensehen die Diffusivität eine lineare Funktion der Reizstärke ist (²⁰) S. 19 und die dort zitierten uns nicht zugänglichen Arbeiten von *Ives* und *Kingsbury*.

⁶⁾ *Korte* (³¹) S. 259.

⁷⁾ (³⁷) S. 280f.

⁸⁾ (⁴⁰) S. 22.

⁹⁾ (³⁶) S. 398, (³⁷) S. 281, (⁴⁰) S. 30f.

man etwa eine Scheibe aus 45° W(eiß) + 315° S(schwarz) mit einer solchen von 45° S + 315° W, so ist v in beiden Fällen gleich, im zweiten aber m größer, v_n kleiner.

Tatsächlich kann *Marbe* mit Hilfe seiner Größen kt (unser t_n), m und v eine große Zahl von Verschmelzungsgesetzmäßigkeiten beschreiben. Für Scheiben von mehr als 2 Sektoren freilich liegen die Verhältnisse weniger einfach. *Marbe* hat hier den neuen Begriff der Periodenelemente einführen müssen¹⁾. Aber auch abgesehen davon erhebt sich die Frage, ob die *Marbesche* Betrachtungsweise die einzig mögliche ist, und wenn nicht, ob sie dann die adäquateste Anpassung an den genannten Tatbestand darstellt. Auch die Wahl der *Marbeschen* Größen ist ja mehr oder weniger willkürlich, so daß auch seine Gesetze sehr wohl Gesamteffekte mehrerer Faktoren sein mögen.

Unter diesem Gesichtspunkt wollen wir *Marbes* Größen v und m näher betrachten. *Marbe* definiert²⁾:

$$v = \frac{\tau_1(m - r_1) + \tau_2(m - r_2) \dots + \tau_m(m - r_m) + \tau_{m+1}(\varrho_1 - m) + \tau_{m+2}(\varrho_2 - m) \dots + \tau_n(\varrho_n - m)}{\sum \tau},$$

wo $\tau_1 \dots \tau_n$ die einzelnen Reizdauern bedeutet, $r_1 \dots r_m$ die Reizstärken, die kleiner sind als m , $\varrho_1 \dots \varrho_m$ die, die größer sind als m , und $\sum \tau$ die Summe der Einzelzeiten, also die Gesamtzeit der Periode und

$$m = \frac{\tau_1 r_1 + \tau_2 r_2 + \dots + \tau_m r_m + \tau_{m+1} \varrho_1 + \tau_{m+2} \varrho_2 + \dots + \tau_n \varrho_n}{\sum \tau}.$$

Beschränken wir uns auf eine Scheibe mit 2 Sektoren, so wird

$$v = \frac{\alpha(m - r) + (360 - \alpha)(\varrho - m)}{360},$$

wo α die Winkelgröße des dunkleren Sektors bedeutet und

$$m = \frac{\alpha r + (360 - \alpha)\varrho}{360}$$

ist.

v wird größer, wenn $\varrho - r = D$ wächst und wenn $|\alpha - (360 - \alpha)|$ kleiner wird, hat also ein Maximum bei $\alpha = 180^\circ$.

Das läßt sich leicht allgemein ableiten. Man führt $D = \varrho - r$ in den Ausdruck für m ein und erhält dann

$$m = \frac{-\alpha D + 360\varrho}{360},$$

führt dies wieder in den Ausdruck für v ein und erhält

$$v = \frac{D \left(2\alpha - \frac{\alpha^2}{180} \right)}{360}.$$

¹⁾ (40) S. 43 ff.

²⁾ (40) S. 23. Die Buchstaben sind etwas geändert.

Differenziert man nach α , so ist

$$\frac{\partial v}{\partial \alpha} = \frac{-\frac{D\alpha}{90} + 2D}{360},$$

$$\text{ist } \frac{\partial v}{\partial \alpha} = 0, \quad \text{so ist } \frac{D\alpha}{90} - 2D = 0,$$

also $\alpha = 180$, der zweite Differentialquotient ist negativ, das Maximum liegt, wie behauptet, bei 180° . Differenziert man nach D , so ist

$$\frac{\partial v}{\partial D} = \frac{\alpha \left(2 - \frac{\alpha}{180}\right)}{360},$$

ein Ausdruck, der stets positiv ist, so lange $\alpha < 360$, d. h. solange 2 verschiedene Sektoren da sind. D selbst kann wieder auf zweierlei Weise verändert werden, entweder durch Veränderung der Beleuchtung, wobei $\frac{e}{r}$ konstant bleibt, oder durch Änderung des Reflexionsvermögens der Sektorenoberflächen.

Wir versuchen daher, ob man nicht auch auf andere Weise den Tatsachen gerecht werden kann.

Marbe begründet seinen Satz, daß großes m die Verschmelzung begünstigt, wie wir sahen, durch Versuche, in denen zwar v konstant, aber die Größe der S- und W-Sektoren verschieden war (S-Sektor in einem Fall α° im anderen $360 - \alpha^\circ$). *Schenk* hielt auch diese Größe konstant und variierte die Lichtstärken der 2 gleichen Sektoren so, daß v konstant blieb, verglich also Scheiben mit den 2 Halbkreisen der Intensität 0 und 100 mit solchen von 400 und 500 und 900 und 1000. v ist dann überall = 50, m steigt von 50 auf 950, gleichzeitig nimmt kt zu¹⁾. Aber auch so ist der *Marbesche* Satz nicht bewiesen, denn zwei Felder von 0 und 100 sind phänomenal viel verschiedener als solche von 900 und 1000; man kann leicht eine Differenz wählen, die bei schwacher Lichtstärke überschwellig, bei starker unterschwellig ist und kann dann daraus, daß kt im zweiten Fall größer ist als im ersten — es ist ja bei unterschwelliger Verschiedenheit = ∞ — nicht schließen, daß m die Verschmelzung begünstigt. Es ist überhaupt ein Mangel von *Marbes* v , daß es diesem Umstand nicht gerecht wird.

Gegen das *Marbesche* Gesetz spricht die Tatsache, daß zwischen Intensität und Frequenz eine einfache logarithmische Beziehung besteht (s. o.), und zwar unter den Bedingungen, unter denen m und v gleichzeitig variiert werden und nach *Marbe* gegeneinander wirken sollen.

Ein zweites Argument entnehmen wir einer von *Gildemeister*²⁾ entdeckten Tatsachengruppe. *Gildemeister* untersuchte, wie groß die

¹⁾ (⁵³) S. 32. Vgl. auch *v. Kries* (³²) S. 255.

²⁾ (¹³) S. 261 ff. Vgl. auch *Zipkin* (⁶⁵).

einmalige Unterbrechung einer Dauerbeleuchtung maximal sein darf, um eben nicht bemerkt zu werden, und fand, daß die Dauer dieser Unterbrechung mit zunehmender Intensität abnimmt, daß dagegen das „fehlende Lichtquantum“, d. h. das Produkt aus Lichtintensität und Dauer der Unterbrechung mit zunehmender Intensität zunimmt. Der erste Teil dieses Befundes entspricht den Verschmelzungstatsachen: je größer die Intensität, um so kleiner die kritische Periodendauer, also bei konstantem Sektorenverhältnis und Wechsel von Licht und Dunkel um so kleiner die Unterbrechung. Zum zweiten Teil des Befundes läßt sich eine Analogie in den Verschmelzungstatsachen finden, wenn man hier das „fehlende Lichtquantum“, LQ , definiert als das Produkt aus Verschmelzungsintensität, m und Pause. Ist z. B. in irgendwelchen Einheiten $m = \frac{1}{8} i$, $p = 35 \sigma$, so ist $LQ = \frac{35}{8} i \sigma$. Auf diese Weise haben wir LQ aus 3 verschiedenen Versuchsreihen berechnet und in Tabelle 33 mit den Größen m und v zusammengestellt.

Tabelle 33.

I (Baader) $e = p$		II (Marbe)			III (Marbe) $e = p$		
$m = v$	LQ	m	v	LQ	m	v	LQ
$\frac{1}{2}$	13,15	$\frac{1}{8}$	$\frac{7}{32}$	$\frac{35}{8}$	20,6	19,6	470,4
2	40,8	$\frac{2}{8}$	$\frac{12}{32}$	$\frac{55,5}{8}$	27,4	26,1	548,1
9	150,3	$\frac{4}{8}$	$\frac{16}{32}$	$\frac{64}{8}$	39	37,1	704,9
97	1172,7	$\frac{6}{8}$	$\frac{12}{32}$	$\frac{57}{8}$	119,5	113,8	1819,2
900	9000	$\frac{7}{8}$	$\frac{7}{32}$	$\frac{46,4}{8}$	121,7	115,8	1737
					238,4	226,8	2948,4
					342	325	3900
					353,4	336,2	3698,2
					1623,7	1544,4	15445

I stammt aus der Arbeit von Baader¹⁾, II und III aus zwei verschiedenen Publikationen von Marbe²⁾. In I und II wurde ein ruhendes, durch eine Lampe und Episkotister intermittierend beleuchtetes Feld, in III ein rotierender Kreisel beobachtet, in I und III wird die Intensität bei Konstanthaltung der Sektoren verändert, wodurch v sich mitverändert, in II wurde das Verhältnis der Sektoren variiert.

In I und III steigen alle 3 Größen m , v und LQ vom ersten bis zum letzten Glied³⁾, in II haben v und LQ einen wellenförmigen Verlauf, erst steigen, dann fallen sie mit m . Trotzdem wäre es falsch zu schließen, daß LQ nur von v abhängt. Vergleicht man nämlich in II die Werte

¹⁾ ⁽¹⁾ S. 30.

²⁾ ⁽⁴⁰⁾ S. 53; ⁽³⁶⁾ S. 394, Tab. VIII.

³⁾ Bis auf zwei kleine Unregelmäßigkeiten in III.

1 und 5 bzw. 2 und 4, mit gleichem v , so sieht man, daß dem größeren m ein größeres LQ entspricht.

Unter diesem Gesichtspunkt wirken also m und v nicht gegeneinander, sondern im gleichen Sinn.

Im Anschluß an diese Versuche von *Gildemeister* hat *Rutenburg*¹⁾ mit der maximalen unbemerkten Unterbrechungsdauer eines Lichtes die maximale unbemerkte Erhellungsdauer eines Dunkelfeldes verglichen. Es zeigte sich, daß bei gleicher Intensität jene größer war als diese, daß der Unterschied aber mit abnehmender Intensität zurückgeht und sich möglicherweise bei sehr geringen Intensitäten sogar umkehrt. Der erste Teil des Resultats entspricht wieder *Marbes* Befund, daß eine geringere Gesamtdauer erforderlich ist, wenn der intensivere Reiz kürzer dauert, als im umgekehrten Fall. Sollte aber die von *Rutenburg* vermutete Umkehrung bei kleinen Intensitäten zutreffen, so wäre ein analoges Verhalten auch bei periodischen Reizen zu erwarten, also ein dem *Marbes*schen widersprechendes Gesetz.

Das Verhältnis von v und m ist also noch keineswegs geklärt, wir haben somit keinen Grund, über die Analogie in den *Tatsachen* der Verschmelzung und des Bewegungssehens hinwegzugehen. Wir können vielmehr eine Reihe von Sätzen formulieren, die für beide Tatsachengruppen gelten, wenn wir *Sim* und Verschmelzung als Äquivalente betrachten. Wir sprechen, ähnlich wie *Jaensch* auf dem Gebiet der Kontrast- bzw. Transformationsphänomene, von Parallelgesetzen und können jetzt formulieren:

Erstes Parallelgesetz: Je stärker die Lichtintensität, um so kleiner muß t (t_n) sein, damit *Sim* (Verschmelzung) eintritt.

Dies Gesetz gilt nicht nur qualitativ, sondern auch quantitativ. t verändert sich linear mit dem Logarithmus der Intensität, gleichviel ob es sich um Verschmelzung handelt, wie *Porter*²⁾ fand, oder um *Sim*, wie aus den Versuchen des 2. Teils dieser Arbeit hervorgeht.

Unser Parallelgesetz entbehrt nicht der Bestätigung auf andern Gebieten. Die Resultate von *Gildemeister* und *Zipkin* haben wir schon erwähnt. Sie entsprechen durchaus dem ersten Parallelgesetz und haben, wie *Gildemeister*³⁾ hervorhebt, eine sehr allgemein physiologische Bedeutung, da sie auch für die tetanische Erregung des Muskels durch den elektrischen Strom gelten.

Ein analoges Resultat erzielte bei ganz anderen Versuchen *Stigler*⁴⁾. Nach ihm nimmt die zeitliche Differenz zweier benachbarter, nach-

1) (51).

2) Vgl. oben S. 98, Text und Anm. 5. *E. S. Ferry* hatte schon früher das gleiche Gesetz gefunden, es nur anders ausgedrückt (s. unten S. 112).

3) (12) S. 254.

4) (59) S. 424 ff.

einander aufleuchtender, einige Zeit gleichzeitig wirksamer Lichtfelder, die eben als solche erkannt wird, mit wachsender Intensität ab¹⁾).

Auch für die quantitative Seite gibt es Bestätigungen, und zwar auf rein physiologischem Boden. *Waller*²⁾ fand bei der Untersuchung der durch Lichtreize im Froschauge hervorgerufenen Aktionsströme gleichfalls ein logarithmisches Gesetz: die elektromotorische Kraft wächst proportional mit dem Logarithmus der Reizintensität. Das gleiche fand *Fröhlich*³⁾ bei Oktopoden-Augen.

2. Wir betrachten jetzt die von *Marbe* formulierten Gesetze und beginnen mit dem Einfluß von t . Wir können hier gleich zusammenfassen, da die Tatsachen ganz geklärt sind.

Zweites Parallelgesetz: Verringerung von t begünstigt *Sim* (Verschmelzung).

3. Nach *Marbe* ist Erhöhung von v ungünstig für Verschmelzung, mit steigendem v sinkt also t_x . Wir müssen die verschiedenen Faktoren, von denen v abhängt⁴⁾, gesondert betrachten. Beginnen wir mit den zeitlichen; je größer der Unterschied von e und p , um so größer t_x . Ein Analogon zu diesem in gewissen Grenzen⁵⁾ unbezweifelbaren Tatbestand haben wir beim Bewegungssehen nicht gefunden, obwohl wir im 1. Teil der Versuche ja auch mit Sektorenscheiben arbeiteten, bei denen das Verhältnis $\frac{e}{p}$, bzw. unser q_p , verschieden war. Statt dessen erhielten wir ein Bewegungsgesetz, unsere Gleichung (3) auf S. 86, aus dem zu ersehen ist, daß wachsendes q_p eindeutig das *Suk* fördert, unabhängig von der absoluten Größe der Differenz $e - p$. Hier scheinen also Verschmelzungs- und Bewegungstatsachen sich zu widerstreiten. Das ist aber doch nicht der Fall. Wir haben ja selbst Verschmelzungsversuche unter den Bedingungen unserer Bewegungsexperimente im ersten Teil ausgeführt. Sieht man nun unsere Tabellen 5 und 14 (S. 76 und 81) an, so findet man, daß das Maximum der v ebensooft bei $q_p = \frac{3}{4}$ wie bei $q_p = \frac{2}{4}$ liegt. Nur dies letzte entspricht dem *Marbeschen* Gesetz, es muß aber auffallen, daß die zwei passenden Werte gerade die für den schmalen Strich sind, bei dem die Grenzbeobachtung wesentlich schwerer war als beim breiten. Für den breiten Strich sind die Differenzen für

¹⁾ Für *Sim* geben eine qualitative und quantitative Bestätigung auch die Versuche von *Minnemann*. Er drückt den Befund so aus, daß mit wachsender Intensität die relative Wahrnehmungsgeschwindigkeit des Lichtes zunimmt. Unter Wahrnehmungsgeschwindigkeit versteht *M.* den reziproken Wert der Zeit, die vergeht, bis uns ein Sinnesreiz zum Bewußtsein kommt, nachdem er unser Sinnesorgan erreicht hat. (⁴²) S. 350f., 229.

²⁾ (⁶²) S. 131—132.

³⁾ (¹⁶) S. 119—120.

⁴⁾ Vgl. oben S. 98.

⁵⁾ Siehe unten S. 104.

$q_p = \frac{3}{4}$ und $\frac{2}{4}$ nur klein, sie liegen vermutlich innerhalb der Fehlergrenzen, aber jedenfalls ist das von *Marbe* unter andern Bedingungen festgestellte Verhalten der v unter unseren Bedingungen nicht aufgetreten¹⁾.

Daraus folgt, daß weitere Untersuchungen über diesen Punkt nötig sind, sowohl, was Verschmelzung wie was Bewegung anbelangt.

v ändert sich zweitens auch mit dem Unterschied der Reizintensitäten, also bei intermittierender Beleuchtung mit der Intensität des periodisch verdeckten Lichts. Davon handelt unser erstes Parallelgesetz. Daß damit eine Aussage über den Einfluß von v und nicht von i gemacht ist, wie *Marbe* will, hat aber nur für die Verschmelzung, nicht für die Bewegung Sinn. Das *Sim* besteht ja gar nicht in Verschmelzung von Dunkel und Hell. Unterschied zwischen Grund und Strich bei Bewegungsversuchen ist wesentlich maßgebend für die Intensität des Strichs; wird bei gleicher Strichintensität der Grund heller, so ist das gleich einer Herabsetzung der Eindringlichkeit des Striches, und diese, nicht die physikalische Intensität, ist ja, wie *Korte*²⁾ gezeigt hat, in unserem i ausgedrückt. v und i sind also hier äquivalent. Im Hinblick auf die Parallelgesetzlichkeit liegt es nahe, auch für Verschmelzung solche Äquivalenz anzunehmen, statt, wie *Marbe* es tut, ein Gegeneinanderwirken, um so mehr, als wir schon oben eine Übereinstimmung von v und m in ihrer Wirkung auf LQ konstatiert haben³⁾.

4. *Marbe* gibt an: Erhöhung von m erhöht t_x . Nun ist in den Versuchen, aus denen dieser Satz gefolgert ist, stets $\frac{e}{p}$ oder q_p verändert, so daß die Möglichkeit besteht, daß die Erhöhung von t_x gar nicht auf der Erhöhung von m , sondern auf der Erniedrigung von q_p beruht. So angesehen, hat *Marbes* Satz einen gänzlich andern Inhalt. Man kann ihn dann so aussprechen: Geht man von der kritischen Periodendauer bei $q_p = \frac{1}{2}$ aus, und verkürzt man, unter entsprechender Verlängerung der Expositionszeit, die Pause, so braucht man die Pause weniger zu verkürzen, als man, bei Verlängerung der Pause die Expositionszeit verkürzen muß.

Als Beispiel teilen wir Tabelle 34 mit, die nach einer Tabelle *Marbes*⁴⁾ konstruiert ist.

¹⁾ Man vgl. ⁽⁴⁰⁾ S. 51—53. Dort werden Episkotisterscheiben mit $q_p = \frac{3}{4}$, $\frac{2}{4}$ und $\frac{1}{4}$ verwendet, in Tabellen 7 und 8 jeweils der dritte bis fünfte Wert. Vergleicht man diese Werte — bei *Marbe* sind nicht die v , sondern die reziproken t_x angegeben — mit den entsprechenden unserer Tabellen 5 und 14, so erkennt man deutlich den Unterschied. Bei *Marbe* liegt der Wert für $q_p = \frac{2}{4}$ weiter von den beiden andern entfernt als diese voneinander, bei uns ist es selbst beim schmalen Strich umgekehrt.

²⁾ ⁽³¹⁾ S. 257—258.

³⁾ Vgl. S. 102.

⁴⁾ ⁽⁴⁰⁾ Tabelle.8 S. 53.

Tabelle 34 (nach *Marbe*).

q_p	t_x	e	p
$\frac{7}{8}$	40	5	35
$\frac{3}{4}$	37	9,25	27,75
$\frac{1}{2}$	32	16	16
$\frac{1}{4}$	38	28,5	9,5
$\frac{1}{8}$	53	46,4	6,6

Man muß beim Übergang von $q_p = \frac{1}{2}$ auf $q_p = \frac{1}{8}$ die Pause von 16 auf 6,6 verkürzen, beim Übergang von $q_p = \frac{7}{8}$ aber die Expositionszeit von 16 auf 5.

Ein ganz entsprechendes Resultat läßt sich nun der Arbeit von *Korte* entnehmen. Wir haben die betreffenden Daten in der folgenden Tabelle zusammengestellt¹⁾.

Tabelle 35 (nach *Korte*).

Strich	e	p	t
II	73	73	146
III	147	37	184
III	37	73	110

Man darf dabei nicht vergessen, daß in diesen Versuchen *Kortes* außer den zeitlichen Größen immer noch eine andere variiert wurde und zwar diesmal die Intensität des Strichs. Gehen wir vom schwächeren II zum stärkeren III über, so müssen die zeitlichen Größen irgendwie verkürzt werden. Tabelle 35 zeigt nun zwei solche Möglichkeiten. Es kann entweder t von 1460 auf 1100 verkürzt werden bei konstantem p , oder aber es kann p von 73 auf 37 σ reduziert werden, dann aber t sogar auf 184 σ wachsen.

Marbes und *Kortes* Befund sind unter diesem Gesichtspunkt nur ein Ausdruck der Tatsache, auf die wir schon mehrfach hingewiesen haben²⁾, daß die Variation der Pause die Phänomene stärker tangiert als die Variation der Expositionszeit.

Dieser Tatbestand hat in unserer Gleichung (4), S. 86, einen quantitativen Ausdruck gefunden.

Und in unseren Verschmelzungsversuchen ist gerade dieser Tatbestand besonders deutlich (s. o.).

Daß die *Verteilung* der Reize in der Zeit ein eigener, u. U. der für die Verschmelzung ausschlaggebender Faktor ist, hat für rotierende Scheiben mit 4 Sektoren *Schenk*³⁾ gezeigt. Vermutlich ist *Marbe*⁴⁾ durch diese Ergebnisse veranlaßt worden, die „Periodenelemente“ einzuführen. Abgesehen davon, daß eine Theorie der Periodenelemente fehlt, erklären auch sie nicht die Resultate *Schenks*⁵⁾.

Wir können also eine neue Parallelität konstatieren.

¹⁾ (³¹) S. 259—260. Tabelle von *Koffka*.

²⁾ Vgl. oben S. 77.

³⁾ (⁵⁶) S. 253 f.

⁴⁾ (⁴⁰) S. 43 ff. Vgl. oben S. 99.

⁵⁾ Wir haben die Versuche von *Schenk* mit Hilfe der Periodenelemente, sowie der *Marbeschen* Größen m und v analysiert. Es ergibt sich für keine dieser Größen ein eindeutiger Zusammenhang mit t_x .

Drittes Parallelgesetz: Veränderung von p hat stärkeren Einfluß auf Verschmelzung und Bewegung als Veränderung von e .

5. Bisher wurden immer e und p gleichzeitig, und zwar gegeneinander verändert. Aber auch bei Versuchen¹⁾, in denen beide Größen unabhängig voneinander variiert werden konnten, zeigte sich, daß Vergrößerung der Reizdauer durch Verkleinerung der Pausendauer kompensiert werden muß. Dasselbe Resultat hat aber *Korte*²⁾ für Bewegungssehen erhalten. Auch hier stimmen die beiden Tatsachengebiete überein.

Viertes Parallelgesetz: Je größer die Expositionszeit, um so kürzer muß die Pause sein, damit ein bestimmter Stadieneindruck, z. B. *Sim.* oder Verschmelzung eintritt, und je größer die Pause, um so kürzer die Expositionszeit.

6. Damit haben wir die Betrachtung der mit den *Marbeschen* Sätzen zusammenhängenden Tatsachen abgeschlossen und können uns nun zu weiteren Tatsachen wenden. Es ist bekannt, daß sehr kleine Felder leichter verschmelzen als große³⁾. Wir haben das gleiche gefunden und nachgewiesen, daß es sich nicht um eine Gesetzmäßigkeit der Intensität handeln kann⁴⁾. Wir fanden aber auch die Parallelerscheinung auf dem Gebiet des Bewegungssehens. Wir formulieren daher unser

Fünftes Parallelgesetz: Verkleinerung des Objekts begünstigt *Sim* und Verschmelzung.

Theoretisch ist dies Gesetz nicht ganz zu verstehen. Man könnte zunächst zur Erklärung an ein Resultat von *Grünbaum*⁵⁾ denken. Die verschmelzenden Scheiben rotieren hinter einem Schirm mit variabler Blende. Je kleiner nun diese Blende im Verhältnis zur Sektorenbreite ist, um so leichter tritt *ceteris paribus* die Verschmelzung ein. Die Ursache dieses Effekts sieht *Grünbaum* darin, daß bei relativ kleiner Blende das ganze Feld während des größten Teils der Zeit einheitlich, mit weiß oder schwarz, ausgefüllt ist, während bei relativ großer Blende meist beide Felder sichtbar sind, so daß Kontrast entstehen kann. Analog war auch in unseren Versuchen der Streifen radial zur Scheibe gelegt, so daß er der Länge nach einheitlich hell und dunkel wurde, der Breite nach, da der Lichtkegel ja nicht punktuell unterbrochen wurde, nicht. Beim Kommen und Gehen des offenen

¹⁾ Vgl. *Charpentier* (⁵) S. 219, 227. *Martius* (⁴¹) S. 339ff. Wir kommen auf diese Versuche im nächsten Paragraphen zurück.

²⁾ (31) S. 268ff.

³⁾ Vgl. *Baader* (¹) S. 34, *Marbe* (⁴⁰) S. 32. Auch das Resultat von *Charpentier* (⁵) und *Porter* (⁴⁹) S. 314, daß die Verschmelzung um so eher eintritt, je weiter der Beobachter von der intermittierenden Fläche entfernt ist, beruht mindestens teilweise auf dieser Gesetzmäßigkeit.

⁴⁾ Vgl. o. S. 13 f.

⁵⁾ (¹⁵).

Sektors war also immer, freilich während einer absolut und relativ sehr kleinen Zeit, über den Streifen der Breite nach ein Helligkeitsgradient ausgebreitet, je schmaler der Streifen, um so schmaler auch diese Zone. Diese Erklärung kann aber nicht ausreichen. Die Zeit, in der der Streifen nicht gleichmäßig beleuchtet ist, ist nun relativ zur ganzen Beleuchtungszeit um so kleiner, je kleiner q_p , man sollte also erwarten, daß bei kleinem q_p der Unterschied zwischen schmalen und breitem Strich geringer sein würde, als bei großem q_p . In den beiden Tabellen ist das Gegenteil der Fall. Ferner muß der Helligkeitsgradient sich bei den Versuchen ohne Schlitz bemerkbarer machen, als bei denen mit Schlitz. Trotzdem ist ohne Schlitz die Differenz der ν für schmalen und breiten Strich ohne Schlitz nicht größer im Verhältnis zu den ν , ja bei $q_p = \frac{1}{2}$ sogar absolut fast gleich. Ebenfalls gegen diese Deutung spricht das auf der Anmerkung der vorigen Seite erwähnte Resultat von Porter, und endlich der Umstand, daß auch in den Gildemeisterschen Versuchen, in denen dieser Faktor überhaupt ausschied, das gleiche Resultat erreicht wurde: je kleiner das Feld, desto länger darf die eben nicht bemerkte Unterbrechungsdauer sein¹⁾.

Die Erklärung der Verschmelzungstatsache bleibt also noch offen²⁾. Besser steht es für die Bewegungstatsache. Ist der Streifen breit, von der Breite b , so kann es leicht vorkommen, daß er sich während der Pause um ein Stück $< b$ fortbewegt, d. h. die Lage, in der der Strich erscheint und die, aus der er verschwand, überdecken sich, ein freier Raum besteht zwischen diesen Lagen überhaupt nicht. Der freie Raum ist $= c \cdot p - b$, d. h. bei gleicher Pause und Geschwindigkeit um so kleiner, je breiter der Strich ist. Ist nun das s_p in unseren Gesetzen ein Ausdruck auch für die Verschiebung über „freien Raum“, so folgt der Einfluß der Streifenbreite aus dem dritten Kortescen Gesetz, bei schmalen Streifen ist der „freie Raum“ größer als beim breiten, er muß also früher *Sim* ergeben.

7. Für Verschmelzung gilt: im Zentrum ist t_z größer als in der Peripherie³⁾. Wir fanden im 1. Teil⁴⁾, daß peripheres Sehen das *Suk* begünstigt. Es besteht also auch in diesem Punkt Parallelität.

Sechstes Parallelgesetz: Zentrale Beobachtung begünstigt im Verhältnis zur peripheren *Sim* bzw. Verschmelzung.

¹⁾ (18) S. 265.

²⁾ Marbes Versuch [(38) S. 357, 380], sie durch ein „Nicht-Bemerken“ zu erklären, lehnen wir ab, sowohl aus prinzipiellen Gründen (vgl. die Einleitung zu diesen Beiträgen (23) S. 353, wie auch besonders im Hinblick auf die Parallelgesetzlichkeit. Marbe verwendet ja freilich den Begriff des Nicht-Bemerkens auch zur Erklärung stroboskop. Bewegung [(39) S. 346, vgl. auch Dürr (6) S. 521]. Dagegen Korte [(31) S. 283] und Koffka [(27) S. 601].

³⁾ Vgl. Marbe (36) S. 389; (40) S. 32; Porter (49) S. 315; Sherrington (58).

⁴⁾ Oben S. 79.

Die Erklärung der Verschmelzungstatsache ist wieder schwer. Ist auch die Netzhautperipherie ein Organ zur Perzeption von Bewegungen (*Exner*), so ist doch absolut genommen die Bewegungsempfindlichkeit im Zentrum größer als in der Peripherie, sie nimmt nur peripheriewärts sehr viel langsamer ab als die Sehschärfe¹⁾. Aus der geringen Sehschärfe der Peripherie würde man aber das Gegenteil unseres Parallelgesetzes folgern, besonders wenn man an den Einfluß der Konturenbewegung denkt (*Marbe*).

Günstiger liegt es wieder für die Bewegungstatsache. Dem gleichen Abstand zweier Netzhautstellen entspricht im Zentrum ein größerer Abstand der Sehfeldpunkte als in der Peripherie²⁾. Die Größe s , deren Vergrößerung *Sim* begünstigt, wäre dann, abgesehen vom Einfluß der „scheinbaren Größe“, nicht absolut, durch den Abstand der gereizten Netzhautpunkte zu definieren, sondern durch den physiologischen, bzw. phänomenalen, Wert dieses Abstandes. Da gleichem objektiven s in der Peripherie ein kleineres physiologisches s entspricht als im Zentrum, so folgt das fünfte Parallelgesetz auf der Bewegungsseite aus dem dritten *Kortescen* Gesetz. Da dasselbe für das vierte Parallelgesetz der Fall war, so liegt der Schluß nahe, auch für die Verschmelzung seien die „räumlichen Eigenschaften“ der Netzhaut mitbestimmend.

8. Auf die Verschmelzung ist die Dunkeladaptation von Einfluß, und zwar so, daß t_z mit wachsender Dunkeladaptation zunimmt. Dies tritt besonders deutlich dann zutage, wenn man dafür sorgt, daß die Felder dem hell- und dunkeladaptierten Auge gleich erscheinen, so daß der Einfluß der Intensität verschwindet; man erhält dann Verhältnisse der t_z von 5 : 3 und mehr³⁾. Nur bei sehr schwachen Lichtern erniedrigt, nach *Schaternikoff*, fortschreitende Dunkeladaptation t_z , hier überwiegt also ihre intensitätssteigernde Wirkung die andere⁴⁾. *Marbes* entsprechende, aber ohne Einschränkung ausgesprochene Angabe⁵⁾ beruht demnach auf Versuchen mit sehr schwachen Lichtern.

In diesen Zusammenhang gehört auch die Tatsache, daß die gerade Linie, die *Porter* für die Beziehung zwischen Frequenz und Logarithmus der Intensität konstruiert hat, bei einem bestimmten schwachen i einen scharfen Knick macht und nach unten zu steiler abfällt⁶⁾. Auch total Farbenblinde haben nach *v. Kries*⁷⁾ wesentlich höheres t_z als Normale.

¹⁾ Vgl. *Ruppert* (⁵⁰).

²⁾ *Hering* (¹⁹) S. 370f.; *Witasek* (⁶⁴) S. 45f. Dazu paßt auch, daß die Raumschwelle für Bewegung in der Peripherie höher liegt als im Zentrum.

³⁾ Vgl. *Nagel* (⁴⁵) II S. 315.

⁴⁾ Vgl. *v. Kries* (³²) S. 254, *Nagel* a. a. O.

⁵⁾ (⁴⁹) S. 33.

⁶⁾ (⁴⁹) S. 318. Am gleichen Punkt hat, wie *v. Kries* [(³²) S. 255] zeigte, die Sehschärfenkurve von *A. König* einen Knick.

⁷⁾ (³²) S. 255.

Wir fanden im 2. Teil für *Sim*, daß e mit wachsender Dunkeladaptation zunimmt. Wir können also wieder formulieren:

Siebentes Parallelgesetz: Fortschreitende Dunkeladaptation begünstigt *Sim* bzw. Verschmelzung, abgesehen von sehr schwachen Intensitäten, bei denen dies Gesetz überdeckt wird.

9. Bei Versuchen über die Verschmelzung zweier gleich starker durch ein Intervall getrennter Lichtreize erhielt *Charpentier*¹⁾ das sehr interessante Resultat, daß die Dauer des zweiten Reizes von Einfluß auf das Intervall ist. Und zwar muß die Pause um so kürzer werden, je größer die Dauer des zweiten Reizes, bis zu einer Grenze, oberhalb deren p von der Veränderung von e_2 unberührt bleibt.

Ein ganz analoges Resultat erhielt *Korte* für Bewegung bzw. *Sim*. Man betrachte die Tabellen auf S. 269. Aus der unteren ersieht man, daß für $e_1 = p = 183\sigma$ und $p = 37\sigma$ guter Bewegungseindruck da ist, fast *Opt*. Verlängert man *nur* e_2 auch auf 183σ , so gibt es starkes *Suk*. Verkürzt man aber jetzt p (obere Tabelle) auf 37σ , während $e_1 = e_2 = 183\sigma$ bleibt, so ist wieder guter Bewegungseindruck, fast *Opt*, vorhanden. Was für *Opt* gilt, gilt ohne weiteres auch für *Sim*. Die Übereinstimmung zu *Charpentiers* Befund ist vollkommen, zwar hat *Korte* keine Grenzbestimmungen gemacht, aber der theoretische Ausbau seiner Resultate im vorigen dieser Beiträge führte zur Forderung einer Grenze, oberhalb deren Verlängerung von e_2 nicht mehr wirkt²⁾. Wir können also einen weiteren Satz aufstellen:

Achtes Parallelgesetz: Bis zu einer gewissen Grenze schädigt Verlängerung von e_2 das *Sim* bzw. die Verschmelzung.

10. Mit einiger Reserve sei noch auf eine letzte Analogie hingewiesen. *Schenk*³⁾ arbeitete mit rotierenden Scheiben, bei denen zwischen die S-W-Sektoren solche vom Grau der resultierenden Helligkeit eingeschoben waren. Er fand: je größer das eingeschaltete gleichmäßige Stück, um so ungünstiger ist es für die Verschmelzung der S-W-Felder. *Marbe*⁴⁾ wandte dagegen ein, es wäre willkürlich und inadäquat, lediglich die S-W-Perioden-Elemente zu betrachten, stütze man die Betrachtung auf die Gesamtperioden, so ordneten sich *Schenks* Versuche, ohne das geringste Neue zu bringen, seinem v -Gesetz unter. Mit wachsendem Grausektor sinke v , dem entspräche auch bei *Schenk* ein Wachsen von t_x , wenn man eben die ganze Periodendauer in Betracht zöge.

Diese Auffassung wird dem Resultat von *Schenk* aber nicht gerecht⁵⁾. Aus dem v -Gesetz läßt sich nicht nur das wirklich von *Schenk*

¹⁾ (⁵) S. 351. Vgl. auch *Martius* (⁴¹) S. 360.

²⁾ (²⁵) S. 281.

³⁾ (⁵³) S. 52; (⁵⁴) S. 47—52; (⁵⁵) S. 282; (⁵⁶) S. 257.

⁴⁾ (³⁸) S. 339f.

⁵⁾ Vgl. *Schenk* (⁵⁶).

gefundene Verhalten ableiten, sondern auch ein Verhalten, bei dem die Dauer der S-W-Elemente gleichbliebe oder gar zunähme. Die *Schenk*-schen Resultate geben also mindestens eine nähere Determination des v -Gesetzes. In diesem Sinn können wir folgendermaßen formulieren: Wird v durch Zwischenschaltung eines Sektors von der Farbe des resultierenden Grau verkleinert, so wächst t_{α} , jedoch so langsam, daß die Dauer des S-W-Anteils ständig kleiner wird.

Zur Veranschaulichung teilen wir die folgende Tabelle mit, die aus einer Tabelle von *Schenk*¹⁾ berechnet ist.

Tabelle 36 (nach <i>Schenk</i>). 360 Gr = 195 S + 165 W.				
Zusammensetzung der Scheibe	m	v	t_{α}	t_{W-S-W}
61,88 W + 146,25 S + 61,88 W + 90 Gr	28,05	21,97	24,5 σ	18,3 σ
41,25 W + 97,5 S + 41,25 W + 180 Gr	28,05	14,65	28,4 σ	14,2 σ
20,63 W + 48,75 S + 20,63 W + 270 Gr	28,05	7,33	37,2 σ	9,3 σ
10,31 W + 24,38 S + 10,31 W + 315 Gr	28,05	3,67	57,2 σ	7,15 σ

Bei der Berechnung ist W = 60, S = 1 gesetzt.

Man kann nun in gewissen Ergebnissen des 1. Teils dieser Arbeit eine gewisse Analogie zu diesem Resultat erblicken. Wir haben abwechselnd „wirkliche“ und „scheinbare“ Bewegung, entsprechend dem „wirklichen“ und dem „verschmolzenen“ Grau. Und dabei fanden wir, daß Vergrößerung der wirklichen Bewegung — durch Vergrößerung von ϵ — eine Vergrößerung der Gesamtbewegung, aber eine Verkleinerung der „Scheinbewegung“ hervorruft.

Wir begnügen uns mit diesem Hinweis, ohne ein neues Parallelgesetz zu formulieren.

§ 15. Noch ein anderes Tatsachengebiet gilt es jetzt in unsere Betrachtungen einzubeziehen: die Lehre von den Nachbildern, der Nachempfindung, dem Abklingen der Empfindung und wie man sonst die hierher fallenden Erscheinungen genannt hat. Nachbilder haben bekanntlich bei der Theorie des Bewegungssehens eine große Rolle gespielt, ebenso hat man die Tatsache der „persistance“, des Abklingens, der Trägheit der psychophysischen Prozesse zur Erklärung der Verschmelzung herangezogen. Ja eine Anordnung, ähnlich wie die im 2. Teil beschriebene, ist schon vor fast 100 Jahren zur Messung der Dauer der Nachempfindung benutzt worden²⁾, *W. E.* und *R. Pauli*³⁾ geben sie heute noch zu diesem Zwecke an (vgl. u.). Nun haben zwar *Linke*⁴⁾ und *Wertheimer*⁵⁾ gezeigt, daß das *Opt* bei stroboskopischer Bewegung nichts mit Nachbildern zu tun haben kann, es blieb aber immer

1) (56) S. 250 Tabelle I.

2) Vgl. *Baader* (1) S. 5.

3) (46) S. 49.

4) (34)

5) (63).

noch möglich das *Sim* darauf zurückzuführen, war doch der Anstoß, bei stroboskopischer Bewegung an Nachbilder zu denken, dadurch gegeben, daß das *Sim* ohne weiteres als Nachbildphänomen aufgefaßt wurde¹⁾. Im Sinne der Parallelgesetzlichkeit paßt dies zu der eben beschriebenen Methode zur Messung der Nachempfindungsdauer.

Nun fügte sich aber das *Sim* einer auch die Tatsachen des *Opt* und *Suk* umfassenden Gesetzlichkeit vollkommen ein, das Nachbildproblem bedarf daher einer neuen Untersuchung.

Daß die Erklärung des *Sim* durch Nachbilder unzureichend ist, ergibt sich schon aus dem ersten *Kortescen* Gesetz. Ohne jede Veränderung der zeitlichen Faktoren kann durch bloße Vergrößerung des Abstands der zwei sukzessiv wirkenden Reize *Opt* in *Sim* verwandelt werden. Warum sollte aber das Nachbild eines Reizes *a* länger dauern, wenn ein nach konstantem Intervall folgender Reiz *b* weiter von ihm entfernt als näher bei ihm zur Wirkung gelangt?²⁾

Wie steht es in dieser Hinsicht mit dem zweiten *Kortescen* Gesetz, nach dem große Intensität für *Suk*, kleine für *Sim* günstig ist? Für die Nachbildtheorie würde das heißen, je heller das Vorbild, um so kürzer das Nachbild. Man würde das Gegenteil dieses Satzes vermutet haben, und zu dieser gegenteiligen Ansicht kam auch *Helmholtz*³⁾ auf Grund von Versuchen, bei denen das Vorbild etwa $\frac{1}{3}$ Sekunde betrachtet wurde. Könnte dieser Satz als bewiesen gelten, so würde auch aus dem zweiten *Kortescen* Gesetz folgen, daß *Sim*, und dann nach unseren Versuchen auch die Ausbreitung des bewegten Lichtpunktes, nicht durch die Nachbildtheorie erklärt werden kann. Inzwischen ist über diesen Problemkreis viel gearbeitet worden, ohne daß die Ergebnisse vollkommene Klarheit zeigten⁴⁾. So stellte *Götz Martius*⁵⁾ den Satz auf: „Je länger die Dauer der Reize einerseits und je höher die Intensität andererseits . . . um so kürzer das Weiterbestehen der Empfindung über die Reizdauer hinaus.“ Die Versuche, denen dieser Satz entnommen ist, sind Versuche über „Verschmelzung“ von Lichtreizen, die durch lichtlose Intervalle unterbrochen werden. Zunächst besagen sie daher

¹⁾ Vgl. *Fischer* (⁹) und dazu *Linke* (³⁵) S. 356 A. *Linke* lehnt diese Erklärung für *Sim* und sogar für viele Fälle von „Verschmelzung“ ab. (³⁵) S. 354f. Dagegen wird die Zurückführung des *Sim* auf Nachbilder, speziell unser „Zerfall“-Phänomen von *Marbe* ausdrücklich aus dem Nachbildstreifen erklärt. (⁴⁰) S. 59.

²⁾ Man könnte vielleicht an einen Unterschied der Netzhautregionen denken; bei Fixation zwischen *a* und *b* bilden sich *a* und *b* peripherer ab, wenn ihr Abstand groß, als wenn er klein ist. Tatsächlich müßte hieraus aber das Gegenteil folgen, da ja *Sim* im Zentrum leichter auftritt als in der Peripherie (unser sechstes Parallelgesetz). Vgl. hierzu auch *Minnemann* (⁴²) S. 273—274.

³⁾ (¹⁷) II S. 196.

⁴⁾ Vgl. *Grünbaum* (¹⁶) S. 445 und die ausführlichen Darstellungen bei *v. Kries* (³²) S. 220ff. und *Goldschmidt* (¹⁴) S. 171ff.

⁵⁾ (⁴¹) S. 348. Ebenso schon *Charpentier* (⁵) S. 219, 227.

nur, daß die Pause mit wachsender Intensität und Dauer der Reize abnehmen muß, ein Resultat, das uns aus unseren Parallelgesetzen schon bekannt ist (1 und 4). Erst auf Grund bestimmter Voraussetzungen, die sich nicht als stichhaltig erwiesen haben¹⁾, kommen die genannten Autoren zu ihren Schlüssen über die Nachdauer der Empfindung. Diese Sätze können also sicher nicht als bewiesen gelten.

Auf Grund von Verschmelzungsversuchen hat auch *Ferry*²⁾ einen Satz über die Nachdauer der Empfindung aufgestellt, sie variere invers zum Logarithmus der Intensität, ein Resultat, das *Sherrington*³⁾ übernommen hat, obwohl gemessen nur die Beziehung zwischen Frequenz und Intensität war. Durch solche Versuche kann die direkte Beobachtung von *Helmholtz* nicht widerlegt werden. Der Widerspruch⁴⁾ in den Resultaten verschwindet, wenn man nur das reine Tatsachenmaterial zusammenstellt⁵⁾.

Dagegen ist die Sache kompliziert worden durch die Untersuchung der zahlreichen Phasen, die sich an die Einwirkung momentaner Lichtreize anschließen⁶⁾. Welches von den verschiedenen Nachbildern für unsere Frage in Betracht kommen kann, ist schwer zu entscheiden. Man möchte an das primäre Bild denken, aber es ist wohl zu beachten, daß das Phänomen der drei Nachbilder nur unter ganz bestimmten, weder bei unseren Bewegungs- noch bei den Verschmelzungsversuchen realisierten Bedingungen auftritt. Unter anderen Bedingungen verschwinden zwei von den drei Phasen, und das, was man früher als positives Nachbild bezeichnet, oder als Absinken der Empfindung aufgefaßt hat, möchte *v. Kries*⁷⁾ mit den tertiären Nachbildern parallelisieren.

Mit der Methode des bewegten Lichtpunkts ergibt sich nach *v. Kries*⁸⁾ eine Zunahme der Dauer des primären Bildes mit gesteigerter Intensität, gemessen durch die Größe des Schweifes⁸⁾. Das wäre also eine Bestätigung von *Helmholtz* und würde heißen, daß Nachbilder unsere Parallelgesetzlichkeit nicht erklären können. Nun scheint diese Angabe aber einem Hauptergebnis unseres 2. Teils zu widersprechen. Wir fanden: damit eine bestimmte Strecke von einem sie durchlaufenden Licht in ihrer ganzen Ausdehnung simultan erhellt ist, muß ein stärkeres Licht die Strecke schneller durchlaufen, kürzer exponiert sein, als ein weniger helles; bei gleicher Geschwindigkeit muß es also einen kürzeren

¹⁾ Vgl. *v. Kries* (³²) S. 253, *Stigler* (⁶⁰) S. 131, 139.

²⁾ (⁷) S. 198.

³⁾ (⁵⁷) S. 35.

⁴⁾ Vgl. *Grünbaum* (¹⁵) S. 445.

⁵⁾ Vgl. hierzu auch die oben S. 103 Anm. 1 zitierte Stelle bei *Minnemann*.

⁶⁾ Vgl. *v. Kries* (³²) S. 220ff.

⁷⁾ (³²) S. 229.

⁸⁾ (³²) S. 223.

Schweif haben. In unseren Vorversuchen dagegen beobachteten wir ein der *v. Kriesschen* Angabe entsprechendes Verhalten¹⁾. Das zeigt deutlich genug, daß es sich um zwei unter verschiedenen Bedingungen auftretende verschiedene Phänomene handelt, und beweist auf diese Art, daß unser Gesetz mit Nachbildern nichts zu tun haben kann.

Wendet man die Methode des einmaligen kurzen Lichtreizes an, der *Goldschmidt*²⁾ den Vorzug gibt, so ist es äußerst schwer, ein Maß zu finden, ohne durch das Maß den Vorgang selbst zu beeinflussen. Kommt der nachfolgende Meßreiz zur Verschmelzung bzw. zum *Sim* mit dem zuerst wirkenden — je nachdem, ob der zweite Reiz auf der gleichen oder einer verschiedenen Stelle liegt —, so hat man neue Phänomene, aus denen man nicht auf das durch den Einzelreiz hervorgerufene, ungestört verlaufende, Phänomen schließen darf.

Für die späteren Phasen liegt die Sache so. Aus den Beobachtungen von *Martius*³⁾ kann man erkennen, daß ein stärkerer Reiz nicht nur dadurch eine stärkere Nachwirkung erzeugt, daß die Zahl der Nachbilder und vor allem die Gesamtzeit bis zum Verschwinden des letzten beträchtlich wächst, sondern auch daß die ersten Nachbilder wesentlich länger dauern als bei schwächeren Reizen.

Sehr genau hat *Martius* die Abhängigkeit der Dauer des positiven Nachbildes (des tertiären Bildes) von der Reizdauer untersucht und gefunden, daß die Nachbilddauer in sehr weiten Grenzen mit der Reizdauer zunimmt. Erst bei einer Reizdauer von mehreren Sekunden wird die Nachbilddauer wieder kürzer. Freilich ändert sich im gleichen Sinne auch die zwischen dem Aufhören der Reize und dem Eintreten der Nachbilder verstreichende Zeit⁴⁾. Der Vergleich dieser Resultate mit unserem vierten Parallelgesetz erlaubt demnach keinen eindeutigen Schluß.

Schließlich fand *Fröhlich*⁵⁾ bei seinen Untersuchungen über die Aktionsströme in Oktopodenaugen, daß die Dauer der „Nachrhythmen“ mit zunehmender Dauer und Intensität der Belichtung bis zu einer Grenze, oberhalb deren Schädigung, Shockwirkung, eintritt, zunimmt. Aber auch hier ergab sich, daß der Nachrhythmus bei schwachen Reizen sich unmittelbar an die direkte Reizwirkung anschließt, während bei starken ein Ruheintervall dazwischen liegt. *Fröhlich* sieht in diesen Nachrhythmen die periphere Ursache der Nachbilder.

Zusammenfassend können wir sagen: Die Fälle, in denen die Nachwirkung eines Einzelreizes studiert wurde, sind streng zu sondern vom

¹⁾ Vgl. oben S. 90.

²⁾ ⁽¹⁴⁾ S. 172.

³⁾ ⁽⁴¹⁾ S. 323—325. Vergleich von Tabellen VIII und X.

⁴⁾ ⁽⁴¹⁾ S. 326.

⁵⁾ ⁽¹⁰⁾ S. 88—89, 126—127.

Fall des Zusammenwirkens mehrerer Reize, sei es, daß es sich um optimale Bewegung, um *Sim* oder Verschmelzung handelt. So lehnt auch *v. Kries*¹⁾ die Verquickung des *Talbotschen* Gesetzes mit irgend-einer Annahme über die Form des An- und Abklingens der Erregung durchaus ab. Soweit sich unsere Kenntnisse über das Verhalten der Nachbilder auf direkte Beobachtung stützen, passen sie nicht zu unserm ersten Parallelgesetz.

Ganz entscheidend in diesem Sinne spricht wieder das dritte *Korte*-sche Gesetz, und zwar unter folgendem Gesichtspunkt. Die alte von *W. E.* und *R. Pauli* wiederangegebene Methode zur Messung der Nachbilddauer besteht darin, daß man einen leuchtenden Punkt (Glühbirne) rotieren läßt. „Beschreibt die Glühbirne den ganzen Kreisumfang in einer Zeit, die der Dauer des Nachbildes gleichkommt, so ist ersichtlich, daß man dann einen geschlossenen leuchtenden Kreisring sieht. Die Dauer des Nachbildes ist in diesem Fall gleich der Umlaufszeit der Glühbirne.“²⁾ Es muß nun für die Dauer des Nachbildes ganz gleich sein, ob man den ganzen Kreisumfang oder nur einen Teil zur Prüfung benutzt.

Immer ist die Nachbilddauer $t = \frac{s}{v}$ zu setzen, wo s einen Weg, v eine Geschwindigkeit bedeutet. Da t konstant sein muß, so muß auch $\frac{s}{v}$ konstant sein. Dies aber widerspricht dem Ergebnis unserer Versuche, daß die Größe t nicht konstant, sondern von s abhängig ist. Je größer s , um so größer t nach der Formel $e = \sqrt{\frac{B}{\kappa}}$ (vgl. S. 97). Es ist also eine falsche Annahme, daß man in Versuchen der von *W. E.* und *R. Pauli* beschriebenen Art eine feste Nachbilddauer mißt. Die Phänomene, die hier vorliegen, gehören vielmehr ins Gebiet unserer Parallelgesetzlichkeit, diese hat sich als nicht auf Nachbilderscheinungen reduzierbar erwiesen.

§ 16. Die Parallelgesetzlichkeit zwingt dazu, für Verschmelzungs- und Bewegungstatsachen eine gemeinsame Grundlage anzunehmen, mithin eine für beide Tatschengruppen gültige Theorie aufzubauen. Dem, was wir hierüber zu sagen haben, seien einige allgemeine Worte über die Prinzipien physiologischer Theoriebildung vorausgeschickt.

*G. E. Müller*³⁾ bezeichnet als zweites psychophysisches Axiom den folgenden Satz: „Einer Gleichheit, Ähnlichkeit, Verschiedenheit der Beschaffenheit der Empfindungen — von den übrigen psychischen Zuständen, von denen ein gleiches gilt, wie von den Empfindungen, kann hier und im folgenden abgesehen werden — entspricht eine Gleich-

1) (32) S. 231. Vgl. auch *Grünbaum* (16) S. 450.

2) (40) S. 49. Vgl. auch *Zoth* (66) S. 365 und 368.

3) (44) S. 1—2.

heit, Ähnlichkeit, Verschiedenheit der Beschaffenheit der psychophysischen Prozesse und umgekehrt.“ Dabei ist unter einem psychophysischen Prozeß ein sich innerhalb unseres Gehirns abspielender Vorgang verstanden, welcher von einer Empfindung oder einem sonstigen Zustand unseres Bewußtseins begleitet ist¹⁾. Wir können also sagen: Finden wir irgendwo zwei gleiche Phänomene, so haben wir anzunehmen, daß die ihnen entsprechenden Hirnprozesse *gleich sind*. Für das Talbotsche Gesetz folgt hieraus: Eine gleichmäßig graue und eine aus irgendwelchen Sektoren bestehende Scheibe, die bei Rotation zur Qualität der gleichmäßigen verschmilzt, bewirken, von einem bestimmten Niveau ab, den gleichen Hirnvorgang.

Eine solche Denkweise ist aber nicht Gemeingut der auf diesem Gebiet arbeitenden Psychologen und Physiologen. Vermutlich würden sie zwar alle Müllers Axiom und unsere daraus gezogene Folgerung zugeben, aber in ihren Hypothesenbildungen weichen sie doch davon ab. Mit diesen Abweichungen wollen wir uns beschäftigen, weil sie für die Prinzipien der Hypothesenbildung von Bedeutung sind.

Fick²⁾ erklärt die Talbotsche Verschmelzung durch einen oszillatorischen Vorgang im Sehorgan, dessen Amplituden immer kleiner werden, je kürzer die Periode wird; „es muß also bei einer gewissen Kleinheit der Periode dahin kommen, daß die Unterschiede unmerklich werden“. Mit dem Begriff des „Unmerklichwerdens“ ist hier die Schwierigkeit scheinbar überwunden, aber eben doch nur scheinbar, denn eine physiologische Oszillation bleibt eine Oszillation, das „Unmerklichwerden“ ist eine *μετάβασις εἰς ἄλλο γένος*, es fehlt der Versuch, *physiologisch* die phänomenale Gleichheit einer oszillierenden mit einer kontinuierlichen Reizung zu erklären. Wie wenig der Sprung aus dem physiologischen Gebiet heraus den Forschern jener Zeit zum Bewußtsein gekommen ist, sieht man auch deutlich bei Helmholtz. Er schreibt z. B. zur Erklärung gewisser Kontrasterscheinungen: „Weil unser Unterscheidungsvermögen für anhaltende Nervenregungen viel unvollkommener ist als für wechselnde“³⁾.

Diese Art zu denken hat sich erhalten⁴⁾. 1898 erklärte Schenk die Verschmelzung wieder dadurch, daß die Erregungsschwankungen so klein seien, daß sie nicht mehr wahrgenommen werden könnten⁵⁾. Freilich führt Schenk gleich darauf eine dem Müllerschen Axiom entsprechende Hypothese ein, im Fall der Verschmelzung trete an die

1) (44) S. 4.

2) (8) S. 215.

3) (17) II S. 238—239.

4) So auch bei Baader, der sie als eine mögliche Alternative betrachtet

(1) S. 3—4.

5) (64) S. 46.

Stelle der sägeförmigen Erregungskurve eine annähernd geradlinige¹⁾. Daß aber beide Denkweisen so nebeneinander hergehen, zeigt, wie wenig lebendig Überlegungen, wie wir sie hier anstellen, in der Forschung gewesen sind.

Ein ganz ähnliches Verhalten wie *Schenk* zeigt *Marbe*, wenn er die Verschmelzung dadurch erklärt, daß der Unterschied zwischen der tatsächlich vorhandenen ungleichmäßigen und einer gleichmäßigen Lichtverteilung so gering sei, daß er nicht mehr bemerkt werde²⁾, während er kurz vorher³⁾ ausgeführt hat, daß die zentralen Erregungen in beiden Fällen identisch sein können. Dies ist wieder eine wirkliche physiologische, dem *Müllerschen* Axiom entsprechende Erklärung, jenes nicht.

*v. Kries*⁴⁾ findet keinen Anlaß, von einer bestimmten Frequenz an Stetigkeit der physiologischen Prozesse und der Empfindung anzunehmen. Er trennt also die oszillatorische Empfindung vom gleichmäßigen Wahrnehmungsinhalt und betont, daß in die Bestimmung der Verschmelzungsfrequenz immer noch „ein besonderes (allen sonstigen Schwellenwerten vergleichbares) Moment der Erkennbarkeitsgrenze“ eingehe. Freilich will er auch für die Erkennungsvorgänge physiologische Korrelate, interkortikale Vorgänge annehmen⁵⁾, und wir dürfen wohl vermuten, daß diese dem *Müllerschen* Axiom gehorchen sollen. Danach wäre seine Stellung eine vermittelnde, und ähnliche Gedanken haben vermutlich auch den anderen Forschern vorgeschwebt⁶⁾. Wir können aber diese Vermittlung nicht annehmen. Nachdem im dritten dieser Beiträge⁷⁾ dargelegt worden ist, daß wir die Hypothese der unbemerkten, zu den Reizen in einem durch die Konstanzannahme⁸⁾ bedingten, festen Verhältnis stehenden Empfindungen ablehnen, ist es klar, daß wir nur das wirklich beobachtbare Phänomen als solches anerkennen, für dies Phänomen selbst eine physiologische Erklärung, ohne Konstanzannahme, suchen müssen⁹⁾.

¹⁾ Ebenda S. 47—52

²⁾ (38) S. 352.

³⁾ Ebenda S. 348.

⁴⁾ (32) S. 253.

⁵⁾ (32) S. 240; (33) III S. 486 ff.

⁶⁾ Ähnlich ist wohl auch die Stellung von *Stigler*, der 1910 schreibt, daß wir nicht imstande sind, die einzelnen Phasen des ansteigenden und abfallenden Teils der Lichtempfindung für sich wahrzunehmen, sondern nur einen Gesamteindruck aufzufassen vermögen. — (59) S. 415.

⁷⁾ (24).

⁸⁾ Vgl. *Köhler* (28).

⁹⁾ Vgl. hierzu auch die treffenden Darlegungen von *Minnemann* (42) S. 238 bis 239. Es ist eine reizvolle Aufgabe, ausführlich von unserm Standpunkt aus zu den Theorien von *v. Kries* Stellung zu nehmen. Doch kann dies begreiflicherweise nicht en passant abgemacht werden. Bei anderer Gelegenheit wird diese Aufgabe durchgeführt werden.

Wenig klar ist es dagegen, wenn *W. E.* und *R. Pauli* in ihrer 1918 erschienenen physiologischen Optik sagen¹⁾: „So ergibt sich weiter, daß die Ursache derselben (sc. der stroboskopischen Bewegungen) nicht in besonderen Verhältnissen des Sinnesorgans gesucht werden kann, mit anderen Worten, daß die Theorie des Kinematographen keine physiologische sein wird. Man ist genötigt, auf zentrale Prozesse zurückzugreifen und damit eine psychologische Erklärung anzunehmen.“ Wollen die Verfasser die zentralen Prozesse nicht als physiologische ansehen, so machen sie nicht nur die gewagte Annahme, daß es psychische Prozesse ohne physiologische Korrelate gibt, sondern sie behalten auch alle die Schwierigkeiten bei, denen die Theorie ausgesetzt ist, die mit unbemerkten Empfindungen usw. arbeitet²⁾. Eine Begründung dafür, daß das Zurückgreifen auf zentrale Prozesse dasselbe ist wie die Einführung einer psychologischen Theorie, ist jedenfalls nicht angegeben³⁾.

§ 17. Wir wenden uns nun den speziellen Theorien zu. Im Mittelpunkt für uns steht die Parallelgesetzlichkeit, der gemäß wir eine Theorie suchen, die für Verschmelzungs- und Bewegungstatsachen gemeinsam gilt. Dabei betonen wir noch besonders, daß sie nicht nur die stroboskopische, sondern auch die wirkliche gesehene Bewegung erklären muß, nachdem *Benussi* eine verschiedene Provenienz beider Phänomene für wahrscheinlich erklärt hat⁴⁾. Konnten wir doch zeigen, daß die von *Korte* für stroboskopische Bewegung gefundenen Gesetze auch für wirkliche Bewegung gültig sind. Wir wollen zunächst das bisher theoretisch Geleistete diskutieren.

Auch *Marbe* will seine Theorie der Verschmelzung auf den Kinematographen anwenden, allerdings nur für den Fall, daß wir der Bewegung mit dem Blick folgen, weil dann auf derselben Netzhautstelle periodisch dasselbe Bild erscheint und verschwindet; für den Fall dagegen, in dem stroboskopische Bewegung bei fester Fixation gesehen wird, sollen die Tatsachen des *Talbotschen* Gesetzes nicht in Betracht kommen⁵⁾. Doch scheint ihm dieser Fall „für den Kinematographen von untergeordneter Bedeutung zu sein. Denn das Auge pflegt einerseits gesehenen und daher auch nur scheinbaren Bewegungen reflektorisch zu folgen, und andererseits pflegen wir Bewegungen, denen wir mit den Augen nicht folgen, keine Aufmerksamkeit beizulegen⁶⁾.“ Dies Werturteil ist falsch, selbst wenn wir davon absehen, daß es wahrscheinlich unmöglich ist, eine Verschiebung der Netzhautbilder auch

1) (46) S. 98.

2) Vgl. wieder *Köhler* (28).

3) Über unsern Standpunkt zur psychologischen Theorie vgl. (24) S. 58.

4) (3) S. 115—116.

5) (40) S. 70, 67.

6) Ebenda S. 73.

bei folgendem Blick auszuschließen¹⁾. Denn die Bewegungen im Kinetographen sind so kompliziert, daß, von seltenen Grenzfällen abgesehen, trotz folgendem Blick immer Verschiebungen der Netzhautbilder vorkommen. Man denke an die Ausdrucksänderungen eines Gesichts, an das Herankommen oder Sichentfernen eines Menschen oder eines Eisenbahnzuges. Hierfür würde also nach *Marbes* Ansicht die Verschmelzungsgesetzlichkeit nicht gelten. Sein Versuch, diese auf das stroboskopische Bewegungssehen anzuwenden, hat also eine ganz andere Bedeutung als der unsere. Uns scheint das Bewegungssehen bei ruhendem Auge der theoretisch einfachere Fall, und gerade für diesen gilt unsere Parallelgesetzlichkeit.

An der speziellen Theorie des *Talbotschen* Gesetzes sind drei Probleme zu unterscheiden: 1. Warum kommt überhaupt Verschmelzung zustande? 2. Warum gilt für die Qualität des verschmolzenen Eindrucks gerade das *Talbotsche* Gesetz? 3. Warum hängen die kritischen Zeiten von den in Betracht kommenden Faktoren in der festgestellten Weise ab?

Die älteren Autoren, *Fick*, *Helmholtz*, legten das Hauptgewicht auf das zweite Problem. Der Kern ihrer Theorie ist der folgende: „Für periodisch wechselnde Einwirkungen beliebiger Art wird ein Gesetz von der Form des *Talbot* sehen immer gelten müssen, wenn der nächste Erfolg für jedes sehr kleine Zeitelement dem Wert $i \, d t$, d. h. dem Produkt aus Intensität und Zeit, proportional gesetzt werden kann²⁾.“

Sehr anders sieht zunächst *Marbes* Theorie aus³⁾. Sie löst scheinbar alle drei Probleme mit Hilfe der gleichen Prinzipien, und zwar sind es vor allem die Tatsachen der Unterschiedsempfindlichkeit, die er zur Erklärung heranzieht. Nicht nur gleichen Reizen oder Reizgruppen entsprechen gleiche Erregungen, sondern auch solchen, die sich nur wenig voneinander unterscheiden; diese Unterschiede dürfen um so größer sein, je stärker die Reize bzw. die Reizgruppen selbst sind. Es genügt, die Diskussion für Reizgruppen zu führen, da sich jeder kontinuierliche Reiz auffassen läßt als eine Gruppe sehr kurzer gleicher Reize. Das *Talbotsche* Gesetz lehrt nun, daß nicht nur völlig gleiche Reizgruppen, sondern auch genügend ähnliche, die gleiche Empfindung hervorrufen, auch dann, wenn die eine Gruppe aus unter sich gleichen, die andere aus unter sich verschiedenen Elementarreizen besteht. Ein konstanter Reiz von der Stärke x läßt sich ja auffassen als eine Serie aufeinanderfolgender Elementarreize, für welche t unendlich klein und $m = x$ ist. Ist m für die ungleichmäßig zusammengesetzten Reizgruppen ebenfalls $= x$, so kann man, durch Steigerung der Umdrehungsgeschwindigkeit, t beliebig klein machen; von einer bestimmten Grenze an ist dann die ungleichmäßige der gleichmäßigen Reizgruppe genügend ähnlich, um die gleiche Empfindung hervorzurufen. So wären die beiden ersten Probleme gelöst, und das dritte löst sich aus den gleichen

¹⁾ Hierüber sagt *v. Kries*: „Es könnte wohl sein, daß jenes Folgen des Blicks unter allen Umständen nur dadurch ermöglicht wird, daß der betreffende Gegenstand sich um kleine Beträge bewegt und daß seine nunmehr exzentrische Wahrnehmung das Folgen des Blicks veranlaßt.“ (33) III S. 227 u.

²⁾ *v. Kries* (32) S. 231. Bei *Fick* ist die Theorie noch mit speziellen Annahmen über das An- und Abklingen verquickt.

³⁾ Vgl. zum Folgenden (37) S. 286f., (38) S. 349f. und (40) S. 34f.

Prinzipien. Da die absolute UE. allgemein mit der Intensität wächst, so darf t um so größer sein, je größer m ist. Ferner ist bei sukzessiv periodischen Reizen die Gleichmäßigkeit um so größer, je kleiner die Zeiten sind, innerhalb deren gleich viel Licht ins Auge fällt, und je geringer die mittlere Variation der Reizeffekte in dieser Zeit ist. Aus dem ersten Punkt folgt, daß Verkleinerung von t , aus dem zweiten, daß Verkleinerung von v die Verschmelzung begünstigt. Damit hat *Marbe* alle Probleme gelöst, ohne „so komplizierte und exakte . . . Funktionsweisen der Retina zu hypostasieren“, wie es *Fick* und *Exner* getan haben¹⁾.

Vergleichen wir *Marbes* Theorie mit der vorher dargestellten, so sehen wir doch einen gewaltigen Unterschied. Diese erklärte wirklich, warum der Endeffekt bei sukzessiv-periodischer Reizung durch m bestimmt ist, *Marbe* verweist uns statt dessen auf die Unterschiedsempfindlichkeit (UE). Diese müßte also erst erklärt werden, und wie kontrovers die Ansichten hierüber waren und noch sind, hat der eine von uns vor ein paar Jahren dargelegt²⁾. Die Unbestimmtheit der Theorie der UE. zeigt sich auch, wie wir gesehen haben, in der Ausdrucksweise *Marbes*, der bald so spricht, als ob die Erregungen im Falle gleichmäßiger und sukzessiv-periodischer Reize identisch seien, bald als ob ihre Unterschiede so gering seien, daß sie nicht mehr bemerkt werden könnten³⁾.

Wie steht es aber mit der Analogie zur UE. überhaupt? Ich vergleiche ein Grau g_1 mit einem Grau g_2 auf ihre Helligkeit. Ist ihr Unterschied unterschwellig, so heißt das, ich werde eine große Anzahl von „Gleichheits-“ und „Unentschiedenheits“-Urteilen fällen, daneben aber auch eine gewisse Zahl von „Verschiedenheits“-Urteilen, und zwar sowohl g_1 heller als g_2 , wie g_1 dunkler als g_2 , gleichviel, in welcher Richtung der objektive Unterschied liegt. Übertragen wir dies auf unseren Fall, zwei Scheiben von gleichem m , von denen die eine aus gleichmäßigem Grau, die andere aus genügend schnellrotierenden Schwarz-Weiß-Sektoren besteht. Die Scheiben sind dann nach *Marbe* nur unterschwellig voneinander verschieden. Wir müßten also Vergleichsurteile folgender Art erwarten, wenn die Scheiben auf ihre „Gleichmäßigkeit“ hin beurteilt werden sollen: beide gleich, unentschieden, a gleichmäßiger als b , b gleichmäßiger als a . Davon können aber die drei letzten in Wirklichkeit, genügend schnelle Rotation vorausgesetzt, nie vorkommen. a , die wirklich gleichmäßige, ist stets schlechthin gleichmäßig, kann nicht „weniger gleichmäßig“ sein als irgendeine andere, und b ist ihr vollkommen äquivalent, wenn t genügend kurz ist, und nur ihr, nie aber einer Scheibe, die, wenn auch noch so wenig, flimmert. Ganz anders bei der UE. Habe ich in einer Konstellation ein g_2 hergestellt, welches einem g_1 äquivalent ist, so kann es in einer andern Konstellation einem g_3 äquivalent sein⁴⁾.

Wie immer wir die UE. erklären wollen, wir müssen für die Verschmelzung eine eigene Erklärung ersinnen, d. h. für die Tatsache, daß überhaupt sukzessiv-periodische Reize kontinuierlichen äquivalent sein können. Auch einen solchen Versuch finden wir neuerdings bei *Marbe*. Aus der Trägheit des physiologischen optischen Systems, die aus den Tatsachen des An- und Abklingens hervorgeht⁵⁾, folgt, daß es einen gewissen kleinen Wert von t geben muß, „bei welchem die zentrale Erregungsänderung der Reizänderung überhaupt nicht mehr folgen kann“⁶⁾. Die UE. wird nur noch zur Lösung des zweiten und dritten Problems verwendet, wogegen die

1) (37) S. 283 A.

2) (26).

3) Vgl. oben S. 116. Überwiegend ist freilich die erste Ausdrucksweise, besonders in (40).

4) Vgl. (26) S. 4 und S. 25.

5) Früher hatte er diese Tatsachen als irrelevant bezeichnet: (38) S. 347.

6) (40) S. 35.

eben erhobenen Bedenken bestehenbleiben. Außerdem sehen wir, daß das zweite Problem zu seiner Lösung ihrer gar nicht bedarf. Schließlich hat *Marbe* noch eine mechanische Erklärung für alle drei Probleme gemeinsam angegeben¹⁾, indem er ein Modell beschreibt, aus dem alle Verschmelzungstatsachen folgen sollen. Dies Modell leistet aber nicht das, was M. von ihm behauptet. Es handelt sich um einen Kolben, der durch eine intermittierend wirkende Kraft in ein gasgefülltes, geschlossenes Rohr eingedrückt wird, wobei die Reibung des Kolbens so groß ist, daß die Kraft immer proportional der Geschwindigkeit, und daß keine lebendigen Kräfte auftreten. Es soll sich dann bei genügend kleinem t ein Gleichgewichtszustand herausbilden, bei dem der Stempel in Ruhe verharrt. Aus der Voraussetzung der großen Reibung folgt aber unmittelbar, daß schon eine erhebliche Arbeit nötig ist, damit der Kolben überhaupt in Bewegung gerät. Wird t beliebig klein, so bleibt die Arbeit hinter diesem Werte zurück. Das gleiche gilt von der durch Druckvermehrung im Kolben erzeugten Gegenkraft, der Überdruck muß überhaupt erst eine gewisse Größe erreicht haben, um die Reibung zu überwinden und den Kolben zurückzubewegen. Ein freies Spiel der Kräfte ist in diesem Modell ausgeschlossen; wird t beliebig klein, so kann der Kolben an irgendeiner Stelle zur Ruhe kommen, seine Einstellung wird nicht mehr durch ein dem *Talbotschen* analoges Gesetz beherrscht. So läßt sich natürlich auch das dritte Problem nicht lösen, speziell daß $t_{\infty} \sim m$ wird von *Marbe* nur behauptet, ohne daß der Beweis angetreten wird, der eben auch gar nicht zu führen ist.

So viel aber ist sicher: die Theorie des ersten Problems, warum überhaupt eine Verschmelzung eintritt, muß auch die beiden andern Probleme lösen, aus ihr müssen die einzelnen Verschmelzungstatsachen ableitbar sein.

Neuerdings will *Pikler*²⁾ Verschmelzungs- und Bewegungssehen, wie überhaupt alle Tatsachen der Wahrnehmung, aus demselben Prinzip der Anpassung mit oder ohne Korrektur erklären. Er behauptet, daß nach der *Wertheimerschen* Theorie bei der Wiederholung eines Reizes am gleichen Ort nichts statfinde, was mit dem stroboskopischen Bewegungsvorgang gemeinsam wäre. Dabei ist ihm leider entgangen³⁾, daß schon in der Arbeit von *Korte* auf die Möglichkeit eines Zusammenhangs zwischen beiden Tatsachengruppen hingewiesen worden ist⁴⁾, und die Ausführungen der vorliegenden Arbeit dürften diese Auffassung der *Wertheimerschen* Theorie wohl genügend widerlegen.

Zur Sache selbst: Die Anpassung ist nach *Pikler* in der Regel Wiederholung der bestehenden Anpassung mit oder ohne Korrektur. „So ist . . . das Empfinden der absoluten Stärke eines Tones Vergleichen derselben mit der Stille, mit Korrektur verbundene Wiederholung der Anpassung, welche dem Mangel aller Tonreize entspricht⁵⁾.“ Für Verschmelzung liegt es so: „Würde der ganz gleiche Reiz genügend rasch nacheinander zweimal am gleichen Ort exponiert werden, so fehlte trotzdem

1) ⁽³⁸⁾ S. 383 ff. In ⁽⁴⁰⁾ S. 41 f. beruft sich M. ausdrücklich auf diese Darstellung. Die Aufstellung dieses Modells zeigt übrigens, was *Schenck* schon früher ⁽⁵²⁾ behauptet hatte, daß *Marbes* Theorie gar nicht so verschieden ist von der *Fickschen*, wie es zunächst scheint und wie er selbst behauptete. Und ist es nicht ein Widerspruch, wenn M. es als Vorzug seiner Theorie rühmt, daß sie *exakte* Vorgänge nicht zu hypostasieren braucht (siehe oben S. 119), und dann eine mechanische, also doch wohl exakte Erklärung gibt?

2) ⁽⁴⁷⁾.

3) Das sei immerhin betont, da P. das größte Gewicht darauf legt, solche Unterlassungssünden bei andern hervorzuheben.

4) ⁽³¹⁾ S. 291.

5) ⁽⁴⁷⁾ S. 136 u.

... auch in diesem Falle ein, und zwar das grundlegende Element jener Tatsache nicht: die zweite Empfindung würde aus der Wiederverwendung des ersten Empfindungsinhaltes hervorgehen, ohne Bewegung, ohne korrigierende Anpassung mit der Zusatzanpassung (0¹⁾).“ Bei der Bewegung wird die Empfindung wiederholt mit der Korrektur des Ortswertes.

Es soll nicht geleugnet werden, daß in mancher Hinsicht die allgemeinen Gedanken *P.s* sich als anregend und fruchtbar werden bewähren können. Die spezielle Ausgestaltung für unser Problem nützt aber gar nichts. Wir wollen die physiologischen Vorgänge kennen, an die die Wahrnehmung gebunden ist. Daß es sich dabei um Anpassungsvorgänge handelt, mag unsere Erkenntnis unterstützen. Ist aber in sich noch keine genügende Einsicht. Ganz prekär ist dabei auch *P.s* Empfindungsbegriff; bei nur 2 verschmelzenden Reizen* spricht er ja schon von 2 Empfindungen. Abgesehen von der Anpassungsseite ist das Grundprinzip der *P.s*chen Wahrnehmungstheorie: einem Reiz entspricht ein anderer Eindruck, je nachdem was für andere Reize mit ihm gleichzeitig oder unmittelbar vorher wirken. So weit ist alles in Ordnung, und soweit stimmt er auch mit uns überein, nur fehlt die wichtige Tatsache, daß auch zeitlich spätere Reize die Wirkung eines früheren beeinflussen können, denn bei *Pikler* geht ja das Spätere immer aus Umbildung aus dem schon vorhandenen Früheren hervor²⁾. Aber im Gegensatz zu uns trennt er Empfindung und „Gestaltelement“³⁾, das Zentrum seiner Erklärung ist die Empfindung, als Ausgleichsvorgang, der mit oder ohne Korrektur wiederholt wird.

Der Unterschied von *Suk* und *Opt* wird nun folgendermaßen erklärt: Beim *Suk* „wird das gegen den ersten Reiz gebildete Gleichgewicht außer Dienst gesetzt, bevor es gegen den zweiten Reiz angewendet wird, es wird ihm außer Dienst, in der Reserve angepaßt, und so gelangt es zu neuer Aktivität. Daher das bloße innere, mehr gedankliche Sehen der Umbildung.“ Beim *Opt* dagegen „wird der gegen den einen Reiz gebildete Empfindungsinhalt noch in dieser seiner Aktivität, ohne aufzuhören, gegen den anderen Reiz gewendet, daher die Sinnlichkeit der Umbildung, das äußere Sehen derselben“⁴⁾. Hier ist erstens die *Deskription* zu bemängeln: was heißt das „inneres und äußeres Sehen der Umbildung“, und wie steht es deskriptiv mit dem „gegen den einen Reiz gebildeten Empfindungsinhalt“⁵⁾. Diese „Deskription“ hängt wohl damit zusammen, daß *Pikler* unter dem deskriptiv psychologischen Tatbestand sowohl das versteht, was *Koffka*⁶⁾ den *deskriptiven*, wie was er den *funktionalen* Tatbestand genannt hat⁷⁾, ohne daß *Pikler* diesen Gebrauch des Begriffs *Deskription* rechtfertigt.

Zweitens ist der Ausdruck „in Reserve“, „außer Dienst gesetzt“ dunkel, vor allem aber lassen sich die von *Korte* entdeckten Tatsachen so überhaupt nicht erklären. Warum soll ein *Opt* in *Suk* übergehen, wenn man nur den Abstand der beiden Reize verkleinert, warum wird die erste Anpassung schneller in Reserve gesetzt, wenn der zweite Reiz näher am ersten liegt,

¹⁾ Ebenda S. 175—176.

²⁾ Soweit es sich um den Einfluß des Früheren auf das Spätere handelt, scheint *P.s* Theorie, immer abgesehen von seiner speziellen Anpassungstheorie, dem Begriff der *primary retentiveness* von *Stout* [(⁶¹) S. 177 ff.] sehr ähnlich. Beides sind Umgehungen eines Gestaltbegriffs.

³⁾ (⁴⁷) S. 238.

⁴⁾ Ebenda S. 210.

⁵⁾ Vgl. das eben über *P.s* Empfindungsbegriff Gesagte.

⁶⁾ (²²) S. 1 ff.

⁷⁾ (⁴⁷) S. 237.

oder wenn die Reize stärker sind, was behauptet werden müßte, um die Abhängigkeit von der Intensität zu erklären?

Demgegenüber war die *Wertheimersche* Theorie von Anfang an darauf gerichtet, nicht irgendwelche einzelne, irgendwie den Reizen entsprechende Empfindungsvorgänge zur Erklärung zu benutzen, sondern ein durch die Wirkung *beider* (bzw. vieler) Reize bedingtes Gesamtgeschehen im Zentralorgan. Wirkt ein Reiz allein, so kommt ein ganz anderes „Erregungsfeld“ zustande, als wenn zwei Reize wirken, und diesen *Erregungsfeldern* ist der Wahrnehmungsinhalt zugeordnet. Ja *Koffka*¹⁾ hat an einer von *Pikler* zitierten Stelle²⁾ besonders hervorgehoben, daß sogar derselbe Reiz, je nach dem Gesamtzustand des Organismus bald in der einen, bald in der andern Weise, bald „empfindungs-“ bald gestaltmäßig wirken kann³⁾.

§ 18. Zum Schluß seien einige Folgerungen für eine künftige Theorie abgeleitet. Wir setzen das *Müllersche* Axiom voraus, daß gleichen Phänomenen von einer gewissen Hirnstelle an gleiche physiologische Grundlagen entsprechen. Der Diskussion über die Theorie des *Talbot*-schen Gesetzes entnehmen wir, daß im Fall der Verschmelzung eine Oszillation der physiologischen Prozesse anzunehmen ist, und wir schließen mit Hilfe des *Müllerschen* Axioms, daß auch bei der durch kontinuierliche Reizung hervorgerufenen Empfindung die Vorgänge oszillatorisch verlaufen. *v. Kries* hätte zum gleichen Ergebnis kommen können, wenn er nicht mit den Begriffen des „Bemerkens“ und „Nichtbemerkens“ arbeitete. Bei der Diskussion der Verschmelzung oszillatorischer Reize sagt er: „Daß die Empfindung bei einer bestimmten Frequenz in strengem Sinn stetig wird, haben wir keinen Anlaß anzunehmen, und wäre es der Fall, so könnten wir diesen Punkt nicht bestimmen, da die beobachtbare Verschmelzungsfrequenz sicher unterhalb dieses Wertes liegen würde⁴⁾.“ Die oszillatorische *Empfindung* ist nun reine Hypothese, die mit der Beobachtung einer stetigen Farbe nur durch die weitere Hypothese in Einklang gebracht werden kann, daß wir die Oszillation nicht bemerken.

Dem oszillatorischen Charakter der physiologischen Prozesse entspricht eine Reihe von Erfahrungstatsachen⁵⁾, wir bleiben also vielleicht mit einer Hypothese der Erfahrung am nächsten, die auch als Korrelat stetiger Empfindung einen oszillatorischen Vorgang annimmt. Unser

1) ⁽²⁴⁾ S. 33—35.

2) ⁽⁴⁷⁾ S. 236.

3) Daß *Koffkas* Darstellung der Theorie in ⁽²⁴⁾ gegenüber der *Wertheimers* ⁽⁶³⁾ und einer früheren *Koffkas* eine Umbildung oder gar die Aufstellung einer ganz neuen Theorie bedeutet, wie *Pikler* [⁽⁴⁷⁾ S. 232 ff.] behauptet, ist absolut unrichtig. Vgl. auch *Koffkas* Bemerkungen in ^(25a) S. IV.

4) ⁽³²⁾ S. 253.

5) Vgl. die schon oft zitierte Arbeit von *Fröhlich* ⁽¹⁰⁾ und ⁽¹¹⁾. Sowie *Köhler* ⁽²⁹⁾ S. 24f. und ⁽³⁰⁾ S. 102, 131f. [ferner *Köhlers* neueste Schrift: *Die physischen Gestalten im Ruhe und im stationären Zustand*. Braunschweig 1920, S. 223f. Nachträglicher Zusatz]. Vgl. auch *Bidwell* ⁽⁴⁾ S. 141.

Sehorgan würde also auf stetige¹⁾ Reize mit oszillatorischen Erregungen reagieren, Frequenz und Amplitude der Oszillation sowie die Stärke der Reaktion überhaupt wären Funktionen des Reizes²⁾. Sind die Reize selber oszillatorisch (sukzessiv-periodisch), so würde dann ein kontinuierlicher Eindruck entstehen, wenn die Reizfrequenz und die Erregungsfrequenz irgendwie zusammenpassen. Wann dies der Fall ist, darüber wollen wir uns noch jeder Vermutung enthalten, ehe nicht eine Reihe von Verschmelzungsproblemen experimentell gelöst ist.

Zur gleichen Hypothese führen nun auch die Tatsachen des Bewegungssehens. Wir konnten zeigen, daß für „wirkliche“ Bewegung die gleichen Gesetze gelten wie für kinematographische, unsere zwei Formeln (1) und (9) hatten den gleichen Inhalt³⁾. Ein Unterschied schien nur darin zu liegen, daß die Größe p , die Pause zwischen zwei Reizen, bei der wirklichen Bewegung verschwand. Dieser Unterschied wird aber aufgehoben, sobald wir annehmen, daß der Vorgang des Sehens selbst oszillatorisch verläuft, so daß eine „Arbeits“- und eine „Ruhe“-phase periodisch aufeinanderfolgen. Danach wäre also das *Opt* bei der einfachen Anordnung von *Wertheimer* oder *Korte* der Typus für das Bewegungssehen. Die Theorie auch für wirkliche Bewegung hätte an ihn anzuknüpfen. So ließe sich eine Brücke zwischen Bewegungs- und Verschmelzungstatsachen schlagen.

Die Theorie, die im vorigen dieser Beiträge etwas genauer verfolgt wurde, beruhte ja auf diesem typischen Fall. Sie hat nunmehr die Resultate dieser Arbeit in sich aufzunehmen; d. h. 1. das Zonengesetz bei kleinem p zu erklären, 2. die quantitativen Zusammenhänge, die wir neu gefunden haben, zu berücksichtigen, 3. eine Ableitung der Verschmelzungstatsachen zu gestatten. Die Lösung dieser Aufgaben muß einem Zeitpunkt vorbehalten bleiben, an dem unsere Tatsachenkenntnis noch größer geworden ist⁴⁾.

Nur ein Punkt sei herausgegriffen. Es war angenommen worden, daß die Geschwindigkeit der Erregungsausbreitung w eine geringere sei, solange der Reiz andauere, als nach seinem Aufhören⁵⁾, solange die Expositionszeit nicht einen Minimal-

¹⁾ Nun ist ein stetiger Lichtreiz physikalisch betrachtet auch ein oszillatorischer Vorgang, *Fröhlich* [(¹¹) S. 436] hat daher auch schon die These aufgestellt, daß durch die lichtempfindlichen Teile der Netzhaut diese hochfrequenten Reize in weniger frequente Erregungen transformiert werden.

²⁾ Für dies Problem scheint der Befund von *Katz* von großer Bedeutung, daß unter den Bedingungen der „Farbentransformation“ nicht die resultierende *Helligkeit*, sondern die resultierende *Eindränglichkeit* durch das *Talbotsche* Gesetz bestimmt ist: (²¹) S. 150.

³⁾ Vgl. oben S. 97.

⁴⁾ Relativ leicht läßt sich Formel (6) (siehe S. 94) einfügen. Wir setzten w proportional der Stärke der Hirnerregung J und diese proportional der Reizstärke i . Nur diese letzte Annahme brauchen wir zu ändern und dafür die an sich sehr naheliegende logarithmische Beziehung $J \sim \log i$ anzusetzen.

⁵⁾ (²⁵) S. 268f., 270.

wert unterschreite, jenseits dessen die Erregungsintensität, der wir ja w proportional setzten, noch dem $\int_0^e i dt$ entsprechen müsse¹⁾. Aus seinen Versuchen über Verschmelzung kommt dagegen *Martius*²⁾ zu dem Schluß, daß die Geschwindigkeit der von Lichtreizen hervorgerufenen Erregungen nicht nur mit der Intensität, sondern auch mit der Dauer der Reize zunehme. Wäre dieser Schluß zwingend, so könnte unsere Annahme nicht mehr für die Verschmelzungstatsachen aufrecht erhalten werden. Tatsächlich aber sind die Resultate von *Martius* mit unseren Annahmen durchaus verträglich. Nur so lange die Reizdauern die „Maximalzeiten“ noch nicht erreichen, muß man eine Steigerung der Geschwindigkeit mit der Dauer annehmen, ganz so, wie es auch von *Koffka* getan wurde. Dagegen ist aus den Tabellen von *Martius*³⁾ ersichtlich, daß, sobald die Reizdauer übermaximal ist, mit wachsendem e auch $t = e + p$ wächst, mit wachsendem p dagegen abnimmt. Ein solches Verhalten folgt aber auch aus *Koffkas* Theorie. Setzt man in seiner Formel (12)⁴⁾ σ , S und w konstant, d. h. fragt man, wie sich die zeitlichen Größen gegeneinander verändern müssen, wenn ein bestimmtes Stadium bleiben soll, so erhält man, da auch $\gamma > 1$ eine konstante Größe ist, folgendes:

$$\sigma = \frac{\delta + wp + \frac{we}{\gamma}}{1 + \frac{1}{\gamma}}. \quad (12)$$

Unter der angegebenen Bedingung folgt daraus:

$$p + \frac{e}{\gamma} = C,$$

$$p = C - \frac{e}{\gamma}, \text{ woraus durch Differentiation } \frac{dp}{de} = -\frac{1}{\gamma}, \quad (a)$$

$$\text{und } \frac{de}{dp} = -\gamma, \quad (b)$$

$$p + e = C + e\left(1 - \frac{1}{\gamma}\right), \text{ woraus durch Differentiation } \frac{d(e+p)}{de} = 1 - \frac{1}{\gamma}, \quad (c)$$

$$\gamma p + e = k,$$

$$e + p = k + p(1 - \gamma), \quad \text{,,} \quad \text{,,} \quad \text{,,} \quad \frac{d(e+p)}{dp} = 1 - \gamma. \quad (d)$$

Aus (a) und (b) sieht man, daß zu großem e kleines p gehört und umgekehrt, aus (c), daß $t = e + p$ wächst, wenn e wächst, denn da $\gamma > 1$, so ist $1 - \frac{1}{\gamma} > 0$, und aus (d), daß t kleiner wird, wenn p wächst, was in völliger Übereinstimmung mit den Befunden von *Martius* steht. Aus ihnen kann also kein Einwand gegen unsere Hypothese abgeleitet werden.

¹⁾ Wie Stigler [(⁶⁰) S. 139] gezeigt hat, gibt es einen Maximalwert von e , bei dem ∂ ein Maximum wird. Steigt e noch weiter, so nimmt ∂ wieder ab. Auch der Zusammenhang dieser Tatsache mit unserer Theorie verdient eine nähere Untersuchung.

²⁾ (⁴¹) S. 341—342.

³⁾ (⁴¹) S. 339—340.

⁴⁾ (²⁵) S. 275.

Anhang.

§ 19. Der stroboskopischen Bewegung im allgemeinen und den Korteschen Resultaten im besonderen stellt sich ein weiteres Problem entgegen. Zu welcher *objektiven* Zeit tritt die Wahrnehmung auf? Dies Problem ist im Hinblick auf Zeitverschiebungen, auf Komplikation, ausgiebig bearbeitet worden¹⁾, für stroboskopische Bewegung, und zwar sowohl optische wie taktile, hat es *Benussi* letztthin aufgegriffen²⁾. Schließlich haben die Reaktionsversuche alle mehr oder weniger Beziehung zu diesem Problem, und es kam uns der Gedanke, gerade die Reaktionsversuche mit den Ergebnissen *Kortes* in bezug auf das gesamte Problem zusammenzubringen. Denken wir an die δ -Bewegung. Hier wird zunächst eine Bewegung gesehen, die entgegengesetzt ist der durch die Sukzession der Reize bedingten, der erste Reiz kann also erst zu seiner Bewußtseinswirkung kommen, nachdem der zweite schon zu wirken begonnen hat, oder, um uns richtiger auszudrücken, die „Bewußtseinswirkung“ der Reizkombination kann erst beginnen, nachdem der zweite Reiz eingewirkt hat. Die Wirkung des ersten Reizes, wenn man wieder atomistisch sprechen will, ist verzögert, und zwar meßbar verzögert, insofern als die Verzögerung größer sein muß als $e_1 + p$. Wir denken ferner an die schon in der Anmerkung berührten Fälle. Ist $e_1 = p = e_2 = 37 \sigma$, so sieht man *Sim*, wird jetzt e_2 auf 183σ erhöht bei unverändertem e_1 und p , so tritt *Opt* ohne betonte Anfangslage auf. D. h. wieder, die Wahrnehmung kann erst eintreten, nachdem der größte Teil von e_2 schon vergangen ist — ist nämlich $e_2 = 110 \sigma$, so ist noch kein *Opt* vorhanden. Endlich läßt sich ein analoges Argument auch aus dem dritten Korteschen Gesetz entnehmen. Man kann danach *Sim* dadurch in *Opt* oder *Suk* verwandeln, daß man den Reizabstand verkleinert, und muß, um wieder *Sim* zu haben, die Pause verkürzen. Atomistisch gesprochen war also die Wirkung des ersten Reizes im ersten Fall gegenüber dem zweiten verzögert.

Wir stellten nun die Frage, ob sich ähnliche Veränderungen auch auf dem Gebiet der Reaktionsversuche würden finden lassen, und widmeten im August und September 1915 dieser Frage einige Versuche, die bald durch äußere Umstände unterbrochen wurden, die hier daher nur anhangsweise und ganz kurz mitgeteilt sein sollen, mehr im Sinn einer Anregung als unter der Flagge fester Ergebnisse.

¹⁾ Wir gehen hier nicht darauf ein, verzeichnen nur, daß *Moede* die Existenz einer festen Leitungszeit leugnet (⁴³) S. 467.

²⁾ (³) S. 99 ff. Für *Kortes* Versuchsbedingungen zum mindesten treffen aber *B.s* Sätze nicht zu. Daß die Bewegung nicht in erster Linie von den Reizeinsätzen abhängt, zeigen die Versuche *Kortes* (³¹) S. 269, bei denen *Sim* in *Opt* verwandelt wird ohne Veränderung von p und ohne Veränderung des zeitlichen Abstandes der Reizeinsätze, allein durch Verlängerung der Dauer des zweiten Reizes. Man kann also nicht auf eine Verfrühung, sondern muß auf eine Verspätung der Bewegung schließen.

Wir stellten Versuche an über sensorielle Reaktionen auf Lichtreize, bei denen die Aufmerksamkeit in bestimmter und von Versuch zu Versuch variabler Weise postiert werden konnte. In den meisten Reihen war außer dem *Signal-Reiz S*, auf den durch Loslassen eines Morsetasters reagiert wurde, noch ein *Fixations-Reiz F* und ein dritter Reiz *A* vorhanden, der in bestimmten Fällen zur Postierung der Aufmerksamkeit diente. *F* war stets in der Mitte zwischen *A* und *S*. Vor dem Beobachter standen drei elektrische Lampen, jede durch einen Schirm mit einem kleinen, papier-beklebten Loch verdeckt. Die mittlere Lampe *F* brannte dauernd, ebenso in den meisten Versuchen die linke Lampe *A*.¹⁾ Die rechte *S* wurde gleichzeitig mit dem *Hipp*schen Chronoskop eingeschaltet, und zwar dadurch, daß Chronoskop- und Lampenstrom einpolig über zwei verschiedene Bügel einer *Pohl*schen Wippe geführt wurden. Der Chronoskopstrom ging dann noch durch den von der Vp. bedienten Morsetaster. In einigen Fällen leuchteten *A* und *S* gleichzeitig auf, der Strom für *A* lief dann durch den gleichen Bügel der Wippe wie der von *S*. Die Versuchsperson saß im Abstand von ca. 1 m vor den Lampen und hatte Antiphone in den Ohren, um das Einschnappen der Zeigerachse im Chronoskop nicht zu hören. Zur Kontrolle angestellte Vexierversuche, bei denen das Chronoskop ohne Lampe *S* eingeschaltet wurde, führten nie zu Fehlreaktionen. Als Versuchspersonen dienten abwechselnd die beiden Verfasser. Zum Vergleich wurden auch Reihen mit nur einer und mit zwei Lampen angestellt. In beiden Fällen lag Fixation und Aufmerksamkeit auf *S*.

Die folgende Tabelle enthält eine Übersicht über die verschiedenen Reihen, und zwar lediglich über die Anordnungen, nicht über die Ergebnisse. *A*, *F*, *S* haben die angegebene Bedeutung. Wo *F* vorhanden war, diente sie zur Fixation. Die Lampe, die die Aufmerksamkeit trug, ist durch einen Strich bezeichnet, also *A* oder *F*. Waren nur *A* und *S* vorhanden, so trug *S* Fixation und Aufmerksamkeit, was durch zwei Striche gekennzeichnet ist. Eine *A* und *S* verbindende Klammer heißt, daß *A* nicht dauernd brannte, sondern mit *S* gleichzeitig aufleuchtete. Die Zahlen zwischen den Buchstaben für die Lampen geben in Zentimetern den Abstand der betreffenden Lampen an. Jede Reihe bestand aus 20 Einzelreaktionen, einige Reihen wurden doppelt ausgeführt.

Tabelle 37.

I		II			
a	b	a	b	c	d
$\overline{S}$	$\overline{A \overline{S}}$	$\overline{A 60 F 20 \overline{S}}$	$\overline{A 60 F 60 \overline{S}}$	$\overline{A 60 F 100 \overline{S}}$	$\overline{A 60 F 60 \overline{S}}$
III		IV			
a	b	c	d	a	b
$\overline{A 60 F 20 S}$	$\overline{A 60 F 60 S}$	$\overline{A 60 F 100 S}$	$\overline{A 60 F 60 S}$	$\overline{A 20 F 100 S}$	$\overline{A 40 F 100 S}$
				$\overline{A 60 F 100 S}$	

Vier Gruppen sind zu unterscheiden. In I ist *S* fixiert beachtet, in II ist *F* fixiert, *S* beachtet, in III und IV ist *F* fixiert, *A* beachtet, aber in III, wie in II, der Abstand *FS*, in IV der Abstand *AF* verändert.

Die Streuung der einzelnen Werte ist zumeist sehr groß. Um einen wirklichen Einblick in das Material zu geben, wären sehr weitläufige Erörterungen erforderlich, die zur Sicherheit der Ergebnisse in keinem Verhältnis stehen würden. Wir begnügen uns daher damit, kurz anzugeben, für welche Ergebnisse wir in den Zahlen Anhaltspunkte zu finden glauben.

§ 20. Unsere Versuchsreihen sind darauf angelegt, das erste und letzte den *Kort*eschen Versuchen entnommene Problem auf das Gebiet der Reaktionsversuche

¹⁾ Gelegentlich wurde die Raumlage vertauscht, *A* war rechts, *S* links.

zu übertragen. Der Einfluß verschieden postierter Aufmerksamkeit und des veränderten Abstandes zwischen den Wahrnehmungsobjekten sollte geprüft werden. Unter diesem Gesichtspunkt teilen wir, mit den schon betonten Vorbehalten, die Resultate mit:

1. Ein unbeachteter Nebenreiz kann eine Verlängerung der Reaktionszeit (um ca. 30 σ) ergeben.

2. Wird der gleiche Nebenreiz fixiert und noch ein dritter unbeachteter hinzugefügt, so ergibt sich eine weitere Verlängerung (ca. 80 σ).

3. Wird die Aufmerksamkeit vom Signalreiz *S* auf den Nebenreiz *A* übertragen, so ergibt sich gleichfalls eine Verlängerung der Reaktionszeit (ca. 80 σ).

4. Wird *S* beachtet, unter Fixation von *F*, so wird durch eine Vergrößerung des Abstandes *F S* von 20 auf 60 cm die Reaktionszeit verlängert (ca. 70 σ). Weitere Vergrößerung des Abstandes blieb wirkungslos.

5. Wird *A* beachtet, so wird durch eine Vergrößerung des Abstandes *F S* von 20 auf 60 cm die Reaktionszeit (um ca. 80 σ) verlängert, bei einer weiteren Vergrößerung des Abstandes auf 100 cm tritt eine weitere Verlängerung ein (ca. 20 σ).

6. Die längsten und die kürzesten Reaktionszeiten unterschieden sich im Mittel um über 200 σ .

Diese Resultate sprechen dafür, daß den Kortescen Befunden parallele Erscheinungen sich auch auf dem Gebiet der Reaktionszeiten feststellen lassen. Auch quantitativ sind unsere Befunde mit denen Kortess verträglich. Von einer weiteren Diskussion sehen wir hier ab, erwähnen nur, daß sich von hier aus eine Brücke zu Benussis Begriff der Gestaltzeit¹⁾ wird schlagen lassen.

(Abgeschlossen im März 1920.)

Literaturverzeichnis.

- ¹⁾ Baader, E. G., Über die Empfindlichkeit des Auges für Lichtwechsel. Freiburg Diss. 1891. — ²⁾ Benussi, V., Stroboskopische Scheinbewegungen und geometrisch-optische Gestalttäuschungen. Arch. f. d. ges. Psychol. **24**. 1912. — ³⁾ Benussi V., Versuche zur Analyse taktil erweckter Scheinbewegungen (kinematohaptische Erscheinungen). Arch. f. d. ges. Psychol. **36**. 1916. — ⁴⁾ Bidwell, Sh., On the Recurrent Images following Visual Impressions. Proc. Roy. Soc. **56**. 1894. — ⁵⁾ Charpentier, A., Recherches sur la Persistence des Impressions Rétiniennes et sur les Excitations de Courte Durée. Arch. d'Ophthal. **10**. 1890. — ⁶⁾ Dürr, E., Über die stroboskopischen Erscheinungen. Phil. Stud. **15**. 1900. — ⁷⁾ Ferry, E. S., Persistence of Vision. Amer. Journ. of Science 3 Series **44**. 1892. — ⁸⁾ Fick, A., Die Lehre von der Lichtempfindung. Hermanns Handb. d. Physiol. **3**, 1. 1879. — ⁹⁾ Fischer, O., Psychologische Analyse der stroboskopischen Erscheinungen. Phil. Stud. **3**. 1886. — ¹⁰⁾ Fröhlich, F. W., Beiträge zur allgemeinen Physiologie der Sinnesorgane. Zeitschr. f. Sinnesphysiol. **48**. 1914. — ¹¹⁾ Fröhlich, F. W., Weitere Beiträge zur allgemeinen Physiologie der Sinnesorgane. Ebenda. — ¹²⁾ Gildemeister, M., Über einige Analogien zwischen der Wirkung optischer und elektrischer Reize. Zeitschr. f. Sinnesphysiol. **48**. 1914. — ¹³⁾ Gildemeister, M., Über die Wahrnehmung von Lichtlücken. Ebenda. — ¹⁴⁾ Goldschmidt, R. H., Quantitative Untersuchungen über positive Nachbilder. Psych. Stud. **6**. 1910. — ¹⁵⁾ Grünbaum, O. F. F., On Intermittent Stimulation of the Retina Part I. Journ. of Physiol. **21**. 1897. — ¹⁶⁾ Grünbaum, O. F. F., On Intermittent Stimulation of the Retina Part. II. Ebenda **22**. 1897/98. — ¹⁷⁾ v. Helmholtz, H., Handbuch der physiologischen Optik. 3. Aufl. 3 Bde.

¹⁾ (2) S. 54.

Ergänzt und herausgegeben in Gemeinschaft mit A. Gullstrand und J. v. Kries von W. Nagel. Hamburg und Leipzig 1909. — ¹⁸⁾ Hering, E., Zur Lehre vom Lichtsinne. (Zweiter unveränderter Abdruck.) Wien 1878. — ¹⁹⁾ Hering, E. Der Raumsinn und die Bewegungen des Auges. Hermanns Handb. d. Physiol. **3**, 1. 1879. — ²⁰⁾ Ives, H. E., Visual Diffusivity. Phil. Mag. **33**, Nr. 193. 1917. — ²¹⁾ Katz, D., Die Erscheinungsweisen der Farben und ihre Beeinflussung durch die individuelle Erfahrung. Erg.-Bd. **7** der Zeitschr. f. Psychol. Leipzig 1911. — ²²⁾ Koffka, K., Zur Analyse der Vorstellungen und ihrer Gesetze. Leipzig 1912. — ²³⁾ Koffka, K., Beiträge zur Psychologie der Gestalt- und Bewegungserlebnisse, Einleitung. Zeitschr. f. Psychol. **67**. 1913. — ²⁴⁾ Koffka, K., Zur Grundlegung der Wahrnehmungspsychologie. Beitr. III. Zeitschr. f. Psychol. **73**. 1915. — ²⁵⁾ Koffka, K., Zur Theorie einfachster gesehener Bewegungen. Ein physiologisch-mathematischer Versuch. Beitr. IV. Zeitschr. f. Psychol. **82**. 1919. — ^{25a)} Koffka, K., Beiträge zur Psychologie der Gestalt, Bd. 1. Sonderausg. der Beiträge, Einleitung und I—IV mit Vorwort. Leipzig 1919. — ²⁶⁾ Koffka, K., Probleme der experimentellen Psychologie. I. Die Unterschiedsschwelle. Die Naturwissensch. **5**. 1917. — ²⁷⁾ Koffka, K., Probleme der experimentellen Psychologie. II. Über den Einfluß der Erfahrung auf die Wahrnehmung. Ebenda **7**. 1919. — ²⁸⁾ Köhler, W., Über unbemerkte Empfindungen und Urteilstäuschungen. Zeitschr. f. Psychol. **66**. 1913. — ²⁹⁾ Köhler, W., Psychologische Beiträge zur Phonetik. Arch. f. experim. u. klin. Phonetik **1**. 1913. — ³⁰⁾ Köhler, W., Akustische Untersuchungen III. Zeitschr. f. Psychol. **72**. 1915. — ³¹⁾ Korte, A., Kinematoskopische Untersuchungen. Beitr. her. v. K. Koffka II. Zeitschr. f. Psychol. **72**. 1915. — ³²⁾ v. Kries, J., Die Gesichtsempfindungen. Nagels Handb. d. Physiol. d. Menschen **3**. Braunschweig 1905. — ³³⁾ v. Kries, J., Zusätze zu Helmholtz Nr. 17. — ³⁴⁾ Linke, P. F., Die stroboskopischen Täuschungen und das Problem des Sehens von Bewegungen. Psychol. Stud. **3**. 1907. — ³⁵⁾ Linke, P. F., Grundfragen der Wahrnehmungslehre. München 1918. — ³⁶⁾ Marbe, K., Zur Lehre von den Gesichtsempfindungen, welche aus sukzessiven Reizen resultieren. Phil. Stud. **9**. 1894. — ³⁷⁾ Marbe, K., Theorie des Talbotschen Gesetzes. Ebenda **12**. 1896. — ³⁸⁾ Marbe, K., Tatsachen und Theorien des Talbotschen Gesetzes. Arch. f. d. ges. Physiol. **97**. 1903. — ³⁹⁾ Marbe, K., W. Wundts Stellung zu meiner Theorie der stroboskopischen Erscheinungen und zur systematischen Selbstwahrnehmung. Zeitschr. f. Psychol. **46**. 1908. — ⁴⁰⁾ Marbe, K., Theorie der kinematographischen Projektionen Leipzig 1910. — ⁴¹⁾ Martius, G., Über die Dauer der Lichtempfindung. Beitr. z. Psychol. u. Philos. her. v. Martius **1**, 3. 1902. — ⁴²⁾ Minnemann, C., Untersuchungen über die Differenz der Wahrnehmungsgeschwindigkeiten von Licht- und Schallreizen. Arch. f. d. ges. Psychol. **20**. 1911. — ⁴³⁾ Moede, W., Zeitverschiebungen bei kontinuierlichen Reizen. Psychol. Stud. **8**. 1913. — ⁴⁴⁾ Müller, G. E., Zur Psychophysik der Gesichtsempfindungen. Zeitschr. f. Psychol. **10**. 1896. — ⁴⁵⁾ Nagel, W., Zusätze zu Helmholtz Nr. 17. — ⁴⁶⁾ Pauli, R., und W. E., Physiologische Optik. Jena 1918. — ⁴⁷⁾ Pikler, J., Sinnesphysiologische Untersuchungen. Leipzig 1917. — ⁴⁸⁾ Piper, H., Über Dunkeladaptation. Zeitschr. f. Psychol. **31**. 1903. — ⁴⁹⁾ Porter, T. C., Contributions to the Study of Flicker; Paper II. Proc. Roy. Soc. **70**. 1902. — ⁵⁰⁾ Ruppert, L., Ein Vergleich zwischen dem Distinktionsvermögen und der Bewegungsempfindlichkeit der Netzhautperipherie. Zeitschr. f. Sinnesphys. **42**. 1908. — ⁵¹⁾ Rutenburg, D., Über die Netzhautreizung durch kurzdauernde Lichtblitze und Lichtlücken. Zeitschr. f. Sinnesphysiol. **48**. 1914. — ⁵²⁾ Schenk, F., Über intermittierende Netzhautreizung. 1. Mitteilung. Arch. f. d. ges. Physiol. **64**. 1896. — ⁵³⁾ Schenk, F., Über intermittierende Netzhautreizung. 3.—7. Mitteilung. Ebenda **68**. 1897. — ⁵⁴⁾ Schenk, F., Über intermittierende Netzhautreizung. 8. Mitteilung. Ebenda **77**. 1899. — ⁵⁵⁾ Schenk, F., Über intermittierende

Netzhautreizung. 10 Mitteilung, zusammen mit W. Just. Ebenda **90**. 1902. — ⁵⁶⁾ Schenk, F., Über intermittierende Netzhautreizung. 11. Mitteilung. Ebenda **104**. 1904. — ⁵⁷⁾ Sherrington, C. S., On Reciprocal Action in the Retina as Studied by means of some Rotating Discs. Journ. of Physiol. **21**. 1897. — ⁵⁸⁾ Sherrington, C. S., Observations on Flicker in Binocular Vision. Proc. Roy. Soc. **71**. 1903. — ⁵⁹⁾ Stigler, R., Chronophotische Studien über den Umgebungscontrast. Arch. f. d. ges. Physiol. **134**. 1910. — ⁶⁰⁾ Stigler, R., Über den physiologischen Proportionalitätsfaktor, nebst Angabe einer neuen subjektiven Photometriermethode. Zeitschr. f. Sinnesphysiol. **44**. 1910. — ⁶¹⁾ Stout, G. F., A Manual of Psychology, 3 Ed. London 1913. — ⁶²⁾ Waller, A. D., On the Retinal Currents of the Frog's Eye, Excited by Light and Excited Electrically. Phil. Trans. Roy. Soc. Series B **193**. 1900. — ⁶³⁾ Wertheimer, M., Experimentelle Studien über das Sehen von Bewegungen. Zeitschr. f. Psychol. **61**. 161. ff 1912. Auch als Frankf. Hab.-Schrift. Nach dieser zitiert. — ⁶⁴⁾ Witasek, St., Psychologie der Raumwahrnehmung des Auges. Die Psychol. in Einzeldarst. her. von H. Ebbinghaus und E. Meumann, II. Heidelberg 1910. — ⁶⁵⁾ Zipkin, D., Über die Wirkung von Lichtlücken auf größere Netzhautbezirke. Zeitschr. f. Sinnesphys. **49**. 1916. — ⁶⁶⁾ Zoth, O., Augenbewegungen und Gesichtswahrnehmungen. Nagels Handb. d. Physiol. d. Menschen **3**. Braunschweig 1905.

(Abgeschlossen im April 1920.)