

Untersuchungen über psychische Hemmung.

Von

G. HEYMANS.

Erster Artikel.

(Mit 17 Figuren.)

Inhalt.

	Seite
Einleitung	321
I. Die Verdrängung von Empfindungen durch andere, local mit jenen zusammenfallende, aber qualitativ davon verschiedene Empfindungen	326
1. Farbenempfindungen	326
2. Geschmacksempfindungen	338
3. Schallempfindungen	351
II. Folgerungen: die Reizschwelle	356

Einleitung.

Mit dem Worte psychische Hemmung bezeichne ich die allgemeine Thatsache, daß ein Bewußtseinsinhalt durch das gleichzeitige Gegebensein eines anderen Bewußtseinsinhaltes einen Intensitätsverlust erleidet, also entweder geschwächt, oder vollständig aus dem Bewußtsein verdrängt wird. Mit der experimentellen Untersuchung dieser Thatsache beschäftige ich mich seit mehreren Jahren; einige vorläufige Ergebnisse derselben habe ich im Jahre 1892 auf dem Londoner Psychologencongress mitgetheilt.¹ Jetzt bin

¹ *International Congress of Experimental Psychology*, Second Session, London 1892, S. 109—115: Ueber das Verhältniß des WEBER'schen Gesetzes zu den Erscheinungen der Vorstellungshemmung. — Indem das letzte Wort den Schein erwecken könnte, als ob es blos oder vorzugsweise die Hemmung von Erinnerungsvorstellungen bedeuten sollte, habe ich es hier durch „psychische Hemmung“ ersetzt.

ich im Stande, ein mehrere Sinnesgebiete umfassendes, nach verschiedenen Methoden gewonnenes, jedoch einer allgemeinen Gesetzmäßigkeit sich unterordnendes Thatsachenmaterial den Fachgenossen vorzulegen. Allerdings sind auch jetzt noch meine Untersuchungen weit davon entfernt, ihren Abschluß erreicht zu haben. Einerseits halte ich es für wahrscheinlich, daß das im Folgenden zu erörternde Hemmungsgesetz ein viel größeres Thatsachengebiet umspannt als dasjenige, über welches hier berichtet werden soll; andererseits möchte ich auch meine bisherigen Untersuchungen nur als eine Art Pionierarbeit angesehen haben, welche zwar die vorliegenden allgemeinen Abhängigkeitsverhältnisse festgestellt, keineswegs aber in der Bestimmung der für die besonderen Fälle geltenden Constanten höchste Genauigkeit erreicht zu haben beansprucht. Letzterem Mangel abzuhelpfen, muß ich den größeren, über ein zahlreiches Versuchspersonal verfügenden Laboratorien überlassen; in Bezug auf den ersteren hoffe ich innerhalb nicht zu langer Zeit Ergebnisse weiterer, zum Theil bereits angefangener oder abgeschlossener, zum Theil auch bloß geplanter Versuche veröffentlichen zu können.

Es wird nützlich sein, der Erörterung specieller Hemmungsverhältnisse einige orientirende Beispiele aus der alltäglichen Erfahrung vorzuschicken, und nachzusehen, was dieselben uns in Bezug auf die allgemeinen Bedingungen der Hemmung lehren können. Ich beschränke mich dabei auf das Gebiet, wo solche Beispiele sich am leichtesten darbieten, und von welchem auch in diesem ersten Artikel ausschließlichs die Rede sein wird, nämlich dasjenige der Verdrängung sinnlicher Empfindungen und Gefühle durch andere von gleicher Modalität. Schon HIPPOCRATES lehrte, daß von zwei an verschiedenen Körperstellen auftretenden Schmerzen der stärkere den schwächeren unter Umständen vollständig unmerklich macht; ebenso kann die Anwendung eines intensiven Kältereizes ein Schmerzgefühl momentan zum Verschwinden bringen. Das in der Stille der Nacht deutlich wahrnehmbare Ticken der Uhr läßt sich aus dem Tageslärm kaum, und während einer Musikausführung überhaupt nicht mehr unterscheiden; führt man einen starken elektrischen Strom durch die eine, und einen schwächeren durch die andere Hand, so wird letzterer nicht bemerkt. Schließt man beide Augen, so hat man deutlich die Empfindung des Schwarzen; schließt man dagegen bloß ein Auge, so wird die Schwarzempfindung dieses Auges

durch die Lichtempfindung des anderen Auges vollständig verdrängt, und man sieht mit dem geschlossenen Auge so wenig wie mit dem Finger oder dem Rücken. Es wäre leicht die Beispiele zu häufen; das Angeführte wird jedoch zum Zwecke der vorläufigen Orientirung genügen.

Ueber die allgemeinen Bedingungen, denen der Verdrängungsprocess unterliegt, läßt sich nun aus den angeführten Thatsachen schon soviel erkennen, daß einmal die den Empfindungen zukommenden Intensitäten und Gefühlstöne, sodann auch die jeweilige Richtung der willkürlichen Aufmerksamkeit darunter eine wichtige Stelle einnehmen. Wenn die oben erwähnten hemmenden Reize allmählich abgeschwächt werden, so treten die anfangs gehemmten Empfindungen alsbald wieder ins Bewusstsein; das Nämliche findet statt, wenn man die Intensität der gehemmten Reize allmählich zunehmen läßt. Ein merklicher Gefühlston der zu hemmenden Empfindung wirkt, ebenso wie die Richtung der Aufmerksamkeit auf dieselbe, der Hemmung entgegen; haftet dagegen der hemmenden Empfindung ein bedeutender Gefühlston an, oder wird die Aufmerksamkeit derselben zugewendet, so wird dadurch der Hemmungsprocess begünstigt. Es läßt sich vermuthen, daß neben diesen Factoren auch die Qualitäten der Reize einen Einfluß haben werden; doch kann hierüber die einfache Selbstbeobachtung kaum etwas Sicheres lehren.

Man wird vielleicht bemerken, daß die hier aufgezählten Factoren sich sämmtlich auf Einen zurückführen lassen, insofern auch Intensität, Gefühlston und Qualität der Empfindungen die Hemmung nur dadurch beeinflussen, daß sie die Aufmerksamkeit mehr oder weniger von dem wahrzunehmenden Reize ab- oder auf denselben hinlenken. Dem mag so sein; es ist aber zu bedenken, daß die zwischen jene Factoren und die Hemmungswirkung eingeschobene „Aufmerksamkeit“ vielleicht ein unentbehrlicher Hilfsbegriff, aber gewiß keine für sich wahrnehmbare und meßbare Bewusstseinserscheinung ist. Eine auf die Feststellung exacter Gesetze ausgehende Untersuchung wird sich demnach, statt auf die Aufmerksamkeit selbst, auf die dieselbe bestimmenden Factoren, welche sich theils in meßbarer Weise variiren, theils constant erhalten lassen, richten müssen. Dementsprechend habe ich zunächst versucht, die Gesetze zu ermitteln, welche die Abhängigkeit der hemmenden Wirkung

von der Intensität des Hemmungsreizes beherrschen. Es lag nahe, dabei als Maass der Hemmungswirksamkeit die Erhöhung der Reizschwelle zu verwenden, welche durch Einführung des Hemmungsreizes sich ergibt; die concrete Frage, über welche Aufklärung gesucht wurde, ist also diese: nach welchem Gesetze diese Erhöhung der Reizschwelle von der Intensität des sie bewirkenden Hemmungsreizes abhängt. — Bei den zur Beantwortung dieser Frage angestellten Versuchen war selbstverständlich genau darauf zu achten, dass Variationen der sonstigen mitwirkenden Factoren, also der Qualität, des Gefühlstons und der Richtung der willkürlichen Aufmerksamkeit, entweder ausgeschlossen oder in anderer Weise unschädlich gemacht wurden. In Bezug auf die Qualität hatte dies keine Schwierigkeit. Was den Gefühlston betrifft, so kam ein solcher den zu hemmenden Empfindungen, welche sich ohne Ausnahme in der Nähe der Reizschwelle befinden, in merklicher Weise überhaupt nicht zu, während die Hemmungsreize soviel wie möglich unterhalb der Grenze gehalten wurden, wo Unlustgefühle anfangen aufzutreten; kam letzteres dennoch vor, so wurde es gewissenhaft protokolliert. Nur bei den Geschmacksempfindungen liessen sich Lust- oder Unlustgefühle auch bei den geringeren Intensitäten der Hemmungsreize nicht vermeiden; die Wirkung derselben scheint aber innerhalb weiter Grenzen derjenigen der Intensität parallel zu gehen; wenigstens enthielten die Versuchsergebnisse keine Anweisung, die beiden Einflüsse zu sondern. Was schliesslich die Richtung der willkürlichen Aufmerksamkeit anbelangt, so gab es, wenn jede Unsicherheit vermieden werden sollte, nur zwei Wege: entweder es musste vorgeschrieben werden, die Aufmerksamkeit stets der zu hemmenden schwachen Empfindung, oder aber dieselbe stets der hemmenden stärkeren Empfindung möglichst zuzuwenden. Ich wählte die erstere, für die Versuchsperson bequemere und grössere Gleichmässigkeit der Ergebnisse versprechende Methode, obgleich dieselbe den Nachtheil hat, die Hemmungswirksamkeit möglichst herabzusetzen und dementsprechend die Feststellung gesetzlicher Beziehungen bedeutend zu erschweren. Mit Rücksicht hierauf habe ich geglaubt, meine Untersuchungen zunächst auf die Hemmungsverhältnisse zwischen gleichartigen Reizen, welche an einer oder an benachbarten Stellen angreifen, beschränken zu müssen, indem hier die Concentration

der Aufmerksamkeit auf die zu hemmende Empfindung zugleich der hemmenden Empfindung mehr oder weniger zu gute kommt. Wenn man auch die Hemmungsverhältnisse zwischen Reizen, welche an weit auseinander liegenden Stellen angreifen, oder gar zwischen disparaten Reizen nach dieser Methode untersuchen wollte, so stände zu befürchten, daß die hemmenden Empfindungen durch die intensive Concentration der Aufmerksamkeit auf eine andere Körperstelle oder ein anderes Sinnesgebiet nahezu vollständig aus dem Bewusstsein verdrängt, und dementsprechend ihrer hemmenden Wirksamkeit für den größten Theil beraubt werden sollten. Für die allseitige Durchforschung des vorliegenden Gebietes wird es demnach unbedingt nothwendig sein, daß in Zukunft auch jener andere, schwierigere Weg, also derjenige der Entscheidung über die Merklichkeit der einen bei gleichzeitiger Concentration der Aufmerksamkeit auf die andere Empfindung, in irgend welcher Weise gangbar gemacht werde.

Das Schema, dem sich alle in diesem Artikel zu besprechenden Versuche einordnen, ist demnach Folgendes: es wird für eine bestimmte Empfindungsqualität erstens die einfache Reizschwelle, sodann die durch gleichzeitige Einwirkung eines in verschiedenen Intensitäten zur Anwendung gelangenden zweiten Reizes erhöhte Reizschwelle bestimmt; jene einfache wird von je einer dieser erhöhten Reizschwellen subtrahirt, und es wird gefragt, welche Beziehung zwischen den so erhaltenen Hemmungswirkungen und den entsprechenden Intensitäten des hemmenden Reizes besteht. Diesen hemmenden Reiz nenne ich im Folgenden den *Activreiz*, jenen anderen, auf welchen die Schwellenbestimmung sich bezieht, den *Passivreiz*; über die Frage, ob vielleicht auch dieser auf jenen irgendwelche hemmende Wirkung ausübt, wird durch diese Terminologie nicht präjudicirt. — Es wird vielleicht auffallen, daß hier und im Folgenden überall von Verhältnissen zwischen Reizgrößen die Rede ist, während doch die Hemmung als ein psychischer, zwischen Bewusstseinsinhalten und speciell zwischen Empfindungen stattfindender Proceß bestimmt wurde. Ich habe jene Fragestellung gewählt, um die Formulirung meiner Versuchsergebnisse in empirische Gesetze von allen unbewiesenen Voraussetzungen frei erhalten zu können. Ueber die Beziehung zwischen Reiz- und Empfindungsintensitäten läßt sich, wie mir scheint, zur Zeit noch nichts mit Sicherheit behaupten; indem nun nicht die Empfindungen, wohl aber die

Reize directer Messung zugänglich sind, lassen sich die vorliegenden thatsächlichen Verhältnisse, sofern denselben nichts Hypothetisches beigemischt werden soll, nur als Abhängigkeitsbeziehungen zwischen Reizgrößen darstellen. Uebrigens glaube ich, daß eben die Resultate dieser rein thatsächlichen Untersuchung über die Frage der Empfindungsintensität und ihrer Messung einiges Licht werden verbreiten können.

I. Die Verdrängung von Empfindungen durch andere, local mit jenen zusammenfallende, aber qualitativ davon verschiedene Empfindungen.

1. Farbenempfindungen.

Die in diesem Abschnitt zu besprechenden Untersuchungen hatten die Frage zu beantworten, ob und nach welchem Gesetze die Reizschwelle für eine bestimmte Farbe sich erhöht, wenn derselben andere intensiv abgestufte Farben von verschiedener Qualität beigemischt werden. Die Methode war diejenige der Minimaländerungen; als Versuchsmaterial dienten farbige Papiere, welche auf Papp- und Aluminiumscheiben festgeklebt, und mittels eines ZIMMERMANN'schen Rotationsapparates in rasche Drehung versetzt wurden.

Des näheren sind die verwendeten Apparate folgenderweise eingerichtet. Fünf mit mattschwarzem Papier beklebte kreisförmige Scheiben von 11 cm Durchmesser sind an der Peripherie mit einer Gradeintheilung versehen; auf jede Scheibe ist ein von zwei concentrischen Kreisbogen und zwei Radien begrenztes Papierstück $a b c d$ von weißer, rother, braungelber, grüner oder blauer Farbe angebracht, dessen eine radiale Grenze genau dem Nullpunkte der Gradeintheilung entspricht. Die im engeren Sinne farbigen Papiere (also alle mit Ausnahme des weißen und des schwarzen Papiere) wurden so gewählt bzw. durch Auftragen einer Schicht schwarzer Wasserfarbe verdunkelt, daß sie, nach der MARTIUS'schen Methode untersucht, annähernd gleiche

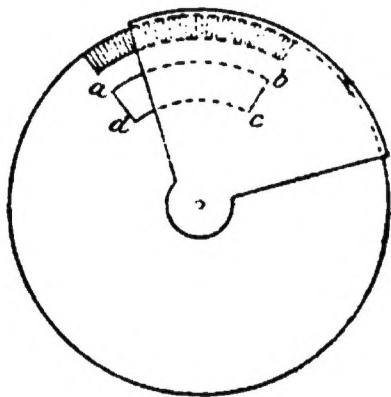


Fig. 1.

Helligkeit besaßen. Ferner gelangten sechszehn Sectorenscheiben aus Aluminiumblech zur Verwendung, von welchen eine (von 90°) mit mattschwarzem, und je drei (von 90° , 180° und 270°) mit Papier in den obengenannten fünf Farben beklebt sind. Wird nun (wie in der Figur dargestellt ist) eine Sectorenscheibe mit einer Kreisscheibe auf den Rotationsapparat befestigt, so kann durch Drehung der ersteren in Bezug auf die letztere der sichtbarbleibende Theil des auf dieser angebrachten farbigen Papierstücks beliebig variiert werden. Wird das Ganze in rasche Drehung versetzt, so gelangt ein farbiger Ring auf farbigem (oder bei Verwendung der schwarzen Sectorenscheibe auf schwarzem) Grund zur Wahrnehmung; letzterer ist in einem bestimmten Verhältniß (in der Figur 1:3) aus der Farbe der Sectorenscheibe und Schwarz gemischt, während in dem ersteren ein beliebig variirbarer Theil des Schwarz durch die Farbe des auf der Kreisscheibe angebrachten Papierstückes ersetzt worden ist. Durch allmähliche Verstellung der beiden Scheiben läßt sich der Punkt bestimmen, wo ein qualitativer Unterschied zwischen Ring und Grund eben merklich wird; das hierzu erforderliche Verhältniß der Farbenreize kann dann ohne Weiteres an der Gradeintheilung abgelesen werden.

Die Fragestellung war überall die gleiche: die Versuchsperson wurde aufgefordert zu entscheiden, ob zwischen Ring und Grund ein Qualitätsunterschied in der Richtung von der Farbe des Papierstücks zur Complementärfarbe zu erkennen sei. Gelangte also beispielsweise eine rothe Sectorenscheibe auf einer Kreisscheibe mit blauem Papierstück zur Verwendung, so wurde gefragt, ob der Ring bläulicher bzw. der Grund gelblicher roth aussehe als das andere. Aus doppeltem Grunde glaubte ich diese Fragestellung der scheinbar einfacheren, ob in dem Ringe die Farbe des Papierstückes zu erkennen sei, vorziehen zu müssen. Einmal waren die verwendeten Papiere selbstverständlich weit davon entfernt, die betreffende Farbe in spectraler Reinheit darzubieten; sodann aber ist bekanntlich die genaue Bezeichnung der Farbenqualität großen Schwankungen und Unsicherheiten ausgesetzt, denen zu Folge eine Farbe, welche dem Einen als reines Roth erscheint, von einem Anderen schon als bläulich- oder gelblichroth bezeichnet werden kann. Jene andere Fragestellung würde demnach nur über die associative Verbindung zwischen Farbentönen und Namen, nicht aber über die Merk-

lichkeit der beigemischten in der Grundfarbe etwas gelehrt haben. Uebrigens bemerke ich gleich, daß die wahrgenommenen Unterschiede fast ausnahmslos als ein Auftreten der Farbe des Papierstückes in der Grundfarbe gedeutet wurden; nur wo mit weissen Sectorenscheiben experimentirt wurde, kam es öfters vor, daß ehe noch der Ring die Farbe des Papierstückes erkennen liess, sich im Hintergrunde schon die Contrastfarbe bemerklich machte.

Indem ich, dem Vorhergehenden zu Folge, über sechszehn Sectorenscheiben und fünf Kreisscheiben verfügte, wären im Ganzen $16 \times 5 = 80$ Combinationen von Sectorenscheiben und Kreisscheiben möglich gewesen. Von diesen habe ich jedoch zwölf (nämlich die Zusammenstellung der drei rothen, bezw. braungelben, grünen und blauen Sectorenscheiben mit den Kreisscheiben mit grünem, bezw. blauem, rothem und braungelbem Papierstück) ununtersucht gelassen, weil ja die Hinzufügung einer complementären Farbe derjenigen von lichtschwachem Weiss gleichkommt, und also diese Fälle, neben denjenigen wo farbige Sektoren auf Kreisscheiben mit Weiss zur Verwendung gelangten, kein eigenes Interesse bieten. Für jeden der übrigen bleibenden 68 Fälle wurde zehnmal die obere und zehnmal die untere Reizschwelle bestimmt, aus den sich ergebenden Zahlen das Mittel gezogen, und der wahrscheinliche Fehler dieses Mittels nach der Formel $w = 0,8453 \frac{\sum v}{n \sqrt{n}}$ berechnet. Versuchsperson war bei diesen wie bei den später zu besprechenden Versuchen, wo nicht ausdrücklich Andere genannt werden, meine Frau. Das Verfahren war, mit Ausnahme der in der Fragestellung enthaltenen Hinweisung auf die Richtung des wahrzunehmenden Qualitätsunterschiedes, ein durchaus unwissentliches. Die Mittelwerthe der einfachen (mit der schwarzen Sectorenscheibe gewonnenen) und der erhöhten Reizschwellen, sowie die wahrscheinlichen Fehler derselben, sind in der 5. und 6. Verticalspalte der Tab. I angegeben; eine graphische Darstellung der ersteren findet man in den Figg. 2—6, wo die Abscissen die Intensitäten der Hemmungsreize, die Ordinaten die zugehörigen Reizschwellen zur Anschauung bringen. Daß in der Tabelle 84 statt 68 Fälle vorkommen, liegt daran, daß die einfache Reizschwelle für jede der fünf verwendeten Farben mit Rücksicht auf die systematische Ordnung der Versuche mehrfach bestimmt, und dementsprechend auch mehrfach in die Tabelle eingetragen wurde.

Tabelle I.

Nr.	Qualität und Intensität (in Graden) des Activreizes		Qualität des Passiv-reizes	Mittlere Reizschwelle in Graden	W. F. derselben in Graden	Hemmungs-coefficient	Be-rechnete Reizschwelle in Graden
1	roth	0	roth	1,8	0,2	0,018	1,5
2	"	90	"	2,8	0,1		3,2
3	"	180	"	4,7	0,2		4,8
4	"	270	"	6,7	0,2		6,5
5	"	0	br.-gelb	1,7	0,1	0,012	1,4
6	"	90	"	2,1	0,2		2,5
7	"	180	"	3,4	0,2		3,5
8	"	270	"	4,8	0,2		4,6
9	"	0	blau	1,2	0,3	0,007	1,1
10	"	90	"	1,7	0,1		1,7
11	"	180	"	2,1	0,1		2,3
12	"	270	"	3,1	0,2		2,9
13	"	0	weifs	0,5	0,0	0,000	0,5
14	"	90	"	0,5	0,0		0,5
15	"	180	"	0,5	0,0		0,5
16	"	270	"	0,5	0,1		0,6
17	br.-gelb	0	roth	1,6	0,1	0,013	1,9
18	"	90	"	3,6	0,1		3,0
19	"	180	"	4,2	0,1		4,2
20	"	270	"	5,2	0,2		5,3
21	"	0	br.-gelb	1,7	0,1	0,010	1,9
22	"	90	"	3,1	0,1		2,8
23	"	180	"	3,6	0,1		3,7
24	"	270	"	4,5	0,1		4,6
25	"	0	grün	1,3	0,1	0,011	1,3
26	"	90	"	2,5	0,1		2,3
27	"	180	"	3,2	0,2		3,4
28	"	270	"	4,5	0,4		4,4
29	"	0	weifs	0,5	0,0	0,003	0,7
30	"	90	"	1,3	0,1		1,0
31	"	180	"	1,1	0,1		1,2
32	"	270	"	1,5	0,1		1,5

Nr.	Qualität und Intensität (in Graden) des Activreizes		Qualität des Passiv-reizes	Mittlere Reiz-schwelle in Graden	W. F. der-selben in Graden	Hemmungs-coefficient	Be-rechnete Reiz-schwelle in Graden
33	grün	0	br.-gelb	1,3	0,2	0,021	1,4
34	"	90	"	3,3	0,2		3,3
35	"	180	"	5,3	0,3		5,2
36	"	270	"	7,0	0,5		7,1
37	"	0	grün	1,3	0,2	0,008	1,3
38	"	90	"	2,1	0,1		2,0
39	"	180	"	2,6	0,2		2,7
40	"	270	"	3,4	0,1		3,4
41	"	0	blau	1,3	0,2	0,011	1,0
42	"	90	"	1,7	0,2		2,0
43	"	180	"	2,9	0,2		3,0
44	"	270	"	4,2	0,2		4,0
45	"	0	weiss	0,5	0,0	0,002	0,5
46	"	90	"	0,7	0,1		0,7
47	"	180	"	0,9	0,1		0,9
48	"	270	"	1,1	0,1		1,1
49	blau	0	roth	1,7	0,1	0,020	1,6
50	"	90	"	3,1	0,2		3,4
51	"	180	"	5,2	0,2		5,2
52	"	270	"	7,0	0,3		7,0
53	"	0	grün	1,3	0,2	0,018	1,3
54	"	90	"	2,8	0,1		2,9
55	"	180	"	4,7	0,2		4,6
56	"	270	"	6,2	0,3		6,2
57	"	0	blau	1,3	0,2	0,010	1,1
58	"	90	"	1,6	0,1		2,0
59	"	180	"	3,1	0,2		2,9
60	"	270	"	3,9	0,2		3,9
61	"	0	weiss	0,5	0,0	0,003	0,4
62	"	90	"	0,5	0,0		0,6
63	"	180	"	0,8	0,1		0,9
64	"	270	"	1,3	0,1		1,1

Nr.	Qualität und Intensität (in Graden) des Activreizes		Qualität des Passivreizes	Mittlere Reizschwelle in Graden	W. F. derselben in Graden	Hemmungscoefficient	Be-rechnete Reizschwelle in Graden
65	weiss	0	roth	1,4	0,2	0,032	1,8
66	"	90	"	5,0	0,2		4,7
67	"	180	"	7,9	0,4		7,6
68	"	270	"	10,1	0,2		10,5
69	"	0	br.-gelb	1,8	0,2	0,037	1,8
70	"	90	"	5,0	0,1		5,2
71	"	180	"	9,0	0,3		8,5
72	"	270	"	11,7	0,4		11,9
73	"	0	grün	1,5	0,0	0,035	1,7
74	"	90	"	5,0	0,2		4,9
75	"	180	"	8,4	0,2		8,0
76	"	270	"	10,9	0,1		11,2
77	"	0	blau	1,4	0,1	0,039	1,5
78	"	90	"	4,8	0,2		5,0
79	"	180	"	9,2	0,3		8,5
80	"	270	"	11,5	0,4		12,0
81	"	0	weiss	0,5	0,0	0,008	0,5
82	"	90	"	1,3	0,1		1,2
83	"	180	"	1,9	0,1		2,0
84	"	270	"	2,7	0,2		2,7

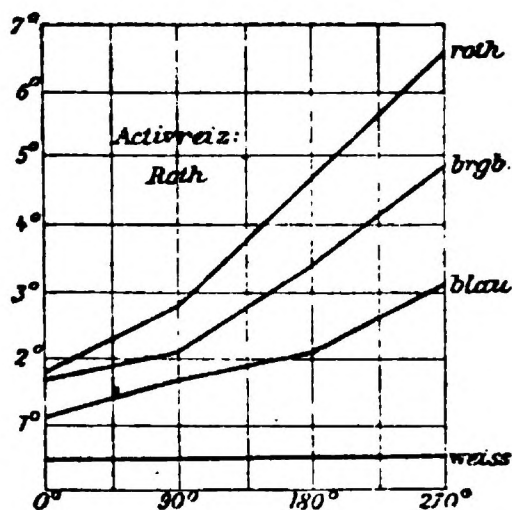


Fig. 2.

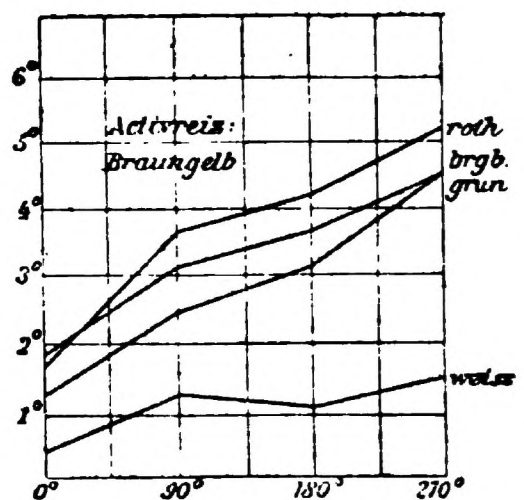


Fig. 3.

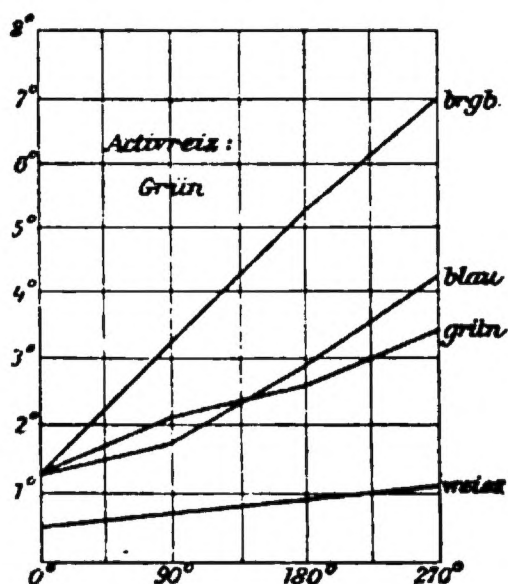


Fig. 4.

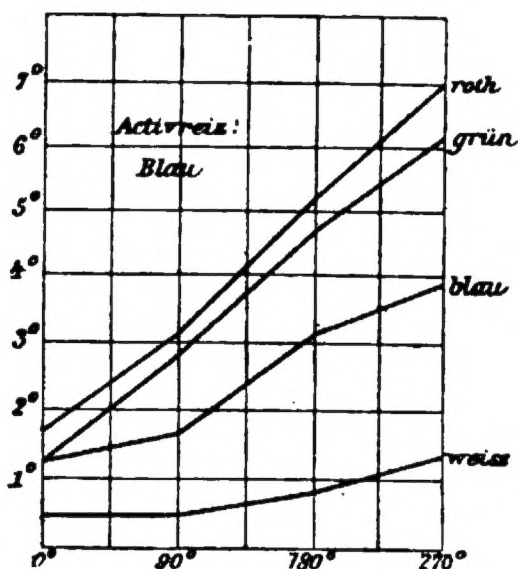


Fig. 5.

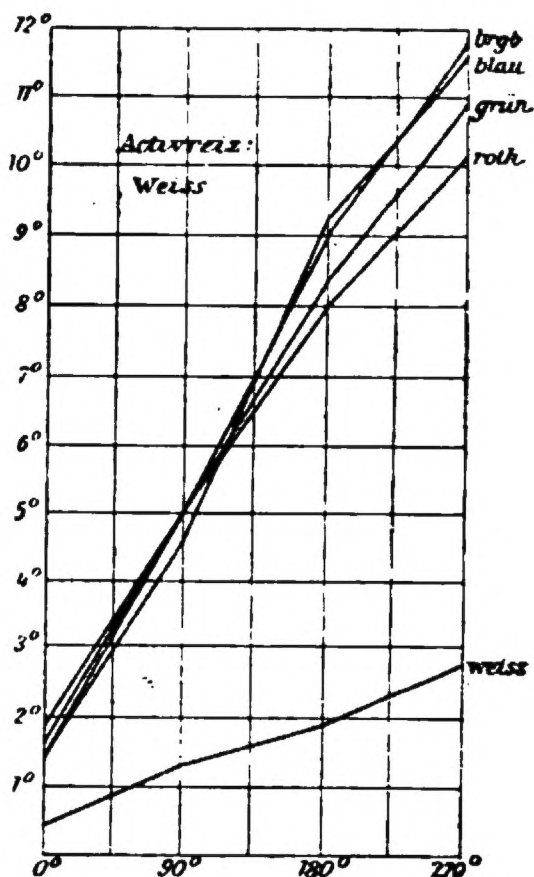


Fig. 6.

Ein Blick auf diese Figuren lehrt nun ohne Weiteres, daß die Curven, welche die Endpunkte der Ordinaten mit einander verbinden, die ausgesprochene Tendenz haben in Geraden überzugehen. Die Abweichungen sind theils gering, theils nach beiden Seiten hin gleichmäfsig vertheilt¹;

¹ Allerdings lassen die Fig. 2—6, jede für sich betrachtet, mehrfach Abweichungen von der Geradlinigkeit erkennen, welche nach Einer Richtung verlaufen; so zeigen die Curven in Fig. 3 sämmtlich bei 90° eine ausgesprochene Convexität, während die Curven in Fig. 5 ebenso regelmäfsig bei 90° concav, diejenigen in Fig. 6 bei 180° convex verlaufen. Es lag nahe zu vermuthen, daß diesen constanten Abweichungen Ungenauigkeiten in der Construction der Apparate, speciell der jeweilig verwendeten Sectorscheiben, zu Grunde liegen; und in der That wurde diese Vermuthung durch die mikroskopische Messung vollkommen bestätigt. Es

sie lassen sich dem zu Folge fast ganz zum Verschwinden bringen, wenn man für jeden Passivreiz die Mittelzahlen aus den mit sämtlichen Activreizen in der Intensität von 0° bzw. 90° , 180° und 270° erhaltenen Reizschwellen in Anschlag bringt (Fig. 7), oder gar aus diesen Mittelzahlen noch einmal das Mittel zieht (Fig. 8). Es ergeben sich dann folgende, in den genannten Figuren veranschaulichte Zahlenwerthe:

Tabelle II.

Passivreize	Intensität der Activreize			
	0°	90°	180°	270°
roth	1,6	3,6	5,5	7,3
braungelb	1,6	3,4	5,3	7,0
grün	1,4	3,1	4,7	6,3
blau	1,3	2,5	4,3	5,7
weiss	0,5	0,9	1,0	1,4
Mittel:	1,3	2,7	4,2	5,5

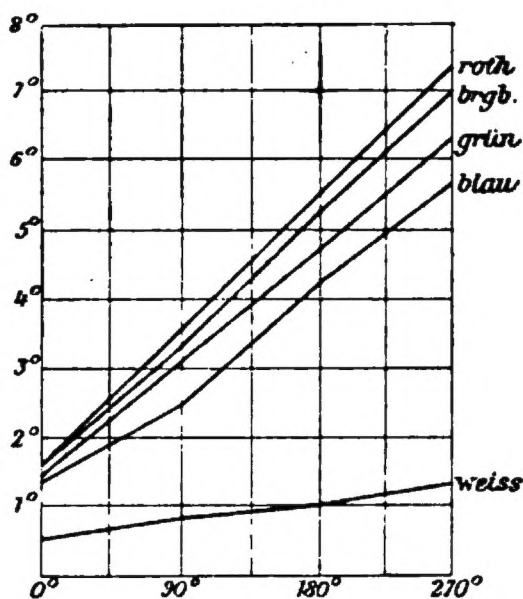


Fig. 7.

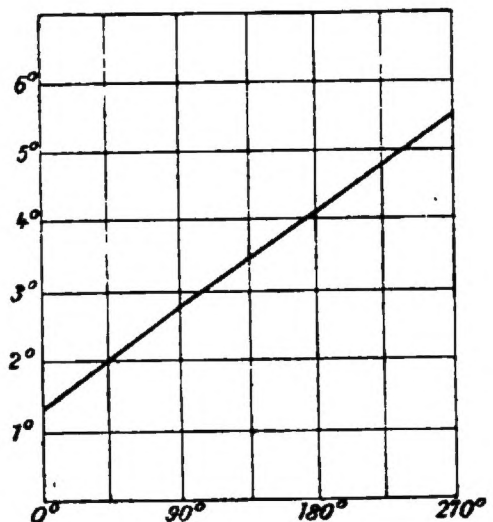


Fig. 8.

ergab sich, daß die für die Ablesung dienenden Kanten der Sektorenscheiben nicht genau radial verlaufen, demzufolge die abgelesenen Werthe Correctionen von 1–3 Zehntelgraden erfordern, und daß die erforderlichen Correctionen durchwegs auf die Entfernung der ange deuteten Abweichungen hinzielen. Ich habe versucht, die betreffenden Fehler der Apparate zahlenmäßig zu bestimmen; leider waren aber die Oesen, mittels deren die Scheiben auf den Rotationsapparat befestigt wurden, durch den vielfachen Gebrauch etwas abgenutzt, demzufolge

Dürfen wir also annehmen, daß sich die Curven der Figg. 2—6 unter verbesserten Versuchsbedingungen stets mehr der Geradlinigkeit annähern würden, so geht daraus hervor, daß die Erhöhung der Farbenreizschwelle, welche durch Hinzufügung eines weiteren Farbenreizes erfolgt, der Intensität des letzteren proportional gesetzt werden muß. Oder mit anderen Worten: die Hemmungskraft eines Farbenreizes, an den ebengehemmten Farbenreizen gemessen, wächst proportional seiner Intensität. Die Beziehung zwischen der einfachen Reizschwelle für eine bestimmte Farbe r_0 und der durch Beimischung eines zweiten Farbenreizes von der Intensität R erhöhten Reizschwelle r_R muß sich demnach durch folgende Formel darstellen lassen:

$$r_R = r_0 + hR,$$

in welcher der Factor h in Bezug auf die betreffenden Reize eine Constante vorstellt, welche ich den Hemmungscoefficienten nenne. Die Bedeutung dieser Hemmungscoefficienten liegt offenbar darin, daß sie das Verhältniß zwischen den Sektorenbreiten der hemmenden und der durch dieselben eben gehemmten Reize ausdrücken, und also für die Hemmungskraft, welche einem Reize bestimmter Qualität einem anderen Reize bestimmter Qualität gegenüber zukommt, ein Maass abgeben. Unter Zugrundelegung der obigen Formel lassen sich nun nach der Methode der kleinsten Quadrate aus den vorliegenden Versuchsergebnissen leicht die wahrscheinlichen Hemmungscoefficienten, und aus diesen die wahrscheinlichen Reizschwellenwerthe ermitteln; beide sind in der 7. und 8. Verticalspalte der Tab. I eingetragen worden. Wie aus der Tabelle ersichtlich, fallen die Differenzen zwischen den beobachteten und den berechneten Werthen in 55 von den 84 Fällen innerhalb des wahrscheinlichen Fehlers; wodurch für das oben formulirte Hemmungsgesetz die exacte Begründung gegeben ist.

die gegenseitige Stellung der Scheiben nicht mehr vollkommen fest, und die genaue Bestimmung der einschlägigen kleinen Beträge nicht ohne eine gewisse Willkürlichkeit zu bewerkstelligen war. Nur soviel kann mit Sicherheit behauptet werden, daß, wenn die betreffenden Fehler vermieden oder eliminirt hätten werden können, die Regelmäßigkeit der Ergebnisse eine bedeutend grössere gewesen wäre als jetzt der Fall ist.

Damit ist jedoch die Bedeutung der vorliegenden Versuchsergebnisse noch keineswegs erschöpft. Wenn wir nämlich die oben berechneten Hemmungscoefficienten und die Mittelwerthe der zugehörigen einfachen Reizschwellen in einer Tabelle (III) übersichtlich zusammenstellen, so ergibt sich ein äußerst merkwürdiger dreifacher Parallelismus zwischen dem Verlauf der einfachen Reizschwellen, der Hemmungscoefficienten für je einen Activreiz und der Hemmungscoefficienten für je einen Passivreiz; so zwar, daß beim Uebergang von roth nach braungelb, grün, blau und weiß die beiden ersteren Werthe eine deutliche Tendenz zum Herabgehen¹, die letzteren eine ebenso deutliche Tendenz zum Ansteigen erkennen lassen. Allerdings gelangen diese Tendenzen in den auf je eine Farbe sich beziehenden horizontalen und verticalen Zahlenreihen nicht ausnahmslos, sondern nur im Großen und Ganzen zum Durchbruch; man braucht aber nur Mittelwerthe aus denselben zu ziehen, um den behaupteten Parallelismus klar und deutlich ans Licht treten zu lassen.

Tabelle III.

Activreize	Passivreize					
	roth	br.-gelb	grün	blau	weiß	Mittel
roth	0,018	0,012		0,007	0,000	0,009
br.-gelb	0,013	0,010	0,011		0,003	0,009
grün		0,021	0,008	0,011	0,002	0,011
blau	0,020		0,018	0,010	0,003	0,013
weiß	0,032	0,037	0,035	0,039	0,008	0,030
Mittel:	0,021	0,020	0,018	0,017	0,003	
Einf. Reizschwelle	1,7	1,6	1,4	1,2	0,5	

Wenn wir genauer zusehen, haben wir es hier sogar nicht nur mit einem Parallelismus der Richtung und des Verlaufs, sondern mit einer nahezu exacten, directen oder reciproken Proportionalität zu thun. Wird nämlich der mittlere Hemmungs-

¹ Daß die Reizschwelle mit abnehmender Wellenlänge fortwährend sinkt, haben auch KÖNIG und BRODHUN gefunden.

coefficient aller Activreize in Bezug auf je einen Passivreiz mit 80, und der reciproke Werth des mittleren Hemmungscoefficienten je eines Activreizes in Bezug auf alle Passivreize mit 0,015 multiplicirt, so ergeben sich Zahlen, welche mit den entsprechenden einfachen Reizschwellen annähernd zusammenfallen (Tab. IV.).

Tabelle IV.

	roth	br.-gelb	grün	blau	weiß
Einfache Reizschwelle	1,7	1,6	1,4	1,2	0,5
Mittlerer Hemmungscoefficient für Passivreize $\times 80$	1,7	1,6	1,4	1,4	0,2
Reciproker Werth des mittleren Hemmungscoefficienten für Activreize $\times 0,015$	1,7	1,7	1,4	1,2	0,5

Sollte man vielleicht fragen, ob nicht diese auffallende Gesetzmäßigkeit der Mittelzahlen der rechnerischen, von einer bestimmten Hypothese geleiteten Verarbeitung der Versuchsergebnisse zu verdanken sein könne, so ist darauf zu erwidern, daß auch das rohe Versuchsmaterial die erwähnten Verhältnisse schon in unzweideutiger Weise erkennen läßt. Man wolle nur die Tab. II auf S. 333, sowie die untenstehende Tab. V etwas genauer durchsehen. In jener sind erstens (zweite Verticalspalte) die mittleren einfachen Reizschwellen für die verschiedenen Farben, sodann (dritte bis fünfte Verticalspalte) die mittleren durch Activreize verschiedener Intensität erhöhten Reizschwellen für die verschiedenen Farben zusammengestellt; sämtliche vier Zahlenreihen zeigen, wenn man sie von oben nach unten verfolgt, eine zunächst langsamer, dann schneller verlaufende, durchgehende Abnahme. In der Tab. V sind dann in entsprechender Weise die mittleren bei Anwendung je eines Activreizes erhaltenen erhöhten Reizschwellen eingetragen; hier lassen die drei verticalen Zahlenreihen, fast ebenso deutlich wie dort eine Abnahme, eine zunächst langsamer, dann schneller verlaufende

Zunahme von oben nach unten erkennen. In der That brauchen nur zwei (zwischen Klammern gestellte) Zahlen aus dieser Tabelle etwas kleiner genommen zu werden, um in jeder der sieben einschlägigen Zahlenreihen die oben erörterte Gesetzmäßigkeit durchgehend und ausnahmslos ans Licht treten zu lassen. Nimmt man nun hinzu, daß von den beiden zu corrigirenden Werthen der eine nach einer früheren Bemerkung (S. 332—333) in der That durch einen Fehler des Apparates zu groß ausgefallen ist, während der andere nur einer ganz unbedeutenden Correction bedarf um in die Reihe zu passen, so darf wohl mit Sicherheit geschlossen werden, daß die behauptete Gesetzmäßigkeit durch die rechnerische Verarbeitung nicht hervorgebracht oder verstärkt, sondern nur in eigener Reinheit, von fremden Beimischungen befreit, ans Licht gezogen worden ist.

Tabelle V.

Activreize	Intensität der Activreize		
	90°	180°	270°
roth	1,8	2,7	3,8
braungelb	(2,6)	(3,0)	3,9
grün	2,0	2,9	3,9
blau	2,0	3,5	4,6
weiß	4,2	7,3	9,4

Was ist nun aber der Sinn der Gesetzmäßigkeit, welche wir hiermit kennen gelernt haben? Oder mit anderen Worten: was bedeuten die Zahlen, deren gegenseitige Abhängigkeit sie zum Ausdruck bringt, welche sind die Größen, welche durch diese Zahlen gemessen werden?

Die Antwort ist im Vorhergehenden enthalten. Wenn der mittlere Hemmungscoefficient für Weiß als Activreiz höher ist als der mittlere Hemmungscoefficient für jede der anderen Farben als Activreize, so bedeutet dies, daß ein bestimmtes Quantum Weiß im Durchschnitt die Reizschwelle für ihm beigemischte

Farben mehr erhöht, also einen größeren Betrag von diesen Farben unmerklich macht, als ein gleiches Quantum Roth, Braungelb, Grün oder Blau. Und wenn der mittlere Hemmungscoefficient für Weiss als Passivreiz niedriger ist als der mittlere Hemmungscoefficient für jede der anderen Farben als Passivreize, so will das sagen, daß andere Farben im Durchschnitt die Reizschwelle für beigemischtes Weiss weniger erhöhen als die Reizschwelle für sonstige beigemischte Farben, daß sie also einen geringeren Betrag von Weiss, als von Roth, Braungelb, Grün oder Blau unmerklich machen. Mit anderen Worten: die mittleren Hemmungscoefficienten für die verschiedenen Farben als Activreize geben ein Maass für die hemmende Kraft, welche diesen Farben irgendwelchen passiven Farbenreizen gegenüber zukommt; und die reciproken Werthe der mittleren Hemmungscoefficienten für die verschiedenen Farben als Passivreize geben ein Maass für den Widerstand, welchen diese Farben der Hemmung durch irgendwelche active Farbenreize entgegensetzen. Die oben erkannten Proportionalitätsverhältnisse lassen sich demnach in dem einfachen Gesetze ausdrücken: die Hemmungskräfte sind den Hemmungswiderständen, und beide den reciproken einfachen Reizschwellen proportional.

2. Geschmacksempfindungen.

Die Fragestellung, welche den hier zu besprechenden Versuchen zu Grunde liegt, ist derjenigen des vorhergehenden Abschnitts völlig analog: es wurde untersucht, inwiefern die Schwelle für Geschmacksreize sich erhöht, wenn denselben andere Geschmacksreize in verschiedener Intensität beigemischt werden. Aus dieser Fragestellung ergiebt sich das allgemeine Schema für die Versuchseinrichtung von selbst: es mußten Lösungen von Schmeckstoffen in verschiedener Concentration, für sich oder mit Lösungen anderer Schmeckstoffe von bestimmter Concentration gemischt, auf das Geschmacksorgan applicirt, und der jeweilig zur Ebenmerklichkeit erforderte Concentrationsgrad festgestellt werden. Was die nähere Ausführung betrifft, so wurden als Schmeckstoffe verwendet Rohrzucker, Kochsalz, salzsaures Chinin und Salzsäure; von jedem dieser vier Stoffe wurden

Lösungen verschiedener Concentration in destillirtem Wasser hergestellt; und zwar zunächst solche maximaler (überhaupt möglicher oder für den Organismus unschädlicher) Concentration (Zucker 50%, Kochsalz 25%, salzsaures Chinin 2%, Salzsäure 0,5%), sodann andere, welche aus jenen durch zehnfache, hundertfache, nöthigenfalls tausendfache Verdünnung gewonnen wurden. Bei jedem Einzelversuch wurde von einer als Passivreiz zu untersuchenden Lösung ein bestimmtes Quantum in einen kleinen Meßcylinder gegossen, und entweder sofort oder nach Beimischung eines bestimmten Quantums einer anderen als Activreiz zu verwendenden Lösung bis zu einem Volumen von 10 cc. mit destillirtem Wasser angefüllt. Die so erhaltene einfache bzw. gemischte Lösung wurde von der Versuchsperson während einiger Augenblicke im Munde behalten, und sodann das Urtheil über die Merklichkeit oder Unmerklichkeit des Passivreizes abgegeben. In dieser Weise wurden im Ganzen 96 verschiedene, einfache oder erhöhte Reizschwellen bestimmt, indem jeder Schmeckstoff als Passivreiz einmal für sich, sodann in Verbindung mit den in 7 Concentrationsgraden (0,025, 0,05, 0,1, 0,2, 0,3, 0,4 und 0,5 der maximalen Concentration) abgestuften anderen drei Schmeckstoffen als Activreizen zur Untersuchung gelangte. Die Feststellung dieser 96 Werthe erforderte viel Zeit und Sorgfalt. Die bekannte lange Nachwirkung von Geschmacksreizen machte nämlich vor jedem Einzelversuche eine ein- oder mehrstündige Ruhe des Geschmacksorganes nothwendig; dem zu Folge an einem Tage nur wenige solche Versuche angestellt werden konnten, und die nach der Methode der Minimaländerungen erfolgende Bestimmung eines einzigen oberen und unteren Reizschwellenwerthes regelmäfsig mehrere Tage in Anspruch nahm. Unter diesen Umständen konnte schwerlich davon die Rede sein, die 96 zu bestimmenden Schwellenwerthe in üblicher Weise durch Wiederholung der Versuche und Mittelziehung sicherzustellen; es bezieht sich demnach jede der im Folgenden anzugebenden Zahlen nur auf das Ergebnifs einer einzigen, in der angedeuteten Weise durch mehrere Tage sich hindurchziehenden Bestimmung der oberen und unteren Reizschwelle. Wenn ich dennoch für diese Zahlen einiges Vertrauen in Anspruch nehme, so kann ich mich dafür an erster Stelle auf die peinliche Sorgfalt berufen, mit welcher die Versuche angestellt wurden. Die Bestimmung jedes Schwellen-

werthes wurde durch zahlreiche Orientirungsversuche vorbereitet, welche denselben zwischen bestimmten Grenzen einzuschließen hatten; erst wenn zwei Concentrationsgrade des Passivreizes aufgefunden waren, in Bezug auf welche dreimal hinter einander die Merklichkeit bzw. Unmerklichkeit festgestellt worden war, wurden diese als Grenzen, zwischen welchen die gesuchte Reizschwelle liegen mußte, angenommen, und nunmehr zur genaueren Bestimmung dieser Reizschwelle fortgeschritten. Dazu wurde, zuerst von der unteren, sodann von der oberen Grenze ausgehend, durch allmähliche Verstärkung bzw. Abschwächung des Reizes die untere und obere Reizschwelle festgestellt, und schliesslich das Mittel aus diesen beiden Werthen als definitives Ergebniss in die Tabelle eingetragen. Die einzelnen Versuche wurden nur angestellt, wenn während einer oder (nach stärkeren vorhergehenden Reizen) während mehrerer Stunden das Geschmacksorgan vollständig geruht hatte; vor jedem derselben wurde der Mund mit destillirtem Wasser sorgfältig ausgespült; jedes auch nur unbedeutende Unwohlsein der Versuchsperson veranlasste sofortige Unterbrechung der Versuche. — Dafs diese Vorsichtsmafsregeln genügt haben, um die Zuverlässigkeit der Resultate zu sichern, scheint mir aus doppeltem Grunde wahrscheinlich. Einmal ergab die Untersuchung ganz allgemein, dafs die Geschmacksempfindlichkeit der Versuchsperson von Tag zu Tag nur sehr geringen Schwankungen unterlag; es kam fast nicht vor (wie z. B. bei Druckempfindungen so oft der Fall ist), dafs gleiche Reize heute gemerkt, morgen als unmerklich beurtheilt wurden. Sodann scheint mir die Gesetzmäfsigkeit der gewonnenen Zahlen, ihr Zusammenstimmen unter einander und mit den für andere Sinnesgebiete erhaltenen Resultaten dafür zu sprechen, dafs denselben reale Bedeutung zukommt. In der That darf, mit Rücksicht auf diesen Zusammenhang, die Gesammtheit der vorliegenden Versuche als ebensoviele Bestätigungen einer einzigen allgemeinen Thatsache angesehen werden.

Tabelle VI.

Nr.	Qualität und Intensität (in %) des Activreizes		Qualität des Passiv-reizes	Mittlere Reizschwelle in %	Hemmungs-coefficient	Be-rechnete Reizschwelle in %
1	Chin. mur.	0	Na Cl	0,25	1,7	0,26
2	"	0,05	"	0,35		0,35
3	"	0,1	"	0,41		0,43
4	"	0,2	"	0,58		0,60
5	"	0,4	"	0,98		0,94
6	"	0,6	"	1,30		1,28
7	"	0,8	"	1,60		1,62
8	"	1,0	"	(2,25)		1,96
9	"	0	Sach. alb.	0,80	5,1	0,92
10	"	0,05	"	1,18		1,18
11	"	0,1	"	1,43		1,43
12	"	0,2	"	2,13		1,94
13	"	0,4	"	3,00		2,96
14	"	0,6	"	3,95		3,98
15	"	0,8	"	4,95		5,00
16	"	1,0	"	(6,50)		6,02
17	"	0	H Cl	0,0083	0,042	0,0056
18	"	0,05	"	0,0070		0,0077
19	"	0,1	"	0,0103		0,0098
20	"	0,2	"	0,0163		0,0140
21	"	0,4	"	0,0248		0,0224
22	"	0,6	"	0,0275		0,0308
23	"	0,8	"	0,0410		0,0392
24	"	1,0	"	0,0465		0,0476
25	Na Cl	0	Chin. mur.	0,0003	0,00115	0,0000
26	"	0,625	"	0,0011		0,0007
27	"	1,25	"	0,0010		0,0014
28	"	2,5	"	0,0025		0,0029
29	"	5,0	"	0,0057		0,0058
30	"	7,5	"	0,0083		0,0086
31	"	10,0	"	0,0116		0,0115
32	"	12,5	"	0,0146		0,0144

Nr.	Qualität und Intensität (in %) des Activeizes		Qualität des Passiv-reizes	Mittlere Reizschwelle in %	Hemmungs-coefficient	Be rechnete Reizschwelle in %
33	NaCl	0	Sach. alb.	0,40	0,60	0,19
34	"	0,625	"	0,55		0,57
35	"	1,25	"	0,85		0,94
36	"	2,5	"	1,68		1,69
37	"	5,0	"	2,93		3,19
38	"	7,5	"	4,75		4,69
39	"	10,0	"	6,30		6,19
40	"	12,5	"	(9,40)		7,69
41	"	0	HCl	0,0034	0,0008	0,0029
42	"	0,625	"	0,0031		0,0034
43	"	1,25	"	0,0041		0,0039
44	"	2,5	"	0,0051		0,0049
45	"	5,0	"	0,0065		0,0069
46	"	7,5	"	0,0083		0,0089
47	"	10,0	"	0,0118		0,0109
48	"	12,5	"	0,0128		0,0129
49	Sach. alb.	0	Chin. mur.	0,0006	0,00051	0,0001
50	"	1,25	"	0,0010		0,0008
51	"	2,5	"	0,0017		0,0014
52	"	5	"	0,0025		0,0027
53	"	10	"	0,0046		0,0052
54	"	15	"	0,0070		0,0078
55	"	20	"	0,0099		0,0103
56	"	25	"	0,0140		0,0129
57	"	0	NaCl	0,25	0,085	0,44
58	"	1,25	"	0,56		0,55
59	"	2,5	"	0,66		0,65
60	"	5	"	0,98		0,87
61	"	10	"	1,23		1,29
62	"	15	"	1,83		1,72
63	"	20	"	2,08		2,14
64	"	25	"	2,55		2,57

Nr.	Qualität und Intensität (in %) des Activreizes		Qualität des Passiv-reizes	Mittlere Reizschwelle in %	Hemmungs-coefficient	Be-rechnete Reizschwelle in %
65	Sach. alb.	0	HCl	0,0038	0,00036	0,0036
66	"	1,25	"	0,0035		0,0041
67	"	2,5	"	0,0045		0,0045
68	"	5	"	0,0060		0,0054
69	"	10	"	0,0068		0,0072
70	"	15	"	(0,0045)		0,0090
71	"	20	"	(0,0038)		0,0108
72	"	25	"	(0,0045)		0,0126
73	HCl	0	Chin. mur.	0,0005	0,026	0,0004
74	"	0,0125	"	0,0008		0,0007
75	"	0,025	"	0,0011		0,0011
76	"	0,05	"	0,0016		0,0017
77	"	0,10	"	0,0031		0,0030
78	"	0,15	"	0,0043		0,0043
79	"	0,20	"	0,0055		0,0056
80	"	0,25	"	0,0069		0,0069
81	"	0	NaCl	0,24	1,75	0,28
82	"	0,0125	"	0,31		0,30
83	"	0,025	"	0,34		0,32
84	"	0,05	"	0,38		0,37
85	"	0,10	"	0,46		0,45
86	"	0,15	"	0,54		0,54
87	"	0,20	"	0,64		0,63
88	"	0,25	"	0,70		0,72
89	"	0	Sach. alb.	(0,54)	6,56	0,24
90	"	0,0125	"	(0,41)		0,32
91	"	0,025	"	0,39		0,40
92	"	0,05	"	0,63		0,57
93	"	0,10	"	0,90		0,90
94	"	0,15	"	1,20		1,22
95	"	0,20	"	1,58		1,55
96	"	0,25	"	1,86		1,88

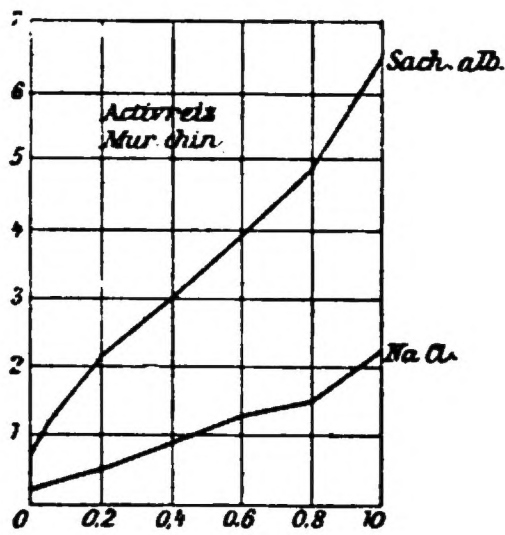


Fig. 9.

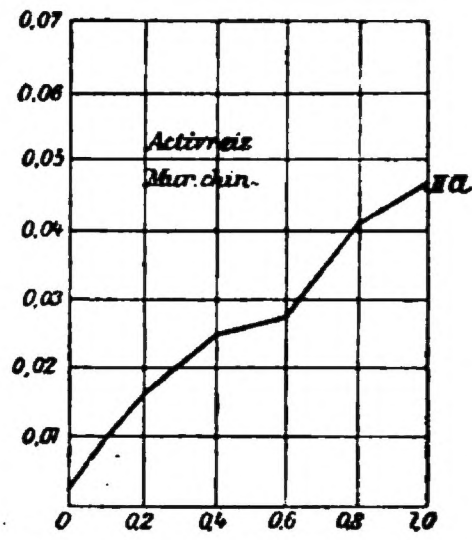


Fig. 10.

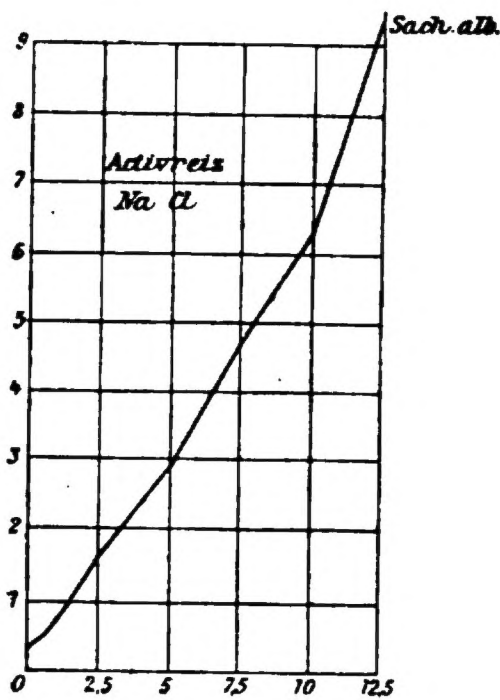


Fig. 11.

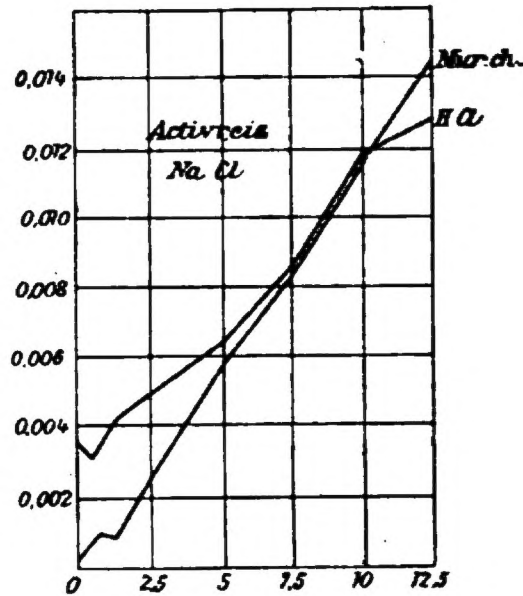


Fig. 12.

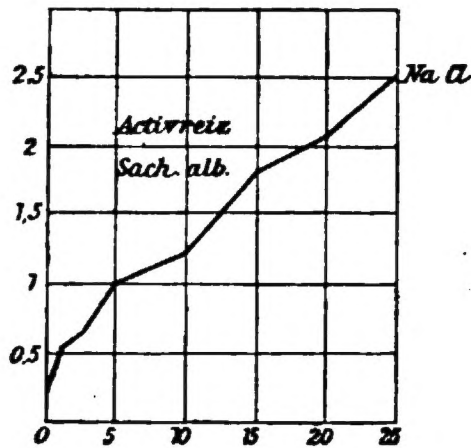


Fig. 13.

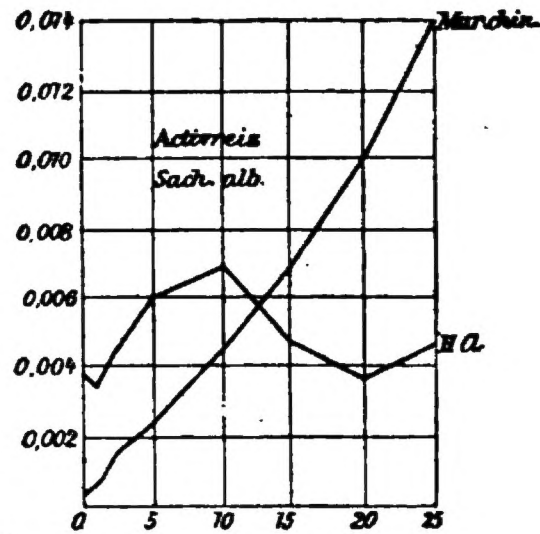


Fig. 14.

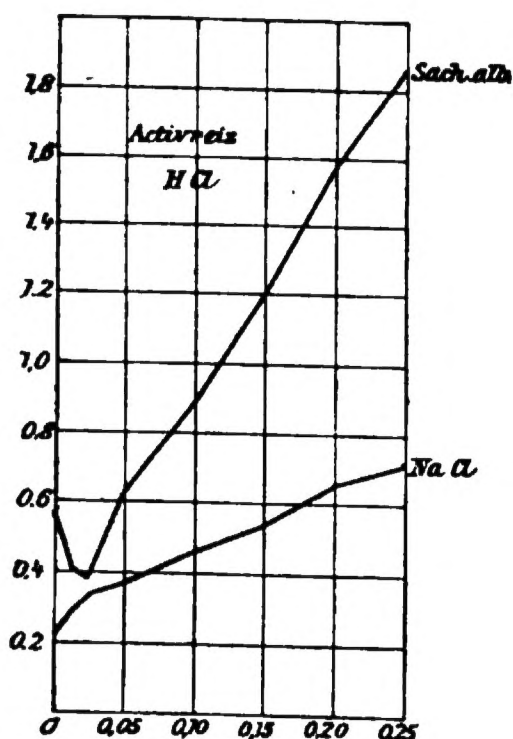


Fig. 15.

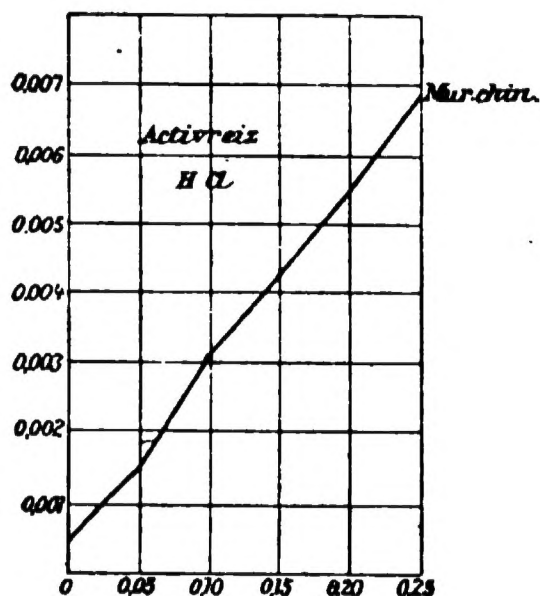


Fig. 16.

Die betreffenden Versuchsergebnisse sind in Tab. VI zusammengestellt worden, welche in genau derselben Weise wie die entsprechende Tab. I im vorhergehenden Abschnitt eingerichtet ist, nur daß hier selbstverständlich die Spalte für wahrscheinliche Fehler nicht vorkommt. Wie aus dieser Tabelle und den beigegeführten graphischen Darstellungen ersichtlich, lassen auch diese Versuchsergebnisse sehr schön eine der Intensität der Activreize proportionale Steigerung der Reizschwellen erkennen; dem zu Folge sich hier in gleicher Weise wie dort die Hemmungscoefficienten, und mittels derselben die berechneten, im Allgemeinen gut zu den wahrgenommenen stimmenden Schwellenwerthe ermitteln ließen. Doch bedarf noch einiges weiterer Aufklärung. Erstens die sonderbare Curve für Sach. alb. — HCl (Versuche 65—72), wo auf die anfängliche Erhöhung der Reizschwelle alsbald eine ausgesprochene Abnahme folgt. Hier liegt die Erklärung ziemlich nahe: bekanntlich hat nämlich der süße Geschmack stärkerer Zuckerlösungen einen säuerlich stechenden Beigeschmack; dementsprechend auch die Versuchsperson in einer 50-procentigen Lösung ohne jeden Zusatz in zwei aus drei Fällen einen sauren Geschmack erkannte (entsprechende Ergebnisse wurden mit einer 2-procentigen Saccharinlösung gewonnen). Daraus erklärt sich aber, daß schwächere Zuckerlösungen, welche an und für sich noch nicht den sauren Geschmack erzeugen, dennoch nur eines geringen Zusatzes von

HCl bedürften, um denselben hervortreten zu lassen. Mit Rücksicht auf diesen störenden Umstand wurden hier der Bestimmung der Hemmungscoefficienten und der berechneten Werthe nur die für die fünf niedrigsten Intensitäten des Activreizes beobachteten Schwellenwerthe (65—69) zu Grunde gelegt, und sind die drei anderen (70—72), welche in der Tabelle zwischen Klammern gestellt sind, als unzuverlässig zu betrachten. — Eine entgegengesetzte Abweichung zeigt die Curve für HCl—Sach. alb. (Versuche 89—96), wo die Reizschwelle für Zucker bei allmählichem Zusatz von Salzsäure zuerst sinkt, dann regelmässig steigt. Hier ist der störende Umstand (vielleicht die KIESOW'sche Contrastwirkung?) nicht so leicht zu finden; das Vorhandensein eines solchen störenden Umstandes ist aber angesichts des regelmäßigen Verlaufs der übrigen Curven kaum zu bezweifeln, dem zu Folge hier die Ergebnisse der Versuche 89 und 90 zwischen Klammern gestellt, und für die Bestimmung der Hemmungscoefficienten und berechneten Werthe ausser Betracht gelassen sind. — Schliesslich sind noch aus ähnlichen Gründen durch Klammern ausgezeichnet und von der Rechnung ausgeschlossen die Versuche 8, 16 und 40, wo die Ergebnisse in Folge der Mitwirkung ausgesprochener und einer 1-procentigen Chinin- bzw. 12,5-procentigen Kochsalzlösung gegenüber nicht befremdlichen Unlustgefühle offenbar zu hoch gerathen sind (vgl. S. 324).

Sehen wir nun von diesen wenigen (nur 8 von den 96 Versuchsergebnissen tangirenden), relativ unbedeutenden und ausserdem für den gröfseren Theil leicht und sicher erklärbaren Discrepanzen ab, so ergiebt sich als erstes Resultat dieser Untersuchung eine durchgängige Bestätigung des schon früher für das Gebiet der Farbenempfindungen festgestellten Gesetzes von der Proportionalität zwischen der Intensität des Activreizes und der dadurch bewirkten Steigerung der Schwelle für den Passivreiz. Selbst ist, wie ein Blick auf die Tabelle lehrt, die Uebereinstimmung zwischen beobachteten und berechneten Werthen hier noch etwas genauer als dort.

Fragen wir nun des weiteren, inwiefern auch der andere Theil des in Bezug auf Farbenempfindungen festgestellten Hemmungsgesetzes, nach welchem die Hemmungskräfte den Hemmungswiderständen, und beide den reciproken einfachen Reizschwellen proportional ver-

laufen, für die Geschmacksempfindungen gilt, so ist der Tab. VII, in welcher die berechneten Hemmungscoefficienten ähnlich wie früher übersichtlich zusammengestellt worden sind, die Antwort zu entnehmen.

Tabelle VII.

Activreize	Passivreize			
	HCl	Chin. mur.	NaCl	Sach. alb.
HCl		0,026	1,75	6,56
Chin. mur.	0,042		1,7	5,1
NaCl	0,0008	0,00115		0,60
Sach. alb.	0,00036	0,00051	0,085	
Einf. Reizschw.:	0,0035	0,0004	0,25	0,58

Im Großen und Ganzen entsprechen diese Zahlen in sehr befriedigender Weise der zu erwartenden Gesetzmäßigkeit. Die Hemmungscoefficienten für die verschiedenen Activreize in der Ordnung HCl — Chin. mur. — NaCl — Sach. alb. lassen eine durchgehende Verminderung, die Hemmungscoefficienten für Passivreize und (mit Einer Ausnahme) die einfachen Reizschwellen in der nämlichen Ordnung lassen eine durchgehende Steigerung erkennen, so zwar, daß die betreffenden Werthe für HCl und Chin. mur., sowie für NaCl und Sach. alb. einander ziemlich nahe kommen, während diejenigen für HCl und Chin. mur. einerseits, NaCl und Sach. alb. andererseits, weit auseinander liegen. Des näheren findet man, daß die Hemmungscoefficienten für Sach. alb. und NaCl als Activreize sich in den beiden Fällen, welche Vergleichung zulassen, wie 1:2,2 und 1:2,3, die Hemmungscoefficienten für die nämlichen Stoffe als Passivreize wie 3,7:1 und 3,0:1, die Reizschwellen wie 2,3:1 verhalten. Ebenso verhalten sich die Hemmungscoefficienten für Chin. mur. und HCl als Activreize wie 1:1,0 und 1:1,3, und die Hemmungscoefficienten für dieselben als Passivreize wie 1,4:1 und 1,4:1; die einfachen Reizschwellen entsprechen zwar dieser Regelmäßigkeit nicht, doch läßt sich dies wohl aus der bekannten alkalischen Beschaffenheit des Mundspeichels erklären, wodurch ein Theil der eingeführten Säure neutralisirt, und also die scheinbare Reizschwelle für dieselbe erhöht werden mußte. — Soweit ist Alles in der Ordnung; jetzt kommen aber die Schwierigkeiten. Ver-

gleichet man nämlich die Resultate für HCl und Chin. mur. mit denjenigen für NaCl und Sach. alb., so findet man zwar, wie oben bemerkt wurde, für jene ersteren Stoffe die activen Hemmungscoefficienten bedeutend höher, die passiven Hemmungscoefficienten und einfachen Reizschwellen bedeutend niedriger als für diese letzteren; die quantitativen Verhältnisse zeigen aber große Unregelmäßigkeiten. Am besten lassen sich die vorliegenden Verhältnisse überschauen, wenn man, wie in Tab. VIII und IX geschehen ist, einmal die Hemmungscoefficienten für Passivreize und die einfachen Reizschwellen, sodann die reciproken Hemmungscoefficienten für Activreize auf die für einen beliebigen Reiz (etwa Sach. alb.) gefundenen Werthe als Einheiten reducirt.

Tabelle VIII.

(Verhältnisse der Hemmungscoefficienten für Passivreize und der einfachen Reizschwellen.)

Activreize	Passivreize			
	H Cl	Chin. mur.	Na Cl	Sach. alb.
H Cl		0,0040	0,27	1
Chin. mur.	0,0082		0,33	1
Na Cl	0,0013	0,0019		1
Sach. alb.	0,0013	0,0018	0,30 ¹	
Einf. Reizschw.:	0,0060	0,0007	0,43	1

Tabelle IX.

(Verhältnisse der reciproken Hemmungscoefficienten für Activreize.)

Passivreize	Activreize			
	H Cl	Chin. mur.	Na Cl	Sach. alb.
H Cl		0,009	0,45	1
Chin. mur.	0,020		0,44	1
Na Cl	0,049	0,050		1
Sach. alb.	0,040	0,052	0,445 ¹	

¹ Diese Zahlen sind, da ein Hemmungscoefficient für Sach. alb. an der entsprechenden Stelle in Tab. VII nicht vorkommt, durch Mittelziehung

Wie man leicht sieht, sind erstens die Hemmungscoefficienten für HCl — Chin. mur. und Chin. mur. — HCl in Bezug auf die anderen Zahlen zu hoch gerathen, und würde eine Verminderung des ersteren auf die Hälfte, des zweiten auf $\frac{1}{6}$ des festgestellten Betrages nöthig sein, um in den beiden Tabellen, jede für sich betrachtet, eine durchgehende Ordnung herzustellen. Woher diese Unregelmäßigkeit stammt, ist schwer zu sagen; die Gegenseitigkeit des Verhältnisses legt die Vermuthung chemischer Einwirkung nahe. Ein weiteres, erst durch Vergleichung beider Tabellen hervortretendes Räthsel bietet der Umstand, daß, während für HCl und Chin. mur., und ebenso für NaCl und Sach. alb., sich die activen nahezu reciprok den passiven Hemmungscoefficienten verhalten, die beiden ersteren Stoffe sich zwar sowohl durch Hemmungskraft als durch Hemmungswiderstand, aber bedeutend mehr durch diesen als durch jenen, vor den beiden anderen Stoffen auszeichnen. Um dem Reciprocitätsgesetze vollständig zu genügen, müßten demnach die nach Obigem corrigirten passiven Hemmungscoefficienten für HCl und Chin. mur. noch 20 bis 30 Mal größer, oder aber diejenigen für NaCl und Sach. alb. 20 bis 30 Mal kleiner ausgefallen sein als thatsächlich der Fall war. Eine sichere Erklärung des abweichenden Thatbestandes vermag ich nicht zu geben; möglich ist allerdings, daß eine solche in der trotz aller Vorsichtsmaafsregeln nicht ganz zu vermeidenden Nachwirkung süßer und salziger Geschmacksreize, welche ja in den täglich genossenen Speisen und Getränken ungleich frequenter als die anderen auftreten, zu finden wäre. Zur näheren Begründung dieser Möglichkeit ist noch anzuführen, daß nach Aussage des Protokolls auch die einfachen und erhöhten Reizschwellen für Chin. mur. zu einer Zeit, als die Versuchsperson täglich vor den Mahlzeiten eine bittere Arznei zu sich nehmen mußte, ungeachtet einer möglichst günstigen Auswahl der Versuchszeiten sich bis auf das Dreifache der normalen Beträge steigerten; dem zu Folge damals die Versuche sofort unterbrochen, und erst später wieder aufgenommen wurden.

Trotz alledem wird man vielleicht Bedenken tragen, angesichts so bedeutender Discrepanzen die vorliegenden Versuchs-

aus den gegebenen Zahlen der nämlichen Verticalspalte gewonnen, und der Berechnung der weiteren Zahlen der betreffenden Horizontalspalte zu Grunde gelegt worden.

resultate als eine Bestätigung auch des zweiten Theiles des Hemmungsgesetzes anzuerkennen. Demgegenüber ist aber einerseits zu wiederholen, daß nicht nur der allgemeine Verlauf sämtlicher in die Tab. VIII und IX eingetragener Zahlen¹, sondern auch alle quantitativen Verhältnisse einmal zwischen den für HCl und Chin. mur., sodann zwischen den für NaCl und Sach. alb. festgestellten activen und passiven Hemmungscoefficienten in befriedigendster Weise zum Gesetze stimmen; andererseits, daß die in Bezug auf die Verhältnisse zwischen den wirksameren und den weniger wirksamen Schmeckstoffen aufgedeckten Unregelmäßigkeiten durchaus den Charakter nicht variabler, sondern systematischer Abweichungen tragen, und als solche weniger auf Ungültigkeit des Gesetzes für das betreffende Gebiet, als auf eine Verdunkelung seiner Wirkung durch störende Umstände hindeuten. Auch hält es nicht schwer, außer den früher genannten noch andere solche störende Umstände, welche trotz aller Sorgfalt die Versuchsergebnisse haben beeinflussen können, über deren Wirkung nach Richtung und Intensität sich aber nur wenig sagen läßt, ausfindig zu machen. Ich erwähne erstens mögliche, physiologisch oder psychologisch begründete Veränderungen der Empfindlichkeit während der im Ganzen etwa 2 Jahre umfassenden Versuchszeit; sodann Zersetzungen, welche die Schmeckstoffe in Folge der starken Verdünnung vielleicht erfahren haben; ferner die den äußerst schwachen Passivreizen gegenüber nicht zu vernachlässigende Anwesenheit wenig bekannter Stoffe im Mundschleim; endlich störende, durch den Gefühlston der intensiveren Empfindungen veranlaßte Hemmungswirkungen. Zieht man alle diese schwer controllirbaren, jedoch jede für sich eine gewisse Wahrscheinlichkeit beanspruchenden Möglichkeiten mit in Erwägung, so darf man sich nicht wundern, wenn das Gesetz nicht in allen Versuchsergebnissen mit gleicher Evidenz zu Tage tritt. Alles in Allem finde ich demnach in den vorliegenden Resultaten zwar keine directe Bestätigung des Reciprocitätsgesetzes, wohl aber einen zureichenden Grund, es für äußerst wahrscheinlich zu halten, daß spätere und genauere Untersuchungen eine solche Bestätigung ergeben werden.

¹ Mit alleiniger Ausnahme der einfachen Reizschwelle für HCl, deren zu hoher Betrag sich, wie oben bemerkt wurde, aus bekannten Thatsachen erklären läßt.

3. Schallempfindungen.

Bei den auf diese sich beziehenden Untersuchungen gelangten folgende Apparate zur Verwendung:

1. Für die Herstellung activer, continuirlicher Geräusche: eine massive Holzrolle von 10 cm Durchmesser und 60 cm Länge, welche mittels eines Wassermotors um eine horizontale Axe gedreht wurde, und über welche nebeneinander 1 bis 4 Wellpappenstreifen von 10 cm Breite und 45 cm Länge dergestalt aufgehängt wurden, daß ein Ende derselben am Fuß des Apparates befestigt ist, während das mit 50 g beschwerte andere Ende frei über die Rolle hinabhängt. Wird die Rolle gedreht, so erzeugt die Reibung derselben gegen die Wellpappenstreifen ein continuirliches Geräusch, welches, da die Drehungsgeschwindigkeit constant auf $\frac{1}{2}$ Sec. gehalten wurde, je nach der Anzahl der verwendeten Streifen in vier verschiedenen, sich wie 1 : 2 : 3 : 4 verhaltenden Intensitäten hervorgebracht werden kann.

2. Für die Herstellung activer oder passiver, continuirlich oder momentan erklingender Töne: zwei mit HELMHOLTZ'schen Resonatoren versehene elektromagnetische Stimmgabeln zu 128 und 256 Doppelschwingungen, welche mittels einer in einem Nebenzimmer aufgestellten Accumulatorenbatte mit Interruptor in constanter, durch Einführung oder Ausschaltung von Widerständen zu regelder Bewegung erhalten wurden. Zur Messung der Reizintensitäten dienten je zwei stählerne, vorn konisch zugespitzte Mikrometerschrauben *M*

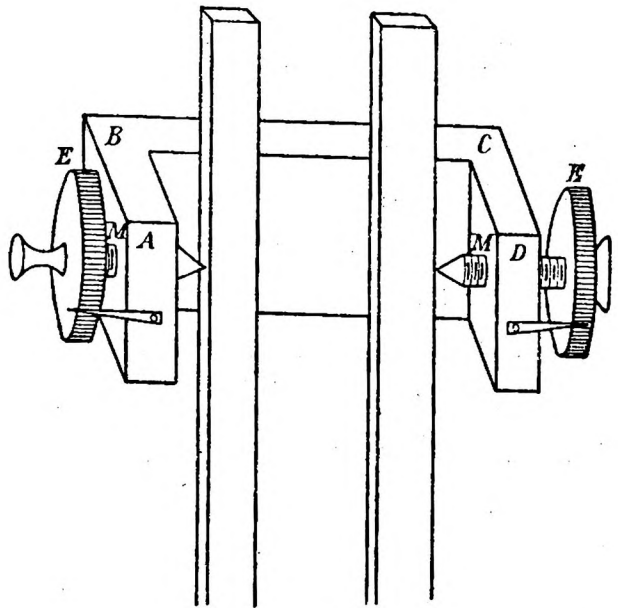


Fig. 17.

(Fig. 17), welche in einem die Gabel umfassenden und am Gabelstativ befestigten soliden kupfernen Bügel *ABCD* drehbar sind, und bei jeder Umdrehung um 0,5 mm senkrecht zu den Seitenflächen der Gabel verschoben werden. Indem die Peripherie der an die Schrauben befestigten Cylinder *E* in 100 Theile eingetheilt ist, entspricht einer Drehung

um Einen Theilstrich eine Verschiebung von 0,005 mm. Um mittels dieser Einrichtung die Amplitude der schwingenden Gabel direct messen zu können, ist nur nöthig, daß die Schraubenspitzen mit den Seitenflächen, einmal der ruhenden, sodann der bewegenden Gabel eben in Berührung gebracht, und die entsprechenden Schraubenstellungen abgelesen werden; die Differenz derselben ergiebt dann die gesuchte Amplitude. Wenn die Gabel schwingt, gelingt die genaue Bestimmung der zur Berührung erfordernten Schraubenstellung sehr leicht; so bald nämlich die langsam vorgeschobene Schraubenspitze den Punkt der größten Abweichung der Gabel vom Ruhestande erreicht, macht sich ein leises, periodisch aussetzendes Ticken hörbar, welches bei nicht allzugroßen Amplituden durch Drehung des Cylinders um einen einzigen Theilstrich zum Verschwinden gebracht und wieder hervorgerufen werden kann. Die Bestimmung der zur Berührung der ruhenden Gabel erfordernten Schraubenstellung erfolgt mit Hülfe einer elektrischen Klingel, welche in einem einerseits mit der Stimmgabel, andererseits mit den Mikrometerschrauben verbundenen Stromleiter eingeschaltet ist, und im Momente der Berührung sofort zu läuten beginnt. Indem auch diese Einrichtung mit fast idealer Präcision functionirte, gelang es die kleineren Amplituden bis auf 0,005 mm, die größeren jedenfalls bis auf 0,02 mm genau zu bestimmen.

3. Für die Herstellung passiver Geräusche: ein kleines Fallphonometer, mittels dessen eine Elfenbeinkugel von 7 mm Durchmesser und 0,4 g Gewicht von einer Höhe von 1 bis 30 cm auf ein Ebenholzbrettchen hinunterfällt; und

4. das Läutewerk einer gewöhnlichen Weckeruhr, dessen Schall durch allmähliches Vergrößern oder Verkleinern der Entfernung von der Versuchsperson abgeschwächt oder verstärkt wird.

Bei den drei Versuchsreihen, über welche ich hier zu berichten habe, wurden zum Erzeugen der Activreize ausschließlich die Holzrolle mit Wellpappenstreifen, zum Erzeugen der Passivreize dagegen abwechselnd die Stimmgabel zu 128 Doppelschwingungen, das Fallphonometer und die Weckeruhr verwendet. Die Versuchsperson saß bei fixirter Kopflage am Experimentirtisch; vor ihr standen in constanten Entfernungen die schallerzeugenden Apparate, mit Ausnahme der Weckeruhr, welche in der Medianebene, einer eingetheilten Schnur entlang, vom Experimentator hin- und herbewegt wurde. Die Bestimmung der Schwellen für

die drei Passivreize geschah abwechselnd ohne daß ein Hemmungsreiz (mit Ausnahme des bei allen Versuchen constant mitgegebenen schwachen Geräusches des Wassermotors) einwirkte, und bei gleichzeitiger Anwendung eines solchen in einer der vier möglichen Intensitäten; mit Rücksicht auf die nicht ganz gleiche Stellung der Versuchsperson zu den verschiedenen Wellpappenstreifen wurde sorgfältig darauf geachtet, daß die Streifen in allen möglichen Combinationen gleich oft zur Verwendung gelangten. Bei jedem Versuch wurden nach der Methode der Minimaländerungen die Amplituden der Gabel, die Fallhöhen der Elfenbeinkugel und die Entfernungen der Weckeruhr, bei welchen die Reize sich eben bemerklich machten, bestimmt; und schließlich die Quadrate der ersteren, die directen Werthe der zweiten und die umgekehrten Quadrate der letzteren der Berechnung der Mittelwerthe und wahrscheinlichen Fehler zu Grunde gelegt. Die einfachen Reizschwellen wurden 12 mal, die erhöhten Reizschwellen bei Anwendung des Activreizes in je einer Intensität 24 mal für jeden der Passivreize bestimmt. In den Tab. X—XII sind als Einheiten die Reizstärken angenommen, welche unter den oben angegebenen Bedingungen die Holzrolle bei Verwendung Eines Wellpappenstreifens, die Gabel bei einer Amplitude von 0,01 mm, die Elfenbeinkugel bei einer Fallhöhe von 1 cm, und die Weckeruhr in einer Entfernung von 10 m erzeugt. Die Hemmungscoefficienten und die daraus berechneten, mit den beobachteten zu vergleichenden Schwellenwerthe sind in der nämlichen Weise wie früher ermittelt worden.

Tabelle X.

(Passivreiz: schwingende Gabel.)

Intensität d. Activreizes	Mittlere Reizschwelle	W. F. derselben	Hemmungscoefficient	Berechnete Reizschwelle
0	20	1,3	} 28,6 }	18,2
1	46	2,2		46,8
2	74	3,4		75,4
3	102	4,4		104,0
4	135	6,9		132,6

Tabelle XI.
(Passivreiz: fallende Elfenbeinkugel.)

Intensität d. Activreizes	Mittlere Reizschwelle	W. F. derselben	Hemmungs- coefficient	Berechnete Reizschwelle
0	1,18 ¹	0,07	} 2,44 }	1,17
1	3,75	0,35		3,61
2	5,88	0,33		6,06
3	8,33	0,29		8,49
4	11,08	0,36		10,93

Tabelle XII.
(Passivreiz: Weckeruhrgeläute.)

Intensität d. Activreizes	Mittlere Reizschwelle	W. F. derselben	Hemmungs- coefficient	Berechnete Reizschwelle
0	0,31	0,01	} 0,74 }	0,41
1	1,24	0,05		1,15
2	1,97	0,08		1,89
3	2,60	0,05		2,63
4	3,33	0,09		3,37

Aus diesen Tabellen erhellt ohne Weiteres, daß das Gesetz von der Proportionalität zwischen Intensität des Activreizes und Erhöhung der Passivreizschwelle sich auch für das Gebiet der Schallempfindungen trefflich bewährt. Die Uebereinstimmung ist hier sogar so genau, daß es unnöthig erschien, dieselbe durch graphische Darstellungen noch einmal zu veranschaulichen.

Man wird vielleicht fragen, ob für das vorliegende Gebiet, wo die Intensitäten der Activreize in durchaus willkürlichen Einheiten ausgedrückt worden sind und keine exacte Vergleichung zulassen, der Begriff des Hemmungscoefficienten seine Gültigkeit nicht verliere. Darauf wäre zu erwidern, daß allerdings diese Hemmungscoefficienten über das Intensitätsverhältniß zwischen hemmenden und gehemmten Reizen keine Auskunft gewähren,

¹ Diese Zahl ist nicht ganz zuverlässig, da bei diesen geringen Fallhöhen die Kugel, statt von dem Fallbrett zurückzuspringen, oft an demselben hinabrollt, und so ein abnorm verlängertes Geräusch hervorbringt. Doch kann, mit Rücksicht auf das befriedigende Zusammenstimmen der Zahlen, der Fehler kaum erheblich sein.

sondern nur dazu dienen, die wahrscheinlichen Schwellenwerthe zu berechnen und die Geltung der Hemmungsgesetze in möglichst exacter Weise zu erproben. Aber für die früher besprochenen Empfindungsgebiete liegt die Sache nicht wesentlich anders. Auch die Intensitäten qualitativ verschiedener Farben- oder Geschmacksempfindungen haben wir in letzter Instanz nur durch verschiedene und unvergleichbare Einheiten messen können; wir können ja gar nicht wissen, ob die optischen Energien des von gleichgroßen rothen und blauen Sektoren zurückgeworfenen Lichtes, oder die chemischen Energien gleichprocentiger Kochsalz- und Zuckerlösungen einander gleich sind oder nicht. Das ist aber, um die Hemmungskoefficienten für den angegebenen Zweck verwendbar zu machen, auch gar nicht nöthig. Denn die Energien eines Reizes von bestimmter Qualität sind doch jedenfalls der Breite der Sektoren oder dem Concentrationsgrade der Lösungen proportional; um also die vorgefundenen Werthe auf eine gemeinsame Energieeinheit zurückzuführen, brauchten dieselben nur mit einem für jede Reizqualität constanten Factor multiplicirt zu werden. Dadurch würden aber offenbar zwar die festgestellten Constanten, nicht aber die ermittelten gesetzlichen Verhältnisse eine Veränderung erleiden.

Wenn also der Ermittlung der Hemmungskoefficienten jetzt ebensowenig wie früher etwas im Wege steht, so gestatten jedoch die bis dahin von mir verwendeten Schallreize nicht, dieselben in gleicher Weise wie früher auszunutzen. Von den beiden für Farben- und Geschmacksreize festgestellten, den Zusammenhang zwischen Hemmungskräften, Hemmungswiderständen und Reizschwellen bei qualitativ verschiedenen Reizen beherrschenden Gesetzen, läßt sich nämlich dasjenige von der Proportionalität zwischen Hemmungskräften und Hemmungswiderständen ohne Einführung neuer Apparate nicht auf seine Gültigkeit für Schallempfindungen prüfen. Das liegt an dem Umstande, daß von den Apparaten, welche ich für die Hervorbringung von Passivreizen verwendet habe, nur Einer sich annähernd dazu eignet, auch für die Erzeugung von Activreizen, welche sich ihrer Intensität nach mit jenen vergleichen ließen, gebraucht zu werden. Der Schall der fallenden Elfenbeinkugel schließt, selbst wenn sich derselbe durch Vergrößerung des Gewichtes und der Fallhöhe genügend verstärken ließe, durch seinen momentanen Charakter die Verwendung als Activreiz aus; der Ton der

Stimmgabel kann zwar durch das Anbringen eines Leitungsrohres vom Resonator bis zum Ohr der Versuchsperson bedeutend verstärkt werden, das Maafs dieser Verstärkung läfst sich aber nicht genau bestimmen. Nur das Geläute der Weckeruhr gestattet eine genügende und meßbare Verstärkung durch fortgesetzte Annäherung; doch würden auch hier bei zu geringen Entfernungen Fehlerquellen kaum zu vermeiden sein. Jedenfalls lassen sich die drei auf ihre Hemmungswiderstände untersuchten Reize nicht gleichfalls auf ihre Hemmungskräfte untersuchen und vergleichen, und muß demnach die Frage nach dem gesetzlichen Verhältniß zwischen diesen Gröfsen vorläufig unentschieden bleiben. Vielleicht finde ich später Gelegenheit, diese Frage mit Hülfe neuer Apparate zu untersuchen; es würde mich aber freuen, wenn sich irgendein jüngerer Fachgenosse dieser nützlichen, nicht allzu schweren und Erfolg versprechenden Analogiearbeit unterziehen wollte.

In Bezug auf das zweite der obenerwähnten Gesetze, nach welchem die Hemmungswiderstände qualitativ verschiedener Reize den einfachen Reizschwellen umgekehrt proportional verlaufen, liegen die Verhältnisse günstiger. Die einfache Reizschwelle verhält sich zum Hemmungscoefficienten in Tab. X wie 1 : 1,43, in Tab. XI wie 1 : 2,07, in Tab. XII wie 1 : 2,39; die Reizschwellen betragen also durchwegs 0,4 bis 0,7 des Hemmungscoefficienten, wodurch sich das erwähnte Gesetz auch für das jetzt vorliegende Gebiet in befriedigender Weise bewährt.

II. Folgerungen: die Reizschwelle.

Die Gesetze, welche unsere bisherigen Untersuchungen ans Licht gefordert haben, fasse ich noch einmal in folgende Formel kurz zusammen: die an der Erhöhung der Reizschwellen gemessenen Hemmungswirkungen sind den Intensitäten der hemmenden Reize, und bei qualitativer Verschiedenheit derselben den Widerständen, welche sie selbst der Hemmung durch andere Reize entgegensetzen, sowie ihren reciproken Reizschwellen, proportional. Aus diesen Gesetzen lassen sich mehrere wichtige Folgerungen allgemeinerer Natur ableiten, von welchen jedoch einige eine vorhergehende Discussion der Frage, ob wir es hier mit im engeren Sinne physiologischen oder mit psycho-

logischen Verhältnissen zu thun haben, erfordern würden. Indem ich es vorziehe, diese Discussion zu verschieben, bis wir das Hemmungsgesetz noch auf seine Gültigkeit für weitere Erscheinungen geprüft haben, beschränke ich mich hier auf eine kurze Folgerung in Bezug auf den Begriff der Reizschwelle, welche, soweit ich sehe, unabhängig von jener Frage aus den vorliegenden Versuchsergebnissen sich ergibt.

Die Thatsache, daß bei allmählicher Abschwächung eines Reizes die zugehörige Empfindung verschwindet ehe der Reiz den Nullwerth erreicht, wird gewöhnlich aus dem Zusammenwirken zweier Factoren erklärt: einmal aus Widerständen, welche die physiologische Wirkung des Reizes in den Sinnesorganen oder in den nervösen Leitungsbahnen zu überwinden hat, sodann aus der Concurrenz anderer, gleichzeitig der Aufmerksamkeit sich aufdrängender Reize. Dieser letztere Factor fällt offenbar unter den Begriff der Hemmung; seine Bedeutung für das Zustandekommen des vorliegenden Phänomens wird durch zahlreiche und naheliegende Thatsachen, vor Allem durch die Herabsetzung der Schwelle für Licht- oder Schallreize im Dunkeln oder in der Stille, außer Zweifel gesetzt. Von jenem ersteren Factor dagegen wird meistens die hypothetische Natur zugestanden; für die Annahme desselben sprechen zwar gewisse physikalische und physiologische Analogien, aber keine directen Thatsachen. Ueber die Frage schliesslich, in welchem Verhältniß die beiden Factoren zur Thatsache der Reizschwelle beitragen, fehlen bis dahin alle Daten; auch ist kaum Aussicht vorhanden, auf directem experimentellem Wege diese Frage zur Entscheidung zu bringen. Denn dazu müßte es möglich sein, unter vollständiger Ausschließung aller Hemmung die Reizschwellen zu bestimmen, wozu nicht nur absolute Stille und Dunkelheit, sowie Aufhebung aller Druck- und Organreize, sondern auch vollständige Leere des Bewußtseins, mit alleiniger Ausnahme der auf ihre Merklichkeit zu untersuchenden Empfindung, erfordert wäre. Wenn aber an eine directe experimentelle Sondernung jener beiden Factoren nicht zu denken ist, so kann doch, wie mir scheint, über das thatsächliche Verhältniß zwischen denselben aus den vorliegenden Versuchsergebnissen mit genügender Sicherheit etwas geschlossen werden. Wir haben nämlich für die drei bis dahin untersuchten Sinnesgebiete im Großen und Ganzen übereinstimmend gefunden, daß die Reizschwellen für

Empfindungen verschiedener Qualität sich nahezu umgekehrt proportional den Hemmungswiderständen verhalten: das heißt also, daß sie zu den Erhöhungen, welche sie unter dem Einflusse einer beliebigen hemmenden Kraft erfahren, in einem constanten Verhältnisse stehen. Diese durchgehende Proportionalität zwischen der Empfänglichkeit für Hemmungswirkungen und für die Einflüsse, welche die Reizschwelle bestimmen, weist nun in unzweideutiger Weise darauf hin, daß diese letzteren Einflüsse, oder wenigstens der überwiegende Theil derselben, gleicher Natur sein müssen wie jene ersteren. Wenn und insofern Hemmungswirkungen der Reizschwelle zu Grunde liegen, läßt die festgestellte Gesetzmäßigkeit sich ohne Weiteres als nothwendig begreifen; wenn und insofern dieselbe dagegen durch Widerstände im Nervensystem zu Stande kommt, bleibt diese Gesetzmäßigkeit durchaus unerklärt. Stand also, wie oben bemerkt wurde, aus anderen Gründen schon fest, daß wenigstens ein Theil der Reizschwelle auf Hemmungswirkungen beruht, so sind wir jetzt wohl berechtigt zu schließen, daß dieser Theil dem Ganzen sehr nahe kommt. Dasjenige, was in unseren Laboratorien als Reizschwelle gemessen zu werden pflegt, muß entweder ganz, oder bis auf einen in die Beobachtungsfehler sich versteckenden Bruchtheil, nicht eliminirbaren oder nicht eliminirten Hemmungswirkungen zugeschrieben werden.

Es erübrigt noch, kurz zu bemerken, daß, wenn diese Folgerung zugestanden wird, jene nicht eliminirbaren oder nicht eliminirten Hemmungswirkungen, welche den Reizschwellen für ein bestimmtes Sinnesgebiet zu Grunde liegen, sich ohne Schwierigkeit mit einer beliebigen jenem Gebiete angehörigen Kraft vergleichen und in derselben ausdrücken lassen. So findet man aus Tabelle III, daß die Reizschwellen für Farben auf Hemmungswirkungen beruhen, welche denjenigen eines im durchschnittlichen Verhältniß von 113:247 mit Schwarz gemischten blauen Sectors gleichkommen; aus Tabelle VII, daß den Reizschwellen für Geschmacksempfindungen Hemmungswirkungen zu Grunde liegen, welche im Mittel mit denjenigen einer zweiprocentigen Zuckerlösung äquivalent sind; aus Tabellen X—XII, daß die nicht eliminirbaren Hemmungswirkungen bei Schallempfindungen im Durchschnitt etwa $\frac{1}{2}$ der-

jenigen betragen, welche durch die Reibung der Holzrolle gegen Einen Wellpappenstreifen zu Stande kommen.¹ Man könnte vielleicht glauben, daß hiermit auch die Möglichkeit gegeben wäre, Reize verschiedener Modalität auf ihre Hemmungskräfte zu vergleichen; indem nämlich vorauszusetzen sei, daß bei den unter möglichst gleichen Umständen angestellten Schwellenversuchen überall dieselben uneliminirbaren Hemmungswirkungen vorkommen, seien die mit diesen gleichgestellten hemmenden Kräfte auch als unter sich äquivalent aufzufassen. Wer so schließen wollte, würde jedoch den überaus bedeutsamen Einfluß der jeweiligen Richtung der Aufmerksamkeit übersehen. Bei Versuchen, welche auf ein bestimmtes Sinnesgebiet sich beziehen, ist die Aufmerksamkeit allgemein den Erscheinungen dieses Gebietes angepaßt; von der Gesamtheit der physikalisch wirksamen uneliminirbaren Reize werden demnach bei Schallversuchen fast ausschließlich die Schallreize, bei Farbenversuchen fast ausschließlich die Lichtreize als hemmende Factoren in Betracht kommen u. s. w. Den Reizschwellen für Empfindungen verschiedener Modalität liegen also Hemmungswirkungen zu Grunde, welche nicht durch die nämlichen, sondern durch verschiedene uneliminirbare Reize veranlaßt werden, und welche wir nicht berechtigt sind für gleich zu halten; die bis jetzt zur Verwendung gelangten Untersuchungsmethoden sind demnach nicht im Stande, über das Verhältniß der hemmenden Kräfte disparater Reize irgendwelchen Aufschluß zu gewähren.

$$^1 \frac{1}{4} \left(\frac{1,7}{0,020} + \frac{1,4}{0,018} + \frac{1,2}{0,010} + \frac{0,5}{0,003} \right) = 113.$$

$\frac{1}{2} \left(\frac{0,25}{0,085} + \frac{0,0004}{0,00051} \right) = 1,9$; wobei die nach S. 347 unzuverlässige Reizschwelle für HCl außer Betracht gelassen ist.

$$\frac{1}{3} \left(\frac{20}{28,6} + \frac{1,18}{2,44} + \frac{0,31}{0,74} \right) = 0,53.$$

(Eingegangen am 29. Juni 1899.)