



Aus dem physiologischen Institute zu Freiburg i. B.

**PHOTOMETRISCHE UNTERSUCHUNGEN
ÜBER DIE
SCHWELLENWERTE DER LICHTREIZE.**

**INAUGURAL-DISSERTATION
ZUR
ERLANGUNG DER DOCTORWÜRDE
VORGELEGT DER
HOHEN MEDICINISCHEN FACULTÄT
DER
ALBERT-LUDWIGS-UNIVERSITÄT ZU FREIBURG i. B.
VON**

ARTHUR PERTZ

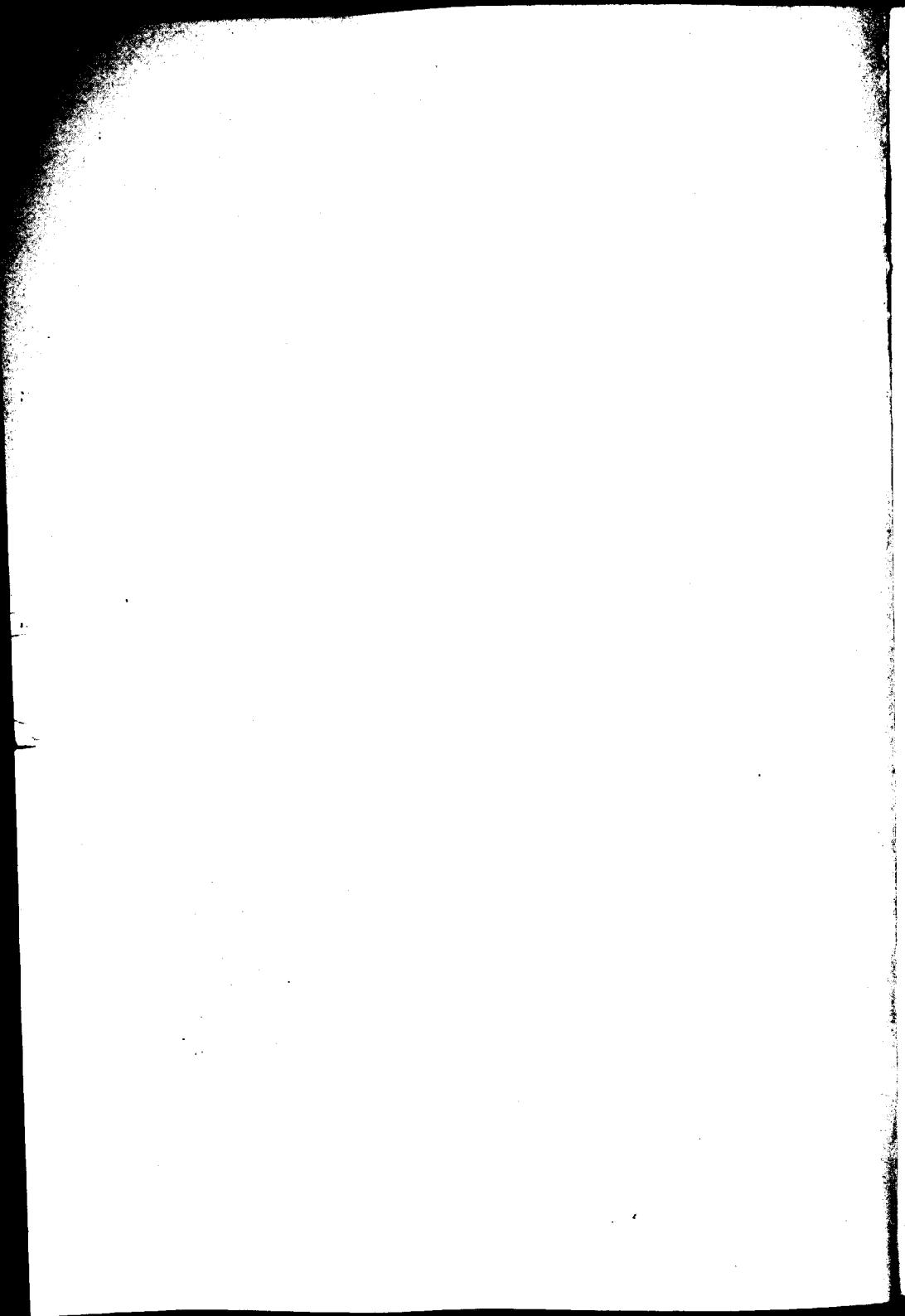
AUS HANNOVER.



FREIBURG i. B.

FR. WAGNER'SCHE BUCHDRUCKEREI.

1896.



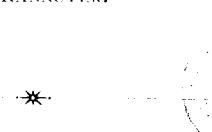
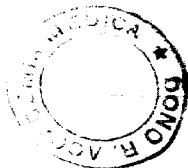
Aus dem physiologischen Institute zu Freiburg i. B.

**PHOTOMETRISCHE UNTERSUCHUNGEN
ÜBER DIE
SCHWELLENWERTE DER LICHTREIZE.**

**INAUGURAL-DISSENTATION
ZUR
ERLANGUNG DER DOCTORWÜRDE
VORGELEGT DER
HOHEN MEDICINISCHEN FACULTÄT
DER
ALBERT-LUDWIGS-UNIVERSITÄT ZU FREIBURG i. B.
VON**

ARTHUR PERTZ

AUS HANNOVER.



FREIBURG i. B.

FR. WAGNER'SCHE BUCHDRUCKEREI.

1896.

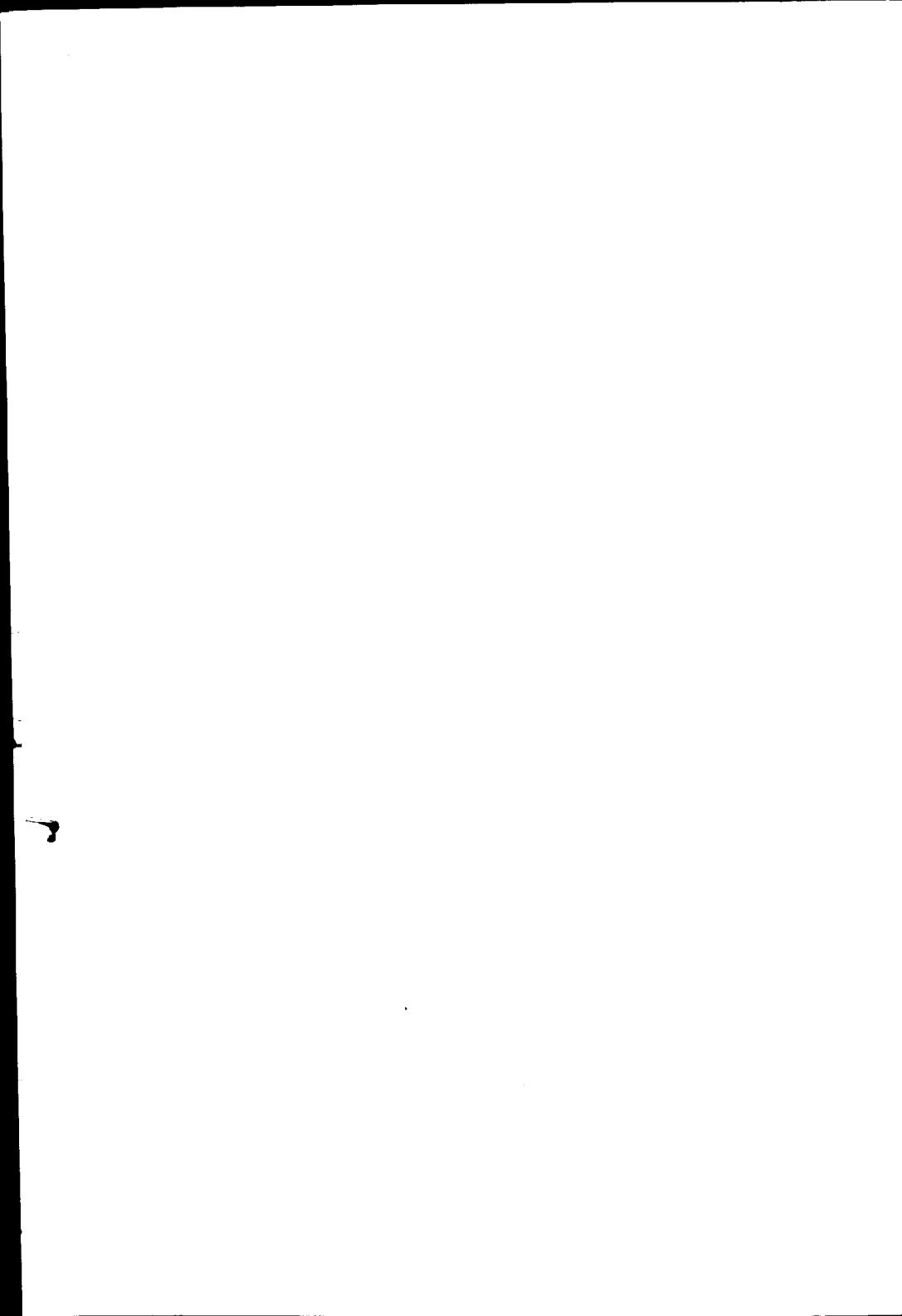
Gedruckt mit Genehmigung der medicinischen Facultät.

Deckan: GEH. RAT PROF. DR. MANZ.

Referent: GEH. HOFRAT PROF. DR. VON KRIES.

MEINEM LIEBEN VATER
IN DANKBARKEIT UND VEREHRUNG

GEWIDMET.



Die histologische Anatomie lehrt uns, dass an der musivischen Schichte der Retina des menschlichen Auges zwei Hauptelemente zu unterscheiden sind, Zapfen und Stäbchen. Die eigentümliche Verteilung dieser Elemente über die Retinalfläche, das ausschliessliche Vorkommen von Zapfen in der Fovea centralis einerseits, die Abnahme beider nach der Peripherie hin andererseits, legt mit Recht die Vermutung nahe, beide als percipierende Endorgane der Opticusfasern, insbesondere aber die Zapfen als solche aufzufassen, da das physiologische Experiment ergiebt, dass die Fovea centralis die Stelle des deutlichsten Sehens ist, und dass nach der Peripherie hin eine Abnahme des Schvermögens oder vielmehr des Unterscheidungsvermögens eintritt. Diese Thatsache erhellt ohne weiteres aus folgendem: Jeder Mensch, der sich bestrebt, einen Gegenstand deutlich zu sehen, fixiert, das heisst, sucht das betreffende Objekt auf die Zapfen der Fovea centralis wirken zu lassen, während er die weiter oder näher bei dem Fixationspunkte gelegenen Gegenstände je nachdem mehr oder weniger deutlich unterscheidet bis zu einer Grenze, bei der überhaupt das Sehvermögen aufhört. Diesen Verhältnissen entsprechend sollte man erwarten, bei Untersuchungen über die Schwellenwerte der zu einer Empfindung notwendigen Lichtmenge bei central einfallenden Strahlen einer-, bei peripher einfallenden Strahlen andererseits für die Fovea centralis einen niedrigeren Wert als für die Peripherie zu finden.

Wie dieses Verhältnis sich gestaltet, soll im folgenden untersucht werden.

Die Anordnung des Versuches war in der Aufgabe gegeben. Zur Orientierung diene kurz folgendes:

- 1) Man fixiert mit einem Auge einen Gegenstand von einer gewissen Helligkeit und ändert diese letztere durch Näher- oder Fernerrücken einer bestimmten Lichtquelle so lange, bis er eben anfängt, unsichtbar zu werden. Das Resultat ist der Schwellenwert für central einfallende Strahlen.
- 2) Man lässt das gleiche Auge um denselben Gegenstand herumschweifen und ändert nun den Stand derselben Lichtquelle, bis der Gegenstand wieder eben zu verschwinden beginnt. Das Resultat ist der Schwellenwert für peripher einfallende Strahlen.

Um die Versuche nicht zu kompliziert zu gestalten, habe ich mich darauf beschränkt, nur mit gut dunkel adaptiertem Auge zu beobachten.

Versuche über den Schwellenwert wurden schon früher von Aubert¹⁾ und neuerdings im hiesigen Physiologischen Institute²⁾ ausgeführt, bei denen man Werte erhielt, die immer mehr oder weniger als individuelle, nicht absolut fest bestimmte zu betrachten sind. Um nun fest bestimmte Werte zu erhalten, ist es notwendig, einen Gegenstand von einer ganz bestimmten Qualität und eine Lichtquelle von einer ebenfalls ganz fest bestimmten Qualität zu benutzen und immer mit derselben in das Auge gelangenden Quantität Licht zu beobachten. Letztere Bedingung konnte auf zweierlei Weise erfüllt werden. Entweder musste die bei jeder Beobachtung vorhandene Pupillenweite bestimmt oder überhaupt eine

¹⁾ Aubert, Physiologie der Netzhaut.

²⁾ Die betreffenden Versuche werden noch veröffentlicht.

Veränderung der Weite der Pupille ausgeschlossen werden. Da alle Versuche bei gut dunkel adaptiertem Auge ausgeführt wurden, bei dem man eine maximale Pupillenerweiterung als konstant vorhanden annehmen darf, so war damit die Quantität der Lichtstrahlen ein für alle Mal bestimmt. Die Bestimmung der übrigen Grössen geschah folgendermassen.

I.

Bestimmung der Helligkeit des Fixationspunktes.

Als Normalweiss wurde eine mit Magnesiumoxyd überzogene Metallplatte angenommen, die jederzeit neu und in derselben Helligkeit leicht wieder herzustellen war. Hierzu benutzte ich eine Zinkplatte von etwa 25 cm im Quadrat, welche über brennendes Magnesiumband gehalten und dadurch mit einem dichten Überzug von Magnesiumoxyd versehen wurde. Diese so präparierte Tafel befestigte ich hinter einem physiologischen Farbenkreisel so dicht wie möglich und rotierte vor derselben eine mit einem Sektorenausschnitt versehene tiefschwarze Zeugscheibe. Je nach der Grösse des Sektors, welche beliebig geändert wurde, konnte man dann alle Abstufungen vom intensiven Weiss bis zum tiefsten Schwarz herstellen. Ich will hier einschalten, dass es bei weitem einfacher gewesen wäre, auch die Magnesiumoxydscheibe mit dem Kreisel zu rotieren, doch sind leider alle Versuche, mit Magnesiumoxyd direkt Papier oder Carton zu überziehen oder die Magnesiumoxyd-Zinktafel zu rotieren, gescheitert, und zwar einmal daran, dass das betreffende Papier zu rasch erwärmt wurde, auch wenn man es an wenigen Stellen auf eine kalte Unterlage befestigte, und sich dann kein Magnesiumoxyd mehr darauf niederschlug, oder zweitens daran, dass das Magnesium-

oxyd weder am Papier noch an der Zinktafel so fest haftete, um nicht bei der immerhin sehr schnellen Rotation abgeschleudert zu werden. Welchen Übelstand die feststehende Magnesiumoxydtafel mit sich brachte, werde ich weiter unten auseinandersetzen. Zuerst verglich ich gewöhnliches Schreibpapier mit dem Magnesiumoxyd. Bekanntlich geschieht dieser Vergleich in der Art, dass man eine im Radius aufgeschnittene runde Scheibe von diesem Schreibpapier mit einer genau ebenso grossen Scheibe des oben erwähnten schwarzen Zeuges, die ebenfalls im Radius aufgeschnitten ist, ineinander schiebt und so eine beliebige Quantität dieses Schwarz zu dem Weiss des Schreibpapiers hinzumischen kann. Diese beiden Scheiben befestigt man vor der etwas grösseren Tuchscheibe mit dem Sektorenausschnitt und rotiert alle drei vor der Magnesiumscheibe, während man in einer Entfernung von etwa 50 cm direkt darauf sieht. Es stellte sich nun heraus, dass der Versuch, eine Farbengleichung zu stande zu bringen, bei Tageslicht nicht ausführbar war, da die Farbendifferenz zwischen dem Schreibpapier und der blendend weissen Magnesiumoxydscheibe zu auffallend war, um ein gleichgefärbtes Grau herstellen zu können. Um diesem Übelstande abzuhelfen, versuchte ich den Vergleich bei Gasbeleuchtung. Ein Argandbrenner wurde, seitlich etwas erhöht, so angebracht, dass sein Licht voll auf den Farbenkreisel fiel, während ich in horizontaler Richtung und im rechten Winkel beobachtete. Die Beobachtungen wurden in Farbengleichungen ausgedrückt, indem man nach jedem Vergleich die Sektorenbreite des weissen Papiers in Grade mass. Da die beiden schwarzen Scheiben aus dem gleichen Zeuge hergestellt waren, konnte man sie vorläufig ausser Acht lassen. Die erhaltene Anzahl Grade der Magnesiumoxydtafel und des Papiers waren somit gleich zu setzen. Jede Gleichung wurde auf 1° Magnesiumoxyd umgerechnet und hieraus das Mittel ge-

zogen. Die mittlere Abweichung ergab sich dann leicht. Eine der erhaltenen zahlreichen Tabellen folgt hier.

Tabelle I.

Magnesiumoxyd gegen Schreibpapier.

Seitliche Gasbeleuchtung.

Entfernung des Brenners von der vorderen Scheibe
131 cm.

Distanz zwischen vorderer und hinterer Scheibe 34 mm.

No.	Mg O = Weiss	pro 1° Mg O	Abweichung vom Mittel
1	240° = 332°	1,38	0,03
2	131° = 173°	1,32	0,03
3	167° = 223°	1,34	0,01
4	182° = 245°	1,35	0,00
5	190° = 260°	1,37	0,02
6	195° = 262°	1,34	0,01
7	205° = 273°	1,33	0,02
8	210° = 285°	1,36	0,01
9	215° = 290°	1,35	0,00
10	220° = 299°	1,36	0,01
11	231° = 310°	1,34	0,01
12	237° = 321°	1,35	0,00

Mittlerer Wert:

1° Mg O = 1,35° Weiss,
mittlere Abweichung:

0,01.

Bei den letzten Versuchsreihen fiel es mir auf, dass die Werte für das Weiss successive in die Höhe gingen, sodass man mehr Weiss zur Neutralisation des Magnesiumoxyds gebrauchte, wie wenige Tage vorher. Dem konnten zwei Ursachen zu Grunde liegen. Entweder nahm die Intensität des Papiers ab oder die des Magnesium-

oxyds zu. Aus diesem Grunde wiederholte ich die Versuche mit einer ganz neu geschnittenen Papierscheibe und der alten Magnesiumoxydtafel und erhielt:

Tabelle II.
Neues Schreibpapier gegen Magnesiumoxyd.

Seitliche Gasbeleuchtung.

Entfernung des Brenners von der vorderen Scheibe
131 cm.

Distanz zwischen vorderer und hinterer Scheibe 34 mm.

No.	Mg O = Weiss	pro 1° Mg O	Abweichung vom Mittel
1	240° = 311°	1,30	0,02
2	237° = 315°	1,33	0,01
3	233° = 309°	1,33	0,01
4	219° = 295°	1,35	0,03
5	208° = 278°	1,34	0,02
6	191° = 250°	1,31	0,01
7	180° = 240°	1,33	0,01
8	167° = 220°	1,32	0,00
9	156° = 201°	1,29	0,03
10	137° = 180°	1,31	0,01

Mittlerer Wert:

1° Mg O = 1,32° Weiss.

mittlere Abweichung:

0,015.

Wie aus dieser Tabelle hervorgeht, hatte der Fehler an dem Alter des Papiers gelegen, da bei einer Vergleichung mit einer frisch überzogenen Magnesiumoxydtafel keine Abweichung gegen früher konstatiert werden konnte.

Bei dieser ganzen Anordnung der Versuche trat infolge der seitlichen Beleuchtung der Papiere immer stö-

rend der Schatten des grösseren Zeugsektors auf dem Magnesiumoxyd auf. Um ihn zu vermeiden, änderte ich die Beleuchtung in der Art, dass die Gasflamme hoch gestellt wurde und senkrecht über den Kopf des Beobachters hinweg die Papiere bestrahlte. Es zeigte sich ein ganz bedeutender Unterschied sowohl bei dem Papier von Tabelle No. I wie bei dem von Tabelle No. II. Es ergab sich:

Tabelle III.

Schreibpapier (cf. Tabelle I) gegen Magnesiumoxyd.

Senkrechte Gasbeleuchtung.

Entfernung des Brenners von der vorderen Scheibe 147,5 cm.

Distanz zwischen vorderer und hinterer Scheibe 34 mm.

No.	Mg O = Weiss	pro 1° Mg O	Abweichung vom Mittel
1	125° = 139°	1,11	0,04
2	175° = 195°	1,11	0,04
3	205° = 230°	1,12	0,03
4	234° = 275°	1,18	0,03
5	225° = 265°	1,18	0,03
6	191° = 225°	1,18	0,03
7	161° = 189°	1,18	0,03
8	220° = 251°	1,14	0,01
9	192° = 220°	1,14	0,01
10	153° = 174°	1,14	0,01

Mittlerer Wert:

1° Mg O = 1,15° Weiss,

mittlere Abweichung:

0,029.

Tabelle IV.

Neues Schreibpapier (cf. Tab. II) gegen
Magnesiumoxyd.

Senkrechte Gasbeleuchtung.

Entfernung des Bremers von der vorderen Scheibe
147,5 cm.

Distanz zwischen vorderer und hinterer Scheibe
34 mm.

No.	Mg O = Weiss	pro 1° Mg O	Abweichung vom Mittel
1	240° = 280°	1,17	0,01
2	235° = 270°	1,15	0,01
3	231° = 268°	1,16	0,00
4	223° = 265°	1,19	0,03
5	207° = 234°	1,13	0,03
6	182° = 213°	1,17	0,01
7	164° = 194°	1,18	0,02
8	157° = 181°	1,15	0,01
9	140° = 166°	1,18	0,02
10	127° = 147°	1,16	0,00

Mittlerer Wert:

1° Mg O = 1,16° Weiss,

mittlere Abweichung:

0,014.

Gerade nach Beendigung dieser Versuchsreihen erhielt ich aus Leipzig ein neues Papier geschickt, das, mit

Baryt bereitet, eine sehr grosse Weisse besass, und ich entschloss mich deshalb, die Versuche auch mit diesem „Barytpapier“ zu wiederholen, da es mir geeigneter als alle bisher untersuchten Papiere erschien. Hierbei bemühte ich mich, die Versuche so einwandsfrei wie möglich einzurichten. Die bei den früheren Experimenten gesammelten Erfahrungen kamen mir jetzt sehr zu statthen, denn ich hatte jetzt die Beleuchtung und Beobachtungsart in der Hand. In Bezug auf die Beobachtungsart war nämlich schon während der ersten Versuche aufgefallen, dass je nach der Grösse des Beobachtungswinkels eine wohl zu beachtende Farbendifferenz auftrat, welche wesentlich ins Gewicht fallen musste. Der Grund hierfür liegt wohl in einer teilweisen Spiegelung der auffallenden Strahlen. Deshalb war die Anordnung jetzt für alle weiteren Versuche folgendermassen getroffen: Die Lichtquelle, ein grosser Argandbrenner, wurde in einer Entfernung von 150 cm vor der rotierenden Scheibe des Farbenkreisels so aufgestellt, dass das Licht aus gleicher Höhe im rechten Winkel direkt auf die Papiere fiel. Der Beobachtungswinkel wurde durch eine geeignete Kopfstütze immer auf 22° festgesetzt, um den oben erwähnten Fehler gänzlich zu beseitigen.

So entstand

Tabelle V.

Magnesiumoxyd gegen Barytpapier.

Entfernung des Brenners von der vorderen Scheibe 150 cm.

Distanz zwischen vorderer und hinterer Scheibe 34 mm.

Senkrecht auffallende Beleuchtung.

Beobachtungswinkel 22° .



No.	Mg O = Ba O	pro 1° Mg O	Abweichung vom Mittel
1	138° = 147°	1,07	0,02
2	124° = 134°	1,08	0,03
3	202° = 211°	1,04	0,01
4	240° = 254°	1,06	0,01
5	194° = 200°	1,03	0,02
6	172° = 183°	1,06	0,01
7	230° = 238°	1,03	0,02
8	206° = 214°	1,04	0,01
9	177° = 190°	1,07	0,02
10	149° = 159°	1,07	0,02

Mittlerer Wert:

$$1^{\circ} \text{ Mg O} = 1,06^{\circ} \text{ Ba O},$$

mittlere Abweichung:

$$0,017.$$

Es erhellt aus der Tabelle, dass die grösste Differenz der Resultate 5% beträgt bei einer mittleren Abweichung von 2%, Fehler, die als in den durch das Verfahren selbst gegebenen Grenzen liegend zu betrachten sind und ihre Erklärung in der nicht immer gleichmässigen Beleuchtung und einer jetzt schnelleren, dann langsameren Rotation finden. Denn bekanntlich hat Brücke gezeigt, dass der Talbot'sche Satz insofern eine Einschränkung erfährt, als die Helligkeit einer aus schwarzen und weissen Sektoren bestehenden rotierenden Scheibe nicht bei allen Rotationsgeschwindigkeiten dieselbe ist, sondern am hellsten wirkt bei 17—18 Abwechselungen pro Sekunde.¹⁾

Durch Beleuchtung mit Tageslicht konnten nun die Einflüsse der Gasbeleuchtung vermieden werden, doch kam dadurch leider wieder die schon oben einmal er-

¹⁾ Hermann, Lehrbuch der Physiologie. Berlin 1892 S. 560.

wähnte Farbendifferenz zwischen dem Magnesioxyd und dem Papier in Frage, welche allerdings bei dem Barytpapier bei weitem geringer, aber doch noch vorhanden war. Die entsprechenden Versuche zeigt

Tabelle VI.

Magnesioxyd gegen Barytpapier.

Tageslichtbeleuchtung.

Distanz zwischen vorderer und hinterer Scheibe 34 mm.
Beobachtungswinkel 22°.

No.	Mg O : Ba O	pro 1° Mg O	Abweichung vom Mittel
1	149° = 161°	1,08	0,00
2	175° = 192°	1,09	0,01
3	205° = 220°	1,07	0,01
4	240° = 253°	1,05	0,03
5	122° = 134°	1,09	0,01
6	148° = 160°	1,08	0,00
7	233° = 248°	1,06	0,02
8	181° = 193°	1,07	0,01
9	160° = 175°	1,09	0,01
10	137° = 149°	1,09	0,01

Mittlerer Wert:

$$1^{\circ} \text{ Mg O} = 1,08^{\circ} \text{ Ba O},$$

mittlere Abweichung:

$$0,011.$$

Die grösste Differenz beträgt hier nur mehr 4% bei einer mittleren Abweichung von 2%.

Dafür benötigte man jedoch durchschnittlich 2% Barytweiss mehr zur Neutralisation des Magnesioxyds,

was sich wohl aus der bei Tagesbeleuchtung deutlicheren Farbendifferenz erklären lässt.

Da die so gewonnenen Resultate als befriedigende gelten durften, konnten an ihnen die noch erforderlichen Korrektionsberechnungen ausgeführt werden. Wie oben erwähnt, befand sich die Magnesiumoxydtafel 34 mm hinter den rotierenden Scheiben. Zur Korrektion dieser Entfernungsdifferenz diente als physikalisches Gesetz: Die Lichtintensität nimmt mit dem Quadrate der Entfernung von der Lichtquelle ab. Es ergab sich demnach für obige Anordnung des Versuches

1) bei künstlicher Beleuchtung:

$$1^0 \text{ MgO} : 1534^2 = 1,06^0 \text{ BaO} : 1500^2$$
$$1^0 \text{ MgO} = 1,11^0 \text{ BaO};$$

2) bei Tageslicht:

$$1^0 \text{ MgO} : 1534^2 = 1,08^0 \text{ BaO} : 1500^2$$
$$1^0 \text{ MgO} = 1,13^0 \text{ BaO}.$$

Die zweite Korrektion betraf die Anwendung des künstlichen Schwarz, das gegen absolutes Schwarz umgerechnet werden musste. Leider war es ja, wie ich oben auseinandergesetzt habe, nicht möglich, das Magnesiumoxyd zu rotieren. Es musste deshalb vor dasselbe das künstliche Schwarz gebracht werden anstatt hinter das Magnesiumoxyd ein absolutes Schwarz. Das absolute Schwarz erhielt ich dadurch, dass ein etwa 150 cm langer Kasten von 25 cm im Quadrat der Länge nach dicht hinter die rotierenden Scheiben geschoben wurde. Die dem Kreisel zugekehrte Seite war offen und der ganze Kasten innen mit schwarzem Sammet ausgeschlagen. Auf diese Weise hatte man einen fast völlig unbeleuchteten Hintergrund. Der Vergleich des künstlichen gegen dieses absolute Schwarz geschah folgendermassen: Aus Schreib-

papier wurde eine runde Scheibe geschnitten, welche einen Sektorenausschnitt von etwa 45° besass. Mit dieser wurde die bei den früheren Versuchen verwendete kleine schwarze Zeugscheibe ineinandergeschoben und rotiert, während hinter dem Sektorenausschnitt auf obige Weise absolutes Schwarz hergestellt war. Durch Variierung des Sektorenausschnittes und dementsprechendes Zumischen des Schwarz erhielt man einen Vergleich des Schwarz gegen das benutzte Schreibpapier. Es ergab sich z. B.:

$$45^{\circ} \text{ Weiss} = 42^{\circ} \text{ Weiss} + 318^{\circ} \text{ Schwarz}$$
$$1^{\circ} \text{ Weiss} = 106^{\circ} \text{ Schwarz}.$$

Der Vergleich dieses Weiss gegen Magnesiumoxyd ergab:

$$1^{\circ} \text{ Weiss} = 0,88^{\circ} \text{ MgO},$$

mit Korrektion der Entfernung:

$$1^{\circ} \text{ Weiss} = 0,83^{\circ} \text{ MgO}.$$

Setzt man diesen Wert in obige Gleichung ein, so ergibt sich:

$$106^{\circ} \text{ Schwarz} = 0,83^{\circ} \text{ MgO}$$

$$1^{\circ} \text{ Schwarz} = 0,008^{\circ} \text{ MgO}.$$

Zur Korrektion der oben erhaltenen Werte in absolutes Schwarz

$$1^{\circ} \text{ MgO} = 1,11^{\circ} \text{ BaO resp. } 1,13^{\circ} \text{ BaO}$$

stellt man also die Gleichung auf:

$$360^{\circ} \text{ BaO} = \frac{360^{\circ}}{1,11^{\circ}} \text{ MgO}$$

$$360^{\circ} \text{ BaO} = 324^{\circ} \text{ MgO} + 36^{\circ} \text{ Schwarz}$$

$$360^{\circ} \text{ BaO} = 324^{\circ} \text{ MgO} + 0,008 \cdot 36^{\circ} \text{ MgO}$$

$$360^{\circ} \text{ BaO} = 324,3^{\circ} \text{ MgO}$$

$$1^{\circ} \text{ MgO} = \frac{360^{\circ}}{324,3^{\circ}} \text{ BaO}$$

$$1^{\circ} \text{ MgO} = 1,11^{\circ} \text{ BaO}$$

oder mit anderen Worten die Korrektion des Schwarz ist bis auf 2 Decimalstellen noch von keinem Einfluss, kann also vernachlässigt werden.

Als abschliessendes Resultat dieser Reihe von Versuchen ergibt sich demnach für Barytpapier:

- 1) bei Gasbeleuchtung mit horizontal im rechten Winkel auffallenden Strahlen in 150 cm Entfernung und bei einem Beobachtungswinkel von 22°
 1° Magnesiumoxyd $\sim 1,11^{\circ}$ Barytpapier;
- 2) bei Tageslicht unter denselben Bedingungen
 1° Magnesiumoxyd $\sim 1,13^{\circ}$ Barytpapier.

II.

Bestimmung der Intensität der Lichtquelle.

Es handelte sich jetzt darum, diesen in Bezug auf seine Helligkeit fest bestimmten Fixationspunkt mit einer ebenfalls jederzeit wieder zu erhaltenden Lichtquelle zu beleuchten, deren Lichtintensität demnach auch in einem Vielfachen einer physikalisch festgesetzten Normalhelligkeit auszudrücken war. Als physikalisches Normallicht diente die Amylacetatlampe, das sog. Hefnerlicht. Bezogen war sie von der Firma S. Elster in Berlin und vorher in der physikalisch-technischen Reichsanstalt zu Berlin auf ihre Funktion geprüft und beglaubigt. Sie besteht aus einem zur Aufnahme des Amylacetats dienenden Gefäss, an dem ein Dochetrohr angebracht ist. In diesem ist leicht durch ein Triebwerk ein Baumwolldocht ver-

schieblich, der so reguliert wird, dass die Flamme genau 40 mm hoch ist, was durch ein passend eingerichtetes und angebrachtes Visir jederzeit kontrolliert werden kann.

Das benutzte Amylacetat war aus Karlsruhe von der grossherzoglich badischen chemisch-technischen Prüfungs- und Versuchsanstalt bezogen und als durchaus zuverlässig empfohlen. Nachdem die Lampe eine gewisse Zeit gebrannt hatte, wurde sie zur Lichtmessung benutzt. Der photometrische Apparat war in einem absolut dunklen Versuchsräume aufgestellt. Er bestand aus einer in passender Höhe angebrachten langen Eisenschiene, auf der der Photometerschirm, nach Bunsen's Prinzip angefertigt, verschoben werden konnte. An die Enden der Eisenschiene kamen die zu vergleichenden Lichtquellen, in unserem Falle hier die Hefnerlampe, dort eine Gasflamme. Den jeweiligen Stand des Schirmes konnte man an einer auf der Laufschiene angebrachten Skala direkt ablesen. Dieselbe drückte gleich das Verhältnis zwischen den Quadraten der Entferungen des Schirmes von beiden Lichtquellen und damit also direkt das Verhältnis der Lichtintensitäten aus. Diese Skala habe ich sorgfältig auf ihre Richtigkeit nachgemessen. Da für meine Versuche voraussichtlich nur geringe Flammenhöhen notwendig waren, so benutzte ich immer einen Brenner mit einer Öffnung von 1 mm Durchmesser, dessen Flamme durch eine Klemmschraube mit Hülfe eines in Centimeter geteilten Cylinders auf ganz bestimmte Höhen eingestellt werden konnte. Sofort bei den ersten Versuchen mit einer Flammenhöhe von 2 cm des Gasbrenners und dem Hefnerlicht stellte sich der Übelstand heraus, dass einmal die Skala der Laufschiene nicht ausreichte und zweitens die Beleuchtung des Schirmes zu stark abnahm, um eine sichere Messung ausführen zu können.

Um dieses Verhältnis dennoch zu erhalten, musste man an Stelle des Hefnerlichtes eine Lichtquelle geringerer Intensität verwenden, und deshalb wählte ich den

Umweg, zuerst 2 Gasflammen, eine grössere von 3 cm Flammenhöhe und die oben erwähnte von 2 cm Höhe, untereinander und dann die grössere mit dem Hefnerlicht zu vergleichen, aus welchen beiden Gleichungen man später leicht das Verhältnis zwischen Hefnerlicht und 2 cm-Flamme finden konnte. Dementsprechend wurden auf dem einen Ende der Laufschiene ein Brenner von 1,5 mm Öffnung und 3 cm Flammenhöhe (fernerhin will ich ihn der Kürze halber als Brenner B bezeichnen), auf dem anderen Ende der oben erwähnte 1 mm Öffnung haltende Brenner (Brenner A) aufgestellt und mit einander verglichen. Es wurden bei jeder Flammenhöhe je 6 Versuche ausgeführt und daraus das Mittel genommen. So erhielt ich

Tabelle VII.
A gegen 3 cm-Flamme B.
Anordnung mit feststehenden Flammen.

Flammenhöhe von A	Intensität in Bruchteilen der 3 cm-Flamme B	pro em Flammenhöhe
1,5 cm	0,06	0,04
2 „	0,18	0,09
3 „	0,59	0,20
4 „	1,35	0,34
5 „	2,05	0,41
6 „	2,63	0,44
7 „	4,3	0,61
8 „	5,4	0,68
9 „	7,2	0,80
10 „	7,6	0,76

Die Vergleiche der niedrigen Flammenhöhen machten doch wegen der sehr schwachen Beleuchtung des Photometerschirmes grosse Schwierigkeiten; um dem abzuhelfen, wurde die Anordnung so getroffen, dass die eine Flamme näher an den Schirm herangerückt und gleichzeitig mit demselben verschoben wurde. Natürlich musste die Skala demgemäß abgeändert werden. Die erste Anordnung, wie sie bei Tabelle VII bestand, bezeichne ich mit Anordnung I, diese letztere eben beschriebene mit Anordnung II. Versuche mit dieser Anordnung führten zur Aufstellung der

Tabelle VIII.

A gegen 3 cm-Flamme B.
Anordnung II.

Flammen- höhe von A	Intensität in Bruchteilen der 3 cm-Flamme B	pro cm Flammenhöhe
1,5 cm	0,06	0,04
2 " "	0,19	0,09
3 " "	0,70	0,23
4 " "	1,43	0,36
5 " "	2,27	0,45
6 " "	2,9	0,48
7 " "	4,5	0,64
8 " "	5,2	0,65
9 " "	6,8	0,76
10 " "	8,0	0,80

Eine vergleichende Zusammenstellung beider Methoden ergiebt

Tabelle IX.

em	Tab. VII	Tab. VIII	Differenz in Hundertstel
1,5	0,04	0,04	0
2	0,09	0,09	0
3	0,20	0,23	3
4	0,34	0,36	2
5	0,41	0,45	4
6	0,44	0,48	4
7	0,61	0,64	3
8	0,68	0,65	3
9	0,80	0,76	4
10	0,76	0,80	4

Wie aus der Tabelle hervorgeht, beträgt die grösste Differenz 4%, was sicher zum Teil auf die grössere Beleuchtungsintensität des Schirmes bei der Anordnung II zurückzuführen ist. Ausserdem fiel diese Abweichung für meine Versuche völlig fort, da für die geringen Flammenhöhen von 1,5 und 2 cm, wie ich sie voraussichtlich benötigte, kein Fehler bestand, es demnach auch auf Anordnung I oder II nicht ankam.

Da also der photometrische Apparat auch praktisch den Anforderungen genügte, konnte nun zum Vergleich des Brenners A mit dem Hefnerlicht geschritten werden. Zuerst wurde Anordnung I gewählt. Es wurden wiederum jedes Mal je 6 Versuche gemacht und daraus das Mittel

genommen. Dieser Turnus wurde am folgenden Tage nochmals wiederholt, da besonders bei höheren Flammen der Vergleich nicht immer leicht auszuführen war. Die erste Versuchsreihe ergab

Tabelle X.

Gaslicht (Brenner A) gegen Hefnerlicht.

Anordnung I.

Flammen- höhe von A	Intensität in Bruchteilen des Hefnerlichts	pro cm Flammenhöhe
2 cm	nicht messbar	—
3 "	0,09	0,03
4 "	0,22	0,05
6 "	0,57	0,09
8 "	0,95	0,12
10 "	1,22	0,12

Die am folgenden Tage vorgenommenen Versuche lieferten

Tabelle XI.

Gaslicht (Brenner A) gegen Hefnerlicht.

Anordnung I.

Flammen- höhe von A	Intensität in Bruchteilen des Hefnerlichts	pro cm Flammenhöhe
2 cm	nicht messbar	—
3 "	0,08	0,03
4 "	0,26	0,05
6 "	0,63	0,10
8 "	1,03	0,13
10 "	1,46	0,15

Um ganz sicher zu gehen, wurden jetzt noch je zwei Versuchsreihen auch mit Anordnung II vorgenommen. Hierbei wurde immer das Hefnerlicht fest aufgestellt und das Gaslicht verschoben, weil sich zeigte, dass die offen brennende Amylacetatflamme viel zu empfindlich war, um sich verschieben zu lassen. Überhaupt trat der Eindruck bei mir auf, als wenn das Hefnerlicht bei weitem nicht allen Anforderungen, die man an ein Normallicht zu stellen berechtigt ist, genügt, wenn es ja auch schon einen wesentlichen Vorzug vor der Paraffin-kerze verdient. Als störend bei allen Messungen muss ich das fast ununterbrochene Flackern der Flamme bei der geringsten Berührung bezeichnen, welches besonders bei jedem Einstellen der Flamme, was von Zeit zu Zeit geschehen muss, allein durch das Atmen in der Nähe auftritt. Ferner ist das Licht an und für sich von einer intensiv gelbroten Farbe, die gegen Gaslicht sehr absticht, ein Umstand, auf den ich in physiologischer Beziehung unten noch näher eingehen werde, ganz abgesehen von dem Geruche des Amylacetats, der im Anfang angenehm, in einem fest verschlossenen Raume sehr bald lästig zu werden beginnt. Nun zu

Tabelle XII.

Gaslicht (Brenner A) gegen Hefnerlicht.

Anordnung II.

Flammenhöhe von A	Intensität in Bruchteilen des Hefnerlichts	pro cm Flammenhöhe
2 cm	nicht messbar	—
3 "	0,08	0,03
4 "	0,19	0,04
6 "	0,49	0,08
8 "	0,81	0,10
10 "	1,23	0,12

Die zweite Versuchsreihe, mehrere Tage später vorgenommen, ergab

Tabelle XIII.
Gaslicht (Brenner A) gegen Hefnerlicht.
Anordnung II.

Flammenhöhe von A	Intensität in Bruchteilen des Hefnerlichts	pro cm Flammenhöhe
2 cm	nicht messbar	—
3 "	0,08	0,03
4 "	0,20	0,05
6 "	0,51	0,09
8 "	0,71	0,08
10 "	1,16	0,12

Der Übersichtlichkeit halber lasse ich hier eine Zusammenstellung der obigen vier Tabellen folgen.

Tabelle XIV.
Gaslicht (Brenner A) gegen Hefnerlicht.

em	Tab. X		Tab. XI		Tab. XII		Tab. XIII	
	Anordnung I		Anordnung II					
2		nicht messbar						
3	0,09	0,08	0,08	0,08				
4	0,22	0,26	0,19	0,20				
6	0,57	0,63	0,49	0,51				
8	0,95	1,03	0,81	0,71				
10	1,22	1,46	1,23	1,16				

Es musste auffallen, dass doch noch recht erhebliche Beobachtungsfehler auftraten, besonders bei 8 und 10 cm Flammenhöhe, die zu vermeiden meine nächste Sorge

sein musste. Gleichzeitig zeigte sich aber auch durch die ganzen Versuche gleichmässig sich hinziehend ein grösserer Wert für die Gasflamme bei Anordnung I als bei Anordnung II. Um diesen Fehler zu ergänzen, wurden noch mehrere Versuche derart vorgenommen, dass unmittelbar nach einem sechsmaligen Vergleiche bei einer Flammenhöhe nach Anordnung I die Anordnung II hergestellt und nun wieder bei derselben Flammenhöhe verglichen wurde. So konnte man am ehesten hoffen, etwaige Schwankungen in der Leuchtkraft des Gases auszuschliessen. Da die Resultate für kleine Flammenhöhen gut übereinstimmten, beschränkte ich mich auf eine Flammenhöhe von 6, 8 und 10 cm. An drei aufeinanderfolgenden Tagen erhielt ich folgende drei Tabellen:

Tabelle XV.

Gaslicht (Brenner A) gegen Hefnerlicht.

em	Anordnung I	Anordnung II	Mittelwert
6	0,49	0,46	0,48
8	0,88	0,80	0,84
10	1,30	1,18	1,24

Tabelle XVI.

Gaslicht (Brenner A) gegen Hefnerlicht.

em	Anordnung I	Anordnung II	Mittelwert
6	0,46	0,47	0,47
8	0,81	0,80	0,81
10	1,26	1,11	1,19

Tabelle XVII.

Gaslicht (Brenner A) gegen Hefnerlicht.

em	Anordnung I	Anordnung II	Mittelwert
6	0,49	0,46	0,48
8	0,83	0,79	0,81
10	1,25	1,14	1,20

Der Übersicht halber folgt eine Zusammenstellung der obigen drei Tabellen.

Tabelle XVIII.

em	Tab. XV		Tab. XVI		Tab. XVII		Mittelwert	
	I	II	I	II	I	II	I	II
6	0,49	0,46	0,46	0,47	0,49	0,46	0,48	0,46
8	0,88	0,80	0,81	0,80	0,83	0,79	0,84	0,80
10	1,30	1,18	1,26	1,11	1,25	1,14	1,27	1,14

Die Resultate waren also sehr gute und man ist berechtigt, diese Verbesserung auf die unmittelbare Vergleichung an demselben Tage zurückzuführen, da ja auch in obigen drei Tabellen die Tagesschwankungen ziemlich bedeutende sind und ohne Zweifel auf die veränderte Leuchtgasbeschaffenheit bezogen werden dürfen. Doch auch bei allen diesen Versuchen findet man für das Gaslicht bei Anordnung II einen kleineren Wert als bei Anordnung I.

Um etwaige äussere Fehler ausschliessen zu können, verglich ich zur Controlle nochmals Gas gegen Gas bei

Anordnung I und unmittelbar darauf bei Anordnung II.
Ich erhielt:

Tabelle XIX.

A gegen 3 cm-Flamme B.

em	Anordnung I	Anordnung II
6	0,45	0,38
8	0,74	0,64
10	1,24	1,09

Am folgenden Tage:

Tabelle XX.

A gegen 3 cm-Flamme B.

em	Anordnung I	Anordnung II
6	0,40	0,38
8	0,78	0,65
10	1,20	1,01

Man findet also auch hier für die verschobene Flamme A bei Anordnung II einen niedrigeren Wert als bei Anordnung I. Wie oben erwähnt, hatte der Brenner A, welcher immer der verschobene war, eine Öffnung von 1 mm, während Brenner B eine solche von 1,5 mm hatte. Es fiel mir nun auf, dass die Flamme B bedeutend gelber erschien als Flamme A bei gleicher Flammenhöhe, ein

Umstand, der offenbar an der weiteren Ausflussöffnung liegt. Dasselbe Verhältnis bestand aber, wie oben erwähnt, auch zwischen der Amylacetatflamme und dem Brenner A. In beiden Fällen musste also der Grund dieses Phänomens wohl derselbe sein. So lag eine physiologische Erklärung nahe, die auf dem Auftreten des Purkinje'schen Phänomens beruht: Einmal verglich ich die intensiv gelbrot gefärbte Amylacetatflamme mit Flamme A, das andere Mal die stark gelbe Flamme B mit Flamme A. In beiden Fällen war die Flamme A weniger gelb gefärbt. Es muss also sowohl bei Beleuchtung mit der Amylacetatflamme, als auch bei Beleuchtung mit Flamme B die jedes Mal gelbrot beleuchtete Fläche des Photometerschirmes dem Auge des Beobachters desto heller erscheinen, je intensiver sie beleuchtet wird. Da bei Anordnung II beide Lichter mit grösserer Intensität den Schirm bestrahlen, so muss demnach das Gaslicht A bei Anordnung II verhältnismässig dunkler als bei Anordnung I erscheinen oder, was dasselbe ist, die erhaltenen Werte müssen bei Anordnung I grösser sein als bei Anordnung II. Um jeden Zweifel zu beseitigen, führte ich noch einen Vergleich des Hefnerlichts mit einer deutschen Vereins-Paraffinkerze aus, der mit Anordnung I genau den Resultaten entsprach, welche in der physikalischen Reichsanstalt ermittelt waren. Bei Anordnung II erhielt ich entsprechend obiger Erklärung einen etwas höheren Wert für die Paraffinkerze. Die Resultate waren nämlich:

- 1) bei Anordnung I
Normalkerze = 1,21 Hefnerlicht,
- 2) bei Anordnung II
Normalkerze = 1,35 Hefnerlicht.

In Zukunft dürfte es sich empfehlen, diesem Umstande bei genauen photometrischen Versuchen mehr Gewicht beizulegen wie bisher.

Es erübrigte zum Schluss noch, die oben (Tabelle VII) gefundenen Werte für Flammenhöhe 1,5 und 2 cm Brenner A in Hefnerlichteinheiten umzurechnen.

Aus Tabelle VII ergiebt sich:

Brenner A	Brenner B
1,5 cm	= 0,06
2 cm	= 0,18
3 cm	= 0,59

Aus Tabelle XIV:

Brenner A	Hefnerlicht
3 cm	= 0,08

daraus

$$\begin{aligned} 1,5 : 3 &= x : 0,08 \\ 1,5 : 3 &= 0,06 : 0,59 \end{aligned}$$

folglich

$$\begin{aligned} x : 0,08 &= 0,06 : 0,59 \\ x &= 0,008 \end{aligned}$$

d. h. 1,5 cm Brenner A = 0,008 Hefnerlicht. Ebenso für 2 cm Brenner A = 0,025 Hefnerlicht. Die Werte, welche also für den späteren Hauptversuch in Frage kommen, sind

Tabelle XXI.

Gaslicht Brenner A	=	Hefnerlicht
1,5 cm	=	0,008
2 cm	=	0,025
3 cm	=	0,08

III.

Bestimmung der Schwellenwerte für central und peripher einfallende Strahlen.

Im Besitze der beiden zur Ausführung des Hauptversuchs notwendigen Constanten schritt ich nunmehr zur Lösung der eingangs gestellten Frage. In demselben optischen Zimmer, wo ich die photometrischen Versuche gemacht hatte, wurde auf einem schwarzen Sammethintergrunde ein Fixationszeichen angebracht. Als solches wählte ich ein 3,5 mm im Durchmesser haltendes Papier-scheibchen, das aus der untersuchten Scheibe Barytpapier herausgestanzt wurde und dessen Helligkeit (s. Seite 18) auf

$$1^{\circ} \text{ MgO} = 1,11^{\circ} \text{ BaO}$$

unter den auf derselben Seite aufgestellten Bedingungen festgesetzt war. So konnte ich ganz sicher sein, keine neuen Fehlerquelle hinein zu bekommen, die etwa in dem nicht gleichmässig über das Papier verbreiteten Baryüberzug hätte gefunden werden können. In betreff der Grösse des Punktes will ich hier erläuternd anfügen, dass mit Absicht der Fixationspunkt nur etwa die Hälfte der Grösse der Fovea centralis hatte. Von anderer Seite sind Versuche mit einem der Fovea etwa gleich grossen Punkte angestellt, und es hat sich gezeigt, dass man nicht im stande ist, so scharf zu fixieren, um konstant einen so grossen Punkt auf der Fovea zu behalten. Das Auge weicht immer etwas aus, und man bekommt so Fehler in

Bezug auf den Schwellenwert hinein, es sei denn, dass man innerhalb des Fixationszeichens einen kleinen Fixationspunkt anbringt, was jedoch bei dieser Anordnung nicht angängig erscheint. Bei der im Text erwähnten Grösse des Fixationszeichens hat dagegen das fixierende Auge noch Spielraum genug, ohne dass man ein Abweichen von der Fovea zu befürchten brauchte. Der Sammethintergrund war auf einem schwarz gestrichenen Tische angebracht und das Fixationszeichen so hoch befestigt, dass es sich in gleicher Höhe mit dem Auge des vor dem Tische sitzenden Beobachters befand. Um das zu untersuchende Auge immer in die gleiche Stellung bringen zu können, bediente ich mich einer Kopfstütze der Art, dass das Kinn, der Jochbogen und die Stirn fest aufruhten, und man so sicher jede Verdrehung ausschliessen konnte. Beobachtet wurde also immer nur mit einem Auge, in diesem Falle war es das linke, in einer Entfernung von etwa 50 cm vom Fixationspunkte und unter einem Winkel von 20° . Als Lichtquelle diente die Gasflamme des Brenners A, deren Helligkeit oben (s. Tabelle XXI) gegen Hefnerlicht fest bestimmt war. Dieselbe wurde auf einer langen Schiene leicht verschieblich in gleicher Höhe mit dem Fixationspunkte angebracht und bestrahlte denselben unter einem Winkel von 10° . Die Beobachtung geschah nun in der Weise, dass der Beobachter sich vor den Tisch setzte, seinen Kopf aufstützte, das rechte Auge schloss und mit dem linken zunächst scharf den Punkt fixierte. Mit Hülfe eines Schnurlaufes wurde die Flamme dann so lange hin und her geschoben, bis das Fixationszeichen eben verschwand. Zunächst wurde die Flammenhöhe auf 3 cm festgesetzt und bei gut dunkel adaptiertem Auge beobachtet. Es ergab sich

Tabelle XXII.

Central einfallende Strahlen.
Dunkel adaptiertes Auge.
Beobachtungswinkel 20°.
Beleuchtungswinkel 10°.
Flammenhöhe 3 cm (Brenner A).

1)	144	cm
2)	146	"
3)	154	"
4)	151	"
5)	151	"
6)	147	"
7)	145	"
8)	140	"
9)	147	"
10)	151	"

Mittel: 148 cm.

Eine Beobachtungsreihe am folgenden Tage zeigt:

Tabelle XXIII.

Anordnung cf. Tab. XXII.

1)	146	cm
2)	145	"
3)	140	"
4)	154	"
5)	144	"
6)	152	"
7)	154	"
8)	155	"
9)	142	"
10)	150	"

Mittel 148 cm.

Demnach konnte ich zur Schwellenwertsbestimmung die Entfernung 148 cm annehmen. Die Umrechnung dieser Resultate in festbestimmte Schwellenwerte mit den obigen Constanten geschah folgendermassen:

Die Intensität des unter obigen Bedingungen beleuchteten Fixationszeichens ist gleich

$$\text{BaO} \frac{A \text{ 3 cm}}{148^2}$$

Die früher erhaltenen Werte waren:

1) $1^0 \text{ MgO} = 1,11^0 \text{ BaO}$ (Seite 18),
 $0,9^0 \text{ MgO} = 1^0 \text{ BaO}.$

2) $A \text{ 3 cm} = 0,08 \text{ Hefnerlicht}$ (Tab. XXI).

Dieselben in obigen Ausdruck eingesetzt ergeben:

$$\text{BaO} \frac{A \text{ 3 cm}}{148^2} = 0,9 \text{ MgO} \frac{1}{12,5 \cdot 148^2}$$

Bei Auflösung dieser Gleichung ergibt sich: der Schwellenwert für central einfallende Strahlen ist gleich der Intensität einer von Hefnerlicht in der Entfernung von 551,3 cm beleuchteten Magnesiumoxydfläche.

Anfügen möchte ich hier, dass ich auch mehrere Versuche vornahm bei hell adaptiertem Auge, indem ich unmittelbar nach Verdunkelung des Zimmers in der oben beschriebenen Weise beobachtete. Die Resultate ergaben eine etwas höhere Empfindlichkeit der Fovea centralis als bei langer Dunkeladaptation.

Der zweite Teil dieser Versuche beschäftigte sich mit dem Schwellenwerte für peripher einfallende Strahlen. Es zeigte sich alsbald, dass das optische Zimmer für die Versuche bei 3 cm Flammenhöhe nicht ausreichte. Ich benutzte deshalb zuerst eine solche von 1,5 cm. Die Beobachtung geschah so, dass man das Auge um den Fixationspunkt herumschwirren liess, sodass es bald rechts, bald links von demselben fixierte, also bei jeder Ent-

fernung die nasale und temporale Retinalfläche getroffen wurde. Es ergab sich:

Tabelle XXIV.

Peripher einfallende Strahlen.

Dunkel adaptiertes Auge.

Beobachtungswinkel 20^0 .

Beleuchtungswinkel 10^0 .

Flammenhöhe 1,5 cm.

1)	4,00	m
2)	4,10	„
3)	4,20	„
4)	3,90	„
5)	3,85	„
6)	3,95	„

Mittel: 4,0 m.

Zur Umrechnung in Hefnerlicht:

$$\text{Ba O} \frac{\text{A} \frac{1,5 \text{ cm}}{400^2}}{400^2} = 0,9 \text{ Mg O} \frac{0,008}{400^2}$$

Als Schwellenwert findet man für peripher einfallende Strahlen die Intensität einer von Hefnerlicht in einer Entfernung von 47,1 m beleuchteten Magnesiumoxydfläche. Bei einer Wiederholung des Versuches mit einer Flammenhöhe von 2 cm unter Zuhilfenahme eines zweiten optischen Zimmers erhielt ich 7,0 m oder als Schwellenwert die Intensität einer von Hefnerlicht in einer Entfernung von 46,6 m beleuchteten Magnesiumfläche. Die Entfernung für eine 3 cm-Flamme läge demnach bei 12,5 m.

Das Mittel obiger Resultate liegt bei 46,85 m.

Bevor ich das Endresultat aus den angestellten Versuchen ziehe, seien mir noch einige kurze Bemerkungen gestattet.

Die Einschränkungen, unter denen vorstehende Ver-

suche den Anspruch auf Objektivität erheben können, waren folgende.

Zunächst ist sehr wohl zu beachten, dass die Beleuchtung des Fixationszeichens nicht mit homogenem, sondern mit gemischem Lichte, wie es jede Gasflamme liefert, geschah. Ohne Zweifel wird das Resultat durch Verwendung von homogenem Lichte bedeutend beeinflusst werden. Dieses lehrt schon der einfache Versuch, wie ich ihn mehrmals angestellt habe, dass von zwei gleich grossen Halbkreisen, von denen der eine blau, der andere rot ist, der erstere bedeutend länger peripher sichtbar bleibt wie der rote. Es besteht also in der Peripherie eine erhöhte Blauempfindlichkeit. Je röter also die Beleuchtungsflamme ist, desto geringer wird der Unterschied zwischen Centrum und Peripherie werden. Zu welchen hohen Zahlen Versuche führen, bei denen annähernd homogenes blaues Licht verwendet wurde, zeigte folgendes Experiment:

In die schmale Seite des Seite 16 beschriebenen schwarz ausgeschlagenen Kastens wurde ein Loch von 5 mm Durchmesser gebohrt. Der Beobachter sass vor der offenen Seite des Kastens, stützte seinen Kopf auf die Kopfstütze und fixierte mit seinem linken Auge das Loch. Über Kopf und Kasten war ein dickes Sammettuch gedeckt. Vor dem Loche stand eine schmale Glaskammer mit Kupferoxydammoniak - Lösung in ziemlicher Concentration, um möglichst homogen blaues Licht zu erhalten. Beleuchtet wurde durch einen Argandbrenner. Da es mir nur auf das Verhältnis der centralen zur peripheren Schwelle ankam, bestimmte ich diesen Argandbrenner nicht gegen Hefnerlicht, zumal diese ganzen Versuche nur orientierenden Charakters waren. Die Resultate waren überraschend. Es ergab sich nämlich das Verhältnis:

Centrale : peripherer Schwelle = 1 : 1624.
Selbstverständlich sollen diese Zahlen durchaus nicht

den Anspruch auf absolute Werte erheben; sie zeigen jedoch zur Genüge, in welchen Grenzen sich die Schwellenwerte bei homogenem Lichte bewegen. Übrigens sind sicherlich die Resultate individuell noch sehr verschieden.

Als eine zweite Einschränkung ist die Constanz der Feldgrösse zu betrachten. Meine Versuche wurden sämtlich bei einer Feldgrösse von 3,5 mm gemacht, und ich habe oben den Grund anseinandergesetzt, weswegen gerade diese Grösse als geeignet gewählt wurde. Nun muss man ohne weiteres erwarten, dass die Peripherie desto länger das Fixationszeichen sehen wird, je grösser es ist. Einschlägige Versuche bewiesen mir dieses zur Genüge. Bei einem Fixationspunkt von nur 1 mm Durchmesser blieb die centrale Schwelle annähernd gleich der bei 3,5 mm Feldgrösse, während die peripherie bedeutend grösser wurde. Ohne Zweifel wird demnach bei grösserem Fixationszeichen als 3,5 mm noch ein höheres Verhältnis zwischen Centrum und Peripherie statthaben, als das oben gefundene. So sind auch die Versuche zu verstehen, welche Uhthoff¹⁾ angestellt hat. Letzterer gelangte zu dem Resultate, dass eine Hefnerlampe — ich habe die betreffenden Angaben gleich in Hefnerlicht umgerechnet — in einer Entfernung von 133 m etwa die Grenze der peripheren Sichtbarkeit darstelle, ein Ergebnis, das ohne Zweifel durch die Grösse des Objektes bedingt ist, denn er benutzte einen „grossen weissen Pappendeckel“ als Probeobjekt.

Als dritten beachtenswerten Punkt möchte ich nochmals auf die gute Dunkeladaptation des untersuchenden Auges hinweisen. Es wurde vor jedem Versuche erst 20—30 Minuten adaptiert, ein Zeitraum, der nach früher gemachten Erfahrungen völlig genügt, um jede Ermü-

¹⁾ W. Uhthoff, Über das Abhängigkeitsverhältnis der Sehschärfe von der Beleuchtungsintensität. v. Graefe's Archiv. Bd. XXXII, 1. S. 171 u. ff.

dungsnachwirkung anzuschliessen. Dass die gute Adaptation von entschiedenem Einflusse ist, habe ich oben Seite 34 erwähnt. Ein nicht völlig dunkel adaptiertes Centrum zeigt grössere Empfindlichkeit.

Zuletzt will ich noch wenige Worte über die Art und Weise des peripheren Sehens verlieren. Wie gesagt, liess ich das Auge um den Fixationspunkt herumschweifen, sodass bald die obere, bald die untere, jetzt die rechte, dann die linke Retinalfläche percipieren musste. Zur Schwellenwertsberechnung wurde dann die Entfernung der Lichtquelle genommen, bei der in keiner Stellung des Bulbus das Fixationszeichen sichtbar war. Es ist das von wesentlicher Bedeutung. Kürzlich in dieser Hinsicht angestellte Versuche scheinen nämlich dafür zu sprechen, dass die temporale Retinalfläche lichtempfindlicher ist als die nasale. Diese vorläufige Mitteilung möge genügen; das Genauere glaube ich später mitteilen zu können. Ob ein ähnliches Verhältnis zwischen oberer und unterer Retinalfläche besteht, werden die weiter fortgesetzten Versuche zeigen.

Nach dieser kurzen Kritik der wichtigsten Punkte, welche bei der oben angewandten Methode in Frage kommen, fasse ich das Resultat der Versuche in dem Satze zusammen:

Unter den angegebenen Bedingungen zeigt die Peripherie der Retina gegenüber der Fovea centralis eine 72,25 mal grössere Lichtempfindlichkeit, oder der Schwellenwert ist gleich der Intensität einer Magnesiumoxydfläche, welche

- a) bei central einfallenden Strahlen in einer Entfernung von
5,51 m,
- b) bei peripher einfallenden Strahlen in einer Entfernung von
46,85 m
von Hefnerlicht bestrahlt wird.

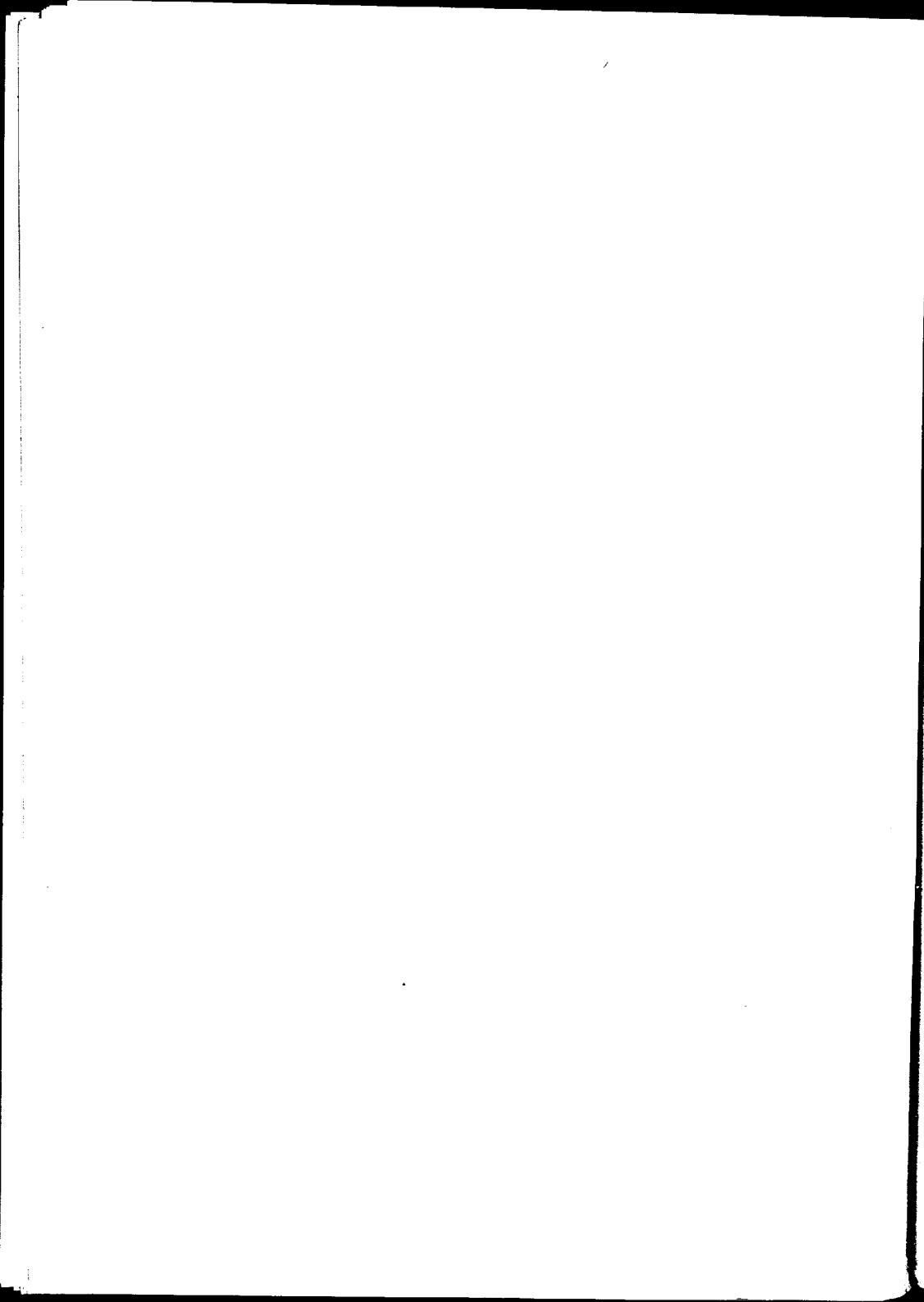
Heft 8 —

Zum Schlusse erfülle ich die angenehme Pflicht, meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Geheimen Hofrat Professor Dr. Johannes von Kries für die vielseitige Anregung und Unterstützung, die er mir gütigst zu teil werden liess, meinen verbindlichsten Dank auszusprechen.

Der Verfasser.



15141





29865

1000