**10. Quantitative Messungen der An- und
Abklingung getrennter Phosphoreszenzbanden;
von A. Werner.**

(Auszug eines Teiles der Kieler Dissertation.)¹⁾

Durch spektralanalytische Untersuchung²⁾ des von gewissen Erdalkalisulfidpräparaten emittierten Phosphoreszenzlichtes haben die Herren Lenard und Klatt in Erweiterung der bereits von E. Becquerel³⁾ angebahnten Untersuchungen gezeigt, daß dieses Licht nicht von einheitlicher Wellenlänge ist, sondern sich zusammensetzt aus einer Anzahl von Banden, d. h. Komplexen emittierter Wellenlängen. Diese Banden sind für den betreffenden Phosphor charakteristisch, und erst die Kenntnis der an jeder Bande getrennt auffindbaren Gesetzmäßigkeit vermag einen Einblick zu gewähren in die sonst unlösbar komplexe Erscheinungsmannigfaltigkeit der Phosphore. Solche speziellen Bandenuntersuchungen⁴⁾ haben nämlich ergeben, daß die Zahl der Banden und ihre Lage im Spektrum eine fest bestimmte ist und nur abhängt vom Erdalkalisulfid und dem wirksamen Metall und daß alle Beeinflussungen der Phosphoreszenzen, wie durch die Wahl des Zusatzes, der Temperatur und dergl., nur in relativer Änderung der Intensität und der Dauer der einzelnen Banden bestehen. Das Gesamtlicht kann so, wie der älteren Beobachtung entspricht, zwar seine Farbe ändern, es wird aber immer aus denselben Banden zusammengesetzt sein und sich direkt darstellen durch die Summe der Intensitäten aller Einzelbanden, die jedoch unabhängig voneinander variabel sind. Jede hat ihre besonders geeigneten Temperaturbereiche, jede tritt bei bestimmten Zusätzen besonders gut hervor, jede zeigt gewisses ihr eigenes Verhalten in der Abklingung, jede wird durch bestimmte Licht-

1) Der Philosophischen Fakultät vorgelegt am 23. Juli 1907.

2) P. Lenard u. V. Klatt, Ann. d. Phys. 15. p. 243 ff. 1904.

3) E. Becquerel, La Lumière.

4) P. Lenard u. V. Klatt, l. c. p. 278.

wellenlängen vorzugsweise erregt und speichert für sich allein Erregung auf, so daß keine andere Bande sie verbrauchen kann.¹⁾

Auf diesem, von den Herren Lenard und Klatt vorgezeichneten Wege der Zurückführung aller Phosphoreszenzerscheinungen auf bestimmte Bandeneigenschaften fortschreitend, sucht die vorliegende Arbeit im Anschluß an die von den genannten Herren früher gemachten entsprechenden qualitativen Beobachtungen die An- und Abklingungsweise eines Phosphors durch Untersuchung des Verhaltens einer getrennten Bande quantitativ festzulegen.

Es hat zwar schon E. Becquerel²⁾ versucht, die Abklingung photometrisch zu verfolgen und durch Summen aus mehreren Exponentialfunktionen der Zeit darzustellen. Da er jedoch das gesamte vom Phosphor emittierte Licht untersucht, kann es nach der jetzigen Kenntnis nicht verwundern, wenn seine Versuche zu keinem übersichtlichen Resultat geführt haben, um so weniger, als nicht nur die verschiedenen Banden eines Metalles, sondern voraussichtlich auch die gleichzeitige ungewollte Anwesenheit der Banden anderer Metalle infolge Unreinheit seiner Präparate den Vorgang des Abklingens außerordentlich kompliziert und das Erkennen einer Gesetzmäßigkeit in der Lichtemission unmöglich machen mußte.

Danach hat E. Wiedemann³⁾ das Abklingen der Phosphore auf photometrischem Wege quantitativ festzulegen versucht. Allerdings untersucht auch er das gesamte vom Phosphor emittierte Licht, welches sich in dem von ihm untersuchten Fall bei Anwendung von Balmainscher Leuchtfarbe ($\text{CaS} + \text{Bi}$) aus mindestens drei Banden zusammensetzt.⁴⁾ Nach seiner Angabe soll sich die Helligkeit des abklingenden Phosphors angenähert nach einer Exponentialfunktion ändern, was auch durch spätere Untersuchungen von Buchner⁵⁾ — allerdings ohne Mitteilung von Beobachtungsmaterial — bestätigt wird. Doch zeigt eine

1) P. Lenard u. V. Klatt, l. c. p. 451 ff., 243, 479, 481.

2) E. Becquerel, *La Lumière* 1. p. 285 ff.

3) E. Wiedemann, *Wied. Ann.* 37. p. 224—226. 1889.

4) P. Lenard u. V. Klatt, l. c. p. 260.

5) Fr. Buchner, *Neue Methode zur quantitativen Bestimmung der Abklingungsintensitäten phosphoreszierender Körper*. Diss. Erlangen 1902.

Berechnung der Abklingungskonstanten aus den von E. Wiedemann angegebenen Intensitäten und zugehörigen Beobachtungszeiten z. B. der ersten Versuchsreihe so beträchtliche Abweichungen vom Exponentialgesetz¹⁾, daß wohl die Exponentialfunktion selbst in erster Annäherung hier ebenso wenig gilt, als bereits Becquerel bei seinen Phosphoren angibt.

Die in folgendem mitzuteilenden Untersuchungen sollen nun zeigen, daß auch die Abklingung einer *einzelnen* Phosphoreszenzbande keiner einheitlichen Gesetzmäßigkeit folgt, sondern nach einem plötzlichen Abfall des momentanen Leuchtens bei Schluß der Erregung in zwei getrennten Prozessen abläuft, einem exponentiellen Abfall des Momentanzustandes der betreffenden Bande und gleichzeitig einem viel langsameren Abfall des Dauerprozesses nach einer ähnlichen Gesetzmäßigkeit, wie sie von E. Becquerel²⁾ für die Gesamtemission seiner Phosphore als nahe zutreffend angegeben worden ist.

Der Phosphor.

Als besonders gut für die Untersuchung geeignet erwies sich nun die Hauptbande α des SrZn-Phosphors mit CaF_2 -Zusatz, welcher nach den Angaben der Herren Lenard und Klatt³⁾ dargestellt wurde. Das Licht dieses Phosphors besteht aus den drei Banden α , β und δ ⁴⁾, deren Lage und Erregungsverteilung in nachstehender Fig. 1⁵⁾ gegeben sind, in welcher auf der Abszisse die Wellenlängen, auf der Ordinatenachse die geschätzten Intensitäten aufgetragen sind. Unter diesen ist die gelbgrüne α -Bande — λ_{max} bei $550 \mu\mu$ — besonders ausgeprägt, insofern sie infolge ihrer spektralen Lage durch Einschaltung eines geeignet gewählten Gelbfilters leicht von den anderen getrennt werden kann, um so mehr noch,

1) E. Wiedemann (Wied. Ann 37. p. 224. 1889):

Zeit nach Erregungsschluß:	4"	20"	40"	63"	90"	180"
Intensitäten:	27,8	7,6	4,2	3,1	1,9	1
Abklingungskonstanten:	0,08	0,03	0,013	0,017	0,007	

2) E. Becquerel, La Lumière 1. p. 285 ff.

3) P. Lenard u. V. Klatt, l. c. p. 661.

4) P. Lenard u. V. Klatt, l. c. p. 271.

5) Nach einer den Untersuchungen von P. Lenard u. V. Klatt (l. c.) beigegebenen Tafel.

als sie bei gewöhnlicher Temperatur fast allein im Spektrum vorhanden ist. Die blaugrüne Bande δ erscheint nämlich erst bei $+100^\circ$, während die violette Bande β ihre größte Inten-

Fig. 1. SrZnCaF_2 -Phosphor.

sität bei mäßiger Kälte besitzt und nicht weit über $+17^\circ$ völlig verschwindet, bei der hier benutzten Beobachtungstemperatur von etwa 20° demnach nur noch sehr wenig intensiv ist.

Der SrZnCaF_2 -Phosphor befand sich in fein gepulvertem Zustande in einem Metallgefäß aus dünnem Kupferblech von ca. 2 mm Höhe und 5 cm² Fläche. Von der Luft abgeschlossen wurde er durch eine Quarzplatte. Durch vorsichtiges Klopfen und mehrmaliges Nachfüllen des Pulvers erhielt man eine ebene, homogen leuchtende Fläche. Vor jedem Versuch mußte die gesamte etwa noch im Phosphor aufgespeichert gebliebene Erregung ausgetrieben werden.

Nun hat die Erhitzung eines Phosphors bis zur oberen Temperaturgrenze einer Bande, die für die α -Bande des benutzten Phosphors kurz vor der beginnenden Rotglut¹⁾ liegt, zur Folge, daß diese alle aufgespeicherte Energie verausgabt.²⁾ Deshalb mußte das Entleuchten in einem heißen Bad von Metallpulver geschehen, dessen Temperatur mit einem Thermometer kontrolliert und auf etwa 450° gehalten wurde, um nach Möglichkeit zu verhindern, daß der Phosphor infolge zu starker Erhitzung leide. Lag der Phosphor einige Minuten in diesem Metallbad, so konnte das ausgeruhete Auge im Dunkel keine Phosphoreszenz mehr bemerken. Derselbe Effekt wurde erreicht durch Erhitzen des Phosphors in einem Luftbad von ca. 100° während längerer Zeit, mindestens einer Stunde. Die

1) P. Lenard u. V. Klatt, l. c. p. 443.

2) P. Lenard u. V. Klatt, l. c. p. 457.

nach beiden Austreibungsmethoden angestellten Versuche ergaben übereinstimmende Resultate. Es hat also der Phosphor durch die starke Erhitzung bis 450° jedenfalls keine merkliche Änderung erfahren. Die Art der Austreibung ist also innerhalb gewisser Temperaturgrenzen gleichgültig. Durchgeführt wurde die weitere Untersuchung durch Entleuchten im Metallbad.

Erregende Lichtquelle.

Zur Erreichung möglicher Intensität des Phosphorlichtes ist eine solche Lichtquelle zu wählen, deren spektrale Zusammensetzung sich möglichst der von den Herren Lenard und Klatt gefundenen Erregungsverteilung der betreffenden Bande anpaßt und die möglichst wenig derjenigen Strahlen enthält, die nach Seebeck eine auslöschende Wirkung betätigen könnten. Als besonders vorteilhaft erwies sich in dieser Hinsicht das Licht der bekannten Quarz-Quecksilberlampe von Heraeus. Daneben zeichnet sich die Intensität dieser an ultravioletten Strahlen so außerordentlich reichen Lichtquelle durch sehr befriedigende Konstanz aus, die in allen Fällen leicht reproduzierbar ist, wenn für konstante Spannung an den Klemmen der Lampe gesorgt wird. Nach etwa 10 Min. Brennzeit war dies immer nahezu erreicht. Ein besonderer Vorzug dieser Quecksilberlampen ist das nahezu vollständige Fehlen roten Lichtes; etwa trotzdem störende Erwärmung des Phosphors bei der Erregung ließ sich außerdem durch Zwischenschalten einer Wasserschicht beseitigen.

Methode der Untersuchung.

Zur Ermittlung des An- und Abklingungsgesetzes ist die Kenntnis der Bandenintensität zu beliebiger Zeit während und nach der Belichtung des Phosphors erforderlich. Zur Intensitätsbestimmung wurde die photographische Methode gewählt, welche aus der Schwärzung einer Platte auf die während bestimmter Zeit einwirkende Lichtmenge zu schließen gestattet. Wird nämlich diese Schwärzung, die, wie zuerst von Schwarzschild¹⁾ gezeigt worden ist, sich als eine Funktion von it^{ϕ}

1) Schwarzschild, Photograph. Korrespondenz 1899, p. 1909; vgl. auch Publikationen der Kuffnerschen Sternwarte, Wien. Bd. 5.

darstellen läßt — wo $\mathcal{J}$ eine für die betreffende Plattensorte charakteristische Konstante — verglichen mit den durch gleichzeitige Entwicklung hervorgerufenen Schwärzungen, welche eine bekannte Intensität bei bekannten Expositionszeiten liefert — wir wollen sie Vergleichsschwärzungen nennen —, so läßt sich auch die in der Zeiteinheit vom Phosphor emittierte Intensität i_0 aus dessen Expositionszeit t_0 und der durch besondere Versuche zu ermittelnden Konstanten $\mathcal{J}$ bestimmen. Es würde sein:

$$i_0 = i_1 \left(\frac{t_1}{t_0} \right)^{\mathcal{J}},$$

wo i_1 die Vergleichsintensität, die wir zur Einheit wählen, t_1 diejenige Expositionszeit für das Vergleichslicht ist, für welche sich dieselbe Schwärzung ergibt wie für den Phosphor.

Vorausgesetzt ist allerdings hierbei zunächst, daß die Intensität i_0 während der ganzen Exposition eine konstante sei. Dies trifft jedoch insbesondere für den abklingenden Phosphor nicht zu, und es waren daher besondere Versuche zur Ermittlung eines eventuellen Einflusses der Variation der Phosphorintensität während der Exposition erforderlich. Dieselben haben, wie an anderer Stelle¹⁾ näher ausgeführt ist, ergeben, daß die photographisch bestimmte Phosphorintensität bei beliebig innerhalb nicht allzu großer Grenzen gewählter Expositionszeit für den ganzen Verlauf der Abklingung immer sehr nahe zusammenfällt mit dem Mittelwert der im Expositionsintervall bestehenden Intensität.

Die Vergleichsschwärzungen wurden erhalten durch Expositionen der auch für den Phosphor benutzten Bromsilbergelatine im Licht einer mit Gelbfilter versehenen und, wie besondere kontrollierende Messungen gezeigt haben, mit konstanter Helligkeit bei 4 Volt brennenden Osmiumlampe. Die spektrale Zusammensetzung dieses Lichtes gibt gegenüber dem durch dasselbe Gelbfilter gehenden Phosphorlicht keinen merklichen Unterschied in der photographischen Wirkung.¹⁾

Sämtliche Versuche sind mit dem von Perutz gelieferten Perortofilm (grün Siegel) ausgeführt, dessen Empfindlichkeitsbereich sich gut der spektralen Zusammensetzung der beob-

1) Vgl. hierüber in der Dissertation.

achteten Bande anpaßt und der sich durch vorzügliche Homogenität der sensiblen Schicht auszeichnet. Die Resultate der besonderen Untersuchung seiner photographischen Eigenschaften ersehe man aus einer an anderer Stelle veröffentlichten Arbeit.¹⁾

Die Messung der photographischen Schwärzungen (mit $\frac{1}{10}$ Rodinal in 1 Min.) geschah durch photometrischen Vergleich mit dem von einer Kupfervitriollösung in variabler Schichtdicke durchgelassenen Licht einer Auerlampe mittels eines Kolorimeters mit Lummer-Brodhun-Würfel.

Untersuchung der Anklung.

a) Versuchsanordnung.

Es sollte zunächst die Abhängigkeit der Intensität des Phosphorlichtes von der Dauer und Intensität der Erregung festgelegt, d. h. konstatiert werden, wie weit die Aufspeicherung von Lichtenergie mit jenen Faktoren anwächst.

Der Phosphor wurde zu diesem Zweck im Innern eines lichtdichten Kastens etwa 30° geneigt unter der Hg-Lampe auf-

Fig. 2.

gestellt und beliebige meßbare Zeit exponiert (Fig. 2). Das Licht der Lampe fiel auf ihn durch eine im Kasten befindliche Öffnung, die durch einen Schieber geschlossen werden konnte. Um das von ihm während der Erregung ausgestrahlte Licht zu messen, wurde dem

Phosphor gegenüber eine photographische Kamera so angebracht, daß sich Phosphor und Kassette, um möglichst große, photographisch wirksame Intensität zu erhalten, in der doppelten Brennweite des Linsensystems befanden. Das zur Isolierung der α -Bande vor dem Objektiv aufgestellte Gelbfilter verhindert jede gleichzeitige photographische Wirkung

1) A. Werner, Zeitschr. f. wissenschaftl. Photographie, Photophysik und Photochemie. „Das photographische Reziprozitätsgesetz bei sensibilisierten Bromsilbergelatinen.“

des etwa durch Zerstreuung in die Kamera gelangenden erregenden Lampenlichtes, wenn dieses durch ein geeignetes Ultraviolettglas gefiltert ist, welches nur das äußerste photographisch unwirksame Rot und das den Phosphor gut erregende Licht von $F \frac{1}{3} G$ an, dagegen kein der spektralen Verteilung der α -Bande entsprechendes oder sonst wirksames, das Gelbfilter durchsetzendes Licht durchläßt. Hierdurch wurde zwar die Erregung geschwächt, sie war aber immerhin noch kräftig genug. Wurde zur Kontrolle jetzt an Stelle des Phosphors ein reflektierender Spiegel oder Zinnfolie gebracht und bestrahlt, so erhielt man selbst bei einer Exposition von 30 Sek. noch nicht den geringsten photographischen Effekt. Die Aufnahmen erfolgten nun in der Weise, daß nach einer Brenndauer der Lampe von 10 Min. bei vorerst geschlossenem Schieber durch Öffnen des letzteren die Erregung des Phosphors begann, und von da ab in gewissen Pausen während einer Zeit bis etwa 40 Min. kurzdauernde Expositionen¹⁾ des Phosphors auf einen in der Kassette verschiebbaren Filmstreifen vorgenommen wurden. Unter Zuhilfenahme der stets erforderlichen zugehörigen Vergleichsschwärzungskurve der Osmiumlampe war dann die zu beliebiger Zeit nach Beginn der Erregung vorhandene Phosphorintensität zu ermitteln.

Verfolgt wurde das Anklingen der Bande bei drei verschiedenen erregenden Intensitäten, die durch Abstandsänderungen der Lampe vom Phosphor erreicht und photographisch bestimmt wurden. Sie betrugen im Mittel:

$$1 : 0,045 : 0,020.$$

b) Resultate.

Der für den kleinsten Lampenabstand, d. h. die größte erregende Intensität 1 gewonnene Intensitätsverlauf ist in der beistehenden Tab. I verzeichnet, in welcher in der Kolumne 1 die Zeit nach Beginn der Erregung, in den folgenden sechs die zu dieser Zeit vorhandene Phosphorintensität, bezogen auf die Zeiteinheit, wie sie bei der bestimmten Wahl der Anord-

1) Bei stärkerer erregender Intensität wurden 10 Sek., bei schwächerer bis zu 5 Min. exponiert.

nung im photographischen Bild, die Osmiumlampe in 2 m Abstand als Einheit gesetzt, nach sechs unabhängigen Versuchen gegeben wird.

Tabelle I.

Zeit nach Beginn der Erregung	Erregende Intensität = 1						
	1	2	3	4	5	6 [H ₂ O]	7 Uran
5"	3,34	2,79	2,08	1,91	2,54	1,75	1,31
25	2,53	2,92	2,08	2,01	2,40	1,75	1,00
55	2,53	2,92	2,35	2,08	2,46	1,56	1,00
1 ^m 15	2,79	2,76	2,35	2,01	2,46	1,40	1,18
1 45	2,76	2,66	—	—	—	1,36	1,04
3 5	2,82	2,50	2,08	1,91	2,40	1,51	1,04
8 5	2,70	2,22	2,17	1,97	2,25	1,40	0,92
14 5	2,40	2,14	2,17	1,91	1,94	1,20	0,82
20 5	2,17	1,95	1,82	1,81	1,99	0,94	0,79
29 5	—	—	—	—	2,02	—	—
30 5	2,12	1,88	1,68	1,76	—	1,05	0,63
40 5	2,09	1,78	1,62	1,65	2,02	1,10	0,68

Den ermittelten Verlauf zeigt deutlicher die graphische Darstellung, wobei die einzelnen Kurven zwecks besserer Anschaulichkeit übereinander gezeichnet sind (Fig. 3).

Fig. 3.

Kurven und Tabelle zeigen, daß die Phosphorintensität fast unmittelbar bei Beginn der Erregung ihren, für den speziellen Fall der erregenden Intensität möglichen maximalen Wert erreicht, wenn man von dem in einigen Fällen (2, 3 und 4) beobachteten, außerordentlich schwachen und vielleicht auf Versuchsfehler zurück-

zuführenden Anstieg absieht. Übereinstimmend aus allen Versuchen findet sich demgegenüber, daß ein deutlich wahrnehm-

barer Abfall der Intensität zu konstatieren ist, der mit der Dauer der Erregung anzuwachsen scheint.¹⁾

Als Ursache dieses Abfalles hätte etwaige Lampeninkonstanz angesehen werden können. Um diesen Einwand zu untersuchen, wurde gleichzeitig mit der Erregung ein Bruchteil der erregenden Strahlung durch ein eingeschobenes Metallblech seitlich in eine zweite Kamera reflektiert und zu verschiedenen Zeiten photographisch fixiert. Die so erhaltenen Lampenintensitäten sind in den gleichzeitig oben eingezeichneten gestrichelten Kurven für einige Versuche (Nr. 3, 4 und 5) gegeben. Man erkennt nahezu völlige Konstanz der Lampe und muß daher den beobachteten Abfall einer anderen Ursache zuschreiben.

Durch Zwischenschalten einer Wasserschicht zwischen Lampe und Phosphor wurde eine möglicherweise eintretende kleine Temperaturerhöhung des Phosphors (eine solche war jedenfalls mit Thermometer nicht nachweisbar) auszuschalten versucht. Die damit erhaltene Intensitätskurve ist durch Nr. 6 gegeben. Sie zeigt keinen merklichen Unterschied gegenüber den zuerst gewonnenen Kurven, so daß wohl auch eine Erwärmung als mögliche Ursache des Abfalles nicht anzunehmen ist. So muß also der Phosphor selbst diese Erscheinung hervorrufen. Bemerkenswert ist, daß auch die Fluoreszenzstrahlung von Uranglas, in derselben Weise untersucht wie der Phosphor, ganz analoges Verhalten zeigte; vgl. Nr. 7 der Tab. I. Die Erscheinung erinnert an die bei Fluoreszenzerregung des Glases in gasverdünnten Röhren bekannte Ermüdungserscheinung und macht sich offenbar um so stärker geltend, je größer die Intensität der Erregung ist.

Die den oben beschriebenen entsprechenden Aufnahmen in den größeren Abständen des Phosphors von der Lampe, also bei den erregenden Intensitäten 0,045 und 0,020, lassen nämlich um so weniger Abfall der Kurven erkennen, je geringer die Intensität war; bei der erregenden Intensität 0,020 ist kein merklicher Abfall mehr zu konstatieren.

Die nachfolgende Tab. II, welche die Mittelwerte der aus

1) Die begrenzte Brenndauer der Lampe gestattete nur eine etwa einstündige Erregung.

verschiedenen Versuchen erhaltenen Phosphorintensitäten für die drei Fälle der verschiedenen erregenden Intensitäten vereinigt, gestattet einen Einblick in den Zusammenhang beider Größen.

Tabelle II.

Zeit nach Beginn der Erregung	Erregende Intensität		
	1	0,045	0,020
5"	2,53	—	—
25	2,39	—	—
55	2,47	—	—
1 ^m 15	2,47	—	—
1 30	—	0,151	—
2 30	—	—	0,063
3 5	2,34	—	—
5 30	—	0,132	—
8 5	2,26	—	—
9 30	—	0,132	0,051
14 5	2,11	—	—
15 30	—	0,110	—
16 30	—	—	0,056
20 5	1,95	—	—
20 30	—	0,11	—
23 30	—	—	0,062
25 30	—	0,10	—
30 5	1,86	—	—
30 30	—	—	0,057
31 30	—	0,101	—
36 30	—	0,101	—
37 30	—	—	0,056
40 5	1,83	—	—
40 30	—	0,11	—

Das Verhältnis der Anfangswerte der Erregung für die drei Intensitäten

$$0,063 : 0,151 : 2,53 \text{ oder}$$

$$0,020 : 0,047 : 0,79$$

stimmt für die schwächeren Intensitäten nahe überein mit dem Verhältnis der erregenden Intensitäten

$$0,020 : 0,045 : 1,$$

während der geringere Wert bei höchster Intensität die Annäherung der Erregbarkeit an einen Grenzwert andeutet.

Die Untersuchung der Abklingung.

Um das Gesetz der Abklingung des erregten Phosphorlichtes festzustellen, wurde die zu beliebig herausgewählte Zeit nach Schluß der Erregung noch vorhandene Phosphorintensität in ähnlicher Weise photographisch ermittelt, wie dies für die Anklingung beschrieben war. Da aber die Benutzung des bisherigen Apparates infolge des außerordentlich schnellen Abfalles der Phosphorintensität sofort zu Beginn der Abklingung keine genügenden Schwärzungen ermöglichte, so wurde der leuchtende Phosphor unmittelbar nach Schluß der Erregung aus dem Apparat entfernt und in einem lichtdichten Kasten nur einige Millimeter unter dem photographischen Film aufgestellt. Phosphor und Film waren durch Gelbfilter und einen Metallschieber voneinander getrennt, der nach dem Schlage eines genau regulierten Metronoms geöffnet und geschlossen werden konnte. Exponiert wurde von 20 Sek. nach Schluß der Erregung an in der Regel noch zu zwölf verschiedenen Zeitpunkten in Verlauf von etwa 35 Min. Der Phosphor war dann so weit abgeklungen, daß die Empfindlichkeit der verwandten Films nicht mehr ausreichte, um weitere Bilder zu erhalten. Die Expositionszeit konnte zu Anfang einige wenige Sekunden betragen, während später eine Dauer von Minuten erforderlich war.

1. Abklingung bei Erregung im direkten Licht der Hg-Lampe.

Die Abklingung des Phosphors wurde in der eben beschriebenen Weise untersucht für verschiedene Dauer und Intensität der Erregung. Die letztere wurde wieder, wie früher bei der Anklingung erwähnt, durch Abstandsänderung des Phosphors von der Lampe variiert. Die Abstände waren 20 cm, 100 cm und 200 cm, und die, auf photographischem Wege ermittelten, entsprechenden Intensitäten

$$1 : 0,0646 : 0,0162.$$

Das Gesamtergebnis aller zwölf Versuche mit variiertter Erregungsdauer und erregender Intensität stellt Tab. III dar.

Der Verlauf der Abklingung ist außerdem in der Auswahl durch die Kurven Nr. 8, 9, 10 und 11 (Fig. 4) veranschaulicht.

Fig. 4. Abklingung bei Erregung im direkten Licht.

Nr. 8 u. 9. Intensität = 1.

Nr. 10. Intensität = 0,0646.

Nr. 11. Intensität = 0,0162.

2. Abklingung bei Erregung im gefilterten Licht. (Ultraviolett-Glas.)

Da zur Untersuchung der Anklingung gefiltertes Licht benutzt werden mußte, war es wichtig, auch die Abklingung der in dieser Weise erregten Phosphore zu verfolgen, um quantitativ beide Phänomene, die An- und Abklingung, direkt aneinander anschließen zu können. Der Phosphor wurde hier immer nach ca. 40 Min., innerhalb deren die Anklingung bestimmt wurde, in den schon beschriebenen Kontaktapparat zur photographischen Festlegung der Anklingungsintensitäten gebracht.

Die Resultate geben Tab. IV und in der Auswahl die Kurven Nr. 12, 13, 14, 15, 16 und 17, denen die erregenden Intensitäten 1, 0,045 und 0,020 zugrunde lagen (Fig. 5). Die Intensitäten sind hier jedoch in anderem Maße gegeben als bei der zugehörigen Anklingung.¹⁾

1) Vgl. p. 186 u. 187.

Tabelle IV.

Zeit nach Schluß der Erregung	Erregende Intensität = 1						Erreg. Int. = 0,045		Erreg. Int. = 0,020	
	Erregungsdauer ca. 40 ^m						ca. 40 ^m		ca. 40 ^m	
21,5''	13,61	12,02	16,4	15,48	17,66	12,02	5,80	5,48	4,28	3,73
33	9,30	8,11	10,71	10,33	10,9	8,40	5,56	4,38	3,33	3,42
66	4,86	4,13	5,38	4,65	5,01	4,27	3,03	2,56	2,17	2,03
145	—	—	1,79	—	—	—	1,35	1,15	1,13	1,05
165	—	—	—	1,45	1,48	—	—	—	—	—
235	—	—	1,01	0,95	0,98	—	0,74	0,71	0,78	0,54
330	0,84	0,58	0,74	0,55	0,63	0,68	0,55	0,47	0,54	0,39
545	—	—	0,35	0,32	0,44	—	0,33	0,29	0,31	0,22
760	—	—	0,21	0,19	0,24	—	0,208	0,17	0,194	0,15
975	0,206	0,139	0,14	0,13	0,125	0,13	0,113	0,13	0,134	0,077
1305	0,156	0,081	0,085	0,083	0,081	0,10	0,063	0,07	0,086	0,049

Fig. 5. Abklingung bei Erregung im gefilterten Licht.

Nr. 12 u. 13. Intensität = 1.

Nr. 14 u. 15. Intensität = 0,045.

Nr. 16 u. 17. Intensität = 0,020.

Resultate.

Mußte der Versuch E. Becquerels, das Abklingen der Phosphore durch eine Exponentialfunktion der Zeit oder durch Summen solcher Funktionen darzustellen, notwendigerweise an der voraussichtlich recht komplizierten Emission seiner Präparate scheitern, so konnte möglicherweise das Betrachten einer einzelnen Bande, wie hier geschehen, zum Erfolg führen.

Geschieht die Abklingung nach dem Exponentialgesetz, so gilt:

$$J = c e^{-\alpha t}$$

und es würde die hieraus sich ergebende Größe

$$\alpha = \frac{\log \text{nat } J_1 - \log \text{nat } J_2}{t_2 - t_1}$$

für alle Intensitäten der abklingenden Bande eine konstante sein. Hier folgt eine tabellarische Zusammenstellung der gefundenen Konstanten für eine Anzahl von Kurven. Man sieht aus den in der letzten Kolonne befindlichen Mittelwerten der Abklingungskonstanten, daß diese mit zunehmender Zeit progressiv kleiner und kleiner werden, d. h. die Abklingung wird langsamer und langsamer, ist also keineswegs exponentiell. Auch der Versuch, die Abklingung der Bande durch Summen von Exponentialfunktionen darzustellen, schlug fehl.

Tabelle V.

Zeit nach Schluß der Erregung	Direktes Licht. Intensität = 1						Mittelwerte der Abklingungs- konstanten α
	Erregungsdauer						
	2''	5''	10''	30''	3 m	10 m	
21,5''	0,0264	0,0367	0,032	0,013	0,023	0,027	0,0263
33	0,022	0,0159	0,015	0,019	0,013	0,019	0,0173
66	0,013	0,013	0,009	0,013	0,011	0,011	0,0117
99	0,005	0,008	0,008	0,009	0,008	0,0085	0,0076
165	0,008	0,0051	0,0065	0,006	0,0055	0,0067	0,0063
235	0,0035	0,0044	0,0058	0,0044	0,0028	0,0040	0,0041
330	0,0032	0,0028	0,0033	0,0032	0,0032	0,0031	0,0031
545	0,0026	0,0022	0,0021	0,0021	0,0025	—	0,0023
760	0,0021	0,0025	0,0017	0,0014	0,0018	—	0,0019
800	—	—	—	—	—	0,0019	0,0019
975	0,0029	0,0020	0,0018	0,0014	0,0015	—	0,0018
1205	—	—	—	—	—	0,0015	0,0015
1305	—	0,0015	0,0015	0,0010	0,0011	—	0,0013
1800	—	—	—	—	—	0,0010	0,0010
2700	—	—	—	—	—	0,0008	0,0008
3780	—	—	—	—	—	0,0007	0,0007
4200	—	—	—	—	—	0,0006	0,0006
5100	—	—	—	—	—	0,0004	0,0004

Nun sagt E. Becquerel¹⁾, daß die innerhalb gewisser Grenzen geltende empirische Formel

$$J^n(c + t) = c$$

einen Begriff von der Schnelligkeit geben könne, mit welcher die Abklingung des Phosphoreszenzlichtes vor sich ginge. Die Abklingungsgeschwindigkeit wäre also gegeben durch den Differentialquotienten

$$\frac{dJ}{dt} = - \frac{J^{n+1}}{nc},$$

wenn die Intensität nach Schluß der Belichtung zur Einheit genommen wird. Nach Becquerels Erfahrungen liegt n zwischen $\frac{1}{2}$ und 1 und man erhält für $n = \frac{1}{2}$

$$\frac{1}{\sqrt{J}} = \frac{1}{c}(c + 1).$$

Diese Gesetzmäßigkeit ist nun auch wenigstens auf einen Teil — nämlich den späteren Verlauf — der erhaltenen Abklingungswerte der gesonderten α -Bande anwendbar. Trägt man nämlich als Ordinaten eines Koordinatensystems die reziproke Wurzel der gefundenen Phosphorintensität als Funktion der zur Abszisse gewählten Zeit t auf, so liegen die späteren Werte sehr nahe, wie es der obigen Gleichung entspricht, auf einer Geraden (Fig. 6). Der anfängliche Verlauf der Abklingung bleibt allerdings von dieser Gesetzmäßigkeit ausgeschlossen.²⁾

1) E. Becquerel, *La Lumière* p. 295.

2) Während der Ausarbeitung dieser Untersuchungen erschien von den Herren Nichols und Merritt (*Physikal Review*, May—July 1906) eine Arbeit, in welcher mit Hilfe eines Spektrophotometers (also okular!) das Abklingen phosphoreszierenden Zinksulfids untersucht wird. Die Absicht der Autoren war ebenfalls die, eine einzelne Bande zu untersuchen. Eine solche herrschte nach Angabe der Verfasser in deren Phosphor vor; indessen waren noch andere, wenn auch schwache Banden zugegen, die nicht, wie hier geschehen, durch besondere Anordnung eliminiert wurden. In Übereinstimmung mit meinen Resultaten finden sie den späteren Verlauf der Abklingung (etwa 4 Min. nach Schluß der Belichtung) dargestellt durch die Becquerelsche Gleichung $1/\sqrt{J} = a + bt$. Während aber, wie weiter unten noch gezeigt werden soll, der durch den Momentanprozeß überwiegend dargestellte Beginn der Abklingung von mir als

Der Abfall der Kurve erfolgt hier, wie die beistehende Zeichnung (Fig. 6) ersehen läßt, viel schneller als derjenige der späteren Abklingung und stellt offenbar den von den Herren Lenard und Klatt gefundenen Momentanprozeß dar, während die lang-

Fig. 6.

samere Abklingung den Dauerprozeß gibt. Wir kommen so nicht nur zu einer Bestätigung des Bestehens, sondern auch zu einer scharfen Sonderung der beiden sich übereinander lagernden Prozesse. Untersucht sei zunächst der Verlauf des Dauerprozesses.

Der Dauerprozeß.

Verfolgen wir den Lauf der Geraden (vgl. Fig. 6) bis zur Ordinatenachse, so stellt die Größe des dort abgeschnittenen Ordinatenstückes offenbar die reziproke Wurzel der für die

angenähert exponentiell gefunden worden ist, erhalten die genannten Herren, bei gleicher graphischer Auftragung, auch für den Beginn des Abklingens eine gerade Linie, für den späteren Verlauf eine andere; beide Linien gehen allmählich ineinander über. Betrachtet man das phosphoreszierende Zinksulfid als gleichartig mit den Erdalkalisulfiden (vgl. P. Lenard, Ann. d. Phys. 15. p. 649), so sieht dies nach meinen Resultaten aus, als hätten sich bei den Herren Nichols und Merritt die Dauerprozesse zweier verschiedener Banden übereinander gelagert.

Zeit 0 vorhandenen Anfangsintensität J_0 des Dauerprozesses der Bande, die wir kurz Bandenintensität nennen wollen, dar. Bezeichnen wir weiter die reziproke Tangente des Neigungswinkels der Geraden als Bandendauer D — die Bande klingt um so langsamer ab, je kleiner die Neigung —, so würde die Gerade auch durch

$$\frac{1}{\sqrt{J}} - \frac{1}{\sqrt{J_0}} = \frac{t}{D}$$

darstellbar sein und sich in dieser Form zur direkten Ermittlung der Bandenintensität J_0 und Bandendauer D verwerten lassen, für welche Größe somit nunmehr ebenfalls ein exaktes Maß gewonnen ist.

In der folgenden Tab. VI sind für sämtliche Versuche bei Erregung im direkten Licht und in Tab. VII im gefilterten Licht diese Bandenintensitäten und Bandendauern zusammengestellt.

Tabelle VI.

Erregungs- dauer	Abhängigkeit der Banden- intensität von			Abhängigkeit der Banden- dauer von		
	Erregender Intensität			Erregender Intensität		
	1	0,0646	0,0162	1	0,0646	0,0162
2''	5,9	—	—	471	—	—
5	8,4	—	—	607	—	—
10	8,7	—	—	688	—	—
30	13,7	—	—	854	—	—
1 ^m 17	—	4,5	—	—	490	—
3 —	20,7	—	—	959	—	—
5 10	—	—	2,3	—	—	470
7 44	—	6,5	—	—	686	—
10 —	12,8	—	—	832	—	—
10 —	10,4	—	—	786	—	—
31 28	—	—	3,3	—	—	676
46 27	—	4,9	—	—	806	—
60 —	—	—	4,0	—	—	590

Tabelle VII.

Erregungs- dauer	Abhängigkeit der Banden- intensität von			Abhängigkeit der Banden- dauer von		
	Erregender Intensität			Erregender Intensität		
	1	0,045	0,020	1	0,045	0,020
ca. 40 ^m	3,1	2,5	2,0	516	434	500
	3,3	2,0	1,5	456	440	429
	2,9	—	—	455	—	—
	4,6	—	—	487	—	—
	2,8	—	—	443	—	—

Die Bandenintensität nimmt mit der Größe der erregenden Intensität zu, erreicht aber offenbar sehr bald einen Maximalwert, wie es auch für die Anklingung der gesamten Bande früher beobachtet war. Auch die Erregungsdauer verursacht eine sehr deutliche Steigerung der Bandenintensität bis zu einem Maximum, das um so schneller erreicht ist, je intensiver die erregende Strahlung. Bei noch längerer Erregung scheint, wie die Anklingung schon zeigte, wieder ein Abfall der Bandenintensität einzutreten. Betrachtet man schließlich noch die durch gleiche erregende Lichtmengen bei verschiedenen Intensitäten erhaltenen Phosphorintensitäten (vgl. die Kurven Nr. 8, 10 und 11), so zeigt sich auch hier in ganz ähnlicher Weise wie bei photographischen Platten eine sehr deutliche Abweichung vom Reziprozitätsgesetz, wonach der gleichen Lichtmenge *it* derselbe Effekt entsprechen würde.

Wenn hier eine Steigerung der Intensität durch die Dauer der Bestrahlung resultiert in scheinbarem Gegensatz zu dem bei der Anklingung konstatierten Verhalten des Phosphors, so läßt sich eine Erklärung hierfür wohl dadurch geben, daß der durch die Ermüdung bedingte Intensitätsabfall sich nicht kompensieren läßt durch den infolge des Anklingens der Dauerbande sich ergebenden Intensitätszuwachs.

Eine wesentliche Abhängigkeit der *Bandendauer* von der erregenden Intensität besteht weder beim direkten noch beim gefilterten Licht; das letztere zeigt dies besonders deutlich (Tab. VII).

Es ist dies eine quantitative Bestätigung der bereits von den Herren Lenard und Klatt aus der einheitlichen An-

und Abklingung für die gesamte Erregungsverteilung einer Bande erkannten Eigenschaft der Bandendauer.¹⁾ Mit der *Dauer* der Erregung scheint auch die Bandendauer etwas zuzunehmen, ebenso wie es für die Bandenintensität konstatiert war.

Der Momentanprozeß.

Um jetzt die Erscheinung der anfänglich rascheren Abklingung für sich getrennt verfolgen zu können, war der soeben studierte Dauerprozeß in Abzug zu bringen von der anfänglichen Gesamtemission durch Rückwärtsberechnung der für die Anfangszeiten der Abklingung bestehenden Intensitäten des Dauerprozesses. Den Verlauf des Momentanprozesses gibt für einen willkürlich herausgegriffenen Fall beifolgende Zeichnung²⁾ (Fig. 7).

Fig. 7.

Es wurde nun versucht, einen analytischen Ausdruck aufzustellen für den Vorgang des momentanen Abklingens. Das Resultat war, daß sich der der Beobachtung zugängliche Teil des momentanen Prozesses darstellen läßt durch eine Exponentialfunktion nach einer Potenz der Zeit

$$J = J_1 e^{-\alpha t^m},$$

1) P. Lenard u. V. Klatt, l. c. p. 467.

2) Der Momentanprozeß ist gestrichelt gezeichnet.

wo m für alle untersuchten Kurven gleich oder doch sehr nahe gleich $\frac{1}{2}$ war.

Die folgenden Tab. VIIIa und VIIIb geben für einige Abklingungen verschiedener erregender Intensität in Kolumne 2 immer zu den einzelnen Beobachtungszeiten das Gesamtlicht, in Kolumne 3 und 4 getrennt die Intensitäten des Dauer- und Momentanprozesses und in Kolumne 5 endlich die für den betreffenden Wert von m berechneten Abklingungskonstanten. Man sieht, daß von etwa 4 Min. nach Schluß der Erregung an ein Einfluß des Momentanprozesses auf den Dauerprozeß nicht mehr besteht. Für sehr starke erregende Intensität, wie sie durch Exposition im direkten Licht der Hg-Lampe erreicht wird, scheint m einen etwas kleineren Wert als $\frac{1}{2}$ anzunehmen, bei den schwächsten erregenden Intensitäten einen etwas größeren Wert. In Tab. VIIIa liegt mittlere erregende Intensität vor, d. h. die stärkste des gefilterten Lichtes; $m=0,5$. In Tab. VIIIb sind die Abklingungskonstanten des Momentanprozesses berechnet für stärkste und schwächste Erregung; $m=0,4$ und $m=0,6$.

Tabelle VIIIa.

Zeit nach Schluß der Erregung	Gesamt- intensität	Dauerprozeß	Momentan- prozeß	α $m = \frac{1}{2}$	Gesamt- intensität	Dauerprozeß	Momentan- prozeß	α $m = \frac{1}{2}$
21,5''	15,48	2,44	13,04	0,43	16,40	4,5	11,90	0,51
33	10,33	2,27	8,06		10,71	4,0	6,71	
66	4,65	1,80	2,85	0,44	5,38	3,09	2,29	0,45
99	—	—	—	0,44	—	—	—	0,50
145	—	—	—		—	—	—	
165	1,45	1,09	0,36	0,44	1,79	1,56	0,23	
235	0,95	0,83	0,12		1,01	1,03		
330	0,55	0,56	—		0,74	0,73		
545	0,32	0,33	—		0,35	0,36		
760	0,19	0,19	—		0,21	0,21		
800	—	—	—		—	—		
975	0,13	0,13	—		0,14	0,14		
1205	0,083	0,080	—		—	—		
1305	—	—	—		0,085	0,086		

Tabelle VIIIb.

Zeit nach Schluß der Erregung	Gesamt- intensität	Dauerprozeß	Momentan- prozeß	α $m = 0,4$	Gesamt- intensität	Dauerprozeß	Momentan- prozeß	α $m = 0,6$
21,5''	22,58	7,3	15,28	0,82	4,28	1,82	2,46	0,22
33	15,64	6,62	9,02		3,33	1,69	1,64	
66	9,4	5,3	4,1	0,70	2,17	1,45	0,72	0,20
99	6,8	4,27	2,53	0,51	—	—	—	0,21
145	—	—	—	0,57	1,13	1,02	0,11	
165	4,1	2,97	1,13		—	—	—	
235	2,6	2,15	0,45	0,80	0,78	0,80	—	
330	1,5	1,50	—	—	0,54	0,54	—	
545	0,738	0,77	—	—	0,31	0,31	—	
760	0,473	0,45	—	—	0,19	0,20	—	
800	—	—	—	—	—	—	—	
975	0,329	0,323	—	—	0,134	0,14	—	
1205	—	—	—	—	—	—	—	
1305	0,186	0,20	—	—	0,086	0,09	—	

Zusammenhang zwischen An- und Abklingung.

Die früher beobachteten Werte der Anklingung gestatten nun einen Vergleich mit den soeben mitgeteilten Werten der Abklingung, beide Werte im erregenden gefilterten Licht erhalten. Um aber einen zahlenmäßigen Zusammenhang auffinden zu können, war die Kenntnis der Verstärkung der photographischen Wirkung erforderlich, welche eintrat beim Übergang von dem zur Ermittlung der Anklingung benutzten Apparat zur Kontaktmethode. Durch vergleichende photographische Aufnahmen einer dem Phosphor nachgebildeten konstanten künstlichen Lichtquelle mit beiden Apparaten fand sich, daß die mit der Kamera erhaltenen Intensitäten mit 728 zu multiplizieren sind, um einen direkten Vergleich mit den durch die Kontaktmethode erhaltenen Intensitäten zu haben.¹⁾

Während die früheren Anklingungsversuche die Intensität des Phosphoreszenzlichtes während der Beleuchtung ergaben, begann bei den Abklingungsversuchen die erste Intensitäts-

1) Näheres hierüber vgl. in der Dissertation.

messung immer erst nach Verlauf von etwa 20 Sek. nach Schluß der Erregung. Die letzteren Intensitäten müssen sich demnach als merklich geringer erweisen als diejenigen während der Erregung. Da nun aus den weiter oben angestellten Beobachtungen für die zu Beginn des Abklingens den gesamten Prozeß überwiegend darstellende Momentanbande eine einfache Gesetzmäßigkeit gefunden ist, muß sich danach auch die zur Zeit Null bestehende Phosphorintensität rückwärts aus den Abklingungsversuchen berechnen lassen. Dieser Versuch ergibt, für eine Anzahl von Kurven durchgeführt, die in der folgenden Tab. IX zusammengestellten Anfangsintensitäten und zum Vergleich die bei der unmittelbar vorhergehenden Erregung gefundenen Intensitäten, welche noch mit dem die ungleichartigen Verhältnisse bei der Exposition berücksichtigenden Faktor multipliziert sind.

Tabelle IX.

Erregende Intensität	Anfangsintensität	
	aus der Abklingung berechnet; $m = \frac{1}{2}$	aus der Abklingung entnommen
1	72,3	1522
	67,1	1296
	105,2	1179
	98,3	1201
0,045	23	72,8
	22	87,4
0,020	13,7	43,7

Es fällt hier zunächst der außerordentliche Unterschied auf, welcher für die zur Zeit Null bestehende Anfangsintensität einerseits aus der Abklingung, andererseits aus der Anklung entnommen sich zeigt. Man hat danach, was das Nächstliegende ist, anzunehmen, daß für den ersten Anfang des Momentanprozesses das Exponentialgesetz e^{-at^m} nicht gültig ist, oder auch, daß die Strahlungsfähigkeit des Phosphors während äußerer Energieaufnahme eine viel größere ist als die ohne gleichzeitige Erregung mögliche. Beachtet man, daß die gesamte Abklingung definiert ist durch die Größe der Aufspeicherungsfähigkeit des Phosphors, so würde die Beob-

achtung der Vorstellung entsprechen, daß die aus der Abklingung berechnete Intensität ein Maß ist für die Größe der Aufspeicherung, während die bei der Anklingung beobachtete Intensität die Größe eines unter dem gleichzeitigen Einfluß zugestrahlter Energie möglichen momentanen Leuchtvermögens angibt, das selbst vom Aufspeicherungsvermögen unabhängig sein kann, und das auch — wie die Abhängigkeit der Phosphorstrahlung von der erregenden Intensität in den beiden Fällen zeigt — nicht so rasch mit wachsender Erregungsenergie ein Maximum zu erreichen scheint wie das Aufspeicherungsvermögen. Wie schon die Herren Lenard und Klatt gezeigt haben¹⁾, laufen bei erregender Belichtung in der Tat zwei die Bande betreffende Vorgänge gleichzeitig im Phosphor ab, nämlich erstens schnell an- und abklingendes Leuchten der Bande, und zweitens eine mit der Dauer und der Intensität der Bestrahlung asymptotisch anwachsende Aufspeicherung von Erregung. Das momentane Leuchten wird unmittelbar bei Schluß der Erregung plötzlich abfallen, und der gesamte folgende zeitliche Intensitätsverlauf wird dann nur noch durch die beiden ermittelten Gesetzmäßigkeiten für den Momentan- und Dauerprozeß, die beide ihre Energie der Aufspeicherung entnehmen, beschrieben sein.

Diesen plötzlichen Intensitätsabfall zeigt auch die unmittelbare Beobachtung. Wird nämlich die Erregung plötzlich unterbrochen, so fällt die Phosphorintensität, okular betrachtet, völlig momentan beträchtlich ab, um danach erst langsamer abzuklingen. Auch die speziell in dieser Richtung angestellten photographischen Versuche stimmen hiermit vollkommen überein.

**Das Verhältnis zwischen Momentan- und Dauerprozeß
in der Gesamtemission.**

Die gesamte Phosphoremision wäre nach vorstehendem aufzufassen als ein nur während der Erregung und Aufspeicherung von Energie in sehr hohem Maße stattfindendes momentanes Leuchten und ein gleichzeitiges Abklingen, das in zwei getrennten, sich übereinander lagernden Prozessen abläuft, einem sehr rasch abfallenden Momentanprozeß und einem sehr viel langsamer abklingenden und die gesamte Emission

1) P. Lenard u. V. Klatt, l. c. p. 666.

des Phosphors bald nach Schluß der Erregung — nach Verlauf von 4 Min. etwa — beschreibenden Dauerprozeß. Gewisse Beobachtungen deuten darauf hin, daß der Momentan- und Dauerprozeß nicht immer in gleichem Maße die Emission darstellen, sondern daß der eine gegen den anderen mehr oder weniger zurücktreten kann, wie schon von den Herren Lenard und Klatt bemerkt worden ist¹⁾, die ein deutliches Auftreten des Momentanprozesses im Dauerzustand des Leuchtens bei Erregung mit Licht nicht, dagegen bei Erregung mit langsamen Kathodenstrahlen geringer Intensität beobachtet haben. Hier zeigen sich nunmehr, auch bei Erregung durch Licht, im Dauerzustand der Bande beide Prozesse, Momentan- und Dauerprozeß, in voller Deutlichkeit. Man muß danach, da auch schon die Herren Lenard und Klatt es für sehr unwahrscheinlich gehalten¹⁾, daß der Prozeß des momentanen Leuchtens während der Erregung, der sich sowohl im unteren als im oberen Momentanzustand der Bande vorfindet, im dazwischen liegenden Dauerzustande ganz und allgemein fehlen solle, vermuten, daß die Ursache für diese abweichende Beobachtung zu suchen ist in der verschiedenen spektralen Zusammensetzung der benutzten erregenden Lichtquellen oder vielleicht auch in der Bereitungsweise der Phosphore. Okulare Beobachtungen ergaben bereits, daß nicht alle zu verschiedenen Zeiten hergestellten SrZnCaF_2 -Phosphore den Momentanprozeß in gleicher Deutlichkeit zeigten. Es konnte ferner nachgewiesen werden, daß der Momentanprozeß mit dem Alter des Phosphors mehr und mehr hervortritt.

In dem von den Herren Lenard und Klatt in der Regel benutzten Filterultraviolett²⁾ erregt, zeigte der von mir hergestellte Phosphor fast nur Momentanprozeß, bei stärkerer Intensität, die durch Heranrücken an den Brennpunkt erreicht wurde, trat der Dauerprozeß mehr hervor. Diese Erscheinung steht im Einklang mit dem bereits von den Herren Lenard und Klatt beobachteten auffallenden Unterschied in der Erregung von Dauer- und Momentanprozeß.³⁾ Momentanbanden werden im allgemeinen schon durch sehr geringe Lichtstärken

1) P. Lenard u. V. Klatt, l. c. p. 668.

2) P. Lenard u. V. Klatt, l. c. p. 244.

3) P. Lenard u. V. Klatt, l. c. p. 477.

gut erregt, während Dauerbanden meist besonders hoher erregender Intensitäten bedürfen, um hell zu erscheinen.

Als nun, um noch größere Intensität zu erzielen, eins der blauen Farbgeläser des Filterultravioletts entfernt und damit gleichzeitig eine andere spektrale Verteilung des erregenden Lichtes benutzt wurde, war wieder fast ausschließlich Momentanprozeß vorhanden. Also je nach der spektralen Zusammensetzung der erregenden Lichtquelle wird Momentan- oder Dauerprozeß vorzugsweise erregt. Das ist aber nur dann möglich, wenn *beide Prozesse durch besondere Lichtwellenlängen erregt werden*, wenn sie getrennte Erregungsverteilungen besitzen.

Als nun das durch ein Quarzprisma spektral zerlegte Licht der Hg-Lampe auf den flächenhaft ausgebreiteten Phosphor fiel, ergab sich in der Tat das überraschende Resultat, daß je nach der Wellenlänge Momentan- oder Dauerprozeß erregt wurde.

Diese Abhängigkeit der beiden Prozesse von der Art der Erregung erklärt wohl auch das früher konstatierte Verhalten bei der Anklingung, die in allen hier beobachteten Fällen, im scheinbaren Gegensatz zu entsprechenden Versuchen der Herren Lenard und Klatt, niemals einen allmählichen Anstieg der Phosphorintensität erkennen ließ. Da die Abklingungsversuche für den Dauerprozeß ein zweifelloses Anwachsen mit der Dauer der Erregung zeigen, während der Momentanprozeß sehr rasch seine maximale Erregbarkeit unter bestimmten Verhältnissen erreicht zu haben scheint, so wurde offenbar das von den Herren Lenard und Klatt beobachtete Anwachsen während der Erregung in unserem Falle durch das starke Überwiegen des hier gleichzeitig vorhandenen, dort fehlenden, Momentanprozesses verdeckt.

Vorliegende Arbeit wurde im physikalischen Institut zu Kiel ausgeführt auf Anregung von Hrn. Geheimrat Prof. Lenard, dem ich für die wertvollen Ratschläge und vielfachen Unterstützungen im Verlauf der Untersuchungen zu bleibendem Dank verpflichtet bin. Ebenso spreche ich Hrn. Privatdozent Dr. Becker für mannigfache Förderung meinen freundlichsten Dank aus.

Kiel, Physikalisches Institut, August 1907.

(Eingegangen 31. August 1907.)