

**10. Entgegnung auf Hrn. Starks Bemerkung
zu meiner Abhandlung
über das Intensitätsverhältnis der Serienlinien
des Wasserstoffs im Kanalstrahlenspektrum;
von F. Lunkenheimer.**

Hr. Stark hat in einer Bemerkung¹⁾ meine in der Überschrift genannte Abhandlung²⁾ kritisiert. Meine vielleicht etwas zu kurz gehaltenen Ausführungen³⁾ hat Hr. Stark, wie ich aus der ersten Hälfte seiner Bemerkung schließen muß, offenbar nicht richtig verstanden. Es handelt sich um die Diskussion der folgenden drei von mir l. c. genauer beschriebenen Beobachtungen.

I. Beobachtungen senkrecht zur Translationsrichtung der Kanalstrahlen.

Kathode: Zylinder 2 cm lang, Bohrung 5 mm weit.

Resultat: Nach Kurve 1 Fig. 5 (l. c. p. 147) nimmt das Schwärzungsverhältnis $H_\beta : H_\alpha$ von:

rund 1	bei	1,4 mm	Funkenstrecke	
über 1,08	„	4,0	„	„
auf 1,40	„	13	„	zu.

II. Beobachtungen an der *ruhenden* Linie in der Translationsrichtung der Kanalstrahlen.

Kathode: wie unter I.

1) J. Stark, *Ann. d. Phys.* 36. p. 861—865. 1911.

2) F. Lunkenheimer, *Ann. d. Phys.* 36. p. 134—152. 1911; im folgenden l. c. zitiert.

3) l. c. 147 u. 148.

Resultat: Nach Kurve 2 Fig. 5 (l. c. p. 147) innerhalb der Versuchsfehler identisch mit dem Resultat der Methode I.

III. Beobachtungen senkrecht zur Translationsrichtung der Kanalstrahlen (also wie bei I.); subjektiv photometriert.

Kathode: 5 cm lang, Bohrung 3,5 mm weit.

Resultat: Innerhalb 15 Proz. Beobachtungsfehler *Konstanz* des Intensitätsverhältnisses.

Bei den Beobachtungen I—III strömte der Wasserstoff durch eine enge Kapillare aus einem Vorratsgefäß in den Entladungsraum, von dort durch die Bohrung der Kathode, die in das Glasrohr stets exakt eingepaßt war, in den Beobachtungsraum, der durch eine weite Rohrleitung mit der dauernd laufenden Gaedepumpe verbunden war. Die Entladungsspannung wurde dadurch variiert, daß der Druck im Vorratsgefäße geändert wurde. Es war also stets auch zwischen Entladungs- und Beobachtungsraum ein Druckunterschied, der bei gleichen Drucken im Entladungsraum (gleichen Entladungsspannungen) bei der Methode III wegen der langen und engen Bohrung der Kathode größer war, als bei den Methoden I und II, wo eine kurze, weite Bohrung verwendet wurde. Bei den beiden ersten Methoden erstreckte sich also die Druckänderung, die im Entladungsraum eine bestimmte Änderung des Kathodenfalles herbeiführte, in verhältnismäßig wenig vermindertem Betrage auch auf den Beobachtungsraum; bei der dritten Methode war die entsprechende Druckänderung im Beobachtungsraum ersichtlich viel geringer. Ich kann also zwar nicht behaupten, daß bei den Beobachtungen nach Methode III während der Änderungen des Druckes im Entladungsraum der Druck im Beobachtungsraum *konstant* geblieben wäre; wohl aber, daß er *konstanter* geblieben ist, als bei den entsprechenden Beobachtungen nach I und II. Das genügt aber zur Erklärung des scheinbaren Widerspruches; ich habe nämlich gezeigt: 1. daß das Intensitätsverhältnis sich mit der Geschwindigkeit der Kanalstrahlen jedenfalls nicht wesentlich (15 Proz.) ändert, wenn man im Beobachtungsraum den Druck nach Möglichkeit konstant hält (III); 2. daß das Intensitätsverhältnis mit der Geschwindigkeit der Kanalstrahlen merklich wächst, wenn gleichzeitig der Druck im Beobachtungsraum wächst (I); die

Änderung des Intensitätsverhältnisses ist bei den hierher gehörigen Beobachtungen der Herren Stark und Steubing¹⁾, deren objektive Richtigkeit ich natürlich nicht bestreiten will, noch wesentlich größer als bei mir unter I, weil bei deren Beobachtungsmethode die zur Änderung des Kathodenfalles im Entladungsraum nötige Druckänderung ohne jede Minderung auch auf den Beobachtungsraum sich erstrecken mußte; 3. daß die Änderung des Intensitätsverhältnisses, die man transversal an (ruhender + bewegter) Intensität beobachtet, wenn sich der Druck im Beobachtungsraum genügend stark mit ändert (I), wiedergefunden wird, wenn man an demselben Rohr unter identischen elektrischen und Strömungsbedingungen, longitudinal die *ruhende* Linie allein beobachtet (II). Für diesen Effekt kann also unmöglich die Ursache in den Eigenschaften der Emission der Kanalstrahlen gesucht werden.²⁾ Ich bin vielmehr der Ansicht, daß *die bisher besprochenen Änderungen des Intensitätsverhältnisses (auch die von den Herren Stark und Steubing¹⁾ beobachteten) wahrscheinlich durch die Änderung des Gasdruckes im Beobachtungsraum hervorgerufen wurden*. Allerdings ist der Versuch, die Lichtemission von Kanalstrahlen verschiedener Spannung bei gleichem Druck zu vergleichen von mir nicht gemacht. Es ist daher auch noch nicht bewiesen, daß es sich wirklich nur um eine Wirkung des Druckes handelt. Aber die Messungen am Dopplerstreifen von Paschen und mir zeigen, daß bei gleichem Druck keine erhebliche Änderung des Intensitätsverhältnisses mit der Geschwindigkeit eintritt. So können die Änderungen des Intensitätsverhältnisses, das man an der Gesamtintensität beobachtet, nur auf Rechnung der ruhenden Linie und der Abhängigkeit der bewegten vom Druck gesetzt werden.

IV. Außerdem habe ich (l. c. p. 148 ff.) Beobachtungen am Dopplereffekt publiziert, auf die ich das Hauptgewicht legen muß. Hier wird die Intensitätsverteilung innerhalb der bewegten Intensität an verschiedenen Linien auf derselben Platte

1) J. Stark u. W. Steubing, Ann. d. Phys. 26. p. 918—926. 1908.

2) Aus diesem Grunde habe ich auch die Messungen der Methode III nicht unter den Bedingungen von I und II wiederholt, sondern habe die unten genannte Methode IV vorgezogen, weil sie einwandfrei ist.

gemessen und verglichen.¹⁾ Dabei wurden verschiedene Röhren benutzt (Kathodenlänge 2—6 cm, Bohrung 3,5—5 mm). Diese Verschiedenheiten sind hier, im Gegensatz zu den Methoden I und III, bedeutungslos, weil hier die verschiedenen Geschwindigkeiten der Kanalstrahlen nicht durch Variation des Gasdruckes im Entladungsraum gewonnen werden, sondern bei gemeinsamem Gasdruck gleichzeitig vorhanden sind; diese Messungen entsprechen also bereits den von Hrn. Stark in seiner Bemerkung postulierten Beobachtungen bei konstantem Gasdruck: in einwandfreierer Weise als hier läßt sich letzteres überhaupt nicht realisieren.

Resultat: Mit zwei Spektrographen und einer Gitteranordnung wurde durch Vergleich der Dopplerschwärzungskurven verschiedener Linien derselben Platte (l. c. p. 148) innerhalb höchstens 20 Proz. Versuchsfehler Konstanz des Intensitätsverhältnisses gefunden; dabei variierten die zugrunde gelegten Geschwindigkeiten im Verhältnis 4:1.

Sollte ein von der Geschwindigkeit der Kanalstrahlen abhängiger Effekt vorhanden sein von der Größenordnung des von den Herren Stark und Steubing durch Beobachtungen in der Art meiner Methode I erhaltenen (ca. 70 Proz. für $H_\gamma:H_\alpha$ bei einer Variation der Maximalgeschwindigkeiten im Verhältnis 1,5:1), so hätte man hier, wo man von dem Ballast der ruhenden Linie frei ist, noch weit stärkere Änderungen des Intensitätsverhältnisses erwarten dürfen; die etwas weite Fehlergrenze von 20 Proz. ist also ungefährlich.

Nun wirft mir Hr. Stark vor, meine Dispersion sei relativ zu gering gewesen, um einen solchen Effekt entdecken zu können. Ich gebe nachstehend eine Tabelle über die Dispersion, die ich und die Herren Stark und Steubing benutzt haben:

Man sieht also, daß die Dispersion bei meinen Gitteraufnahmen nicht viel kleiner war, als die letzte der Herren Stark und Steubing. Ich muß es dabei als einen Vorzug meiner Aufnahmen bezeichnen, daß die Dopplerstreifen von H_α

1) Wie Hr. J. Stark, Ann. d. Phys. 28. p. 974—998. 1909.

	Stark und Steubing		Lunkenheimer		
	1909	vor 1909	Steinheil- spektrum	Hilger- spektrum	Gitter- spektrum
H_α	20	100	—	—	33 Å.-E./mm
H_β	14	36	48	39	22
H_γ {	18	23	26	28	22
	9				
H_δ	13	18	—		

(zweiter Ordnung) und H_γ (dritter Ordnung) vollkommen gleich breit sind (die Dispersionen verhalten sich wie 2:3, die Wellenlängen wie 3:2), die Streifen sich also unmittelbar so wie sie sind, zum Vergleich darbieten; dabei haben sich Besonderheiten gegenüber den Aufnahmen mit den Prismenspektrographen nicht gezeigt; es hätten mir also Unterschiede von der Größe, wie sie nach Stark und Steubing zu erwarten wären, nicht entgehen können, wenn auch meine Spektrographen über ein kleines Intervall von Geschwindigkeiten integriert haben. Ich muß also an dem Resultat meiner Beobachtungen am Dopplerstreifen (ich habe l. c. p. 151 die Resultate von 15 Spektrogrammen angeführt, von denen zehn Gitteraufnahmen sind) festhalten, daß innerhalb einer Fehlergrenze von 20 Proz. das Intensitätsverhältnis von der Geschwindigkeit der Kanalstrahlen unabhängig ist. Das widerspricht allerdings durchaus den Angaben der Herren Stark und Steubing¹⁾: „Indes sind bei einem bestimmten Kathodenfall die Verteilungskurven verschiedener Linien einander nicht ähnlich, vielmehr in dem Sinne voneinander verschieden, daß die bewegte Intensität größerer Geschwindigkeiten relativ zur Intensität kleinerer Geschwindigkeiten um so größer ist, je kleiner die Wellenlänge ist.“ Die Verfasser geben selbst zu, daß ihr Beobachtungsmaterial unzureichend ist²⁾, was denn auch in der

1) J. Stark u. W. Steubing, Ann. d. Phys. 28. p. 988. 1909; auf seine früheren Beobachtungen (Ann. d. Phys. 21. p. 401—456. 1906) darf sich Hr. Stark hier nicht beziehen; denn diese sind mit „unzureichender“ Dispersion angestellt worden.

2) J. Stark u. W. Steubing, Ann. d. Phys. 28. p. 987 Zeile 1—3 von unten, p. 988 oben, 1909.

Tat aus den Tabb. II—V (l. c. p. 983 u. 984) zur Evidenz hervorgeht: das ganze Material besteht nämlich — von den Belegen, denen Hr. Stark das Gewicht „0“ beimißt, und der Platte 29a mit verwaschenem H_δ -Effekt abgesehen — in den zwei Platten 29b und 30, die nur einen Vergleich der Dopplereffekte von H_γ und H_δ ermöglichen; da der Kathodenfall bei beiden Aufnahmen zu 1200 Volt angegeben ist, also von breiten Streifen keine Rede sein kann, sind die Meßobjekte zu dem noch wenig günstig. Würde man etwa auch Aufnahmen von ungefähr gleicher Entladespannung und ungefähr gleicher Expositionszeit als zum Vergleich geeignet heranziehen wollen (hier kämen etwa die Aufnahmen Nr. 19 und 27 für H_β und H_γ in Betracht), so würde man mit Hrn. Stark selbst in Konflikt geraten, da er ein derartiges Vorgehen bereits als unzulässig bezeichnet hat.¹⁾ Aber auch zu den beiden obengenannten Aufnahmen fehlt jede Angabe über den quantitativen Verlauf der Schwärzungskurven, so daß man sich von den Abweichungen, die die Beobachter festgestellt haben, auch nicht ein angenähertes Bild machen kann.

In meiner Abhandlung habe ich erwähnt, daß meine Beobachtungen mit denen von Hrn. Paschen²⁾ übereinstimmen. Da Hr. Paschen etwa mit der doppelten Dispersion wie Hr. Stark arbeitete, so sollten seine Messungen für diesen besonders beweiskräftig sein, da er ja große Dispersion verlangt. Dazu heißt es aber in der Bemerkung (p. 864 unten): „Ich verweise in dieser Hinsicht zunächst auf eine frühere Mitteilung³⁾ von mir, in der ich zeigte, daß die Beobachtungen Paschens im Sinne einer Verschiedenheit der Intensitätsverteilung zu deuten sind.“ Hr. Stark fügt aber nicht hinzu, daß Hr. Paschen daraufhin gegen diese Deutungsversuche Verwahrung einlegte:⁴⁾

„Meine Tab. I läßt keine solche Verwertung zu, wie

1) J. Stark, Ann. d. Phys. 23. p. 801. 1907.

2) F. Paschen, Ann. d. Phys. 23. p. 247. 1907.

3) J. Stark, Ann. d. Phys. 23. p. 798. 1907.

4) F. Paschen, Ann. d. Phys. 23. p. 997 Mitte. 1907.

Hr. Stark p. 801 Absatz 1 meint, sondern nur den Schluß, daß kein Anhaltspunkt für die Behauptung des Hrⁿ. Stark vorhanden ist.“¹⁾

Schließlich führt Hr. Stark noch die von ihm publizierten Beobachtungen an, nach denen im Dopplereffekt der langwelligen Linien geringere Geschwindigkeiten vorkommen sollen als in dem der kurzwelligen. Ich glaube nicht, daß dieser Schwellenwerteffekt schon sicher gestellt ist; Hr. Paschen²⁾ findet ihn nicht, und die Messungen von Hrⁿ. Royds³⁾, die Hr. Stark zu seiner Unterstützung anführt, beziehen sich gar nicht auf Beobachtungen an den eigentlichen Kanalstrahlen in dem Raum hinter der Kathode, sondern sind in dem viel kompliziertere Verhältnisse darbietenden Entladungsraum angestellt worden. Abgesehen davon kann man aus der Roydsschen Tabelle aber auch nichts Sicheres schließen, da sie Unstimmigkeiten enthält; es ist jedenfalls mehrfach der zur maximalen Schwärzung gehörige Geschwindigkeitswert kleiner als der Schwellenwert angegeben, was doch nicht sein kann; auch stimmen die Schwellenwerte von Royds nicht mit denen von Stark und Steubing überein.

Ich glaube deshalb auch nicht, daß durch die Arbeit von Hrⁿ. Royds, die sich, wie gesagt, gar nicht auf die eigentlichen Kanalstrahlen bezieht, die oben zitierte Verwahrung Hrⁿ. Paschens annulliert ist. Ich will aber die Möglichkeit der Existenz des Schwellenwerteffektes gar nicht bestreiten⁴⁾; nur die Schlüsse, die Hr. Stark daraus bezüglich meiner Resultate zieht, „denn selbst wenn die Maximalintensität bei derselben Geschwindigkeit für verschiedene Wellenlängen läge, so würden sich doch unter keinen Umständen die ansteigenden Äste der Verteilungskurven verschiedener Wellenlängen durch entsprechende Wahl des Ordinatenmaßstabes zum Zusammenfallen bringen lassen, da die ansteigenden Äste von verschiedenen Schwellenwerten ausgehen“ — kann ich keines-

1) Bezüglich der Arbeit von Royds vgl. den folgenden Absatz.

2) F. Paschen, Ann. d. Phys. **23**. p. 247. 1907.

3) T. Royds, Phil. Mag. **18**. p. 895. 1909.

4) Meine Beobachtungen können in *dieser Frage* nichts entscheiden.

wegs anerkennen. Nehmen wir einmal an, die Schwärzungskurven des Dopplerstreifens setzten tatsächlich für die einzelnen Spektrallinien bei etwas verschiedenen Geschwindigkeits- (Abszissen)werten ein; sollte Hr. Stark daraufhin etwa behaupten wollen, dieses Einsetzen könnte nicht derart (d. h. mit solcher Ordinate) erfolgen, wie es einem konstanten Intensitätsverhältnis entspricht?¹⁾

Zum Schluß muß ich noch den Versuch des Hrn. Stark zurückweisen, die Zuverlässigkeit der in meiner Abhandlung niedergelegten Resultate dadurch zu erschüttern, daß er mir vorwirft, ich hätte keine Angaben über wesentliche Versuchsbedingungen gemacht, so daß meine Beobachtungen mit den von ihm und Hrn. Steubing ausgestellten nicht verglichen werden könnten. Er verlangt dann, ich hätte die Länge des Kathodendunkelraumes messen sollen, den Kathodenfall in Volt angeben, nicht dafür die Länge einer parallel zur Röhre geschalteten Funkenstrecke; bei letzterer hätte ich wenigstens den Durchmesser der Kugeln (ca. 1,5 cm) angeben sollen, und ob ich zur Vermeidung des Entladeverzugs die Luft zwischen den Kugeln schwach ionisiert hätte (nein). Ich bemerke dazu lediglich, daß die Länge des Dunkelraumes bei den höheren Spannungen nicht meßbar war; daß wohl kein Physiker annehmen wird, ich hätte Funken von 10 mm Länge mit Kugeln unter 5 mm Durchmesser gemessen — 10 mm Funkenstrecke entsprechen bei 5 mm Kugeldurchmesser 20000 Volt, bei 50 mm Durchmesser 33000 Volt; ob ich 20000 Volt oder 33000 Volt an der Röhre gehabt habe, ist für die Beurteilung meiner Resultate ganz gleichgültig, da nirgends der Absolutwert der Entladungsspannung gebraucht wird; bei 4 mm Funkenstrecke betragen die Unterschiede bei verschiedenen Kugelradien nur einige Prozente —, und daß die Ionisierung der Funkenstrecke vollständig überflüssig gewesen wäre, da eine Messung des Entladungspotentials mit einer solchen Genauigkeit, daß die Aufhebung der Verzögerung Sinn gehabt

1) Im Gebiet der kritischen Schwellenwerte würde natürlich das Intensitätsverhältnis durch Sprung unendlich werden; darüber kommt man aber auch mit der Annahme eines variablen Intensitätsverhältnisses nicht hinweg, da eben der Begriff des Schwellenwertes schon eine Unstetigkeit in der Intensitätsverteilung involviert.

hätte, nicht nötig war und infolgedessen auch gar nicht angestrebt wurde. Den Anschluß von meinen Angaben über die Funkenlänge an die Spannungswerte in Volt hätte Hr. Stark übrigens auf Grund meiner Angabe (l. c. p. 146, Zeile 1 und 2) finden können, daß das von ihm mit Hrn. Steubing untersuchte Spannungsgebiet in meinem Maße etwa 1—4 mm Funkenstrecke entsprach.

Fiskaa (Norwegen), 8. Dezember 1911.

(Eingegangen 19. Dezember 1911.)
