

Über die kleinen Höfe und die Ringe behauchter Platten

von

Dr. **Karl Exner.**

(Mit 1 Tafel.)

Die Höfe, welche zuweilen den Mond und andere Lichtquellen in unmittelbarem Anschlusse umgeben, sind durch Fraunhofer's,¹ Verdet's² und meine eigenen³ Arbeiten über diesen Gegenstand erschöpfend behandelt. Die Höfe entstehen durch Beugung der von weit entfernten und nahezu punktförmigen Lichtquellen kommenden Strahlen an zahlreichen, unregelmässig vertheilten, gleich grossen Körperchen von kreisförmigem Querschnitte in dem auf die Lichtquelle eingestellten Auge. Man hat an jeder Stelle des Beugungsbildes die Summe der durch die einzelnen Körperchen für sich hervorgebrachten Helligkeiten (l. c.), und diese Helligkeiten sind wieder nach dem Babinet'schen Principe (l. c.) identisch mit den durch gleichgestaltete Öffnungen hervorgebrachten Helligkeiten. Das Beugungsbild der kleinen Höfe ist demnach identisch mit jenem einer kreisförmigen Öffnung vom Durchmesser eines der Körperchen, doch erscheint die Helligkeit mit der Zahl der wirksamen Körperchen multiplicirt.

Die Ringe, welche behauchte Glasplatten zeigen, unterscheiden sich von den kleinen Höfen der Entstehung nach dadurch, dass die Bedingung der Unregelmässigkeit der Vertheilung der Wassertröpfchen nicht mehr vollkommen erfüllt ist, indem

¹ Schumacher, *Astron. Abh.* III, 1824.

Ann. d. chim. e. d. phys. (3), XXXIV. 1852.

Diese Berichte, Bd. XC, 1884.

die Tröpfchen nahe äquidistant angeordnet sind. Der Erscheinung nach unterscheiden sich die Ringe behauchter Platten von den kleinen Höfen dadurch, dass die Lichtquelle unmittelbar von einem dunklen Raume, statt wie bei den Höfen von einer hellen Aureole, umgeben erscheint. Eine Erklärung hievon habe ich gegeben (l. c.).

Ich habe ferner auf die Granulation aufmerksam gemacht, welche das Beugungsbild der kleinen Höfe bei völlig punktförmiger Lichtquelle zeigt: Dasselbe erscheint zusammengesetzt aus zahlreichen unregelmässigen, durch dunkle Zwischenräume getrennten hellen Pünktchen. Ich habe die Erklärung dieser Granulation gegeben (l. c.) und die Intensitätsgleichung des Beugungsbildes der kleinen Höfe mit Einschluss der Granulation abgeleitet:¹

$$J = ni + 2i \Sigma (\cos(\alpha_m - \alpha_p)). \quad (I)$$

In dieser Formel bedeutet n die Zahl der wirksamen Körperchen, i die von einem einzigen Körperchen herrührende Intensität, $\alpha_m - \alpha_p$ die Phasendifferenz der von zwei Körperchen in der betrachteten Richtung gehenden resultirenden gebeugten Strahlen und erstreckt sich Σ auf alle Combinationen zweier der Körperchen. Das zweite Glied des Ausdruckes ist von der zufälligen Vertheilung der Körperchen abhängig, variirt bei variirendem Beugungswinkel sehr rasch und ist innerhalb Grenzen, zwischen welchen das erste Glied noch als constant angesehen werden kann, im Mittel gleich Null; es stellt dieses Glied die Granulation dar. Das erste Glied ist von der zufälligen Vertheilung der Körperchen unabhängig und gibt die Verdet'sche oder mittlere Intensität in der unmittelbaren Nähe des betrachteten Punktes des Beugungsbildes, welche mittlere Intensität bei nicht völlig punktförmiger Lichtquelle allein wahrgenommen wird. Während also die Beugungsringe durch Interferenzen erster Classe, d. i. durch Interferenzen gebeugter Strahlen entstehen, welche von einem und demselben Körperchen herrühren, entsteht die Granulation durch Interferenzen zweiter Classe, d. i. durch Interferenzen gebeugter Strahlen, welche von verschiedenen Körperchen her-

¹ Karl Exner, Wied. Am. XI, 1880.

rühren. Die Radien der Beugungsringe sind von der zufälligen Vertheilung der Körperchen unabhängig, die Granulation hingegen von derselben abhängig.

Ich habe ferner auf zwei andere Ringsysteme aufmerksam gemacht, welche unter Umständen an behauchten Glasplatten auftreten. Eines derselben ist dadurch charakterisirt, dass auch die Lichtquelle gefärbt erscheint, das andere dadurch, dass die Ringe ihre rothen Ränder nach innen kehren.¹

Alle diese Erscheinungen hat neuestens Herr W. Donle² zum Gegenstande von Untersuchungen gemacht, welche im Folgenden besprochen werden sollen.

Zunächst theilt Herr Donle eine neue Beobachtung mit, welche sich auf die oben erwähnte Granulation der kleinen Höfe bezieht. „Bei eingehender Betrachtung der die Aureole zusammensetzenden Lichtpünktchen fiel es mir auf, dass ein Paar gleichgestalteter stets symmetrisch zu beiden Seiten der direct gesehenen Lichtquelle lagen, was besonders dann mit Sicherheit festgestellt werden konnte, wenn die Pünktchen nicht rund, sondern länglich und dadurch besonders kenntlich gestaltet waren. Ausser dieser paarweisen Anordnung liess sich keine weitere Regelmässigkeit der Vertheilung constatiren.“ Man sieht, wie durch diese Beobachtung des Herrn Donle eine Consequenz der von mir schon früher aufgestellten Formel (I) experimentell bestätigt wird. Diese Formel ist Herrn Donle wohl desshalb entgangen, weil sie bei Gelegenheit einer zwischen Herrn E. Lommel und mir geführten Polemik in einer „Über die Newton'schen Staubringe“ betitelten Abhandlung veröffentlicht wurde. Geht man von einem Punkte des Beugungsbildes zu dem diametral gegenüberliegenden Punkte über, so wechseln nämlich in Formel (I) sämmtliche $(\alpha_m - \alpha_p)$ das Vorzeichen und der Werth von J bleibt un geändert. Es geht also aus dieser Formel hervor, dass (unter Einschluss der Granulation) in der ganzen Ausdehnung des Beugungsbildes zwei einander diametral gegenüberliegende Punkte genau die gleiche Helligkeit haben, und zwar bei gänzlich unregelmässiger Vertheilung der Körperchen.

¹ Karl Exner. Diese Berichte, Bd. LXXVI, 1877.

Wied. Ann. XXXIV, 1888.

wiederholt sein, dass das Phänomen der kleinen Höfe (mit Ausschluss der Granulation) identisch ist mit dem Beugungsbilde einer kreisrunden Öffnung vom Durchmesser eines der Körperchen und dass die Aureole zu diesem Beugungsbilde der kreisrunden Öffnung gehört.

Über jene Abart der kleinen Höfe, deren Ringe ihre rothen Ränder nach innen kehren, bemerkt Herr Donle: „den von demselben (Exner) noch gesehenen Ring mit innerem rothen Rande habe ich leider nur einmal beobachten und da nicht weiter verfolgen können, da ich durch eine bethaute Fensterscheibe nach dem Monde sah; derselbe ist wegen der Farbenfolge ohne Zweifel durch Brechung hervorgerufen“. Es handelt sich jedoch hier nicht um einen einzelnen Ring, sondern um ein ganzes, einen charakteristischen Anblick gewährendes Ringsystem, welches nicht lediglich durch Brechung erklärt werden kann, wohl aber auf einem Zusammenwirken von Brechung und Beugung beruhen dürfte. Es ist nicht meine Absicht, mich mit der Erforschung dieser Erscheinung zu befassen, doch könnten die folgenden Bemerkungen vielleicht bei späteren Untersuchungen Anderer nützlich sein. Sind die Körperchen durchsichtig, wie dies hier zutrifft, so hat man zweierlei Licht, das durch die Körperchen und das durch die Zwischenräume gehende. Das durch die Zwischenräume gehende Licht bringt die kleinen Höfe hervor, das durch die Körperchen selbst gebrochene und zugleich gebeugte Licht aller Wahrscheinlichkeit nach das in Rede stehende Ringsystem. Man möchte desshalb erwarten, beide Ringsysteme gleichzeitig auftreten zu sehen. Allein die Höfe hören auf, wahrnehmbar zu sein, wenn die Körperchen eine gewisse Grösse erreichen, während zur Wahrnehmbarkeit des in Rede stehenden Ringphänomens im Gegentheile eine beträchtlichere Grösse der Tröpfchen nöthig ist. Ich habe nämlich bemerkt, dass dieses letztere Ringsystem erst dann merklich wird, wenn die Tröpfchen schon mit freiem Auge deutlich wahrgenommen werden und dass alsdann im centralsten Theile des Phänomens auch noch die kleinen Höfe in sehr reducirtem Zustande wahrgenommen werden. Wie man nun die kleinen Höfe auf das Beugungsbild einer kreisrunden Öffnung zurückführt, so müsste man das in Rede stehende Ringsystem auf das Beugungsbild einer ebensolchen Öffnung zurück-

führen können, in welcher sich ein Wassertropfen befindet, also auf das Poppe'sche Phänomen.¹ Zur Berechnung von derlei Erscheinungen hat Airy Anhaltspunkte gegeben.² Man könnte ferner erwarten, dass durch gegenseitige Interferenz des durch die Tröpfchen gehenden und des zwischen denselben gehenden Lichtes ein drittes Ringsystem auftrete. Es scheint dies bei flachen Tröpfchen zu geschehen und zum Auftreten jenes dritten Ringsystems Anlass zu geben, bei welchen auch die Lichtquelle gefärbt erscheint, so dass man es hier mit Farben gemischter Blättchen oder lamellaren Beugungserscheinungen zu thun hätte.

Schon Fraunhofer unterschied zwischen den kleinen Höfen und den Ringen behauchter Platten, indem bei den letzteren auch die gegenseitige Einwirkung der gekreuzten Strahlen eine Rolle spielen sollte (gegenseitige Interferenz der durch die einzelnen Körperchen hervorgebrachten elementaren Beugungserscheinungen). Auch Dove hielt die Ringe behauchter Platten für eine Gittererscheinung. Ich selbst³ constatirte den Unterschied der beiden Phänomene, welcher darin besteht, dass die Höfe zunächst dem Centrum der Erscheinung ein helles Feld (Aureole), die Ringe behauchter Platten hingegen ein dunkles Feld zeigen und fasste die Ringe behauchter Platten als kleine Höfe auf, deren Aureole sich in Folge nicht völlig unregelmässiger Vertheilung der Tröpfchen zum Theile in einen dunklen Raum verwandelt hat. Herr Donle schliesst sich in seiner Abhandlung der Ansicht Dove's an.

Der Unterschied zwischen Herrn Donle's und meiner Erklärung der Ringe behauchter Platten ist der folgende. Jedes Tröpfchen bringt für sich ein Ringsystem hervor, welches im Folgenden als ein primäres bezeichnet wird. Da die Tröpfchen nahe gleich gross sind, congruiren die primären Interferenzbilder und verstärken hiedurch die Lebhaftigkeit der Erscheinung. Die Durchmesser dieser Ringe hängen nur von der Grösse der Tröpfchen ab (kleine Höfe). Es können aber diese primären Interferenzbilder auch untereinander interferiren, so dass in dem schon vorhandenen Ringsysteme sich ein secundäres, mit dem primären

¹ Pogg. Ann. XCV. — Verdet-Exner, Optik I, S. 289.

Trans. of the Soc. of Cambr. VI. — Verdet-Exner, Optik I, S. 317.

Karl Exner. Diese Berichte Bd. LXXVI, 1877.

concentrisches Ringsystem bildet. Die Entstehung dieses secundären Ringsystems ist bedingt durch die angenäherte Gleichheit der gegenseitigen Abstände benachbarter Tröpfchen, und die Durchmesser dieser Ringe hängen von der Gitterconstante ab, d. i. von der Summe eines Tropfendurchmessers und eines Zwischenraumes. Es verhalten sich also die secundären Ringe zu den primären, wie in den gewöhnlichen Gittererscheinungen die Spectra zweiter Classe zu jenen erster Classe. Nach der von mir gegebenen Erklärung nun ist der centrale dunkle Raum des Beugungsbildes ein secundäres Phänomen, die eigentlichen Ringe hingegen ein primäres. Nach Herrn Donle's Ansicht entstehen auch diese Ringe durch secundäre Interferenzen.

Ich will nun auf die Begründungen eingehen, mit welchen Herr Donle und ich unsere Erklärungen versehen haben. Ich selbst betrachtete eine Behauchung unter dem Mikroskope, ahmte die Vertheilung der Tröpfchen durch Nadelstiche in einem Staniolblatte nach, erhielt mit diesem Präparate das charakteristische Phänomen der behauchten Platten und gelangte sodann durch Vermessung des Präparates und durch Rechnung zu meiner Erklärung. Herr Donle, nach welchem sich der erste helle Ring aus den ersten und der zweite helle Ring aus den zweiten secundären Spectren zusammensetzt, welche durch die unregelmässig verschieden orientirte Gitter von gleicher Constante bildenden Tröpfchen hervorgebracht werden, führt zum Nachweise der Richtigkeit seiner Anschauung den folgenden Versuch an. Die Sublimation von Salmiak ergab auf einer Glasplatte einen Niederschlag, welcher durch Erwärmung äusserst zart wurde. So hergestellte Platten zeigten an mehreren Stellen Ringphänomene. Unter dem Mikroskope zeigte sich eine grosse Zahl federbartartiger Figuren derart, dass sie unregelmässig orientirte Beugungsgitter von gleicher Constante darstellten. Messung und Rechnung ergaben sodann, dass die Ringe sich aus den Beugungsspectren zweiter Classe zusammensetzten. Herr Donle schliesst aus diesen Versuchen, dass bei den behauchten Platten das Gleiche stattfindet.

Es lässt sich wohl erwarten, dass derlei Salmiakgitter auch Gittererscheinungen zeigen, der Schluss aber von der Structur und Wirkung dieser Salmiakpräparate auf jene der behauchten Platten ist unzulässig, denn unter dem Mikroskope zeigt sich

zwischen der Structur eines solchen Salmiakgitters und jener einer Behauchung nicht die geringste Ähnlichkeit. Vielleicht jedoch liesse sich aus Herrn Donle's Versuch ein Schluss auf gewisse Ringphänomene ziehen, welche ich an bereiften Glasplatten zu beobachten Gelegenheit hatte.

Gleichwohl kann ich meine Behauptung, nach welcher es sich bei den behauchten Platten um primäre Ringe handelt, der Donle'schen Behauptung gegenüber, nach welcher es sich um secundäre Ringe handelt, nicht als die ausschliesslich richtige aufrechterhalten, vielmehr bin ich der Meinung, dass in dem gegebenen Falle die primären und secundären Ringe sich gegenseitig decken, die sichtbaren Ringe demnach ebensowohl als primäre wie als secundäre Ringe aufgefasst werden können. Dies lässt sich leicht zeigen, wie folgt.

Der zweite helle Ring, welchen die Behauchung zeigt, ist unter der Voraussetzung, dass er durch primäre Interferenzen entsteht, gegeben durch (l. c.)

$$\sin \varphi = \frac{\lambda}{r} \cdot 0.819,$$

(φ Beugungswinkel, r Radius der Tröpfchen); und unter der Voraussetzung, dass er durch secundäre Interferenzen entsteht, durch

$$\sin \varphi' = \frac{\lambda}{r + \frac{e}{2}}$$

(e Zwischenraum zwischen zwei Tröpfchen).

Sollen die beiden Ringe zusammenfallen oder $\varphi = \varphi'$ sein, so ist erforderlich, dass

$$\frac{0.819}{r} = \frac{1}{r + \frac{e}{2}},$$

oder dass

$$\frac{e}{2r} = 0.22,$$

d. h. es ist erforderlich, dass der Zwischenraum zwischen zwei Tröpfchen ungefähr $\frac{1}{5}$ des Durchmesser eines der Tröpfchen sei.

Die Betrachtung einer Behauchung unter dem Mikroskope stimmt dem Augenscheine nach hiemit überein (l. c.). Fallen aber zwei Ringe zusammen, so gilt dies nach den Gesetzen der Ringe ange-nähert auch von den übrigen.

Durch Herrn Donle's Publication einmal neuerdings mit dem Gegenstande beschäftigt, suchte ich Herrn Donle's Versuch in zweckentsprechender Modification zu wiederholen. Dies gelang mir mit einer Schwefelbethauung. Schwefeldämpfe schlagen sich auf einer Glasplatte in Gestalt kleiner Tröpfchen nieder. Unter dem Mikroskope erweisen sich diese Tröpfchen als nahe gleich gross und bis zu einem gewissen Grade äquidistant angeordnet, wie dies bei den Behauchungen der Fall ist. Ein solches Schwefelpräparat zeigt das charakteristische Phänomen der behauchten Platten und erhält sich mehrere Tage unverändert. Fig. 2 zeigt ein so entstandenes Ringphänomen nach einer photographischen Aufnahme. Die von mir erhaltenen Messungsergebnisse sind im Folgenden zusammengestellt.

I.

Als Lichtquelle diente eine Gasflamme mit rothem Glase. Beobachtet wurde aus grösserer Entfernung mit freiem Auge. Die Ringe wurden auf einem Schirme nachgezeichnet und daselbst vermessen. Die Durchmesser der Schwefeltröpfchen waren im Mittel $d = 0.02599 \text{ mm}$, der Zwischenraum zwischen zwei Tröpfchen $e = 0.01395 \text{ mm}$.

Radien der Ringe in Zehntelgraden.

	Berechnet als primäre Ringe	Gemessen	Berechnet als sekundäre Ringe
1. Heller Ring ...	—	$9\frac{1}{2}$	9
1. Dunkler Ring ..	16	12	12
2. Heller Ring ...	27	18	17

II.

Als Lichtquelle diente das einem homogenen Sonnenspectrum entnommene, der *D*-Linie benachbarte Licht, welches auf die zu

einer kleinen Öffnung reducirte Spalte eines auf unendliche Entfernung gestellten Collimators geworfen wurde. Beobachtet wurde aus einer Entfernung von einigen Metern mittelst einer Visirvorrichtung mit Theilkreis. $d : e = 73 : 50$.

	Berechnet als primär	Gemessen	Berechnet als secundär
2. Heller Ring ...	52	37	38

III.

Beobachtung wie bei II. $d : e = 41 : 14$.

	Berechnet als primär	Gemessen	Berechnet als secundär
1. Heller Ring ...	—	10	10
2. Heller Ring ...	21	21	19

IV.

Beobachtung wie bei II. $d : e = 86 : 39$.

	Berechnet als primär	Gemessen	Berechnet als secundär
1. Heller Ring ...	—	8	8½
2. Heller Ring ...	20	17	17

Die Beobachtungen I, II und IV lassen deutlich erkennen, dass die durch Schwefelniederschläge hervorgebrachten Ringe durch secundäre Interferenzen entstanden waren. Bei Beobachtung III, wo beide Hypothesen gleich gut stimmen, waren die Zwischenräume zwischen den Tröpfchen so klein, dass die primären und secundären Ringe nahe zusammenfallen mussten.

Es ergibt sich das folgende Resultat:

Zahlreiche, völlig unregelmässig vertheilte Körperchen von kreisförmigem Querschnitte bringen dasselbe Beugungsbild hervor, welches ein einziges dieser Körperchen hervorbringen würde,

also das Beugungsbild einer kreisförmigen Öffnung vom Durchmesser eines der Körperchen, kleine Höfe, primäre Ringe. Dieser Art ist die Erscheinung, welche durch in der Luft schwebende Wassertröpfchen oder durch eine Lycopodiumbestäubung hervorgerufen wird. Wie jedoch die Unregelmässigkeit der Vertheilung der Körperchen abnimmt, d. i. dieselben sich der Äquidistanz nähern, macht sich auch die gegenseitige Einwirkung der primären Beugungsbilder durch gegenseitige Interferenz geltend, es entstehen nebst den primären auch secundäre Ringe, analog den Spectren erster und zweiter Classe bei den Gittererscheinungen im engeren Sinne. Und zwar machen sich diese secundären Interferenzen bei zunehmender Äquidistanz der Körperchen zuerst in der Nähe des Centrums der Erscheinung bemerkbar (l. c.). So bei den Meyer'schen und Wöhler'schen Ringen, welche beim Durchgange des Lichtes durch die Epithelzellen der Hornhaut des Auges entstehen (l. c.). Diese Ringe werden von verschiedenen Beobachtern verschieden wahrgenommen. Manche Beobachter, deren Epithelzellen weniger regelmässig angeordnet sind, nehmen die Ringe conform den kleinen Höfen wahr, das Centrum der Erscheinung bildet eine Aureole; bei anderen Beobachtern, deren Epithelzellen regelmässiger angeordnet sind, spielen schon die secundären Interferenzen eine Rolle, indem sich die Aureole zunächst dem Centrum der Erscheinung in einen dunklen Raum verwandelt. Bei den Ringen behauchter Platten fallen, wie erwähnt, die primären Ringe mit den secundären zusammen, und da das Phänomen im Centrum, entsprechend den secundären Interferenzen, einen dunklen Raum zeigt, kann man dieses Phänomen füglich als eine Gittererscheinung auffassen. Diese Auffassung wird noch durch den Umstand unterstützt, dass tröpfchenförmige Niederschläge von Schwefeldämpfen Ringe geben, welche zweifellos secundäre Ringe sind. Die Entstehung dieser secundären Ringe hat man sich folgendermassen vorzustellen. Jede Stelle der bethauten Platte gibt angenähert das Beugungsbild von Körperchen, welche nach gleichseitigen Dreiecken angeordnet sind. Verschiedene Stellen der Bethauung geben dasselbe Beugungsbild, jedoch verschieden orientirt. Man erhält so Ringe, wie sie sich durch Rotation eines solchen Dreiecksgitters ergeben würden.

Fig. 1.

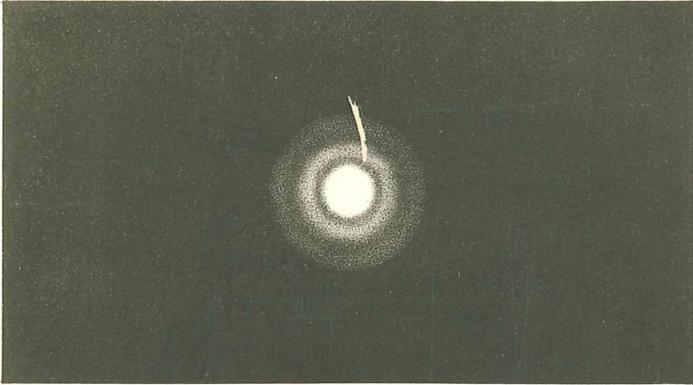
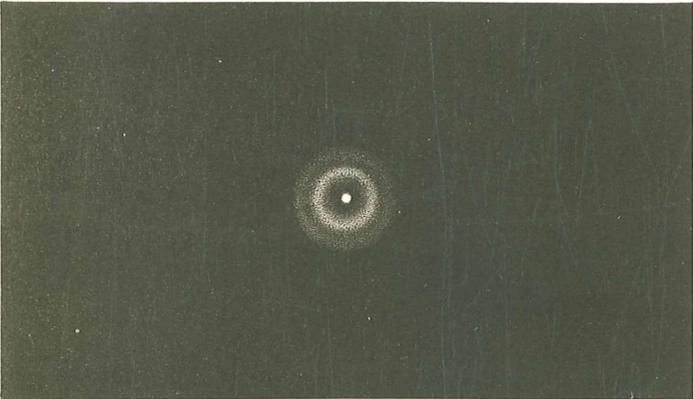


Fig. 2.



Herr Donle hat an Behauchungen selbst keine Messungen gemacht, da „die Absicht, die Ringe behauchter Platten auch messend zu verfolgen, durch die rasche Vergänglichkeit vollständig vereitelt wird“. Ich glaube indessen doch, dass sich solche Messungen anstellen liessen. Wenn man nämlich auf ein Planglas ein Staniolrähmchen legt, das Glas behaucht und sodann ein zweites Planglas auf das erste legt, so dass sich die Behauchung in einem sehr engen geschlossenen Raume befindet, so erhält sich die Behauchung lange genug, um eine bequeme Beobachtung unter dem Mikroskope und eine rasche Messung zu gestatten.

Schliesslich hat sich Herr Donle auch mit den von mir beschriebenen Ringen beschäftigt, welche dadurch charakterisirt sind, dass auch die Lichtquelle gefärbt erscheint. Herr Donle hält diese Ringe für eine lamellare Beugungserscheinung. Obgleich dies aller Wahrscheinlichkeit nach richtig ist, gelangt Herr Donle doch zu keinem eigentlichen Nachweise der Richtigkeit seiner Ansicht.

Schliesslich habe ich Herrn Stud. Hans Benndorf, welcher mir bei der Ausführung der Experimente behilflich war, den anerkanntesten Dank auszusprechen.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse](#)

Jahr/Year: 1889

Band/Volume: [98_2a](#)

Autor(en)/Author(s): Exner Karl

Artikel/Article: [Über die kleinen Höfe und die Ringe behauchter Platten 1130-1141](#)