

Über die polarisirende Wirkung der Lichtbeugung

(zweite Mittheilung¹)

Karl Exner.

Wie schon in der ersten Mittheilung erwähnt wurde, hat Stokes die Hypothese aufgestellt, dass die Beugung bei gleichzeitigem Wechsel des Mittels so aufzufassen sei, als fände zuerst die Beugung (noch im ersten Mittel) statt und hierauf gewöhnliche Brechung. Diese Hypothese wurde durch das Experiment zwar wenig genau, aber doch merklich bestätigt gefunden. Lässt man diese Bestätigung nicht gelten, so bleibt doch die folgende experimentelle Thatsache bestehen: ist die geritzte Fläche des Glasgitters dem Beobachter zugekehrt, so ist die polarisirende Wirkung der Beugung auch bei grossen Beugungswinkeln eine kaum merkliche; ist hingegen die geritzte Fläche der Lichtquelle zugekehrt, so erweist sich trotz der Brechung an der zweiten Fläche des Glases das gebeugte Licht stark wie durch Reflexion polarisirt. Man muss hieraus schliessen, dass der die Beugung begleitende Wechsel des Mittels von wesentlichem Einflusse auf den Polarisationszustand des gebeugten Lichtes ist. Stokes war auch der erste, welcher Messungen an reflectirt gebeugten Strahlen veröffentlichte.

Im Jahre 1856 setzte C. H. A. Holtzmann² den Stokes'schen Resultaten seine eigenen Experimente entgegen: Das

Die erste Mittheilung erschien im 99. Bande der Sitzungsberichte, 1890.
C. H. A. Holtzmann, Pogg. Ann. 99. Bd.

gebeugte Licht sollte nicht in der Beugungsebene, sondern senkrecht zu derselben polarisirt sein, und die Lichtschwingungen folglich in der Polarisationssebene liegen. Holtzmann beginnt mit einer Theorie des Gegenstandes, welche ungemein einfach ist. Es wird nämlich als selbstverständlich angesehen, dass sich in jeder Beugungsrichtung nur die auf dieser Richtung senkrechte Composante der einfallenden Lichtbewegung fortpflanze. Hieraus ergibt sich unmittelbar dasselbe theoretische Resultat, zu welchem auch Stokes gelangt war. Freilich ist diese, der Theorie zu Grunde gelegte Voraussetzung zwar plausibel, aber nicht evident.

Experimentell verfuhr Holtzmann sowohl nach der Stokes'schen Methode als nach der folgenden, von ihm selbst herrührenden. Polarisirt man das einfallende Licht unter einem Winkel von 45° mit den Gitterstäben, und zerlegt man das gebeugte Licht mittelst eines Analyseurs parallel und senkrecht zu den Gitterstäben, so müssen nach der Stokes'schen und Holtzmann'schen Theorie die beiden Bilder ungleich hell erscheinen, und es müssen im helleren Bilde die Schwingungen den Gitterstäben parallel sein. Benützt wurde ein Russgitter, dessen beugende Fläche dem Beobachter zugekehrt war, beobachtet wurde mittelst eines Fernrohres, dessen Ocular einen Analyseur trug. Es ergab sich nach beiden Methoden, dass die Polarisationssebene des stärkeren Bildes mit den Gitterstäben parallel war oder »die Schwingungen des Lichtes geschehen in der Polarisationssebene«.

Zu dieser Holtzmann'schen Arbeit lässt sich zunächst bemerken, dass bei derselben zwei von Stokes sehr wohl beachtete Fehlerquellen unberücksichtigt blieben, die Wirkungen der irregulären Refraction und des falschen Lichtes. Ferner lässt sich aus den von Holtzmann veröffentlichten Beobachtungsdaten ersehen, dass der Unterschied zwischen den von Holtzmann gemessenen und den von ihm aus seiner Annahme über die Schwingungsrichtung gerechneten Drehungen der Polarisationssebene im Durchschnitte nicht weniger als 114% der gerechneten Werthe beträgt. Entscheidend gegen Holtzmann's Experimente sind aber die späteren Messungen von Lorenz in Verbindung mit meinen eigenen. Lorenz gelangte nämlich

ebenfalls mit Russgittern zu Resultaten, welche mit den Holtzmann'schen in vollem Widerspruche stehen, hingegen mit den Stokes'schen und namentlich meinen eigenen Messungen an Glasgittern gut übereinstimmen.

Holtzmann's Messungen erfuhren eine scheinbare Verification in Eisenlohr's¹ Theorie (1858). Letzterer gelangte bezüglich der Polarisation des gebeugten Lichtes unter Berücksichtigung der longitudinalen Schwingungen zu der Formel:

$$\operatorname{tg} \beta = \operatorname{tg} \alpha \cdot \frac{1 + c \sin^2 \frac{\theta'}{2}}{\cos (\theta - \theta')},$$

wo c eine dem Experimente zu entnehmende Constante bedeutet. Eisenlohr constatirte eine gute Übereinstimmung dieser Formel mit den Messungen Holtzmann's. Es wäre gleichwohl verfehlt aus dieser Übereinstimmung einen Schluss auf die Richtigkeit der Theorie Eisenlohr's oder der Messungen Holtzmann's zu ziehen, wie schon E. Verdet bemerkte: »Man darf nicht ausser Acht lassen, dass von den fünf Beobachtungen Holtzmann's eine zur Bestimmung der Constante verwendet wurde und dass sämtliche Messungen sich innerhalb verhältnissmässig enger Grenzen befinden, so dass die vermeintliche Verification gleichwohl eine wenig befriedigende ist«. In der That habe ich mich überzeugt, dass meine Messungen (b), obgleich sie mit den Holtzmann'schen nicht einmal dem Vorzeichen nach übereinstimmen, der Eisenlohr'schen Formel doch ebenso gut entsprechen wie diese. Beiläufig sei hier bemerkt, dass Eisenlohr aus den Holtzmann'schen Messungen keineswegs denselben Schluss zog wie Holtzmann selbst, vielmehr in seiner Theorie schon voraussetzt, dass die Schwingungen auf der Polarisationsebene senkrecht stehen, was ihm durch die Erscheinungen der Reflexion und Aberration für hinreichend erwiesen gilt.

L. Lorenz² (1860) suchte die Frage nach der Schwingungsrichtung ebenfalls durch das Studium des gebeugten Lichtes

Eisenlohr, Pogg. Ann, Bd. 104.

L. Lorenz, Pogg. Ann, Bd. 111.

zu beantworten. Er entwickelte eine Theorie, welche wieder zu denselben Endresultaten führte, wie die Stokes'sche. Man kann seiner Adhandlung entnehmen, dass ihm die Stokes'sche Originalabhandlung unbekannt geblieben war. Doch gelangte er selbständig zum Principe der irregulären Refraction und zur Erkenntniss der Unzulänglichkeit dieses Principes. Bei seinen experimentellen Studien verfuhr er zuerst mit Goldgittern, welche er wegen der Lichtzerstreuung an den Rändern der Stäbe nicht geeignet fand. Gute Resultate ergaben Russgitter mit Rauch von Kampher und Terpentinöl hergestellt. Gitter von sehr verschiedener Feinheit ergaben übereinstimmende Resultate. Schon vor mir hatte Lorenz die Methode angewendet, das Gitter in das Innere des Trägers zu versetzen. Das folgende Tableau setzt die beiderseitigen Resultate in Vergleich.

| Lorenz | | Exner (Exp. b) |
|---|--|---------------------------------|
| Die Beugung wurde bewirkt durch ein | | Glasgitter |
| Russgitter | | Glasgitter |
| Das Gitter war bedeckt mit | | |
| Canadabalsam und einer | | Öl und einer Halbcylinder- |
| Glasplatte; | | linse; |
| nach der Stokes'schen Methode wurden angestellt | | |
| 7 Messungen | | 18 Messungen |
| bei Beugungswinkeln zwischen | | |
| 26° und 59° | | 0° und 90° |
| Das Gitter stand gegen die einfallenden Strahlen | | |
| schief | | senkrecht; |
| bei wachsendem Beugungswinkel näherte sich die | | |
| Polarisationsebene der Beugungsebene nach dem | | |
| Stokes'schen Cosinusgesetze (Gl. 1). Die Abweichung | | |
| der Messung von der Rechnung betrug | | |
| 17 ⁰ / ₀ | | 5 ⁰ / ₀ . |

Ich ziehe aus dieser Zusammenstellung den Schluss, dass Russgitter und Glasgitter dieselben Resultate geben. Dass die Übereinstimmung zwischen den beiderseitigen Messungen eine so gute ist, obgleich Lorenz das falsche Licht nicht abhielt, schreibe ich dem Umstande zu, dass dieses Licht beim doppelten Durchgange durch das Russgitter hinreichend abgeschwächt werden konnte.

Lorenz stellte auch Versuche mit Drahtgittern und insbesondere mit berussten Drahtgittern an. Die Resultate stimmten mit den eben besprochenen keineswegs überein und differirten von der Stokes'schen Formel um 161%. Diesen ungünstigen Erfolg schrieb Lorenz der reflectirenden Wirkung der Stäbe des Gitters zu. Hiemit hatte Lorenz auf eine neue Fehlerquelle aufmerksam gemacht. In der That, was immer für ein Beugungsgitter man verwenden möge, stets wird das von den Stäben oder Furchen zerstreute Licht sich dem gebeugten Lichte beimischen. Bei kleineren Beugungswinkeln, wo die Beugungsspectra noch getrennt wahrgenommen werden, stört diese Fehlerquelle nicht, da das Verschwinden eines solchen Spectrums oder eines Theiles desselben bei bestimmter Stellung des Ocularnicols den Polarisationszustand des Spectrums, also des gebeugten Lichtes, erkennen lässt. Bei grösseren Beugungswinkeln hingegen, wo die Beugungsspectra sich überdecken und einen gleichmässigen Lichtstreifen hervorbringen, ist man einer Täuschung ausgesetzt, da hier das gebeugte Licht nicht mehr von dem zerstreuten unterschieden wird. Aus diesem Grunde habe ich auch mein Experiment (*b*) revidirt, wovon am Schlusse dieser Mittheilung ausführlicher die Rede ist.

Fizeau's¹ Beobachtungen (1864) beziehen sich grösstentheils auf Erscheinungen, die nicht durch reine Beugung entstehen.

Mascart² verfuhr (1866) im Wesentlichen nach der Methode Holtzmann's. Die von einem Drummond'schen Lichte kommenden Strahlen gingen horizontal und vertical polarisirt gleich intensiv durch die obere und untere Hälfte des verticalen

¹ Fizeau, C. R., Bd. 52, S. 267 und 1221.

² Mascart, C. R., Bd. 63.

Spaltes eines Collimators, dann senkrecht durch ein Glasgitter, dessen verticale Ritzen von der Lichtquelle abgekehrt waren; die gebeugten Strahlen gelangten durch ein Beobachtungsfernrohr und einen drehbaren Ocularnicol in das Auge des Beobachters. Die oberen und unteren Spectra erscheinen ohne Ocularnicol ungleich hell und konnten durch Drehung des Ocularnicols gleich hell gemacht werden. Aus dem Drehungswinkel ergab sich das Amplitudenverhältniss der senkrecht und parallel zu den Gitterstäben polarisirten, in derselben Beugungsrichtung gehenden Bündel.

Mascart's Messungen ergaben das Stokes'sche Cosinusetz, allerdings mit Abweichungen von den gerechneten Werthen, welche im Maximum 41% betragen. Diese Übereinstimmung mit Stokes ist indessen eine nur scheinbare, da nach den übereinstimmenden Beobachtungen von Stokes, Lorenz und mir selbst in dem Falle, wo die geritzte Fläche des Gitters dem Beobachter zugekehrt ist, die gebeugten Strahlen einen nahezu unveränderten Polarisationszustand zeigen. Mascart's Messungen stehen hiemit in vollem Widerspruche. Vielleicht kann die folgende Betrachtung etwas zur Lösung desselben beitragen.

Fällt ein Bündel paralleler Strahlen s senkrecht auf die erste, ungeritzte Fläche des Glasgitters, so tritt ein Theil dieses Bündels durch das Glas, begleitet von den an der zweiten, geritzten Fläche entstehenden gebeugten Bündeln. Heisse das q^{te} dieser Bündel s_q . Ein anderer Theil des Bündels s wird an der zweiten Fläche des Glases reflectirt und ist ebenfalls begleitet von den durch Reflexion gebeugten Bündeln. Heisse das q^{te} dieser gebeugten Bündel s'_q . Nachdem das Bündel s'_q sodann an der ersten Fläche Reflexion und an der zweiten Brechung erlitten hat, geht es, wie eine einfache Rechnung zeigt, in derselben Richtung wie s_q . In dieser Richtung gehen überdiess noch andere, schwächere Bündel, welche wiederholte Reflexionen erlitten haben. Von allen diesen, in derselben Beugungsrichtung gehenden Bündeln ist es das Bündel s_q allein, dessen Polarisationszustand untersucht werden soll, während die übrigen, falschen Bündel beträchtliche Intensität und einen völlig abweichenden Polarisationszustand haben. Es ist also durchaus

nöthig, diese letzteren Bündel auszuschliessen. Schon Stokes verwendete daher ein sehr dünnes Bündel s , und beobachtete ohne Fernrohr, so dass das Bündel s_q und die begleitenden falschen Bündel getrennt wahrgenommen und bezüglich ihres Polarisationszustandes untersucht werden konnten. Ich selbst verfuhr in anderer Weise, wie in der ersten Mittheilung genauer beschrieben wurde. Wenn man aber, wie mehrere Experimentatoren nach Stokes, einen Collimator verwendet und mittelst eines auf unendliche Entfernung eingestellten Fernrohres beobachtet, so müssen alle jene Bündel zur Entstehung eines einzigen Bildes beitragen, dessen Polarisationszustand von jenem des zu untersuchenden Bündels s_q verschieden sein wird. Dass bei Glasgittern hiedurch die Beobachtungen wesentlich alterirt werden, zeigen die Resultate Mascart's und Beobachtungen, welche ich selbst in dieser Richtung angestellt habe. Bei Russgittern scheint diese Fehlerquelle unter Umständen weniger wirksam zu sein. Wenn die geritzte Fläche des Glases der Lichtquelle zugekehrt ist, ergeben sich analoge Verhältnisse.

Potier¹ (1867) lieferte eine Theorie des Gegenstandes und fand die Holtzmann'schen Messungen in Übereinstimmung mit der Fresnel'schen Hypothese bezüglich der Schwingungsrichtung.

L. Ditscheiner² (1870—1873) untersuchte experimentell den Polarisationszustand jener Beugungsspectra, welche bei Reflexion an einem Glasgitter entstehen, und entwickelte eine Theorie des Gegenstandes. In Bezug auf den hier zu erörternden Gegenstand sind indessen diese Spectra von geringerem Interesse, da bei der Entstehung derselben die Reflexion eine unbekannte und experimentell nicht zu eliminirende Rolle spielt.

G. Quincke³ (1873) verbesserte die Methode der Messungen wesentlich dadurch, dass er letztere auf die Maxima zweiter Classe bezog. Im Übrigen verfuhr er wie Stokes, nur dass er zur Beleuchtung einen Collimator und zur Beobachtung ein Fernrohr verwendete. Die Messungen sind theils an Drahtgittern,

¹ Potier, C. R., Bd. 64.

² L. Ditscheiner, Wien. Ber, Bd. 60 und 67.

³ G. Quincke, Pogg. Ann., Bd. 149.

theils an Glasgittern angestellt. Bei den Drahtgittern wurden nur kleine Beugungswinkel verwendet, welche im äussersten Falle einen Grad kaum übersteigen. Bei so kleinen Beugungswinkeln ist die polarisirende Wirkung der Beugung eine sehr geringe. Die erhaltenen Resultate waren ziemlich unregelmässiger Art. Bei den zahlreichen Messungen an Glasgittern wurde leider keine Rücksicht auf das falsche Licht genommen.

J. Fröhlich¹ (1877—1884) untersuchte experimentell die durchgehenden und die reflectirten Beugungsspectra bei Glasgittern, sowie die reflectirten bei Metallgittern. Er entwickelte gleichzeitig mit M. Rethy² (1880—1885) und W. König³ (1882) die Theorie des Gegenstandes weiter und gelangte zu einer Formel mit zwölf, dem Experimente zu entnehmenden Constanten. Die Resultate der Messungen an durchgehenden Spectren wurden nicht genauer mitgetheilt. Für die an Glasgittern reflectirten Beugungsspectra ergab sich angenähert:

Ist d der Winkel zwischen dem reflectirt gebeugten und dem einfallenden Strahle, so ist die polarisirende Wirkung die einer Reflexion (an der ungeritzten Fläche), bei welcher der reflectirte Strahl mit dem einfallenden ebenfalls den Winkel d bildet.

König untersuchte das von Gittern verschiedener Art reflectirt gebeugte Licht und fand, dass bei Glasgittern das Fröhlich'sche Gesetz auch für die Phasendifferenzen der Composanten gelte.

Die merkwürdigen, von Gouy⁴ (1883—1886) beobachteten Erscheinungen entstehen wohl nicht durch reine Beugung, wie aus ihrer Abhängigkeit von der Substanz des Beugungsschirmes hervorzugehen scheint.

Rowland⁵ (1884) gab theoretische Entwicklungen auf Grund der elektromagnetischen Lichttheorie.

R. T. Glazebrook's⁶ Abhandlung (1885) enthält Bemerkungen zu den Theorien Fröhlich's und Rethy's.

¹ J. Fröhlich, Wied. Ann., Bd. 1, 13 und 22.

² M. Rethy, Wied. Ann., Bd. 11 und 24.

³ W. König, Wied. Ann., Bd. 17.

⁴ Gouy, C. R., Bd. 96 und 98, Ann. de chim. et de phys. 1886.

⁵ Rowland, Journ. of science, Bd. 6.

⁶ Glazebrook, Proc. of the Cambr. Soc., Bd. 5.

W. Wien¹ (1885—1886) wiederholte und erweiterte die Experimente Gouy's. Die von beiden angewendete Methode unterscheidet sich wesentlich von den früher üblichen. Es wird ein Sonnenbildchen auf den Rand eines Beugungsschirmes aus Metallgeworfen und das in den geometrischen Schatten tretende Licht mittelst eines Fernrohres oder Mikroskopes untersucht, welches auf den Rand des Schirmes eingestellt ist. Das auf diese Weise erhaltene Licht unterscheidet sich wesentlich von der gewöhnlich als Beugung aufgefassten Lichtbewegung. Untersucht wurden Polarisationszustand, Farbe und Phasendifferenz. Es ergab sich ein Zusammenhang zwischen den auftretenden Farben und der Absorption der Substanz des Schirmes.

Um zu constatiren, bis zu welchem Beugungswinkel bei meinem in der ersten Mittheilung beschriebenen Experimente (*b*) das untersuchte Licht erweislich gebeugtes und nicht zerstreutes Licht war, wurde das Experiment mit homogenem, einem Sonnenspectrum entnommenen Lichte wiederholt und die Messungen an den Maximis zweiter Classe vorgenommen. Die erhaltenen Zahlen sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt. Die in derselben angeführten Spectra hatten allein hinreichende Lichtstärke, um eine Messung zu gestatten. Die Spectra 6, 7, 8 waren durch die Nähe des ersten Minimums erster Classe zu sehr verdunkelt.

Experiment (*c*).

| Ordnungszahl des Spectrums | Beugungs- winkel | Drehung der Polarisationsebene im Sinne einer Annäherung an die Beugungsebene | |
|----------------------------------|---------------------|---|----------|
| | | gerechnet nach dem Stokes's- chen Cosinus- gesetze | gemessen |
| 1 | 4° 41' | 0° | 0° |
| 2 | 9 24 | 0 | 0 |
| 3 | 14 11 | 1 | 1 |
| 4 | 19 4 | 2 | 2 |
| 5 | 24 6 | 3 | 3 |
| 9 | 47 20 | 11 | 12 |

¹ W. Wien, Berl. Akad., 1885, — Wied. Ann., Bd. 28.

Der Vergleich dieses Experimentes mit dem Experimente (b) zeigt gute Übereinstimmung. Es folgt, dass das untersuchte Licht bis zu einem Beugungswinkel von nahe 50 Graden erweislich von jeder Beimischung zerstreuten Lichtes frei war, wahrscheinlich aber weit über diese Grenze hinaus.

Eine Revision der vorhandenen Beobachtungen ergibt also die Giltigkeit des Stokes'schen Cosinusgesetzes.

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: 1892

Band/Volume: [101_2a](#)

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

Artikel/Article: [Über die polarisierende Wirkung der Lichtbeugung. 190-199](#)