

Experimente mit polarisiertem Licht an Spalt und Doppelspalt

Helmut Nieke

Zusammenfassung

Experimentell wird gezeigt, daß bei der Beugung am Spalt nur bei sehr kleinen Spaltweiten und höheren Beugungsordnungen die Polarisation des Lichtes einen merklichen Einfluß hat. Begründet wird das mit Newtons Beweis der Lokalisierung des gebeugten Lichtes in der Nähe der Kante. Das Experiment von Fresnel wurde wiederholt, wo er mit rechts- und links-zirkular polarisiertem Licht der Einzelspalte keine Interferenzen des Doppelspaltess erhielt. Fresnels Ergebnis wird bestätigt, aber mit einem Polarisationsfilter vor der Auffangfläche erschien doch die Interferenzfigur des Doppelspaltess, wobei deren Streifen beim Drehen des Filters wanderten. Ohne Polarisationsfilter entsteht daher eine verwaschene Figur.

Experiments with Polarized Light at Slit and Double-Slit

Abstract

Experiments at slit with varied polarized light show only at very narrow slit-widths and high diffraction-orders a noticeable influence. This is explained by Newton's demonstration of localization of bent light near the edge. The experiment by Fresnel is repeated where a double-slit with right and left circular polarized light in the single slits yields no interferences. This result was confirmed but with a polarizing-filter in front of double-slit, whereat its fringes move by turning the filter. Therefore without polarizing filter only a blurred figure originated.

1. Vorliegende Ergebnisse

Bereits zur Zeit von Newton war die Polarisation des Lichtes an Kalkspat bekannt und daher nahm Newton [1] III Frage 26 für Licht eine Seitlichkeit an. Um die Drehung der Ebene der Polarisation zu erklären, führte Biot [2] die Theorie der beweglichen Polarisationsebene des Lichtes ein. Danach konnte die Polarisationsebene gedreht werden und auch rotieren. Fresnel [3] suchte das linear polarisierte Licht mathematisch durch zwei entgegengesetzt zirkular polarisierte Wellen darzustellen. Fresnel konnte mit einer Kombination von zwei oder drei rechts- und linksdrehenden Quarzprismen zwei entgegengerichtete zirkulare Strahlen erzeugen. Lang [4] und Cornu [5] zeigten, daß dies auch schon mit einem 60° Quarzprisma mit der optischen Achse parallel zur Basis. Mit einem Fernrohr konnten sie den Winkelunterschied von 27" nachweisen. Thomson [6] versuchte die stabile Lage der Polarisationsebene durch einen rotierenden Äther zu erklären.

2. Die Beugungsfigur des Spaltess in polarisiertem Licht

Übereinstimmend wird bei der experimentellen Untersuchung der Beugung am Spalt mit sichtbarem Licht berichtet, daß der Polarisationszustand des einfallenden Lichtes auf die Beugungsfigur keinen oder nur einen geringfügigen Einfluß hat. Nur in extremen Fällen wie bei Wien [7], der Sonnenlicht auf eine Kante fokussierte und unter großen schattenseitigen Winkeln beobachtete, wurde gebeugtes Licht teilweise polarisiert gefunden. Anders bei Experimenten mit

Newtons Beugungsexperimente und ihre Weiterführung Arbeit 10

Gittern. Hier fand Hertz [8] bei Drahtgittern mit Abständen von etwa $1/50 \lambda$ mit Hochfrequenzstrahlung höhere Intensitäten, wenn der E-Vektor senkrecht zur Drahrichtung lag. Mit optischen Gittern, wobei die Gitterabstände 20 bis 100λ waren, erhielt Bois [9] das entgegengesetzte Verhalten, die Richtung parallel der Gitterrichtung hatte die höhere Intensität. Bois u. Rubens [10] fanden mit Wärmestrahlung einen Übergang beider Formen. Eine Zusammenfassung gab Wolfsohn [11].

Um den Einfluß der Polarisation des Lichtes auf die Beugungsfigur des Spaltes zu demonstrieren, wurde die

Strahlung eines He-Ne-Lasers über einen Rotator mit einem Mikroskopobjektiv auf den Beleuchtungsspalt fokussiert. Ein Objektiv richtete das Licht parallel und ein dahinter stehender Präzisionsspalt diente als Beugungsspalt. Es wurde kontrolliert, daß hinter Rotator und Beleuchtungsspalt bei Drehung des Rotators in der Mitte der Beugungsfigur des Beleuchtungsspaltes keine Intensitätsänderungen auftraten.

Bei unterschiedlichen Spaltweiten und Entfernungen wurden die Beugungsfiguren photographisch aufgenommen. Die Abb. 1 zeigt einige Photometerkurven dieser Aufnahmen. Bei großen

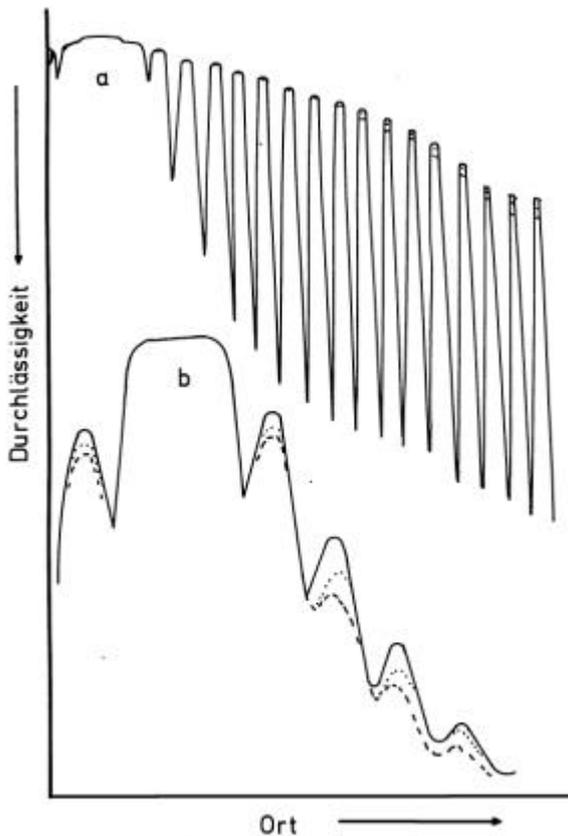


Abb. 1. Beispiele zum Einfluß der Polarisation des Lichtes bei der Beugung am Spalt. Das Licht eines He-Ne-Lasers HNA 50 passierte einen Rotator und wurde auf den Beleuchtungsspalt 0,05 mm Spaltweite fokussiert. Das mit einem Objektiv $f' = 35$ cm parallel gerichtete Licht fiel auf den Beugungsspalt.

a: 1 mm Spaltweite in 1 m Entfernung.
 b: 0,03 mm Spaltweite in 0,065 m Entfernung.

Photometerkurven :
 ----- : E-Vektor parallel zum Spalt
 : 45° zum Spalt
 - - - - - senkrecht zum Spalt.

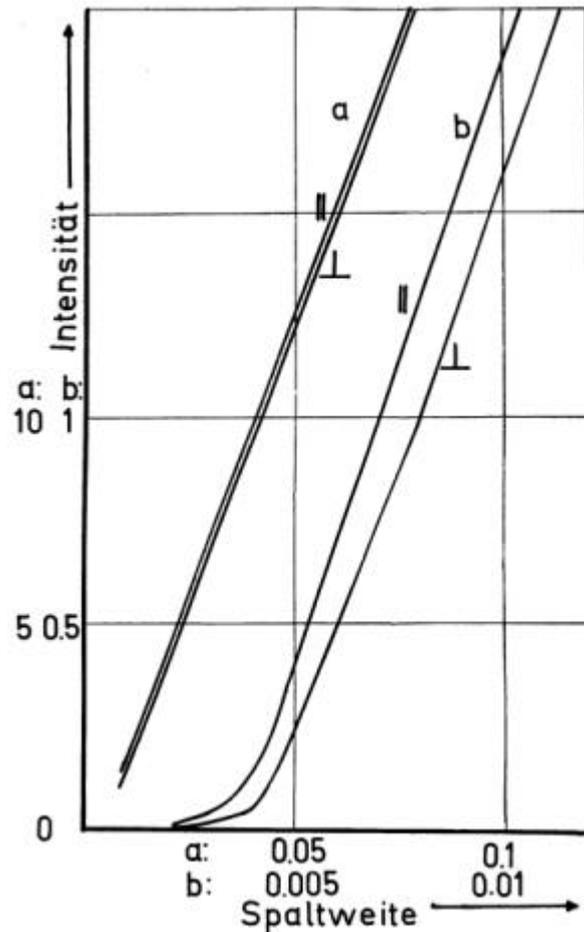
Spaltweiten finden sich geringfügige, nur mit photometrischer Auswertung merkliche Unterschiede im Sinn der Messung von Bois [9]. Bei kleinen Spaltweiten werden die Unterschiede schon merklich. Je höher die Ordnung der Beugungsstreifen und je kleiner die Spaltweite, je größer wird der Einfluß der Polarisationsrichtung des einfallenden Lichtes.

3. Abhängigkeit der Gesamtintensität von der Polarisationsrichtung

Die aufgeweitete Strahlung eines He-Ne-Lasers hinter einem Zerhacker und einem Rotator fiel auf einen Präzisionsspalt, die angeschrägte und geschwärzte Seite zum Licht angeordnet. Hinter

der Planseite des Spaltes stand, unmittelbar anliegend, ein Sekundär-Photoelektronen-Vervielfacher (SEV), so daß praktisch die gesamte Strahlung, die den Spalt passierte, von SEV registriert werden konnte. Der Strom des SEV wurde verstärkt, phasenempfindlich gleichgerichtet und gemessen.

Bei kleinen Spaltweiten ist die Festlegung der Spaltweite Null ein Problem. Hier wurde der Beginn der Bewegung der Spaltbacken benutzt, als diese im Auflicht sichtbar wurde. In durchfallenden Licht stellt man dann die Spaltweite Null bei 0,001 bis 0,002 mm fest.



Die Abb. 2 zeigt, daß die Differenz der Gesamtintensitäten parallel zum Spalt und senkrecht zum Spalt konstant und unabhängig von der Spaltweite ist. Abweichungen finden sich nur bei sehr kleinen Spaltweiten, wo als Fehler eingehen kann; daß doch nicht voll bis 180°

Abb. 2. relative Intensität in Abhängigkeit von der Polarisationsrichtung des Lichtes eines He-Ne-Lasers des durch einen Spalt variabler Spaltweite fallenden Lichtes. Abszisse: Spaltweite a: 0,0 ... mm und b: 0,00 ... mm; Ordinate: Relative Intensität a: x 1 und b: x 0,1.

\parallel parallel zum Spalt,

\perp E-Vektor senkrecht zum Spalt.

alles Licht vom SEV aufgenommen wurde. Die Kurven laufen nicht zum Nullpunkt, sondern weisen auf eine Spaltweite von 0,003 bis 0,004 mm, was zum Teil durch die Wahl des Nullpunktes der Spaltweite bedingt ist. Aber auch mit einem für Durchlicht festgelegten Nullpunkt ist mindestens eine Spaltweite von 0,002 mm notwendig, damit eine proportional wachsende Intensität durchgelassen wird.

4. Entgegengesetzt zirkular polarisiertes Licht am Doppelspalt

Experimente zur Interferenz mit entgegengesetzt zirkular polarisiertem Licht hat bereits Fresnel [3] durchgeführt mit dem Ergebnis, daß entgegengesetzt polarisiertes Licht nicht interferiert. Diese Experimente wurden mit der Anordnung der Abb. 3 wiederholt. Das Licht wurde durch einen Polarisationsfilter in 45° -Stellung linear polarisiert. Vor jedem Einzelspalt des Doppelspaltes waren Teile eines $\lambda/4$ -Blättchen aus Glimmer angebracht, die in und 90° zu einer Auslöschungsrichtung herausgeschnitten waren und so entgegengesetzt zirkular polarisiertes Licht erzeugten. Der Doppelspalt hatte einen relativ breiten Zwischensteg, so daß die Schnittkanten der Glimmerblättchen, die immer etwas aufsplintern, hinreichend abgedeckt waren. Wie zu erwarten, entstand nicht die Beugungsfigur des Doppelspaltes, sondern nur die der Einzelspalte, das Fresnelsche Ergebnis wurde also bestätigt. Wurde aber ein Polarisationsfilter eingebracht, vor der Filmebene oder auch bis zur Hälfte der Entfernung zum Doppelspalt, so entstand die Beugungsfigur des Doppelspaltes. Wurde nun das Polarisationsfilter gedreht, so wanderte die Beugungsfigur, wobei eine um 180° eine

Newton's Beugungsexperimente und ihre Weiterführung Arbeit 10

Wanderung des Streifenabstandes der Beugungsfigur des Doppelspaltes bewirkte. Bei gleicher Drehrichtung wanderte die Beugungsfigur in gleicher Richtung, bei entgegengerichteter Drehrichtung kehrte die Wanderungsrichtung um.

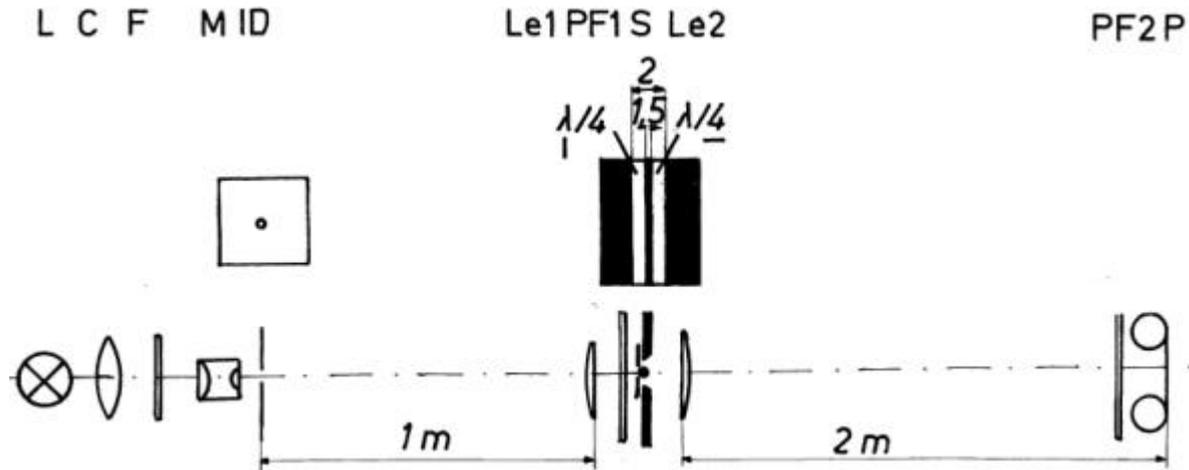


Abb. 3. Experimentelle Anordnung zur Untersuchung von entgegengesetzt zirkular polarisiertem Licht mit dem Doppelspalt. L - Lichtquelle, eine Quecksilber-Höchstdrucklampe HBO 100; C - Kondensator; F - Grünfilter; M - Mikroskopobjektiv; ID - Beleuchtungs-Kreisöffnung $\varnothing 0,1 \text{ mm}$; Le 1 - Linse $f' = 1 \text{ m}$; PF 1 - Polarisationsfilter Zeiss-Bernotar in 45° -Stellung; DS - Doppelspalt mit $1,5 \text{ mm}$ Steg und je ein $\lambda/4$ -Blättchen aus Glimmer, wo die gleiche Auslöschungsrichtung in oder 90° zu den Spalten geschnitten waren; Le 2 - Linse $f' = 2 \text{ m}$; PF 2 - Polarisationsfilter, drehbar vor der Kamera; P - Kameragehäuse einer einäugigen Spiegelreflex-Kleinbildkamera.

Polarisiert man die beiden Spalte mit senkrecht zueinander linear polarisiertem Licht unterschiedlich geschnittener Polarisationsfolien, so bringt auch ein dahinter geschaltetes Polarisationsfilter beim Drehen nicht die Beugungsfigur des Doppelspaltes.

5. Aufbau der Beugungsfigur des Doppelspaltes

Zur Übersicht wird noch der Aufbau der Beugungsfigur des Doppelspaltes bei paralleler

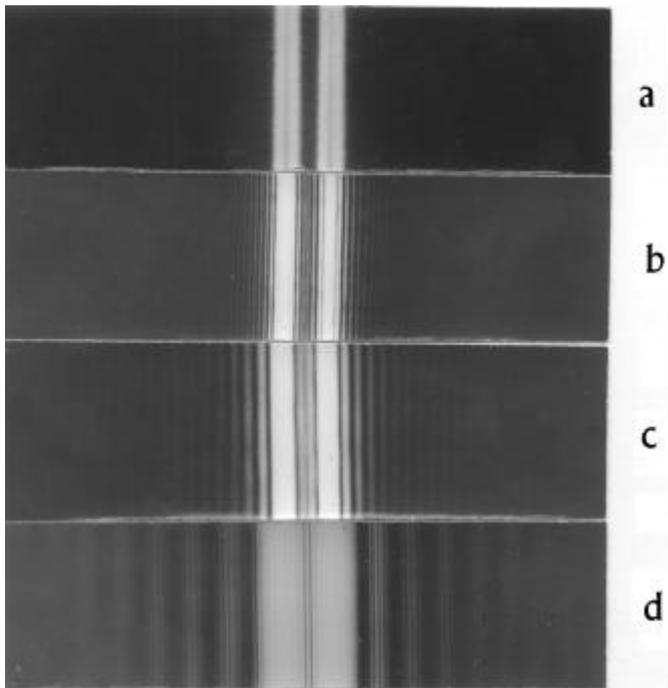


Abb. 4. Beugungsfiguren des Doppelspaltes in Abhängigkeit von der Entfernung vom Spalt. Breite des Mittelsteiges 1,5 mm, Breite der Einzelspalte 0,375 mm. Beleuchtet mit parallelem Quecksilberlicht mit Grünfilter. Die Negative sind 3 fach nachvergrößert.

Entfernung: a: 25 mm, b: 125 mm, c = 275 mm, d = 720 mm.

Einstrahlung mit Variation der Entfernungen gezeigt. Kürzeste Entfernungen werden hier nicht berücksichtigt, denn es wurde schon von Nieke [12] gezeigt, wie sich die Beugungsfigur der Halbebene aufbaut, so bauen sich auch die inneren Streifen des Spaltes auf, beginnend mit einem hellen Streifen an den Schattengrenzen. in Abb. 4 a hat dieser Aufbau bereits begonnen. Abb. 4 b zeigt den Aufbau der äußeren

Beugungsstreifen der Einzelspalte, der in Abb. 4 c weitergeführt wird. In Abb. 4 d werden die Beugungsstreifen des Doppelspaltes sichtbar.

Das Erscheinen der Beugungsstreifen des Doppelspaltes wird von der Beleuchtungsart beeinflusst, divergente Beleuchtung verzögert dies, konvergente Beleuchtung oder Fraunhofersche Beobachtungsart verkürzen die notwendigen Entfernungen.

6. Diskussion der Abschnitte 2 und 3

Newton [1] Buch III, Beobachtung 5 hat gezeigt, daß gebeugtes Licht nur aus der engen Umgebung der Kante kommt. Nieke [13], [14] und [12] zeigte dazu Einzelheiten, gebeugtes Licht kommt danach nur aus der Umgebung kleiner als 0,1 mm jeder Kante, unabhängig von der Spaltweite. Damit ist die konstante Differenz in Abb. 2 unabhängig von der Spaltweite erklärbar: nur bei gebeugtem Licht besteht ein Einfluß der Polarisationsrichtung, bei der die Mitte des Spaltes passierenden Lichtes dagegen nicht. Abb. 1 zeigt, daß das gebeugte Licht nicht gleichmäßig betroffen ist, sondern je größer die Ordnung des gebeugten Lichtes, je stärker der Einfluß der Polarisation. Newton [1] III Frage 1 nahm an, daß stärker gebeugtes Licht näher der Kante passierte. Der stärkere Einfluß der Polarisation höherer Ordnungen könnte damit auch zusammenhängen. Der Wechsel der Vorzugsrichtung nach Bois u. Rubens [10] spricht bei optischer Strahlung für einen Einfluß der Struktur der Photonen und erst bei HF-Strahlung für Materiewechselwirkung.

7. Diskussion des Abschnitts 4

Nach diesen Ergebnissen zeigt entgegengerichtet zirkular polarisiertes Licht nur deshalb nicht die Beugungsfigur des Doppelspaltes, weil die einzelnen Komponenten der Zwischenrichtungen nebeneinander liegende Beugungsstreifen liefern und so insgesamt keine Beugungsfigur des Doppelspaltes sichtbar wird.

Dabei war schon Fresnel bekannt, daß etwa eine Glasplatte in den Strahlengang eines Spaltes gebracht, die Beugungsfigur des Doppelspaltes verschiebt.

Newton's Beugungsexperimente und ihre Weiterführung Arbeit 10

Literaturverzeichnis

- [1] I. Newton, *Opticks, or a Treatise of the Reflexions, Refractions, Inflexions and Colours of Light*. London 1704;
Opera quae exstant omnis, Tom IV. London 1782; Reprint, Bruxelles 1966;
Optik II + III, Übers. W. Abendroth, Qstwald's Klassiker Nr. 97, Engelmann, Leipzig 1898;
Neuaufgabe Bd 96/97, Vieweg, Braunschweig 1983;
Optique, Tranc. J. P. Marat 1787; Bourgeois Paris 1989.
- [2] J. B. Biot, *Traite' de physique expérementale .et mathématique*. Paris 1816, Tome IV.
- [3] A. Fresnel, *Ann. chim. phys.*(2) **28** (1822); *Ann. Physik* (II) **21** (1831) 276; *Oeuvre complétes I*. Paris 1866, S. 731.
- [4] V. v. Lang, *Sitzungsber. Wien Akad.* **60** (2) (1869) 767; *Ann. Physik* (II) **140** (1870) 460.
- [5] A. Cornu, *Comp. rend.* **92** (1881) 1365.
- [6] J.J. Thomson, *Phil. Mag.* (5) **11** (1881) 229; **28** (1889) **1**
- [7] W. Wien, *Ann. Physik* (III) **46** (1836) 117.
- [8] H. Hertz, *Ann. Physik* (III) **36** (1892) 775.
- [9] H. E. J. G. du Bois, *Ann. Physik* (III) **46** (1892) 542.
- [10] H. du Bois u. H. Rubens, *Ann. Physik* (IV) **35** (1911) 243.
- [11] G. Wolfsohn, *Handbuch der Physik*, Bd. XX, S. 305, Springer, Berlin 1928.
- [12] H. Nieke, *Newton's Beugungsexperimente und ihre Weiterführung*. Arbeit 3.
- [13] Wie [2], Arbeit 1.
- [14] Wie [2], Arbeit 2.