

Beugungsexperimente mit inhomogener Beleuchtung

Helmut Nieke

Zusammenfassung

Mit einfarbig und farbig inhomogener Beleuchtung wird deren Einfluß auf die Beugungsfigur gezeigt. Im Bereich innerer Beugungsstreifen des Spaltes, also bei kurzen Entfernungen, ist die Lokalisierung des gebeugten Lichtes leicht zu demonstrieren. Im Bereich der äußeren Beugungsstreifen, also bei großen Entfernungen, beschränkt die doppelte Belegung der Beugungsfigur mit gebeugtem Licht aus der Umgebung der beiden Spaltkanten die Auswertung.

Diffraction Experiments with Inhomogeneous Illumination

Abstract

With coloured and one-coloured inhomogeneous illumination is shown its influence on diffraction-figure. In the sphere of inner diffraction-fringes of slit, therefore in short distances, the localization of bent light is easily to demonstrate. In the sphere of outer diffraction-fringes, therefore in larger distances, interpretation is limited by the double covering with bent light out of the surroundings of both slit-edges.

1. Grundlagen

Newton [1] III 5. Beobachtung hat nachgewiesen, daß gebeugtes Licht ausschließlich aus der engen Umgebung der Kante kommt. Die feine Lichtlinie, Grimaldis leuchtende Kante, wurde um so schmaler, je weiter seitlich er beobachtete. Daraus folgerte Newton [1] III Frage 1, daß Licht je stärker gebeugt werde, je dichter es die Kante passierte.

Nieke [2], [3] und [4] bestätigte die Feststellungen Newtons, vervollständigte und erweiterte die Newtonschen Beugungsexperimente. Dabei stellte er fest, daß das gebeugte Licht aus der Umgebung der Kante kleiner als 0,1 mm kommt. Diese Tatsache sollte sich mit einer inhomogenen Beleuchtung gut erforschen und demonstrieren lassen.

Es sind aber dazu einige Schwierigkeiten zu beachten. Dazu könnte man zur Beleuchtung einen Hilfsspalt in die Ebene der Halbebene oder eines Spaltes abbilden. Nach Nieke [5] kann man die sog. Kohärenzbedingung als Interferenz-Winkelbedingung so auffassen, daß der Öffnungswinkel zum Beleuchtungsspalt in der Divergenz des ausfallenden Lichtes erhalten bleibt, und wenn dies den Winkelabstand der Beugungsstreifen übersteigt, ist die Interferenz-Winkelbedingung nicht mehr erfüllt. Dies wirkt sich als Unschärfe der Beugungsfigur aus und die eigentliche Beugung als Beugungsfigur kommt zu dieser Unschärfe hinzu. Mit einer langbrennweitigen Optik kann man den Winkel des einfallenden Bündels klein halten, also die Interferenz-Winkelbedingung erfüllen. Es ist aber auch die Abbesche Bedingung für eine objektähnliche Abbildung zu erfüllen, es soll nicht nur die nullte Beugungsordnung zur Abbildung beitragen, sondern mindestens noch eine weitere Ordnung, wozu die Apertur der Abbildung eine minimale Größe haben muß, wobei automatisch ein größer Winkel des einfallenden Lichtes notwendig wird. Interferenz-Winkelbedingung und Abbesche Bedingung stellen also hohe Forderungen.

Newton [1] III Beobachtung 10 stellte bei der Beugung am Dreieckspalt fest, daß in kurzen Entfernungen und großen Spaltweiten erst innere Beugungsstreifen auftreten, die der Beugung an den Kanten als Halbebenen entsprechen. Newton [1] III Frage 3 folgerte daraus, daß die Lichtteilchen

sich aalartig bewegen müßten. Innere und äußere Beugungsstreifen haben ihren Namen nach der Lage der Beugungsstreifen innerhalb oder außerhalb der Schattengrenzen, vgl. dazu Nieke [4]. Fresnel [6] ermittelte experimentell, daß bei paralleler Einstrahlung die Beugungsfigur der Halbebene nur proportional der Wurzel aus der Entfernung hinter der Halbebene wächst. Daraus folgt, daß sich Photonen nach der Beugung nicht sofort geradlinig fortpflanzen. Eine geradlinige Ausbreitung erfolgt erst, wenn sich äußere Beugungsstreifen gebildet haben und dies erst dann und nicht bereits ab Spalt. Daher ist nach Nieke [2] die Extrapolation der Formel für die Beugung am Spalt für sehr große Entfernungen unzulässig und falsch, denn es treten in kurzen Entfernungen erst die inneren Beugungsstreifen des Spaltes auf. Dann kommt gebeugtes Licht nicht vom gesamten Spalt, wie aus der Extrapolation gefolgert wird.

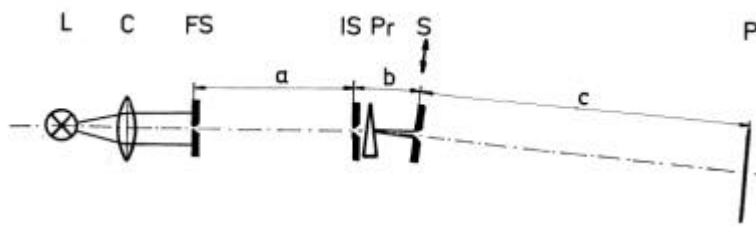


Abb. 1. Experimentelle Anordnung zur farbig inhomogenen Beleuchtung.

L - Quecksilber-Höchstdrucklampe; C - Kondensator; FS - erster Beleuchtungsspalt; IS - zweiter Beleuchtungsspalt 0,15 ... 0,3 mm; Pr - Prisma, Kronglas 10° ... 20°; S - Beleuchtungsspalt 0,3 mm, P - Photoplatte. a: 1 m, b: 120 ... 400 mm, c: 0,25 ... 4 m.

Newton [1] beobachtete das gebeugte Licht nur schattenseitig. Young [7] hingegen beobachtete auch die lichtseitige leuchtende Kante. Young nahm irrtümlich an, daß das gebeugte Licht nur von der Kante käme und entwickelte daraus das Youngsche Prinzip. Offenbar dachte er an eine Anregung der Kante, aber die kann es mit sichtbarem Licht nicht geben.

Wichtig ist aber die Erkenntnis, daß gebeugtes Licht schattenseitig und auch lichtseitig der Kante kommt, wie Nieke [2] bis [4] bestätigte. So überlagern sich in größeren Entfernungen bei äußeren Beugungsstreifen gebeugte Lichtteile aus der Umgebung beider Spaltkanten. Jedoch das Licht innerer Streifen entstammen nur der Umgebung einer Kante.

2. Experimente mit farbig inhomogener Beleuchtung

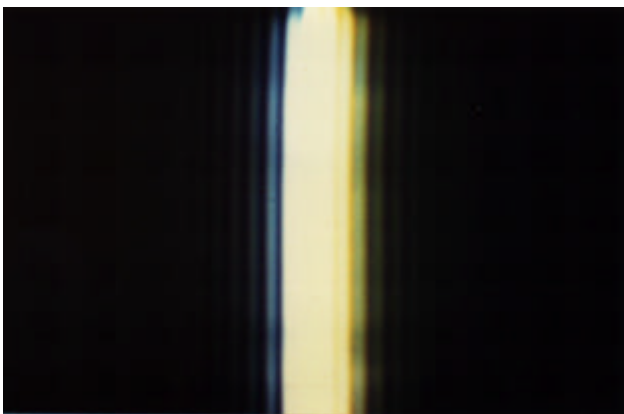


Abb. 2. Beleuchtet mit Quecksilberlicht, innen einer Kante mit grün, die andere mit blau in der Anordnung Abb. 1. Die Entfernung c wurde nur so groß gewählt, daß gerade äußere Beugungsstreifen entstanden.

Zur farbig inhomogenen Beleuchtung kann bei Quecksilberlicht die grüne und blaue Linie genutzt werden, wie die Anordnung in Abb. 1 zeigt. In kurzen Entfernungen, wo noch innere Beugungsstreifen entstehen, kann jetzt leicht gezeigt werden, daß die eine Seite der Beugungsfigur grün, die andere blau erscheint, wenn die eine Seite des Spaltes mit grün, die andere Seite mit blau beleuchtet wird. Abb. 2 zeigt ein so erhaltenes Photo in einer Entfernung, wo gerade äußere Streifen entstanden sind. In größeren Entfernungen, wo nur äußere Beugungsstreifen erscheinen, sind wegen der doppelten Belegung der Beugungsfigur mit gebeugtem Licht aus der Umgebung der beiden Spaltbacken, die Farben zunehmend nur vermischt zu

beobachten.

Benutzt; man zur Beleuchtung eine Glühlampe, so ergibt das Prisma Pr ein kontinuierliches Spektrum. Abb. 3 zeigt ein so erhaltenes Photo. In kurzen Entfernungen erscheinen die äußersten Beugungsstreifen immer mehr in jener Farbe, die am Rand des Spaltes vorhanden ist. Diese Erscheinung ist wieder nur in relativ kurzen Entfernungen klar nachweisbar, denn es gelingt kaum, die andere Spaltkante völlig unbeleuchtet zu bekommen.



Abb. 3. Beleuchtet mit kontinuierlichem Spektrum nach Abb. 1. Auch hier war die Entfernung nur so groß gewählt, daß gerade äußere Beugungsstreifen entstanden.

3. Experimente mit einfarbig inhomogener Beleuchtung

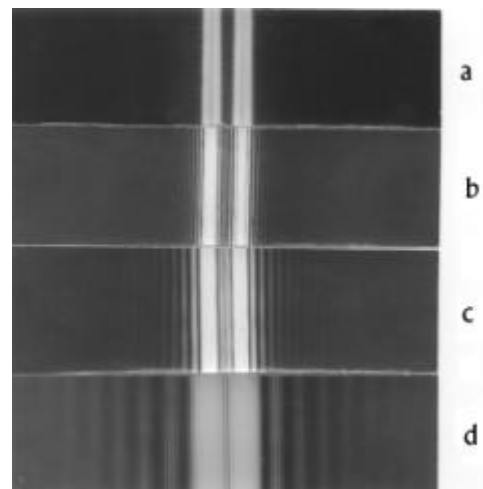
Die Aufnahmen erfolgten mit der gleichen Apparatur wie für die farbig inhomogene Beleuchtung nach Abb. 1, aber ohne das Prisma Pr und mit Grünfilter. Abb. 4 zeigt die Ergebnisse. Die Abb. 4 a wurde in der Ebene P ohne Beugungsspalt S erhalten, diese Beleuchtung wurde im folgenden beibehalten, es ist also die Beugungsfigur des Beleuchtungsspalt IS. Zur Abb. 4 b wurden die Kanten des Beugungsspalt S in die Minima der Beugungsfigur des Beugungsspalt IS gebracht. Dies zeigt, daß man eine Ordnung (hier die nullte) fast ohne Beugung erhalten kann, wenn die Spaltbacken des Beugungsspalt S in den auf diese Ordnung folgenden Minima angeordnet werden.

Zur Abb. 4 c wurde die Weite des Beugungsspalt S
Abb. 4. Beugungsfigur bei einfarbig inhomogener Beleuchtung.

Experimentelle Anordnung nach Abb. 1., aber ohne Prisma Pr und mit Grünfilter. IS: 0,15 mm, b = 100 mm, c = 2 m.

- a: Beugungsfigur ohne Beugungsspalt S,
- b Spaltbacken von S in den ersten Minima der Beugungsfigur von IS,
- c: Beugungsspalt S auf die Hälfte verengt = 0,3 mm,
- d: Beugungsspalt S so verschoben, daß ein Minimum auf die eine Spaltbacke fiel.

Oberhalb jeder Beugungsfigur ist Weite und Lage des Beugungsspalt S angedeutet.



auf die Hälfte verringert. Für die Abb. 4 d wurde der Beugungsspalt S so verschoben, daß die eine Spaltbacke in das Minimum und das andere in das Maximum der nullten Ordnung des Beleuchtungsspalt IS kam. Auf der Seite der minimalen Beleuchtung erscheint in der Beugungsfigur für diese Beleuchtungsart charakteristisch ein breiter dunkler Streifen zwischen nullter und erster Ordnung. Die Abstände der Beugungsstreifen sind in Abb. 4 c und d gleich. Das zeigt, daß diese Abstände der äußeren Streifen nur von der Spaltweite abhängen, die Beleuchtung hat hierauf keinen Einfluß.

4. Diskussion

Im Bereich der inneren Beugungsstreifen am Spalt ist es also möglich; die Lokalisierung des gebeugten Lichtes zu demonstrieren, wie sie bereits Newton [1] behauptet hat. Im Bereich der äußeren Beugungsstreifen läßt sich dies nur in Entfernungen kurz nach ihrer ersten Entstehung nachweisen, in größeren Entfernungen stört die doppelte Belegung der Beugungsfigur mit gebeugtem Licht aus der Umgebung der beiden Spaltbacken. In Fraunhoferscher Beobachtungsart führt die Abbildung des Beleuchtungsspalt in die Beobachtungsebene zur Vermischung. Jedoch außerhalb dieser Ebene tritt eine Aufspaltung auf und hier wäre eine Beobachtung möglich.

Auf die Grenzen dieser Methode wurde im Abschnitt 1 hingewiesen.

Wer selbst einmal versucht hat, eine wirklich symmetrische Beugungsaufnahme zu erreichen, der weiß welch hoher Justieraufwand notwendig ist, eine 'homogene Beleuchtung' herzustellen. Wer dies nie versuchte, der möge die Quellennachweise der Abbildungen von Beugungsaufnahmen in Lehrbüchern nachsehen. Auch Autoren, die sonst die Vorlagen aller Abbildungen selbst hergestellt haben, übernehmen oft Beugungsaufnahmen aus fremden Quellen. Sie haben sicher die Schwierigkeiten erfahren, weisen aber im Text nicht darauf hin, denn nach der Theorie der Wellenfronten sollten keine Schwierigkeiten auftreten. Wir wissen heute, daß Licht aus Lichtquanten oder Photonen besteht, und damit sind Abweichungen erklärlich.

Literatur

- [1] I. Newton, Opticks, or a Treatise of the Reflexions, Refractions, Inflexions and Co-lours of Light. London 1704;
Opera quae exstant omnis, Tom IV. London 1782;
Reprint, Bruxelles 1966;
Optik II + III, Übers. W. Abendroth, Ostwald's Klassiker Nr. 97, Engelmann, Leipzig 1898;
Neuaufgabe Bd 96/97, Vieweg, Braunschweig 1983;
Optique, Tranc. J. P. Marat 1787; Bourgois Paris 1989.
- [2] H. Nieke, Newton's Beugungsexperimente und ihre Weiterführung. Arbeit 1.
- [3] Wie [2], Arbeit 2.
- [4] Wie [2], Arbeit 3.
- [5] Wie [2], Arbeit 4.
- [6] A. J. Fresnel, Oeuvre Complètes I Paris 1866;
Abhandlungen über die Beugung des Lichtes. Ostwalds Klassiker Nr. 215,
Engelmann, Leipzig 1926.
- [7] T. Young, A course of lectures on natural philosophy and mechanical arts. London 1807.