

## **Die Weiterführung der Newtonschen Beugungsexperimente**

Helmut Nieke

### Zusammenfassung

In einer Schlierenapparatur werden Newtonsche Beugungsexperimente weitergeführt. Das Spaltbild besteht aus einem Doppelstreifen mit dunklem Zwischenstreifen am Ort des Bildes dieser Kante. Dies war nach den Newtonschen Beugungsexperimenten zu erwarten, aber mit wesentlichen Ergänzungen. Die Breite des Doppelstreifens beträgt  $< 0,1$  mm, abhängig von der Apertur der Abbildung. Durch Abdecken von Ordnungen in der Beugungsfigur können je Ordnung zwei Orte im Bild des Spaltes gefunden werden. Eine Zuordnung innerhalb der Ordnung gelang nicht. Technische Anwendungen in der Meßtechnik, diffractiver Optik und beugungsbegrenzter Optik werden aufgezeigt.

## **The Continuation of Newton's Diffraction Experiments**

### Abstract

Newton's diffraction experiments are continued in a schlieren apparatus. The image of the slit consists of a double stripe with a dark space at ever place of the image of the edge. This is to expect by Newton's diffraction experiments but with new details. The breadth of a double stripe is  $< 0.1$  mm dependent to aperture of imagery. With masking of orders in the diffraction figure can determine ever order two places in the slit image. An attaching within the order did not succeeded. Technical applications are shown in measure-technics, diffractive-optics and diffractive-limited-optics.

### 1.Einführung

Nieke [1] berichtete über die Newtonschen und Fresnelschen Beugungsexperimente. Es wurde dort gezeigt, daß die Newtonschen Beugungsexperimente zu Unrecht nach 1850 nicht mehr beachtet wurden. Als Grund gilt, daß Newton [2] seine Beugungsexperimente mit Lichtteilchen nicht begründen konnte, während Fresnel [3] mit Wellen in Teilgebieten die Beugung berechnen konnte. Mit dem Weglassen der Newtonschen Beugungsexperimente wurden aber wichtige Aspekte der Beugung verschwiegen. Am Ende seines Buches III schrieb Newton [2]: „Als ich diese Beobachtungen anstellte, war es meine Absicht, die meisten von ihnen mit noch größerer Sorgfalt und Genauigkeit zu wiederholen und noch einige neue anzustellen, um die Art und Weise zu bestimmen, wie die Lichtstrahlen beim Vorübergange an den Körpern gebeugt werden, wenn sie die Farbsäume mit den dunklen Linien dazwischen bilden. Aber damals wurde ich unterbrochen und jetzt kann ich nicht daran denken, diese Untersuchungen wieder vorzunehmen. Weil ich nun diesen Teil meiner Arbeit unvollendet gelassen habe, so will ich damit schließen, nur einige Fragen vorzulegen,

damit Andere den Gegenstand weiter untersuchen mögen." Aber offenbar hat sich bis jetzt niemand gefunden, Newtons Arbeit fortzusetzen.

## 2. Weiterführung von Newtons Beugungsexperimenten in der Schlierenapparatur

Bei diesen Versuchen gab es schon Vorgänger, die sich aber nicht auf Newton beziehen. Banjeri [4] projizierte eine punktförmige Lichtquelle auf die Mitte der Frontlinse eines Teleskops, und in diesem Strahlengang stand das zu untersuchende Objekt so, daß es senkrecht durchstrahlt wurde. Das Bild der Lichtquelle auf der Frontlinse wurde abgedeckt und das Teleskop auf das beugende Objekt scharf eingestellt. Da er aber davon ausging, daß eine Zylinderwelle von jeder Kante ausging, so stand für ihn das genaue Kantenbild nicht zur Diskussion, er berichtete aber bereits von der dunklen Linie zwischen den beiden hellen Streifen und er führte auch schon Abdeckungen durch.

Noack [5] beschrieb das Bild der Halbebene in einer Schlierenapparatur als „eigentümliche Beugungsinterferenzen". Er fand zwei Bänder begleitet von äquidistanten Streifen. Laue [6] referierte über ähnliche Ergebnisse bei Aufnahmen in Dunkelfeld-Beleuchtung. von Fernsehgeräten demonstrieren.

Für diese Untersuchungen wurde eine Schlierenapparatur nach Abbe verwendet, die Abb. 1

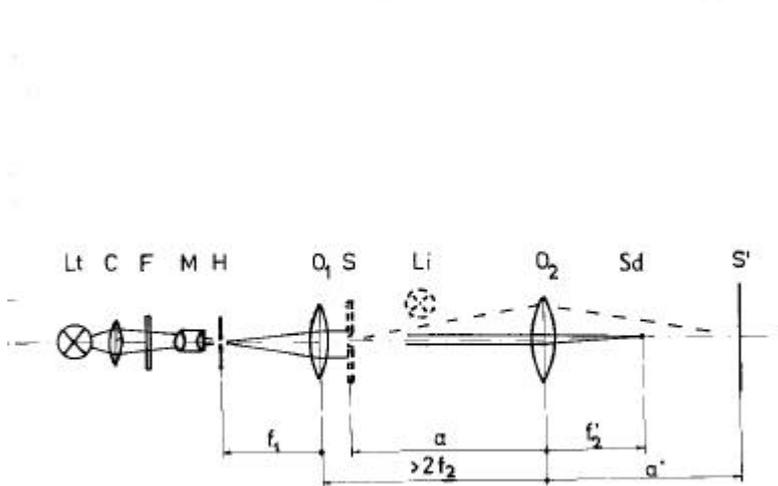


Abb. 1. Schlierenapparatur nach Abbe. Lt - Lichtquelle, z. B. Quecksilber-Höchstdrucklampe; c - Kondensator; F - z. B. Grünfilter; Lt, C und F können durch einen Laser ersetzt werden; M - Mikroskopobjektiv; H - Lochblende; O<sub>1</sub> - Objektiv; S - Beugungsspalt; Li - Beleuchtung für Auflicht; O<sub>2</sub> - Abbildungsobjektiv, Brennweite 200 ... 400 mm; SD - Schlierenblende, etwa eine kleine Kugel, z. B. aus Knete, oder auch ein Keil, etwas größer als H'; S' - Bild des Spaltes S. Dieses Bild kann mit einer Lupe betrachtet werden, hier kann ein Schirm oder die Photoschicht einer Fernsehaufnahmekamera stehen. Gestrichelte Linien deuten gebeugtes Licht an.

zeigt. Als Lichtquelle kann eine Quecksilber-Höchstdrucklampe etwa mit Grünfilter oder auch ein He-Ne-Laser mit Strahlungsaufweitung verwendet werden. Eine enge Blende wird also beleuchtet und mit dem Objektiv O<sub>1</sub> paralleles Licht erzeugt. In diesem parallelen Strahlengang steht das zu untersuchende Beugungsobjekt, etwa die Halbebene oder der Spalt. Soll dieses Objekt bis zur gleichen Größe abgebildet werden, so folgt erst im Abstand der doppelten Brennweite das zweite Objektiv O<sub>2</sub> als Abbildungsobjektiv. Im bildseitigen Brennpunkt dieses Objektivs O<sub>2</sub> steht die

Schlierenblende Sd, sie fängt das Bild der Lochblende H' ab, also das ungebeugte Licht trägt nicht zum Bild bei. Ohne Beugungsobjekt erscheint das Bildfeld praktisch dunkel. In der Bildebene des Objektes S', wird das Bild der Halbebene oder des Spaltes aufgefangen, es kann mit einer Lupe betrachtet werden, auf der Mattscheibe, einem Schirm oder einer Photoplatte aufgefangen werden. Mit den angegebenen Lichtquellen ist das Bild zur Projektion als Schauversuch im Hörsaal zu lichtschwach. Ob ein lichtstarker Laser dazu ausreicht, konnte nicht überprüft werden, da ein solcher

nicht zur Verfügung stand. Daher wurde das Spaltbild  $S'$ , auf die lichtempfindliche Schicht einer Fernseh-Aufnahmekamera ohne Optik abgebildet. So läßt sich dieses Experiment lichtstark auf Bildschirmen

Das Ergebnis dieses Schauversuches ist in Abb. 2 als Zeichnung dargestellt. Abb. 2 a zeigt die Lage des im Auflicht beleuchteten Spaltes. Abb. 2 b zeigt das Spaltbild im Durchlicht, es besteht aus zwei Doppelstreifen, die sich innen und außen von jedem Kantenbild im Auflicht befinden, Das klarste Bild erhält man, wenn die Größe der Schlierenblende so gewählt wird, daß diese genau die nullte Ordnung abdeckt und der Rand im Minimum zwischen nullter und erster Ordnung liegt. Die lichtempfindliche Schicht einer Fernseh-Aufnahmekamera arbeitet sehr hart, so daß zusätzliche Beugungen an der Schlierenblende im Spaltbild kaum auffallen; mit dem Auge sind sie zu beobachten, aber leicht als solche zu erkennen. Grundsätzlich sind diese Störungen nicht vollständig zu vermeiden, denn in den Minima wird, entgegen der Berechnung und Konstruktion der Wellentheorie, die Intensität nicht Null, besonders nicht bei den Minima niedriger Ordnung. Eine lange Brennweite des Abbildungsobjektivs  $O_2$  mindert diese Störung. Eine Halbebene liefert nur einen Doppelstreifen als Bild der Kante.

Wird jetzt eine Hälfte der Beugungsfigur vor dem Objektiv  $O_2$  abgedeckt, man kann mit dem gleichen Ergebnis auch neben der Schlierenblende eine Seite abdecken, so ergibt dies das Bild der Abb. 2 c, oder wenn man die andere Seite abdeckt das der Abb. 2 d, mit jeweils nur zwei Einzelstreifen. Wenn die Beleuchtungsstärke entsprechend herabgesetzt wird, damit keine Überstrahlung stattfindet, so kann noch die Schlierenblende durch eine Lochblende ersetzt werden, welche nur die nullte Ordnung passieren läßt. Dabei müssen die Kanten wieder genau im Minimum stehen. So läßt sich in Abb. 2 e zeigen, daß die nullte Ordnung nur die Mitte des Spaltbildes beleuchtet.

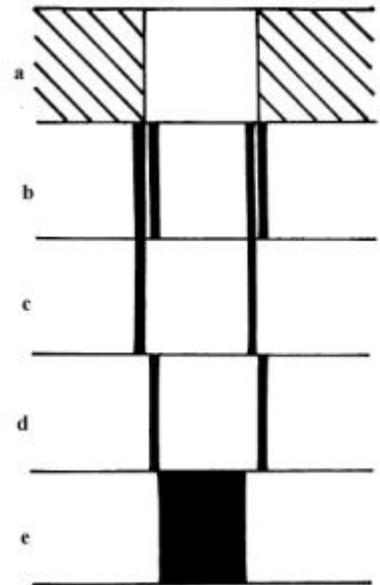


Abb. 2. Strichzeichnung der Ergebnisse des Schauversuchs mit der Apparatur nach Abb. 1.

- a. Bild des Spaltes im Auflicht.
- b. Bild des Spaltes in der Schlierenapparatur.
- c. Spaltbild wenn eine Seite der Beugungsfigur vor dem Abbildungsobjektiv abgedeckt wurde.
- d. Die andere Seite abgedeckt.
- e. Schlierenblende durch eine Lochblende ersetzt, nur die nullte Ordnung erzeugte das Spaltbild.

### 3. Diskussion der Experimente in der Schlierenapparatur

Mit den Kenntnissen der Newtonschen Beugungsexperimente sind die Ergebnisse der Spaltbilder in der Schlierenapparatur nicht verwunderlich, denn das gebeugte Licht kommt in der Tat nur aus der Umgebung der Kante als leuchtendes Gebiet. Diese Ergebnisse bringen aber noch wesentliche Einzelheiten.

Es fällt natürlich auf, daß der äußere Teil jedes Doppelstreifens von der Spaltbacke herzukommen scheint, d. h. dieses Licht muß seitlich versetzt sein. Lotsch [7] berichtete von seitlichen Versetzungen des Lichtes bei der Totalreflexion, er beobachtete Versetzungen bis zu 20 Wellenlängen.

Den Spektroskopikern war schon lange bekannt; daß jedes Spaltbild verbreitert erscheint, z. B. bei Brauer u. Fröhlich [8]. Das kann jetzt mit der schattenseitigen Versetzung schattenseitig gebeugten Lichtes begründet werden.

Bei allen Erscheinungen ist natürlich zu beachten, daß die Lage des gebeugten Lichtes im Spaltbild betrachtet wird, wo dieses Licht den Spalt passierte, liegt damit noch nicht fest. Den dunklen Zwischenstreifen wird man als Spur des seitlich versetzten Lichtes deuten. Bei Veränderung der Spaltweite verschieben sich nur entsprechend die beiden Doppelstreifen, bei einer Spaltweite von etwa 0,1 mm berühren sich die beiden inneren Teile der Doppelstreifen, 0,1 mm ist auch die maximal beobachtete Breite eines Doppelstreifens. Die wirklich beobachtete Breite hängt von der Apertur der Abbildungsoptik und vom Beobachtungswinkel ab, wie das schon Newton feststellte.

Newton [2] betrachtete in der 5. Beobachtung das von der Halbebene schattenseitig gebeugte Licht, welches nach ihm in einer Entfernung unter 0,03 mm die Kante passiert hatte. Über eine schattenseitige Versetzung des schattenseitig gebeugten Lichtes berichtete Newton nicht. Newton beobachtete nur schattenseitig eine Halbebene und mit dem Auge, er konnte also maximal die Hälfte eines Doppelstreifens feststellen.

#### 4. Schrittweise Abdeckung von Ordnungen in der Schlierenapparatur

Um die Zuordnung von Beugungsordnungen und Gebieten im Spaltbild genauer zu beobachten, wurde die Beugungsfigur vor dem Abbildungsobjektiv  $O_2$  detaillierter schrittweise jeweils im Minimum abgedeckt. In Abb. 3 war die Hälfte der Beugungsfigur abgedeckt und die jeweils weiter abgedeckte Ordnung ist zwischen den Photometerkurven angegeben. In Abb. 4 war mehr als die Hälfte der Beugungsfigur frei gegeben. Dort war es notwendig die Belichtungszeit zu

verkürzen, da sonst Überstrahlungen auftraten, auch wurde neu eingestellt. Mit diesen Untersuchungen ist nachgewiesen, daß eine Zuordnung von Ordnungen der Beugungsfigur zum Aufbau des Spaltbildes besteht, jeder Ordnung sind zwei Gebiete im Spaltbild zugeordnet.

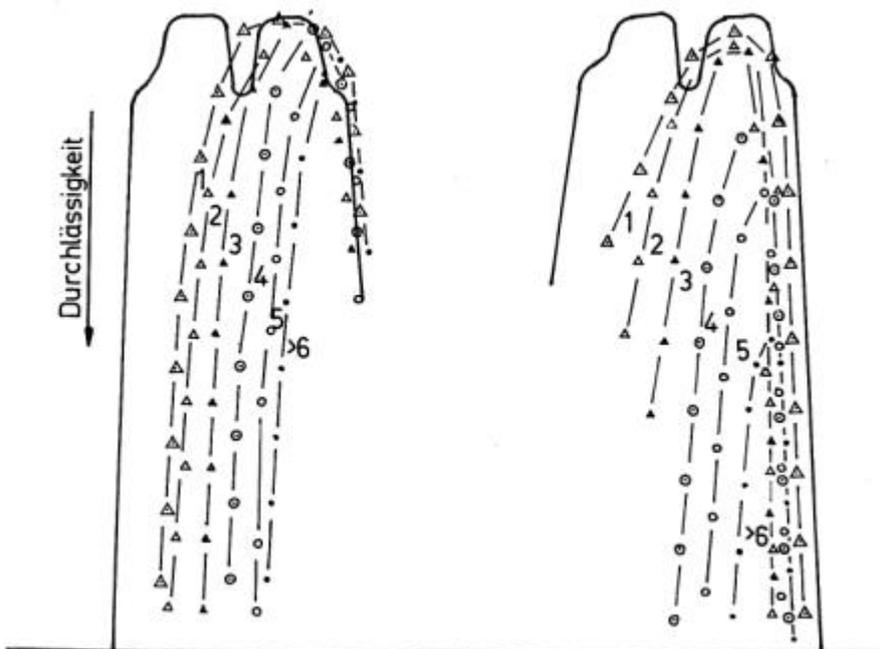


Abb. 3. Photometerkurven der Negative des Spaltbildes in der Schlierenapparatur Abb. 1 mit schrittweise abgedeckter Beugungsfigur vor  $O_2$ .  $H - 0,5 \text{ mm } \text{\AA}$ ,  $S - 0,2 \text{ mm}$ ,  $a'/a = -5$ . Alle Negative waren mit der gleichen Belichtungszeit auf der gleichen Platte untereinander aufgenommen und mit der gleichen Einstellung photometriert. Ausgezogene Kurven - unabgedeckt,  $\circ$  - eine Seite und darüber hinaus bis einschließlich der 5. Ordnung abgedeckt,  $\odot$  - bis zur 4. Ordnung,  $\ominus$  - bis zur 3. Ordnung,  $\blacktriangle$  - bis zur 2. Ordnung,  $\triangle$  - bis zur 1. Ordnung,  $\triangleleft$  - bis zur 0. Ordnung abgedeckt.

Um mit einer Aufnahme die Gesamterscheinung zu zeigen, wurde noch die Beugungsfigur schräg abgedeckt. Oben in Abb. 5 tragen nur die höchsten Ordnungen der einen Seite zum Spaltbild bei, während unten alle Ordnungen beider Seiten beitragen. Es ist noch zu bemerken, daß das Abbildungsobjektiv  $O_2$  eine Abbildung bewirkt und es gibt daher eine Einstellung, wo sich die beiden Teilstreifen der Doppelstreifen überschneiden müssen (aber natürlich nicht die beiden Doppelstreifen). Mit

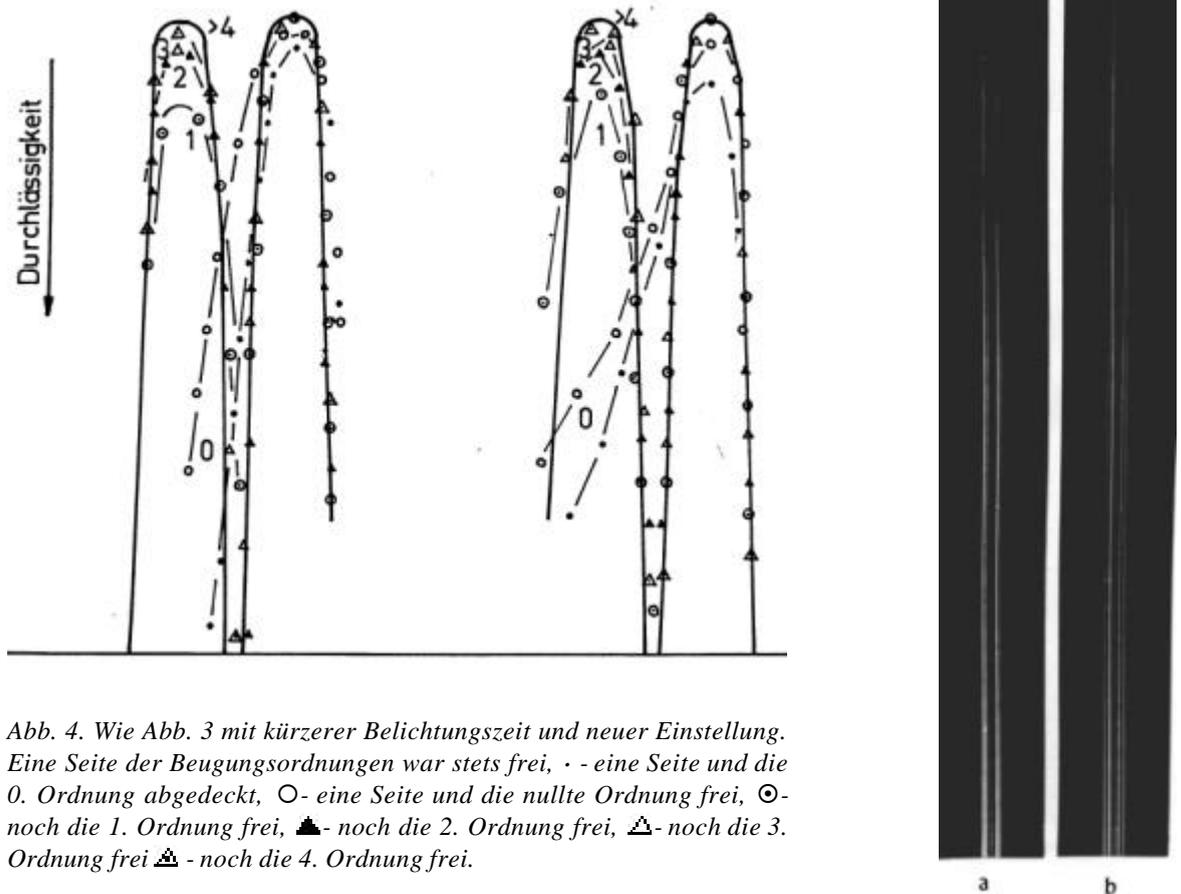


Abb. 4. Wie Abb. 3 mit kürzerer Belichtungszeit und neuer Einstellung. Eine Seite der Beugungsordnungen war stets frei, · - eine Seite und die 0. Ordnung abgedeckt, ○ - eine Seite und die nullte Ordnung frei, ⊙ - noch die 1. Ordnung frei, ▲ - noch die 2. Ordnung frei, △ - noch die 3. Ordnung frei, ▴ - noch die 4. Ordnung frei.

Abb. 5 Bild des Spaltes 0,25 mm in einer Schlierenapparatur nach Abb. 1 im Abbildungsmaßstab  $a'/a = 1/-1$ .  $30^\circ$  schräg vor der Abbildungsoptik die Beugungsfigur abgedeckt mit 12 sichtbaren Ordnungen.  $O_1$  und  $O_2 - f' = 320$  mm, 10fach nachvergrößert.

- a. Film stand knapp vor der Überkreuzungsstelle der schatten- und lichtseitigen Streifen.
- b. Film knapp hinter dieser Ebene.

dem Auge findet man diese Stelle nicht, denn das Auge akkommodiert stets auf diesen dunklen Streifen. Deshalb berichten Banjeri und Noack auch stets von diesem dunklen Streifen. In Abb. 5 a lag diese Einstellenebene etwas vor, in Abb. 5 b etwas hinter dieser Überschneidungsebene.

Bei der Zuordnung Beugungsordnung zum Spaltbild gibt es allerdings eine Einschränkung. Ein Abdecken in der Beugungsfigur in der Schlierenapparatur ist nur in einem Minimum durchführbar, denn innerhalb eines Maximum treten zusätzliche Beugungen an der Abdeckhalbebene auf, die eine Zuordnung im Spaltbild stören.

### 5. Vergleich mit der Heisenbergschen Unbestimmtheitsrelation

Die Größe des leuchtenden Gebietes wird man mit den Aussagen der Heisenbergschen Unbestimmtheitsrelation vergleichen. Nach Heisenberg [9] ergibt sich mit  $\Delta x \Delta p_x > h$  die Ortsunbestimmtheit im Spalt zu  $\Delta x > d/m$  mit  $d$  als Gitterabstand oder Spaltweite (die Formeln für Spalt und Gitter unterscheiden sich nur um den Faktor 2, Heisenberg bezieht sich aber nur auf das Gitter) und  $m$  als Ordnung. Für  $m = 1$  wäre die Ortsunbestimmtheit die Spaltweite, eine Ortsbestimmung wäre danach unmöglich. Setzt man, wie heute üblich:  $\Delta x \Delta p_x > h / 4\pi$  beläßt aber den Impuls nach Broglie  $p_x = h / \lambda$ , so erhält man  $\Delta x > d / 4 \pi m$ . Also etwa 1/12 der Spaltweite wäre mit  $m = 1$  analysierbar.

In jedem Fall ist diese Berechnung für die Beugung am Spalt nicht richtig, denn gebeugtes Licht kommt nur aus der engen Umgebung der Kante wie schon Newton [2] III feststellte und Nieke [1] bestätigte. In der Schlierenapparatur bestehen die Spaltbilder aus zwei Doppelstreifen, die unabhängig von der Spaltweite sind; die Spaltweite bestimmt nur den Abstand dieser beiden Doppelstreifen von einander. Die Heisenbergsche Unbestimmtheitsrelation ist daher auf die Beugung im Spalt nicht anwendbar. Diese Experimente beweisen die Lokalisierung des gebeugten Lichtes und zeigen, daß die Beugungsordnung die Grenze der Ortsbestimmung im Spaltbild bildet. Die Genauigkeit der Ermittlung der Lage des gebeugten Lichtes im Spalt selbst wird durch die Versetzung schattenseitig gebeugten Lichtes oder die aalartige Bewegung der Lichtteilchen oder Photonen begrenzt, was aber die Tatsache deren Lokalisierung nicht in Frage stellt.

### 6. Publierte weitere experimentelle Arbeiten

Newton [2] beschrieb in seiner 6. Beobachtung, daß bei einer Spaltweite von etwa 0,0065 mm die nullte Ordnung aufspaltet. Arndt u. Nieke [10] kontrollierten dies und stellten fest, daß während einer Verengung des Spaltes bei geringer Spaltweite in der Tat die nullte Ordnung des Spaltes aufspaltet, jedoch nach einigen Sekunden verschwindet die Aufspaltung bei dann konstanter Spaltweite. Wäre diese Aufspaltung auch bei konstanter Spaltweite vorhanden, so hätte sie Newton [2] Beobachtung 10 in seiner Zeichnung der Beugung am Dreieckspalt eingezeichnet. Dies ist also ein physiologischer Effekt bei Vergrößerung des Abstandes der Beugungsstreifen. Dieser Effekt ist leicht bei Beleuchtung mit einem Laser im Hörsaal vorzuführen, aber bei Kenntnis des Effektes auch bei Beleuchtung mit konventionellen Lichtquellen zu beobachten.

Nieke [11] zeigte, daß die Beugungsfigur des Doppelpaltes auftrat, auch wenn die sog. Kohärenzbedingung extrem verletzt war. Das erfolgte, wenn der Beleuchtungsspalt eine solche Weite hatte, daß die erste oder eine höhere Ordnung auf je einen Einzelspalt und die nullte Ordnung auf den Zwischensteg fiel.

Ganci [12] ließ das Licht eines Lasers streifend auf die Kante einer Halbebene fallen und fokussierte das Licht mit einer Zylinderlinse auf dem Zwischensteg des Doppelpaltes. Das gebeugte Licht ergab aber trotzdem die Beugungsfigur des Doppelpaltes, obwohl auch hier die sog.

Kohärenzbedingung extrem verletzt war. Ganci versuchte das Ergebnis mit der Umformung von Rubinowicz [13] als kantengebeugte Welle zu erklären.

In beiden Fällen ergeben die Experimente von Newton eine Erklärung. Das gebeugte Licht kommt aus einer engen Umgebung jeder Kante von Spalt oder Halbebene und das ungebeugte Licht wird vom Zwischensteg des Doppelspalt abgedeckt. In beiden Arbeiten bewirkte nur das gebeugte Licht die Beugung am Doppelspalt und dies kommt nur aus dem engen Bereich der Kante, wofür die sog. Kohärenzbedingung erfüllt war. Nieke [11] konnte seine Ergebnisse entsprechend dem Doppelsternexperiment deuten. Den Doppelstern ersetzen die beiden Kantenbereiche, aus denen gebeugtes Licht kommt. Die Deutung nach Rubinowicz [13] scheidet aus, da man von dem leuchtenden Gebiet an der Kante kein Linienintegral bilden kann und eine Fläche gebeugten Lichtes der Spaltweite im Spalt gar nicht existiert.

### 7. Technische Anwendungen

Die Beachtung der schattenseitigen Versetzung des schattenseitig gebeugten Lichtes erscheint wichtig für die Meßtechnik, wenn vom Auf- zum Durchlicht umgeschaltet wird und auch bei der Umschaltung von Hell- auf Dunkelfeld.

Für Hochleistungsobjektive mit beugungsbegrenzter Korrektur und schon vorher bei mikroskopischen Beobachtungen wurde empirisch eine optimale Abbildung gefunden, wenn die Beleuchtungsapertur 0,6 bis 0,8 der Objektivapertur beträgt. Z. B. bei Hofmann [14] wird dies als Teilkohärenz gedeutet und dieser Wert als Kohärenzparameter bezeichnet. Nach dieser Arbeit wird man dieses Optimum interpretieren, daß bei kleiner Beleuchtungsapertur die Randpartien der Aperturblende weniger beleuchtet werden als die Mitte. Da nur das nahe der Kante der Aperturblende passierende Licht gebeugt wird, so wird der Einfluß der Beugung kleiner, wenn die Intensität dieses Lichtes gering ist. Es ist zu beachten, daß hier die Beugung an der Aperturblende stattfindet, die Abbesche Theorie der Abbildung betrachtet die Beugung am Objekt, die die Aperturblende begrenzt.

Knop [15] beschrieb bei der diffraktiven Optik, daß sie in dramatischer Weise die Unzulänglichkeiten der Huygensschen Approximation aufzeigt. Nach dieser Arbeit erscheint diese Konsequenz notwendig, denn die Wellenauffassung, die auch dort als Ausgangspunkt gewählt wird, hat dort gar keine experimentelle Grundlage, wie das schon Newton [2] III Beobachtung 5 mit der Lokalisierung des gebeugten Lichtes gezeigt hat.

### 8. Allgemeine Diskussion

Man wird hiernach die Frage stellen, wieso bei diesem Sachverhalt sich die von Fresnelsche durchgesetzte Wellenauffassung des Lichtes so lange halten konnte. Die Antwort ist einfach: Newton und seine Nachfolger konnten mit Lichtteilchen, die nur als Massepunkte vorstellbar waren, die Beugung nicht begründen, denn dazu war eine Kraft senkrecht zur Ausbreitungsrichtung des Lichtes notwendig, die die Newtonsche Mechanik nicht vorsieht. Die Wellentheorie dagegen konnte für große Entfernungen eine Berechnung und eine Erklärung bieten, die für wichtiger gehalten wurde als deren experimentelle Sicherung. So wurden die die Wellentheorie widerlegenden Newtonschen Beugungsexperimente von den Lehrbuchautoren ab etwa 1850 einfach weggelassen. Als Anfang unseres Jahrhunderts die Quantennatur des Lichtes entdeckt wurde, hätte man eigentlich Newton recht geben müssen, aber am Sachverhalt, daß auch weiterhin mit massepunktförmigen Lichtquanten oder Photonen die Beugung nicht zu erklären war, hatte sich nichts geändert. So blieb man für die Beugung bei der Fresnelschen Wellenanschauung.

Newton hatte also recht, wenn er behauptete, daß Licht niemals eine Welle sein kann, mit der Lokalisierung des gebeugten Lichtes hatte er das bewiesen. Marshall [16] diskutierte über die Lokalitäts-Debatte, die Newtonschen Beugungsexperimente bringen aber die entscheidenden Argumente für den lokalen Realismus. Es gibt also keinen Zweifel: Die Extrapolation der Gültigkeit der äußeren Beugungstreifen am Spalt (Formel (1) bei Nieke [1]) auf die Entfernung Null oder in die Spaltebene war unzulässig und falsch.

Die Bemerkung, daß für Lichtteilchen, Lichtquanten oder Photonen als Massepunkte eine Erklärung nicht möglich war, läßt vermuten, daß für Teilchen mit Raumerfüllung, also für Photonen mit Struktur eine Erklärung der Beugung möglich sein könnte. In der Tat ordnet man ab etwa 1960 allen Elementarteilchen eine Struktur zu, dazu ist etwa der Name Hofstadter [17] zu nennen. Auch schwere Elementarteilchen und Atome zeigen die Erscheinung der Beugung, wie z. B. Carnal u. Mlynek [18] berichteten. Diese Korpuskeln haben unbestritten eine Struktur und so könnten auch Photonen und Elektronen eine Struktur haben, die Beugung als Ablenkung bedingt, denn bei Atomen wird niemand annehmen, daß sie sich auslöschen. Aber dazu sollen erst noch weitere Experimente in späteren Arbeiten vorgelegt werden, um dann zu ausreichenden Kenntnissen zu kommen, die eine Deutung zulassen.

Literaturverzeichnis

- [1] H. Nieke, Newtons Beugungsexperimente und ihre Weiterführung. Arbeit 1.
- [2] 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 Bruxells 1966;  
Optik II + III, Übers W. Abendroth, Ostwald's Klassiker Nr. 97, Engelmann, Leipzig 1998;  
Neuaufgabe: Bd 96/97, Vieweg, Braunsowweig 1983  
Optique, Trac. J. P. Marat 1787; Bourgois, Paris 1989.
- [3] A. J. Fresnel, Oeuvre Completes I. Paris 1866; Abhandlungen über die Beugung des Lichtes. Ostwalds Klassiker Nr. 215, Engelmann, Leipzig 1926
- [4] S. Banerji, Philos. Mag.(6) **37** (1919) 112.
- [5] K. Noack, Phys. Z. **23** (1922) 228.
- [6] M. v. Laue, in: Handbuch der Experimentalphysik Bd. 18 Akad. Verlagsges., Leipzig 1928, S. 349-350.
- [7] H. K. V. Lotsch, Die Strahlenversetzung bei Totalreflexion: Der Goos-Hänchen-Effekt. Diss. T. H. Aachen 1970.
- [8] K. H. Brauer u. F. Fröhlich, Experim. Techn. d. Physik **6** (1958) 216, Abb. 4.
- [9] W. Heisenberg, Die physikalischen Prinzipien der Quantentheorie. 2. Aufl., Hirzel, Leipzig. 1941. S. 9 - 14, 57 - 59.  
The physical principles of quantum theory, Univ, Press, Chicago 1930.
- [10] H. Arndt u. H. Nieke, Z. Psychologie **193** (1985) 295.
- [11] H. Nieke, Exper. Techn. Physik **31** (1983) 119.
- [12] S. Ganci, Am. J. Phys. **57** (1989) 370.
- [13] A. Rubinowicz, Ann. Physik (4) **53** (1917) 258; **73** (192.7) 339.
- [14] Ch. Hofmann, Fortschr. Physik **27** (1979) 595; Exper. Techn. Physik **28** (1980) 403.
- [15] K. Knop, Phys. Bl. **47** (1991) 901, Zitat S. 904
- [16] T. W. Marshall, Found. Phys. **22** (1992) 363.
- [17] R. Hofstadter, Rev. Mod. Phys. **28** (1956) 214  
Phys. Bl. **18** (1962) 193.
- [18] O.Carnal u. J. Mlynek, Phys. Bl. **47** (1991) 379;  
Phys. Rev. Lett. **66** (1991) Nr. 21, 2639-96