

## Der Untergrund von Beugungsfiguren

Helmut Nieke

### Zusammenfassung

Der Untergrund von Beugungsfiguren wurde in Abhängigkeit von Spaltweite, Entfernung, Divergenz der Beleuchtung und in Fresnelscher- und Fraunhoferscher Beobachtungsart untersucht. Der Untergrund ist höher bei großen Spaltweiten und nimmt nicht proportional der Entfernung ab, sondern langsamer. Die Differenz der Maxima und Minima ist annähernd unabhängig von der Spaltweite entsprechend der Beobachtung von Newton, daß gebeugtes Licht nur aus einer engen Umgebung der Kante kommt.

## The Background of Diffraction Figures

### Abstract

The background of diffraction-figures is examined in dependence of slit-width, distance, divergence of illumination and in Fresnel's and Fraunhofer's manner of observation. The background is higher at large slit-width and does not decrease proportional to distance but slower. The difference between maxima and minima of diffraction-fringes is approximately independent of slit-width, which corresponds to Newton's observation that bent light comes only out of small surroundings of edge.

### 1. Grundlagen

Nach Berechnungen und Konstruktionen der Beugungsfigur des Spaltes mit Wellen, sollte die Intensität in den Minima auf Null zurückgehen. Photometerkurven zeigen, daß dies nicht erfüllt wird, die Minima, vor allem niedriger Ordnungen, gehen auch nicht annähernd auf Null.

Als erstes war sicherzustellen, daß nicht ausschließlich der Grad der Erfüllung der sog. Kohärenzbedingung den Untergrund bestimmt. Die sog. Kohärenzbedingung wurde von Nieke [1] kritisch betrachtet und als Interferenz-Winkelbedingung neu formuliert, wo gefordert wird, daß Einzelheiten der Beugungsfigur unter einem größeren Winkel erscheinen müssen als die geometrische Ausdehnung des Beleuchtungsspalt (oder der Lichtquelle). Eine nicht erfüllte Interferenz-Winkelbedingung verursacht eine Unschärfe der Minima und das würde selbstverständlich als Untergrund gedeutet werden. Vorversuche ergaben, daß der Winkel von Maximum zum nächsten Maximum mindestens fünf mal größer sein muß als der Winkel zum Beleuchtungsspalt, bevor die Schärfe der Maxima nicht mehr merklich die Intensität der Minima beeinflußt. Also auch die Interferenz-Winkelbedingung muß mit ‚groß gegen‘ erfüllt werden, wobei eine Größenordnung genügt. Bei diesen Experimenten wurde der zehnfache oder ein noch höherer Wert benutzt.

2. Experimente in verschiedenen Entfernungen

Eine Quecksilber-Höchstdrucklampe mit Grünfilter wurde mit einem Mikroskopobjektiv auf

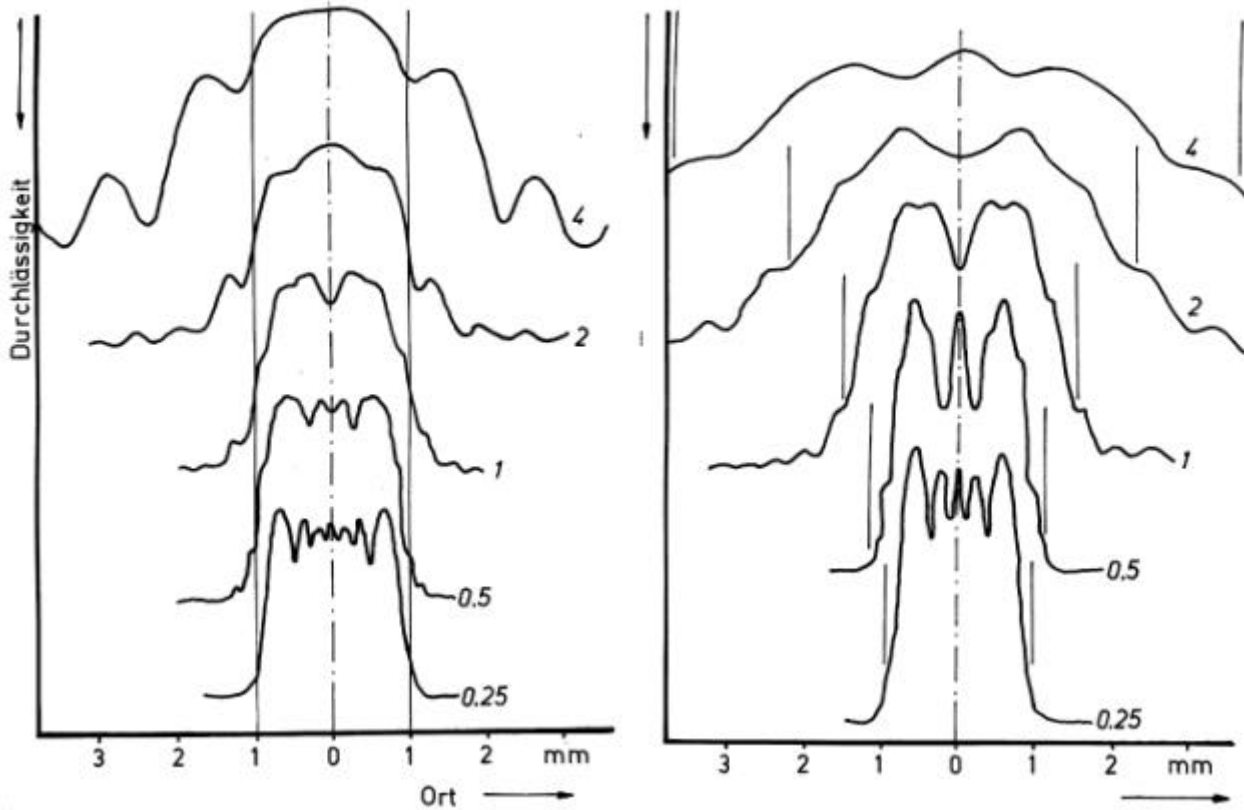


Abb. 1. Beugungsfigur eines Spaltes der Weite 2 mm in Abhängigkeit von der Entfernung bei Beleuchtung mit parallelem Licht. Es ist die Durchlässigkeit der Negative in Abhängigkeit vom Ort aufgetragen. Die Schattengrenze von 2 mm Breite ist durch zwei vertikale Linien gekennzeichnet. Die angeschriebenen Zahlen weisen auf die Entfernung Spalt - Photofilm in Meter.

Abb. 2. Wie Abb. 1, aber die Sammellinse  $f' = 1\text{ m}$  wurde weggelassen, es wurde also im divergentem Licht gearbeitet. Spaltweite hier 1,5 mm. Die berechneten Schattengrenzen sind durch kurze vertikale Linien in jeder Beugungsfigur markiert.

den Beleuchtungsspalt abgebildet. In 1 m Entfernung folgte eine Linse  $f = 1$  m, so daß auf den dahinter folgenden Beugungsspalt paralleles Licht fiel. In den verschiedenen Entfernungen vom Beugungsspalt wurde die Beugungsfigur photographisch aufgenommen. Die Photometerkurven der Negative zeigt Abb. 1. Solange nur innere Beugungsstreifen auftreten, wird von diesen die Schattengrenze eingehalten. Diese Beugungsstreifen haben ja ihren Namen nach ihren Ort innerhalb der Schattengrenzen. Äußere Beugungsstreifen bauen sich erst in größeren Entfernungen und in jedem Fall außerhalb der Schattengrenzen auf und breiten sich zunehmend mit der Entfernung aus.

Für die Beugungsfiguren der Abb. 2 wurde die Linse  $f = 1$  m weggelassen, es wurde also mit divergentem Licht beleuchtet. Hier tritt grundsätzlich die gleiche Erscheinung auf, es kommt ebenfalls zu einer Verbreiterung über die Schattengrenzen, wenn äußere Streifen entstehen.

### 3. Experimente mit gleichem Streifenabstand

In den Beugungsexperimenten von Newton [2] III Beobachtung 5 wurde gezeigt, daß gebeugtes Licht nur aus der engen Umgebung jeder Kante kommt. Nieke [3] und [4] bestätigten dies und führten die Experimente weiter. So sollte der Lichtstrom des gebeugten Lichtes, bei Variation der Spaltweite konstant bleiben. Dies zu untersuchen, wurde die gleiche Beleuchtung wie bei Abb. 1, also paralleles Licht, gewählt und unmittelbar hinter der Linse  $f = 1$  m stand der Spalt mit unterschiedlichen Spaltweiten. Dahinter folgte eine Linse:

2 m Brennweite bei 2 mm Spaltweite und 2 m Entfernung,

1 m Brennweite bei 1 mm Spaltweite und 1 m Entfernung,

0,5 m Brennweite bei 0,5 mm Spaltweite und 0,5 m Entfernung

zur Aufnahme der Beugungsfigur. Es wurde also die Fraunhofersche Beobachtungsart gewählt,

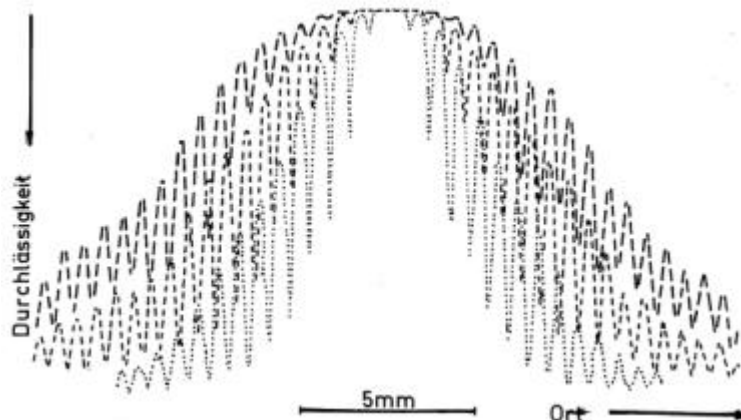


Abb. 3. Photometerkurven von Beugungsfiguren unterschiedlicher Spaltweiten in solchen Entfernungen, daß die Streifenabstände gleich werden, bei gleichen Belichtungszeiten und gleichen Photometerbedingungen.

-- Spaltweite 2 mm,

--- Spaltweite 1 mm,

... Spaltweite 0,5 mm.

wobei die Abstände der Beugungsstreifen gleich sein sollten. Die Messung des Lichtstromes wird so auf eine Messung der Beleuchtungsstärke zurückgeführt. Die Abb. 3 zeigt die Photometerkurven dieser Aufnahmen. Wie bekannt, gehen die Minima der niedrigen Ordnungen äußerer Streifen nicht auf die Intensität Null, um so weniger je größer die Spaltweite ist. Betrachtet man aber nur die Differenzen der Intensitäten von Maximum und Minimum des gebeugten Lichtes und nicht den Untergrund, so kann man schließen, daß der Lichtstrom des gebeugten Lichtes von der Spaltweite unabhängig ist. Es ist dann aber notwendig noch eine von Spaltweite und Entfernung abhängige Verbreiterung des Untergrundes anzunehmen.

4. Experimente zur Entfernungsabhängigkeit des Untergrundes

Bei den bisherigen Versuchen wurde Quecksilberlicht und Grünfilter verwendet. Der hier durchgelassene Rotanteil könnte hier geringfügig stören, deshalb wurde für diese Versuche ein Helium-Neon Laser verwendet. Die Beugungsfigur des Spaltes wurde mit 0,5 und 1 mm Spaltweite in unterschiedlichen Entfernungen nach Fresnelscher und Fraunhoferscher Beobachtungsart photographisch aufgenommen und die Negative so photometriert, daß die Abstände der Beugungsstreifen gleich erschienen. Da Beugungsaufnahmen große Beleuchtungsunterschiede aufweisen, ist es schwierig, die Negative so weich zu entwickeln, daß eine lineare Schwärzungskurve entsteht. Die Untersuchung erfolgte mit einem Vergleichsverfahren, wo die Linearität der Schwärzung nicht vorausgesetzt zu werden braucht. Die Schwärzung jedes Minimum wurde mit dem Maximum verglichen, das die gleiche Schwärzung aufwies. Dabei wurde auch interpoliert. So bedeutet der Wert 2,4, daß die Schwärzung des Minimums zwischen dem zweiten und dritten Maximum lag. Die Ergebnisse sind in den Tabellen 1 bis 4 aufgezeichnet.

Generell ist festzustellen, daß bei der Fraunhoferschen Beobachtungsart die Minima eine niedrigere Intensität aufweisen (sie entsprechen Maxima höhere Ordnung) als die in Fresnelsche Beobachtungsart in gleicher Entfernung. Aus den Tabellen ist ersichtlich, daß der Untergrund mit wachsender Entfernung geringer wird.

Tabelle 1. Ordnungen der Maxima, die die gleiche Intensität besitzen wie die Minima bei 0,5 mm Spaltweite nach Fresnelscher Beobachtungsart in unterschiedlichen Entfernungen.

Entfernung m	Minimum				
	1.	2.	3.	4.	5.
0,125	1	2,8	7	15	-
0,25	1,3	5,4	12	-	-
0,5	2,8	15	-	-	-
1	6,6	-	-	-	-

Tabelle 2. Wie Tabelle 1, aber 1 mm Spaltweite

Entfernung m	Minimum				
	1.	2.	3.	4.	5.
0,25	innere	Streifen	3,3	4,6	7,3
0,5	1,4	4,5	9	17	27
1	1,3	4,5	13	19	-
2	2,3	8	-	-	-
4	5	13,5	-	-	-

Tabelle 3. Ordnungen der Maxima, die die gleiche Intensität besitzen wie die Minima bei 0,5 mm Spaltweite bei Fraunhoferscher Beobachtungsart in unterschiedlichen Entfernungen.

Entfernung m	Minimum					
	1.	2.	3.	4.	5.	6.
0,125	1,3	2,6	6,5	11	13	14,6
0,25	1,6	3	8	9	12	13
0,5	9	14	17	18	21	22
1	7,5	15	-	-	-	-
2	15	30	-	-	-	-

Tabelle 4. Wie Tabelle 3, aber 1 mm Spaltweite

Entfernung m	1.	2.	Minimum 3.	4.	5.	6.
0,125	1,2	2,6	3,2	5	8	11
0,25	1,5	2,4	3,5	4,2	9	-
0,5	5	11	17,5	21	22	25
1	7	14	16	30	-	
2	10	25	-			

## 5. Diskussion

In den Abb. 1 und 2 dominiert noch der Einfluß innerer Beugungsstreifen, Aussagen über den Untergrund lassen sich hier noch nicht treffen. Die Abb. 3 zeigt eindeutig, daß die Breite des Untergrundes mit der Spaltweite wächst, aber hier wurde gleichzeitig die Entfernung geändert, wobei die größere Entfernung bei großen Spaltweiten diesen Einfluß nicht kompensiert. Aus Abb. 3 und den Tabellen 1 bis 4 ist ersichtlich, daß der Untergrund nicht proportional der Entfernung abnimmt, sondern langsamer. Nach Fresnel [5] wachsen die Abstände der Beugungsstreifen der Halbebene bei paralleler Einstrahlung nur proportional der Wurzel der Entfernung. Auch die Abstände der inneren Beugungsstreifen des Spaltes haben diese Entfernungsabhängigkeit bei parallelem Lichteinfall. Also gebeugtes Licht muß auf dem weiteren Weg nicht geradlinig laufen. Es scheint möglich einen Teil des Untergrundes als Rest innerer Streifen anzusehen. Dieser Teil würde bei hinreichender Entfernung in die nullte Ordnung einmünden.

Selbstverständlich bildet ungenügende Monochromasie des Lichtes eine Quelle des Untergrundes wie auch Verunreinigungen an den Kanten. Da die Fraunhofersche Beobachtungsart eine Abbildung des Beleuchtungspaltes bewirkt, so weisen Beugungsfiguren nach Fraunhoferscher Beobachtungsart einen geringeren Untergrund auf. Da hier in der Brennebene keine inneren Beugungsstreifen auftreten, wird der Untergrund durch die Abbildung reduziert.

Literatur

- [1] H. Nieke, Newtons Beugungsexperimente und ihre Weiterführung. Arbeit 4.
- [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, Bruxelles 1966;  
Optik II + III, Übers. W. Abendroth, Ostwald's Klassiker Nr. 97, Engelmann, Leipzig 1898;  
Neuaufgabe Bd. 96/97, Vieweg, Braunschweig 1983;  
Optique, Trac. J. P. Marat 1787; Bourgois , Paris 1989.
- [3] Wie [1], Arbeit 1.
- [4] Wie [1], Arbeit 2.
- [5] A. J. Fresnel, Ouvres Complètes 1. Paris 1866;  
Abhandlungen über die Beugung des Lichtes. Ostwalds Klassiker Nr. 215, Engelmann, Leipzig 1926.