

**Beugungen hintereinander folgend und mit Zwischenabbildung**

Helmut Nieke

Zusammenfassung

Es wird experimentell gezeigt: 1. Hintereinander folgende Beugungen mit Licht aus der Beugungsfigur der Halbebene bringen am folgenden Spalt andere Ergebnisse als mit unbeeinflusstem Licht. 2. Wird ein Einzelspaltbild im Bild des Doppelspalt abgedeckt, so enthält die Beugungsfigur trotzdem die Linien des Doppelspalt, wenn vor der Zwischenoptik ein hinreichend langer Weg lag (Größenordnung Dezimeter). Das Photon erhält also Informationen auch vom Spalt, den es selbst nicht durchlaufen hat.

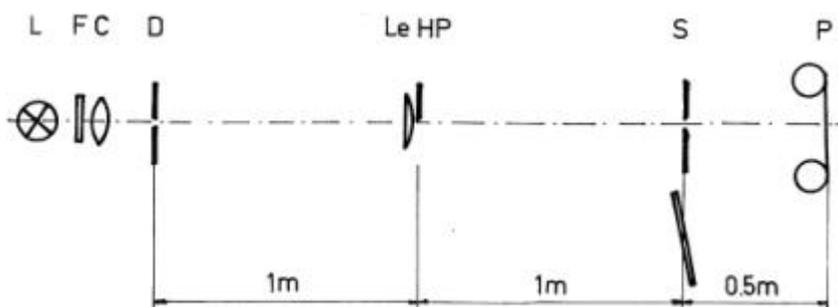
**Diffraction One After Another and with Intermediate Imagery**

Abstract

It is experimentally shown that 1st: Diffraction one after another with light of the diffraction-figure of a half-plane shows other results at the following slit than with uninfluenced light. 2nd: If in the image of a double-slit one image of a single slit is masked, so shows the diffraction-figure nevertheless the fringes of double-slit, if the light run a sufficient long way before the intermediate optic (order decimetre). The photon gets so information of the slit which it did not passed itself.

1. Beugungen hintereinander folgend

Hierzu wurde nach Abb. 1 die Lichtquelle auf eine kleine Lochblende abgebildet. Die Beugungsfigur der parallel



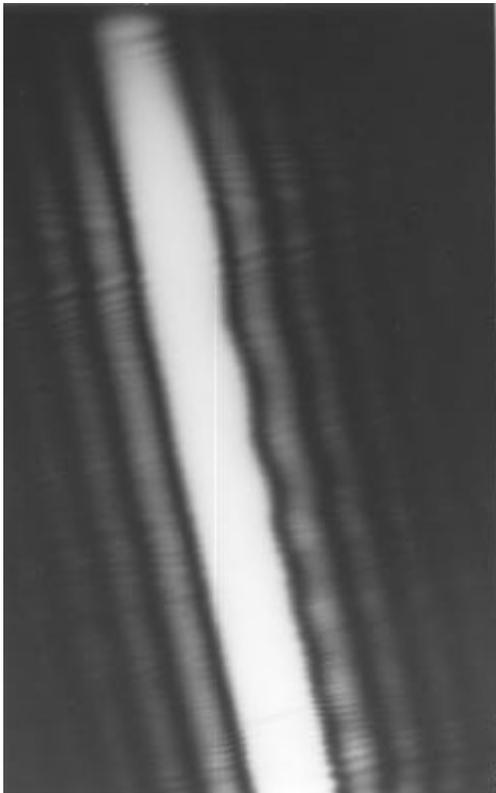
beleuchteten Halbebene fiel auf einen schräg gestellten Spalt. Die so erhaltene Beugungsfigur wurde photographisch registriert. Die enge Lochblende bewirkte, daß einmal die Beugungsfigur der Halbebene scharf erschien, und auch eine definierte

Abb. 1. Experimentelle Anordnung für hintereinander folgende Beugungen. L - Lichtquelle, eine Hg-Höchstdrucklampe HBO 100; F - Grünfilter; C - Kondensator; D - Blende, eine Spinnndüse 50 µm; Le - Linse  $f' = 1\text{ m}$ ; HP - Halbebene, eine Rasierklinge; S - Spalt 0,3 mm,  $10^\circ$  gegenüber HP schräg stehend; P - Photofilm einer Kleinbildkamera ohne Optik.

## Newton's Beugungsexperimente und ihre Weiterführung Arbeit 5

Überlagerung der beiden Beugungsfiguren in der Höhe möglich war.

Die Abb. 2 zeigt die Auswirkungen der Hintereinanderfolge der beiden Beugungen. Während schattenseitig (der Halbebene) die Beugungsfigur des Spaltes praktisch normal erscheint, ist sie



lichtseitig von der überlagerten Beugungsfigur der Halbebene beeinflusst. In der Beugungsfigur der Halbebene fällt bekanntlich schattenseitig die Intensität kontinuierlich ab, während lichtseitig die Intensität schwankt, wobei die Abstände der Beugungsstreifen lichtseitig kleiner werden. Dabei ist nicht nur die entsprechende Helligkeit moduliert, sondern die Beugungsfigur der Halbebene beeinflusst auch die Ablenkung des Lichtes bei der zweiten Beugung. In Abb. 2 fällt oben das erste Maximum der Beugungsfigur der Halbebene auf den schräg stehenden Spalt, darunter das zweite und dritte Maximum, die noch einwandfrei zu unterscheiden sind. Helligkeitsmodulation und Ausbeulung fallen zusammen. Die Schlangenlinienform lichtseitiger Beugungsstreifen zeigt, daß auch die Beugungswinkel von der vorhergehenden Beugung abhängen.

*Abb. 2. Experimentelle Ergebnisse bei hintereinanderfolgender Beugung in der Anordnung nach Abb. 1. Die Richtung von Licht- und Schattenseite wird durch die Halbebene bestimmt. Vergrößerung eines Negativs, bei dem die Belichtungszeit den höheren Ordnungen angepaßt war.*

### 2. Diskussion hintereinander folgender Beugung

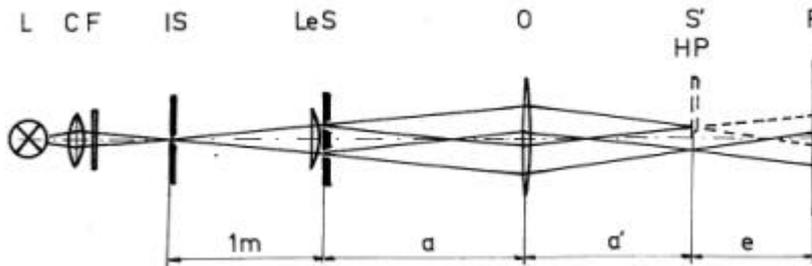
Die Experimente mit hintereinander folgender Beugung zeigen, daß sich gebeugte und nicht beeinflusste Photonen bei der folgenden Beugung unterschiedlich verhalten (Bei photographischer Registrierung werden mit Hilfe des lichtelektrischen Effektes Photonen nachgewiesen). Dies betrifft Photonen aus den Beugungsfiguren der Halbebene oder inneren Beugungsstreifen am Spalt. Die Abstände dieser Beugungsstreifen wachsen nicht linear mit der Entfernung, wie wir es von äußeren Beugungsstreifen am Spalt kennen. Fresnel [1] untersuchte dies experimentell mit divergentem bis parallelem Licht und fand, daß die Abstände dieser Streifen z. B. bei paralleler Einstrahlung nur mit der Wurzel aus der Entfernung wachsen. Newton [2] III (Beobachtung 10 und Frage 3) folgerte aus der Wandlung von inneren Beugungsstreifen zu äußeren, die er bei der Beobachtung am Dreieckspalt fand, daß sich die Lichtteilchen aalartig bewegen müssen. Dann fand Nieke [3] [4] und [5], daß schattenseitig gebeugtes Licht schattenseitig versetzt sein muß, denn es scheint von der Spaltbacke herzukommen. Alle diese Beobachtungen weisen darauf hin, daß nach der Beugung die Photonen keineswegs wieder geradlinig weiter laufen müssen, sie können also eine gekrümmte Bahn haben. Wenn nun diese Photonen eine erneute Beugung erleiden; so ist einzusehen, daß sie sich nicht wie unbeeinflusste Photonen verhalten.

### 3. Abdeckung eines Spaltbildes beim Doppelspalt

Wird beim Doppelspalt ein Spalt abgedeckt, so tritt nur die Beugungsfigur des Einzelspalt auf und nicht mehr die des Doppelspalt. Die Experimente dieses Abschnittes zeigen dagegen

Ergebnisse, welche durch Abdeckungen im Bild des Doppelspaltes nach Zwischenabbildung entstanden sind.

Nach Abb. 3 bildet ein Kondensator die Lichtquelle auf den Beleuchtungspalt ab, die Linse



Le sorgte für parallele Beleuchtung des Doppelspaltes. In der Entfernung  $a$  befand sich das Objektiv  $O$  für die Zwischenabbildung. Dieses Objektiv muß einen großen Durchmesser haben. Es ergab sich, daß mindestens noch die sechste Ordnung der Beugungsfigur der Einzelspalte das Objektiv passieren muß, um eine für diese Zwecke befriedigende Abbildung zu erhalten. Das Objektiv bewirkt also eine

Abb. 3. Experimentelle Anordnung des Doppelspaltes mit Zwischenabbildung, der Strahlengang ist angedeutet. L - Lichtquelle, eine Hg-Höchstdrucklampe HBO 100; C - Kondensator; F - Grünfilter; IS Beleuchtungspalt; Le - Linse  $f' = 1\text{ m}$ ; S - Doppelspalt; O - Fernrohrobjektiv  $f' = 60\text{ cm}$ ,  $\text{AE } 10\text{ cm}$ , eine Linse bester Form; S' - Bild des Doppelspaltes; HP - Halbebene, eine Rasierklinge auf einem Schlitten mit Mikrometerschraube; P - Photographischer Film.

Abbildung des Doppelspaltes. Am Bildort des Doppelspaltes  $S'$  ließ sich auf einem Schlitten mit einer Mikrometerschraube verschiebbar eine Rasierklinge als Abdeckebene einfahren. Es muß große Sorgfalt verwendet werden, um die Halbebene genau in die Bildebene zu stellen. Dazu kann außer der Mattscheiben-Scharfeinstellung auch mittels einer Lupe mit Fadenkreuz diese Ebene durch das

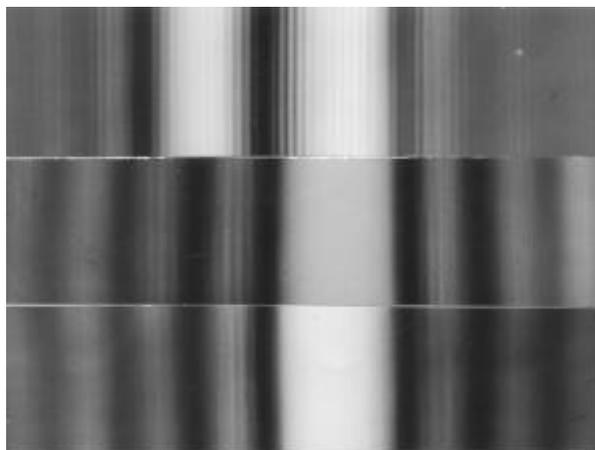


Abb. 4. Experimentelle Ergebnisse der Abdeckung eines Doppelspaltbildes mit  $-a = a' = 1,2\text{ m}$ ;  $e = 1\text{ m}$ ; IS :  $0,15\text{ mm}$ ; S:  $0,25\text{ mm}$  Einzelspaltweite und  $1,5\text{ mm}$  Zwischensteg. In der Anordnung der Abb. 3  
a. Beugungsfigur des Doppelspaltes,  
b. ein Einzelspaltbild abgedeckt  
c. HP über die Mitte zwischen den beiden Einzelspaltbildern vorgeschoben.

Verschwinden der inneren Streifen eingestellt werden. Ob die Einstellung genau stimmt, merkt man beim Verschieben der Halbebene. Bei richtiger Stellung verschwinden

die Beugungsstreifen eines Spaltes gleichzeitig, bei anderer Einstellung nacheinander.

In Abb. 4 wurde der Abbildungsmaßstab  $-1$  gewählt. Mit  $-a = a' = 1,2\text{ m}$  konnte ein relativ enger Doppelspalt verwendet werden. Abb. 4 a zeigt die Beugungsfigur des Doppelspaltes. In Abb. 4 b war ein Bild des Doppelspaltes abgedeckt, was im Bild einwandfrei zu kontrollieren ist. In Abb. 4 c wurde die Abdeckebene über die Mitte zwischen den Bildern der beiden Einzelspalte verschoben. Die Abbildung 4 zeigt den gesuchten Effekt: Auch bei abgedecktem Bild eines

## Newton's Beugungsexperimente und ihre Weiterführung Arbeit 5

Einzelspaltbildes entsteht die Beugungsfigur des Doppelspaltes, im befriedigenden Maß. Interessant ist, daß die Abstände in b und c nicht genau mit denen in a übereinstimmen.

Günstiger war es; die Entfernung a größer zu wählen, ein gleich großes a' brachte nicht den gleichen Effekt. Abb. 5 zeigt die Beugungsfigur des Doppelspaltes bei 8 m Entfernung a zur Abbildungsoptik. In Abb. 5 b ist das Bild eines Einzelspaltes abgedeckt, was auch hier eindeutig zu kontrollieren ist. In Abb. 5 c

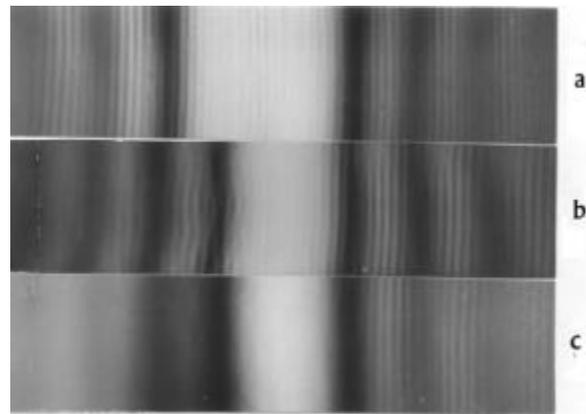


Abb. 5. Experimentelle Ergebnisse der Abdeckung eines Doppelspaltbildes mit  $a = -8 \text{ m}$ ;  $a' = 63 \text{ cm}$   $e = 30 \text{ cm}$ ;  $IS = 0,04 \text{ mm}$ ;  $S$  - Doppelspalt, Einzelspaltweite  $1 \text{ mm}$ , Zwischensteg  $5 \text{ mm}$ . In der Anordnung der Abb. 3.

a. Beugungsfigur des Doppelspaltes,

b. ein Spaltbild abgedeckt,

c. HP über die Mitte der beiden Einzelspaltbilder vorgeschoben.

stand die Abdeckebene in der Mitte zwischen den Bildern der Einzelspalte. Hier ist es offensichtlich, daß auch bei abgedecktem Bild eines Einzelspaltes noch Streifen des Doppelspaltes vorhanden sind.

## 4. Schräge Abdeckung des Bildes des Doppelspaltes

Eine schräge Abdeckung des Spaltbildes gibt zwar keinen eindeutigen Beweis für den

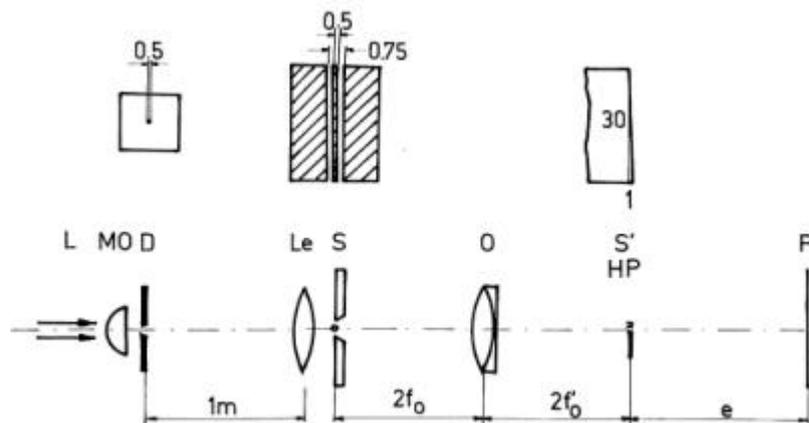


Abb. 6. Experimentelle Anordnung der Beugungsexperimente am Doppelspalt mit Zwischenabbildung bei schräg abgedecktem Spaltbild.  $L$  - Helium-Neon-Laser HNA 188,  $MO$  - Mikroskopobjektiv;  $D$  - Lochblende  $\text{AE } 50 \mu\text{m}$ ;  $Le$  - Kollimatorlinse  $f' = 1 \text{ m}$ ;  $S$  - Doppelspalt, ein Präzisionsspalt  $0,75 \text{ mm}$  geöffnet mit einem Achsstahl  $\text{AE } 0,5 \text{ mm}$  als Zwischensteg;  $O$  - Objektive verschiedener Brennweite;  $S'$  - Bild des Doppelspaltes  $S$ ;  $HP$  -  $1 : 30$  schräg gestellte Halbebene in der Ebene  $S'$ ;  $P$  - Photoplatte;  $e =$

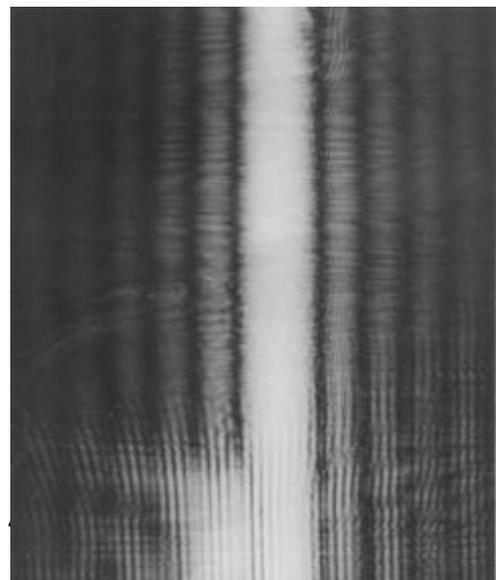


Abb. 7a.  $O$  - Tessar 1 : 2,8,  $f' = 50 \text{ mm}$ ,

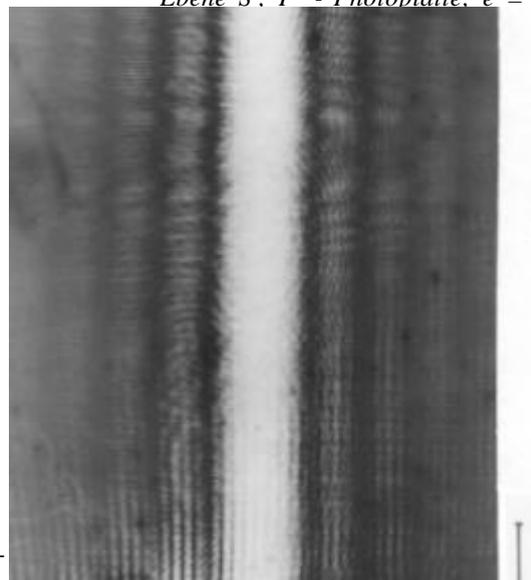


Abb. 7b.  $O$  - Tessar 1 : 1,5

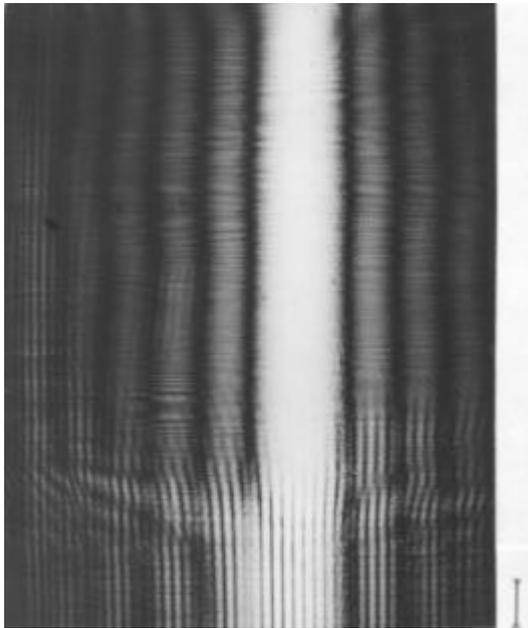


Abb. 7. Beugungsfigur eines Doppelspalt mit schräg abgedecktem Spaltbild nach Abb. 6. Rechts neben jedem Bild ist der relative vertikale Abbildungsmaßstab  $e/f'_o$  aufgezeichnet.

Abb. 7c. O - Achromat 1 : 8,  $f' = 320$  mm,

oben gesuchten Effekt, sie gestattet aber eine Übersicht. Die Halbebene HP stand nach Abb. 6 schräg zum Spaltbild, so daß sowohl die gesamte Beugungsfigur als auch die nur eines Spaltes gleichzeitig in der Ebene P auf der Photoplatte erschien. Die Brennweite des Objektivs der Zwischenabbildung wurde verändert, aber der Abbildungsmaßstab betrug stets  $-1 : 1$ . Für die Abstände der Beugungsstreifen ist der Abstand vom Spalt bzw. hier vom Spaltbild maßgebend. Wird diese Entfernung  $e$  konstant gehalten, so erschienen die Beugungsstreifen im gleichen Abstand, ohne Rücksicht

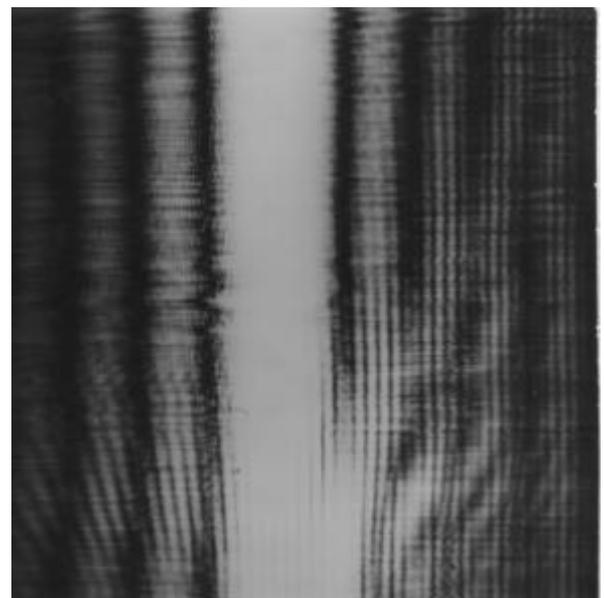
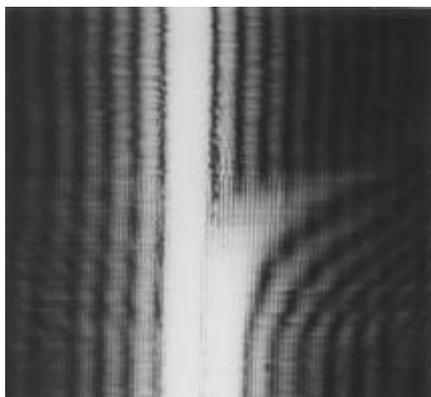
auf die vorhergegangene Zwischenabbildung.

Für die Länge der Streifen ist jedoch der bildseitige Brennpunkt des Abbildungsobjektivs Projektionszentrum, da parallel eingestrahlt wurde. Der hierfür gültige Abbildungsmaßstab ergibt sich zu  $e / f'_o$ , diese Werte ändern sich also mit der Variation der Brennweite des Abbildungsobjektivs O. Die unteren Teile der Abb. 7 a, b und c zeigen die ungestörte Beugungsfigur des Doppelspalt, die oberen Teile dagegen die Beugungsfigur eines Einzelspalt. Dazwischen ist die Auswirkung der Abdeckung eines wachsenden Teiles des Bildes eines Spaltes des Doppelspalt durch die schräg gestellte Halbebene HP zu sehen. In Abb. 7 wurde die Entfernung  $e$  konstant gehalten, daher erscheinen die Streifenabstände annähernd konstant, der vertikale Abbildungsmaßstab in a, b und c

Abb. 8. Beugungsfigur des Doppelspalt mit schräg abgedecktem Spaltbild nach Abb. 6 bei  $e/f'_o = \text{konst.}$

Abb. 8a. O - Tessar 1 : 4,5,  $f' = 135$  mm

Abb. 8b. O - Achromat 1 : 7,  $f' = 400$  mm ,



## Newton's Beugungsexperimente und ihre Weiterführung Arbeit 5

wird aber dadurch stark unterschiedlich, er verhält sich wie  $12,8 : 4,75 : 2$ . So reicht bei der kleinsten Brennweite in Abb. 7 a die Beugungsfigur des Doppelspaltes über die Abdeckstelle eines Einzelspaltes kaum hinaus. Bei längeren Brennweiten in Abb. 7 b und c wird offensichtlich, daß insbesondere bei höheren Ordnungen der Beugungsfigur der Einzelspaltes die Beugungsfigur über die Abdeckstelle hinausreicht, im günstigsten Fall erreicht die Beugungsfigur des Doppelspaltes fast die Stelle, wo auch das Bild des zweiten Einzelspaltes abgedeckt wird.

Man kann auch den vertikalen Abbildungsmaßstab konstant halten und erkennt aus Abb. 8 ebenfalls, daß bei längerer Brennweite der Zwischenoptik und damit des größeren Abstandes  $a$  vom Doppelspalt in Abb. 8 b die Beugungsfigur des Doppelspaltes über die Abdeckstelle eines Einzelspaltes weit hinausgeht. Die Beugungsfiguren haben jetzt natürlich unterschiedliche Streifenabstände.

Konventionelle Lichtquellen und Laser ergaben gleiche Resultate.

## 5. Diskussion der Experimente am Doppelspalt

Für die Wellenhypothese waren die Beugungserscheinungen am Doppelspalt kein Problem, mit dem Youngschen Prinzip waren sie zu erklären, ja am Doppelspalt haben sich diese Prinzipien vor allem entwickelt. Als die Quantennatur des Lichtes entdeckt wurde, kam es hier zu umfangreichen Diskussionen, denn ein Photon konnte nur einen Spalt passieren und da stand man den Interferenzfiguren damals hilflos gegenüber. Experimente mit Koinzidenzdetektoren statt Beobachtung oder Photographien bei Doppelspalt oder Interferenzapparatur ergaben bei Weglängenänderungen in einem Arm periodische Schwankungen der Koinzidenzen; also nicht mehr als man schon seit über 150 Jahre wußte: die Interferenzen verschieben sich.

Die Experimente bei einem abgedecktem Spaltbild des Doppelspaltes zeigen, daß das Photon auch die Information des Spaltes erhalten kann, den es selbst nicht passiert hat, wenn es einen hinreichend langen Weg bis zur Zwischenoptik nach der Beugung durchlaufen hat. Man wird hier an die Vorstellungen von Broglie [6] mit dem Photon und seiner Führungs- oder Steuerwelle denken, allerdings ist dabei Welle durch Feld zu ersetzen., was schon Born [7] korrigiert hat, denn Welle ist zu speziell. Das Feld passiert dann auch den Spalt, den das Photon nicht passierte und läuft zum Photon zurück, wodurch das Photon dann die Information auch über den Spalt erhält, den es selbst nicht durchlaufen hat.

## Literaturverzeichnis

- [1] A. J. Fresnel, Ouvre Complètes I. Paris 1866; Abhandlungen über die Beugung des Lichtes. Ostwalds Klassiker Nr. 215, Engelmann, Leipzig 1926.
- [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. Murat, 1787; Bourgois, Paris 1989.
- [3] H. Nieke, Newtons Beugungsexperimente und ihre Weiterführung. Arbeit 1.
- [4] wie [3], Arbeit 2.
- [5] wie [3], Arbeit 3.

- [6] L. de Broglie, La Physique quantique restera-t-elle indéterminée? Gauthier-Villars Paris 1953:  
Phys. Bl. **19** (1953) 488, 541.
- [7] M. Born, Physik im Wandel meiner Zeit, Vieweg, Braunschweig u. Akademie-Verlag Berlin 1958, S. 35.  
Physics in my Generation. Pergamon, London, New York 1956.