

Nahfeldoptik mit Berücksichtigung der Newtonschen Beugungsexperimente

Helmut Nieke

Zusammenfassung

Die Erscheinungen der Beugung werden unter Berücksichtigung der Newtonschen und neuer Beugungsexperimente neu zusammengestellt. Bei Photonen mit Struktur und Feld wird die Beugung als Richtungsänderung infolge der Wechselwirkung des Photons mit seinem unsymmetrisch zurücklaufenden Feld unter Benutzung der Wirbeldynamik beschrieben. Bei extremer Ausblendung, Wechselwirkung oder Entstehung an kleinsten Teilchen können Photonen mit einem unvollständigen Feld entstehen. Diese können mit diesem Feld nicht interferieren und sind so nicht der Abbeschen Formel der Auflösung und der Heisenbergschen Unbestimmtheitsrelation unterworfen. Jedes Photon vervollständigt aber bald sein Feld und so wäre die Nahfeldoptik nur in kürzesten Abständen möglich, wie auch die Experimente zeigen.

Near-Field Optics with Regard to Newton's Diffraction-Experiments

Abstract

The phenomenons of diffraction are new built up with regard to Newton's and newly diffraction experiments. By photons with structure and field diffraction is described as change of direction in consequence of interaction of the photon with its asymmetric returning field with use of vortex-dynamics. By strong fade out, interaction or origin at smallest particles, can originate photons with an incomplete field. These photons can not interfere with its field and so are not to obey Abbe's formula for resolving power and Heisenberg's relation of uncertainty. But every photon completed soon its field and so were near-field optics possible only in shortest distances, as experiments show too.

1. Einleitung

In der Literatur werden zwei Verfahren zur Nahfeldoptik diskutiert, die ein erhöhtes Auflösungsvermögen bis zum Nanometerbereich gestatten sollen. 1. als Apertur-SNOM (scanning near-field optical microscopy) mit Lichtquellen oder Objekten ausgeblendet durch kleine Löcher, Anregung feiner Spitzen oder Detektoren atomarer Abmessungen. 2. die Bestrahlung des STM (scanning tunneling microscope) oder RTM (Raster-Tunnel-Mikroskop) -Spitzenplasmas mit Laserstrahlung. Die Methode 2 wird als aussichtsreicher beschrieben. Die Abbesche Gleichung gibt die Grenze der Auflösung eines Mikroskops zu

$$\Delta s = \lambda / A, \quad (1)$$

wo außer der Apertur des Mikroskops A die sog. Wellenlänge λ des Lichtes eingeht. Dies wird begründet mit der Beugung am Objekt im Mikroskop. Aber mit der Nahfeldoptik soll diese Auflösung um Größenordnungen zu übertreffen sein. Dazu muß aber erst die Geschichte der Beugung noch einmal von Beginn an aufgerollt werden und unter diesen Voraussetzungen soll dann die Nahfeldoptik betrachtet werden.

2. Historische Sichtung der Beugung nach Newton

Der erste Nachweis der Beugung stammt von Grimaldi. Von diesem ist noch die Erscheinung von 'Grimaldis leuchtender Kante' (die die Lichtquelle verdeckt) bekannt. Newton [1] berichtete im III. Buch seiner opticks umfassend über die Beugung. Hier interessiert die 5. Beobachtung, wo er nachweist, daß gebeugtes Licht nur aus der engen Umgebung der Kante kommt (Größenordnung einige 1/100 mm); sowie der Beobachtung 10, wo er am Dreieckspalt nachweist, daß in kurzen Entfernungen und großen Spaltweiten erst die inneren Beugungsstreifen des Spaltes entstehen, die der Beugung der Kanten als Halbebenen entsprechen (innerhalb der Schattengrenze Beugungsstreifen mit ungleichmäßigen Abständen, außerhalb kontinuierlicher Abfall). Erst in großen Entfernungen oder bei kleinen Spaltweiten d entstehen die äußeren Beugungsstreifen (außerhalb der Schattengrenzen), die seit etwa 1850 in Lehrbüchern als einzige Beugungsstreifen am Spalt beschrieben werden. Bei paralleler Einstrahlung findet man die inneren Beugungsstreifen des Spaltes bei Entfernungen

$$e < d^2 / \lambda, \quad (2)$$

bei größeren Entfernungen erscheinen dann nur die äußeren Beugungsstreifen des Spaltes. Newton stellte nicht nur die Behauptung auf, sondern er wies mit den oben genannten Beobachtungen nach, daß Licht niemals eine Welle sein kann. Er konnte aber keine Theorie der Beugung bringen, denn für punktförmige Lichtteilchen konnte die Newtonsche Mechanik keine Begründung der Ablenkung senkrecht zur Ausbreitungsrichtung angeben.

Fresnel [2] hingegen hatte die Vorstellung Huygens und Youngs, daß Licht eine Welle sei. Auch Fresnel stellte sorgfältige Messungen zur Beugung an, teilte sie aber nur so weit mit, wie sie seiner Theorie hinreichend entsprachen, am Spalt beschränkte er sich darauf, die in großen Entfernungen entstehenden äußeren Beugungsstreifen mitzuteilen. Diese nur für große Entfernungen gültige bekannte Formel

$$\sin \alpha = n d / \lambda, \quad (3)$$

mit n als einer Laufzahl für die Ordnung und d der Spaltweite, wurde auf die Entfernung null, also in die Spaltebene extrapoliert. Daraus wurde gefolgert: Der Spalt begrenzt eine Wellenfront und jeder Punkt dieser Wellenfront wird zum Ausgangspunkt einer neuen Kugelwelle. Daß diese Extrapolation unzulässig ist, geht aus Newtons Beobachtung 10 hervor, denn in kurzen Entfernungen treten erst die inneren Beugungsstreifen auf. Daß diese Extrapolation auch falsch ist, hatte Newton bereits mit der Beobachtung 5 bewiesen, denn gebeugtes Licht kommt nur aus der engen Umgebung der Kante, was Young allerdings (fälschlich) auf die Kante beschränkte und auch Fresnel bestätigte dies in seiner ersten Arbeit über die Beugung ausdrücklich. Die Annahme, Licht bestehe aus Wellen, baute also auf einer unzulässigen und falschen Extrapolation auf und die damit angestellten Berechnungen gelten formal hinreichend nur für sehr große Entfernungen. Bereits Mach [3] hat gezeigt, daß alle Beugungs- und Interferenz-Experimente nur die Periodizität des Lichtes beweisen und nicht die Welle. Dabei ist Periodizität nicht nur bei Schwingungen möglich, sondern auch bei Rotationen. Die hier angeführten Erscheinungen in kurzen Entfernungen haben noch nichts zu tun mit Nahfeldoptik, hierzu sind besondere Bedingungen zu erfüllen.

3. Weiterführende Beugungsexperimente

Die Newtonschen Beugungsexperimente wurden von Nieke [4] in einer Schlierenapparatur nach Abbe weitergeführt, die eine Trennung von gebeugtem und nicht hinreichend gebeugtem Licht gestattet. Newtons Beobachtung 5 und 10 wurden bestätigt und weitergeführt. Durch Abdecken von Ordnungen in der Schlierenapparatur kann deren Zuordnung zu zwei Orten im Spaltbild gezeigt

werden (aber nicht innerhalb einer Ordnung). Bei Nieke [5] wird das Babinetsche Prinzip für Beugungsstreifen am Spalt und Hindernis als kantensymmetrisch vertauscht gezeigt und nur in Spezialfällen sind die Beugungsfiguren gleich. Nieke [6] bewies die sog. Kohärenzbedingung als eine geometrische Bedingung. (Winkel zur Lichtquelle kleiner als zum Abstand der Beugungsstreifen). Nieke [7] zeigte, daß sich hintereinanderfolgende Beugungen von unbeeinflussten Beugungen unterscheiden. Weiter wird nachgewiesen, daß bei Abdeckung eines Spaltbildes des Doppelspaltes nach Zwischenabbildung sich trotzdem die Beugungsfigur des Doppelspaltes ergibt, wenn vor der Zwischenabbildung ein Weg größer als Dezimeter bestand. Auch die Beugungsfigur der Halbebene entsteht nach Nieke [5] nicht sofort ab Halbebene, sondern mit sichtbarem Licht bei paralleler Einstrahlung vollständig erst ab etwa 50 mm Abstand e , allgemein nach etwa

$$e > 10^5 \lambda. \quad (4)$$

Smekal sagte eine Frequenzminderung von Photonen nach einer Beugung voraus, was von Nieke [8] experimentell am engen Spalt nachgewiesen wurde.

4. Deutung der Newtonschen und der weiterführenden Experimente

Bei Nieke [9] wurde versucht, diese Experimente zu deuten. Dazu wurde kombiniert: Heisenbergs Modell des Photon (nebeneinander liegend Fermion und Antifermion), Diracs Interferenz des Photons mit sich selbst, Broglies Führungsfeld (nicht -welle!) und Sommerfelds unbewußter Beweis der Möglichkeit der Schrödinger-Gleichung als Formel der Wirbeldynamik (Schrödinger-Gleichung und Wirbeldynamik folgen dem ersten Differentialquotient nach der Zeit). Es wird gefolgert, daß Photonen die Struktur des elektromagnetischen Wirbelpaares mit zurücklaufendem Feld haben. Die Beugung wird dann als Richtungsänderung infolge des unsymmetrisch behinderten Feldes und der Wechselwirkung mit seinem Photon gemäß der Wirbeldynamik diskutiert (Schwerpunktsatz der Wirbeldynamik). Danach entstehen die inneren Beugungsstreifen des Spaltes, wenn nur das Feld zum Photon zurückgekehrt ist, das nahe der Kante passierte. Kehrt auch Feld zum Photon zurück, das den gesamten Spalt passierte, so erhält das Photon Information vom gesamten Spalt und erzeugt so die Beugungsfigur der äußeren Beugungsstreifen. Mit der unzulässigen und falschen Extrapolation war danach doch ein Teilaspekt berücksichtigt, man darf nicht den Begriff Licht verwenden, sondern sich nur auf das Feld beziehen, das zu dem nahe der Kante passierenden Photon erst in größeren Entfernungen zurück findet. Diese hier in kurzen Entfernungen geschilderten Erscheinungen sind noch keine Erscheinungen der Nahfeldoptik, diese beziehen sich auf größenordnungsmäßig noch geringere Entfernungen.

Man kann also die Deutung der Beugung mit Einschluß der Newtonschen Beugungsexperimente zusammenfassen: Licht hat ein elektromagnetisches Feld. Licht besteht aus Photonen, folglich muß jedes Photon ein elektromagnetisches Feld haben. Das elektromagnetische Feld geht laufend vom Photon aus und läuft normalerweise wieder zum Photon zurück. Wird das Feld unsymmetrisch behindert, so bewirkt die Wechselwirkung von Photon und zurücklaufendem Feld eine Schwenkung, also eine Richtungsänderung. Bei Beugung am sehr engen Spalt ist der Feldverlust als Frequenzminderung nachweisbar.

Dann wird bei Nieke [9] die Emission eines Photons beschrieben als Übergang der Anregungsenergie mit Dipolmoment während der sog. Lebensdauer als Übergang von Schwingungsenergie in elektromagnetische Wirbelenergie als Photon. In dieser Zeit ist das Photon im 'status nascendi' und kein virtuelles Photon, auch findet kein Quantensprung statt, sondern das Photon wird halbperiodenweise aufgebaut. Es liegen also neue Ansätze zur Deutung der Beugung vor, die dann auch für die Nahfeldoptik zu berücksichtigen sind.

Nun wird man vielleicht sagen, daß die Welle (und damit auch der Dualismus) zeitweilig zur Erklärung notwendig waren. Mit punktförmigen Lichtteilchen, Lichtquanten oder Photonen konnte eine andere physikalische Möglichkeit nicht begründet werden. Die Nichtexistenz eines Äthers und damit das Fehlen der rücktreibenden Kraft genügte nicht, die Ära der Welle zu beenden. Aber seit etwa 1960 war eine Struktur der Elementarteilchen anerkannt, doch eine Selbstwechselwirkung eines Teilchens mit seinem Feld mußte sich erst durchsetzen (Chew [10]). Jetzt aber ist Licht als Welle überflüssig und irreführend.

5. Beugung und Quantentheorie

Bohr baute seine Quantentheorie auf dem Dualismus von Welle und Korpuskel und die ausschließlichen Wahrscheinlichkeitsaussagen bei Quantenprozessen auf, wobei die Beugung nach Fresnel als Modell galt. Der Beweis der Welle von Fresnel, also auch der Welle im Dualismus, wurde bereits als unzulässige Extrapolation gekennzeichnet. So schrieb auch schon Hund [11]: „Jedoch ist die Gründung der Quantentheorie auf den Dualismus von Welle und Korpuskel ein voreingenommener Standpunkt, und man sollte sich dessen bewußt bleiben.“ Newtons Beobachtung 5 beweist für die Beugung, daß Ortsangaben für das gebeugte Licht gemacht werden können, also hier können über die Wahrscheinlichkeit hinausgehende Aussagen getroffen werden. Mit der Beugung müssen also auch die Grundlagen der Kopenhagener Deutung neu geprüft werden.

In seiner ursprünglichen Arbeit begründete Heisenberg [12] seine Unbestimmtheitsrelation 1. mit der Vertauschungsrelation, den Fehlern von p und q und dem Comptoneffekt, 2. mit der Winkelablenkung bei der Beugung unter Berücksichtigung der Broglie-Beziehung und 3. entsprechend der Dirac-Jordanschen Theorie mit dem ‘Wert’ der Matrizen bei Beobachtung in Richtung der Hauptachsen. Heisenberg [13] weist die Unbestimmtheitsrelation aus den ‘einfachsten Gesetzen der Optik’ nach, nämlich der Gleichung (1), in der Form:

$$\sin \alpha \sim d / \lambda, \quad (5)$$

mit d als Spaltweite. Mit dem Zeichen \sim hat er die Breite der 1. Ordnung berücksichtigt. Heisenberg bezog sich hier auf die Beugung am Spalt mit Elektronen. Nach Broglie ist $\lambda = h / p$, die Impulsänderung zum Schirm $\Delta p = (h \sin \alpha) / \lambda$ (der Impuls Δp muß an Spalt oder Gitter abgegeben werden) und mit $\Delta q = d$ erhält man die bekannte Heisenbergsche Unbestimmtheitsrelation:

$$\Delta p \Delta q \sim h. \quad (6)$$

Mit der Einführung des Impulses zum Schirm hat Heisenberg formal die Beugung berücksichtigt und eine Extrapolation der Formel (1) auf die Entfernung null vermieden, aber gleichzeitig die Gültigkeit der Formel (6) auf die der Formel (1) begrenzt.

Wenn Heisenberg auf der Grundlage des „Kopenhagener Geistes der Quantentheorie“ den Dualismus von Welle und Korpuskel benutzt, so hat er mit der Welle die unzulässige und falsche Extrapolation akzeptiert. Diesen Wellenbegriff brauchte Heisenberg aber zur Rechtfertigung der Benutzung des Fourier-Theorems, das er als „ein allgemeiner mathematischer Satz besagt“ zitiert, mit dem er ein Wellenpaket von beliebiger Gestalt aufbauen kann, nämlich jede stückweise monotone Funktion. Da jedes experimentelle Ergebnis stückweise monoton ist, so dachte Heisenberg, daß ihm nichts passieren kann. Mit der Berücksichtigung der Newtonschen Beugungsexperimente muß aber die Welle in Abrede gestellt werden und damit verliert auch die generelle Anwendung des Fourier-Theorems seine universelle Begründung.

Nieke [14] bemängelte bereits, daß Teilchen mit Struktur nicht mit zwei Angaben wie Ort und Impuls oder eines Paares kanonisch konjugierter Variabler zu kennzeichnen sind, wie dies die

Heisenbergsche Unbestimmtheitsrelation voraussetzt. Die Heisenbergsche Unbestimmtheitsrelation wäre danach nur für punktförmige Partikel anwendbar, und die gibt es nicht.

Bei der Beugung am Gitter mit Licht zeigte er umgekehrt, daß aus der Unbestimmtheitsrelation die Formel für die Beugung am Gitter folgt. Für das Gitter ergibt sich die Formel (1), wenn man für das Minimum am Spalt das Maximum am Gitter setzt und $d =$ Gitterkonstante. Zur Beugung am Gitter ist noch zu bemerken: wie im Abschnitt 2 beschrieben, kommt gebeugtes (sichtbares) Licht aus einem Gebiet kleiner als 0,1 mm (abhängig von der Apertur) von der Kante. Bei einer Spaltweite kleiner als 0,1 mm überschneiden sich also die Gebiete aus denen gebeugtes Licht kommt oder zu kommen scheint. Bei einem Gitter ist aber die Gitterkonstante normalerweise wesentlich kleiner als 0,1 mm, es treten daher auch keine inneren Beugungsstreifen auf.

Damit erhält die Formel (1) beim Gitter nicht unbegrenzte Gültigkeit. Hier ist zu beachten, daß ein Photon einen Gitterspalt passiert, jedoch sein Feld auch alle anderen Gitterspalte. Damit erhält die Gültigkeit der Abbesche Gleichung und Heisenbergs Unbestimmtheitsrelation die gleiche Grenze, nämlich das Photon mit seinem Feld und dessen Ausdehnung, die von der sog. Wellenlänge abhängt. Für die Deutung der Beugung allgemein, der Interferenz und auch bei der Nahfeldoptik sind jedoch die Experimente am Spalt von Newton [1] und der weiterführenden Experimente unbedingt mit zu berücksichtigen.

6. Folgerungen aus der Beugung für die Nahfeldoptik

Für die im Abschnitt 1 als Apertur-SNOM bezeichneten Verfahren gab Raether [15] eine erste Einführung, allerdings mit dem Schwerpunkt des Nachweises der Plasmonen. Diese Methode verwendete z. B. Fischer u. Pohl [16] und referiert bei Marti u. Krausch [17]. Hier ist noch die Nahfeld-Lithographie (photon-mapping) zu nennen, wo Photolack auf die Oberfläche aufgetragen wird, welches mit einem Rasterverfahren mit sehr engen Blenden belichtet und später abgetastet wird, von oben oder bei dünnen Schichten auch von unten.

Zur Methode Apertur-SNOM ist zu bemerken, daß nach Nieke [4] das schattenseitig gebeugte Licht schattenseitig versetzt erscheint (aber stets weniger als 0,1 mm), dieses Licht scheint also von der Spaltbacke zu kommen. Das haben vielleicht auch schon Newton und Young beobachtet, aber nicht darüber berichtet, denn es erschien ihnen als unmöglich. Aber den Spektroskopikern war schon lange bekannt, daß ein Spaltbild stets verbreitert ist. Das kann jetzt mit der seitlichen Versetzung schattenseitig gebeugten Lichtes begründet werden. Aber bereits mit 10 mm Brennweite abgebildet, war nach Nieke [4] der Effekt wesentlich geringer. Wie weit dieser Effekt schon bei der Nahfeldoptik merklich wird, muß geprüft werden, er schließt aber in jedem Fall die Anwendung in größeren und auch schon in vorher als kurze Entfernungen bezeichnete Entfernungen aus. Für die wirksamen Durchmesser kleiner Öffnungen ist Nieke [18] zu berücksichtigen. Genauso ist zu untersuchen, ob die im 'status nascendi' entstandenen Photonen sofort ihr vollständiges Feld haben, oder ob das erst danach auf dem weiteren Weg aufgebaut wird. Da dies offenbar der Fall ist, so wäre bei der Erzeugung der Photonen durch Fluoreszenz an Spitzen oder kleinen Teilchen die Nahfeldoptik möglich.

Für das im Abschnitt 1 als Verfahren 2 bezeichnete STM oder RTM mit Laserbestrahlung, ist die Wechselwirkung des Laserlichtes mit den Elektronen, die später den Tunneleffekt bewirken, anzunehmen. Wenn Licht nach Durchgang durch einen engen Spalte nach Nieke [9] eine verminderte Frequenz hat, so könnte man dies auch nach Wechselwirkung mit kleinen Teilchen annehmen. Mit Elektronen ist dies schon lange beim Compton-Effekt bekannt. Der Compton-Effekt

läßt sich danach so auffassen: Ein Photon, das ein Elektron zentral oder exzentrisch trifft, wird infolge des Stoßprozesses abgelenkt. Nach dieser Ablenkung findet nur ein Teil des Feldes zurück zum Photon, das Photon verliert also einen Teil seines Feldes, womit es Energie verliert und gemäß der Formel $E = h f$ muß zum Erhalt der Stabilität die Frequenz f geringer sein. Die Energie des Feldes, die nicht zum Photon zurückkehren kann, wird für das Elektron als kinetische Energie genutzt, denn im Gegensatz zum Photon ist das Elektron nur bei einer (inneren) Energie stabil. Was beim Compton-Effekt mit Röntgenstrahlung nachweisbar ist, wäre hier bereits mit Laserlicht möglich und als Nahfeldoptik nutzbar.

Mit der Methode 2 werden einmal die Elektronen beeinflusst, die später den Tunneleffekt im Objekt bewirken. Arnold u. Krieger [19] oder Volker, Krieger u. Walter [20] zeigten, daß auch Differenzfrequenzen im Tunnelstrom nachgewiesen (als Modulation) werden können, wenn mit zwei Lasern unterschiedlicher Frequenz bestrahlt wird. Zum anderen werden Photonen durch Wechselwirkung mit den Elektronen des Spitzenplasmas abgelenkt, durch Fluoreszenz an der Spitze, den Plasmonen oder dem Objekt gebildet oder auch durch den Tunnelstrom mittels Lumineszenz neu aufgebaut, die im Photonendetektor nachgewiesen werden, wie etwa bei Berndt u. a. [21], Berndt [22], nach Fischer, Düring, Pohl [23] in Reflexion. Hier muß die Energie der Strahlung zur Anregung ausreichen. Nach Dickmann u. Jersch [24] lassen sich auch Materialien der Spitze auf das Objekt über- und auch abtragen, was nach Schimmel u. Fuchs [25] auch ohne Bestrahlung möglich ist.

Wenn ein Photon sein Feld oder einen Teil seines Feldes verloren hat, so bildet sich ein Feld kontinuierlich neu. Nach Newton [1] läuft das Licht aalartig, nach Nieke [6] vervollständigt das Photon sein Feld auf dem weiteren Weg wieder. Das Huygensschen Prinzip war also teilweise berechtigt, das Photon emittiert laufend ein Feld, aber das Feld läuft nicht einfach vom Photon fort, sondern es kehrt nach Möglichkeit zu seinem Photon zurück. Nach der Wechselwirkung mit einem Elektron gemäß dem Compton-Effekt hat das Photon einen Teil seines Feldes verloren, es ist ein 'nacktes Photon'. Jedoch bildet das Photon erneut ein Feld, das seiner Energie und Frequenz entspricht, ein nacktes Photon ist es also nur kurzzeitig im Nahfeld und nur dort kann es nicht mit seinem Feld interferieren, denn es hat ja gar keines. Die Nahfeldoptik setzt nach dieser Hypothese voraus, daß das Photon ein unvollständiges Feld hat und so nicht normal mit diesem Feld interferieren kann.

Die Voraussetzungen zur Nahfeldoptik kann man unter diesen Gesichtspunkten zusammenfassen: Das Feld der Photonen ist nicht nur unsymmetrisch am Rücklauf behindert wie bei der Beugung, sondern bei der Nahfeldoptik muß das Feld ganz oder teilweise fehlen. Das Feld kann entweder nicht zum Photon zurücklaufen, es hat also sein Feld verloren, oder das Feld ist noch nicht fertig aufgebaut. Daher kann das Photon nicht wie üblich mit seinem Feld interferieren. Möglich ist das durch extreme Ausblendung oder Wechselwirkung mit kleinsten Teilchen ähnlich dem Compton-Effekt oder durch Neubildung von Photonen. Da das Photon laufend ein Feld aussendet, so bildet das Photon sein Feld neu, die Phase der Nahfeldoptik ist also zeitlich eng begrenzt.

7. Vergleich mit dem Schallfeld

Marti u. Krausch [17] verglichen die Nahfeldoptik noch mit Erscheinungen beim Schall, wo auch im Nahfeld Effekte auftreten, die auf eine höhere Auflösung weisen. Zwischen Schall und Licht bestehen aber grundlegende Unterschiede. Nach unseren heutigen Kenntnissen beruht der Schall in gasförmigen Medien auf periodischen Anregungen, aber dann auf Stoßprozessen. Die einzelnen Gasmoleküle bewegen sich örtlich nur wenig in Ausbreitungsrichtung bis sie das nächste Molekül treffen. Beim zentralen Stoß können sie ihre Energie weitergeben, bei exzentrischen Stoß wird nur ein

Teil der Energie abgegeben und es erfolgt eine Richtungsänderung. Diese Richtungsänderungen täuschen ein Huygenssches Prinzip vor und bewirkt beim Schall auch eine Beugung als Ablenkung. Eine Interferenz nur eines Molekül mit sich selbst gibt es in dieser Form beim Schall nicht, es sei man berücksichtigt die Wechselwirkung mit seinem Feld. Bei Eingrenzungen und periodischer Anregung ergeben sich Beugungen, die sich aber nur sehr eingeschränkt mit Licht vergleichen lassen. Tritt nun der Schall aus einer sehr kleinen Quelle aus, so haben in kurzen Entfernungen nur wenige Stöße stattgefunden und auch Abweichungen von der ursprünglichen Richtung spielen kaum eine Rolle, es existiert also auch ein Nahfeld mit abweichenden Eigenschaften.

Literatur

- [1] I. Newton, Opticks 1704;
Opera quae exstant omnis, Tom. IV, London 1782;
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; Bourgeois 1989.
- [2] A. J. Fresnel, Ouvres Complètes I. Paris 1866;
Abhandlungen über die Beugung des Lichtes. Oswalds Klassiker Nr. 215, Engelmann, Leipzig 1926.
- [3] E. Mach, Die Prinzipien der physikalischen Optik. Barth, Leipzig 1921.
- [4] H. Nieke, Newtons Beugungsexperimente und ihre Weiterführung. Arbeit 1 und 2.
- [5] Wie [4], Arbeit 3.
- [6] Wie [4], Arbeit 4.
- [7] Wie [4], Arbeit 5.
- [8] Wie [4], Arbeit 6.
- [9] Wie [4], Arbeit 12 und 13.
- [10] F. Chew, Science **161** (1968) 762; Physics Today , **23** (1970) 23.
- [11] F. Hund, Materie als Feld. Springer, Berlin, Göttingen, Heidelberg 1954, S. 379.
- [12] W. Heisenberg, ZS. f. Physik **43** (1927) 172-98
Gesammelte Werke, Series A / Part 1, S. 478-504. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo 1985.
- [13] W. Heisenberg, Die physikalischen Prinzipien der Quantentheorie. 2. Aufl. Hirzel, Leipzig 1941;
Unveränderter Nachdruck, B. I.-Hochschultaschenbuch Bd. 1, Wissenschaftsverlag, Mannheim, Zürich, Wien 1991, S. 10, 18, 58.
The Principles of Quantum Theory. Chicago 1930.
- [14] Wie [4]; Arbeit 13.
- [15] H. Raether, Surface Plasmons on Smooth and Rough Surfaces and Gratings. Springer Tracts in modern Physics Bd. 111, Springer, Berlin 1988.
- [16] U. Ch. Fischer a. D. W. Pohl Phys. Rev. Lett. **62** (1989) 458
- [17] O. Marti u. G. Krautsch, Phys. Bl. **51** (1995) Nr. 6 493-6.
- [18] Wie [4], Arbeit 10.
- [19] L. Arnold, W. Krieger a. H. Walter, Appl. Phys. Lett. **51** (1987) 786-8.
- [20] M. Völcker, W. Krieger a. H. Walter, Phys. Rev. Lett. **66** (1991) 1717.
- [21] R. Berndt, R. Gaisch, W. D. Schneider, J. K. Gimzewski, B. Reihl, R.R. Schlitter a. M. Tschudy, Phys. Rev. Lett. **74** (1995) 102-5. Science **262** (1993) 1425-7.
- [22] R. Berndt, Scanning Microscopy **9** (1995) 687-93.
- [23] U. Fischer, U. Düring, D. W. Pohl, Appl. Phys. Lett. **52** (1988) 249-251.
- [24] K. Dickmann u. J. Jersch, Phys. Bl. **52** (1996) 363-5.
- [25] Th. Schimmel u. R. Fuchs, Phys. Bl. **50** (1994) 573-4.