Über die Natur der Beugungserscheinungen II – Der Übergang vom Strahlen- zum Feldbegriff

Georg Maier

1. Einleitung

In dem ersten Teil dieser Darstellung wurden Beugungserscheinungen in der Form *subjektiver Versuche* beschrieben. Bei solchen ist das Auge selbst Teil der Versuchseinrichtung. Am Ort der Pupille werden Blenden in die Sicht eingeschoben, welche diese modifizieren. Das aufschlussreichste Experiment hierfür ist der Blick durch eine Spaltblende von etwa 0,1 mm Öffnung: Im Gesichtsfeld werden zum Spalt parallele Kanten von Hell-Dunkel-Kontrasten unscharf und bei genauerem Hinsehen darüberhinaus parallel verschoben vervielfältigt. Man kann auch sagen: Es wird das Bild in Richtung senkrecht zum Spalt verschmiert. Die angegebenen Versuchsreihen umfassen den Blick auf Punktlampen, Gasentladungslampen, das Hindurchblicken durch Blenden verschiedener Gestalt und Orientierung. Dadurch werden Phänomene aufgezeigt, welche einerseits über das Gebiet der sogenannten Strahlenoptik hinausreichen, andererseits aber gerade durch ihren Bezug zum Auge für das Verständnis der Bildentstehung von Bedeutung sind. (Siehe *Georg Maier* 1981 – im Folgenden als «I» zitiert). Ziel der gesamten Darstellung ist die Auseinandersetzung mit der Beziehung zwischen der Gestalt einer Blende und der ihr zugeordneten bildverwandelnden Wirkung. Das setzt den Gebrauch von mathematischen Operationen voraus, welche ihrerseits zu motivieren sind. Im vorliegenden, zweiten Teil soll dies versucht werden, während das erwähnte Ziel in einem dritten Teil erreicht werden soll.

In der Entwicklung der geometrischen Optik zur Wellenoptik ist eine Stufenfolge von Prinzipien zu finden, die das Verhältnis der Sicht zum Raummass in jeweils erweiterter Form verständlich machen (siehe hierzu auch *Georg Unger* 1961). Hier soll der Versuch gemacht werden, durch diese Folge gleichsam von unten herauf bis zu der Stufe zu gelangen, welche der Natur der Beugungserscheinungen entspricht. Dabei soll jeweils auf Erfahrungen geachtet werden, welche einen weiteren Gedankenschritt erforderlich machen. Der hier eingeschlagene Weg unterscheidet sich von der üblicheren Vorgehensweise, bei welcher ein in dieser Stufenleiter «höheres» Prinzip (hier vielleicht die elektromagnetische Strahlungstheorie) von vornherein zum Ausgangspunkt erhoben wird, von welchem aus das betreffende Problem als Sonderfall abgeleitet wird.

Im Sinn von *Rudolf Steiners* Darstellung der Erkenntnistheorie (1923) wird also angestrebt, den Gedankengehalt aufzusuchen, der bei einer jeweils konkret gegebenen Erfahrungsweise Zusammenhang in den Wahrnehmungen herstellt. Damit wird die Absicht weiterverfolgt, welche in «I» zur «subjektiven» Beobachtung der Beugungserscheinungen führte. In der üblichen Art Versuchsergebnisse mit der Theorie zu verknüpfen, bleiben zwei Dinge allzuleicht verborgen: Der experimentelle Befund wird nicht mehr als Wahrnehmung betrachtet, sondern bereits als «Realität». Andererseits erscheinen die Gedankenformen der Theorie als Artefakt, welches der Mensch willkürlich erzeugt und es gelingt nicht mehr, diese als «Wesen der Sache» aufzufassen. Ein in der gemeinten Art vorbildliches Verhältnis zwischen Wahrnehmung und Begriff stellt Goethe (1808) her, indem er den naturgesetzlichen Zusammenhang wesentlicher Bedingungen bei den Erscheinungen des Himmelsblaus und des Rots der untergehenden Sonne als Urphänomen zusammenfasst. Hier wird in den Gedankeninhalt nichts Überflüssiges eingeschleppt. Es geht allein um die Beziehung der Atmosphäre (der Trübe) zu Helligkeit und Dunkelheit. Durch die Reinigung der Begriffe auf das im konkreten Fall

Massgebliche tragen diese dazu bei, vom Bildhaften einer Erscheinung zur Realität zu gelangen aus der Einsicht in die notwendige Wirksamkeit der sie bedingenden Faktoren.

Wir versäumen die gemeinte Reinigung, wenn wir z.B. alle jemals bei «Licht» festgestellten Gesetzmässigkeiten zusammenzuschnüren versuchen in ein «Paket», das als Vorstellung, als Modell, die eigentliche materielle Realität beschreiben soll. Und es gehört zu den bedeutenden Entwicklungen der gegenwärtigen Physik, dass sich die Unzulänglichkeit dieses Verfahrens immer deutlicher herausstellt (siehe *W. Mückenstein* 1983, *P. d'Espagnat* 1979).

Die mathematische Behandlung optischer Erscheinungen verknüpft diese nicht durch menschliche Willkür mit geometrischen Beziehungen. Es ist aber nicht von vornherein selbstverständlich, die Bilder, welche wir *sehen* in Verbindung zu bringen mit Raumbeziehungen. So wenden wir uns der Frage zu: *Wie zieht räumliche Metrik in die Optik hinein?*

2. *Das Konzept optischer Wege*

Folgen wir den Überlegungen *George Berkeleys* (1709), so haben wir zwischen Seh- und Tastdingen zu unterscheiden. Während bei Tastdingen Körpermass (Elle, Fuss oder später Meter) angelegt wird, ist das Grössenmass der Sehdinge das Winkelmass. Die Ausdehnung des Gesehenen wird beispielsweise mit der Ausdehnung des Gesichtsfeldes verglichen. Indem wir den Arm ausstrecken, kann die Hand verschiedene Vergleichsmasse hergeben (Fingerbreite, Handspanne). Nur auf indirektem Weg werden z.B. Entfernungen optisch messbar (Triangulation von einer Basis-Strecke) und damit sichtbare Grössen als körperliche Ausdehnung interpretierbar.

Wenn wir versuchen, den räumlichen Zusammenhang zu verstehen, welcher durch Sehen im Raum entsteht, verlassen wir den Standpunkt, welcher durch das eigene Auge gegeben ist und wir versuchen dann, gleichsam von der Seite her auf Sichtbeziehungen blickend, in ihm geometrische Gesetzmässigkeiten zu erkennen.

Im Folgenden sollen die in der Optik gebräuchlichen geometrischen Prinzipien aufs Neue entwickelt werden. Dabei versuche ich, die Beziehungen der Gedanken zueinander hervorzuheben, um für die mathematische Behandlung der Beugungsphänomene eine möglichst weitgehende, von Modellvorstellungen gereinigte Basis zu schaffen.

Das Prinzip *gerader Sicht* geht hervor aus dem Gebrauch des Sehens zur Ausrichtung körperlicher Bewegung. Der direkte Weg wird von der Blickrichtung zum Ziel hin gewiesen. Zugleich können wir mit Hilfe des Auges Bauten, Wege, Einzäunungen geradlinig ausrichten. Je näher das Auge an die Fortsetzung einer Kante herangeführt wird, um so deutlicher bemerkt es irgendwelche Abweichungen von der Geraden. Der gespannte Faden ist wegen der Einwirkung von Seitenwind und Schwere dem Blick zur Bestimmung der Geraden unterlegen. Es ist naheliegend, die Gerade mit dem Blick in dem Begriff des *Strahles* zu verknüpfen.

Der gerade Weg ist zugleich der kürzeste Weg. Schon im Altertum (ich stütze mich im Folgenden auf die historische Darstellung von *Carathéodory* 1937) war man darauf aufmerksam geworden, dass die Sicht eine Verbindung auf kürzestem Weg herstellt. Auf *Heron* soll der Gedanke zurückgehen, dass damit das Spiegelungsgesetz zu begründen ist. Hinter einer ebenen Spiegelfläche sehen wir bekanntlich die vor dieser Fläche befindliche räumliche Anordnung in spiegelbildlicher Wiederholung. Wir haben den Eindruck, direkt auf ein Detail in diesem «Spiegelraum» hinzublicken. Die Entfernung vom Auge bis zum Ziel hinter dem Spiegel ist ebenso gross wie diejenige der Strecke, welche am Spiegel von dieser Sichtlinie abknickt und von dort aus zum entsprechenden