WISSENSCHAFTLICHE THEORIE DER WAHRNEHMUNG UND ERKENNTNIS *

Es zeugt von dem fortschreitenden wissenschaftlichen Interesse in unserer Zeit, dass sich die erkenntnistheoretischen Bemühungen immer mehr konzentrieren in der Erforschung des Wahrnehmungsvorganges. Ich möchte hier nur hinweisen auf die im letzten Jahrzehnt in mehreren Sprachen und Auflagen erschienenen umfangreichen Untersuchungen zur Phänomenologie der Wahrnehmung, besonders auf die Werke von Cornelio FABRO und Maurice MERLEAU PONTY. In der Tat ist ja die Wahrnehmung der Anfang unserer Erkenntnis, wenn auch nicht deren einzige Bedingung, wie der Empirismus meint. Vor allem führt eine Erforschung der Wahrnehmung aus dem logischen und sprachtheoretischen Bereich hinaus zu einer transzendentalen Ontologie. Es geht nicht mehr nur um die Feststellung einer logischen Wahrheit, nämlich ob ein Urteil sprachlich richtig formuliert ist und darum geeignet ist, zur Identifizierung im Gemeinten zu führen, und ob andererseits der im Urteil ausgedrückte Sachverhalt mit dem intendierten und wahrgenommenen Sachverhalt identisch ist, etwa wenn mir jemand sagt: „Heute ist der Himmel wolkenlos blau" und beim Hinaussehen meine Erwartung nicht enttäuscht wird. Vielmehr geht es bei der Erforschung der Wahrnehmung um die ontologisch-transzendentale Wahrheit, ob der Himmel wirklich und wahrhaftig blau ist. Allerdings birgt der Ausdruck „wirklich und wahrhaftig" eine tiefe und schwere Problematik in sich, die im Alltagsleben und von den philosophischen Richtungen eines naiven oder physikalischen Realismus zumeist übersehen Word.[1]

Ich möchte mit Untersuchungen über die sinnliche Wahrnehmung beginnen und dabei besonders ausführlich auf die visuelle Wahrnehmung eingehen, um vielleicht am Schluss -wenn noch etwas Zeit bleibt- einige Worte zu sagen zur Problematik einer rein geistigen, intellektuellen Wahrnehmung, zum Beispiel in der mathematischen Intiution. Die Gesichtswahrnehmung kann paradigmatisch genommen werden für das Funktionieren der zehn oder vielleicht noch mehr Sinne, die der Mensch hat: Sehen, Hören, Riechen, Schmecken, der Tastsinn, die Empfindungen von Wärme, Kälte, Schmerz und Kitzel, und

---

∗ Vortrag an der Universität Bamberg, Mai 1971.

∗ „Teoría científica de la percepción y del conocimiento"

[1] Eine ausgezeichnete Darstellung der hier angedeuteten Problematik bringt die Arbeit von H. ROHRACHER, *Objektiv und subjektive Wirklichkeit*, Schweizerische Zeitschrift für Psychologie und ihre Anwendungen, (1970).

schliesslich der kinaesthetische Sinn für die Muskelbewegungen und der Gleichgewichtssinn.

Allen diesen Sinneseindrücken ist gemeinsam die Verschiedenheit der subjektiven Eindrücke von den objektiven neurologischen Vorgängen. Die experimentelle Psychologie spricht von einem „Gesetz der spezifischen Sinnesenergien". Besonders klar ist das nachzuweisen für die an der Hautoberfläche lokalisierten Sinne. Wird mit einer Nadel ein Wärmepunkt berührt, so entsteht die Empfindung von Wärme, auch wenn die Nadel selbst kalt ist. Dieselbe Nadel kann eine Schmerzempfindung hervorrufen, wenn sie auf einen entsprechenden Nervenendpunkt trifft. Eine allgemein bekannte Tatsache ist, dass Wasser von der gleichen Temperatur als unerträglich heiss empfunden wird, wenn wir unser Gesicht hineintauchen, während es für unsere Hände nur lauwarm ist, einfach weil die Gesichtshaut mehr Wärmepunkte und weniger Kältepunkte enthält und darum mehr wärmeempfindlich und weniger kälteempfindlich ist. Allgemein kann man sagen - um dieses wichtigste Ergebnis unserer Überlegungen bereits vorwegzunehmen - , dass die neurologischen und cerebralen Vorgänge grundsätzlich von gleicher Natur sind, nämlich elektrochemische Prozesse, also letztlich elektronische Strukturveränderungen und Übergänge, während die zuordenbaren, subjektiven Wahrnehmungen, Gefühle und Empfindungen sich unterscheiden und völlig verschieden sind von den zugeordneten physiologischen Prozessen.

Wir wollen diese Verhältnisse, wie gesagt, vor allem am Beispiel der Gesichtswahrnehmung studieren. Das Auge kann schon deshalb unser vornehmster Sinn genannt werden, weil es nicht nur auf unserer Erde die Orientierung in die Ferne ermöglicht, sondern uns auch Kunde gibt von den kosmischen Weiten des Universums, bis in Entfernungen von mehreren Millionen Lichtjahren, mit Hilfe der gigantischen Spiegelreflektoren von Mount Palomar und Mount Wilson.

Ich möchte unsere Erörterungen in zwei Sachgebiete einteilen: 1. Die physikalische Natur des Lichtes, 2. Die physiologisch-neurologischen Prozesse, die unmittelbarer Anlass sind für die visuelle Wahrnehmung, für das Phänomen des Sehens und die gesehenen Phänomene.

Zum ersten Punkt - der physikalischen Seite - ist zu sagen, dass es drei Annäherungen gibt, um die Lichtausbreitung zu erklären: 1. die Strahlenoptik, 2. die Wellenfeld-Optik, und 3. die Quantenoptik und Quantenfeldtheorie. Die erste Annäherung, die Strahlenoptik , ist uns allen schon vom Physikunterricht in der Mittelschule her

bekannt. Erinnern wir uns an die Erklärung des Strahlenganges in einem photographischen Apparat. Das Wichtigste dabei ist, dass die Strahlen, die von einem selbst leuchtenden oder beleuchteten Körper herkommen, sich in einer kleinen Blendenöffnung vereinigen, überkreuzen und wieder trennen, um in einer günstigen Entfernung ein Abbild des betrachteten Gegenstandes zu entwerfen. Die optische Scharfeinstellung — im Photoapparat festes Linsensystem, veränderliche Entfernung zwischen Blende und Mattscheibe oder Film; im Auge veränderliche Linse, aber gleichbleibende Entfernung zwischen Pupille und Retina — interessiert uns hier nicht. Wohl aber ist von wissenschaftlich-philosophischem Interesse die Tatsache, dass es überhaupt so etwas gibt wie geradlinige Lichtstrahlen, welche die Struktur von Gegenständen über weiteste Entfernungen hin vermitteln und bewahren. Das Erstaunliche dieser Tatsache ergibt sich vor allem, wenn wir kosmische Distanzen in Betracht ziehen. Der nächste Fixstern, Alpha Centauri, ist etwa 8 Lichtjahre von uns entfernt. Ein Lichtjahr ist etwa 1013 km (10 Billionen, 10 mit 13 Nullen dahinter). Die fernsten Sternsysteme, die wir beobachten können, sind mehrere Millionen Lichtjahre von uns entfernt. Es ist schlechthin unbegreiflich, wie die Lichtstrahlen es fertig bringen, in geradliniger Fortpflanzunq über solche unvorstellbaren Distanzen hinweg die Struktur ihrer Quellen zu bewahren, statt sich nach allen Seiten hin chaotisch zu zerstreuen und aufzulösen, was sicher das Wahrscheinlichste wäre.

Die Sache wird noch mysteriöser, wenn wir Kontinuitäts-Betrachtungen anstellen. Das Bild eines Sternes, den ich beobachte, ist an jedem Punkt des Raumes, in dem ich mich bewege, gegenwärtig; denn ich sehe den Stern ja von jedem Blickpunkt meines Bewegungsraumes aus. In der Sprache der physikalischen Optik gesprochen: Von jedem Punkt meines Bewegungsraumes aus verbindet mich ein geradliniger Lichtstrahl mit dem Stern, den ich sehe. Trotzdem bilden alle diese Sehstrahlen ein kontinuierliches Ganzes. Denn ich kann ja nicht sagen: An diesem Punkt befindet sich ein Lichtstrahl, der vom Fixstern Alpha Centauri herkommt, und in einer Entfernung von einem Millimeter der nächste; denn das würde bedeuten, dass in einer Entfernung von etwa 1000 Lichtjahren - und dann sind Einzelsterne noch durchaus sichtbar — die Lichtstrahlen 1000 mm oder je einen Meter voneinander entfernt wären; was jeder Erfahrung widerspricht. Die Angelegenheit kompliziert sich merklich, wenn wir zum Beobachtungs-Radius von zwei Sternen übergehen; denn dann schneiden und überkreuzen sich zwei Lichtstrahlen in jedem Raumpunkt, der nicht in der Verbindungsgeraden der beiden Sterne liegt und nicht durch andere Gegenstände abgeschirmt ist. Gehen wir schliesslich zu den zahllosen und

unermesslich vielen Atomen und Molekülen der physikalischen Realität über, die alle Licht ausstrahlen oder reflektieren, dann gelangt man zu zahllosen und unermesslich vielen Überschneidungen und Kreuzungen der Lichtstrahlen an jedem beliebigen Raumpunkte. Ich vermeide bewusst den vagen Ausdruck „unendlich viele", weil er logisch-mathematisch nicht zu definieren ist.

Die Strahlenoptik dient dazu, die Vermittlung der äusseren Formen und Strukturen der beobachteten Gegenstände bis zum Eintreffen der von diesen ausgehenden Lichstrahlen im Auge oder in einer photographischen Kamera verständlich zu machen. Sie vermag aber nicht, das Sehen in Farben zu erklären. Diese Aufgabe erfüllt die Wellenfeld-Optik, die allein imstande ist, in alle Interferenz-Erscheinungen, die sich auf Grund der Beugung, Brechung und Streuung des Lichtes ergeben, eine befriedigende Einsicht zu gewähren, weil nur bei einer wellenförmigen Ausbreitung eine Überlagerung oder Superposition von Intensitäten oder Amplituden einmal einen verstärkten Effekt verursachen kann, nämlich dann, wenn jeweils ein Wellenberg mit einem Wellenberg zusammentrifft, während andererseits eine Auslöschung oder Anullierung erfolgen kann bei der Koinzidenz von Wellenberg und Wellental. Nach dieser Theorie breitet sich das Licht von jeder punktförmigen Lichtquelle aus in Kugelwellen mit der Geschwindigkeit c = 300 000 km in der Sekunde aus. Das bedeutet, dass ein dreidimensionaler Komplex von transversalen Schwingungen einer bestimmten Wellenlänge nach einer Sekunde eine Kugeloberfläche mit einem Radius r = c = 300.000 km erreicht hat, und nach t Sekunden mit einem Radius r = t . c. Als punktförmige Lichtquellen können wir Atome und Moleküle ansehen, aber auch Fixsterne in genügend grosser Entfernung; und die kontinuierlich erscheinende Fläche einer Hauswand oder der Milchstrasse ist in Wirklichkeit aus Myriaden von Atomen oder Sternen zusammengesetzt. Was in erster Näherung Lichstrahlen waren, das sind in der zweiten, genaueren Approximation der Wellenoptik die unendlich vielen (man verzeihe diesen vagen Ausdruck!) Radien oder Halbmesser vom Mittelpunkt der Lichtquelle aus hingezogen gedacht zu jedem Punkt der jeweiligen Oberfläche der Kugelwelle.

Subtil genaue Messungen in der Spektral-Analyse haben ergeben, dass jeder wahrgenommenen Farb-Qualität im physikalischen Bereich eine genau angebbare Wellenlänge entspricht, oder aber eine Mischung oder Überlagerung von verschiedenen Wellenlängen. Am einen Ende der Skala steht das langweilige Rot mit 7,8 x 10-5 cm (oder 0,000 078 cm); am anderen Ende das kurzweilige Violett mit 3,6 x 10'5 cm (oder 0,000 036 cm). Dazwischen liegen die übrigen Regenbogenfarben: von rot über orange, gelb,

grün und blau nach violett. Interessant ist die strukturelle Differenz zwischen der qualitativen und der physikalischen Anordnung: In der ersten besteht ein zyklischer Zusammenhang, der von blau und violett kontinuierlich zurückführt zu rot und orange; während in der zweiten die kürzeren Wellenlängen unmittelbar überleiten zum unsichtbaren Ultraviolett, zu den Röntgenstrahlen und schliesslich zu den kosmischen Gamma-Strahlen mit der Grenze der kleinsten Wellenlänge 10-13 cm; und auf der Seite der längeren Wellen folgen die infraroten Wärmestrahlen, die Hertzschen Wellen, die sich im Bereich der Zentimeter- und Dezimeter-Wellen berühren und überschneiden mit den in der Technik des Radars, des Fernsehens und des Rundfunks gebrauchten Wellenlängen der elektromagnetischen Felder, die schliesslich in den technischen Wechselströmen Hunderte von Kilometern Wellenlänge erreichen.

Für unser Problem der sinnlichen Wahrnehmung interessiert es besonders, dass physikalische Ursachen der gleichen Natur von Wellenschwingungen elektromagnetischer Felder, nur unterschieden in der Wellenlänge und demzufolge in der Frequenz, d. h. in der Anzahl der Schwingungen in einer Sekunde, ganz verschiedene Folgen in den qualitativen Empfindungen haben können. So wird ein Schwingungsfeld von 7,8 x 10-5 cm Wellenlänge noch als Farbqualität „Rot" empfunden; während etwas längere Wellen bereits nur mehr als ultrarote Wärme auftreten. Wie sehr würde sich unser Weltbild ändern, wenn wir nicht nur den winzigen Ausschnitt der sichtbaren Farben, deren Zusammenspiel den Eindruck Weiss ergibt, wahrnehmen könnten, sondern auch noch wie die Bienen ein Gefühl hätten für Ultraviolett, oder wie die Fledermäuse einen Radar-Sinn hätten! Vielleicht gibt es auf anderen Planeten geistbeseelte Lebewesen, die statt unserer armen zehn Sinne deren fünfzig oder hundert haben, und die vielleicht die ganze Skala der elektromagnetischen Felder direkt wahrnehmen können. Ihre Welt wäre unabsehbar anders. Aber wir wollen uns hier nicht in Phantasien und Spekulationen verlieren.

Was feststeht, das ist die grundsätzliche Differenz der qualitativen Wahrnehmung und der quantitativen physikalischen Zuordnung. Wenn man das Rätsel der Kontinuität auslässt, könnte man sagen: 7,8 x 10'5 cm ist noch Farbe, ist noch Rot; während 7,9 X 10-5 cm Wellenlänge bereits Wärme bedeutet. Dieselbe Kontinuitäts-Analyse waltet auch im Unterschied zwischen Strahlenoptik und Wellenoptik: Ein Lichtstrahl von nur einem Millimeter Durchmesser umfasst etwa 1500 elektromagnetische Transversal-Schwingungen, wenn er am Ende zur Wahrnehmung „rot" Anreiz gibt; erscheint jedoch im Bewusstsein ein blauer Lichtpunkt, so sind es etwa 3000 Schwingungen auf einen Millimeter Lichtstrahl-Durchmesser. Aus diesem Vergleich kann man entnehmen, warum

wir die Wellenoptik eine weitere Approximation in der Untersuchung der Feinstrukturen der elektromagnetischen Felder genannt haben, von denen das sichtbare Licht einen winzigen, aber für uns Menschen eminent wichtigen Ausschnitt bildet. Was wir soeben im Hinblick auf die erste Annäherung der Strahlenoptik gesagt haben, nämlich dass wir im freien Raum eine kontinuierlich-stetige Verteilung der Lichtstrahlen annehmen müssen, das gilt natürlich ebenso und noch mehr von den elektromagnetischen Wellenfeldern; denn der physikalische Feld-Begriff ist ja gerade ein Ausdruck für eine kontinuierliche Verteilung von Zustands-Grössen. Da diese Grössen oder Parameter keine körperlich-räumlichen Gebilde sind, sondern vielmehr an jedem Raumpunkt die Fähigkeit anzeigen, eine bestimmte Arbeit zu leisten (was die Physik „Energie-Zustände" nennt); und da somit ein energetisches Feld definiert werden kann als ein Inbegriff möglicher physikalischer Wirkungen, so tritt gerade wegen dieses Potentialitäts- oder Virtualitäts-Charakters der Wellenfelder kein Widerspruch auf zu dem, was wir im ersten Kapitel über die Unmöglichkeit eines aktuellen, körperlich-physischen Kontinuums ermittelt haben. Es ist von grossem Belang für ein auch philosophisches Verständnis der physikalischen Korrelate unserer Welt-Wahrnehmung, wenn wir uns ganz genau vergegenwärtigen: In jedem Raumpunkt überlagern und kreuzen sich unzählige elektromagnetische Schwingungen von verschiedener Wellenlänge, die von mehreren Kilometern bis zum billionsten Teil eines Millimeters reichen, und wovon das sichtbare Licht nicht einmal ganz von einem Tausendstel bis zu einem Zehntausendstel eines Millimeters Wellenlänge reicht, also weniger als eine Oktave umspannt. In jedem Punkt des Raumes, wo wir uns befinden, sind Tausende - ja vielleicht Millionen, denn wer vermag sie zu zählen? - von verschiedenen Melodien unhörbar gegenwärtig, sind unzählig viele Bilder unsichtbar gegenwärtig, sind Radio-Botschaften von fernsten Sternen und Sternsystemen und die Reste der kosmischen Höhenstrahlung gegenwärtig. Um diese Gegenwart nachzuweisen, genügt ein kleiner Transistor-Empfänger, ein kleines Fernseh-Gerät, die Empfangs-Einrichtungen der Radio-Astronomie und ein GEIGERsches Zählrohr. Und man kann nicht sagen, dass diese Melodie, elektromagnetischen Schwingungen bestimmter Frequenz überlagert, an diesem Raumpunkt lokalisiert sei, während eine andere Melodie, einer anderen Frequenz aufmoduliert, an einem anderen Ort sich befinde, sondern sie durchdringen und mischen sich in jedem Punkt des Raumes. Der einfache Beweis für diese Tatsache, die man in die Worte kleiden kann: „Die Strahlung ist nicht lokalisiert", ist der Empfang elektromagnetischer Wellen in entsprechend sinnreich konstruierten Apparaten: Wir können die verschiedensten Melodien hören und die verschiedensten

Bilder auf dem Fernsehschirm sehen, wenn wir nur etwas die Einstellung ändern, während doch die Antenne ihre Raumlage nicht ändert. Das ist doch ein Beweis dafür, dass in jedem Raumpunkt alle Radio-Botschaften, alle Melodien und Bilder in gleicher Weise gegenwärtig sind. Warum das so ist, kann allerdings erst der Übergang zur dritten - und bisher feinsten, wenn auch noch lange nicht ganz durchforschten - Annäherung an die Fein-Strukturen des Lichtes und ganz allgemein der Strahlung zeigen, nämlich die Quanten-Optik und Quantentheorie der Wellenfelder.

Bevor wir jedoch zu dieser dritten Approximation der Quanten-Feldtheorie übergehen können, ist es angebracht, den Satz: „Die Strahlung ist nicht lokalisiert" etwas näher und genauer zu analysieren. Wir wollen zunächst die räumliche Ortung betrachten. Der grundsätzliche Unterschied zwischen Materie-Feldern und Strahlungs-Feldern ist klar: Während in einer Hauswand jedem Atom und jedem Molekül seine bestimmte Stelle im Raumganzen zukommt, kann man keineswegs dasselbe behaupten von jedem Lichtstrahl und dem zugehörigen Wellenfeld-Bündel, die gemeinsam Kunde geben von der Essenz und der Existenz tener Hauswand, und zwar die Lichstrahlen von ihrer Struktur, die Wellenbündel von ihrer Farbe. Vielmehr ist in jedem Raumpunkt im Umkreis um jedes Atom und Molekül der Hauswand die Gesamtheit der Botschaft, die durch das elektromagnetische Feld vermittelt wird, sozusagen allgegenwärtig - natürlich unter der Voraussetzung, dass sie nicht von anderen Gegenständen oder Materie-Feldern abgeschirmt wird -. Der Beweis für diese räumliche Nicht-Lokalisierung der elektromagnetischen Informationen ist die einfache Tatsache, dass wir die Hauswand von jedem Blickpunkt aus als ganze sehen können.

Eine zweite Bedeutung der Affirmation: „Die Strahlung ist nicht lokalisiert" lässt sich im Hinblick nicht nur auf die räumlichen Koordinaten x, y und z finden, sondern auch mit Berücksichtigung der zeitlichen Koordinate t. Alle Experimente, die bisher durchgeführt wurden, haben gezeigt, dass die Geschwindigkeit des Lichtes in jedem Bezug-System konstant ist, d. h. identisch bleibt unabhängig von den mechanischen Relativ-Geschwindigkeiten zwischen Lichtquellen (z. B. Doppelstern-Paaren, die um einen fiktiven gemeinsamen Mittelpunkt kreisen) und Licht-Rezeptoren (z. B. Beobachtern mit experimentellen Einrichtungen auf der Erde in verschiedenen Phasen ihres Umlauf es um die Sonne).

Wir haben bereits erwähnt, dass das Licht sich in Kugelwellen ausbreitet, die nach t Sekunden eine Kugel-Oberfläche mit dem Radius oder der Entfernung vom Ursprung der

punktförmigen Lichtquelle r = c . t erreichen, wobei c der vom Licht in einer Sekunde zurückgelegte Weg oder die Lichtgeschwindigkeit ist (= 300 000 km). Nach der analytischen Geometrie ist die Gleichung eines Kreisumfangs in jedem seiner Punkte, gemäss dem pythagoreischen Lehrsatz, dass das Quadrat über der Hypothenuse eines rechtwinkeligen Dreieckes gleich ist der Summe der Quadrate über den Katheten: x2 + y2 = r2. In dreidimensionaler Weise kann man diese Formel erweitern für eine Kugeloberfläche: x2 + y2 + z2 = r2 = c2 t2. Damit nun diese Gleichung gemäss der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit — welche das erste Prinzip von Albert EINSTEINS spezieller Relativitätstheorie darstellt; besser wäre der Name: Theorie des physikalisch Absoluten, nämlich der Lichtgeschwindigkeit — in jedem Bezug-System gilt und in ihren Werten identisch bleibt, sind Transformationen nicht nur der Raum-Koordinaten, sondern auch der Zeit-Koordinate notwendig, welche die nach ihrem Entdecker so genannten LORENTZ-Transformationen leisten. Es ist dies eine der wichtigsten Gruppen, welche die Symmetrie Eigenschaften der kleinsten Elemente , der Elementar-Teilchen oder genauer Elementar-Ereignisse ebenso bestimmen wie die Harmonien des Weltalls, des Universums in seiner ganzen Integration. Eine einfache Folge davon ist, dass es nicht die Raum-Zeit-Koordinaten sind, welche die Ausbreitung des Liches bestimmen, sondern , dass vielmehr das Licht - um es allgemein-verständlich und ohne mathematische Formeln auszudrücken - Herr ist über Raum und Zeit. Denn Raum- und Zeit-Koordinaten transformieren sich relativ zueinander, weil die Lichtgeschwindigkeit c in allen Bezug-Systemen konstant bleibt, d. h. bei allen Messungen denselben Wert behält.

Wir wollen nun zur dritten Annäherung in der Erforschung der Natur des Lichtes übergehen, nämlich zur Quantenoptik und Quanten-Elektrodynamik oder Quantentheorie der Wellenfelder. Der erste experimentelle Anlass zur Aufstellung der Lichtquanten-Hypothese war die Entdeckung des photo-elektrischen Effektes schon zu Beginn des 20. Jahrhunderts: Bestrahlt man Metalloberflächen mit kurzwelligem Licht oder Ultraviolett-Strahlen, so werden Elektronen aus den Atomen und Molekülen des Metalls ausgelöst. Durch entsprechende Verstärker-Einrichtungen können so elektrische Stromstösse erzeugt werden, die weitgehende technische Anwendung finden, z. B. zum automatischen Öffnen von Türen durch Einsatz einer Photozelle. Merkwürdigerweise haben exakte Messungen ergeben, dass die Energie der austretenden Elektronen gänzlich unabhängig von der Intensität der einfallenden Strahlung ist, wohl aber proportional zu deren Wellenlänge und somit zu der Anzahl der Schwingungen in einer Sekunde, der Frequenz f. Der Proportionalitätsfaktor zwischen der Frequenz f der einfallenden Strahlung und der

kinetischen Energie der austretenden Elektronen E = h . f erwies sich als identisch mit dem PLANCKschen Wirkungsquantum h. So konnte Albert EINSTEIN seine berühmte Lichtquanten-Hypothese aufstellen, die mit dem Nobelpreis gekrönt wurde: Bei Wechselwirkungs-Prozessen in der Grössenordnung von Atomen (10-8 cm) und Elektronen (1013) konzentriert sich die ganze elektromagnetische Energie in einem „Energiequant" h. f, das auch „Photon" genannt wird. Anders wäre der experimentelle Befund nicht zu erklären, dass auch bei ganz geringer Intensität des einfallenden Lichtes von Zeit zu Zeit Elektronen aus Metalloberflächen ausgelöst werden, allerdings sehr selten: Es ist so, als ob sich die sehr geringe Energie der Wellenfront bisweilen in einem Punkt vereinigen würde, um einen photoelektrischen Effekt zu erzeugen.

Die theoretische Quanten-Elektrodynamik ist heute - im achten Jahrzehnt des 20. Jahrhunderts - eines der schwierigsten Kapitel der Quantenphysik überhaupt, sehr viel komplizierter als die Quantenmechanik, vor allem wegen des Impaktes der mathematischen Unendlichkeits-Problematik und der zu ihrer Ausschaltung im physikalischen Bereich erforderlichen „Renormierungs-Vorschriften". Zu den bedeutendsten Forschern auf diesem Gebiet gehören der Japaner Sin-itiro TOMONAGA und die Amerikaner Julian SCHWINGER und Richard P. FEYNMAN, deren Arbeiten 1965 mit dem Nobelpreis geehrt wurden. Da wir jedoch möglichst bald zu den philosophischen Fragestellungen des Problems der optischen Wahrnehmung übergehen wollen, können wir nicht auf Einzelheiten der physikalischen Frontforschung von heute eingehen. Nur einige wenige Erinnerungen an die grundlegenden Eigenschaften der Lichtquanten oder Photonen, als dem physikalischen Korrelat unserer Gesichts-Wahrnehmung, sind unerlässlich vor Eintritt in die philosophische Diskussion:

1. Es ist experimentell nachgewiesen, dass schon einige wenige Lichtquanten — ja sogar im Extremfall ein einziges Photon — die unbeschreiblich komplizierten Vorgänge auslösen können, welche in unserem Nervensystem sich abspielen als physikalisch-physiologisches Korrelat einer subjektiven Licht-Empfindung.

2. Lichtquanten oder Photonen haben keine Ruhmasse, sondern nur eine elektromagnetisch-relativistische Masse auf Grund ihrer beständigen Bewegung mit Lichtgeschwindigkeit c, die nach der EINSTEINschen Energie-Masse-Frequenz-Formel: E h . f = m. e2 sich berechnet: Masse eines Photons = hf/c2. Der Wirkungsradius eines Photons ist sehr viel kleiner als die Wellenlänge des kurzwelligsten Lichtes (3,6 x 10"5

cm) oder der Radius eines Atoms (10$ cm), nämlich von der Grössenordnung der kleinsten Länge oder Elementarlänge 10'13 cm.

3. Die minimale Wirkungs-Konzentration der Photonen mit fast punktförmigem Radius und ihre geradlinige Ausbreitung mit Lichtgeschwindigkeit - mit einem Wort: ihre „Lichtstrahlen-Ähnlichkeit" - darf nicht zu einer falschen Materialisierung verführen, Lichtquanten etwa als kleine Körperchen, als winzige Staubkörner, die unvorstellbar schnell fliegen, zu betrachten. Das würde ihre ebenfalls vielfach experimentell bestätigte komplementäre Wellen-Natur völlig vernachlässigen. Allen physikalischen Erfahrungen zufolge sind Photonen keineswegs winzig kleine „Dinge" oder „Korpuskeln", sondern vielmehr Elementar-Ereignisse, das heisst instantane Wechselwirkungs-Konzentrationen einer immateriellen physischen Wirklichkeit, die wir „Licht" oder allgemeiner „Strahlung" nennen.

4. Schliesslich würde eine allzu grobe, korpuskular-materielle Auffassung der Photonen zwei prinzipielle Eigenschaften der elektromagnetischen Felder auslöschen, nämlich erstens: die Struktur-Bewahrung - denn ein Regen von materiellen Korpuskeln stört sich an allen Berührungspunkten und bewahrt keine Formen -; und zweitens: die kontinuierliche Entfaltung - denn Korpuskeln sind entweder da, oder dort; aber das elektromagnetische Feld bewahrt und vermittelt die in ihm eingeschlossenen Formen in einer gleichsam allgegenwärtigen Weise -.

5. Die letztere Tatsache - die wir kurz vorher mit dem Satz zu kennzeichnen versuchten: „Die Strahlung ist nicht lokalisiert" - findet ihre theoretisch-physikalische Erklärung in der Feststellung, dass Photonen der BOSE-EINSTEINStatistik gehorchen und daher nicht dem Ausschliessungs-Prinzip von Wolfgang PAULI unterliegen: Es können grundsätzlich beliebig viele Bosonen an einem und demselben Raumpunkt angetroffen werden.

Wir können die Ergebnisse unserer Untersuchungen über die physikalische Natur des Lichtes kurz zusammenfassen: Das wissenschaftlich erschlossene Korrelat eines von uns gestalthaft und qualitativ wahrgenommenen Objektes ist eine Konfiguration von Atomen und Molekülen. Wenn in deren Elektronenhüllen Anregungen zu höheren Quantenzuständen stattfinden, so wird beim Übergang in die Grundzustände elektromagnetische Strahlung ausgesandt von bestimmter Wellenlänge und Frequenz. Beim Zusammentreffen mit anderen Atomen oder Molekülen äussert sich diese Strahlung durch punktförmig konzentrierte Wirkungen, die Photonen oder Lichtquanten genannt

werden. Auch die physikalische Seite der Vorgänge, die zu einer Gesichtswahrnehmung führen, ist von dieser Art. Das für uns auch und gerade erkenntnistheoretisch-philosophisch Entscheidende dieser Ermittlungen lässt sich in zwei Sätzen ausdrücken: Erstens: Unsere visuelle Wahrnehmung der Welt hängt ausschliesslich ab von den variablen Zuständen der kleinen kreisrunden Oberfläche des elektromagnetischen Feldes beim Eintritt durch die Pupillen unserer Augen. Zweitens: In diesem ganzen physikalisch-wissenschaftlichen Aspekt unserer Welt-Wahrnehmung findet sich nirgends eine Gestalt- oder Farb-Qualität, sondern nur Anzahl und Richtung der ausgesandten Photonen und Wellenlängen und Frequenzen der zugeordneten Wellen-Felder. Mit anderen Worten: Wenn wir ein weisses Haus mit rotem Dach wahrnehmen, so gibt es in der ganzen physikalischen Umwelt keine Bilder von kleinen Häuschen und nichts Weisses und nichts Rotes, sondern nur strukturell-quantitative Veränderungen im elektromagnetischen Feld.

Diese grundsätzlichen Feststellungen ändern sich auch nicht, wenn wir nun von der physikalischen Natur des Lichtes übergehen zu den physiologisch-neurologischen Prozessen in unserem Zentralnerven-System, die schliesslich zum Akt der Wahrnehmung führen. Es fehlt uns leider die Zeit, die wunderbare Konstruktion des Auges näher zu betrachten, die sowohl in der Ontogenese wie in der Phylogenese nur teleologisch erklärt werden kann. Ausführliche Beschreibungen finden sich in den Handbüchern der Physiologie und physiologischen Psychologie. Es ist für unsere thematische Richtung auch nicht nötig, auf Einzelheiten der physiologischen Organisation einzugehen; denn es interessiert uns hier ja nicht so sehr, wie die - überdies recht verschwommenen und ungenauen - Bilder auf der Netzhaut im Hintergrund beider Augäpfel entstehen (übrigens Bilder, die nicht wir selbst sehen, sondern die nur ein Ophthalmologe mit einem Augenspiegel von aussen beobachten kann), sondern es interessiert uns der prinzipielle Unterschied zwischen physikalischen Vorgängen und subjektiv-qualitativer Wahrnehmung. Was objektiv physikalisch in den nur helligkeits-empfindlichen Stäbchen und in den für die bunten Farben empfindlichen Zäpfchen an der Oberfläche der Netzhaut vorgeht (genauer gesagt: die Zäpfchen sprechen auf eindeutig bestimmte, sogenannte monochromatische Frequenzen des elektromagnetischen Feldes an, die Stäbchen auf Überlagerungen von Wellen), das sind nun - in der exakten Sprache der Atomphysik und der Quantenmechanik - elektronische Übergänge und Struktur-Veränderungen. Dieselben strukturellen Alternationen pflanzen sich in den beiden Sehnerven in isomorpher Weise fort, bis sie in unfassbarer Art in den Ganglien des visuellen Zentrums der Grosshimrinde enden. Bis zu diesem Ende der physikalischen, elektro-chemischen Prozesse gibt es

keinen Schimmer von Licht, keinen Hauch von Farben, keine Spur von Formen und Gestalten; mit einem Wort: keine einzige Qualität. Im Gehirn verliert sich endgültig der Faden der strukturellen Prozesse, deren chiffrierte Botschaft dem Zentrum unserer Person Anlass bietet, den ganzen Reichtum einer qualitativ erlebten und wirklich wahrgenommenen Welt nach aussen zu projizieren. Mit der Umschreibung „Zentrum unserer Person" meine ich nichts anderes als die innere Mitte aller Wirklichkeit, die am neuen Beginn der abendländischen Transzendental-Philosophie René DESCARTES mit den einfachen, für alle verständlichen Worten charakterisiert hat: „Ich bin, ich denke, ich zweifle, ich sehe ein, ich erkenne, ich behaupte, ich sage nein, ich will, ich will nicht, ich ahne und ich fühle ..." Das Altertum und das Mittelalter, und in unserem Jahrhundert der vielleicht bedeutendste Physiker, Werner HEISENBERG, sagen dafür das einfache Wort: psyché - anima - Seele.

Der Grund dafür, dass wir von einer Projektion, einer Hinaus-Entwertung der Formen- und Qualitäten-Fülle der von uns wahrgenommenen Welt aus dem Innern und der Tiefe unserer Person sprechen, liegt darin, dass wir ja keinerlei direkten Kontakt mit den Dingen da draussen bis zu den fernsten Sternen haben, sondern nur chiffrierten, verschlüsselten Botschaften oder Nachrichten in der Weise von elektronischen Bewegungen in unserem Zentral-Nerven-System folgen. Was wir sehen, das sind ja nicht Abbildungen auf der Retina unserer Augen, sondern es ist die unermessliche Welt der Dinge da draussen. Das unfassbare Wunder ist die Übereinstimmung der von uns schöpferisch hinausentworfenen Welt mit den wirklich da-seienden Dingen. Wenn wir die Konturen von blauen Bergen vor uns sehen, dann gibt es natürlich in unserem ganzen Nervensystem keine blauen Berge, sondern nur elektronische Struktur-Veränderungen; aber wir können die Realität der von uns zugleich hinaus-projizierten und wahrgenommenen Welt überprüfen: Wir können ja auf die Berge hinaufsteigen. Diese Übereinstimmung ist nur zu erklären mit dem, was Gottfried Wilhelm LEIBNIZ „prästabilierte Harmonie" genannt hat. Nur würden wir seine Idee weniger formal, sondern mehr real und kausal auslegen. Werner HEISENBERG nennt das gleiche Prinzip „zentrale Ordnung der Welt".