

Zum Lichtprojekt von Yvonne Leinfelder

Zwischen Wissenschaft und Mythos: Was passiert, wenn Licht wird

Von Jörg Bochmann
(Quantenphysiker)

Was ist Licht? Seit mehr als 2000 Jahren beschäftigt sich der Mensch mit dieser Frage. Licht ist heute das am besten untersuchte und gleichzeitig rätselhafteste Phänomen, dem wir je begegnet sind. Mehr als einmal glaubte man des Rätsels Lösung gefunden zu haben, nur um eine oder mehrere Generationen später erneut auf unerklärte Eigenschaften zu stoßen. Seit Mitte des 20. Jahrhunderts hat sich die Erkenntnis durchgesetzt, dass die Frage, die wir an das Licht stellen, bereits ein bestimmtes Erklärungsmodell impliziert. Die "Natur des Lichts" wird demnach durch mehrere Modelle gleichzeitig beschrieben - die zwar die bekannten Phänomene richtig erklären, sich zum Teil jedoch heftig widersprechen und uns damit auf die Grenzen der menschlichen Erkenntnisfähigkeit hinweisen.

Und der Mensch liest, funkt, surft, wird zum Televisionär. Er deutet Zeichen und beginnt schließlich zu ahnen, dass der physiologische Akt des Sehens noch nichts erklärt. Mit dem Eintritt in ein mediales Zeitalter wird evident, dass Voraussetzungen der Wahrnehmung existieren, durch die erst die Verschiebung von der Bildhaftigkeit der Information hin zu ihrer semantischen Funktion ermöglicht wird. Es ist die zweite kopernikanische Wende des Sehprozesses, in dem der Sehende wieder und doch anders als in der Scholastik zum Akteur wird, der das Gesehene (re)konstruiert und das geometrische Gitter mit Bedeutung verfügt. Die mediale Natur des Lichtes wird aufs Neue offenbar, ohne dass sich dadurch seine Natur erhellt. The medium is the message. Aber was ist das Medium?

Ich möchte im folgenden **das „Lichtwerden“ in einem Raum** – gemeint ist damit ein exemplarisches „Zimmer“ und nicht die physikalische Entität – unter den Blickwinkeln verschiedener physikalischer Modelle beschreiben. Nicht alle sind gleich fundamental. Worauf ich abziele, ist vielmehr eine Überschreitung des alltäglichen Erfahrungsbereichs. Dabei wird hoffentlich klar, wie reich an Phänomenen und wie exemplarisch für unsere ganze Weltwahrnehmung dieser fast banal erscheinende Vorgang ist. Ich verzichte dabei auf Mathematik und Darstellung in Formeln und versuche Analogien zu entwickeln. Man darf sie deshalb auch nur als solche betrachten. Wie immer bei der Übersetzung ins metaphorische besteht die Gefahr des Missverständnisses oder der Verselbstständigung der Bilder. Jedem Beschreibungsmodell ist der Übersichtlichkeit wegen ein Raum - der doch immer derselbe ist, nur neu besehen - zugeordnet.

Raum 1: Planck-Strahlungsformel, Farbtemperatur und Lichtleistung

Verwandeln wir diesen Ort ins Imaginäre, wo wir wie Fremde in der Zeit alles wie in Zeitlupe gedehnt und mit beschleunigten Sinnen wahrnehmen. Unvorstellbar langsam bewegt eine Hand den Lichtschalter. In der Mitte der Bewegung etwa hört man ein leises Knistern, hinter dem Schalter ein bläuliches Flackern von

überspringendem Strom. Danach herrscht Dunkelheit wie zuvor. Allmählich glimmt da, wo wir die Zimmermitte und eine Lampe vermuten, ein schwacher rötlicher Schein auf. Es ist der kleine gewendelte Faden der Glühbirne, der vom Strom zum Glühen gebracht wird. Unsichtbar fließt die Elektrizität durch das Glühfädchen, ein Hagel von Elektronen, der das Metall durchrauscht, auf das Gefüge der Atome stößt, diese zum Schwingen bringt und das Glühfädchen dadurch immer weiter aufheizt. Zunächst nur wenige hundert Grad heiß, taucht der Glühfaden den ganzen Raum in ein mattrotes Licht, wie von einer späten Abenddämmerung. Indem die Temperatur des Fädchens weiter steigt, wird das Leuchten des Drahtes heller und seine Farbe verändert sich von einem Dunkelrot wie Lava, über Gelb-Orange wie Schmiedeeisen, wenn man es aus dem Feuer zieht, in eine gleißend weiße Glut. Dies alles in Bruchteilen von Sekunden.

Das heißt, kurz nach dem Einschalten des elektrischen Stroms sieht man den Raum erst rot erleuchtet, blaue Gegenstände bleiben zunächst dunkel. Dann kommen mit heißer werdendem Glühfaden allmählich gelbe, grüne und schließlich blaue Farbanteile im Licht hinzu, und die entsprechendfarbigen Gegenstände im Raum werden nacheinander sichtbar. Das Blau wird dabei in unserem Raum nie so intensiv wie bei Tageslicht, weil der Glühfaden nie die Temperatur der Sonnenoberfläche erreicht und sein Licht weniger blaue Spektralanteile enthält. Erst wenn die Lampe ihre endgültige Temperatur und ihr Licht seine endgültige spektrale Verteilung (Farbtemperatur) erreicht hat, bleiben die Farben des Raums stabil. Das Anschalten des Lichts im Raum ist deshalb wie eine in Bruchteilen von Sekunden ablaufende Morgendämmerung, bei der ein rötlich schwaches Licht in den hellen Tag übergeht.

Raum 2: Lichtausbreitung und geometrische Optik

Der Mensch erkennt nur deshalb Konturen und Gegenstände in einem Raum, weil das Licht bei seiner Ausbreitung eindeutigen Naturgesetzen folgt. Nur Aufgrund dieser Kausalität kann das Gehirn aus dem Lichtmuster auf der Netzhaut des Auges die Umgebung rekonstruieren. Licht breitet sich geradlinig aus - daraus folgt die geometrische Konstruktion der Lichtstrahlen, der Sehwinkel und die Perspektive. Paradoxe Weise kann man einen Lichtstrahl nicht sehen. Das einzige, was man sieht, ist der Lichtpunkt, den er auf der Netzhaut erzeugt.

Allerdings kann man seine Spur nachverfolgen: wenn ein Sonnenstrahl durch eine Wolkendecke bricht und die Luftfeuchtigkeit hoch genug ist (z.B. über dem Meer), sieht man scheinbar einen Strahl. Was man aber in Wirklichkeit sieht, ist nur das Licht, das aus dem Strahl in Richtung des Beobachters herausgestreut wird. Um im Bild zu bleiben: durch das Loch in der Wolkendecke stoßen unendlich viele Strahlen (die man summierend als "ein großer Strahl" beschreibt), die parallel in Richtung Meeresoberfläche laufen. Auf dem Weg dorthin treffen viele dieser Strahlen auf Wassermoleküle (die Luftfeuchtigkeit!) und werden dadurch aus dem "großen Strahl" herausgestreut. Einige davon wiederum treffen auf das Auge des Beobachters und erzeugen Lichtpunkte auf der Netzhaut. Sie sind ein Abbild der Spur dieses "großen Strahls" vom Loch in den Wolken zur Meeresoberfläche. Die Spuren der Lichtstrahlen, die auf das Auge treffen, sieht man genau deshalb natürlich nicht und dies ist das Paradox: man sieht nur den Teil des "großen Strahls", der sich eben gerade nicht geradlinig vom Wolkenloch zur Meeresoberfläche ausbreitet, sondern herausgestreut wird. Es ist lediglich vernünftig anzunehmen,

dass die Geradlinigkeit der Spur gestreuten Lichts, die der „große Strahl“ hinterlässt ein allgemeines Gesetz ist und ebenso für jeden anderen Lichtstrahl gilt.

Beim Einschalten des Lichts in einem Raum sieht man deshalb auch keinen Strahlenkranz, der sich um die Lampe ausbreitet, sondern nur das Licht, was von den Gegenständen im Raum in Richtung Auge reflektiert wird. Würde man den Raum mit leichtem Nebel (die Wassermoleküle!) füllen, könnte man dann im Prinzip mit einer unendlich schnellen Kamera sehen, wie beim Einschalten eine Kugel aus Licht sich um die Lampe als Mittelpunkt ausdehnt? ... nein. Wegen der unterschiedlichen langen Lichtwege zur Kamera, würde man als außenstehender Beobachter nie eine Kugel sehen. Die tiefere Bedeutung dieser Unmöglichkeit wird erst durch die Relativitätstheorie erklärt. Was bleibt ist die Möglichkeit, all diese Subtilitäten der Beobachtung aus einem Modell zu entfernen und auf die Geometrie zu vertrauen, sich einfach vorzustellen wie diese Strahlen geradlinig und in alle Richtungen vom Glühfaden aus in den Raum schießen, auf Hindernisse treffen, wieder und wieder abgelenkt werden und so bald den Raum mit einem Gewirr von kreuz und quer verlaufenden Geraden füllen – gegen das sich die Konstruktionszeichnung einer Zentralperspektive erstaunlich leer und geordnet ausnimmt.

Raum 3: Raum, Zeit, Licht und die Relativitätstheorie

Was sieht man, wenn man in diesen hellen Raum schaut? Vergangenheit. Und man schaut umso tiefer in die Vergangenheit je weiter man schaut. Das kann man am besten an einem Beispiel verstehen. In dem Raum stehen zwei Vasen mit frischen Blumen. Eine Vase nah, die zweite am anderen Ende des Raumes. Nehmen wir nur zur Verdeutlichung des Effekts an, Licht breitet sich in diesem Raum mit der Geschwindigkeit - vielmehr der Langsamkeit - einer Schnecke aus oder sogar noch etwas langsamer

Nach einiger Zeit beginnen die Blumen in ihren Vasen zu welken. Tatsächlich sehen wir die Blumen in der näher stehenden Vase bald zusammensinken, die in der entfernt stehenden Vase seltsamerweise jedoch nicht. Die Ursache ist, dass wir in der einen Vase die Blumen von heute, in der anderen die von gestern sehen. Das Licht von der entfernten Vase braucht wegen des weiteren Wegs viel länger (einen ganzen Tag bei unserem langsamen Licht) um zu unserem Auge zu gelangen. Man sieht von jener fernen Vase das Licht und die Blumen vom Vortag und deshalb erscheinen sie noch frisch! und obwohl Licht in Wirklichkeit sehr viel schneller ist (die Lichtgeschwindigkeit beträgt 300000 km pro Sekunde), benötigt es doch eine gewisse Zeit, um unseren Raum zu durchqueren. Man schaut also tatsächlich in die Vergangenheit zurück, wenn man den Blick durch den Raum streifen lässt.

Diese Argumentation ist zwar in ihrem Ergebnis etwas befremdlich, vertraut aber dennoch auf eine konventionell dahintickende Zeit. Aus genauen Messungen kann man jedoch ableiten, dass die Lichtgeschwindigkeit von universaler Bedeutung ist: kein Signal, keine Verknüpfung von Ursache und Wirkung kann schneller als mit Lichtgeschwindigkeit von a nach b gelangen. Diese Verknüpfung mit dem Kausalitätsbegriff führt dazu, dass ein neuer Begriff von Gegenwart entsteht. Gleichzeitigkeit von zwei Ereignissen x und y ist dann dadurch definiert, dass ein Lichtstrahl, der zum Zeitpunkt des Ereignisses x am Ort von x ausgesendet wird zum

Zeitpunkt des Ereignisses y am Ort von y eintrifft. Auf diese Weise definiert allein das Licht die Gegenwart und Zeitordnung der Kausalität. Das klingt esoterisch, ist aber die Grundlage der Relativitätstheorie, die mittlerweile durch Messungen gut bestätigt ist. In dem betrachteten Raum wird beim Einschalten des Lichts also das Raum-Zeit-Gefälle zwischen "hier" und "dort", die Metrik der Kausalität sichtbar gemacht.

Auf den Einschaltvorgang angewendet, ergibt sich, abgesehen von der Frage nach Kausalität und Gegenwart ein recht einfaches Verhalten. Die Lichtstrahlen breiten sich kugelförmig von der Lampe aus. Einige davon gelangen direkt ins Auge des Beobachters - sie haben den kürzesten Weg und man sieht den Glühfaden deshalb zuerst. Alle anderen Strahlen breiten sich weiter geradlinig aus bis sie auf ein Hindernis, die Oberfläche eines Gegenstands, treffen. Von dort werden wiederum ein paar Strahlen zufällig in Richtung des Beobachters reflektiert und treffen nach einer gewissen Laufzeit am Auge ein. Weil diese Laufzeit mit zunehmender Entfernung zwischen Gegenstand und Beobachter größer wird, treffen die Strahlen von weiter entfernten Gegenständen später am Auge ein. Könnte man in einer Simulation "langsameres Licht" verwenden, so würde beim Einschalten des Lichts zunächst der Glühfaden aus der Dunkelheit auftauchen, dann die nächstgelegenen Gegenstände. Die Grenze zwischen Dunkelheit und sichtbar gewordenem Gegenstand würde langsam in die gegenüberliegende Ecke des Raumes zurückweichen, um dann am entferntesten Punkt zu verschwinden. Das Raum-Zeit-Gefälle zwischen "hier" und "dort" wäre darin intuitiv enthalten: weiter entfernt liegende Gegenstände werden später sichtbar als die nähergelegenen. Die Gegenwart ist nur ein Berg aus Vergangenheit, auf dessen Spitze wir sitzen.

Raum 5: Die klassische Theorie elektromagnetischer Wellen

Vor der Entdeckung der Quantenphysik schien es kaum Zweifel daran zu geben, dass Licht eine sich im Raum ausbreitende Schwingung, also eine Welle ist. Es hat eine Frequenz und zeigt typische Welleneigenschaften wie Beugung und Interferenz. Nur war lange Zeit nicht klar, was da eigentlich schwingt. Bis weit ins 19. Jahrhundert hinein hatte man geglaubt, dass es einen Äther, einen Lichtstoff geben müsse, der das Universum ausfüllt. Danach setzte sich die Ansicht durch, dass das Licht den elektrischen und magnetischen Phänomenen verwandt sei. Maxwell fand schließlich eine äußerst elegante mathematische Beschreibung elektromagnetischer Feldphänomene und es zeigte sich, dass alle damals bekannten Eigenschaften des Lichts mit dieser Theorie der elektromagnetischen Wellen erklärbar waren. Man muss sich Licht demnach ganz so wie eine Radiowelle vorstellen: in einer Antenne schwingt ein elektrischer Strom, der den umgebenden Raum mit einem schwingenden elektrischen Feld ausfüllt. Alle schwingenden elektrischen Felder aber umgeben sich mit schwingenden magnetischen Feldern; diese wiederum umgeben sich mit ... schwingenden elektrischen Feldern. Und so weiter. Das heißt, von der Antenne gehen elektromagnetische Wellen aus, die sich im ganzen Raum ausbreiten - interessanterweise exakt mit Lichtgeschwindigkeit. Demnach unterscheiden sich Radiowellen und Licht nur dadurch, dass Licht eine sehr viel höhere Frequenz hat als Radiowellen. Denkt man sich Atome und Elektronen als kleine schwingende Antennen für Licht, hat man schon ein einfaches Modell für die Entstehung des Lichts.

Wenn man in einem Raum also das Licht einschaltet, wird er bald ganz von diesen elektromagnetischen Wellen erfüllt. Die Gegenstände im Raum bestehen aus Atomen, die wie Antennen für dieses Licht funktionieren und es absorbieren und wieder abstrahlen können. Die Eigenschaften dieser mikroskopischen Antennen bestimmen wie gut und in welchen Farben ein Gegenstand Licht absorbiert oder reflektiert. Man könnte mit Blick auf Radiowellen fast behaupten, dass sich alle Gegenstände im Raum ständig anfunken – der wichtigste Sender ist die Lampe, mit dem Klicken des Schalters geht er „on air“.