



UNIVERSITÄT  
HEIDELBERG  
ZUKUNFT  
SEIT 1386

Óscar Loureda (Hrsg.)

# LICHT

STUDIUM GENERALE

HEIDELBERG  
UNIVERSITY PUBLISHING



STUDIUM GENERALE  
der Ruprecht-Karls-Universität  
Heidelberg

Sammelband der Vorträge  
des STUDIUM GENERALE  
der Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg  
Wintersemester 2014/2015

Herausgegeben von der  
Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg

# Licht

Herausgegeben von  
Óscar Loureda

Mit Beiträgen von  
Matthias Bartelmann,  
Rolf Heilmann,  
Michael Hesse und  
Johann Kreuzer

HEIDELBERG  
UNIVERSITY PUBLISHING

### **Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie. Detaillierte bibliografische Daten sind im Internet unter <http://dnb.ddb.de> abrufbar.



Dieses Werk ist unter der Creative Commons-Lizenz 4.0 (CC BY-SA 4.0) veröffentlicht.

Die Online-Version dieser Publikation ist auf den Verlagswebseiten von HEIDELBERG UNIVERSITY PUBLISHING <http://heiup.uni-heidelberg.de> unter der Rubrik Campus Media dauerhaft frei verfügbar (open access).  
doi: 10.17885/heiup.studg.2016.0

Umschlagabbildung: [istock.com / sironpe](http://istock.com/sironpe)

Text © 2016. Das Copyright der Texte liegt beim jeweiligen Beitragsautor.

ISSN 2510-0254

ISBN 978-3-946054-17-7 (Softcover)

ISBN 978-3-946054-18-4 (PDF)

# Inhaltsverzeichnis

Vorwort	7
<i>Rolf Heilmann</i>	
Was ist Licht?	11
<i>Michael Hesse</i>	
Licht in der Architektur – Aufklärung und Einstimmung	31
<i>Matthias Bartelmann</i>	
Licht ins Dunkel bringen: Gravitationslinsen im Kosmos	49
<i>Johann Kreuzer</i>	
Das Licht als Metapher in der Philosophie	63



# Vorwort

Dem „Licht“ verdanken die Menschen ihre Existenz, doch nach wie vor wissen wir nur wenig über dieses faszinierende Phänomen. In der Wissenschaft ist Licht die Grundlage für vielerlei Anwendungen: Es kann Daten übertragen, Energie erzeugen, als Laserwerkzeug dienen, alternative Beleuchtungsmöglichkeiten schaffen und neue medizinische Behandlungen ermöglichen. Die UNESCO hat 2015 zum Jahr des Lichts erklärt mit der Begründung, an die Bedeutung von Licht „als elementare Lebensvoraussetzung für Menschen, Tiere und Pflanzen und daher auch als zentralen Bestandteil von Wissenschaft und Kultur“ erinnern zu wollen.

Mit Blick auf dieses Thema hat sich auch das Studium Generale an der Universität Heidelberg im Wintersemester 2014/2015 ganz dem weiten Spektrum der Erforschung des Lichts verschrieben. Wissenschaftler aus Disziplinen wie Astrophysik und Architektur, Kunstgeschichte, Philosophie, Biologie oder Chemie referierten dazu aus der jeweiligen Sicht ihres Fachgebietes. Die architektonische Bedeutung des Lichts im Wandel der Zeiten, lichtgesteuerte Bewegungen bei Pflanzen oder Gravitationslinsen im Kosmos, die Licht in das Dunkel des Universums bringen sollen, sind nur einige Fragen, die die zentrale Vorlesungsreihe der Universität thematisiert hat und für die wiederum eine erfreulich große Resonanz und Zuhörerschaft gewonnen werden konnte. Zu den Referenten gehörten neben Wissenschaftlern der Ruperto Carola auch Forscher aus Berlin, Braunschweig, München und Oldenburg.

Ich möchte an dieser Stelle allen Referentinnen und Referenten herzlich danken, die die Vortragsreihe mit der Vorstellung ihrer Forschungsarbeit ermöglicht haben und nun darüber hinaus auch der Veröffentlichung ihrer Beiträge im vorliegenden Sammelband zugestimmt haben. Wir wollen Ihnen, liebe Leserinnen und Leser, damit

die Möglichkeit bieten, die Vorträge in der Zusammenschau noch einmal nachverfolgen und nachlesen zu können.

Im ersten Beitrag dieses Bandes führt uns der Physiker Rolf Heilmann von der Hochschule für angewandte Wissenschaften München in das Thema ein. Er versucht zunächst die auf den ersten Blick einfach erscheinende Frage „Was ist Licht?“ zu beantworten und gibt einen Überblick über verschiedene Modelle, mit deren Hilfe man sich über die Jahrhunderte dem Phänomen Licht im Spannungsfeld von Religion und Kunst, Philosophie, Naturwissenschaft und Technik genähert hat. Dabei konzentriert er sich vor allem auf die Entwicklungen in der Physik, die Licht unter anderem als Strahl, Welle oder Teilchenstrom beschreiben.

Der Heidelberger Kunstwissenschaftler Michael Hesse vom Institut für Europäische Kunstgeschichte beschäftigt sich mit dem Thema aus der Perspektive der Architektur. Er spricht über die architektonische Rolle des Lichts im Wandel der Zeit sowie über seine Bedeutung als Element der emotionalen Einstimmung und im Zusammenhang mit der Psychologisierung von Architektur. Hesse erläutert, wie Licht und sein Konterpart, der Schatten, seit der klassischen Antike in Theorie und Praxis berücksichtigt und reflektiert wurden und bis heute unsere Wahrnehmung von Gebäuden bestimmen.

Matthias Bartelmann, Astrophysiker am Zentrum für Astronomie der Universität Heidelberg, eröffnet nochmals neue Dimensionen: Wir wissen heute, dass der größte Teil der Strukturen des Universums aus sogenannter Dunkler Materie besteht, weil sie nicht mit Licht wechselwirken kann. In seinem Vortrag stellt Bartelmann den sogenannten Gravitationslinseneffekt vor, mit dessen Hilfe sich diese Dunkle Materie untersuchen lässt. Er erläutert, wie mit dieser Methode inzwischen Planeten entdeckt oder die Massen von Galaxien gemessen werden konnten.

Der abschließende Beitrag von Johann Kreuzer, Professor für Geschichte der Philosophie an der Universität Oldenburg, nimmt uns erneut mit auf eine Reise durch die Geschichte. Kreuzer stellt in seinem Vortrag den Gebrauch der Licht-Metapher in der europäischen Tradition dar und geht dabei auch auf das Bedeutungsspektrum der Metapher ein, die sich in der Philosophie auf die Gegenstände der Erkenntnis, aber gleichwertig auch auf das Erkennen selbst bezieht.

Möglichst viele gewinnbringende Einblicke in das aktuelle Forschungsgeschehen wünsche ich nun Ihnen, liebe Leserinnen und

## Vorwort

Leser, bei der hoffentlich anregenden Lektüre. Ich würde mich freuen, Sie im Rahmen der nächsten Vortragsreihe des Studium Generale an der Universität Heidelberg wiederum begrüßen zu dürfen.

Óscar Loureda  
Prorektor



# Was ist Licht?

*Rolf Heilmann*

„*Was ist das. – Was – ist das...*“ – Mit diesen schlichten Worten beginnt Thomas Mann seinen Roman „Buddenbrooks“. Er beschreibt dabei, wie die kleine achtjährige Tony den auswendig gelernten Katechismus aufsagen muss und dabei immer wieder ins Stocken gerät.

Wer sich mit der Biographie Thomas Manns beschäftigt, weiß um den Hass, den er der Institution Schule entgegenbrachte. Er hat es wohl deshalb nie bis zum Abitur gebracht. Das sture, formale Auswendiglernen lag ihm nicht. Trotzdem oder vielleicht gerade deshalb kennen wir von ihm eine Reihe von Texten, in denen er komplizierte, abstrakte Sachverhalte mit der ihm eigenen Tiefe und mit fachfremden Worten ausleuchtet und darstellt. Auswendig gelernt ist da nichts. Man spürt es in seinen Texten, wie er regelrecht um die Begriffe ringt, um im Ergebnis die Sache auf den Punkt zu bringen.

Ich möchte deshalb einen Satz von ihm als Motto für diesen Vortrag wählen. In seinen Josephsromanen lässt er den Pharaos über das Licht und den, der es betrachtet, sagen: „Selige Helligkeit, die sich das Auge schuf, ihr zu begegnen.“ – Wie begegnen wir dem Licht, dem wir unsere Existenz zu danken haben?

Wir lernen in den oberen Klassen der Gymnasien, Licht sei ein Strom von Quanten. Das ist die gängige, aktuelle Beschreibung, mit der wir die meisten Phänomene und Effekte, die mit dem Licht zu tun haben, erklären können: Wir können begreifen, weshalb das Licht Voraussetzung für unser Existenz ist, denn ohne die Energie des Lichts gebe es keine Leben auf der Erde. Wir analysieren – an die in Heidelberg tätigen Wissenschaftler Gustav Kirchhoff, Robert Bunsen und Theodor Hänsch anknüpfend – Lichtspektren und können damit über die Ursachen des Treibhauseffektes, der unser Klima dominiert, bis zur Entwicklung des Universums ziemlich viel erklären. Zudem würde es die moderne Beleuchtungstechnik, Digitalkameras, Laser

oder die auf Licht basierende Kommunikationstechnik für Telefon und Internet, ja sogar die gesamte Elektronik ohne dieses „Bild“ vom Licht nicht geben.

In der Wissenschaft brauchen wir Begriffe, Definitionen und Gesetze, mit denen wir operieren können. Deshalb kommen wir auch heute in den Schulen nicht ohne das Auswendiglernen aus. Doch wenn wir etwas wörtlich wiedergeben können, heißt es nicht automatisch, dass wir den Sachverhalt wirklich verstanden haben.

Andererseits hinterfragen wir die erlernten oder uns durch alltäglichen Gebrauch vertraut gewordenen Begriffe nicht ständig. Denn wenn wir das tun würden, kämen wir nicht nur – wie die kleine Tony Buddenbrook – ins Stocken, weil wir den genauen Wortlaut der Definitionen nicht wüssten. Wir kämen sehr schnell an die Grenzen unseres Wissens und sogar an die Grenze des prinzipiell Wissbaren. Wir nutzen Begriffe, ohne immer genau zu wissen, was sie bedeuten. Am Beispiel Licht möchte ich das im Folgenden darstellen.

Wenn wir etwas Unbekanntes erklären wollen, uns selbst oder anderen, so müssen wir dieses Unbekannte auf Bekanntes, Vertrautes, Einfaches, möglichst auch Anschauliches zurückführen. Wenn wir dies können, sagen wir, wir haben etwas verstanden. Wir können dann die Sachverhalte in gewisser Weise akzeptieren.

Wenn wir diese Rückführung vom Komplizierten und noch Unbekannten auf das Einfache im Rahmen einer wissenschaftlichen Begriffswelt realisieren können, sprechen wir vom Aufbau eines Modells, das wesentliche Eigenschaften des Originals abbildet. Stützen wir das Ganze durch eine mathematische Beschreibung, sprechen wir von einer Theorie. Beim Phänomen Licht haben wir aber damit bis auf den heutigen Tag unsere Schwierigkeiten.

Licht als Strom von Quanten: Was ein Strom ist, wissen wir. Wir kennen Wasser- oder Luftströme als gerichtete Bewegung von kleinen Wasser- bzw. Luftteilchen. Denken wir dabei an den Neckar oder an den Wind. Deren Bewegung ist für uns unmittelbar sinnlich erfahrbar.

Wir haben diese Erfahrung auch auf den elektrischen Strom übertragen. Obwohl wir dessen Bewegung im Alltag nicht sehen, hat sich dieses Bild als eingängig für jedermann und vorteilhaft in Wissenschaft und Technik erwiesen. Allerdings muss erwähnt werden, dass man dieses Modell schon entwickelt hatte, bevor man wusste, was da eigentlich fließt. Man legte fest (!), dass es kleine, positiv geladene Teilchen seien, die sich vom Pluspol der Batterie zum Minuspol be-

## Was ist Licht?

wegten. Als dann im Jahre 1897 Joseph John Thomson das Elektron als „Stromträger“ entdeckte, erwies es sich als negativ geladen. Und es bewegte sich gerade in die entgegengesetzte Richtung. Die Ingenieure ließen sich davon aber nicht beeindrucken, blieben bei ihrer Festlegung und rechnen bis heute mit der „falschen“ Richtung. Hier sehen sie schon, dass der Begriff Strom nicht so einfach ist, wie es vielleicht den Anschein hat.

Licht als Strom ist noch viel schwerer zu greifen. Denn wenn wir fragen, was denn den Lichtstrom antreibt, geraten wir in Erklärungsnöte. Wasserströme werden durch die Erdanziehung angetrieben (alles fließt nach unten), beim Wind sind es Druckunterschiede, denn Luft bewegt sich von Gebieten mit hohem Druck in Gebiete, wo niedrigerer Druck herrscht. Elektrischer Strom hat seine Ursache in der elektrischen Anziehung unterschiedlich geladener Teilchen. Doch was bewirkt die schnelle, gerichtete Bewegung des Lichts?

Was treibt das Licht aus einem Laserpointer mit einer Geschwindigkeit von 300.000 Kilometern pro Sekunde an die Wand und von dort in die Augen des Zuhörers? Was treibt das Licht an, damit es in achteinhalb Minuten von der Sonne 150 Millionen Kilometer durch den leeren Raum auf unsere Erde gelangt? Was bewegt das Licht seit 13,8 Milliarden Jahren quer durch unser Universum? Mit Gravitation, Druckunterschieden oder elektrischer Anziehung ist das nicht erklärt! Wir müssen also eine Ursache suchen, die nicht offensichtlich und damit möglicherweise unseren Erfahrungen nicht zugänglich ist.

Und schließlich noch ein ganz entscheidendes Problem: Was bewegt sich denn beim Licht? Beim Wasser sind es die Wassermoleküle, beim Wind die Luftteilchen, beim elektrischen Strom haben wir die schon erwähnten Elektronen. Alle diese Teilchen haben eine Masse, sie sind wägbare. Wir können sie abbremsen und beschleunigen, auffangen und aufbewahren.

Doch sobald Licht irgendwo auftritt, verschwindet es. Es ist buchstäblich nicht greifbar. Es breitet sich auch dort aus, wo augenscheinlich „nichts“ ist: im Weltraum. Trotzdem kann es auch in einige durchsichtige Stoffe eindringen und sich dort etwas abgebremst und im Weg abgelenkt ausbreiten, um beim Austritt wieder mit der alten Geschwindigkeit und scheinbar unbeeindruckt von der leichten Verzögerung seinen ziemlich geraden Weg fortzusetzen.

Wenn sich Lichtstrahlen kreuzen, beeinflussen sie sich normalerweise nicht. Es kann aber auch vorkommen, dass sich Licht über

anderes Licht legt und es damit regelrecht auslöscht. Diesen Effekt nutzen wir beispielsweise bei der Entspiegelung von Brillen. Normales Tageslicht lässt sich beim Durchgang durch Glas oder Wasser in verschiedenfarbiges Licht aufspalten, das unterschiedliche messbare Effekte hervorrufen kann. Sie bemerken es selbst: Rotes Licht stimmt Sie ganz anders als grünes oder blaues.

All diese Effekte lassen sich erklären, wenn man annimmt, dass Licht von etwas getragen wird, was wir Quanten nennen. Doch was ist ein Quant? Nach der oben beschriebenen Vorgehensweise beim Erklären müssten wir das Quant wiederum auf etwas Einfacheres, Bekanntes zurückführen. Doch – und hier treffen wir auf eines der Hauptprobleme der modernen Physik – das geht nicht. Es gibt in unserer Erfahrungswelt nichts (!), was mit einem Quant vergleichbar wäre. Es hat einige Eigenschaften, die wir von kleinen, harten, lokalisierbaren Teilchen oder Bällen kennen. Es zeigt Eigenschaften, die uns von ausgedehnten, weichen Wellen bekannt sind. Es hat jedoch auch Eigenschaften, die uns von nichts Irdischem und Materiellem bekannt sind – zum Beispiel kann es in gewisser Weise hier und da gleichzeitig sein. Dabei ist ein Quant nicht teilbar. Zudem kann es sich mit einem anderen Quant so verbinden, dass es nach einer Trennung und über große Abstände hinweg mit seinem Partner auf wundersame Weise – Einstein nannte es sogar „spukhaft“ – verbunden bleibt.

Warum nun, werden Sie berechtigterweise fragen, misst man diesen Lichtquanten solche merkwürdigen Eigenschaften zu, die dem gesunden Menschenverstand eklatant widersprechen? Kann man nicht sagen, Licht ist ein Strom von irgendetwas anderem und dieses hat uns bekannte und nicht so widersprüchliche Eigenschaften? Oder vielleicht kann man auf die Vorstellung vom Strom verzichten und es lässt sich ein anderer Vergleich, ein gänzlich anderes Bild finden?

Nach allem, was wir heute wissen, kann man kein anderes Bild finden. Alle anderen Modelle blieben Stückwerk und konnten bestenfalls nur einige mit dem Licht verbundene Effekte erklären. So müssen wir leben mit diesen Widersprüchen und abstrakten Eigenschaften, die sich allerdings mathematisch fassen und handhaben lassen. Und wie die moderne Technik vom Licht, die Photonik, belegt, ist dieses Bild vom Quantenstrom auch ziemlich erfolgreich. Ich möchte im Folgenden kurz skizzieren, wie und warum wir zu diesem widersprüchlichen und irritierenden Bild gekommen sind.<sup>1</sup>

1 R. Heilmann: *Licht. Die faszinierende Geschichte eines Phänomens*, München 2013.

## Was ist Licht?

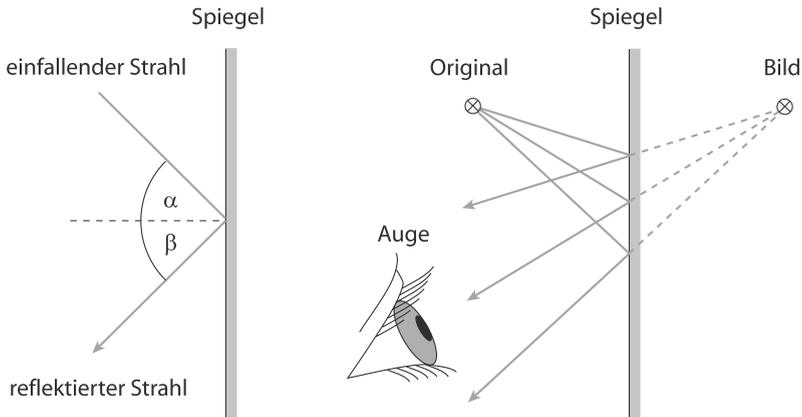
Durch das Licht können wir sehen. Licht fällt auf Gegenstände, wird an deren Oberfläche rückgestreut, gelangt in unsere Augen und erzeugt Signale, die weitergeleitet an unser Gehirn als visuelle Eindrücke aufgenommen und verarbeitet werden.

Doch das Sehen wird ja von uns als ein sehr subjektiver Prozess empfunden, der von uns selbst ausgeht und nicht unbedingt etwas mit dem Abstraktum Licht zu tun hat. Einige Denker des Altertums gingen daher davon aus, dass wir unsere Umgebung visuell wahrnehmen, weil unsere Augen „Sehstrahlen“ aussenden. Diese sollten die betrachteten Gegenstände „abtasten“. Die alten Griechen hatten die Erfahrung mit dem Tastsinn vor Augen: Was wir berühren, können wir erfühlen. Auf Pythagoras, im 6. Jahrhundert vor Christus, geht vermutlich die Vorstellung zurück, diese Wechselwirkung käme durch heiße Ausdünstungen zustande, die von den Augen zu den betrachteten Gegenständen ströme. Dort zurückgeworfen, werde diese Strömung umgelenkt und wirke so auf das Auge zurück. Empedokles verglich später das Auge mit einer Laterne, deren Strahlen die Welt erleuchteten. Wir sprechen ja heute auch noch vom „Augenlicht“.

Nach den Vorstellungen der frühen Atomisten verlief der Sehprozess jedoch umgekehrt: Danach lösen sich von den Gegenständen ununterbrochen hauchdünne Atomschichten ab, treffen auf unsere Augen und rufen dabei entsprechende „Eindrücke“ hervor. Doch alle diese Vorstellungen bleiben Spekulation, denn sie konnten weder bewiesen noch widerlegt werden. Also hielt man sich an die Gegebenheiten und diese besagen: Der Blick geht immer geradeaus.

Auf dieser Erfahrung bauend entwickelte wahrscheinlich Euklid um 300 v. Chr. – seine Urheberschaft ist allerdings nicht gesichert – eine axiomatisch aufgebaute Geometrie des Sehens, die er „Optik“ nannte. Dabei ging er zwar von der Vorstellung der „Sehstrahlen“ aus, doch deren Natur spielte bei seinen Ableitungen keine Rolle mehr. Wie wir heute wissen, ist es nicht von Bedeutung, ob sich die gedachten und gezeichneten Strahlen vom Auge zum Gegenstand oder umgekehrt von dort zum Auge ausbreiten. Die geometrischen Betrachtungen führten zu richtigen, grundlegenden Erkenntnissen, zum Beispiel dem Reflexionsgesetz von Lichtstrahlen. Damit lassen sich Bilder im Spiegel oder die Reflexionen der Sonnenstrahlen auf dem Wasser erklären [Abb. 1].

Das verwendete Strahlenmodell ist, wie jedes Modell, ein vereinfachendes Abbild der Wirklichkeit und darf nicht mit der Wirklichkeit selbst gleichgesetzt werden. So kann Licht zwar mit (ma-



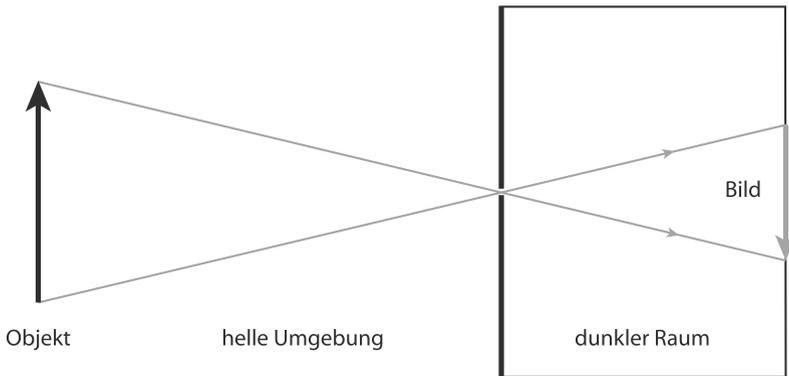
**Abb. 1:** Das Strahlenmodell vom Licht erklärt Reflexionen und die Entstehung von Spiegelbildern.

thematischen) Strahlen beschrieben werden. Es bedeutet aber nicht, dass Licht unabhängig von der Ausbreitungsrichtung „aus Strahlen besteht.“ Die Wesensfrage bleibt in der Naturwissenschaft im Wesentlichen ausgespart.

Nach dem Untergang Westroms wurden die wissenschaftlichen Traditionen fast ausschließlich in Byzanz und den aufstrebenden islamischen Reichen aufrechterhalten. So schlussfolgerte der in Europa unter der lateinischen Form seines Namens Alhazen bekannte Ibn al-Haitham aus seinen anatomischen Studien, dass Lichtstrahlen vom Auge aufgenommen werden. Er untersuchte den Weg des Lichts, um die Entstehung der Bilder im Auge genauer zu verstehen. Dazu benutzte er eine Camera obscura, ein – wörtlich aus dem Lateinischen übersetzt – „dunkles Gewölbe“. Sie ist die Vorläuferin unserer heutigen Kameras. Fällt Licht durch eine kleine Öffnung in einen dunklen Raum, dann erscheint an der Wand ein verkleinertes, auf dem Kopf stehendes Bild der Außenwelt [Abb. 2]. Wenn man außen Lampen bewegte, bewegten sich innen deren Bilder. Damit waren die Sehstrahlen vom Tisch.

Mit dem Zurückdrängen des Islam aus Spanien und Sizilien erhielten europäische Gelehrte Zugriff auf das arabische und griechische Wissen. Die im Mittelalter aus Latein- oder Domschulen hervorgegangenen Universitäten entwickelten sich zu geistigen Zentren.

## Was ist Licht?



**Abb. 2:** Die Entstehung von auf dem Kopf stehenden Bildern in einer Camera obscura mithilfe des Strahlenmodells.

Naturwissenschaften im heutigen Sinne – mit Experimenten und Messungen und mit mathematischer Formulierung der gefundenen Sachverhalte – wurden dort jedoch noch nicht betrieben. Trotzdem wurde um die Wende zum 13. Jahrhunderts von Albertus Magnus, Roger Bacon, Robert Grosseteste und anderen damit begonnen, das Wissen über die Natur und also auch über das Licht, in Enzyklopädien zusammenzufassen und durch eigene Beobachtungen zu erweitern. Doch die Erklärungen blieben zum größten Teil noch spekulativ.

Die vergrößernde Wirkung speziell geformter Glaskugeln oder Linsen war schon seit der Antike bekannt. Doch speziell geformte optische Elemente wurden vermutlich erst im 11. Jahrhundert als so genannte Lesesteine verwendet, um die nachlassende Sehkraft etwas zu unterstützen. Um das Jahr 1280 wurde in Italien schließlich die Brille erfunden.

Inwiefern Untersuchungen mit dem Strahlenmodell entscheidend zur Entwicklung der Sehhilfen beigetragen haben, ist nicht bekannt. Es ist wohl fast ausschließlich durch Probieren und Nachmachen soweit gekommen, dass die Brille allmählich zum Allgemeingut in den Klöstern, Schulen und Schreibstuben wurde. Die erklärende Wissenschaft hinkte hier lange dem praktischen Handwerk hinterher. Und auch Fragen zum Wesen des Lichts konnten nicht schlüssig beantwortet werden.

Letzteres änderte sich auch nicht, als zu Beginn des 17. Jahrhunderts mit der Erfindung von Fernrohr und Mikroskop der durch das Licht vorgegebene Erfahrungshorizont der Menschen deutlich erweitert wurde. Johannes Kepler konnte als erster den Strahlengang des Lichts in Fernrohren konstruieren. Zehn Jahre später fand der Niederländer Snell einen geometrischen Zusammenhang zwischen Einfallswinkel und Brechungswinkel eines Lichtstrahls [Abb. 3].

Einen ziemlich abstrakten Weg bei der Erklärung der Brechung beschrift der französische Mathematiker Pierre de Fermat. Er hatte eine Methode entwickelt, bei mathematischen Funktionen rechnerisch Maxima und Minima zu finden. Er benutzte dieses Verfahren, um den Weg der Lichtstrahlen bei der Brechung zu beschreiben. Dabei fand er heraus, dass Licht immer den Weg „einschlägt“, für den es die kürzeste Zeit „braucht.“ Dabei musste er annehmen, dass sich das Licht in Medien langsamer bewegt als im leeren Raum. Das hat sich später ja auch bewahrheitet.

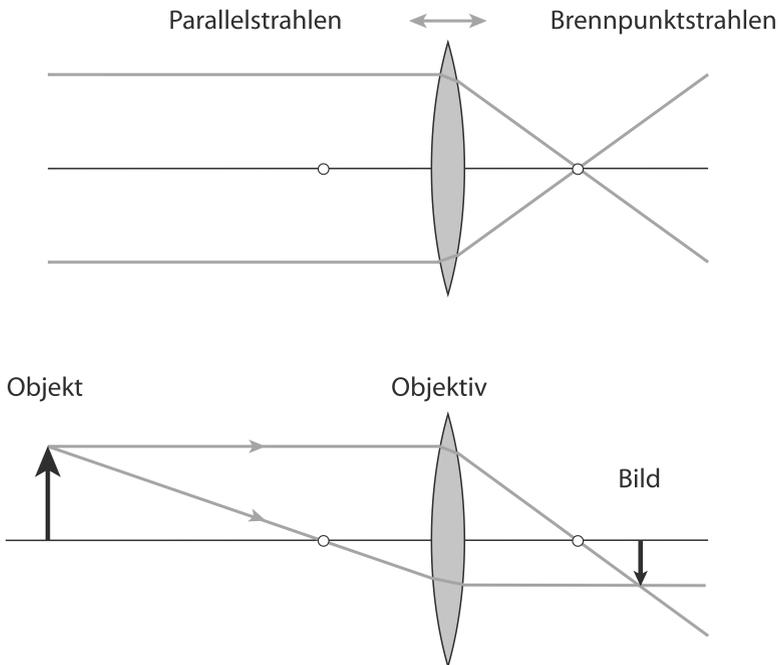


Abb. 3: Konstruktion des Strahlengangs bei Linsen.

## Was ist Licht?

Fermats Vorgehen bei der Ableitung ist insofern bemerkenswert, als er kein mechanisch-anschauliches Bild für das Wesen des Lichts benötigt. Er hat eine mathematisch formulierbare Vermutung, eine Hypothese, aufgestellt und damit einen Zusammenhang abgeleitet. Dieser ließ sich durch Messungen überprüfen.

Man betrieb an der Wende vom 17. zum 18. Jahrhundert natürlich nicht nur Optik. Besondere Erfolge feierte die Mechanik durch die Genieleistung von Isaac Newton. Die Welt wurde damit allmählich zur berechenbaren Maschine. Das führte im Wesentlichen dazu, dass während des ganzen 18. Jahrhunderts Licht als ein Strom von (wie auch immer gearteten) Teilchen angesehen wurde, deren Bewegung man mit Newtons Gleichungen beschreiben konnte.

Es gab jedoch eine Reihe von Beobachtungen, die man nicht schlüssig verstehen konnte: Man wusste nicht, wie man sich die Zerlegung des Lichts in die verschiedenen Spektralfarben an Prismen oder Wassertropfen erklären sollte. Es gab Farbmuster an dünnen Schichten, die aus farblosem Material bestehen. (Denken wir dabei an das Schillern von Seifenblasen.) Licht wird an Kanten und Spalten um die Ecke gelenkt. In bestimmten Kristallen spaltete sich ein Lichtstrahl in zwei unterschiedliche Wege auf. Das Resultat dieses Phänomens waren zwei Sorten von Licht, die sich bei Reflexion verschieden verhalten, die aber vom Auge nicht unterschieden werden können.

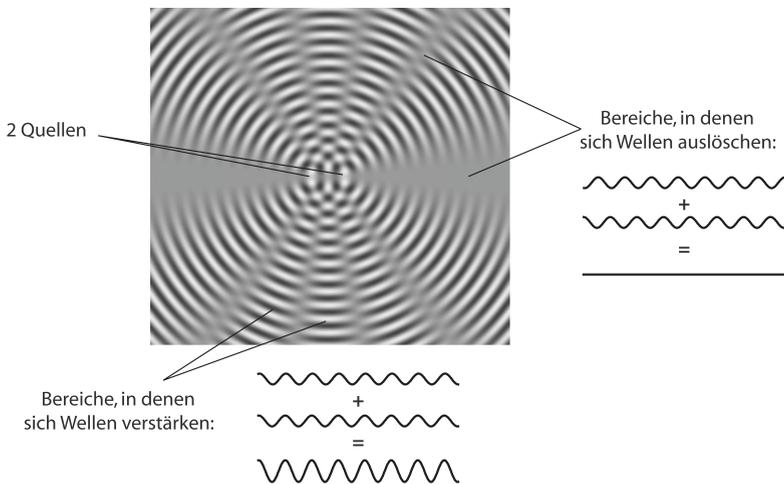
Dabei blieb natürlich im Hintergrund immer die Frage, wie man sich die Natur des Lichts vorzustellen habe. Einerseits schien Licht nichtmaterieller Natur zu sein, doch es benötigte – unsere Erfahrung lehrt das – einen materiellen Träger.

Schon René Descartes betrachtete im 17. Jahrhundert Licht als eine mechanische Eigenschaft der leuchtenden Objekte und der übertragenden Stoffe. Die Lichtausbreitung verläuft in seinen Vorstellungen wie eine Art elastische Druckfortpflanzung in einer überall vorhandenen sehr feinen Substanz, die in den folgenden zweieinhalb Jahrhunderten unter dem Namen „Äther“ einen festen Platz in vielen physikalischen Modellen einnahm. Descartes stellte sich diese merkwürdige Substanz aus kleinen Kügelchen bestehend vor, die aneinander stoßen und so die Wirkung des Lichts übertragen können.

Die Vorstellungen von Descartes wurden von Huygens, Grimaldi und Hooke weiterentwickelt, indem sie dem Licht Welleneigenschaften zuschrieben, wie sie vom Wasser oder vom Schall bekannt waren. Dabei wurden jedoch auch Erkenntnisse formuliert, für die man den geheimnisvollen Äther gar nicht zu Hilfe nehmen musste.

Einen großen Erkenntnisfortschritt erzielte der englische Augenarzt, Physiker und Sprachforscher Thomas Young. Er untersuchte um 1801 die Frage, wie sich Wellenvorgänge gegenseitig beeinflussen. Beim Wasser lässt sich das gut bei zwei Wellenvorgängen beobachten: Fallen zwei Steine in einigem Abstand gleichzeitig ins Wasser, durchdringen sich die Wellen gegenseitig und es ergeben sich sichtbare Streifenmuster. Diese so genannte Überlagerung, die Interferenz, erwies sich als typisch für alle Wellenvorgänge.

Die an Kanten und Spalten gefundene Lichtablenkung erzeugte solche charakteristischen Hell-Dunkel-Muster. Young erklärte dieses Phänomen, indem er das Licht als Wellen betrachtete, die sich überlagern können. Licht und Licht kann demnach unter bestimmten Umständen entweder doppeltes Licht oder Dunkelheit ergeben [Abb. 4].



**Abb. 4:** Das Wellenmodell erklärt Beugung und Überlagerung und die dabei entstehenden Interferenzmuster von Licht.

Young konnte durch seine Untersuchungen erstmals die Wellenlänge des Lichts – also den Abstand zwischen zwei Wellenbergen – auf ungefähr ein Millionstel Meter (= ein Mikrometer) abschätzen. Rotes Licht erwies sich dabei als „langwelliger“ als blaues.

Obwohl Youngs Experimente und Berechnungen gut nachvollziehbar waren, erfuhren sie wenig Beachtung. 15 Jahre später musste

## Was ist Licht?

deshalb der Franzose Fresnel, ohne die Ergebnisse Youngs zu kennen, zunächst ähnliche Experimente durchführen, und er gelangte zu mathematisch formulierbaren Beziehungen, die wir heute als Fresnelsche Formeln noch benutzen. Schließlich gab es keinen Zweifel mehr: Licht musste eine Welle sein!

Blieb nur noch eine wichtige Frage: Was schwingt denn beim Licht? Ist es wirklich der merkwürdige Äther? Die Antworten blieben noch für fast hundert Jahre unbefriedigend, doch es gab eine Richtung, in die man denken konnte: Es war der Elektromagnetismus.

Zur Erklärung einiger Effekte stellte sich der Engländer Michael Faraday um Magneten, stromdurchflossenen Drähten oder zwischen elektrisch geladenen Platten „Kraftlinien“ vor, die wir zwar nicht direkt wahrnehmen, doch durch ihre Wirkung nachweisen können. Er legte damit die Grundlage für den später in der Physik so wichtigen Begriff „Feld“. Ein Feld ist – einfach gesprochen – der Raumbereich, in dem Kräfte wirken.

Faraday war Autodidakt und besaß keine mathematische Ausbildung. Gerade deshalb dachte er wohl häufiger in Bildern als andere. Er konnte aber seine Vorstellungen von elektrischen und magnetischen Kraftfeldern nicht mit einer mathematisch formulierbaren Theorie untermauern.

Das blieb dem Schotten James Clerk Maxwell überlassen. Er konnte vier Gleichungen aufstellen, mit denen sich viele Effekte aus Elektrizität und Magnetismus beschreiben ließen. Doch das wohl Überraschendste waren die Lösungen dieser Gleichungen: Sie sagten voraus, dass sich mit einander verkoppelte elektrische und magnetische Felder in Form von Wellen mit Lichtgeschwindigkeit(!) ausbreiten können.

Als Heinrich Hertz im Jahre 1887 dann solche elektromagnetische Wellen erstmals technisch erzeugte und nachwies, war klar, dass Licht auch eine elektromagnetische Welle sein muss. Die Wellenlänge ist nur bis zu einer Million Mal kleiner als bei den Hertzschen Wellen, die später für Radio, Fernsehen oder Handy verwendet wurden.

Licht ist also ein periodisches Kraftfeld, das sich in seiner Ausprägung alle Mikrometer „wiederholt“ und das sich mit 300.000 Kilometer pro Sekunde im leeren Raum ausbreitet. Als man den Äther trotz größter Anstrengung nicht finden konnte, wurde klar: Licht und andere elektromagnetische Wellen sind objektiv vorhandene, wirksame Felder, die keinen materiellen Träger benötigen [Abb. 5].

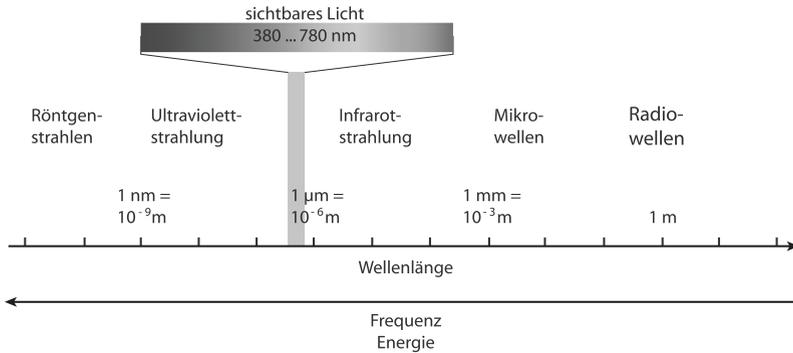


Abb. 5: Licht als Teil des elektromagnetischen Spektrums.

Mit der gedanklichen Abschaffung des Äthers am Ende des 19. Jahrhunderts schien die Physik prinzipiell vollendet zu sein. Die uns als klassische Disziplinen bekannten Gebiete Mechanik, Wärmelehre, Elektrizitätslehre und Optik waren etabliert. Die darauf aufbauende Technik funktionierte, und sie bildete die Grundlage für eine sich enorm entwickelnde Industrie. Es gab nur noch einige Randphänomene, die noch nicht geklärt waren, die seltsamerweise alle etwas mit Licht zu tun hatten. Ich möchte drei davon näher erläutern.

Das erste waren die Lichtspektren, die Kirchhoff und Bunsen nutzten, um chemische Elemente zu identifizieren. Es hatte sich herausgestellt, dass jedes Element bei Absorption oder Emission von Licht eine charakteristische Linienstruktur im Spektrum aufweist. Die Entstehung dieser Spektren war jedoch völlig unverstanden.

Zweitens war nicht klar, wieso nur Licht bestimmter Farbe beim Auftreffen auf eine Metalloberfläche einen elektrischen Strom hervorruft.

Drittens schließlich: Die spektrale Verteilung, d. h. die Farben des Lichts erhitzter Körper, seit Jahrtausenden aus den Schmieden bekannt, konnte nicht erklärt werden. Für die gerade sich entwickelnde Elektro- und Beleuchtungsindustrie war das natürlich wichtig.

Max Planck fand die Lösung des Problems für das ausgesandte Licht erhitzter Körper im Jahre 1900. Er ging dabei einen völlig neuen Weg in der Physik: Er nahm etwas allen Erfahrungen Widersprechendes an und kam damit zu vernünftigen Ergebnissen. Alle seine

## Was ist Licht?

Vorgänger waren von vernünftigen, erfahrbaren Annahmen ausgegangen – und waren gescheitert.

Planck setzte zwei Dinge voraus:

1. Er benutzte Statistik. Das heißt, er konnte nur Aussagen über ein großes Ensemble von atomaren Einheiten treffen – und nicht über ein einzelnes Element.
2. Alles, was schwingt, hat eine Energie, die ein Vielfaches einer bestimmten Energieportion, eines Quantums, ist.

Die zweite Annahme klingt derart konstruiert, dass Planck selbst zunächst auch immer nur vorsichtig von einer Hypothese sprach. Die kleinste Wirkung, die es demnach gibt, bezeichnete er mit  $h$  wie „h<sub>ilf</sub>!“ Trotz dieser merkwürdigen Annahmen konnte Planck die Spektralverteilung des Lichts erhitzter Körper exakt beschreiben.

Fünf Jahre später, 1905, nutzte und erweiterte Albert Einstein die Überlegungen Plancks und erklärte damit den lichtelektrischen Effekt, die Entstehung von Strom bei Lichtbestrahlung auf Metalloberflächen.

Mit seinen Erkenntnissen gab er den bislang immer noch als Hilfhypothese angesehenen Quanten quasi eine physikalische „Gestalt“. Seine Überlegungen waren die folgenden: Wenn Systeme nur bestimmte Energiewerte annehmen können, so muss die Aufnahme und Abgabe von Energie auch in Portionen erfolgen. Der Energieträger, also das Licht, kann folglich auch nur portionsweise, sozusagen in Teilen, existieren. Eine derartige Vorstellung widersprach jeglicher physikalischer Erfahrung! Seit nahezu einem Jahrhundert war klar, dass Licht als eine kontinuierliche Welle beschrieben werden kann.

Doch auch hier galt: Trotz der offensichtlich widersprüchlichen Annahmen konnte erst der Foto-Effekt erklärt werden. Schließlich erwiesen sich damit noch viele andere Effekte quantitativ fassbar.

Einstein setzte voraus, dass die einzelnen Lichtquanten ein Energiepaket von „ $h$  mal Frequenz“ besitzen. Je höher die Frequenz des Lichts, desto höher ist folglich die getragene Energie. Blaue Lichtquanten besitzen damit eine weit höhere Energie als rote. Nur wenn ein Lichtquant mit ausreichender Energie auf ein Elektron trifft, wird dieses aus dem Metall herausgeschleudert und fliegt durch den leeren Raum.

Zunächst benutzte man nur den Begriff Lichtquanten, um derlei Prozesse zu diskutieren. 1926 führte dann der Chemiker Gilbert Newton Lewis den Begriff „Photonen“ ein, der sich mit der Zeit etablierte.

Das „Herausschlagen“ von Elektronen mag zwar in diesem Bild einigermaßen einleuchtend sein, doch wir müssen bedenken, dass es sich in unseren alltäglichen Verhältnissen so verhalten würde, als wenn eine große, ausgedehnte Wasserwelle im Meer beim Auftreffen an Land sich zusammenziehen, verschwinden und mit ihrer Energie einen Kieselstein durch die Luft schleudern würde. Dergleichen war nie beobachtet worden.

Genauso widersprüchlich blieben die Prozesse beim Entstehen oder Verschwinden von Photonen. Niels Bohr entwickelte dazu 1913 ein Atommodell, mit dem sich quantitativ die Absorption und die Emission von Licht erklären ließen. Das Problem war aber nur: Das Modell fußt auch auf Annahmen, die der klassischen Physik und damit den alltäglichen Erfahrungen völlig widersprechen.

Besonders merkwürdig erschienen die sogenannten Quantensprünge: Wenn Elektronen Energie von Photonen aufnehmen, sind sie erst „unten“, dann „oben“ – aber „dazwischen“ sind sie nie. Man stelle sich derlei bei dem als Vergleich herangezogenen Kieselstein vor! Solche Prozesse sollten zudem auch nur mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit ablaufen. Wenn also ein passendes Photon auf ein Elektron trifft, bedeutet es nicht automatisch, dass dann ein Quantensprung stattfindet. Er ist möglich aber nicht sicher.

Am Anfang der zwanziger Jahre schien deshalb die Quantenphysik noch eine vorläufige Übergangs-Theorie zu sein, irgendwann würde man die „richtigen“, anschaulichen, widerspruchslösen und erfahrbaren Zusammenhänge erkennen. Doch es wurde nicht besser mit der Anschaulichkeit. Es wurde noch viel schlimmer. Die Modelle, die mit den Namen Schrödinger und Heisenberg verknüpft sind, seien hier genannt. Mit diesen Theorien stellte sich heraus, dass die im Alltag und der klassischen Physik gebrauchte Begriffe und Definitionen in der Mikrowelt zum Teil überhaupt keine Gültigkeit besitzen. Zudem setzte sich der ungeliebte Wahrscheinlichkeitsbegriff endgültig in der Physik durch. Die Naturwissenschaft wurde dadurch in ihren Grundfesten erschüttert. In der Welt der Atome war es nicht mehr möglich, den zeitlichen Ablauf von Prozessen genau vorauszusagen.

Daher blieben vorerst viele Zweifler – unter ihnen der große Einstein. So schrieb er in einem Brief an Max Born:

Die Quantenmechanik ist sehr achtunggebietend. Aber eine innere Stimme sagt mir, daß das noch nicht der wahre Jakob ist. Die Theorie liefert viel, aber dem Geheimnis des Alten

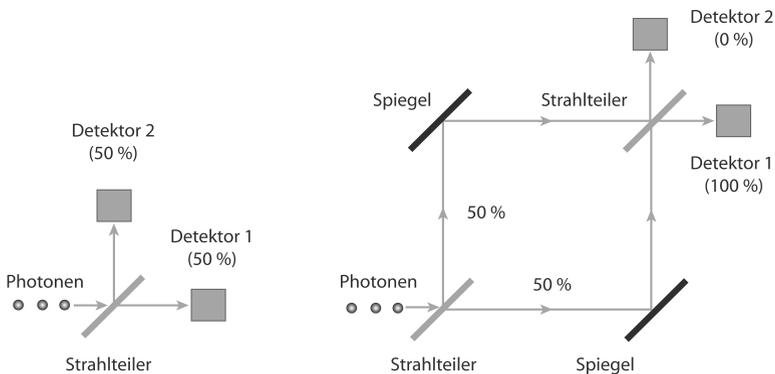
## Was ist Licht?

bringt sie uns kaum näher. Jedenfalls bin ich überzeugt, daß der Alte nicht würfelt.<sup>2</sup>

Doch „der Alte“, also Gott, scheint tatsächlich zu würfeln.

Eindrucksvoll zeigt sich das, wenn wir einzelne Photonen untersuchen. Gehen wir dazu von einem alltäglichen Beispiel aus: Licht fällt auf eine Glasscheibe. Ein kleiner Teil des Lichts wird reflektiert, der größere geht hindurch. Der Einfachheit halber wollen wir uns im Weiteren eine speziell beschichtete Glasscheibe vorstellen, die einen Lichtstrahl in zwei gleiche Strahlen mit jeweils halber Intensität aufteilt. Die beiden Detektoren in der Abbildung 6 (links) liefern daher das gleiche Signal.

Doch was passiert, wenn wir einzelne Photonen auf einen solchen „Strahlteiler“ schicken? Da sich ein Photon nicht aufspalten kann – es trägt ja schon die kleinstmögliche Menge an Energie – muss es entweder den einen oder den anderen Weg „wählen.“ Doch bevor ein Photon auf den Teiler trifft, kann niemand sagen, welchen Weg es einschlagen wird. Die „Entscheidung“ ist rein zufällig. Solche absoluten Zufälle wollte Einstein nicht akzeptieren, als er vom „Alten“ sprach, der würfele. So können wir an einer simplen Glasscheibe den statistischen Charakter der Quantenphysik erkennen.



**Abb. 6:** Links: Mit dem Quantenmodell lässt sich nur mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit vorhersagen, welchen „Weg“ die Photonen (als Teilchen gezeichnet) nehmen werden. Rechts: Photonen nehmen offenbar beide Wege gleichzeitig.

<sup>2</sup> A. Einstein, H. und M. Born: *Briefwechsel 1916–1955*. Reinbek bei Hamburg, 1972, S. 97 f.

Wie wir schon beim Wellenmodell des Lichts gehört haben, kann die Überlagerung von Licht zu Verstärkung oder zur Auslöschung führen. Wir erweitern den eben geschilderten Versuch etwas und führen die beiden Teilstrahlen über Spiegel und Strahlteiler wieder zusammen [Abb. 6 rechts]. So werden sich die Strahlen bei ihrer Überlagerung – abhängig von ihren verschiedenen Wegen – abschwächen oder verstärken. Die Detektoren können die entsprechende Lichtintensität messen.

Bei kontinuierlichen Lichtstrahlen ist das Ergebnis wieder wie erwartet: Bei Detektor 1 haben beide Teilstrahlen das gleiche „durchgemacht“: Sie wurden zweimal reflektiert und einmal durchgelassen. Das heißt, sie sind nicht gegeneinander verschoben und können sich so überlagern, dass die volle Intensität gemessen wird. Die Wege zu Detektor 2 unterscheiden sich jedoch: Beim unteren Weg wird das Licht einmal durchgelassen, einmal reflektiert und noch einmal durchgelassen. Bei oberen wird es dreimal reflektiert. Die Folge davon ist, dass die beiden Teilstrahlen so gegeneinander verschoben sind, dass sie sich auslöschen. Detektor 2 misst also kein Licht.

Doch was passiert, wenn wir einzelne Photonen durch diese Anordnung schicken? Das Photon wählt ENTWEDER den oberen ODER den unteren Weg. Das lässt sich nachweisen, wenn wir Detektoren hinter den ersten Strahlteiler einsetzen. Doch wenn wir die Wege offen lassen, dann treten am Ausgang tatsächlich Überlagerungseffekte auf: Die Photonen kommen immer am Detektor 1 an und bei Detektor 2 überhaupt keines. Wenn wir aber einen Weg blockieren, verteilen sich die restlichen Photonen 50:50 auf beide Detektoren. Das lässt sich nur erklären, wenn man annimmt, dass ein Photon GLEICHZEITIG auf beiden(!) Wegen zugange ist und es sich am Ende des Weges „mit sich selbst“ überlagert.

Einem einzelnen Photon kann daher offensichtlich kein genauer Weg zugeordnet werden. Es nimmt in gewisser Weise alle möglichen Wege auf einmal, und alle diese Zustände überlagern sich zu dem, was wir „Photon“ nennen. Und nur wenn ein Detektor (allgemein: irgendein Messgerät) ein Photon aufnimmt, bricht dessen weite räumliche Verteilung regelrecht auf den Punkt des Nachweises zusammen.

Doch damit ist es immer noch nicht genug mit dem merkwürdigen Verhalten der Photonen. So emittieren spezielle Strukturen (z. B. nichtlineare Kristalle) gleichzeitig zwei Photonen. Diese sind auf ungewöhnliche Weise miteinander verbunden (die Physiker sagen: „verschränkt“). Wird die Schwingungsrichtung eines Photons bestimmt,

so wird dadurch die Schwingungsrichtung des zweiten Photons – soweit es sich auch vom ersten entfernt haben mag – im gleichen Augenblick festgelegt. Die „Übertragung“ der Wirkung erfolgt dabei instantan, also offenbar mit unendlich hoher Geschwindigkeit.

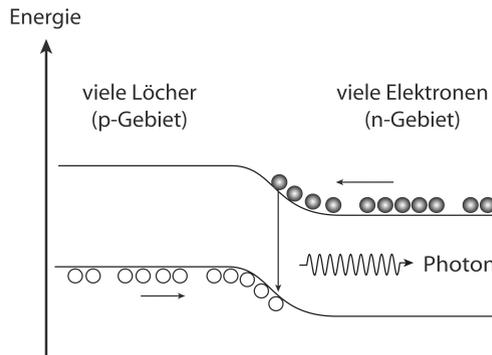
Auch wenn auf diese Weise weder Stoff noch Informationen transportiert werden, so lassen sich doch „Zustände“ übermitteln, indem man Photonen miteinander verkoppelt. Unter anderem in der Arbeitsgruppe um den Österreicher Anton Zeilinger konnte so 1997 erstmals eine solche „Quantenteleportation“ gezeigt werden, bei der ein Zustand von einem auf ein anders Photon übertragen wurde. In diesem Jahr (2014) gelang es Zeilingers Gruppe sogar, Photonen auf ein Objekt zu führen, und aus den anderen, verschränkten Photonen ein Bild dieses Objekts zu generieren.<sup>3</sup> Das aus Science-fiction-Filmen bekannte „Beamen“ wurde hier quasi in einer Vorstufe demonstriert.

Trotz der Widersprüchlichkeit und Unanschaulichkeit der Quantentheorie entwickelte man mit der Zeit einen gewissen Pragmatismus. Man wusste zwar um die Problematik der begrenzten Aussagekraft von Modellen, doch man benutzte – und benutzt noch heute – möglichst anschauliche Bilder, um die Gegebenheiten zu beschreiben. So lässt sich beispielsweise die Funktionsweise einer Licht emittierenden Diode (LED) im so genannten Bändermodell auf die im Bild 7 gezeigte Weise darstellen. Die Elektronen sind in der Realität keine Kugeln. Fehlende Elektronen sind es noch weniger. Photonen sehen auch nicht wie Zickzacklinien aus. Doch Ingenieure und Experimentalphysiker operieren in genau dieser Bilderwelt. Und ihr Erfolg – die moderne Technik – gibt ihnen Recht. Sie diskutieren nicht mehr über Sinn und Widersinn. Sie „machen“ einfach. „Shut up and calculate“ wurde hier zum geflügelten Wort.

Doch ungeachtet von so viel allgegenwärtigem Pragmatismus müssen wir noch einen Aspekt des Lichts berücksichtigen. Albert Einstein hat ja nicht nur das Lichtquant entdeckt, sondern er revolutionierte zudem unsere Vorstellungen von Raum, Zeit und dem gesunden Menschenverstand mit seiner Relativitätstheorie. In ihr kommt dem Licht auch eine zentrale Rolle zu.

In seinem „Wunderjahr“ 1905 veröffentlichte Einstein sowohl die Lichtquantenhypothese als auch seine Spezielle Relativitätstheorie. In der erkannte er, dass die Lichtgeschwindigkeit generell eine un-

<sup>3</sup> G. B. Lemos et al.: *Quantum imaging with undetected photons*, Nature 512, 409–412 (2014).



**Abb. 7:** Arbeitsmodelle zur Emission und Absorption des Lichts sind zwar „nicht ganz richtig“, doch erleichtern sie das Verstehen und Optimieren der ablaufenden Prozesse.

überwindbare Grenzggeschwindigkeit für Vorgänge darstellt, bei denen Energie transportiert oder Kraft übertragen wird. Licht kann im Vakuum gerade diese Geschwindigkeit erreichen. Für alles, was „schwer“ ist und eine Masse hat, ist diese Geschwindigkeit unerreichbar.

Die Photonen, die Lichtteilchen, haben jedoch keine Ruhemasse. Sie „wiegen nichts“ und können sich deshalb mit Lichtgeschwindigkeit fortbewegen. Je näher ein bewegtes System der Lichtgeschwindigkeit kommt, desto langsamer vergeht in ihm – von außen gesehen – die Zeit. Für Photonen dehnt sich die Zeit theoretische ins Unendliche. Für sie bleibt die Zeit stehen. Für ein Photon ist es also egal, ob es einen Zentimeter fliegt oder von einem Stern zu einem anderen. Wenn aber für Photonen der Zeitbegriff nicht definiert ist, dann gäbe es auch keinen Raum, da sich ja ein „Hier“ und ein „Dort“ nur durch eine Bewegung innerhalb einer Zeitspanne begreifen lässt. Unter diesem Aspekt bekommt auch die Verschränkung von Photonen einen ganz anderen Sinn: Die betreffenden Photonen „empfinden sich“ gar nicht als räumlich getrennt, denn sie haben sich ja gar nicht auseinanderbewegt.

Jedoch gibt es keine Theorie, aus der die „ewige“ Existenz von Photonen abgeleitet werden könnte. So könnten sie durchaus eine extrem kleine Masse haben, damit die Grenzggeschwindigkeit nicht ganz erreichen, ggf. in noch leichtere Teilchen zerfallen und folglich nicht ewig leben. Julian Heeck vom Max-Planck-Institut für Kernphysik

hier in Heidelberg untersuchte die Reststrahlung vom Urknall, die kosmische Hintergrundstrahlung.<sup>4</sup> Dabei stellte sich heraus, dass die Daten der These nicht widersprechen, dass Photonen durchaus eine winzige Masse haben und dadurch auch nur begrenzt lange leben könnten.

Es gibt noch viel zu tun, um hinter die Geheimnisse des Lichts zu kommen. Die Materie, die wir kennen, wechselwirkt mit Licht. Doch sie macht nur knapp 5 % dessen aus, was das Universum erfüllt. 23 % des Weltalls besteht aus sogenannter Dunkler Materie und der Rest aus Dunkler Energie. Mit anderen Worten: Von 95 % des Weltinhaltes haben wir keine Ahnung.

Möglicherweise kommen wir bei der Erklärung dieser ganz grundlegenden Phänomene an eine gewisse Grenze der herkömmlichen Physik, und wir brauchen völlig neue Ansätze im Denken. Dass wir in Zukunft mit noch abstrakteren und widersprüchlicheren Modellen operieren müssen, scheint fast sicher. Umso wichtiger ist es, dass wir um Begriffe und Vorstellungen ringen und uns Gedanken machen, wie wir über diese Erkenntnisse innerhalb der Physik-Community aber auch mit Nichtfachleuten sprechen können.

Auf Bilder, auch wenn sie die Sachverhalte nicht ganz richtig wiedergeben, werden wir da nicht verzichten können. Es gibt leider Tendenzen in den heutigen Schulen und Hochschulen, nur noch abstrakt zu argumentieren und dabei auf anschauliche Bilder zu verzichten. Das scheint mir der falsche Weg.

So können wir beispielsweise die Bilder des Michelangelo auch nicht als überlebte Vorstellung abtun – nur weil es beim Entstehen unserer Welt nicht genau so zu gegangen ist, wie wir es in der Sixtinischen Kapelle sehen. Analoges gilt natürlich auch für die wissenschaftlichen Bilder unserer Vorfahren. Die Praxis von Physikern und Ingenieuren lehrt, dass auf Bilder nicht zu verzichten ist. Wir müssen nur die Grenzen benennen und beachten, in denen die Modelle und ihre anschauliche Darstellungen Gültigkeit besitzen.

Sicher sollten wir uns beim Finden von Bildern auch auf die alten Denker besinnen, deren Weisheit ja das Resultat von Einsichten in grundlegende Sachverhalte, Strukturen oder Beziehungen in unserer Welt war. Diese sind heute immer noch vorhanden und wirken. Aber aufgrund unseres modernen Denkens, unserer neuen Maßstäbe und

4 J. Heeck, *How stable is the photon?*, Phys. Rev. Lett. 111, 021801 (2013).

unserer hochgezüchteten Sensorik können wir sie unter Umständen in unserer Informationsflut gar nicht mehr wahrnehmen.

Ich möchte deshalb anknüpfend an Thomas Mann mit einem schönen Zitat von Bernhard von Clairvaux aus dem 12. Jahrhundert enden. Er schreibt: „Reinige das Auge, damit du das reinste Licht schauen kannst.“ Diese Worte sollten für uns alle ein Programm sein.

# Licht in der Architektur – Aufklärung und Einstimmung

*Michael Hesse*

Viemals danke ich für die Einladung, über „Licht in der Architektur“ zu sprechen: Aber worüber genau könnte gesprochen werden? Das war die erste Frage, die sich nach der Zusage stellte. Eine Antwort würde Ideen für mehrere Vorlesungsreihen liefern. Deshalb möchte ich Ihnen heute zunächst berichten, worüber beispielsweise geredet werden könnte, worüber ich aber nicht rede, um Sie dann mitzunehmen in eine Epoche, mit der ich mich vorzugsweise beschäftige, nämlich das 18. und beginnende 19. Jahrhundert.

Ouvertüre zu einem Vortrag über Licht in der Architektur könnte das viel zitierte Diktum Le Corbusiers sein: „L'architecture est le jeu, savant, correct et magnifique des volumes sous la lumière.“<sup>1</sup> Architektur ist das kunstvolle, korrekte und großartige Zusammenspiel der Formen unter dem Licht. Jenseits von Le Corbusiers hohem Ton und seiner puristischen Ideologie scheint mir für unseren Zusammenhang besonders seine implizite Unterscheidung zwischen dem tatsächlichen baulichen Bestand und dessen Erscheinung unter den Bedingungen der jeweiligen Beleuchtung wichtig zu sein. Le Corbusier präzisiert selbst seine Aussage, wenn er darauf verweist, dass die von ihm bevorzugten Elementarformen unseren Augen durch Licht und Schatten enthüllt werden, „les ombres et les clairs relèvent les formes“.<sup>2</sup> Der tatsächliche bauliche Bestand kann vielleicht getastet und gewusst werden, aber nur unter den Bedingungen der Beleuchtung gültig gemäß den Intentionen des Schöpfers rezipiert werden.

Ein Leitgedanke zum Thema „Licht“ hätte also die Divergenz zwischen Faktum und Erscheinung sein können, die der klassischen

1 Le Corbusier [Jeanneret, Charles-Édouard]: *Vers une architecture*. Paris 1923, S. 25.

2 Le Corbusier [Jeanneret, Charles-Édouard]: *Vers une architecture*. Ausgabe Paris 1924, S. 16.

europäischen Architektur seit der Antike bewusst ist. Ein Blick auf die griechische Baukunst, etwa den Parthenon [Abb. 1] auf der Akropolis in Athen, zeigt das Kalkül der Baumeister bei der Gestaltung der Formen in Hinsicht auf ihre Wahrnehmung unter Bedingungen des Lichtes. Dazu gehören beispielsweise die Kanneluren der Säulen oder die Kontraktion der Eckjoche durch Verringerung der Interkolumnien. Das Gebäude wird da verstärkt, wo das Licht sozusagen an den Formen zehrt.

Es wird also schon hier ein Bewusstsein für den Unterschied zwischen Tasten und Sehen erkennbar, zwischen tatsächlichem, haptischem Bestand und optischer Erscheinung. Oder, um weitere begriffliche Gegensatzpaare der Bau- und Kunstgeschichte anzuwenden, zwischen Daseinsform und Wirkungsform oder zwischen *factual fact* und *actual fact*. Dementsprechend spielen in der klassischen Architektur Profile aller Art eine zentrale Rolle. Sie sind keineswegs nur eine der Grundform applizierte Ausschmückung, sondern stiften genauso Schönheit wie Proportionen, Stützensysteme oder Fensterformen. Dementsprechend sind sie nicht willkürlich anwendbar, sondern am Außenbau wie in der Innendekoration präzise hinsichtlich ihrer Licht-Schatten-Wirkung zu kalkulieren. Unter den Bedingungen von Materialien und Formen des Modernismus hat sich Ludwig Mies van der Rohe mit analogen Problemen beschäftigt und den Fassadeneinheiten seiner ab 1947 errichteten Lake Shore Drive Apartments [Abb. 2] Doppel-T-Träger als Äquivalent klassischer Pilaster zugunsten eines subtilen Licht-Schatten-Spiels vorgelegt.<sup>3</sup> „Der liebe Gott steckt im Detail“, pflegte bekanntlich Mies zu sagen, der neben seinem Arbeitsplatz Proben von Doppel-T-Trägern bereithielt, um deren Wirkung unter dem Licht kalkulieren zu können.

Wenn es um Licht gehen sollte, ließe sich auch ausgiebig über Baugestalt und platonisch-neoplatonische Lichtmetaphysik im Mittelalter reden, ein Lieblingsthema der mittelalterlichen Bau- und Kunstgeschichte um und nach der Mitte des 20. Jahrhunderts.<sup>4</sup> Die

3 Blaser, Werner: Mies van der Rohe, *Lake Shore Drive apartments. High-rise building*. Basel, Boston, Berlin 1999; Lambert, Phyllis: *Mies Immersion*. In: Lambert, Phyllis (Hrsg.): *Mies in America*. Montréal 2001, S. 192–589, bes. S. 364 ff.

4 Panofsky, Erwin: *Gothic Architecture and Scholasticism*. Latrobe 1951; Panofsky, Erwin: *Abbot Sugar on the Abbey Church of St. Denis and its art treasures*. Princeton 1956; Simson, Otto von: *Die gotische Kathedrale. Beiträge zu ihrer Entstehung und Bedeutung*. Darmstadt 1968.



**Abb. 1:** Athen, Parthenon, 447–438 v. u. Z., Iktinos, Kallikrates, Phidias.  
Foto: Foto Du Jour (gemeinfrei)



**Abb. 2:** Chicago, 860–880 Lake Shore Drive Apartments, 1947–1951, Ludwig Mies van der Rohe. Foto: Archiv des Verfassers.



**Abb. 3:** Pierre-Jacques Volaire: Die Girandola und die Illumination des Petersdoms, 1771, Privatsammlung. Foto: Institut für Europäische Kunstgeschichte.

Theologie des Lichtes gab demnach Anstoß zur Entstehung der Gotik vor der Mitte des 12. Jahrhunderts in der Ile-de-France. Es war mit Christoph Markschies ein Heidelberger Theologe, der unser Fach darauf hingewiesen hat, dass im Mittelalter das Reden über Licht topisch ist und sich auf Kirchenbauten ganz unterschiedlicher Formen und Stile beziehen lässt.<sup>5</sup>

Mit dem Thema „Licht“ wird aber auch ein Forschungsdefizit unseres Fachs angesprochen, nämlich der Einsatz von Kunstlicht zur Illumination von Architektur. Dies ist mitnichten ein Phänomen der Moderne und ihrer Nutzung der Elektrizität. Seit 1650 konnte beispielsweise in Rom am Peter-und-Pauls-Tag, dem 29. Juni, wie auch an anderen hohen Festtagen zur *Girandola* [Abb. 3], dem 1481 eingeführten Feuerwerk über der Engelsburg, der Petersdom nach einem Beleuchtungskonzept in etwa zehn Minuten durch Fackeln und Öl-

<sup>5</sup> Markschies, Christoph: *Gibt es eine „Theologie der gotischen Kathedrale“?* Nochmals: Suger von Saint-Denis und Sankt Dionys vom Areopag. Heidelberg 1995.

lampen illuminiert werden, eine Aufgabe der Fabbrica di San Pietro, deren Arbeiter darauf trainiert und im Klettern geübt waren.<sup>6</sup>

Goethe sah 1787 auf seiner Reise nach Italien eine solche Illumination, die ohne elektrische Beleuchtung letztmals 1937 durchgeführt wurde.<sup>7</sup>

Festliche Beleuchtungen dauerhafter und ephemerer Bauten gehörten zur barocken Festkultur. In jüngster Zeit erleben wir übrigens, auch aufgrund miniaturisierter und Energie sparender Leuchtmittel, einen fundamentalen Wandel des Beleuchtungskonzeptes für historische Monumente. Sie werden nicht länger angestrahlt, wie noch das Heidelberger Schloss, sondern leuchten mit zahlreichen Lichtquellen gleichsam aus sich selbst heraus, im Nachvollzug ihrer architektonischen Gliederung und ihrer Schmuckformen durch Licht. Von hier ist es nicht weit zum Kunstlicht als Gestaltungsmittel in Eventkultur und Stadtmarketing, wie etwa die Inszenierung historischer Monumente durch *Son et Lumière* in Frankreich. Und auch über Architektur aus Licht wäre zu reden, etwa über Albert Speers so genannte Lichtdome für die Olympischen Spiele 1936 und die Reichsparteitage 1934 und 1936. 150 motorisierte Flakscheinwerfer – die Reichweite der Flakscheinwerfer betrug 12 bis 15 Kilometer – und 2.000 weitere feste Lichtquellen mit einer Leistung von 3.100 KW projizierten schier unendliche Lichtsäulen in den Himmel.<sup>8</sup>

Aber eigentlich sprechen möchte ich über die Rolle des Lichtes und seines Konterparts, des Schattens, im Zusammenhang mit der Psychologisierung der Architektur im fortgeschrittenen 18. Jahrhundert. Damals wurden Bauten zunehmend als Anschauungsgegebenheiten begriffen, die statt des rationalen Nachvollzugs die seelische Einstimmung ihrer Betrachter bewirken sollten.

Ein Symptom für diese Psychologisierung der Architektur ist der Wandel der Architekturzeichnung hinsichtlich Funktion und künstlerischer Gestaltungsmittel.<sup>9</sup> Bis ins 18. Jahrhundert dominieren Architekturdarstellungen von hohem Abstraktionsgrad: Grundrisse,

6 <http://www.nonainvicta.it/storia-girandola-castel-sant-angelo.html> (12.07.2015)

7 Goethe, Johann Wolfgang von: *Italienische Reise*. Hrsg. v. Andreas Beyer und Norbert Miller. München 1992, S. 438 ff.

8 Krauter, Anne: *Die Schriften Paul Scheerbarts und der Lichtdom von Albert Speer. „Das große Licht“*. Heidelberg 1997.

9 Nerdinger, Winfried (Hrsg.): *Die Architekturzeichnung. vom barocken Idealplan zur Axonometrie*. München 1986; Hattori, Cordélia (Hrsg.): *Le dessin instrument et témoin de l'invention architecturale*. Paris 2014.

Aufrisse, Schnitte. Perspektivische Ansichten richten sich meistens nach den Mittelachsen. Licht und Schatten dienen der Verdeutlichung der Volumina und der räumlichen Staffelung. Die Zeichnungen können, etwa als Präsentationszeichnungen für Auftraggeber, sehr sorgfältig und ansprechend ausgearbeitet sein, Adressaten sind vornehmlich durch Profession oder Liebhaberei kompetente Betrachter, die aus solchen Informationen eine räumliche Vorstellung gewinnen können. Der eigentliche Bau entsteht sozusagen im Kopf.

Doch wird seit der Mitte des 18. Jahrhunderts, ausgehend von Italien und Frankreich, die Architekturdarstellung immer mehr durch bildmäßige Gestaltungsmittel angereichert. Besonders Piranesi und die Architekten aus dem Kreis der französischen Stipendiaten an der Académie de France in Rom zeigen Gebäude nicht länger objektiviert, sondern übereck in Schrägsicht, mit Landschaftselementen und Staffelfiguren sowie dramatischen Licht- und Schattenverhältnissen bei Wolkenballungen und scheinwerferartiger Beleuchtung [Abb. 4]. Diese neuen, bildmäßigen Schaulichkeiten sind damals durchaus von Fachleuten kritisiert worden, wie etwa durch Jacques-François Blondel, den prominentesten akademischen Architekturlehrer seiner Zeit.<sup>10</sup> Die suggestive Darstellung der Bauten lenke von der rationalen Prüfung des Entwurfs ab.

Der Wandel der Architekturzeichnung ist ein Symptom dafür, dass die äußere Erscheinung eines Gebäudes, seine Physiognomie sozusagen, unter den Bedingungen einer Beleuchtungssituation an Bedeutung gewinnt. Bis dahin war Architektur eine mit immanentem Vokabular und eigener Syntax redende Kunst. Jedes Gebäude stellte in der je besonderen Verwendung der konventionalisierten Typen, Formen und Formenkombinationen, insbesondere der klassischen fünf (Säulen-)Ordnungen, ein Angebot an den Betrachter dar, in rationalem Nachvollzug gelesen und verstanden zu werden. Dabei konnte aus der Baugestalt zugleich auf die Funktion und den Status des Besitzers geschlossen werden. Nunmehr aber soll Architektur, vor aller wissenden, rationalen Überprüfung, durch ihre bloße Erscheinung ganz unmittelbar auf die Seele des Betrachters

10 Blondel, Jacques-François: *Cours d'architecture, ou Traité de la décoration, distribution et construction des bâtiments contenant les leçons données en 1750 et les années suivantes*. 6 Bde. Paris 1771–1777, Bd. 1, S. 118 ff.; Pérouse de Montclos, Jean-Marie: *Les Prix de Rome. Concours de l'Académie royale d'architecture au XVIIIe siècle*. Paris 1984, bes. S. 28 ff.; Rabreau, Daniel: *Les dessins d'architecture au XVIIIe siècle*. Paris 2001.



**Abb. 4:** Charles De Wailly: Pavillon des Sciences et des Arts für Zarskoje Selo, Entwurf, 1772, Sankt Petersburg, Staatliche Eremitage. Foto: Archiv des Verfassers.

wirken: Paläste etwa sollen durch Majestät beeindrucken, Landhäuser beim ersten Anblick heiter stimmen, Kirchen beim Eintretenden sogleich Andacht erwecken, Gefängnisse schon durch ihr Äußeres abschrecken.

Als sein „Charakter“ wird diese Eigenschaft eines Gebäudes in der Architekturtheorie des fortgeschrittenen 18. Jahrhunderts bezeichnet.<sup>11</sup> Einen ersten, wichtigen Schritt zu der neuen Wirkungsästhetik vollzieht der Architekt Germain Boffrand in seinem 1745 erschienenen *Livre d'architecture*, wenn er vom notwendigen einheitlichen Charakter eines jeden Gebäudes spricht.<sup>12</sup> Dass ein Gebäude sich ohne jede Erklärung selbst aussprechen müsse, stellt 1785 der anonyme Autor der *Untersuchungen über den Charakter der Gebäude* fest.<sup>13</sup> Er unterscheidet verschiedene Charaktere: einfach, erhaben, prächtig, ländlich usw. Diese würden allein durch die Baugestalt, das Zusammenspiel der Formen, der lichten Partien und der Schattenzonen, ja

11 Szambien, Werner: *Symétrie, Goût, Caractère. Théorie et terminologie de l'architecture à l'âge classique 1500–1800*, Paris 1986, bes. S. 176 ff.

12 Boffrand, Germain: *Livre d'architecture*. Paris 1745.

13 Anonymus: *Untersuchungen über den Charakter der Gebäude. Über die Verbindung der Baukunst mit den schönen Künsten, und über die Wirkungen, welche durch dieselbe hervorgebracht werden sollen*. Dessau 1785.

sogar durch die landschaftliche Situation bewirkt. Selbst ein Prisma oder ein Zylinder seien keineswegs tote Formen, sondern Gegenstände der Empfindung.

Gegen Ende des 18. Jahrhunderts dient die Architekturdarstellung nicht mehr unbedingt der Verdeutlichung eines baulichen Sachverhaltes oder eines realisierbaren Entwurfs. Sie wird als Bild zu einer sich selbst genügenden Kunstleistung. Exemplarisch ist der Traktat des französischen Architekten Etienne-Louis Boullée, dessen Zeichnungen verschiedene Bauaufgaben in idealen, musterhaften Lösungen zeigen, begleitet von einem mit Emphase formulierten erläuternden Text.<sup>14</sup> Über diesem Traktat steht nun ein bei einem Architekten unerwartetes Motto: „ed io anche son pittore“ – „auch ich bin Maler“, ein dem Maler Correggio zugeschriebener Ausspruch. Der Architekt Boullée mag hier auch auf seinen ursprünglichen Berufswunsch, nämlich Maler zu werden, hingewiesen haben. Wichtiger ist jedoch seine programmatische Einleitung, in der ausführlich vom Licht in der Architektur gesprochen und die Rolle des Architekten als Demiurg, als Weltenbaumeister, beschrieben wird. Der Architekt kann, eben darin vergleichbar dem Maler, etwas erschaffen, ähnlich dem „Schöpfer, der Licht und Finsternis scheidet“, wie Boullée im Anklang an die biblische Schöpfungsgeschichte formuliert.<sup>15</sup>

Dementsprechend erläutert der Traktat nicht nur die architektonischen Fakten der gezeigten Entwürfe. Vielmehr betont Boullée, dass ein jedes Gebäude wie ein Gemälde seinen Charakter habe und dass es, wie der in einem Gemälde gezeigte Gegenstand, den Bedingungen des Lichts im jahreszeitlichen Wandel unterliege. Im milden Licht des Frühlings „weiche, schmiegsame Umrissse, die ihre Form nur andeuten“, im Sommer „volle Entfaltung der Formen“, „volle Leuchtkraft“, „strahlend“, „großartig“, im Herbst „fröhlicher heiterer Reichtum“, im Winter „Dunkelheit“, „Die himmlische Fackel ist erloschen“, „Die Formen sind im Versinken und ihre Umrissse kantig und hart“.<sup>16</sup> Ebenso reflektiert Boullée, wie das Licht in Innenräumen im

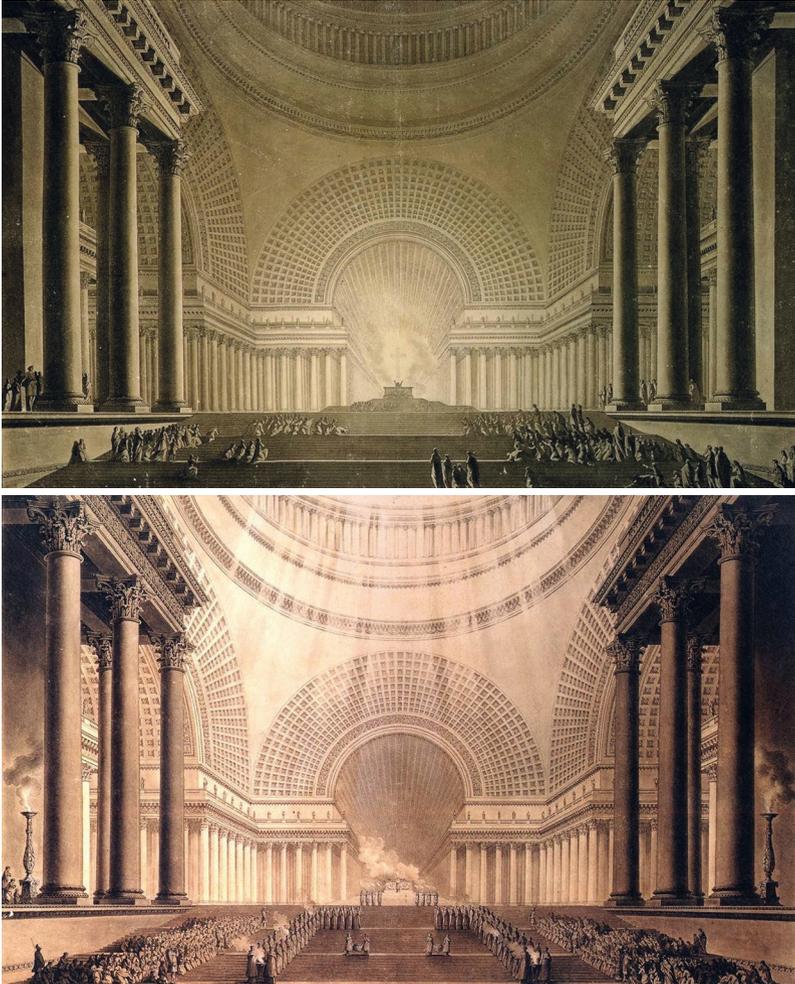
14 Boullée, Etienne-Louis: *Architecture. Essai sur l'art*. Paris, Bibliothèque nationale de France, Cabinet des estampes, MS français 9153, Pérouse de Montclos, Jean-Marie (Hrsg.): *Etienne-Louis Boullée. Architecture, Essai sur l'art*. Paris 1968: Wyss, Beat (Hrsg.). *Etienne-Louis Boullée. Architektur. Abhandlung über die Kunst*. Einführung und Kommentar von Adolf Max Vogt. München 1987.

15 Boullée, *Essai*, fol. 74; Wyss, *Boullée*, S. 49.

16 Alles im Kapitel „caractère“; Boullée, *Essai*, fol. 84; Wyss, *Boullée*, S. 66 f.

## Licht in der Architektur – Aufklärung und Einstimmung

Wechsel der Beleuchtungssituationen unterschiedliche Stimmungen erzeugt. Seine „Metropolitankirche“ zeigt er in Ansichten, im Grundriss und in Schnitten. Dem Blick in den Innenraum sind, bei gleicher Ausschnittwahl, zwei eindrucksvolle Bilder gewidmet [Abb. 5 und 6], die denselben architektonischen Sachverhalt in ganz gegensätzlichen Stimmungen wiedergeben.



**Abb. 5 u. 6:** Etienne-Louis Boullée: Metropolitankirche, 1781, Paris, Bibliothèque nationale de France. Oben: Innenansicht bei Dunkelheit; unten: Innenansicht bei Tageslicht. Fotos: Institut für Europäische Kunstgeschichte.

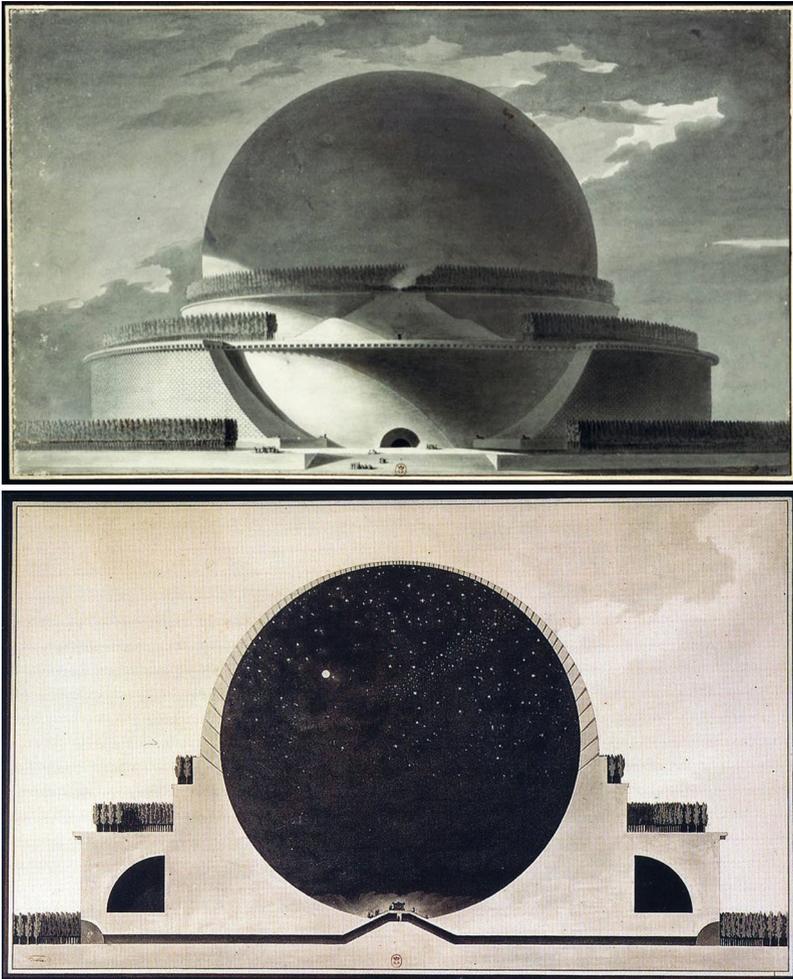
Auf dem einen Bild herrscht nächtliche Finsternis, nur eine Lichtquelle am Altar setzt schlaglichtartige Akzente auf die ansonsten tiefdunkle Kolonnadenarchitektur. Die Darstellung vergegenwärtigt die düstere Stimmung am Abend des Karfreitags. Auf dem anderen Bild hingegen dringen die Strahlen des hellen Sonnenlichts aus der Höhe der Kuppel in den Altarraum. Die heitere Stimmung entspricht dem Jubel und der Freude des Fronleichnamfestes.

Die Mehrzahl der in Boullées Traktat gezeigten Gebäude wären mit Material und Technik der Zeit um 1800 nicht zu realisieren gewesen. Keine Anleitung zum Bauen also, keine Planungsunterlage eines potenziell zu errichtenden Gebäudes, sondern dessen Bild ist auch Boullées berühmte Hommage „A Newton“, sein Entwurf eines Kenotaphs für den britischen Naturforscher Sir Isaac Newton.<sup>17</sup> Boullée gestaltet dieses Kenotaph als erhabenes, alle vorstellbaren Dimensionen überbietendes steinernes Abbild des Universums, als ein Kugelmonument, das in einem ringförmigen Unterbau nach Art von Mausoleen der römischen Kaiser eingesenkt ist [Abb. 7]. Ameisenklein sind die Menschen, die zum Eingang emporschreiten, um Newtons zu gedenken. Zwei Bilder zeigen das Äußere des Newton-Kenotaphs in unterschiedlichen Lichtstimmungen, einmal bei Tag unter dem hellen, diffusen Sonnenlicht und einmal bei Nacht im fahlen Mondschein. Der Innenraum wird ebenso in zwei Lichtsituationen vorgestellt. Bei Nacht erhellt ihn eine riesige Lampe im Form einer Armillarsphäre, einer Weltmaschine, auch dies ein Verweis auf die Leistung Newtons, der den Weltenbau und das Licht erklärt hat. Bei Tag [Abb. 8] bleibt das Innere im Wesentlichen dunkel und die Besucher sehen sich vom gestirnten Himmel umgeben. Denn die Wölbung der Kugel ist von vielen Lichtkanälen durchlöchert, durch die Tageslicht als sternartige Lichtpunkte eindringt. Dabei schummelt der Meister offensichtlich zugunsten seines schönen Bildes, indem er im Querschnitt die Lichtkanäle, entgegen der tatsächlichen Konstellation der Gestirne, als regelmäßige und symmetrische Abfolge von Schlitzern in der Wölbung darstellt.

Wie ein- und dasselbe Gebäude mit vergleichsweise wenigen Eingriffen grundlegend in seiner Lichtwirkung verändert werden kann, zeigt das Pariser Panthéon, das von Jacques-Germain ab 1764 als neue Abteikirche Sainte-Geneviève [Abb. 9] errichtet worden war.<sup>18</sup>

17 Vogt, Adolf Max: *Boullées Newton-Denkmal. Sakralbau und Kugelidee*. Basel 1969.

18 Petzet, Michael: *Soufflots Sainte-Geneviève und der französische Kirchenbau des*



**Abb. 7 u. 8:** Etienne-Louis Boullée: A Newton, 1784, Kenotaph für Isaac Newton, Paris, Bibliothèque nationale de France. Oben: Außenansicht bei Nacht, unten: Schnitt, Situation bei Tag und dunklem Innenraum. Fotos: Institut für Europäische Kunstgeschichte.



**Abb. 9:** Paris, ehem. Abteikirche Sainte-Geneviève, 1764–1790, Jacques-Germain Soufflot, Innenraum nach Osten, Stich von Poulléau, 1780, Privatsammlung. Foto: Archiv des Verfassers.

Die neue Kirche war das größte und ambitionierteste Bauvorhaben des vorrevolutionären Frankreichs, der Versuch einer Synthese der europäischen Modelle des Kirchenbaus, insbesondere der Verbindung von eleganten, antikisierenden Tempelkolonnaden mit einer kühnen, von der Gotik inspirierten Wölbung. Eine aufgeklärte Architektur im doppelten Sinne hatte der Architekt angestrebt: Einer Disposition von bestechender Rationalität entsprach diese gleichmäßig helle Reihe von großen Rechteckfenstern im unteren Umgang, Thermenfenstern im Obergaden und Tambourfenstern in der Kuppel beleuchteter Innenraum. Der Nachvollzug des Architektursystems dürfte unter dem hellen, diffusen Licht einem in der Baukunst gebildeten Menschen ein intellektuelles Vergnügen bereitet haben. Aber schon 1791 wird die weitgehend fertig gestellte, noch nicht ge-

18. Jahrhunderts. Berlin 1961; *Le Panthéon. Symbole des révolutions*. Paris 1989; Hesse, Michael: *Von der Neugotik zur Neugotik. Die Auseinandersetzung mit der Gotik in der französischen Sakralarchitektur des 16., 17. und 18. Jahrhunderts*, Frankfurt / M., Bern, New York 1984, 153 ff.



**Abb. 10:** Paris, Panthéon français, Umbau ab 1791, Antoine-Chrysostome Quatremère de Quincy. Foto: Institut für Europäische Kunstgeschichte.

weihte Kirche anlässlich von Mirabeaus Tod zum Panthéon français umgewidmet und durch Antoine-Chrysostome Quatremère de Quincy zum Mausoleum [Abb. 10] umgebaut. Quatremère entfernt einiges von der kleinteiligen Ornamentik zugunsten eines „caractère grave et sévère“.<sup>19</sup> Der eigentliche Eingriff jedoch ändert fundamental den Lichtstil. Die unteren Fenster werden zugemauert, die Glasfläche der oberen Thermenfenster hingegen durch Entfernung der Rahmen und Stege vergrößert. An die Stelle von Schwerelosigkeit und heiterer Durchlichtung tritt in scharfem Kontrast der erhabene Ernst von gruftartigen Massiven in den unteren Raumzonen und scheinwerferartigem Licht aus Obergaden und Kuppel. Nicht länger wird rationale Lektüre angestrebt, sondern die emotionale Einstimmung der Besucher.

Werfen wir abschließend einen Blick auf die gleichzeitig englische Architekturszene, in der Akademismus und normative Ästhetik eine weit geringere Rolle spielten als in Frankreich und moderne Baugedanken oft pointierter formuliert wurden. „Master of Space and Light“ war der Untertitel einer Ausstellung in der Londoner Royal Academy, die dem bedeutendsten englischen Architekten der Zeit um 1800, Sir John Soane, gewidmet war.<sup>20</sup> Hier klingt wieder jene oben mit Hilfe des Diktums von Le Corbusier angesprochene Unterscheidung zwischen der faktischer Form und ihrer Wirkung unter dem Licht an. John Soane hat von 1792 bis zu seinem Tod 1837 sein Londoner Privathaus in Lincoln's Inn Fields, zugleich Atelier, Ausbildungsstätte und Museum, stetig um- und ausgebaut.<sup>21</sup> Soane sammelt Kunstwerke, Zeugnisse seines Berufslebens und Musterstücke, er dokumentiert innovative Lösungen seiner Auftragsbauten und umgibt sich mit Spielmaterial für künftige Entwürfe.

Das Haus ist dem kreativen Eklektizisten ein unerschöpflicher Fundus jenseits aller Normen und Stile, es ist Assoziationsstimulans und Ideengenerator. Einen der Höhepunkte pittoresker Gestaltung bildet das Breakfast Parlour [Abb. 11], ein kleiner, von einer flachen

19 Quatremère de Quincy, Antoine-Chrysostome: *Rapport sur les travaux entrepris, continués ou achevés au Panthéon français*. Paris an II [1793], S. 24; Petzet, Sainte-Geneviève, S. 17 ff.

20 Richardson, Margeret / Stevens, Mary Anne (Hrsg.): *John Soane Architect. Master of Space and Light*. London 1999; Darley, Gillian: *John Soane. An accidental Romantic*, New Haven, London 1999.

21 Knox, Tim: *Sir John Soane's Museum*, London. London 2011; Summerson, John / Thornton, Peter: *A new description of Sir John Soane's Museum*. 9. Aufl. London 1991.



**Abb. 11:** London, Haus von Sir John Soane, 1792–1837, The Breakfast Parlour. Foto: Institut für Europäische Kunstgeschichte.

Hängekuppel überfangener Raum über Quadratgrundriss, an den ein querrrechteckiger Nebenraum anschließt. Die an sich einfach zu erklärende Raumstruktur gewinnt an Komplexität durch die Möblierung, vor allem aber durch das virtuose Spiel mit dem Licht: seitliche Fenster, eine kleine, belichtete Laterne im Gewölbe und Oberlicht aus einem Lichtschacht im Annexraum, alles vervielfältigt und verunklärt durch zahlreiche Spiegel: Spiegel in den Füllungen der Türen,

gerahmte, leicht geneigt hängende Spiegel vor der Wand, große Konvexspiegel an den vier Gewölbezwickeln, eine Folge kleiner Konvexspiegel um den Okulus der Kuppel wie auch unter den Gurt- und Scheidbögen.

Das Soane-Haus ist eine Art gebaute Autobiografie.<sup>22</sup> Ähnliche Baugedanken, ein ähnliches subtiles Spiel mit Raum und Licht, kennzeichnet zahlreiche Innenräume des Architekten. Leider sind die hochkomplexen Rauminventionen seines Hauptwerkes, der Bank of England, deren Chefarchitekt Soane über viereinhalb Jahrzehnte war, Anfang der 1920er Jahre abgerissen worden.<sup>23</sup> Doch Soane, der dem Licht in der Architektur einen solchen Rang einräumt und der ein so hohen Grad an Bewusstheit über die Rolle des Lichtes hat, beschäftigte einen sehr guten Maler, der seine Bauten und Entwürfe im Aquarell oder als Ölbild dokumentierte. In den Bildern Joseph Michael Gandys gewinnen Soanes Architekturvisionen Gestalt. Die Bank von England erscheint in Gandys Vogelschau bei dramatischer Beleuchtung als Ruine, wobei gerade das Licht und die geschickte ruinöse Fragmentierung Einsicht in das Architektursystem des Bankgebäudes gewähren. Von Gandy stammt auch ein Gemälde [Abb. 12], das die öffentlichen und privaten Bauten versammelt, die Sir John Soane in den Jahren 1780 bis 1815 geschaffen hat.<sup>24</sup> In einem dunklen imaginären Galerieraum mit typischen Soane-Bauformen sind Entwurfszeichnungen arrangiert und Architekturmodelle gestapelt. Ein starker Scheinwerfer im Vordergrund erweckt das Ensemble zum Leben, ähnlich wie man damals in Kunstsammlungen antike Skulpturen bei Nacht durch Lampen oder Fackeln zu verlebendigen suchte. Strahlend ist John Soanes Hauptwerk, die Bank of England, durch das Licht hervorgehoben. Wie der steile Weg des Tugendhelden Herkules führt eine Treppe empor zu diesem Gipfel der Kunst.

22 Hesse, Michael: *Künstler über ihr Leben in ihrem Werk*. In Berschin, Walter / Schamoni, Wolfgang (Hrsg.): *Biographie – „So der Westen wie der Osten?“*. Heidelberg 2003, S. 177–194.

23 Schumann-Bacia, Eva: *Die Bank von England und ihr Architekt Sir John Soane*, Zürich, München 1989; weitgehender Neubau des Bankgebäudes 1923 bis 1939 durch Sir Herbert Baker.

24 Joseph Michael Gandy: *Öffentliche und private Bauten von Sir John Soane aus den Jahren von 1780 bis 1815*, 1818, Öl auf Leinwand, 72,5 x 129,3 cm, London, Sir John Soane's Museum; Palin, William: *J. M. Gandy's composite views for John Soane*. In: Stein, Lucien (Hrsg.): *The architectural capriccio*. London 2014, S. 99–118.



**Abb. 12:** Joseph Michael Gandy: Öffentliche und private Bauten von Sir John Soane aus den Jahren 1780 bis 1815, 1818, London, Sir John Soane's Museum.



**Abb. 13:** Emily Allchurch: Grand Tour – In Search of Soane (After Gandy), Fotoarbeit, 2013. Foto: Emily Allchurch. Courtesy of the Royal Academy of Arts.

In einer Fotoarbeit hat die zeitgenössische Künstlerin Emily Allchurch 2013 für eine Ausstellung in der Royal Academy eine Hommage an Soane formuliert: *Grand Tour – In Search of Soane* [Abb. 13].<sup>25</sup> Michael Gandys Bild zitierend zeigt eine Art Stilleben mit den Mitteln der inszenierten Fotografie Soanes architektonisches Werk. Die Fotoarbeit ist eine Medienreflexion, die in der Aneignung seines Werks die historische Distanz gegenüber Soane bewusst macht, der selbst wie kaum ein anderer Architekt seiner Zeit die Unerreichbarkeit der klassischen Tradition thematisiert hat. Und Allchurchs Arbeit ist im Medium des Schreibens mit Licht, der Fotografie, auf die auch im Bild ein moderner Scheinwerfer und ein Fotostativ hinweisen, eine Hommage an den Meister des Lichts in der Architektur.

25 Emily Allchurch: *Grand Tour – In Search of Soane*, 2013, Fotoarbeit, Transparent, LED-Leuchtkasten, London, The Royal Academy of Arts; Bray, Xavier / Moore Ede, Minna: *Emily Allchurch and the Old Masters*. In: Stein, Lucien (Hrsg.): *The architectural capriccio*. London 2014, S. 173–182.

# Licht ins Dunkel bringen: Gravitationslinsen im Kosmos

*Matthias Bartelmann*

## Ein modernes physikalisches Weltbild

Etwa seit der letzten Jahrhundertwende durchläuft die Kosmologie eine stürmische Entwicklung, die vor allem durch eine Fülle neuer Daten angetrieben wird. Diese Entwicklung mündete in ein Weltmodell, das physikalisch so einfach wie nur möglich erscheint. Aufbauend auf der allgemeinen Relativitätstheorie Albert Einsteins und auf zwei Symmetriannahmen ist die moderne Kosmologie in der Lage, so gut wie allen solchen Beobachtungen einen überzeugenden Rahmen zu bieten, die überhaupt Aussagen über das Universum als Ganzes erlauben.

Symmetriannahmen sind ein wesentliches Element der modernen Physik überhaupt. Sie besagen, dass ein physikalisches Modell oder eine Theorie unverändert bleiben, wenn sie bestimmten Transformationen unterworfen werden. Sie sind zugleich die fundamentalsten Annahmen, die dem Aufbau physikalischer Theorien vorausgehen: Alle grundlegenden Theorien der modernen Physik können durch die Symmetrien charakterisiert werden, die ihnen zugrunde gelegt werden.

In der Kosmologie fordert die eine dieser Symmetriannahmen, dass die mittleren beobachtbaren Eigenschaften des Universums unabhängig davon seien, in welcher Richtung am Himmel sie beobachtet würden. Die zweite Annahme verlangt, dass die erste auch für jeden anderen Beobachter im Universum gelte. Die erste Annahme hat zur Folge, dass das Weltmodell der Kosmologie *isotrop* um uns ist, und die zweite, dass es isotrop um jeden seiner Beobachter und damit *homogen* ist.

Aufbauend auf diesen beiden Annahmen ergibt sich aus der allgemeinen Relativitätstheorie eine ganze Klasse von Weltmodellen, die nach dem russischen Mathematiker Alexander Friedman, der

sie als Erster aus Einsteins Feldgleichungen ableitete, Friedman-Modelle genannt werden. Diese Modelle sind durch wenige Parameter zu spezifizieren. Zu ihnen gehören die Dichte der Materie und der Strahlung im Universum ebenso wie die heutige Ausdehnungsrate des Universums. Diese Parameter sind heute dank einer Vielzahl verschiedener Messungen mit relativen Genauigkeiten bekannt, die größtenteils besser als ein Prozent sind. Es ist ein bemerkenswerter Triumph der Kosmologie wie auch der Physik überhaupt, dass es möglich war, dank präziser Daten ein Weltmodell zu entwickeln, das mit den einfachsten möglichen Annahmen maximal erfolgreich ist. Es wird kosmologisches Standardmodell genannt.

## Dunkle Materie

Dieses so erfolgreiche und einfache kosmologische Standardmodell fordert den hohen Preis, dass ihm zufolge etwa 85 % der Materie im Universum von einer Form sein müssen, die wir nicht kennen. Entscheidend ist, dass diese Materie nicht mit elektromagnetischer Strahlung wechselwirken darf. Deswegen wird sie dunkle Materie genannt. Wir wissen nicht, woraus diese dunkle Materie bestehen könnte. Allen noch so raffinierten Laborexperimenten auf der Erde hat sie sich bisher entzogen. Es ist eine der wesentlichen Aufgaben der modernen Kosmologie, die Natur der dunklen Materie aufzuklären. Wie kann sie aber diese Aufgabe erfüllen, wenn sich die dunkle Materie jeder direkten Beobachtung entzieht, indem sie nicht mit Licht wechselwirkt? Dieser Vortrag handelt davon, wie es durch das Wechselspiel zwischen Licht und Schwerkraft gelingt, zumindest die Verteilung der dunklen Materie zu kartieren.

Beginnen wir im Sonnensystem. Die Planeten umlaufen die Sonne mit Geschwindigkeiten, die vom Merkur im Inneren bis zum Neptun ganz außen immer weiter abnehmen. Das dritte Kepler'sche Gesetz besagt, dass die Geschwindigkeiten der Planeten mit der Wurzel aus deren Entfernung von der Sonne abfallen müssen. Aus den Umlaufgeschwindigkeiten lässt sich die Masse der Sonne genau bestimmen. Die recht steile Abnahme der Geschwindigkeiten nach außen zeigt an, dass die Masse des Sonnensystems so gut wie vollständig im Zentrum konzentriert ist, also in der Sonne selbst.

Beobachtungen dieser Art lassen sich auch an ganzen Galaxien durchführen, z. B. an Spiralgalaxien. Solche Galaxien sind Sternsys-

teme wie unsere Milchstraße, in der ein Großteil der etwa 100 Milliarden Sterne, aus denen sie besteht, in einer flachen Scheibe um eine zentrale Verdickung angeordnet sind. Mithilfe von Spektrografen lassen sich die Geschwindigkeiten messen, mit denen die Sterne in den Scheiben solcher Galaxien um das Zentrum laufen. Das Ergebnis ist seit den 1970er Jahren gut bekannt und doch immer wieder überraschend: Ausgehend vom Zentrum der Spiralgalaxien steigt die Umlaufgeschwindigkeit schnell auf Werte um 150 bis ca. 200 km/s an – und bleibt beinahe konstant auf diesem Wert, so weit sich die Beobachtung auch vom Zentrum entfernt. Die Umlaufgeschwindigkeit der Sterne in Spiralgalaxien nimmt nach außen hin nicht ab, wie es die Umlaufgeschwindigkeit der Planeten im Sonnensystem tut: Das zeigt, dass die Masse dieser Galaxien nicht in ihrem Zentrum konzentriert ist.

Natürlich kann man die Umlaufgeschwindigkeit der Sterne nur bis zu solchen Abständen vom Galaxienzentrum messen, wo überhaupt noch Sterne zu beobachten sind. Weiter außen bis zu sehr viel größeren Abständen vom Zentrum der Spiralgalaxien hin gibt es jedoch Wolken aus neutralem Wasserstoffgas, das im Radiobereich leuchtet. Mit Radioteleskopen können auch die Umlaufgeschwindigkeiten dieser Wolken gemessen werden. Sie bestätigen den Befund, auf den schon die Sterne schließen lassen: Die Umlaufgeschwindigkeiten auch der Wasserstoffwolken in Spiralgalaxien bleiben bis zu den größten beobachtbaren Abständen vom Zentrum annähernd konstant.

Daraus lässt sich auf einfache Weise berechnen, wie die Masse verteilt sein muss, die von den Sternen und den Wasserstoffwolken umlaufen wird. Solche etwa konstanten Umlaufgeschwindigkeiten sind nur dann möglich, wenn die Gesamtmasse der Galaxien direkt proportional mit dem Abstand vom Zentrum der Galaxien zunimmt.

Das Licht in den Spiralgalaxien ist jedoch ganz anders verteilt; insbesondere ist es viel stärker als die Masse zum Zentrum hin konzentriert. Je weiter man in den Spiralgalaxien nach außen geht, umso dunkler wird die dort anhand der Umlaufgeschwindigkeiten von Sternen oder Wasserstoffwolken nachgewiesene Materie.

Geht man in der Hierarchie der kosmischen Strukturen um eine Stufe nach oben, gelangt man zu den Galaxienhaufen. Dort bewegen sich einige hundert bis etwa tausend Galaxien in einem vergleichsweise beschränkten Volumen. Aus der messbaren Geschwindigkeitsverteilung dieser Galaxien kann man ähnlich wie bei den Spiralgalaxien bestimmen, wieviel Masse notwendig ist, um die Galaxien durch die Schwer-

kraft in den Galaxienhaufen festzuhalten. Vergleicht man diese Masse mit derjenigen, die anhand des Lichts der Galaxien direkt beobachtbar ist, ergibt sich wiederum ein ähnlicher Befund wie bei den Spiralgalaxien: Auch die Galaxienhaufen enthalten erheblich mehr als die leuchtende, sichtbare Materie. Auch sie sind durch dunkle Materie dominiert.

Ein vielleicht noch überzeugenderes Argument dafür, dass die dunkle Materie die kosmischen Strukturen dominiert, lässt sich aus dem frühesten beobachtbaren Zustand des Universums ableiten. Mit geeigneten Teleskopen, die für Mikrowellen empfindlich sind, können wir in eine Zeit zurückschauen, in der das Universum gerade knapp 400 000 Jahre alt war. Von dort erreicht uns die Wärmestrahlung, die im heißen, frühen Anfangszustand des Universums entstanden ist. Diese elektromagnetische Strahlung, aufgrund ihrer dominanten Wellenlänge als kosmischer Mikrowellenhintergrund bezeichnet, erfüllt unseren gesamten Himmel mit einer fast vollkommen gleichförmigen Intensität, die der Wärmestrahlung eines schwarzen Körpers mit einer Temperatur von knapp drei Grad über dem absoluten Temperaturnullpunkt entspricht. Ausgehend vom sehr heißen Anfangszustand des Universums hat sich die Wärmestrahlung durch die kosmische Ausdehnung bis heute so weit abgekühlt, dass es vermessen erscheint, überhaupt von „Wärme“ zu sprechen.

Beobachtet man den kosmischen Mikrowellenhintergrund mit so hoher Empfindlichkeit, dass Temperaturschwankungen im Bereich von einige Millionstel Grad um die mittlere Temperatur von knapp drei Grad sichtbar werden, sieht man jedoch den gesamten Himmel von einer Fülle von Strukturen überzogen. Darin erkennen wir die Vorläufer derjenigen Strukturen, die uns heute in weit ausgeprägter Form umgeben, also der Galaxien, Galaxienhaufen und noch größerer Gebilde. Diese Temperaturschwankungen im kosmischen Mikrowellenhintergrund sind der zwingendste Beleg dafür, dass das Universum vor allem aus einer Form dunkler Materie bestehen muss, die nicht mit Licht wechselwirken kann: Wenn die kosmische Materie vorwiegend von gewöhnlicher Zusammensetzung wäre, müssten die kosmischen Strukturen einen viel stärkeren Abdruck im kosmischen Mikrowellenhintergrund hinterlassen haben. Die beobachtbaren Temperaturschwankungen lägen dann im Bereich von Tausendstel statt Millionstel Grad, wären also um etwa das Tausendfache stärker.

Wir befinden uns in der modernen Kosmologie daher in der eigenartigen Situation, dass uns ein schon allein aufgrund seiner

bestechenden Einfachheit sehr überzeugendes, mit zahlreichen Beobachtungen bestens übereinstimmendes Weltmodell zu Schlussfolgerungen zwingt, die unsere alltägliche Erfahrung auf rätselhafte Weise übersteigen. Bei weitem die meiste Materie im Universum liegt in einer Form vor, die wir bisher nicht kennen und nicht verstehen. Diese Materie kann offenbar nicht direkt mit Licht wechselwirken und scheint sich daher unserer Beobachtung zu entziehen. Wir finden uns gewissermaßen in einem dunklen Raum wieder, der voller dunkler Möbel steht, deren Lage und Ausdehnung wir feststellen sollen. Dennoch ist es für die Kosmologie ebenso wie für die Astrophysik entscheidend wichtig, dass wir ein Bild von der Menge und der Verteilung dieser eigenartigen dunklen Materie gewinnen können.

## Gravitationslinsen

Dabei hilft uns ein Effekt, den die allgemeine Relativitätstheorie zweifelsfrei vorhersagt. Diese Theorie erklärt die Schwerkraft dadurch, dass die Anwesenheit von Materie und Energie die Raumzeit so krümmt, als würde sie eine Senke in der Raumzeit erzeugen. Licht, von dem wir gewohnt sind, dass es sich entlang gerader Strahlen ausbreitet, wird durch solche Senken abgelenkt. Es folgt dann Linien, die nun im herkömmlichen Sinn nicht mehr wie Geraden aussehen, dennoch aber die geradesten Linien darstellen, die in einer in sich gekrümmten Raumzeit überhaupt möglich sind. Solche möglichst geraden Linien heißen geodätische Linien.

Die geodätischen Linien solcher Lichtstrahlen, die nahe an einer Masse vorbeigehen, werden durch diese Masse so angezogen, als würden sie wie durch eine gewöhnliche Sammellinse zur optischen Achse hin gebrochen. Man spricht deshalb vom Gravitationslinseneffekt. Wie in der vertrauten geometrischen Optik werden die Lichtstrahlen dadurch zum Beobachter hin fokussiert. Auch wenn man Gravitationslinsen üblicherweise keine Brennweite zuordnen kann, haben sie viele Eigenschaften, die an gewöhnliche Sammellinsen aus Glas oder Kunststoff erinnern.

Schon Isaac Newton hatte vermutet, dass Licht durch die Schwerkraft abgelenkt werden könne. In seinem Buch „Opticks: or, a treatise of the reflections, refractions, inflections and colours of light“ schrieb er in einem Anhang als erste einer ganzen Liste von Fragen: „Do not

Bodies act upon Light at a distance, and by their action bend its Rays; and is not this action (*caeteris paribus*) strongest at the least distance?“

In der Newton'schen Physik ist diese Frage aber gar nicht sicher beantwortbar. Licht kann als ein Strom von Teilchen, den Photonen, aufgefasst werden, die aber keine Ruhemasse haben. In der Betrachtungsweise der speziellen Relativitätstheorie gewinnen sie zwar aufgrund ihrer Bewegung eine Trägheit, die zu ihrer Masse beiträgt, aber wenn sie in Ruhe sein könnten, wäre gar keine Masse mehr übrig. Auf etwas, das keine Masse hat, sollte die Schwerkraft aber doch nicht wirken können?

Andererseits hängt auch in der Newton'schen Physik die Bahn eines kleinen Testkörpers um eine schwere Masse gar nicht von der Masse des Testkörpers ab. Wie Galilei schon feststellte, fallen alle Körper gleich schnell, sofern über die Schwerkraft hinaus keine Kräfte auf sie wirken. Stellt man sich ein Lichtteilchen vor, das eine sehr geringe Masse hätte, wäre seine Bewegung z. B. um die Sonne problemlos berechenbar. Würde man diese Masse halbieren, bliebe seine Bahn dieselbe. Und wenn seine Masse immer weiter verringert würde, bis sie schließlich ganz verschwände?

Der Astronom Johann Georg Soldner war sich dieser Schwierigkeit vollkommen bewusst, als er für das Astronomische Jahrbuch für das Jahr 1804 seine Arbeit „Ueber die Ablenkung eines Lichtstrahls von seiner geradlinigen Bewegung, durch die Attraktion eines Weltkörpers, an welchem er nahe vorbei geht“ schrieb. Unter der Annahme, dass auch den Lichtteilchen eine Masse zuzuordnen wäre, berechnete er, um wieviel solche Lichtstrahlen abgelenkt würden, die von der Erde aus gesehen gerade am Sonnenrand vorbeigingen. Fast entschuldigend schrieb er:

Hoffentlich wird es niemand bedenklich finden, daß ich einen Lichtstral (sic) geradezu als schweren Körper behandle. Denn daß die Lichtstralen alle absoluten Eigenschaften der Materie besitzen, sieht man an dem Phänomen der Aberration, welches nur dadurch möglich ist, daß die Lichtstralen wirklich materiel (sic) sind. – Und überdies, man kann sich kein Ding denken, das existiren (sic) und auf unsere Sinne wirken soll, ohne die Eigenschaften der Materie zu haben.

In Einsteins Auffassung vom Wesen der Schwerkraft stellt sich dieses Problem aber gar nicht. Wie oben schon beschrieben, interpretiert

Einsteins allgemeine Relativitätstheorie die Schwerkraft nicht mehr als Kraft im Newton'schen Sinne, sondern erklärt die Auswirkungen der Schwerkraft auf die Bewegung von Körpern durch eine Krümmung der Raumzeit, die durch die Anwesenheit von Materie oder Energie hervorgerufen wird.

Zum ersten Mal berechnete Einstein die Ablenkung eines Lichtstrahls am Sonnenrand aufgrund einer noch nicht abgeschlossenen Version der allgemeinen Relativitätstheorie im Juni 1911. Er fand: „Ein an der Sonne vorbeigehender Lichtstrahl erlitt demnach eine Ablenkung vom Betrage  $4 \cdot 10^{-6} = 0,83$  Bogensekunden.“ Genau denselben Wert hatte Johann Georg Soldner 1804 durch seine Rechnung aufgrund der Newton'schen Physik erhalten. Beim zweiten Mal kam Einstein 1916 zu dem Schluss: „Ein an der Sonne vorbeigehender Lichtstrahl erfährt demnach eine Biegung von 1,7“ (...).“ Sein Wert hatte sich glatt verdoppelt, und das aus gutem Grund: Erst aufgrund der abgeschlossenen allgemeinen Relativitätstheorie stellte Einstein fest, dass er sowohl die zeitliche als auch die räumliche Krümmung der Raumzeit aufgrund der Schwerkraft berücksichtigen musste, und dadurch trat gerade der doppelte Betrag der Lichtablenkung auf.

Dieser Wert von 1,7 Bogensekunden, zweimal so groß wie er nach der Newton'schen Rechnung zu erwarten gewesen wäre, wurde kurz danach durch Beobachtungen bestätigt. Während einer totalen Sonnenfinsternis am 29. Mai 1919 gelang es zwei britischen Expeditionen nachzumessen, um welchen Winkel Sterne von der Sonne weg verschoben erschienen, die zum Zeitpunkt der Finsternis nahe bei der Sonne standen und aufgrund der Verdunkelung der Sonne kurzzeitig sichtbar wurden. Im November 1919 berichteten die Autoren Dyson, Eddington und Davidson:

Thus the results of the expeditions to Sobral and Principe can leave little doubt that a deflection of light takes place in the neighbourhood of the sun and that it is of the amount demanded by Einstein's general theory of relativity, as attributable to the sun's gravitational field.

Bereits am 9. Oktober 1919 hatte Einstein selbst in einer kurzen Notiz berichtet:

Nach einem von Prof. Lorentz an den Unterzeichneten gerichteten Telegramm hat die zur Beobachtung der Sonnenfins-

ternis vom 29. Mai ausgesandte englische Expedition unter Eddington die von der allgemeinen Relativitätstheorie geforderte Ablenkung des Lichtes am Rande der Sonnenscheibe beobachtet. Der bisher provisorisch ermittelte Wert liegt zwischen 0,9 und 1,8 Bogensekunden. Die Theorie fordert 1,7.

Für Einstein selbst bedeutete die Lichtablenkung am Sonnenrand zwar eine Bestätigung seiner allgemeinen Relativitätstheorie, aber zugleich war er sich sicher, dass dieser Effekt darüber hinaus kaum jemals eine astrophysikalische Bedeutung erlangen würde, von einer noch praktischeren ganz abgesehen. Als ihn der tschechische Ingenieur Rudi W. Mandl 1936 in Princeton aufsuchte und bat, den Gravitationslinseneffekt eines Sterns an einem weiter entfernten Stern zu berechnen, willigte Einstein schließlich ein, eine Notiz in der Zeitschrift *Science* (*Science* 84 [1936] 506) über dieses Phänomen zu veröffentlichen, das er für unbeobachtbar hielt. Indirekt ebenfalls durch Mandl angeregt, äußerte der schweizerisch-amerikanische Astronom Fritz Zwicky jedoch schon 1937 die Idee, dass ganze Galaxienhaufen als Gravitationslinsen wirken könnten (*Physical Review* 51 [1937] 290). Nur vier Jahre vorher hatte Zwicky durch Beobachtungen des Coma-Galaxienhaufens den ersten Hinweis auf dunkle Materie gefunden (*Helvetica Physica Acta* 6 [1933] 110). Es dauerte allerdings noch bis 1979, bis die erste Gravitationslinse gefunden wurde (*Nature* 279 [1979] 381). Bei ihr handelt es sich um eine Galaxie, die ein helles, annähernd punktförmiges, sehr weit entferntes Objekt, einen so genannten Quasar, zweifach abbildet.

## Gravitationslinsen als optische Linsen

Wie erwähnt, verhalten sich Gravitationslinsen in vieler Hinsicht ganz ähnlich wie optische Linsen aus Glas oder Kunststoff. Sie können durch einen Brechungsindex beschrieben werden, der direkt durch das Newton'sche Gravitationspotential gegeben ist. Eine Gravitationslinse verhält sich wie ein Medium, das optisch dichter als das Vakuum ist. Wie in der gewöhnlichen geometrischen Optik gilt für Gravitationslinsen das Fermat'sche Prinzip, demzufolge ein Lichtstrahl zwischen festen Anfangs- und Endpunkten einen solchen Weg nimmt, längs dessen er eine extremale (meistens minimale) Zeit benötigt.

Zugleich gibt es wichtige Unterschiede zwischen Gravitationslinsen und optischen Linsen. Nur in unrealistischen Ausnahmefällen kann einer Gravitationslinse eine Brennweite zugeordnet werden, und üblicherweise sind Gravitationslinsen stark astigmatisch, d. h. sie erzeugen verzerrte Bilder derjenigen Objekte, die durch sie betrachtet werden. Sowohl in Galaxien als auch in Galaxienhaufen wurden zahlreiche Beispiele solcher teils extremer Verzerrungen beobachtet.

So störend ein solcher Astigmatismus für ein optisches System wäre, das in unserem Alltag verwendet werden soll, so wichtig ist er für die Astrophysik. Gerade durch die Verzerrungen, die sie verursachen, verraten die Gravitationslinsen ihre Anwesenheit selbst dann, wenn sie fast vollständig aus dunkler Materie bestehen. Ebenso wie geriffelte Glasscheiben selbst dann anhand der Verzerrungen dessen erkennbar werden, was jenseits der Scheiben liegt. Wenn sie vollkommen durchsichtig sind, werden Gravitationslinsen aufgrund der charakteristischen Verzerrungen sichtbar, die sie den Lichtquellen im fernerem Universum aufprägen. Und nicht nur das: Aus dem Ausmaß der Verzerrungen lässt sich im irdischen wie im kosmischen Fall auf recht einfache Weise ermitteln, wie im einen Fall die Glasscheibe geriffelt und wie im anderen Fall die als Gravitationslinse wirkende Masse verteilt sein muss.

Da man im einen wie im anderen Fall die Lichtquelle nicht mehr unverzerrt sieht, kann man die Verzerrung nur dann rekonstruieren, wenn man entweder weiß oder plausibel annehmen kann, wie die Lichtquelle unverzerrt aussähe. In der Regel sind es die Bilder sehr weit entfernter Galaxien, anhand derer der Gravitationslinseneffekt nachgewiesen wird. Wenn diese fernen Galaxien alle kreisrund wären, könnte die Verzerrung leicht bestimmt werden. Sie würde Kreise zu Ellipsen verformen, an denen die Verzerrung durch den Unterschied zwischen ihren großen und ihren kleinen Halbachsen gemessen werden könnte. Einzeln für sich genommen, sind auch ferne Galaxien keineswegs rund, sondern in sich selbst bereits annähernd elliptisch. Die wesentliche Annahme, die in die Interpretation beobachteter Gravitationslinseneffekte eingeht, ist daher die, dass ausreichend viele Galaxien, wenn man sie überlagerte, ein annähernd rundes, mittleres Bild ergäben. Daher mittelt man den Grad der elliptischen Verformung über genügend viele ferne Galaxien und nimmt die Verzerrung, die nach der Mittelung noch übrig bleibt, als ein Maß für den Astigmatismus des Gravitationslinseneffekts.

Dabei hilft es, dass mit großen Teleskopen bei entsprechend langen Belichtungszeiten entfernte Galaxien in einer schier unglaublichen Zahl sichtbar werden. Auf der Fläche, die der Vollmond am Himmel überdeckt, stehen etwa 20 000 solcher Galaxien, deren Form noch genügend genau ausgemessen werden kann. Deshalb ist es möglich, Gravitationslinseneffekte räumlich aufgelöst zu messen, obwohl für diese Messung in der Regel über mindestens zehn Galaxienbilder gemittelt werden muss.

## Galaxien, Galaxienhaufen und noch größere Linsen

Die Fortschritte, die dabei während der letzten 15 Jahre erzielt wurden, sind ganz erstaunlich. Die starken Gravitationslinseneffekte in Galaxienhaufen sind dramatisch, aber selten und auf den innersten Kernbereich der Galaxienhaufen begrenzt. Wesentlich häufiger sind schwache Verzerrungen durch den Gravitationslinseneffekt, die weiter entfernt von den Zentren der Galaxienhaufen auftreten. Sie führen aber in der Regel nur zu Verzerrungen im Prozentbereich bis hin zu einigen zehn Prozent. Hypothetische kreisrunde Quellen würden dadurch zu Ellipsen verzerrt, deren kleine Halbachsen um einige Prozent bis etwa zehn Prozent kleiner als ihre großen Halbachsen wären. Es bedarf großer Anstrengungen und höchst empfindlicher Verfahren, um derart kleine Verzerrungen zuverlässig zu messen. Der Fortschritt auf dem Gebiet der Gravitationslinsenforschung wurde dadurch ermöglicht, dass immer größere astronomische Kameras mit immer fehlerfreieren Abbildungseigenschaften Bilder erzeugen, die mit kontinuierlich verfeinerten digitalen Bildanalyseverfahren bearbeitet werden. Diese Entwicklung setzt sich nach wie vor fort.

Als Beispiel für ein Projekt zur genauen Untersuchung von Galaxienhaufen sei das Clash-Programm genannt. Das Akronym Clash steht für „Cluster Lensing And Supernovae with Hubble“, also für Beobachtungen des Gravitationslinseneffekts in Galaxienhaufen und an Supernovae mit dem Hubble-Weltraumteleskop. Im Zuge dieses Projekts wurden 25 solche Galaxienhaufen mit äußerster Genauigkeit beobachtet, die bereits als starke Gravitationslinsen bekannt waren. Auf das Projekt wurden 524 Erdumläufe des Hubble-Weltraumteleskops verwendet, was mehr als einem Monat Beobachtungszeit mit demjenigen Teleskop entspricht, das von außerhalb der Erdatmosphäre die schärfsten derzeit möglichen optischen Bilder liefern

kann. Für den schwachen Gravitationslinseneffekt ist die Bildschärfe entscheidend, weil sie die Messung der Verzerrung schwacher Galaxienbilder erheblich erleichtert.

Ein wichtiges Ziel des Clash-Programms war es, anhand des schwachen und des starken Gravitationslinseneffekts die Verteilung dunkler Materie in den beobachteten Galaxienhaufen mit größtmöglicher Genauigkeit zu rekonstruieren. Dabei kamen auch Methoden zum Einsatz, die in Heidelberg entwickelt worden waren. Damit wurde es möglich, den radialen Verlauf der Dichte dunkler Materie mit vorher nie erreichter Präzision zu bestimmen. Die Verteilung dunkler Materie kann in diesen Galaxienhaufen regelrecht kartiert werden. Was auf einer topographischen Karte die Höhenlinien wären, sind in den Karten der Materieverteilung die Linien gleicher Materiedichte. Stellt man sich die Ansammlung dunkler Materie in einem Galaxienhaufen als Berg vor, erlaubt es der Gravitationslinseneffekt, die Ausdehnung und die Höhe solcher Gebirge aus dunkler Materie zu vermessen.

Das ist möglich, ohne zu wissen, worum es sich bei der dunklen Materie eigentlich handelt, denn der Gravitationslinseneffekt wird allein durch die Anwesenheit von Materie bestimmt, aber nicht dadurch, woraus diese Materie bestehen könnte. So finden wir uns in der Situation wieder, dass die Ausbreitung des Lichts durch die gekrümmte Raumzeit der allgemeinen Relativitätstheorie es uns ermöglicht, die Menge und die Verteilung einer Materieform zu bestimmen, die uns ansonsten gerade deswegen jede Auskunft verweigert, weil sie auf keinerlei direkte Weise mit Licht wechselwirkt.

Hinweise darauf, woraus die dunkle Materie bestehen könnte, ergeben sich aus dem Gravitationslinseneffekt nur indirekt und in einzelnen Fällen, aber dennoch auf spektakuläre Weise. In den wenigen derartigen Beispielen, die bisher beobachtet wurden, handelt es sich um Situationen nach kosmischen Kollisionen, bei denen zwei oder mehr Galaxienhaufen aufeinandertreffen.

Galaxienhaufen bestehen nicht nur aus dunkler Materie und einigen hundert Galaxien, die sich darin bewegen, sondern sie enthalten auch ein Gas, genauer ein Plasma, das so heiß ist, dass es energiereiches oder „weiches“ Röntgenlicht abstrahlt. Galaxienhaufen sind deswegen die hellsten Röntgenquellen am Himmel. Ihre Röntgenstrahlung durchdringt die Erdatmosphäre nicht und muss deswegen von Satelliten aus beobachtet werden. Solche Beobachtungen zeigen, dass sich dieses heiße Röntgen gas in Galaxienhaufen dort ansammelt, wo

sich auch die meiste dunkle Materie befindet. In ungestörten Galaxienhaufen gleichen sich die Verteilungen der dunklen Materie und des Röntngases weitgehend.

Bei Galaxienhaufen, die miteinander kollidiert sind, beobachtet man stattdessen, dass das heiße Röntngas von der dunklen Materie getrennt wurde. Die Bilder zeigen, dass das Gas zwischen den Galaxienhaufen liegenbleibt, während sich die dunkle Materie davon entfernt. Die dunkle Materie verhält sich so, als könnten sich Ansammlungen aus dunkler Materie einfach gegenseitig durchdringen, ohne dass die Teilchen der dunklen Materie voneinander Notiz nähmen.

Das Gas dagegen verhält sich anders. Es besteht aus gewöhnlichen Atomen bzw. Atomkernen und Elektronen, die wegen der hohen Temperatur des Gases voneinander getrennt sind. Die Gasteilchen wechselwirken also miteinander. Ihre Ladungen üben aufeinander elektromagnetische Kräfte aus, die im Vergleich zur Gravitationskraft geradezu ungeheuer stark sind. Während einer Kollision zweier Galaxienhaufen wirken die beiden Wolken heißen Gases wie zähe Medien aufeinander, die sich nicht ohne Weiteres durchdringen können. Sie bremsen sich gegenseitig wie durch Reibung ab und bleiben daher etwa dort liegen, wo die Galaxienhaufen aufeinander trafen. Die beiden Wolken aus dunkler Materie dagegen durchdringen sich allem Anschein nach so, als gäbe es überhaupt keine direkte Wechselwirkung zwischen den hypothetischen Teilchen der dunklen Materie. Aus dem messbaren Unterschied zwischen dem Verhalten des Röntngases und demjenigen der dunklen Materie kann abgeschätzt werden, wie stark die Teilchen der dunklen Materie höchstens miteinander wechselwirken können. Die Beobachtungen erlauben den Schluss, dass schon ein einziger Stoß zwischen zwei dunklen Materieteilchen während einer Milliarde Jahren zu viel wäre, um die beiden Wolken aus dunkler Materie sich so ungehindert durchdringen zu lassen, wie sie es offenbar tun. Solche kosmologischen Informationen, aus dem Vergleich der Röntgenemission mit dem Gravitationslinseneffekt gewonnen, sind für die Teilchenphysik höchst wertvoll.

Selbst zur Analyse noch größerer kosmischer Objekte als der Galaxienhaufen lässt sich der Gravitationslinseneffekt einsetzen. Das gesamte Universum ist von Strukturen durchsetzt, die kurz nach seiner Entstehung angelegt und seitdem immer ausgeprägter wurden. Lichtstrahlen, die wir aus dem fernen Universum empfangen, können daher letztlich nicht gerade sein: Sie werden ständig in verschiedene Richtungen abgelenkt, während sie auf dem Weg zu uns

die wachsenden kosmischen Strukturen passieren. Dieser Effekt ist schwach, denn er verzerrt die Bilder ferner Galaxien um wenige Prozent. Dennoch ist er messbar. Das hat für uns zweierlei Auswirkungen: Zum einen sehen wir das ferne Universum nicht so, wie es ist, sondern wie es uns aufgrund des Gravitationslinseneffekts erscheint. Zum zweiten lässt es sich wie schon bei den Galaxienhaufen anhand der messbaren Verzerrungen ermitteln, wie die dunkle Materie im Universum verteilt ist. Auch hier ist es möglich, die Landschaft der dunklen Materie zu kartieren.

Die fernste Lichtquelle im Universum ist der kosmische Mikrowellenhintergrund. Wie eingangs erwähnt, handelt es sich dabei um die weit abgekühlte Wärmestrahlung aus der Frühzeit des Universums, als es noch keine 400.000 Jahre alt war. Das Licht, das uns von dort erreicht, hat beinahe das gesamte sichtbare Universum durchquert, bevor es bei uns eintraf. Dabei kam es gewissermaßen an der Gesamtheit der Strukturen vorbei, die unser Universum füllen und wurde durch deren Gravitationslinseneffekt abgelenkt. Auch den kosmischen Mikrowellenhintergrund sehen wir also nicht so, wie er eigentlich ist, sondern wie er uns durch den Gravitationslinseneffekt des Universums abgebildet wird. Die Verzerrungen, die dadurch ausgelöst werden, sind sehr klein. Es gehört zu den faszinierendsten kosmologischen Ergebnissen der letzten Jahre, dass es möglich wurde, den Gravitationslinseneffekt des gesamten überschaubaren Universums auf den kosmischen Mikrowellenhintergrund zu messen und daraus gewissermaßen den optischen Brechungsindex des Universums zu bestimmen.

## Schluss

Fast alle Informationen, die wir aus dem Universum erhalten, erreichen uns in Form von Licht. Manche für uns sichtbare Lichtquellen sind ungeheuer weit entfernt. Auf dem Weg zu uns durchleuchtet ihr Licht die Strukturen, die sich vorwiegend aus dunkler Materie früh im Universum gebildet haben und die seitdem unter ihrer eigenen Schwerkraft wachsen. Dabei wird das Licht abgelenkt, als würde es unregelmäßig strukturierte Glasplatten durchlaufen, und diese Ablenkung führt dazu, dass Gravitationslinsen als abbildende optische Systeme unbrauchbar sind: Ihr Astigmatismus lässt uns weit entfernte Quellen verzerrt erscheinen. Gerade dieser Astigmatismus

ist es aber, der den Gravitationslinseneffekt für die Astrophysik so wertvoll werden lässt, denn durch ihn verrät die dunkle Materie ihre Anwesenheit. Durch technische, rechnerische und wissenschaftliche Fortschritte wurde es vor etwa 15 Jahren möglich, nicht nur die Materieverteilung in Galaxienhaufen zu kartieren, sondern auch in erheblich größeren Strukturen. Die Natur der dunklen Materie konnte dadurch noch nicht aufgeklärt werden, wohl aber ihre Menge und ihre Verteilung. Nur in Einzelfällen war es möglich, die Wechselwirkung der hypothetischen Teilchen der dunklen Materie miteinander einzuschränken. So liefert uns der Einfluss der Raumzeit-Krümmung auf die Ausbreitung von Lichtstrahlen Informationen über die dunkle Materie, obwohl sie gar nicht direkt mit Licht wechselwirken kann.

# Das Licht als Metapher in der Philosophie

*Johann Kreuzer*

Was kann die philosophische Reflexion der Metapher des Lichts wie des Lichtes als Metapher zwischen Mechatronik, Hochfrequenztechnik und Photonik, Architektur und Kunstgeschichte wie Astronomie einerseits und – andererseits – den Wirkweisen, die das Licht für die Bewegungen der Pflanzen und die Künstliche Photosynthese sowie dafür hat, was es heißt, „Licht ins Gehirn“ zu bringen, beitragen? Vielleicht so etwas wie die Selbstreflexion, Prüfung und Klärung der Formen wie Präsuppositionen kultureller Erfahrung, die dabei im Spiel sind?

Das beginnt schon beim Einfachsten, Alltäglichen, das sich im eingeschliffenen Wortgebrauch zeigt. Dass einem ‚ein Licht aufgeht‘, dass etwas ‚einleuchtet‘, dass etwas ‚klar‘ wird: das sind alles positiv konnotierte Aussagen – Aussagen, die Wünschenswertes bezeichnen. ‚Dunkelmänner‘, ‚dunkle Mächte‘, dass etwas sich der Einsicht verschließt – das sind nicht Wünsche, das ist eher furchtkodiert und dokumentiert Unwillen. Das Licht ist besser als das Dunkel. Warum eigentlich?

Nun mag diese Frage überflüssig sein: man kann nur konstatieren, dass das Licht im Gegensatz zum Dunkel wünschens- oder bevorzugenswert erscheint. Aber wonach man fragen kann, das ist das genealogische Netzwerk der Erfahrungen, die sich in diesen Wertungen dokumentieren. Und man sollte danach fragen, um gerade hier sich – mit einer der dem Licht mit am stärksten verpflichteten Metaphern gesagt – ‚Aufklärung‘ zu verschaffen.

Die folgenden Überlegungen werden einige Hinweise zu solcher Aufklärung geben. Es sind nicht mehr als Hinweise, die sich zudem auf die Tradition des westlich-europäischen Kulturraums beschrän-

ken und auch hier eine Auswahl treffen.<sup>1</sup> Diese Auswahl soll die Grundtypologien der Metaphorik des Lichts deutlich machen. Sie beginnt bei den beiden mythologischen Stämmen der europäischen Kulturtradition (Teil 1) – danach folgt die für die weitere Entwicklung der Sichtweise des Lichts grundlegende philosophische Weichenstellung bei Parmenides (Teil 2), in Teil 3 dann deren Fortbestimmung bei Platon, in Teil 4 ihre Zuspitzung zu einer Lichtmetaphysik bei Plotin, in Teil 5 schließlich die Rückführung, mit der Augustinus die Übersteigerung der Lichtmetaphorik zu einer Metaphysik des Lichts ausdrücklich in die metaphorische Geltungsdimension zurückführt. Die weiteren Überlegungen bieten Ausdifferenzierungen des damit erreichten Koordinatensystems: in Teil 6 mit Hinweisen auf die Thematisierung des Lichts bei Dionysius Ps.-Areopagita und Johannes Scotus Eriugena, in Teil 7 für die Epoche der Aufklärung, in Teil 8 dann für die Epochenschwelle 1800 und Deutungsmuster, die sich im Deutschen Idealismus finden. Der abschließende Teil 9 kehrt dann zur Gegenwart – via Hölderlin – zurück.

1) Beginnen wir mit den mythologischen Ausgangspunkten. Hier zeugen die beiden Quellen bzw. Stämme für den westlichen Kulturraum vom Wunsch eines Sich-Klärens, der sich mit der Rede vom Licht verknüpft findet.

Zitiert sei aus dem jüdisch-christlichen Kontext Gen. 1. Der Schöpfungsbericht setzt damit ein, dass

die Erde wüst und wirr war, Finsternis lag über der Urflut [...] und Gott sprach: Es werde Licht. Und es wurde Licht. Gott sah, dass das Licht gut war. Gott schied das Licht von der Finsternis, und Gott nannte das Licht Tag, und die Finsternis nannte er Nacht.<sup>2</sup>

1 Zum Ganzen vgl. ausführlicher (und dort auch jeweils weiterführende Literaturangaben): H. Blumenberg, Licht als Metapher der Wahrheit. In: *Studium Generale* 10 (1957), 432–447; J. Ratzinger, Licht und Erleuchtung. In: *Studium generale* 13 (1960), 368–378; W. Beierwaltes, *Lux intelligibilis. Untersuchungen zur Lichtmetaphysik der Griechen*, (Diss.), München 1957; ders.: Art. „Licht“, in: *Historisches Wörterbuch der Philosophie*. Hg. v. J. Ritter u. K. Gründer, Bd. 5, Darmstadt 1980, 282–289; T. Leinkauf, Licht als unendlicher Selbstbezug und als Prinzip der Differenz. Zur Wirkungsgeschichte der neuplatonischen Licht-Metaphorik und zur Bedeutung des Begriffes Licht in der Philosophie des Deutschen Idealismus, in: *Archiv für Begriffsgeschichte* (Bd. 38), Bonn 1995; J. Kreuzer, Art. „Licht“, in: *Wörterbuch der philosophischen Metaphern*, hg. v. R. Konersmann, Darmstadt <sup>3</sup>2011, 211–227.

2 Gen. 1.2–5 (Übers.: Einheitsübersetzung).

Mit dem Licht ist ein instantaner Schöpfungsakt verbunden, mit ihm beginnt die Welt der Phänomene, der im Licht erscheinenden Dinge. Verknüpft ist diese Ursprungsbedeutung des Lichtes mit einer ethischen und einer erkenntnismäßigen Wertung: Licht ist gut und es ist das Licht, das Einsicht (sehendes Erkennen) ermöglicht. Erkenntnis bringt Licht („Aufklärung“) in die Welt ungeschiedener, differenzlos-diffuser Erfahrung: Wo Dunkel ist, soll Licht werden.

Davon zeugt auch der griechische Mythos. Leben vollzieht sich im Licht der Sonne: zu leben heißt, das Licht der Sonne zu sehen (vgl. *Ilias* 5.120; 18.61, 442; 24.558). Zeus, der oberste der Götter im olympischen Licht und sein Inbegriff, sagt von der Geburt des Herakles, dass er damit „zum Licht heraus zum Vorschein“ komme. In dieser Ordnung ist dem olympischen Lichtreich das Dunkel des Tartaros entgegengesetzt: der drohende Verlust der Sichtbarkeit – ein Abgrund, der so weit unter dem Hades ist wie über der Erde der Himmel (vgl. *Ilias* 8.13–16; 477–481). Dem Hades als der Sphäre der Toten – er ist dunkel, düster, unsichtbar, eine des Lichtes beraubte Sphäre (*Ilias* 15.191; 23.104; *Odyssee* 11.16 f., 93/94, 223) – steht die Ordnung des Lebendigen entgegen. Die Morgenröte beginnt diese Ordnung jeweils mit dem Licht des Tages und bringt sie den Göttern wie den sterblichen Menschen immer von neuem (vgl. *Ilias* 8.1; 11.2; 19.1; 23.109).<sup>3</sup> Daraus ergibt sich jene quasi-natürliche Einheit mit dem Geschehen, die als ‚Tag-Zeit‘ (*hēmera*) erfahren wird. Der Mensch ist als ‚Tagwesen‘ („*ep-hēmeros*“) der, dem die Spanne des Tages (von Sonnenauf- bis Sonnenuntergang) als Lebenszeit bzw. Zeit zu leben gegeben ist. Wo Licht herrscht, da ist es gut. In diesem Sinn bekennt Sappho: „Es ist mir/ Die Liebe das Leuchten des Sonnenlichts und das Schöne geworden“.<sup>4</sup>

Hesiod ergänzt die homerische Beschreibung und „Physik“ des Lichts um einen Heilsanspruch. Aus dem „finsternen Chaos“ entstehen das Licht des Tages wie das Dunkel der Nacht. Das Werden dieser Struktur in seiner Ordnung (*ex archēs*) zu begreifen, wird zum Versprechen einer Aufklärung, die dem Rückfall in die Ungeschiedenheit des finsternen ‚Abgrundes‘ zu widerstehen vermöge.<sup>5</sup> Hesiod

3 Zum ‚olympischen Lichtreich‘ als Sphäre ätherischer Klarheit vgl. *Odyssee* 6.41ff. – Hier wie im Folgenden werden bekanntere Titel – außer es gibt editorische Gründe – mit den üblichen Abkürzungen nachgewiesen.

4 Vgl. Sappho, Fr. 65a25/26, in: *Lieder*. Gr.-Dtsch., hg. v. M. Treu, Hamburg u. Zürich 1984, 58.

5 Vgl. Hesiod, *Theogonie* v. 123–127; zum *ex archēs* vgl. v. 115, 452.

denkt damit das Licht von seinem Gegensatz her und er begreift es als Macht, die seinen Gegensatz zu durchdringen vermag. Folge die Rede der Macht des Lichts, so vermag sie ‚Wahres‘ (*alēthea*) zu künden und der olympischen Ordnung dieser Welt, in der das Dunkel dem Licht unterworfen ist, zu entsprechen.<sup>6</sup> Diese Weltlichtordnung bedarf freilich gigantischer Kräfte, um dem Sog in die Tiefe titanischen Dunkels zu widerstehen.<sup>7</sup>

Mit dem Anspruch, ‚Wahres‘ zu sagen, kommen wir zur Philosophie.

2) Denn an das programmatische Konzept, dass das Licht jene Macht ist, die sich selbst und ihr Gegenteil durchschaubar macht, knüpft Parmenides mit seinem Lehrgedicht an. Diese Schrift bedeutet eine Zäsur. Sie teilt die Geschichte des Denkens in ein „vor- und nachparmenideisches Zeitalter“.<sup>8</sup> Sie hatte zwei Teile. Der erste enthält die sog. Rede von der Wahrheit – hier wird deutlich, dass Parmenides den gleichen Anspruch wie Hesiod hat; Teil 2 gilt den Meinungen der Sterblichen und deren Schein (den *doxai*) – gerade hier soll sich die Macht des Erkenntnislichtes wie des Weges, den es bezeichnet, beweisen. Wer sich auf diesen Weg begeben, dem verspricht die Göttin, dass ihn „kein schlechtes Geschick auf diesem Weg leitete“.

Es ist der Weg einer mehrfachen Aufklärung, der hier versprochen wird. Sie führt a) aus dem Dunkel, b) führt sie weiter durch alle empirischen Widerfahrnisse hindurch in einen Denkraum ‚Licht‘, der es c) unabhängig von seiner materiellen Erscheinung zur Metapher einer reinen (von aller Trübung gereinigten) Denkwelt werden lässt. Kundereich – „vielsagend“<sup>9</sup> – sei allein dieser Weg des Lichts, der Erkenntnis verspricht und sicheres Wissen, Befreiung von den Schatten und zugleich die Fähigkeit, auch diese trüben Meinungen verstehen

6 Zum *alēthea* vgl. Theog., v. 28. – Zum jugendlichen Licht vgl. Theog., v. 451.

7 Vgl. Theog., v. 626ff. – Wenn es heißt, dass ein „eherner Amboß neun Tage und Nächte“ im freien Fall brauche, ehe er am „zehnten Tag von der Erde“ in des Tartaros „Dunkel dreifacher Nacht“ ankomme (vgl. ebd., v. 724–29), dann wird das Abstands- wie Sicherungsbedürfnis gegenüber diesem dunklen Abgrund und zugleich dem Dunkel als Abgrund deutlich.

8 Vgl. Uvo Hölscher in seiner Edition von *Peri physeos*: Parmenides, Vom Wesen des Seienden. Die Fragmente, griech. u. dtsh. Hrsg., übers. u. erl. v. U. Hölscher, Frankfurt/M. 1986, 66.

9 Parmenides, *Peri physeos*, fr. 1.2: „polyphēmon“, vgl. Parmenides, Vom Wesen des Seienden, ebd., 10.

zu lernen und zu durchschauen, wie „alles alles durchdringt.“<sup>10</sup> Was mit diesem Weg des Lichts der Erkenntnis zum Wahrheits-, zum Aufklärungsanspruch wird, formuliert der Grundgedanke, dass „dasselbe ist, was gedacht werden kann, und was ist (Denn dasselbe ist Denken und Sein).“<sup>11</sup> Bezogen auf das Licht heißt das, dass es mit Erkenntnis gleichgesetzt wird. Sein hat nur dasjenige, was gedacht werden kann. Was nicht zu denken ist, ist nicht. Da es weder im Licht ist noch vom Licht der Erkenntnis durchdrungen werden kann, gibt es von ihm keine Kunde.<sup>12</sup>

Damit sind die grundlegenden Oppositionen formuliert: wie das Licht zum kundelosen (opaken) Dunkel verhält sich Sein zu Nichtsein und Wahrheit zu Meinung.

Mit Absicht wurde grade eben das Wort ‚Metapher‘ vermieden. Denn Parmenides ontologisiert im Zuge seiner Revolutionierung der Denkungsart die Metaphorik des Lichtes und minimalisiert sie zugleich auf den Geltungsbereich dessen, was das Denken aus eigener Kraft erzeugt. Dies geschieht um eines religiösen Heilsversprechens willen. Von dem, was das Denken aus eigener Kraft setzt und sichert, sei „Werden ausgelöscht und der Untergang ohne Kunde (verschollen)“.<sup>13</sup> Der ‚erlösungsbedürftigen‘ Verfaßtheit der dunklen, zu überwindenden Welt wird die runde und unerschütterliche Sphäre des Erkenntnislichts und seiner Sphäre entgegengesetzt. Der Gewohnheit der „vielen Erfahrung“ (*ethos polýpeiron*, fr. 7.3) mit ihren „nichts erblickenden Augen“ (fr. 6.4) steht die Wahrheitsgarantie entgegen, die die Sphäre des Lichts verspricht. Sie richtet sich auf eine unmetaphorische, ‚wahre‘ Wirklichkeit. Und zugleich könne die Wahrheit der überzeugenden Rede die vielen Benennungen, die dies ‚Eine‘ zum Gegenstand haben, ‚erklären‘.<sup>14</sup> Durch diesen Erkenntnisvorgang, der das Durchschauen der trüben Meinungen einschließt, komplettiert sich die Macht bzw. Mächtigkeit lichthaften Erkennens. Die Meinungen der Sterblichen sind notwendig, sie können aus und mit dem Licht des Denkens erklärt wie überwunden werden. Unüberholbar sicheres Wissen wird versprochen dadurch, dass die Kunde des Lichts ihr

10 Parmenides, fr. 1.9–30, ebd., 10–14.

11 Parmenides, fr. 3, ebd., 16.

12 Vgl. fr. 2.6–8, ebd.

13 Parm., fr. 8.21, ebd., 22.

14 Fr. 7.4, vgl. ebd., 18; fr. 6.4, ebd., 16; fr. 8.38–41, ebd., 24.

Gegenteil als selbst nicht erkenntnisfähig erklärt und gleichsam in sich auflöst.

Was ist damit und wofür zur Metapher geworden? – das Licht oder das Erkennen? Gibt es metaphorische Reste, wenn man sagt: Licht wird Metapher der Wahrheit, Wahrheit Metapher des Lichts?

Damit kommen wir zu Platon.

3) Platon zieht aus Parmenides' Vorgabe, dass das Licht für jene Sphäre steht, die die Erkenntnis ihrer selbst wie ihres Gegenteils ermöglicht und dadurch mächtiger und in ethischer Hinsicht besser ist als ihr Gegensatz, in umfassender Weise die Konsequenzen. ‚Sein‘ (*ousia*) hat das im Licht Erscheinende, der Grad der Luzidität ist zugleich der Maßstab der Beurteilung der Gegenstände der Erfahrung: das Nichtseiende (*mē einai*) ist das Dunkle (vgl. *Politeia* 479c/d). Die Mächtigkeit des Lichts zeigt sich nicht zuletzt darin, dass es seinen Gegensatz in sich auflöst und das ihm Entgegengesetzte überwindet.

Erkenntnis wird zum Weg bzw. zur Methode der Überwindung dessen, was dem Licht der Erkenntnis nicht entspricht: erfüllt – und erweitert – werden soll jenes Aufklärungsversprechen, das Parmenides gegeben hat. Dabei realisiert der Geist im Erkennen zugleich, was er als intellegibles Licht denkt.

Insbesondere in den drei Gleichnissen der *Politeia* hat Platon beide Gedanken – Erkenntnis als Teilhabe am Licht und als Realisierung des Lichts ‚unerschütterlichen Wissens‘ – zu veranschaulichen versucht. Einschlägig ist aber auch der Exkurs über die Realisierung der lichterhaften Intelligibilität der Gegenstände der Erfahrung im Erkennen – in der Blitzartigkeit, im „*exaiphnēs*“ des Verstehens – im *Siebten Brief*.<sup>15</sup> Im Augenblick, in dem etwas schlagartig klar wird, leuchtet etwas so ein, wie das Licht keines anderen Mediums als seiner selbst bedürftig ist, um zu erscheinen. Es ist sich selbst Gegenstand und Medium. Das macht die „Lichtmetapher an Aussagefähigkeit und subtiler Wandlungsmöglichkeit unvergleichlich“ – diese berühmte Formulierung aus Hans Blumenbergs Aufsatz sei hier nachgetragen.<sup>16</sup>

Genau diese Struktur – oder diese Logizität – teilt das Licht mit dem sich selbst reflektierenden Denken oder der Sphäre des Intellegiblen. Im Sonnengleichnis der *Politeia* wird dies versinnbildlicht.

15 Zum *exaiphnēs* vgl. Platon, *ep.* 7, 341c, und die Parallelstellen: *Kratylos*, 396d; *Symposion*, 210e, 212c; *Politeia*, 515c, 516c; *Parmenides* 156d.

16 H. Blumenberg, Licht als Metapher der Wahrheit, a. a. O., 432.

Was das Gute im Bereich des Denkbaren im Verhältnis zum Denken und dem Gedachten meine, das zeige sich mit der Sonne im Bereich des Sichtbaren im Verhältnis zum Gesicht und zum Gesehenen (508b/c). Dem Licht der Sonne, den Farben, die das tägliche Licht (*hēmerieon phos*) bringt, folgt deutliches Sehen – ihm entspricht die Seele, der die Wahrheit (*alētheia*) dessen, was wirklich ist, ‚einleuchtet‘. Dieser leuchtenden Wahrheit steht das mit Finsterem Gemischte entgegen, dem allein vernunftlose Meinungen entsprechen.

Entscheidend ist nun der Übergang, den Platon von der metaphorischen zur metaphysischen Analogie vollzieht: so wie es zwar für den Bereich des Sichtbaren richtig sei, Licht und Gesicht für sonnenartig zu halten, nicht richtig hingegen, sie für die Sonne selbst, so sei zwar richtig, Erkenntnis und Wahrheit für dem Guten verwandt, für das Gute selbst aber beide zu halten nicht richtig. Die Idee des Guten überrage vielmehr in ihrer unverursachten Einzigkeit alle (übrigen) Ideen, die als von ihr verursacht zu denken sind. Es selbst ist jenseits des als Wesen Bestimmbaren (*epekeina tes ousias*, 509b).<sup>17</sup> An der Relation zwischen der Sonne und dem im Tageslicht Erscheinenden wird klar, dass die Quelle des Lichts von allem in ihm Erscheinenden unterschieden bleibt – jede bestimmende, das Sein des Lichts in seinem ‚Wesen‘ fassen wollende Definition würde das Licht als Prinzip wie etwas durch es und in ihm Prinzipiiertes denken. Licht ist insofern wie die Idee des Guten, die sich deshalb als das „Leuchtendste des Seienden“ (518c) erweist, der Grund der Sichtbarkeit und des Sehens von allem Erscheinenden und deshalb von jedem erscheinenden Gegenstand prinzipiell verschieden: verschieden auch vom Erkennen dieses Strukturverhältnisses, sofern es als erkenntnistheoretischer Gegenstand aufgefasst wird.

Damit hat sich ein entschiedener Wechsel vollzogen. Die metaphorische Funktion des Lichts führt zu einer Erkenntnisdynamik, in der die Metapher des Lichts nur noch als letztlich durch das Denken zu überwindendes Veranschaulichungsmaterial zu fungieren scheint: die noetische Wirklichkeit des Geistes wird zum eigentlichen (intelligiblen) Licht, dem gegenüber die sinnfälligen Erscheinungen des Lichts umgekehrt zur bloßen Metapher werden. Die Metaphorik des Lichts versinnbildlicht einen Ausgangspunkt für eine durch und im

17 Vgl. zu diesem ‚Geburtsort‘ des Gedankens der (bleibenden) Transzendenz (des Eien) H. J. Krämer, ΕΠΕΚΕΙΝΑ ΤΗΣ ΟΥΣΙΑΣ, in: Archiv f. Geschichte d. Philosophie (51) 1969, 1–30.

Denken zu vollziehende Auf- und Überstiegsbewegung zur Idee des Guten als „das allen Licht Gewährende“ (540a). Ausgangspunkt freilich bleibt der Vergleich mit der ‚Würde‘ und ‚Herrschaft‘ der Sonne im Bereich des Sichtbaren und das darin sich zeigende Verhältnis zwischen dem Licht als Quelle und diesem aus dem ursprünglichen Licht hervorgegangenen Bereich der Phänomene.

Licht erscheint als transzendentes Prinzip in der Immanenz des im Licht sich Zeigenden – es wird dadurch zum phänomenalen Korrelat des Gedankens der Transzendenz: jenes Gedankens, dass dasjenige, was als Grund des Erscheinens zu denken ist (solange es Erscheinendes gibt), selbst nicht – wie ‚etwas‘ – erscheint.

Die Struktur dieses Gedankens und seine praktisch-ethischen Konsequenzen für das menschliche Zusammenleben entfalten das Linien- und das Höhlengleichnis. Darauf kann hier nicht eingegangen werden. Aber schon vom Sonnengleichnis her lässt sich sagen, dass es zur Aufgabe philosophischen Wissens wird, im ‚Dunkel‘ der Alltagswelt Aufklärungs- und Anleitungsrbeit im Hinblick auf die Idee des Guten als das wahrhaftige Licht zu leisten. Denn die Idee des Guten sei für alles der Ursprung des Richtigen und Schönen: im Sichtbaren, indem sie das Licht und seine Ursache (die Sonne) erzeugt – im Denkbaren als alleinige ‚Herrscherin‘, indem sie zu Wahrheit und Vernunft verhilft (517b/c).

Es ist ein intellegibles Licht, das im Bereich des Sichtbaren die Sonne zur abkünftigen Metapher werden lässt. Der Erkenntnisweg der Seele erfülle sich insofern darin, dass man den Lichtstrahl bzw. Glanz der Seele ‚nach oben‘ richtet und in das alles Licht Bringende zu sehen vermögend wird. Den ‚Ort‘ (*chōra*) dieser Idee zeichnet strahlende Helligkeit aus. Allerdings bedürfe es philosophisch geschulter Augen, um hier etwas zu sehen. Die ‚Vielen‘ – so Platon im „Sophistes“ – sind des Anblicks des Göttlichen mit den ‚Augen der Seele‘ nicht fähig.<sup>18</sup>

4) Nach Platon ist die Idee des Guten für alles der Ursprung des Richtigen und Schönen – im Sichtbaren, indem sie das Licht und seine Ursache (die Sonne) erzeuge, im Denkbaren als alleinige ‚Herrscherin‘, indem sie zu Wahrheit und Vernunft ver helfe (517b/c). Daraus zieht ca. 600 Jahre nach Platon das Haupt der Neuplatoniker, Plotin,

18 Vgl. *Sophistes* 254a.

Konsequenzen, die den logischen Status der Metapher des Lichts verdeutlichen.

Referenzpunkt ist Platons Bestimmung der lichthaften Intelligibilität der Idee des Guten in ihrer bleibenden Transzendenz. Bei Plotin führt das zur Konzeption einer metaphernjenseitigen Metaphysik des Lichts. Das intelligible Licht ist das wahrhaftige Licht (*phōs alēthinon*).<sup>19</sup> Damit einher geht ein Dualismus der parallelen Oppositionen von Licht-Dunkel, (erleuchteter) Geist-(undurchlichtete) Materie, Gut / Schön (*kalon*)-Böse / Schlecht (*kakon*), Sein-Nichtsein: die ganze wahrnehmbare Welt fällt im Sinn dieser Oppositionen unter Verdikt geist-, d. h. lichtfern und insofern ‚nicht‘ bzw. nichtig zu sein.<sup>20</sup> Sie ist die Sphäre des Verschiedenen im Unterschied zur Einheit des Geistes. ‚Licht‘ erscheint als Paradigma der Einheit bzw. des Einsseins von Denken und Gedachtem. Sie wird zum Anspruch des Geistes (*nus*): wie beim Licht, das sich selbst Ursprung und Medium ist, folgt aus der Einheit von Geist (*nus*), Denken des Geistes (*noesis*) und Gedachtem (*noeton*), dass Geist dasjenige ist, was sich selbst denkt (*Enneade* 5.3.5, 41–45). Der Geist ist wie das Licht Realisierung seiner selbst im Akt des Erscheinens, ihm ist das Licht nicht nur eine Eigenschaft, sondern er ist das seinem Wesen nach ‚Durchlichtete‘ (*pephōtismenon*) und insofern ‚reines Licht‘ (*Enn.* 5.6.4, 18/19).

Deutlich wird, dass die Metaphorik des Lichts eine entschiedene Inversion erfährt: nicht wie das Licht zeigt sich der Geist in seinem Erscheinen und seiner Wirklichkeit – die erscheinende Wirklichkeit (Phänomenalität) des Lichtes vielmehr ist es, die nur wie der Geist erscheint und demzufolge auf das wahre Licht des Geistes hin zu überschreiten sei.

Von der die Triebkraft der Seele entzündenden (vgl. Platons *Symposion*) ‚Schönheit des Geistes‘ heißt es, dass dem, was in ihr sich zeigt, „alles durchsichtig ist, nichts Dunkles oder Widerständiges ist dort, sondern jeder und jedes ist jedem ins Innere offenbar. Licht nämlich ist dem Licht durchsichtig. Jeder hat alles in sich und sieht im anderen alles, und grenzenlos ist der Glanz.“<sup>21</sup> Die Metapher des Lichts hebt sich selbst auf. Das ‚reine Licht‘ ist das Licht des Geistes.

19 Vgl. Plotin, *Enneade* 6.9.4, 20. – Zum Ganzen vgl. W. Beierwaltes, *Die Metaphysik des Lichtes in der Philosophie Plotins*, in: Zeitschrift für philosophische Forschung 15 (1961), 334 ff.

20 Vgl. Plotin, *Enn.* 1.8.3, 2 ff.; 14, 40–51; 2.4.5, 35.

21 *Enn.* 5.8.4, 4–8.

Es ist ein körperlos-intelligibles Licht, das zum Prinzip des sichtbaren wird (*Enn.* 4.5.7, 41). Das intelligible – reine und nur dem Denken sich erschließende – Licht erscheint im sichtbaren, nicht umgekehrt.

Der Gebrauch der Metaphorik des Lichts hat damit eine Entwicklung genommen, die in die Negation seiner selbst als Metapher tendiert und der jene ontologischen Substrukturen unterlegt sind, die aus der Metaphorik eine Metaphysik des Lichts werden lassen. Nicht nur das sichtbare (abbildhafte) Licht, sondern die Sichtbarkeit des Lichtes selbst sei nur Abglanz der Lichthaftigkeit des Geistes (vgl. *Enn.* 6.8.18, 33–36). Daraus folgt die Forderung einer Entmaterialisierung, Entsinnlichung, Entgeistigung und eben auch Entmetaphorisierung der Rede von dem schlechthin Einfachen, auf das der Geist sich denkend beziehe.

Doch gerade für diese geforderte Entmetaphorisierung greift Plotin auf die Metaphorik des Lichts zurück: das schlechthin Eine jenseits des Denkens sei zu vergleichen dem Licht, der Geist des Denkens der Sonne und die Seele dem Mond. Für die hier thematischen Analogierelationen ist Platons Liniengleichnis das strukturelle Vorbild. Die schlechthinnige Transzendenz des Einen entspricht dem Licht, das in seinem Erscheinen wirklich ist, in ihm zugleich entzogen bleibt und via negationis durch das Denken erschlossen wird. Das *noein* des Denkens *ist* in diesem Sinn Licht, es realisiert, was Licht meint. Das ‚wahrhaft Geistige‘ ist ein noetisches „Licht vor dem Licht“, das in seiner ausfließenden Verwirklichung (*energeia*) zu betrachten ist „wie das von der Sonne ausgehende Licht“.<sup>22</sup> Der Erkenntnisanstieg des Geistes bedeutet eine Selbsttranszendenz des Denkens in das ‚wahre Licht‘ jenseits alles ‚Erleuchteten‘. Dieses ganz es selbst seiende und einzig wahre Licht wird in der Wendung des Denkens nach innen, der ‚Flucht in die Heimat‘ des Geistes gefunden, in der das Auge des Geistes mit dem, was es sieht, ‚eins‘ wird. Die Differenz zwischen Sehendem und Gesehenem löst sich in einem plötzlichen Akt einer ‚Erleuchtung‘ (*exaiphnes*) auf, der dadurch dem Licht entspricht, das als reine und aller Verschiedenheit enthobene Durchsichtigkeit gedacht wird.<sup>23</sup> Auch die Differenz des sich in seiner Abständigkeit von diesem Licht und damit in seiner Endlichkeit erkennenden Geistes

22 Vgl. *Enn.* 5.6.4, 14–20; 5.5.7, 29–34; 5.3.8, 35–41; 12, 39–43.

23 Zum „*exaiphnēs*“ vgl. auch *Enn.* 5.3.17, 29; 5.5.7, 34; 6.7.34, 13; 36, 15–25. Zu den Vorgaben bei Platon vgl. Anm. 15.

gilt hier als getilgt. Jede reflexiv-metaphorische Differenz oder Nicht-identität löst sich in der Einung mit dem wahren Licht auf.

Was ist hier – und was wofür – Metapher? Die Antwort darauf findet sich bei unserer nächsten Station: Augustinus.

5) Augustinus kommt in der philosophischen Reflexion des Lichts eine doppelte Bedeutung zu. Er knüpft zunächst (in den Frühschriften) direkt an Plotins Auffassung des Lichts an und übersetzt sie in einer Weise, die gerade auch terminologisch traditionsbildend geworden ist. Gott ist intelligibles Licht: „*lux intelligibilis*“.<sup>24</sup> Er ist das „Licht machende Licht“: dieses „*lucifica lux*“ schafft das ‚Licht‘, in dem wir einsehen.<sup>25</sup> Erkenntnis heißt, die Differenz gegenüber diesem Licht zu begreifen. Von diesem nicht von Menschen produzierten, sondern schöpferischen Licht zeugt die Seele in erkennender Weise, indem es ihr erkenntnisweise einleuchtet.<sup>26</sup>

Allerdings wertet Augustinus diesen Erkenntnisakt neu. Ziel ist nicht mehr die Auflösung letztlich auch des Erkennens selbst in die Differenzlosigkeit eines ‚wahren Lichtes‘. Auch die Rede von einem metaphernjenseitigen ‚reinen Licht des Geistes‘ ist nur eine Metapher. Das ‚Dunkel‘ kreatürlicher Körperlichkeit ist deshalb nicht in die Sphäre eines reinen geistigen Lichts zu fliehen, denn das hieße, sich das Licht der Erkenntnis bzw. des Geistes wie körperliche Dinge vorzustellen.<sup>27</sup> Augustinus nimmt deshalb eine scharfe Trennung zwischen der Transzendenz des göttlichen Lichts und der Sphäre des Endlichen vor, in der dieses Licht – in Akten des Erkennens ‚einleuchtend‘ – wirkt. Das „*lux incommutabilis*“ ist „*supra mentem*“ (vgl. *Confessiones* 7.10.16): gerade weil es Bedingung der Möglichkeit jedes Erkenntnisaktes ist, sind zwischen das göttliche Licht und die Formen seines Erkennens keine Instanzen – eines sich emanativ verströmenden oder in hierarchischen Ordnungen sich austeilenden Ursprungslichts – zwischengeschaltet. Zwischen unserem Geist und der Wahrheit, das ist dem inneren Licht (*lux interior*), durch das wir ihn (Gott) erkennen, ist nichts dazwischengesetzt (*nulla interposita creatura est*).<sup>28</sup> Das Licht dieses Erkennens ist auf vielfältige Weise

24 Vgl. Augustinus, *Soliloquia* 1.4.4.

25 Vgl. Aug., *Contra Faustum Man.* 22.8; 20.7.

26 Zum „lumen (...) quo intelligibiliter inluminante intelligibiliter lucet“ vgl. Augustinus, *De civitate dei* 10.2.

27 Vgl. Augustinus, *Confessiones* 4.15.24–25.

28 Vgl. Augustinus, *De vera religione* 55.113; vgl. auch ders., *De trinitate* 11.5.8: „nulla

verborgen und dennoch ein überall gegenwärtiges Licht, über das niemand urteilen und ohne das niemand ‚gut‘ urteilen könne.<sup>29</sup> Das Licht des Urteilsvermögens ist im Geist, insofern erfordert es (wie bei Plotin) die Wendung ‚nach innen‘. Im inneren Menschen wohne Wahrheit: dahin solle man trachten, von woher das Licht des Verstandes (*lumen rationis*) entflammt werde. Es ist eine Selbsttranszendenz des Denkens, die es hier brauche: „transcende et te ipsum“.<sup>30</sup> Ziel dieser Selbsttranszendenz ist aber kein die Bedingungen der Endlichkeit ekstatisch überwindendes Einswerden mit dem Licht mehr. Damit führt Augustinus die Metaphysik des Lichts – und das ist eine wesentliche Bedeutung, die ihm im Kontext unserer Überlegungen zukommt –, die sich bei Plotin in der Übersteigerung und als Selbstaufhebung der Metaphorik des Lichts ergab, ausdrücklich auf die metaphorische Geltungsdimension zurück.

Wissen hat kein (auch kein intellegibles) Substrat, das der Geist außerhalb seiner – und sei es als wahres Licht des Intellegiblen – wie ein Objekt ergreifen könnte. Licht ist keine Ursprungsdimension, auf die der Geist in seiner Tätigkeit zurückzuführen sei. Wissend erfährt sich der Geist (die *mens*) vielmehr als Beziehung und begreift sich selbst wie das, was Erkennen heißt, als irreduzible Relation. Die Rede von jenem „unkörperlichen Licht, das sich nicht ergreifen läßt“, und im Geist „*quodam modo*“ strahlt, wird zur ihrer selbst bewußten Metapher dafür.<sup>31</sup> Das ‚Licht‘ der Erkenntnis – das, was „*inluminatio*“ (Einleuchtung) heißt – zeigt sich in der Selbstreflexion des sich in seiner Endlichkeit begreifenden Bewußtseins und besteht darin. Der Ort dieser Selbstreflexion ist das Vermögen der Erinnerung und die *memoria* als Vermögen. Gott, das „unwandelbare Licht über dem Geist“, habe er nicht außerhalb der Erinnerung gefunden. Der ‚Weg hinauf‘ zu jenem Licht, das als ‚unwandelbar über allem‘ gedacht und „*in te supra me*“ erinnert wird, ist ein ‚Weg hinab‘ in die Selbstvergewisserung der *memoria*. Vom Geist, der seine Erinnerungsleistungen durchwandert, ist Gott als „*lux permanens*“ unterschieden – aber als dieses jedes endliche Erinnern transzendierende und in seiner Transzendenz bleibende ‚Licht‘ erinnert (vgl. *Conf.* 10.40.65). Die Sinn-

interiecta natura est“, in: *De trinitate*. Lat.-Dt., neu übers. u. mit einer Einl. hrsg. v. J. Kreuzer, Hamburg 2001, 152 und XXII ff.

29 Vgl. *De libero arbitrio* 2.12.33: „foris admonet, intus docet (...) nullus de illa iudicat nullus sine illa iudicat bene.“ (De lib. arb. 2.14.38)

30 Vgl. *De vera religione* 39.72.

31 Vgl. *De civ. dei* 11.27.

evidenz schöpferischer Selbstgegenwärtigkeit zeige sich deshalb als Finden Gottes im Anblick der Dinge. Solches Finden geht plötzlich – „im Blitz eines erzitternden Blicks“ – vorüber und hinterläßt eine ‚liebende und wiederbegehende Erinnerung‘ (vgl. *Conf.* 7.17.23).<sup>32</sup> Von ihr heißt es in *De trinitate* unter Hinweis auf 1 Joh. 1.5:

»Gott ist das Licht«, nicht wie diese Augen es sehen, sondern wie das Herz es sieht, wenn es hört: er ist die Wahrheit. Frage nicht, was Wahrheit ist. Sogleich nämlich stellen sich die Dunkelheiten körperlicher Bilder und die Nebel der Einbildungen entgegen und trüben die Helligkeit, die dich im ersten Augenblick durchblitzte, als ich sagte: Wahrheit. Sieh, bleibe in eben diesem ersten Augenblick, in dem es dich wie ein Lichtblitz durchfuhr, da man sagte: Wahrheit. In ihm bleibe, wenn du kannst; aber du kannst nicht, du gleitest wieder zurück ins Gewohnte und Irdische.<sup>33</sup>

Das ist keine resignative oder (auf die Möglichkeiten des Erkennens bezogen) limitative Aussage. Es ist vielmehr eine Aussage, die der Erklärung der Struktur – oder wenn man so will: der Natur – des Geistes und damit unseres Erkennens dient.

Da wir die Bedingungen der Endlichkeit nicht zu übersteigen vermögen – auch nicht in eine Sphäre des Lichts –, bleiben nur die Metaphern (z. B. die des Lichts), in denen der Sinn von Transzendenz mit den Bedingungen kreatürlicher Endlichkeit zusammengebracht wird.

6) Mit der parmenideischen Grundunterscheidung, ihrer Adaptation bei Platon, die sie für die Erkenntnis der Erfahrungswirklichkeit handhabbar macht, Plotins Metaphysik des Lichts und der ebenso radikalen Rückführung dieser Lichtmetaphysik auf oder in ihre me-

32 Zum Ganzen vgl. J. Kreuzer, *Pulchritudo – Vom Erkennen Gottes bei Augustin*, München 1995.

33 „[...] deus lux est, non quomodo isti oculi uident, sed quomodo uidet cor cum audit, ueritas est. noli quaerere quid sit ueritas; statim enim se opponunt caligines imaginum corporalium et nubila phantasmatum et perturbabunt serenitatem quae primo ictu diluxit tibi cum dicerem, ueritas. Ecce in ipso primo ictu quo uelut coruscatione perstringeris cum dicitur ueritas mane si potes; sed non potes. relaberis in ista solita atque terrena.“ (Augustinus, *De trinitate* 8.2.3, zit. nach: *De trinitate* (wie Anm. 28), 8).

taphorische Geltungsdimension bei Augustinus sind die grundlegenden Koordinaten für die Verwendung der Metapher des Lichts in der Philosophie genannt.

Was nun – beginnend mit dem, was Hegel die „zweite Periode der Philosophie“ genannt hat, also in den verschiedenen nachantiken Schüben an Modernität<sup>34</sup> – folgt, sind Differenzierungen innerhalb und auf der Basis diesen Koordinatensystems.

Hier wäre auf das Corpus Dionysiacum einzugehen – in dem beispielsweise unter Hinweis auf Röm. 1.20 („Die Unsichtbarkeit Gottes wird durch das, was geschaffen ist, in Einsicht erblickt“) die vorchristliche wie vorplatonische Setzung der Sonne als Gott abgewehrt wird. Auch die Strahlkraft der Sonne ist nur eine Metapher jenes intellegiblen Lichts (*phōs noeton*), das als das Gute über allem Licht (*hyper pan phōs*) „quellhafter Strahl“, „überströmender Lichtfluß“ sowie das alles umfassende, erleuchtende und erneuernde „Urlicht“ (*archiphōtos*) und „Überlicht“ (*hyperphōtos*) sei. Die Anwesenheit (*parousia*) dieses geistigen Lichts sammle und einige alles von ihm Erleuchtete, vollende es, wende es von den vielen Meinungen ab und verwandle die „bunten Gesichte“ und „Einbildungen“ in „wahres, reines, einförmiges“ Wissen (*gnōsis*) und erfülle es mit einem, das heißt „einigen- den“ Licht<sup>35</sup>. Die Grade der Lichtförmigkeit sind der Ordnungsmaßstab in einer in dem Sinn hierarchisch durchgeformten Welt, dass sie als symbolischer Verweisungszusammenhang verstanden („durchschaut“) werden will.

Das ist uns vertrauter, als es die ein wenig ‚barock‘ anmutende Begrifflichkeit vermuten lässt: der sakrale Alltagsraum gotischer Kirchen wird das Ordnungsprinzip ‚Licht‘ in Architektur umsetzen. Wie bei Augustinus dient die Feststellung, dass sich der unsichtbare Gott durch das, was geschaffen erscheint, erkennend erblicken lässt, als Grundtheorem natürlicher – Platonisches mit Christlichem verbindender – Gotteslehre: der sichtbare Kosmos ist als Schöpfung der Ort, an dem das „geistige Licht“ zur Erscheinung gelangt und sich erfahren lässt. Für diese Auffassung des Lichts stellt Jak. 1.17 den biblischen Beleg dar: jede gute Gabe komme, bejahend gesagt, von oben, vom Vater des Lichts. Freilich ist das mit 1 Tim. 6.16, einem Zentralbeleg negativer Lichttheologie, zu verbinden: Gott wohne im unzugänglichen Licht.

34 Vgl. J. Kreuzer, *Gestalten mittelalterlicher Philosophie*, München 2000.

35 Vgl. Dionysius Ps.-Areopagita, *De divinis nominibus* 4.6, PG 3, 701 A/B.

Diese Verbindung des bejahenden und verneinenden Moments hat gerade im Hinblick auf die Rede vom Licht Johannes Scottus Eriugena ausbuchstabiert. In der Erläuterung der dionysischen Schrift über die „Himmlische Hierarchie“ heißt es, dass „alles, was ist, Licht ist“: „omnia que sunt lumina sunt“. Die Kausalität, die sich hier als göttliches Licht bezeugt, ist in sich reflektiert oder trinitarischer Natur: das erste und innerste Licht werde über das Verbum, durch das alles geworden ist, und den Geist seiner Erkenntnis jenes „trina lux“, das als „unum lumen“ sich allem mitteilt: „diffusum in omnia que sunt [...]“.<sup>36</sup> Das läßt die erscheinende Wirklichkeit zum Inbegriff der Theophanie werden. Der Prozeß erscheinender Natur ist insgesamt und in concreto lichterhafte (,theophan-durchleuchtete‘) Wirklichkeit: „divina apparitio“. Die „*divinae apparitiones*“ sind wie das Licht Erscheinung eines Grundes, der eben dadurch sich in den Horizont seiner Erfahrbarkeit übersetzt.<sup>37</sup> Aus diesem Grund kann „jede sichtbare oder unsichtbare Schöpfung göttliche Erscheinung genannt werden.“<sup>38</sup>

Doch ist hier nicht der Raum, um auf Eriugena mehr als nur hinzuweisen. Erwähnt sei von ihm nur noch jener Satz, mit dem er festgestellt hat, dass im Begreifen der Kreatürlichkeit des erscheinenden Lichts die Realmetaphorik des Lichts sich selbst aufklärt. Um die Frage zu beantworten, weshalb in Relation zu der Instanz, die mit der Rede von Gott als „luminum per seipsum lux“ zu denken ist, „omnia que sunt lumina sunt“, notiert Eriugena: „Dieser Stein oder dieser Holzklötz ist mir Licht,“ konstatiert Eriugena, „und wenn du mich fragst warum, so mahnt mich die Vernunft, dir zu antworten, dass mir in der Betrachtung dieses oder jenes Steines vieles begegnet“.<sup>39</sup> Wofür die Metapher des Lichts wie Licht als Metapher steht, wird gleichsam auf sich selbst hin durchsichtig. Es ist in seinem Erscheinen die Metapher seiner selbst. Der Sinn für dieses Erscheinen ist der ästhetische Sinn. Das verleiht der Ästhetik des Lichts wie der

36 Johannes Scottus Eriugena, *Expositiones in Ierarchiam Coelestem* I.1, hrsg. v. J. Barbet, Turnhout 1975, 2–3. – In Canto LXXIV zitiert Ezra Pound Eriugenas Lichttheorem: „[...] sunt lumina“ said Erigena Scotus [...] said the Oirishman to King Carolus / “OMNIA, / all things that are are lights” [...].“ (E. Pound, *Pisaner Cantos*. Hg. u. übertr. v. E. Hesse, Zürich / Hamburg 2002, 14).

37 Vgl. Eriugena, *Periphyseon* I, 446C–450B.

38 *Periphyseon* III, 681A.

39 „Verbi gratia, ut ab extimis nature ordinibus paradigma sumamus: lapis iste uel hoc lignum mihi lumen est; et si queris quomodo, ut tibi respondeam, ratio me admonet hunc uel hunc lapidem considerans, multa mihi occurrunt que animum meum illuminant (...)“ (*Expositiones in Ierarchiam Coelestem* I.1, a. a. O., 4).

ästhetischen Wirklichkeitserfahrung insgesamt ihren paradigmatischen Rang.<sup>40</sup>

7) Die Kunst wird das Medium, in dem die Unendlichkeit des Lichts zu sinnlicher Präsenz zitiert und faßlich wird. Es ist ein hervorgebrachtes Licht, das die Universalität und Polyperspektivität seiner Gegenwart in produktiver Weise ‚nachahmt‘ und dadurch aufklärt.

Wie schon durch Robert Grosseteste oder Roger Bacon im 13. Jahrhundert angeregt und nicht zuletzt durch Nikolaus v. Kues forciert, rückt die Materialität und Physikalität des Lichts ins Zentrum – freilich einer neuplatonisch verstandenen Physikalität.

Dies leitet zum Lichtverständnis der beginnenden Neuzeit und der Aufklärung über.

Der Status der Metapher des Lichts differenziert sich in drei Richtungen. Die Selbstüberschreitung der Metaphorik des Lichts in metaphysische Konzepte, die das göttliche Licht in illuminativer und positiv setzender Weise in Ordnungssysteme einbauen, in denen mittels intellegibler Strukturen zugleich Sozialordnungen (monarchischer und/oder feudalistischer Art) legitimiert werden sollen, verfällt der Ideologiekritik. Zweitens wird das Licht „im eigentlichen Sinne [...] in der Physik“ zum Thema.<sup>41</sup> Drittens freilich – und das verleiht der Aufklärung ihren epochengeschichtlichen Namen als „*enlightenment, siècle éclairé, siècle des lumières, illuminismo, siglo de las luces*“ – kehrt Parmenides’ Anspruch, dass es allein das Licht des Denkens ist, welches sicheres Wissen bietet, mit allem Pathos wieder. Wie dort wird das Licht der natürlichen Vernunft des Menschen zum Ort wie zum Instrument der Durchdringung und Überwindung bloßer Einbildungen. Ihnen, dem Glauben und Meinen, wird das Licht der *ratio* gegenübergestellt.

Zugleich fungiert das göttliche Licht nicht mehr als Garant monarchischer Ordnungen (an deren Spitze dann ein lichtmetaphysisch legitimierter ‚Sonnenkönig‘ steht). Vielmehr legitimieren sich mit dem ‚Licht‘ nun jene Formen diskursiver Rationalität, die das Dun-

40 Vgl. W. Beierwaltes, *Negati affirmatio*, jetzt in: ders.: *Eriugena. Grundzüge seines Denkens*, Frankfurt/M. 1994, 115–158; J. Kreuzer, *Natur als Metapher: Eriugena über den Grund des Schönen*, in: *Bochumer Philosophisches Jahrbuch für Antike und Mittelalter* 2 (1997), 47–67.

41 Vgl. J.G. Walch, *Philos. Lex.* 1775, ND 1968, 2257; zit. nach C. v. Bormann, *Art. „Licht. II. Aufklärung und Idealismus“*, in: *Hist. Wörterbuch der Philosophie*, hg. v. J. Ritter u. K. Gründer, Basel/ Darmstadt 1980, 287/88.

kel der ‚alten Herrschaft‘ auf- und abzulösen streben. Erneut wird Lichtwerdung zur Metapher für einen Erlösungs- und Befreiungsanspruch.

Locke etwa gebraucht den Begriff des übernatürlichen Lichts in ideologiekritischer Weise: Wenn Gott den Geist mit übernatürlichem Licht erhelle, so lösche er damit das uns in den Grenzen unserer Erfahrung gegebene „natürliche“ Licht nicht aus. Die diskursive Selbstprüfung dieses natürlichen Lichts durch die Vernunft (*reason*) sei der oberster Richter und Führer in allem.<sup>42</sup> Das „wahre Licht“ könne im Geist (*mind*) nichts anderes sein als die „Evidenz der Wahrheit“ von Aussagen, die sich auf die Klarheit und Triftigkeit ihrer Beweisgründe (*proofs*) prüfen lassen.<sup>43</sup> Bei Behauptungen der Eingabe übernatürlichen Lichts lasse sich nicht ausschließen, ob das nicht ‚Gaben‘ jener des Lichts sich bemächtigender und im buchstäblichen Sinn deshalb luziferischen Instanz seien, von denen Jes. 14.12 die Rede ist.<sup>44</sup> Dem gegenüber vertreibe das Licht des Geistes die Finsternis, ein Licht, das Locke wiederum mit dem Licht der Sonne am Mittag vergleicht.<sup>45</sup>

Freilich vermag der ideologiekritische Kampf der Aufklärung mit dem Glauben an ein sich menschlicher Verfügung und Nützlichkeit entziehendes Licht das sich aufgeklärt habende Bewusstsein nicht wirklich zu befriedigen. Die Metapher ‚Licht der Erkenntnis‘ ragt darüber hinaus und beerbt einen Wahrheitsanspruch, der sich den Formen einer instrumentellen, alle Lebensbereiche ‚durchleuchtenden‘ Vernunft entzieht.

8) In der Epochenschwelle 1800 wird dieses Erbe – das Licht der Erkenntnis verweist auf jenes Licht, als dessen Erscheinung es sich denkt – in den Diskussionen des deutschen Idealismus virulent. Die neuplatonische Spielart dieses Gedankens reaktiviert Schellings spekulativer Physik.

42 Zum „lumen naturale“ vgl. auch Spinozas Vorwort zum *Theol.-politischen Traktat*.

43 Vgl. John Locke, *Essay concerning human understanding* IV.19.13/14.

44 Vgl. ebd., IV.19.13.

45 Ebd., IV.19.8. – Der Vergleich bzw. der Bezug ‚wahren Erkennens‘ auf die Stunde des Mittags bzw. das Mittagslicht reicht von der Szenerie von Platons *Phaidros* über Augustinus (vgl. *Conf.* XII.15.21; *De civitate dei* XVIII.32) bis zu Hegel (vgl. *Differenzschrift* den Schluß des Abschnitts über das „Verhältnis der Spekulation zum gesunden Menschenverstand“ in „Mancherlei Formen, die bey dem jetzigen Philosophieren vorkommen“), Nietzsche und Camus.

Das Licht [...], von welchem das sinnlich erkennbare Licht selbst nur ein Widerschein ist, und das in der ewigen Natur scheint, wie sie im Absoluten ist, ist nichts anderes als die im Endlichen selbst durchbrechende [...] Form, und in der Natur selbst das göttliche [...] Prinzip.<sup>46</sup>

Die realmetaphorisch intellegible Natur des Lichts nimmt Schelling spekulativ buchstäblich und entwickelt deren psychologischen, erkenntnis- wie geisttheoretischen Implikationen. Das Prinzip des Lichts ist das Prinzip des Geistes selber. Geist wird auf diese seine mythologische wie offenbarungstheologische ‚Natur‘ zurückgeführt. Allerdings mag zutreffen, was Hegel zu Schellings Überlegungen zur spekulativen Natur des Lichts bemerkt hat. Sie zeugten bisweilen von ‚ausschweifendem Empirismus‘. Näher an der Empirie bleibt die Betrachtung des Lichts bei Goethe, die er Newtons Zerlegung des Lichts wie seiner Korpuskulartheorie entgegenstellte. Licht ist unzureichend erklärt, wenn es auf Elemente reduziert und nicht als Phänomen betrachtet wird. Auf die „Taten und Leiden des Lichts“ einzugehen, wie Goethe sie im Vorwort seiner „Schriften zur Farbenlehre“ anspricht, ist hier freilich nicht der Raum.

In diesen – die reduktionistischen Materialismen des 18. Jahrhunderts kritisierenden – Kontext gehören auch die an der Phänomenalität des Lichts orientierten Überlegungen von Johann Wilhelm Ritter, dessen „Fragmente aus dem Nachlasse eines jungen Physikers“ 1810 „bey Mohr und Zimmer“ in Heidelberg erschienen sind. Novalis hat von ihm gesagt, dass wir im Vergleich zu „Ritter nur Knappen“ seien. Ritter hat in der Epochenschwelle 1800 das Licht als „jene Tätigkeit, die durch die Tiefen des Weltalls reicht“, bezeichnet, und am Licht „den Organismus der Natur“ zu begreifen versucht. Aus dieser an den Phänomenen orientierten, gleichsam empirischen Lichtspekulation resultieren erste Vermutungen zum elektromagnetischen Aspekt des Lichts.<sup>47</sup>

46 F. W. J. Schelling, *Fernere Darstellungen aus dem System der Philosophie*, zitiert nach: Friedrich Wilhelm Joseph Schelling, *Schriften von 1801–1804*, Darmstadt 1976, 317 (= *Sämtliche Werke* I/4, 421).

47 „244. Licht ist jene Tätigkeit, die durch die Tiefen des Weltalls reicht, und zurück zum Atom, das Band, was alles und jegliches bindet. [...] 572. Mit dem Bewußtsein ist schlechthin Licht verbunden. Ich weiß mich im Licht; mein Wissen ist Licht; so weit Licht ist so weit weiß ich; wo es aufhört, wo Undurchsichtigkeit angeht, da weiß ich nicht mehr. So sagt man also ganz der Natur getreu [...]. [...] Alles Wissen

Hegel formuliert eine Art Up-date von Platons Sonnengleichnis: als „reine Manifestation“ ist das Licht im Natürlichen, was das Gute im Geistigen. In Abbeviatur der Vorgeschichte des Sonnengleichnisses wird der mythologische Dualismus von Licht (=gut) und Finsternis (=böse) auf seine physische Basis zurückgeführt. Darüber hinaus sei das Licht „so schnell als der Gedanke“.<sup>48</sup> Die Natur des Lichts sei deshalb „unendliche Expansion“ nach der „Kraft seiner aufschließenden Bewegung und Wirksamkeit“ – eine Wirksamkeit, deren „Sein“ sich im „Scheinen“ zeigt, einem Prozess, der bezogen auf das, was erscheint, dessen Vorübergehen oder Negation einschließt.<sup>49</sup> Das führt auf die spekulative Gedankenfigur, dass Identität Bei-sich-sein-im-Anderen bedeutet. Im Licht zeige sich dies auf unmittelbare Weise. Ein Licht, das sich als Licht begreift, streife deshalb die Hülle der Unmittelbarkeit ab. Der Natur des Lichts (dem natürlichen Licht) fehle das Selbstbewusstsein: es ist „Manifestation für Anderes“, keine konkrete, d.h. um sich wissende „Einheit mit sich“.<sup>50</sup> Erst im Bewusstsein werde diese Identität sich selbst durchsichtig. – Folgenreich im 19. Jahrhundert wird gerade auch für das Licht der Umschlag, in der von der Idolatrie der Natur nach der Wegnahme des romantischen Pathos allein ein positivistisches Naturverständnis übrigbleibt. Die Wirklichkeit der Erfahrung des Lichts wandert in den Bereich des von Menschen gemachten künstlichen Lichts gleichsam aus. So verbindet Kierkegaard in *Die Wiederholung* die bewusstseinstheoretische Introspektion mit dem Szenario von Treppenhäusern, die sich mittels Gaslampen erleuchtet finden.

Das künstliche Licht ergreift Besitz von den Städten und durchdringt die Lebensformen – die Bindung der Erfahrung des Lichts an

begrenzt sich durch einander, so auch das Licht [...]. Alles Wissen ist identisch, somit auch alles Licht, somit auch die Begrenzung eines jeden voneinander.“ (Johann Wilhelm Ritter, *Fragmente aus dem Nachlaß eines jungen Physikers*, Hanau/Main 1984, 137, 242) – Zu den Konjekturen zum elektromagnetischen Aspekt des Lichts vgl. die Fragmente 284 bis 321, ebd., 147–157.

48 Vgl. Georg Wilhelm Friedrich Hegel, *Vorlesungen über die Philosophie der Religion* I. III.1. Die Religion des Guten oder des Lichts. a. Der Begriff derselben, in: G. W. F. Hegel, *Theorie-Werkausgabe* Bd. 16, Frankfurt/M. 1969, 399, 400.

49 Vgl. *Wissenschaft der Logik*. Die objektive Logik. Die Lehre vom Wesen. C. Der Widerspruch. Anmerkung 1, in: G. W. F. Hegel, *Gesammelte Werke*, Bd. 11, hg. v. F. Hogemann u. W. Jaeschke, Hamburg 1978, 284; zur Bestimmung des „Scheins“ vgl. ebd., 246.

50 Vgl. *Enzyklopädie (1830)*, § 275 einschl. Zusatz, in: G. W. F. Hegel, *Theorie-Werkausgabe*, Bd. 9, Frankfurt/M. 1970, 111–116.

die Tag-Nacht-Zyklus scheint suspendiert. ‚Illumination‘ wird, licht-metaphysischer Belastungen entledigt, zum Synonym von Beleuchtungs- und Inszenierungstechniken. Ist damit die Einsicht bzw. der Anspruch, dass das Licht der Erkenntnis von jenem Licht zeugt, als dessen Erscheinung es zu denken ist, aufzugeben?

9) Wenn wir als Erben des langen 19. Jahrhunderts mit seiner Wissenschafts- und Technikgläubigkeit in der Gegenwart der Entzauberung der ‚Taten und Leiden des Lichts‘ angekommen sind – an welche Gehalte, die als Reflexion der Metaphorik des Lichts in der skizzierten Weise philosophisch präsent sind, ist dann und gerade jetzt zu erinnern?

Ich möchte auf diese Frage mit einer Frage antworten, mit der Hölderlin den ersten seiner 1805 erschienenen „Nachtgesänge“ – mit „Chiron“ – beginnen lässt:

Wo bist du, Nachdenkliches! das immer muß/  
Zur Seite gehen, zu Zeiten, wo bist du, Licht?/  
[...]  
Rathschlagend, Herzens wegen; wo bist du, Licht?  
Das Herz ist wieder wach, doch herzlos/  
Zieht die gewaltige Nacht mich immer.  
[...]  
Und bei der Sterne Kühle lernst' ich,  
Aber das Nennbare nur. [...] <sup>51</sup>

Was ist das Licht als das ‚Nachdenkliche‘ – als das, dem nachzudenken ist, weil es das Herz, die recordatio und damit das Gemüt bewegt? Was läßt sich an ihm lernen (‚einsehen‘), was die ‚Kühle der Nacht‘ und das allein ‚Nennbare‘ übersteigt?

Vielleicht weist dieser Frage eine Antwort, wie Hölderlin den Schluß von Pindars 8. Pythischen Ode übersetzt:

Tagwesen. [Ep-hemeros bei Homer, damit haben diese Überlegungen begonnen]  
Tagwesen. Was aber ist einer? was aber ist einer nicht?  
Des Schattens Traum, sind Menschen. Aber wenn der Glanz

51 *Chiron*, v. 1–16, zit. nach: Friedrich Hölderlin, *Sämtliche Werke und Briefe*, hg. v. Michael Knaupp, München 1992, Bd. I, 439.

Der gottgegebene kommt,  
Leuchtend Licht ist bei den Männern  
Und liebliches Leben.<sup>52</sup>

‚Leuchtend Licht‘: das Glücksversprechen mit sich versöhnten (‚lieblichen‘) Lebens – ist es das, was ‚Licht‘ meint? Sind wir damit in der Gegenwart angekommen.

Dazu sei noch eine Schlussbemerkung erlaubt. Bei den zurückliegenden Überlegungen sind wir der positiven Konnotation des Lichts gefolgt. Es steht für Aufklärung – für Transparenz, für Durchsichtigkeit: diese diaphane Natur wird von Aristoteles bis J. Joyce gelobt. Aber – erinnert sei an die Anforderung, die Hegel gegen Ende des „Vorworts“ seinen „Grundlinien der Philosophie des Rechts“ vorangestellt hat: Philosophie heiße, „(d)as was ist zu begreifen“ –, bedeutet ‚Transparenz, Durchsichtigkeit‘ nicht auch restlose, d. h. schattenlose Kontrolle? Besteht nicht die Gefahr, dass angesichts (auch dies eine dem Sehen, d.h. dem Licht sich verdankende Präposition) der digitalen Möglichkeiten, die alles zu Daten und aus allem bedeutungsgenau erfasste Informationseinheiten machen, die als Prinzip der Aus- wie Durchleuchtung aller Lebensbereiche wirksam werdende Mächtigkeit des Lichts eine erschreckende Dimension erlangt?

Keine Gegenwart kommt ohne die bewusstseinsgeschichtliche Anamnese jener Selbstreflexion kultureller Erfahrung aus, die Philosophie leistet. Das gilt gerade auch – ich hoffe, das ist durch die vorangegangenen Überlegungen ein wenig deutlich geworden – für die Reflexion, die die Metapher des Lichts in der Philosophie erfahren hat. Die Geschichte dieser Reflexion – die Geschichte der Philosophie – stellt den Subtext bereit, ohne den keine Gegenwart den ihr geltenden Text lesen kann. Was Freud in anderem Zusammenhang als „Erinnern, Wiederholen und Durcharbeiten“ gefordert hat, gilt insbesondere für bewusstseinsgeschichtliche Arbeit und den Anspruch, dem sie sich gegenüber sieht.

Wo Dunkel ist, soll Licht werden – damit haben wir begonnen. Aber ist schrankenlose Helle die Erfüllung der Aufklärungsversprechen? ist das restlose Aus- und Durchleuchten von allem nicht das Zerrbild dieser Versprechen? Mit den Geheimdiensten begleitet es die soziokulturellen Subschichten aufklärerischer *ratio* nicht erst zu Beginn

52 Pindar, VIII. *Pythische Ode*, 88–97; Übers.: F. Hölderlin, ebd., Bd. II, 234.

des 21. Jahrhunderts, sondern wie ein geheimer Zwilling von Anbeginn. Muss man dieser Durchleuchtungsratio nicht die Frage entgegenstellen, ob es wünschenswert ist, dass es nur Licht (Transparenz, Durchsichtigkeit, usw.) gibt – und ‚nichts sonst‘?

Paul Celan hat diese Krisis der Metapher des Lichts in dem 1970 erschienen Gedichtband „Lichtzwang“ mit der Erklärung des Bandtitels angesprochen:

es herrschte /  
Lichtzwang.<sup>53</sup>

Und im Eingangsgedicht dieses Bandes folgendermaßen benannt:

HÖRRESTE, SEHRESTE, im /  
Schlafsaal eintausendeins,

tagnächtlich  
die Bären-Polka:

sie schulen dich um,

du wirst wieder  
er.<sup>54</sup>

‚Du wirst wieder er‘: Bei Kafka findet sich das als Koordinate der Gegenwart seismographisch registriert – und nicht erst seit Foucaults Analysen zu ‚Überwachen und Strafen‘ wissen wir, worin das Substrat dieser Koordinate besteht und wohin es führt.

Nun wird man auf das sich in seine Dialektik verstrickende Licht der Aufklärung nicht mit seiner und nicht mit einer Abschaffung von Aufklärung antworten wollen. In leichter Abwandlung von Goethes ‚ungeheurem Spruch‘ könnte man formulieren: ‚nihil contra lucem nisi lux ipsa‘. Aspekte der bewußtseinsgeschichtlichen Anamnese kultureller Erfahrung, die es hier braucht und die Philosophie meint, haben die vorangegangenen Überlegungen zu skizzieren versucht.

53 P. Celan, WIR LAGEN, in: *Lichtzwang*, Frankfurt/M. 1970, 13.

54 Ebd., 7.

Dem „Licht“ verdanken die Menschen ihre Existenz, doch nach wie vor wissen wir nur wenig über dieses faszinierende Phänomen. In der Wissenschaft ist Licht die Grundlage für vielerlei Anwendungen: Es kann Daten übertragen, Energie erzeugen, als Laserwerkzeug dienen, alternative Beleuchtungsmöglichkeiten schaffen und neue medizinische Behandlungen ermöglichen. Die UNESCO hat 2015 zum Jahr des Lichts erklärt mit der Begründung, an die Bedeutung von Licht „als elementare Lebensvoraussetzung für Menschen, Tiere und Pflanzen und daher auch als zentralen Bestandteil von Wissenschaft und Kultur“ erinnern zu wollen.

Mit Blick auf dieses Thema hat sich auch das Studium Generale an der Universität Heidelberg im Wintersemester 2014/2015 ganz dem weiten Spektrum der Erforschung des Lichts verschrieben. Wissenschaftler aus Disziplinen wie Astrophysik und Architektur, Kunstgeschichte und Philosophie referieren dazu aus der jeweiligen Sicht ihres Fachgebietes.



UNIVERSITÄT  
HEIDELBERG  
ZUKUNFT  
SEIT 1386

ISBN 978-3-946054-17-7



9 783946 054177