

Atombegriff und Erfahrung

Zur Auseinandersetzung zwischen Instrumentalismus und Realismus

MICHAEL HEIDELBERGER

Ich möchte mit einer Definition des naturwissenschaftlichen Realismus und Instrumentalismus beginnen. Ein naturwissenschaftlicher Realist ist der Auffassung, dass der Erfolg einer naturwissenschaftlichen Theorie ein gutes Argument dafür ist, dass die theoretischen Entitäten, von denen die Theorie spricht, tatsächlich existieren. Unter den theoretischen Entitäten einer Theorie versteht man diejenigen Gegenstände, von denen in den Fundamentalgesetzen der Theorie, aber nicht in den phänomenologischen Gesetzen die Rede ist. Atome, Elektronen, Quarks, schwarze Löcher und die schwache Wechselwirkung sind für den naturwissenschaftlichen Realisten so wirklich wie Stühle, Fensterglas, Bakterien und Eisberge. Der Realist glaubt also, dass, wenn seine Theorie richtig wäre, sie die Welt darstellen würde, wie sie ist.

Der naturwissenschaftliche Instrumentalist hingegen vertritt eine gegensätzliche Position. Nach seiner Auffassung ist auch eine noch so erfolgreiche naturwissenschaftliche Theorie kein gutes Argument dafür, dass die theoretischen Entitäten (Gegenstände, Ereignisse, Prozesse, Zustände), von denen die Fundamentalgesetze der Theorie sprechen, auch tatsächlich im genannten Sinne existieren. Die theoretischen Ausdrücke, die in unseren Theorien vorkommen, sind nur geistige Instrumente, mit deren Hilfe wir Phänomene erklären oder Ereignisse vorhersagen. Die grundlegenden Gesetze und Gleichungen guter Theorien organisieren, klassifizieren, systematisieren unser Wissen auf eine elegante und wirkungsvolle Weise, so dass gute Erklärungen und Voraussagen möglich werden. Ihr Inhalt ist aber nicht wörtlich zu nehmen. Wir haben keinen Grund zur Annahme, dass die Entitäten, von denen die Fundamentalgesetze handeln, auch tatsächlich existieren. So wie wir in gewissen volkswirtschaftlichen Theorien das Konsumentenverhalten besser voraussagen können, wenn wir den „Otto Normalverbraucher“ oder sein wissenschaftlich seriöser benanntes Pendant in die Theorie einführen, als wenn wir dies nicht tun, so reden wir in den Naturwissenschaften von Elektronen, Photonen und dergleichen. Niemand glaubt im Ernst, dass es den „Otto Normalverbraucher“ auf diese Weise gibt, wie es mich für sie jetzt gerade gibt. Auch wenn es einen Menschen gäbe, der genau die Eigenschaften von Otto Normalverbraucher hätte, wäre er nicht speziell mit diesem Ausdruck der Theorie gemeint. Wenn der Ausdruck überhaupt einen Sinn hat, dann wird vielmehr damit etwas an dem greifbaren Verhalten der wirklich existierenden Konsumenten ausgedrückt und für theoretische Überlegungen handhabbar gemacht. Der Instrumentalist glaubt also, dass, wenn eine naturwissenschaftliche Theorie richtig wäre, sie nur in ihrem phänomenologischen Gehalt die Welt darstellt, wie sie wirklich ist. Der Rest ist metaphorisch zu verstehen und geht auf das Konto der Hilfsmittel, deren sich die Theorie zur Voraussage bedient.

Die Unterscheidung zwischen Realismus und Instrumentalismus, die ich Ihnen hier vorgestellt habe, macht Gebrauch von der Unterscheidung zwischen phänomenologischen und fundamentalen Gesetzen. Die phänomenologischen Gesetze, auch empirische oder experimentelle Gesetze genannt, sind „allgemeine Regeln“,¹ die Erscheinungen einer Art in der Natur mit Erscheinungen anderer Art verknüpfen, so dass man von einer Erscheinung direkt auf eine andere übergehen kann. Wenn gezeigt ist, dass eine Erscheinung unter ein phänomenologisches Gesetz fällt, ist nach Meinung des Realisten noch nichts erklärt. In den Worten des Physikers Hermann von Helmholtz, einem typischen Realisten des 19. Jahrhunderts: „Wir reihen ... unser Factum unter ein allgemeineres, bekannteres ein, beruhigen uns dabei und nennen dies fälschlich eine Erklärung. Die Allgemeinheit dieser

Beobachtung“, so fährt Helmholtz fort, „führt offenbar noch nicht die Einsicht in die Ursachen mit sich.“² Erst wenn in den theoretischen Naturwissenschaften „die unbekannteren Ursachen der Vorgänge aus den sichtbaren Wirkungen“³ gefunden sind, kann man nach seiner Meinung mit Fug und Recht von einer naturwissenschaftlichen Erklärung sprechen. Die Physik, sagt er an einer anderen Stelle, „sucht die Hebel, Stricke und Rollen zu entdecken, welche hinter den Coulissen arbeitend diese regieren.“⁴ Je besser wir mit unseren Fundamentalgesetzen das Geschehen auf der Theaterbühne erklären können, desto mehr sind wir berechtigt, von der Existenz der in ihnen angenommenen „Hebel, Stricke und Rollen“ auszugehen.

Dieser Vergleich zeigt sehr schön, dass sich der Realist erst mit seinen erfolgreichen Fundamentalgesetzen nahe an der Wirklichkeit fühlt, an dem, was die Kulissen der Erscheinungen regiert. Für den Instrumentalisten ist es gerade umgekehrt: Er hält die phänomenologischen Gesetze für nahe an der Wirklichkeit, da sie ja unsere Erfahrungen, also das, was wir als wirklich erfahren, zusammenfassen. Wir dürfen, sagt Ernst Mach, einer der instrumentalistischen Gegenspieler von Helmholtz, „die intellektuellen Hilfsmittel, die wir zur Aufführung der Welt auf der Gedankenbühne gebrauchen, nicht für Grundlagen der wirklichen Welt halten.“⁵

Im Folgenden möchte ich versuchen, etwas Bewegung in die festgefahrenen Fronten zwischen Instrumentalismus und Realismus zu bringen. Ich möchte zwei eng zusammenhängende Fragen stellen und zu beantworten versuchen: 1. Von welchen tatsächlich vorgebrachten Argumenten lassen sich Naturwissenschaftler zur Annahme theoretischer Entitäten leiten und sind diese Argumente ausreichen? 2. Gibt es neben dem Rekurs auf den Erklärungserfolg einer grundlegenden Theorie noch andere Argumente für die Annahme der Realität theoretischer Entitäten und wenn ja, sind sie gültig?

Die erste Frage lässt sich natürlich nicht in einer Stunde erschöpfend beantworten und auch in Bezug auf die zweite Frage muss man sich auf Weniges konzentrieren. Um die Fragen handhabbar zu machen, halte ich es für günstig, mich auf denjenigen Teil der Geschichte der Naturwissenschaften zu beziehen, bei dem es um die theoretische Entität der Physik par excellence ging, die Geschichte des Atomismus. Aus dieser Geschichte wähle ich zwei Perioden aus, in denen entscheidende Weichen für den weiteren Verlauf der Diskussion gestellt wurden und die deshalb auch in philosophischer Hinsicht interessant und ergiebig sind. Dies betrifft erstens die Zeit um die Mitte des 17. Jahrhunderts. Dies ist die Zeit der Konsolidierung und Durchsetzung des eng mit dem Atomismus zusammenhängenden Korpuskularismus der frühen Neuzeit und damit allgemein der so genannten „mechanical philosophy“. Das naturwissenschaftliche Forschungsprogramm, das mit diesem Ausdruck gemeint ist, spielte natürlich auch in der Philosophie der frühen Neuzeit eine entscheidende Rolle. Ich stelle meine erste Frage, welche Argumente für die Annahme der Existenz des Atoms in der Naturwissenschaft tatsächlich vorgebracht wurden, zuerst einmal für diese Zeit und ihren Kontext.

Die andere Periode aus der Geschichte des Atomismus, die ich daran anschließend behandeln möchte, betrifft die Zeit um das Jahr 1909, als der französische Physiker Jean Perrin einen Beweis für die atomare Struktur der Materie erbrachte, der selbst so dickschädelige und berühmte Instrumentalisten wie den Chemiker Wilhelm Ostwald bekehrte und die Existenz von Atomen annehmen ließ. Ich versuche, das Argument zu rekonstruieren, das Ostwald überzeugte. Die Argumentation Perrins scheint mir in ihrem entscheidenden Teil nicht, wie die Argumente der Korpuskularisten, lediglich auf dem Erklärungserfolg von grundlegenden Gesetzen zu beruhen, sondern auf dem Erfolg von Experimenten. Damit lässt sich dann eine zustimmende Antwort auf meine zweite Frage geben, ob es noch andere Argumente für die Annahme der Realität theoretischer Entitäten gibt als den Schluss aus dem Erfolg einer fundamentalen Theorie. Ich versuche, die Gültigkeit dieser Argumentation zu

überprüfen und sie mit den Argumentationsformen der frühen Korpuskularisten zu vergleichen.

I

Nun also zur ersten der beiden von mir ausgewählten Perioden der Geschichte des Atomismus, dem Aufkommen des Korpuskularismus im 17. Jahrhundert. Die Ausbreitung realistischer atomistischer Lehren in der damaligen Zeit muss man auf dem Hintergrund der damals noch sehr weit verbreiteten aristotelischen Philosophie und ihrer Materielehre sehen. Für Aristoteles bestanden die irdischen Gegenstände aus den vier Elementen Feuer, Wasser, Luft und Erde. Jedes dieser Elemente strebt gemäß seiner Form der naturgegebenen Leichtigkeit oder Schwere zu dem ihm natürlichen Ort: Erde zum Mittelpunkt des Universums, Wasser zur Erdoberfläche, Luft in die Region zwischen der Erdoberfläche und dem Mond und Feuer schließlich zum Himmel. Alle Elemente zeigen ihre natürliche Bewegung, wenn sie nicht gewaltsam daran gehindert werden. Das Verhalten von Körpern, die aus verschiedenen Elementen zusammengesetzt sind, glaubte man je nach dem Mischungsverhältnis ihrer Bestandteile erklären zu können. Wenn ein Stoff viel Luft enthält, wird er auf dem Wasser schwimmen. Wenn er nur wenig enthält, geht er unter.

Diese Gesetze der aristotelischen Physik lassen sich an einer Unmenge alltäglicher Erfahrungen belegen. Wenn wir einen Stein loslassen, fällt er zu Boden; wenn wir ein Loch weit genug in den Boden graben, wird es sich mit Wasser füllen; Luftblasen steigen im Wasser immer nach oben; Wolken als Luftphänomene bilden sich in der sublunaren Atmosphäre. Wenn wir ein Feuer entzünden, schlagen die Flammen nach oben und weisen zum größten Feuerball, den wir kennen, nämlich der Sonne, die sich über der Atmosphäre befindet.

Weitere Erklärungsmöglichkeiten schuf Aristoteles dadurch, dass er die Existenz gewisser grundlegender, nicht weiter reduzierbarer Qualitäten annahm: die aktiven Qualitäten des Kalten und Warmen, sowie die passiven Qualitäten des Feuchten und Trockenem. Die vier Elemente sind wesentlich dadurch charakterisiert, dass ihnen jeweils ein Paar dieser Qualitäten zukommt. Feuer ist von Natur aus warm und trocken, Wasser kalt und feucht, Luft ist warm und feucht und Erde schließlich kalt und trocken. In seiner Meteorologie hatte Aristoteles auch davon gesprochen, dass die vier Elemente ineinander übergehen können und jedes potentiell im andern vorhanden ist. Außerdem war er der Meinung, dass die Elemente Wirkungen aufeinander ausüben können und dass sozusagen aus der Mischung von grundlegenden Qualitäten andere Eigenschaften wie Farbe, Geruch, Geschmack, Härte usw. entstehen.

Die Gesetze der aristotelischen Materietheorie sind offensichtlich phänomenologischer Natur. Die Erklärungen, die sie ermöglichen, kommen somit ohne theoretische Begriffe aus und sind daher für einen Realisten überhaupt keine wirklichen Erklärungen. Sie erlaubten aber eine differenzierte Behandlung der Phänomene und lieferten ein plausibles Ordnungs- und Organisationsschema, das die Komplexität der Erscheinungen stark vereinfachte. Man darf aber nicht der Versuchung erliegen und meinen, diese Theorie sei insofern schon eine Art Chemie, als sie wenigstens prinzipiell den Anspruch erhebt, die Eigenschaften aller natürlichen Dinge und ihrer Veränderungen zu erklären. Dies ist nicht der Fall. Die Materietheorie erklärt nur einen Teil der Veränderungen der Natur. Zur Vervollständigung muss vor allem noch auf die so genannte Entelechie der natürlichen Dinge Bezug genommen werden. Das aristotelische Denken nimmt biologische Prozesse, z.B. das Entstehen eines Baumes aus einem Samen und sein Wachsen, zum allgemeinen Paradigma physischer Veränderungen und erklärt physische Eigenschaften dadurch, dass es ihren Platz im Prozess der kontinuierlichen Verwirklichung einer Kraft aufzeigt.

Wie konnte es bei der großen Geschlossenheit und dem Erfolg des aristotelischen Weltbildes, das ich hier nur ganz grob charakterisieren konnte, überhaupt zu einer neuen,

atomistischen Materietheorie kommen? Ich möchte einen Faktor herausgreifen, der mit sehr wichtig zu sein scheint: Die Materietheorie des Aristoteles war untrennbar verbunden mit einer bestimmten Theorie über die Verfasstheit der Welt im Großen, also mit einer bestimmten Himmelsphysik. Je mehr diese Theorie unterhöhlt wurde, desto unhaltbarer wurde damit auch die Elementenlehre des Aristoteles.

Die Lehre von den natürlichen Bewegungen und den natürlichen Örtern der Elemente steht und fällt mit der Annahme, dass sich die Erde im Mittelpunkt des Universums befindet und selbst in Ruhe ist. Wenn sich die Erde ihrerseits bewegen würde, müsste man für diese Bewegung einen neuen natürlichen Ort und eine neue natürliche Bewegungsart postulieren, für die keine Bestätigung in der Sinneserfahrung zu finden ist. Ähnlich ist auch für die Erklärung der Bewegung der anderen Elemente die Geltung der aristotelischen Kosmos-Vorstellung die Voraussetzung. Jenseits der Erdatmosphäre kommt zuerst der Mond, dann die Sonne mit den Planeten und schließlich die Fixsterne, die an die äußerste, kugelförmige Grenze des Universums angeheftet sind. In der Welt über dem Mond gibt es keine irdischen Elemente und kein Werden und Vergehen mehr. Die Himmelskörper bestehen aus dem fünften Element, der Quintessenz, deren natürliche Bewegung der perfekten Kreisform folgt.

Je mehr die neue heliozentrische Astronomie von Kopernikus sich durchsetzte, je mehr man die aristotelische Trennung des Kosmos in physikalisch völlig verschiedene Bereiche, einen irdischen und einen himmlischen, in Frage stellte (wofür der dänische Astronom Tycho Brahe mit seinen Kometenbeobachtungen Entscheidendes beitrug), desto schwieriger wurde es, die aristotelische Elementenlehre aufrechtzuerhalten, desto verlockender wurde es, eine Theorie anzunehmen, die von der materiellen Gleichförmigkeit des Universums ausging.

In der damaligen Zeit gab es im Wesentlichen zwei Alternativen, die sich zur aristotelischen Materietheorie anboten: die Lehre der von Robert Boyle so genannten „Korpuskularphilosophen“, die auf den antiken Atomismus zurückging, und die Lehre der so genannten „Chemiker“; worunter man die Anhänger des Paracelsus (1493-1541) verstand. Paracelsus sah Salz, Schwefel und Quecksilber als die grundlegend wirkenden Prinzipien des Geschehens an. Man darf diese Prinzipien weder als Elemente im Sinne von Aristoteles noch als chemische Elemente im modernen Sinn verstehen, sondern eher als Wirkformen oder Aggregatzustände, die in ganz verschiedenen Stoffen realisiert sein können. Sulphur (Schwefel) ist das Brennbare, das für das organische Wachstum verantwortlich ist, Sal (Salz) ist der starre Verbrennungsrückstand, der den Körpern Form und Festigkeit verleiht, und Mercurius (Quecksilber) ist das Flüchtige, das den Flüssigkeitsgehalt aller Dinge bestimmt.

Die andere Alternative, der Atomismus, der uns hier ja besonders interessieren soll, war im Mittelalter fast in Vergessenheit geraten, bis dann 1417 eine Handschrift des Atomisten Lukrez (96-55 v. Chr.) entdeckt und 1473 gedruckt wurde, sein Werk „De rerum natura“. Ungefähr zur selben Zeit erschien auch ein Druck der lateinischen Übersetzung einer Schrift des Diogenes Laertius, in dem sich ein Abriss der Atomlehren von Leukipp, Demokrit und Epikur findet. Die Korpuskularphilosophie, die sich aus der Rezeption des antiken Atomismus dann entwickelte, ist einfach eine etwas schwächere Form des Atomismus: Für einen Korpuskularisten entstehen alle Körper aus kleinen, unbeobachtbaren Teilchen, den Korpuskeln. Ein Atomist ist zusätzlich noch davon überzeugt, dass sich die Korpuskeln im Vakuum bewegen und dass es eine untere Grenze für ihre Teilbarkeit gibt.

Der Hauptverdienst, den Atomismus wieder zu einer hoffähigen Doktrin in der Physik gemacht zu haben, kam Pierre Gassendi (1592-1655) zu und der wichtigste Korpuskularist, der den Atomismus ablehnte, war natürlich Descartes (1596-1650). Er sah die Materiekorpuskel als potentiell unendlich teilbar an und lehnte die Existenz des Vakuums ab. Zu denjenigen, die den Korpuskularismus als eine Alternative zur aristotelischen und zur paracelsischen Auffassung vertraten, zählten Galileo Galilei (1564-1642), der deutsche Arzt Daniel Sennert (1572-1637), Thomas Hobbes (1588-1679), Robert Boyle (1627-1691); später auch Isaac Newton (1642-1727) und John Locke (1632-1704).

Die meisten der aufgezählten Autoren sahen in den Korpuskeln winzige ausgedehnte, harte, elastische Körper mit bestimmten geometrischen Formen, die je nach Gestaltung ihrer Oberflächen mechanisch aufeinander einwirken. Robert Boyle, der stark von Gassendi und Descartes beeinflusst war und sich nie so recht zwischen Atomismus und einem bloßen Korpuskularismus entscheiden konnte, schwankte sein Leben lang zwischen der Auffassung, dass alle Atome von gleicher Art sind und der Auffassung, dass es viele verschiedene spezifische Atomarten gibt. Mit Newton kam die damals von vielen als rückschrittlich empfundene Auffassung hinzu, dass die Korpuskeln eine Anziehungskraft besitzen, mit der sie sich gegenseitig über die Leere hinweg anziehen, wobei die Größe der Anziehungskraft eine Funktion der Quantität ihrer Materie darstellt, also ihrer Masse.

Mit der Korpuskularphilosophie wurden nun theoretische Erklärungen möglich, die mit der phänomenologischen aristotelischen Erklärungsweise unvereinbar sind. Diese Theoretisierung drückt sich in zweierlei Hinsicht aus: 1. Die Erklärungen der Korpuskularphilosophie sind reduktiv, während die aristotelischen phänomenologisch sind. 2. Die Korpuskularphilosophie erklärt die Phänomene durch Bezug auf Unbeobachtbares, oder, in den Begriffen der Zeit ausgedrückt, sie führt manifeste Phänomene auf okkulte zurück, während die aristotelische Physik mit ihren Erklärungen im manifesten Bereich verbleibt.

Ich möchte auf diese beiden Aspekte der Theoretisierung noch kurz eingehen:

1) Der Korpuskularismus erklärt die Eigenschaften von Körpern dadurch, dass er sie auf grundlegende Eigenschaften der Korpuskeln zurückführt, aus denen sie bestehen. Das Reduktive an dieser Art von Erklärung besteht darin, dass den grundlegenden Eigenschaften ein besonderer ontologischer Status zugesprochen wird: sie gelten einerseits als die einzigen Eigenschaften, die den Dingen wirklich zukommen, und andererseits als die einzigen Eigenschaften, die selbst nicht weiter erklärungsbedürftig sind. Die Tradition nennt sie seit Galilei die primären Qualitäten und stellt sie denjenigen Eigenschaften wie Farbe, Geschmack, Geruch usw. gegenüber, die nur dadurch in die Welt kommen, dass es wahrnehmende Wesen gibt. Man hat sie dann entsprechend die sekundären Qualitäten genannt. Als primäre Qualitäten gelten Größe, Gestalt, Bewegung; manchmal kommen noch weitere hinzu, wie Oberflächenbeschaffenheit, Härte, Elastizität und Undurchdringlichkeit. Eine tief greifende Erweiterung erfährt die Materietheorie mit der Einführung einer weiteren primären Eigenschaft durch Newton, der Trägheit.

Die aristotelische Auffassung ist im Gegensatz hierzu nicht reduktiv. Zwar gibt es, wie wir gesehen haben, ebenfalls grundlegende Eigenschaften, wie z.B. das Gegensatzpaar kalt-warm, trocken-feucht. Diese sind aber nicht deshalb grundlegend, weil ihr Status irgendwie von größerer ontologischer Güte wäre als der der anderen, sondern weil sie besser für die Organisation der Erscheinungen geeignet sind. Die Eigenschaften, die wir unter günstigen Bedingungen an den Gegenständen wahrnehmen, kommen diesen auch zu. Es ergeben sich für Aristoteles nur Unterschiede in der Verlässlichkeit der Wahrnehmung von Eigenschaften. Die Wahrnehmung derjenigen Eigenschaften, die für den Korpuskularisten primär sind, scheint ihm weniger zuverlässig zu sein als die Wahrnehmung der sekundären Qualitäten. Wir können uns nicht darüber täuschen, sagt er, dass wir gerade etwas Farbige oder einen Schall wahrgenommen haben, aber darüber, „was das Farbige ist oder wo, und was das Schallende oder wo.“⁶ Der Grund liegt seiner Meinung nach darin, dass wir Bewegung, Ruhe, Gestalt und Größe nicht direkt wahrnehmen, da wir keine spezifischen Sinne dafür besitzen, sondern nur nebenbei mit jedem der fünf Sinne, deren Zweck in der direkten Wahrnehmung von Farbe, Schall, Geruch, Geschmack und Tastbarem besteht.

2) Mit der Theoretisierung werden die Erscheinungen auf Unbeobachtbares zurückgeführt. Die aristotelische Philosophie und mit ihr auch noch das 17. Jahrhundert machte den Unterschied zwischen manifesten und okkulten Qualitäten. Als manifest galten

solche Qualitäten, zu denen die Sinne direkten Zugang besitzen, während okkulte Qualitäten unseren Sinnen verborgen sind. Als typische manifeste Qualitäten gelten Geschmacksrichtungen und Farben, die den Sinnen unmittelbar gegeben sind, aber auch die vorher behandelten grundlegenden Qualitäten und ihre Mischungen. Beispiele für okkulte Qualitäten hingegen sind die Kräfte des Magnetsteins und die Eigenschaft geriebenen Bernsteins, Gegenstände anzuziehen, die Einflüsse der Gestirne und die Eigenschaften von Arzneimitteln oder Giften. Wir können zwar okkulte Qualitäten insofern erfahren, als wir die Wirkungen der mit ihnen versehenen Gegenstände beobachten; wir können aber nicht wahrnehmen, worauf diese Wirkungen beruhen. Da okkulte Eigenschaften nicht wahrnehmbar sind, können wir nach Meinung der Aristoteliker auch kein Wissen von ihren Ursachen erlangen. Dies ist nur bei manifesten Eigenschaften möglich.

Der Korpuskularismus widersprach dieser Auffassung auf dreierlei Weise: Er behauptete, dass die Eigenschaften, worauf die Wirkungen magnetischer und sonstiger Kräfte von Körpern beruhen, körperliche Eigenschaften sind; genauer: die primären Qualitäten ihrer unwahrnehmbaren Korpuskel. Weiterhin behauptete er, dass wir tatsächlich ein Wissen über die Ursachen dieser okkulten Eigenschaften erlangen können und nicht bloß ihrer Wirkungen.⁷ Und drittens ging er davon aus, dass auch die nach Aristoteles direkt wahrnehmbaren Eigenschaften, die manifesten also, in Wirklichkeit auf unwahrnehmbaren verborgenen Mechanismen beruhen. Die Wärmeempfindung z.B. geht auf die Wirkung kleiner Partikel bestimmter Gestalt und Geschwindigkeit zurück, die auf unseren Körper einwirken. Die Unterscheidung zwischen primären und sekundären Qualitäten zu akzeptieren hieß, den Bezug auf manifeste Qualitäten in naturwissenschaftlichen Erklärungen schlichtweg abzulehnen.

In dem von mir angesprochenen Zusammenhang hat der Ausdruck „okkult“ nichts mit übernatürlichen Ursachen zu tun – eine Bedeutung, die ihm heute meistens anhaftet. Wäre nach Meinung der damaligen Zeit z.B. die magnetische Wirkung des Magnetsteins übernatürlich oder wunderbar, dann läge ihr keine wirkliche Qualität des Magnetsteins zugrunde, sondern das direkte Eingreifen Gottes oder eines Dämons, das die natürlichen Qualitäten außer Kraft setzt oder überlagert. Wenn die Aristoteliker eine Eigenschaft als okkult bezeichneten, dann implizierten sie damit gerade die natürliche Herkunft der beobachteten Wirkung.

Welches waren nun die Argumente, die um die Mitte des 17. Jahrhunderts für die Annahme der Existenz der Atome bzw. Korpuskel vorgebracht wurden? Das Hauptargument war der Hinweis auf die Verträglichkeit der Erklärungsleistung des Korpuskularismus mit den Erklärungen sowohl der neuen Himmelsphysik von Kopernikus, Kepler und Galilei als auch mit den Ansätzen zu einer neuen Bewegungslehre und Mechanik von Galilei und anderen. Diese Verträglichkeit war für den Aristotelismus (und auch die Paracelsische Lehre) nicht, oder wenigstens nicht so direkt, gegeben. Man hegte die Hoffnung, mit dem Korpuskularismus zeigen zu können, dass die Gesetze der Mechanik universell, im irdischen und himmlischen Bereich, im Kleinen wie im Großen gelten.

Die Strategie zur Verteidigung des Korpuskularismus bestand hauptsächlich in Versuchen, die Alternativen fragwürdig zu machen oder zu widerlegen. Typisch dafür ist Robert Boyle, der mit dem Anspruch auftrat, eine experimentelle Entscheidung zugunsten der korpuskularistischen Philosophie herbeizuführen. Beim genauen Hinsehen entpuppen sich seine Experimente jedoch als Widerlegungsversuche rivalisierender Auffassungen. Er mischte z.B. erhitztes Ammoniaksalz mit erhitztem Wasser, das daraufhin erkaltete und war so in der Lage, die aristotelische Theorie zu entkräften, dass Kaltes nicht aus der Mischung von Warmem entstehen könne. Mit solchen Argumenten mussten sich die Aristoteliker natürlich nicht unbedingt widerlegt fühlen. Wie alle Naturwissenschaftlicher in ähnlicher Situation versuchten sie, besondere Bedingungen zu finden, die diese Abweichung vom normalen Gesetz erklären.

Das Hauptargument des Korpuskularismus als einer realistischen Position lief auf einen Schluss aus dem Erfolg einer fundamentalen Theorie hinaus, das klassische Argument des Realismus. Es verläuft so, dass man den Erklärungserfolg einer Theorie – die Tatsache, dass in der Erklärung alles so schön zusammenpasst – als Indiz dafür nimmt, dass man sie wörtlich verstehen darf. Wenn man den Vergleich zu rivalisierenden Erklärungen mit einbaut, lautet das Argument der Korpuskularisten folgendermaßen: Je besser eine Erklärung ist im Vergleich zu rivalisierenden Erklärungen und je besser sie mit Erklärungen anderer Gebiete zusammenpasst, desto wahrscheinlicher ist es, dass die theoretischen Entitäten, von denen in der Erklärung die Rede ist, tatsächlich existieren. Zeige, wie gut die Erklärungen deiner korpuskularistischen Theorie sind und wie schlecht im Vergleich dazu diejenigen der Aristoteliker und der anderen, dann machst du es damit um so wahrscheinlicher, dass es Atome tatsächlich gibt. Die Möglichkeit, dass man die Erklärungsvorteile des Atomismus auch instrumentalistisch deuten könnte, kam damals meines Wissens keinem in den Sinn, obwohl instrumentalistische Positionen, besonders in der Astronomie, durchaus bekannt waren.

Das einzige korpuskularistische Argument der damaligen Zeit, das meines Erachtens aus dem Rahmen eines Schlusses aus dem Erfolg einer fundamentalen Theorie fällt, bezieht sich auf den experimentellen Nachweis des Vakuums – vor allem Torricellis Herstellung eines Vakuums über einer Quecksilbersäule, aber auch einschlägige Versuche von Otto von Guericke und Robert Boyle. Mit der Möglichkeit des Vakuums fiel eine wichtige Stütze der antiatomistischen Argumentationen der Aristoteliker weg. Dieses Argument wurde aber dadurch stark entwertet, dass sich ein Teil der Korpuskularisten, nämlich die Cartesianer, gegen das Vakuum aussprachen.

Mit der Durchsetzung des realistischen Korpuskularismus des 16. Jahrhunderts wurden die Weichen für die auch heute noch weit verbreitete Auffassung gestellt, dass die Natur im wörtlichen Sinne aus kleinen Bausteinen besteht, zwischen denen fundamentale Gesetze wirksam sind und dass die Aufgabe der Naturwissenschaft letzten Endes darin besteht, alle Erscheinungen auf das Wirken dieser Gesetze zurückzuführen. Der Korpuskularismus hat nicht einfach nur eine alte Materietheorie abgelöst, sondern er hat gleichsam auch den Realismus in unseren Erfahrungsbegriff eingebaut, so dass sich eine tief greifende Veränderung und Umdefinition dessen ergab, was wir „Erfahrung“ nennen. Erfahrung war vor dem Aufkommen des Korpuskularismus viel stärker an die direkte Sinneswahrnehmung gebunden als nachher. Es ist gerade nicht so, dass die Aristoteliker der frühen Neuzeit sich weigerten, ihren Sinnen zu trauen, während die Physiker der Schule Galileis und die Korpuskularisten ihre Theorien auf Beobachtungen bauten, wie man immer noch häufig zu hören bekommt. Vielmehr ist es gerade umgekehrt, dass die neue Naturwissenschaft von den Menschen forderte, das Nichtwahrnehmbare als das Wirkliche zu nehmen und in die Sinneserfahrung als theoretisches Element zu integrieren. So setzte Galilei alles daran, zu zeigen, dass es eine wirkliche Bewegung gibt, die wir mitmachen, obwohl wir sie *nicht* wahrnehmen, nämlich unsere Bewegung um die Sonne, und dass wir durch die Annahme dieser unsichtbaren Bewegung eine viel bessere Erklärung der Sinneserfahrungen erreichen, als wenn wir auf sie verzichten. Der Korpuskularismus im 17. Jahrhundert half mit, diese Art von Theoretisierung der Erfahrung durchzusetzen. Mit ihm schien man die Möglichkeit für den Nachweis zu besitzen, dass die wirklichen Eigenschaften der materiellen Gegenstände Eigenschaften unbeobachtbarer Korpuskel sind und dass die Annahme dieser Korpuskel als Träger dieser Eigenschaften eine bessere und tiefere Erklärung der Sinneserfahrungen und ein einheitlicheres Weltbild erbringt, als wenn wir auf diese Annahme verzichten.

II

Wir machen nun einen ganz großen Sprung in der Zeit in einen ganz anderen Problemhorizont, rücken unserer Gegenwart näher und betrachten eine völlig andere Phase der Geschichte des Atomismus: die Zeit um 1900. Dies war eine Periode wichtiger Entdeckungen, die klassische Physik schließlich sprengten: der Entdeckung der Röntgenstrahlen und der Radioaktivität, des Elektrons und des Zeemaneffekts. Es wurde möglich, die innere Struktur des Atoms zu untersuchen. Aufgrund dieser mikrophysikalischen Fortschritte setzte sich der Glaube an die Existenz des Atoms sowohl bei den Chemikern als auch bei den Physikern erstmals auf breiter Front durch. Aus verschiedenen Gründen, die ich jetzt nicht weiter darstellen kann, war die Existenz des Atoms im 19. Jahrhundert immer umstritten gewesen. Von dieser instrumentalistischen Opposition blieb noch eine kleine, aber sehr starke und wichtige Gruppe übrig, die sich gegen die atomistische Auffassung der Materie wandte. Der französische Mathematiker und Physiker Henri Poincaré z.B. bezeichnete die Annahme, dass die Materie aus Atomen bestehe, als eine „indifferente Hypothese“, die weder bestätigt noch entkräftet werden könne. Ähnliche Auffassungen äußerten auch andere einflussreiche Autoren wie Ernst Mach, Pierre Duhem, van't Hoff, Le Chatelier und Marcelin Berthelot. Wilhelm Ostwald, der Begründet der physikalischen Chemie, sprach davon, dass sich zwar „die Gesamtheit der chemischen Erfahrungen mit der Atomhypothese in Einklang bringen“ lasse, dass aber „die Atomhypothese nur ein Bild ist, das mit dem uns bekannten Verhalten der Stoffe in bester Übereinstimmung sich darstellen lässt. Welches die ‚wirkliche‘ Beschaffenheit der Materie ist, bleibt uns ebenso unbekannt, wie – gleichgültig.“⁸

Im Jahre 1909 hatte Ostwald jedoch seine Meinung völlig geändert. Er glaubte nun, „dass wir seit kurzer Zeit in den Besitz der experimentellen Nachweise für die diskrete oder körnige Natur der Stoffe gelangt sind, welche die Atomhypothese seit Jahrhunderten, ja Jahrtausenden vergeblich gesucht hatte.“⁹ Ähnlich wie Ostwald reagierten die meisten anderen Instrumentalisten.

Wie kam dieser plötzliche Sinneswandel zustande? Er gibt auf eine Artikelserie zurück, in der der französische Physiker Jean Perrin (1870-1942) im Jahre 1908/1909 von Experimenten berichtete, mit denen er glaubte, aus der Brownschen Bewegung auf die Existenz von Molekülen und Atomen zurückschließen zu können. In seinen Augen war dies der endgültige Nachweis, dass die Molekularbewegung die Ursache der Brownschen Bewegung ist.

1827 hatte der englische Botaniker Robert Brown mit dem Mikroskop entdeckt, dass kleinste, im Wasser verteilte Teilchen, wie z.B. Pflanzenpollen oder Tusche, anstatt unterzugehen, eine sehr lebhaft und vollkommen ungeordnete Bewegung ausführen. Brown beobachtete dieses Phänomen ausgiebig und berichtete davon, aber seine Entdeckung führte lange Zeit zu nichts. Erst allmählich setzte sich die Auffassung durch, dass die Bewegung weder von kleinen Druck- oder Temperaturunterschieden herrühren kann, vergleichbar dem Tanzen von Staub im Sonnenlicht, noch von elektrischen Ursachen oder der Wirkung von Lichtwellen, da die Bewegungen je zweier Teilchen vollkommen unabhängig voneinander sind. In den späten 70er Jahren setzte sich dann die Auffassung durch, dass die Brownsche Bewegung keine äußeren Bewegungsursachen hat, sondern „inneren, dem Flüssigkeitszustand eigentümlichen Bewegungen zuzuschreiben“¹⁰ ist, die molekularen Ursprungs sind.

Die Grundidee der Experimente von Perrin war einfach und kann durch folgende Analogie, die von Perrin selbst stammt, klargemacht werden: Wenn wir von weitem auf das Meer schauen, dann nehmen wir gewöhnlich keine Wellenbewegung wahr, auch wenn sie vorhanden ist. Wenn aber ein Boot in Sichtweite ist, können wir sein Schaukeln wahrnehmen

und daraus auf die Wellenbewegung zurückschließen. Wenn es also Teilchen gibt, die gerade noch groß genug sind, um unter dem Mikroskop verfolgt werden zu können, aber schon so klein, dass sie in einer Lösung durch die Stöße der Moleküle des Lösungsmittels in Bewegung gesetzt werden, dann könnte man daraus, wenn man es geschickt anstellt, auf die Bewegung der Moleküle und ihre genaue Beschaffenheit zurückschließen und somit einen Beweis für ihre Existenz ableiten. „Wenn die Molekularbewegung wirklich die Ursache der Brownschen Bewegung ist, wenn diese Erscheinung uns eine zugängliche Vermittlung zwischen den uns wahrnehmbaren Dimensionen und denen der Moleküle ermöglicht, so ahnt man, dass man hiermit auch ein Mittel besitzt, bis zu den letzteren vorzudringen.“¹¹

Die Aufgabe bestand darin, messbare Größen der in Brownscher Bewegung befindlichen Teilchen zu finden, aus denen sich die Avogadro'sche Zahl ergibt, d.h., die Anzahl der Moleküle in einem Mol einer Substanz, also das Molekulargewicht dividiert durch die Masse eines einzelnen Moleküls. Diese Zahl ist nun zu vergleichen mit den Werten, die sich aus der kinetischen Gastheorie ergeben. „In diesem Sinne habe ich nach einem experimentum crucis gesucht, welches als feste experimentelle Grundlage zur Widerlegung oder Bestätigung der kinetischen Theorie dienen könnte.“¹²

Es stellte sich schnell heraus, dass man die Geschwindigkeit der Partikel nicht direkt messen kann, da sie zu häufig ihre Richtung ändern. Perrin untersuchte stattdessen die Verteilung von Kolloid-Partikeln, die nur wenig schwerer als Wasser sind, in einer wässrigen Lösung. Der Chemiker van't Hoff hatte gezeigt, dass man das ideale Gasgesetz auch auf solche kolloide Lösungen übertragen kann. Der osmotische Druck, den ein gelöster Stoff auf eine semipermeable Membran (d.h., eine Membran, die nur das Lösungsmittel, aber nicht den gelösten Stoff hindurch lässt) ausübt, ist dem Druck eines Gases gleich, das im selben Volumen und bei derselben Temperatur die gleiche Anzahl von Molekülen besitzt wie der gelöste Stoff. Es besteht also eine Analogie zwischen dem Verhalten von Gasmolekülen und Kolloidpartikeln. Da dies für alle gelösten Stoffe gilt, ob nun ihre Moleküle groß oder klein, leicht oder schwer sind, lag es für Perrin nahe, anzunehmen, dass auch noch größere sichtbare Teilchen, die aus mehreren Molekülen bestehen und sich in Brownscher Bewegung befinden, dieselbe mittlere kinetische Energie besitzen wie die Moleküle im gelösten Stoff.

Man betrachte nun eine kolloide Lösung der genannten Art, die sich in einem senkrechten Zylinder im thermischen Gleichgewicht befindet. Um die Verteilung der Partikel zu berechnen, muss man nicht nur die Schwerkraft, die sie nach unten sinken lässt, vermindert um ihren Auftrieb, in Anschlag bringen, sondern auch den osmotischen Druck, der sie nach oben streben lässt (genauer: die Differenz des osmotischen Drucks). Wenn die anfangs in der ganzen Flüssigkeit homogen verteilten Teilchen sich abzusetzen beginnen, so nimmt ihre Zahl in den unteren Teilen des Zylinders zu. Damit steigt aber der osmotische Druck, den sie ausüben, denn der ist proportional zur Teilchenkonzentration. Im oberen Teil des Zylinders sinkt der osmotische Druck, da die Zahl der gelösten Teilchen abnimmt. Der höhere Druck unten versucht sich natürlich mit dem niederen Druck oben auszugleichen und drückt so die Teilchen wieder nach oben. Gleichgewicht tritt dann ein, wenn die nach unten und nach oben wirkenden Kräfte gerade gleich groß sind. Die Verteilung der Partikel ist analog der Verteilung der Luftteilchen in der Erdatmosphäre und die Abnahme des osmotischen Drucks der Teilchen mit der Höhe ist analog der Abnahme des Luftdrucks mit der Höhe über der Erdoberfläche, nur nimmt der Teilchendruck viel schneller ab als der Druck der Luftmoleküle.

Man denke sich in der im Gleichgewicht befindlichen Flüssigkeit zwei horizontale Membranen eingezogen, die eine dünne Schicht der Höhe h begrenzen. Wenn sich in einem Kubikzentimeter der Schicht n Teilchen befinden, so liegen in der ganzen Schicht $n \cdot h$ Teilchen, wenn man die Grundfläche als Einheit nimmt. Das Gewicht der Teilchen in der Schicht beträgt also $V \cdot D \cdot g \cdot n \cdot h$, wobei V das Volumen eines Teilchens, D sein spezifisches Gewicht und g die Gravitationskonstante. Der Auftrieb im Wasser beträgt $V \cdot D \cdot g \cdot n \cdot h$, wenn

d das spezifische Gewicht des Wassers ist. Auf die untere Membran wirkt der osmotische Druck p^o auf die obere p^1 . Da p^o größer als p^1 ist, wirkt die Druckdifferenz nach oben.

Im Gleichgewichtszustand gilt also:

$$V \cdot D \cdot g \cdot n \cdot h = V \cdot d \cdot g \cdot n \cdot h + (p^o - p^1)$$

Aus der kinetischen Gastheorie wissen wir, dass wir

$$p^1 = 1/3 n \cdot m \cdot v^2$$

und

$$p^o = 1/3 n^o \cdot m \cdot v^2$$

setzen dürfen, wobei n die Zahl der Moleküle in der Raumeinheit, m ihre Masse und v die Geschwindigkeit ist.

Wenn wir dies in unsere Gleichung einsetzen, so erhalten wir die Gleichung:

$$V \cdot g \cdot n \cdot h \cdot (D - d) = - 1/3 m \cdot v^2 \cdot (n - n^o).$$

Wenn wir nun die Schicht h infinitesimal klein werden lassen und das Ganze innerhalb der Grenzen der Schicht, also n und n^o integrieren, erhalten wir schließlich

$$\ln n^o/n = 2,3 \cdot \log n^o/n = 1/P \cdot m \cdot g \cdot h \cdot \{1 - D/d\}$$

wobei p der Druck eines einzelnen Moleküls ist. Die Gravitationskonstante ist bekannt, die Höhe h können wir direkt messen, ebenso das spezifische Gewicht des gelösten Stoffes. Die Anzahl der Teilchen in den zwei verschiedenen Höhen werden durch Zählen unter dem Mikroskop bestimmt. Wenn wir noch eine Möglichkeit haben, die Masse eines Teilchens zu ermitteln, so können wir den osmotischen Druck eines einzelnen Teilchens berechnen.

So einfach diese Versuchsidee ist, so ungemein schwierig war ihre Ausführung. Sie erforderte ein Höchstmaß an experimentellem Geschick und den Einsatz des erst 1903 erfundenen Ultramikroskops, das eine Genauigkeit von $5 \times 10^{-3} \mu\text{m}$ besaß. Perrin musste zuerst einmal sicherstellen, dass die Teilchen seiner Lösungen vollkommen gleichgroß waren. Dies erreichte er durch aufwendige Zentrifugierung, in der verschieden große Teilchen voneinander getrennt wurden. Um ganz sicher zu gehen, wandte Perrin immer mehrere verschiedene Methoden an, um die einzelnen Bestimmungen durchzuführen. Die Masse der Teilchen bestimmte er übrigens durch Messung ihrer Sinkgeschwindigkeit. Mithilfe des Stokeschen Gesetzes lässt sich das Volumen und daraus schließlich die Masse ableiten.

Nachdem er seine Experimente ausgeführt hatte, machte Perrin die entscheidende Probe. Wir wissen aus der kinetischen Gastheorie, dass wir auf 6000 m hochsteigen müssen, damit der Luftdruck um die Hälfte sinkt. Wenn die Konzentration in einer Emulsion schon beim Aufsteigen um $6\mu\text{m}$ sich um die Hälfte verringert, wie er das für eine Versuchbedingung gefunden hatte, muss also das Gewicht eines Luftmoleküls ein Milliardstel des Gewichts eines der Teilchen in der Emulsion sein. Anders ausgedrückt: Der experimentell gefundene Wert für den osmotischen Druck eines Teilchens musste dem theoretischen Wert aus der kinetischen Theorie entsprechen. „Natürlich war ich freudig überrascht“, schrieb Perrin, „als ich gleich beim ersten Versuche tatsächlich die Zahlen, die nach der kinetischen Theorie zu erwarten waren, auf einem so grundverschiedenen Wege wieder fand.“¹³ Perrin veränderte die Versuchsbedingungen auf die unterschiedlichste Weise, nahm verschiedene Emulsionen mit verschieden großen Teilchen in verschiedenen Lösungen verschiedener Dichte bei

unterschiedlicher Temperatur und bekam immer wieder fast denselben Wert für die Avogadrosche Konstante. „Es wird also direkt schwierig“, schrieb er dann, „die objektive Realität der Moleküle zu leugnen.“¹⁴

Schon bevor Perrin seine Untersuchungen durchgeführt hatte, hatten Einstein und Smoluchowski tief greifende theoretische Analysen der Brownschen Bewegung veröffentlicht. Nachdem Perrin seine Ergebnisse gefunden hatte, wies ihn sein Freund Langevin darauf hin, dass sich aus seinen Arbeiten auch eine quantitative Bestätigung für die Theorien von Einstein und Smoluchowski ergeben könnte. Nachdem Perrin diese Bestätigung erbracht hatte, schrieb ihm Einstein, er sei von Perrins Arbeit um so mehr überrascht und erfreut, als er wegen der großen technischen Schwierigkeiten eigentlich nicht mit der Möglichkeit einer experimentellen Bestätigung seiner Theorie gerechnet habe.

Einige Jahre später konnte Perrin in einer zusammenfassenden Studie unter Rückgriff auf die Ergebnisse auch vieler anderer Forscher auf dreizehn zum Großteil völlig verschiedene und voneinander unabhängige Methoden zur Bestimmung der Avogadroschen Zahl verweisen, die im Rahmen der Beobachtungsgenauigkeit alle zu übereinstimmenden Werten führten.

Perrins Arbeit war ein Meilenstein auf dem Weg der Physikalisation des chemischen, also des Daltonschen Atoms. Durch seine Untersuchungen war aber noch mehr erreicht: Es war nun nachgewiesen, dass es eine kausale Verbindung gibt zwischen unsichtbaren, theoretisch postulierten korpuskularen Teilchen und sichtbaren makroskopischen Wirkungen.

Ich glaube, dass Perrins Arbeit ein Lehrstück ist für eine besondere Argumentform, die sich zumindest *prima facie* von dem normalen Schluss des Realisten aus dem Erfolg einer fundamentalen Theorie unterscheidet. Perrin sagt nicht: meine Experimente sind eine so gute Bestätigung für die fundamentale Theorie, die die Existenz von Atomen annimmt, und sie werden so gut von ihr erklärt, dass man nicht umhin kann, diese Existenz für sehr wahrscheinlich zu halten, sondern er sagt: Aus der Annahme, dass die Bewegung der Moleküle die Ursache der Brownschen Bewegung darstellt, kann man die Zahl der Moleküle in einem Mol experimentell bestimmen, *ohne dabei Gebrauch von fundamentalen Gesetzen zu machen*. Und da diese experimentell bestimmte Zahl mit den theoretischen Werten der fundamentalen Theorie, in diesem Fall der kinetischen, übereinstimmt, ist eine von den Annahmen der fundamentalen Theorie *unabhängige* Bestätigung für die Existenz der Atome gefunden. Diese Bestätigung wird umso stärker, die Annahme der Existenz der Atome umso wahrscheinlicher, je mehr experimentelle Bestimmungen der Avogadroschen Zahl noch gefunden werden, die von der kinetischen Theorie unabhängig sind, aber auf der Annahme der Existenz der Atome beruhen. Perrins Argumentation ist ein Schluss auf die wahrscheinlichste Ursache.

Zu beachten ist hier, dass die Rolle, die das Experiment für Perrins Argumentation spielt, eine andere ist als die Rolle, die ihr normalerweise in der Wissenschaftstheorie und auch im Schluss des Realisten aus dem Erfolg einer fundamentalen Theorie zugeschrieben wird: die Rolle der Überprüfung einer Theorie. Perrin überprüft mit seinem Experiment keine Theorie, sondern er manipuliert Atome. Er erhöht mit seinem Experiment nicht den Erfolg einer Theorie, sondern er erzeugt mit Atomen ein neues Phänomen, einen Effekt. Dass dieser Effekt dann zur Bestätigung einer fundamentalen Theorie herangezogen werden kann, ändert nichts an der unterschiedlichen Funktion des Experiments.

III

Treten wir nun einen Schritt zurück und versuche, die beiden von mir geschilderten Episoden aus der Geschichte des Atomismus und die dabei aufgetretenen zentralen

Argumentationsschemata zu bewerten. Aus wissenschaftstheoretischer Perspektive stellen sich die folgenden beiden Fragen: Von welcher Art ist der Schluss auf die Realität der Korpuskel, den die Korpuskularisten aufgrund ihrer Erfahrung gezogen haben? Und von welcher Art ist der Schluss, mit dem Perrin die Realität der Moleküle sichergestellt zu haben glaubte?

Zuerst einmal ist klar, dass beide Schlüsse, falls sie korrekt sind, nur *induktiver* Natur sein können. Auch wenn man noch so sehr von der Wahrheit der Prämissen überzeugt ist, von denen die Korpuskularisten, aber auch Perrin, in ihren Argumentationen ausgehen, bleibt es theoretisch möglich, dass die Konklusion, es gebe tatsächlich Korpuskel bzw. Moleküle, falsch ist. Die Konklusion folgt nämlich nicht mit Notwendigkeit aus den Prämissen, sondern höchstens mit Wahrscheinlichkeit.

Anders steht es mit der Eigenschaft der formalen Korrektheit. Hier möchte ich mich auf die Seite des Instrumentalismus in der Art von Duhem, van Fraassen oder Cartwright¹⁵ schlagen und mich dafür stark machen, dass die Argumentation des Korpuskularisten nicht korrekt ist. Der Erklärungserfolg einer Theorie, d.h. ihre Fähigkeit, unsere Erfahrungen in theoretische Zusammenhänge einzubetten, reicht tatsächlich nicht aus, um daraus induktiv die Existenz ihrer theoretischen Entitäten abzuleiten. Wir können auch nicht sagen, dass der höhere Erklärungserfolg einer Theorie im Vergleich zu anderen zeigt, dass an ihren Existenzbehauptungen mehr „dran ist“ als an denen der rivalisierenden Theorien. Alles, was wir sagen können, ist, dass die Theorie besser zu den Erfahrungen und zu anderen Theorien passt, d.h. empirisch adäquat ist. Empirische Angemessenheit einer Theorie allein genügt nicht, um induktiv auf ihre Wahrheit zu schließen. Also spricht keiner der Gründe, der für den Korpuskularismus spricht, insbesondere auch nicht sein Erklärungserfolg, für die Existenz der Korpuskel. Auch wenn der Korpuskularismus im 17. Jahrhundert mit seinen ihm spezifischen Erklärungen noch viel erfolgreicher gewesen wäre als er tatsächlich war, so hätte sich doch aus keinem seiner Erfolge ableiten lassen, dass es tatsächlich Korpuskel gibt. Allerdings hätte auch der Aristoteliker die Schwäche des Korpuskularismus nicht in eine Bestätigung des Anti-Korpuskularismus verwandeln können. Der anfänglich noch wesentlich größere Erklärungserfolg der aristotelischen Theorie konnte auch nicht umgekehrt die Nichtexistenz der Atome in irgendeiner Weise rechtfertigen.

Natürlich ist auch der sozusagen retrospektiv induktive Schluss unzulässig, dass die Korpuskularisten gute Gründe gehabt haben *müssen*, weil wir heute wissen, dass Atome existieren. Man kann die Gründe der Korpuskularisten für ihre Vermutungen nicht schon deswegen für gute Gründe halten, weil sich die Vermutung im Nachhinein als gerechtfertigt herausgestellt hat. Dies würde bedeuten, dass eine Begründung für eine Vermutung genau dann stichhaltig ist, wenn es eine andere gültige Begründung gibt.

Es kommt nun alles darauf an, wie man vom instrumentalistischen Standpunkt aus die Leistung Perrins einzustufen hat. Heißt es, dass man konsequenterweise Perrin mit demselben Maß wie den Korpuskularismus messen und ihm seinen Erfolg streitig machen müsste? Heißt dies, dass man für eine Rückkehr zum Aristotelismus plädieren muss? Führt uns der Instrumentalismus also in einen abgrundtiefen Relativismus, der die Möglichkeit für eine Wahrheitsannäherung allgemein und grundsätzlich ableugnet? Dies wäre der Fall, wenn feststünde, dass alle möglichen Argumente für die Existenz von theoretischen Entitäten immer nur dem Argumentschema aus dem Erfolg einer Theorie entsprechen. Perrins Argument scheint mir aber in der Tat verschieden von diesem Argumentschema zu sein. Würde Perrin nur auf den Erklärungserfolg seiner Theorie im Vergleich zu den Antiatomisten appellieren, so wäre er tatsächlich in keiner prinzipiell besseren Lage als der Korpuskularist. Perrin sagt nicht: Meine Theorie hat Anspruch darauf, dass man ihr die Existenz der Atome glaubt, weil sie damit so ungeheuer viele, weit auseinander liegende Bereiche hervorragend erklärt, viel besser als der Antiatomist. Er sagt vielmehr: Da bei so vielen verschiedenen erfolgreichen Experimenten, die von der Annahme der Existenz von Atomen ausgehen,

immer derselbe Wert für die Avogadro'sche Zahl herauskommt, haben wir voneinander *unabhängige* Indizien dafür, dass an der Existenzaussage „etwas dran“ ist. Die Indizien beziehen sich also nicht auf den *Erklärungserfolg* einer Theorie gegenüber einer oder mehreren anderen – das ist das Argument des Realisten -, sondern auf die *quantitative Übereinstimmung* von Theorien, die von einander unabhängig sind, in Bezug auf die von ihnen behaupteten theoretischen Eigenschaften. Durch Perrin kommt zum Atomismus noch etwas hinzu, was im Aristotelismus undenkbar war: die experimentelle Erforschung der Träger der okkulten Eigenschaften.

Die Situation Perrins unterscheidet sich prinzipiell von derjenigen, in der sich die Korpuskularisten befanden. Sie konnten auf keine quantitative Übereinstimmung verweisen, die sich auf der Basis korpuskularistischer Theorien für verschiedene Bereiche ergeben hätte. Wenn man den „Schluss auf die wahrscheinlichste Ursache“ als einen auch instrumentalistisch zulässigen Schluss auf Unbeobachtbares ansieht, dann ist also für den Instrumentalisten der Schluss Perrins korrekt: Seine Experimente und ihre quantitative Übereinstimmung mit Experimenten zur Überprüfung ganz anderer Theorien sind gute Gründe, die Existenz der Atome anzunehmen. Die Argumentation der Korpuskularisten bleibt für den Instrumentalisten aber inkorrekt: Es gibt keinen Grund, auf der Basis der Erfahrungen des 17. Jahrhunderts, an Korpuskel zu glauben, selbst wenn der Korpuskularismus im Erklärungserfolg allen seinen Rivalen haushoch überlegen gewesen wäre.

Ein Gegenargument ist an dieser Stelle denkbar: Perrin geht bei seinem experimentellen Vorgehen von der Existenz von Atomen aus. Setzt er nicht dadurch doch wieder eine Theorie voraus, deren Erklärungskraft er durch den Ausgang seines Experiments überprüft? Ist nicht schon, wie wir immer gesagt bekommen, jedes Sprechen über Erfahrung theoriebeladen, so dass wir nicht umhin können, als jeden experimentellen Erfolg als Bestätigung für eine Theorie zu werten? Dieses Gegenargument wäre nur dann triftig, wenn Perrin bei seiner Argumentation von der Gültigkeit fundamentaler Gesetze ausgehen würde. Dies ist aber nicht der Fall. Er gebraucht den Begriff des unbeobachtbaren Atoms völlig in einem phänomenologischen Rahmen. In diesem Sinne ist der Atombegriff bei ihm nach meiner Definition kein theoretischer Begriff, sondern ein Platzhalter, der die Ursache bezeichnet, auf die man mit Hilfe des Experiments rückschließt. Erinnern Sie sich an Perrins Beispiel mit dem Boot!

Mit dieser Sichtweise ist die Möglichkeit für einen Instrumentalismus geschaffen, der zwar das Argument aus dem Erfolg einer Theorie auf die Existenz theoretischer Entitäten ablehnt, aber das Argument vom experimentellen Effekt auf seine wahrscheinlichste Ursache akzeptiert. Damit gerät die traditionelle Lehre der Wissenschaftstheorie von den theoretischen Begriffen und der Theoriebeladenheit der Erfahrung ins Wanken. Zumindest wird aber auf einen gravierenden Unterschied hingewiesen zwischen Begriffen, die theoretisch sind in Bezug auf Fundamentalgesetze und Begriffen, die theoretisch sind in Bezug auf phänomenologische Gesetze und die direkte Erfahrung. Der Begriff des Atoms, den Perrin in seiner Überlegung verwendet, ist von der letzteren Art. Und erst wenn dieser Begriff experimentell plausibel gemacht ist, kann man versuchen, ihn mit dem Begriff der grundlegenden Theorie zu identifizieren und dadurch den experimentellen Erfolg als Bestätigung der grundlegenden Theorie und ihrer theoretischen Existenzannahmen auffassen.

Ich darf die wichtigsten Punkte meines Vortrags zusammenfassen:

Erstens: Die Argumente des Korpuskularismus waren nicht stark genug, die Existenz der Atome plausibel zu machen. Der Korpuskularismus war aber insofern notwendig, als er entscheidend zur Theoretisierung unseres Erfahrungsbegriffs beigetragen hat.

Zweitens: Perrin und anderen ist es gelungen, die Prinzipien des Atomismus einen entscheidenden Schritt weiter zu bringen: Das Atom bekommt nun einen experimentell nachweisbaren und quantitativ bestimmbaren kausalen Gehalt.

Drittens: die Naturwissenschaften erklären uns die Welt auf zweierlei Weise: Indem sie so wie die Korpuskularisten unsere Erfahrungen in theoretische Zusammenhänge einbetten. Und: indem sie uns wie Jean Perrin die Ursachen dieser Erfahrungen aufzeigen. Beide Weisen sind wichtig und je nach historischer Situation ist die eine gegenüber der anderen vordringlich. Nur die zweite Erklärungsart kann uns aber Indizien für die Realität theoretischer Entitäten an die Hand geben, zu denen wir mit unseren Sinnen keinen unmittelbaren Zugang besitzen. Dies eröffnet uns die Hoffnung, dass wir über die Historizität und Relativität unserer Theorien hinaus von einer Wirklichkeitsannäherung unserer Theorien ausgehen können, wenn sie auf erfolgreichen Experimenten à la Perrin beruhen.

- ¹ Hermann Helmholtz, **Über die Erhaltung der Kraft**, Berlin: Reimer 1847, wiederabgedruckt als **Ostwald's Klassiker der exakten Naturwissenschaften**, Nr. 1, Leipzig 1902, 4.
- ² Hermann von Helmholtz, „Ueber Goethes naturwissenschaftliche Arbeiten (1853)“, in: ders., **Vorträge und Reden**, 3. Aufl., Braunschweig, 1844, 1-24, hier 18.
- ³ Helmholtz, **Erhaltung**, 4.
- ⁴ Helmholtz, „Goethe“, 22.
- ⁵ Ernst Mach, **Die Mechanik [in ihrer Entwicklung] historisch-kritisch dargestellt**. Nachdruck der 9. Auflage 1933, Darmstadt 1976, 483.
- ⁶ Aristoteles, De anima, II. 6.
- ⁷ Vgl. Descartes, Principia, VI, § 187.
- ⁸ Wilhelm Ostwald, **Grundriß der allgemeinen Chemie**, Leipzig, 2. Auflage, 1890, 6.
- ⁹ Wilhelm Ostwald, **Grundriß der allgemeinen Chemie**, Leipzig, 4. Auflage, 1909, Vorbericht S. III.
- ¹⁰ Christian Wiener, **Annalen der Physik** **118**, 1863, 79-94.
- ¹¹ Jean Perrin, **Die Atome**, autorisierte deutsche Ausgabe, A. Lottermoser (Hg.), Dresden/Leipzig 1914, 81f. (1. französische Auflage Paris 1913).
- ¹² Perrin, **Atome**, 82.
- ¹³ Perrin, **Atome**, 95.
- ¹⁴ Perrin, **Atome**, 97.
- ¹⁵ Nancy Cartwright, **How the Laws of Physics Lie**, Oxford 1983; Pierre Duhem, **Ziel und Struktur physikalischer Theorien**, Leipzig 1908, repr. Hamburg 1978; Bas C. van Fraassen, **The Scientific Image**, Oxford 1980.