



# Physikalisches Weltbild der Antike im Vergleich mit modernen Schülervorstellungen

ROBERT KNAPP

[ROBERT.KNAPP@STUD.SBG.AC.AT](mailto:ROBERT.KNAPP@STUD.SBG.AC.AT)

## Zusammenfassung

Antike Konzepte zur Mechanik (Aristoteles und die Atomisten) werden einander gegenübergestellt. Mit der Frage, warum Aristoteles sich in der Spätantike gegenüber dem Atomismus durchsetzen konnte, wird die Brücke zu modernen Schülerpräkonzepten geschlagen: Intuitive Vorstellungen über physikalische Prozesse passen besser zu aristotelischen als zu atomistischen Erklärungsmustern. Lehrpersonen sollen dies berücksichtigen und Schülervorstellungen nicht abwerten oder für leicht widerlegbar halten.

## 1 Das physikalische Weltbild der Antike

Implizites physikalisches Wissen ist beim Menschen wohl schon immer vorhanden gewesen. Physikalische Vorgänge wurden aber in alten Kulturen meist mythologisch gedeutet. Der Anspruch auf rationale Beschreibung des Naturgeschehens ist für uns fassbar erstmals im sechsten Jahrhundert vor Christus in Griechenland erhoben worden. Von den sogenannten „Vorsokratikern“ (6. und 5. Jh. v. Chr.) sind nur Einzelaussagen überliefert, sodass kohärente Lehrgebäude für uns kaum rekonstruierbar sind. Originaltexte jener Epoche sind in Diehls/Kranz 1971 gesammelt, deutsche Übersetzungen bietet Sambursky 1975.

Einen Meilenstein in der Entwicklung der Physikgeschichte setzte im 4. Jh. v. Chr. Aristoteles, dessen Bewegungslehre unten diskutiert wird. In hellenistischer Zeit standen einander zwei Schulen der Philosophie<sup>1</sup> gegenüber: Die Stoiker und die Epikureer. Während die Stoa nach einigen Adaptionen das physikalische Weltbild des Aristoteles übernahm, konstruierten die Epikureer mit der Atomlehre einen radikalen Gegenentwurf.

In der Spätantike (3. bis 6. Jh. n. Chr.) verdrängte das Christentum die heidnischen Philosophenschulen, nahm aber zugleich Elemente der Stoa und das physikalische Weltbild des Aristoteles in sein Lehrgebäude auf. Dies sicherte die Dominanz der aristotelischen Physik für weitere tausend Jahre, bis sie von den Wissenschaftlern der Neuzeit, namentlich Galilei und Newton,

allmählich demontiert wurde.<sup>2</sup> Samuel Sambursky spricht in diesem Zusammenhang von drei großen Weltbildern in der Geschichte der Naturwissenschaften: dem aristotelischen, dem newtonschen und dem der Quantenmechanik (Sambursky 1965, S. 11).

## 2 Aristoteles

### 2.1 Leben und Nachwirkung

Aristoteles' Wirken fällt in das vierte vorchristliche Jahrhundert. Bekanntheit erlangte er durch die Entwicklung eines umfassenden philosophisch-naturwissenschaftlichen Weltbildes, das sich in seinem Detailreichtum, aber auch in seinem universellen Geltungsanspruch sowie in seiner inneren Konsistenz von den diesbezüglichen Äußerungen anderer antiker Autoren abhob.

Auch gehörte er zu den Ersten, die Zusammenhänge zwischen physikalischen Größen quantitativ formulierten; auf dem Gebiet der Mechanik war er überhaupt der Einzige während der gesamten Antike (Sambursky 1965, S. 127). Aristoteles' Werk beeinflusste die neuzeitlichen Wissenschaften, namentlich Physik und Biologie, bis ins 18. Jahrhundert. Über tausend Jahre lang war Aristoteles im christlichen Abendland die Autorität schlechthin, wenn es um naturwissenschaftliche Fragestellungen ging.

### 2.2 Himmel und Erde

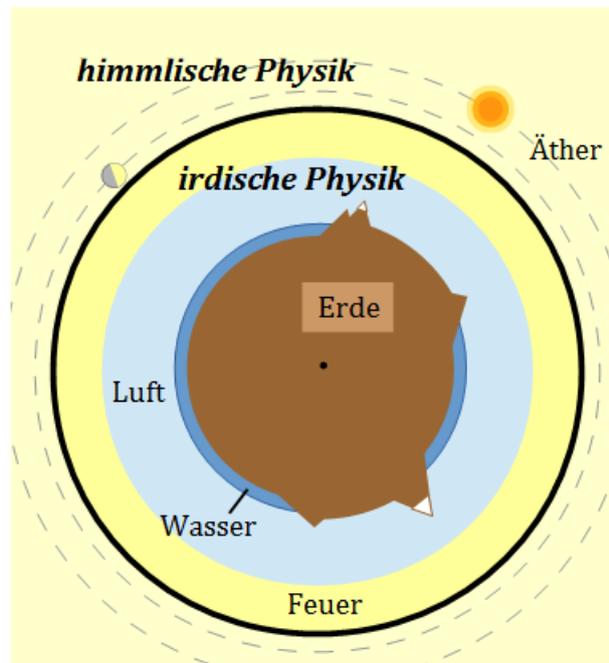
Die aristotelische Physik basiert ebenso wie seine Biologie auf einer teleologischen Grundauffassung. Genauso, wie sich etwa das Auge eines Tieres zu einem bestimmten Zweck entwickelt hat, nämlich um sehen zu können, so ist nach Aristoteles jedes Geschehen, auch in der unbelebten Natur, auf einen Zweck ausgerichtet

<sup>1</sup> Die Aufspaltung in Einzelwissenschaften war der Antike unbekannt. Philosophie war der Überbegriff für jede Wissenschaft, die um ihrer selbst willen betrieben wurde.

<sup>2</sup> Bruchstücke der aristotelischen Lehre, etwa das Konzept des „Äthers“, hielten sich sogar bis ins 20. Jh.

(Sambursky 1965, S. 119; Teichmann 1996, S. 173).

Physikalische Vorgänge teilt Aristoteles in „himmlische“ und „irdische“ (Teichmann 1996, S. 41): Die Bewegungen der Himmelskörper sind gleichförmig und ewig. Dagegen haftet jedem Vorgang auf der Erde der Makel der zeitlichen und örtlichen Beschränktheit an (Sambursky 1965, S. 80).



**Abb. 1** – Der Kosmos nach Aristoteles (nicht maßstäblich). Visualisierung nach den Texten in Sambursky 1965, S. 120 ff.

Das Universum denkt sich Aristoteles als aus konzentrischen Kugelschalen zusammengesetzt. Im Zentrum des Weltalls ruht die näherungsweise kugelförmige Erde. Auf Teilen ihrer Oberfläche liegt eine Schicht Wasser, die Ozeane. Darüber befindet sich die Atmosphäre, die aus dem Element Luft besteht. An die Luftschicht schließt sich nahtlos eine Feuer-Sphäre an, die bis an die Mondbahn heranreicht (Sambursky 1965, S. 120 ff.). Zwischen der Feuerschicht und der Mondbahn lokalisiert Aristoteles die Grenze, die irdische von himmlischer Physik trennt (Simonyi 1990, S. 84).

Der Mond und alle anderen Himmelskörper sind aus dem Element Äther gebildet, sie bewegen sich in idealen Kreisbahnen um das Zentrum. Der Raum zwischen den Himmelskörpern ist ebenfalls mit Äther gefüllt, sodass es nirgendwo ein Vakuum gibt.

### 2.3 Natürliche Bewegung und freier Fall

Die oben genannte Anordnung der Elemente ist nach Aristoteles die natürliche. Jede

Abweichung davon entspricht einem unnatürlichen Zustand, der von sich aus nach Wiederherstellung der natürlichen Ordnung strebt.

Daher streben Erde und Wasser von Natur aus nach unten, in Richtung des Zentrums des Universums, wo sie ihren natürlichen Ort haben. Luft und Feuer streben nach oben, weil ihr natürlicher Ort in den höhergelegenen Sphären liegt. Diese Art der Bewegung bezeichnet Aristoteles als die natürliche Bewegung (Sambursky 1965, S. 122 f.).<sup>3</sup> Zu ihrer Erklärung ist keine wirkende Kraft erforderlich.

Das Gesetz für den freien Fall ist ein Spezialfall der natürlichen Bewegung. Aristoteles formuliert es so:

*„Wenn ein bestimmtes Gewicht eine bestimmte Strecke in einer bestimmten Zeit zurücklegt, so wird ein größeres Gewicht die Strecke in einer kürzeren Zeit zurücklegen, und das Verhältnis der Zeiten wird sich umgekehrt verhalten wie das der Gewichte, das heißt wenn das halbe Gewicht eine gewisse Zeit braucht, so wird das ganze die halbe Zeit brauchen.“*

*Arist. De caelo 1, 6, 273 b 30, Übers. Sambursky 1965, S. 130.*

In die heute übliche Formelsprache übersetzt, lautet es einfach  $v \sim G$ , d. h. die Fallgeschwindigkeit  $v$  ist direkt proportional zum Gewicht  $G$ .

Aus der Sicht der heutigen Physik ist das aristotelische Fallgesetz selbstverständlich falsch; es berücksichtigt weder die Tatsache, dass sich die Geschwindigkeit im Verlauf des Fallens ändert, noch hält die postulierte Proportionalität zum Gewicht selbst einfachsten Experimenten stand. Es gibt lediglich die qualitative Beobachtung wieder, dass kompakte und schwere Körper (etwa ein Stein) in Luft schneller fallen als kleine und leichte (etwa ein Blatt).

### 2.4 Erzwungene Bewegung: Das Kraftgesetz

Aristoteles nennt jede Bewegung, die nicht „natürlich“ (*κατὰ φύσιν /kata physin/* „gemäß der Natur“) in seinem Sinne ist, „erzwungen“ (*βίαια /bia/* „gegen den Willen“, Arist. Phys. 4, 8, 215 a 1, Aristoteles/Carteron 1961 a, S. 140).

In dieser Definition erkennt man einen fundamentalen Unterschied zwischen den Dynamiken Aristoteles' und Newtons: Der dynamische Grundzustand eines Körpers ist für

<sup>3</sup> Die natürliche Bewegung des Äthers ist nach Aristoteles die Kreisbewegung, was erklärt, warum sich die Himmelskörper in alle Ewigkeit auf stabilen Kreisbahnen bewegen können.

Aristoteles ausschließlich die Ruhe am natürlichen Ort, während die newtonsche Mechanik nicht mehr zwischen Ruhe (an einem beliebigen Ort) und geradlinig-gleichförmiger Bewegung unterscheidet.

Erzwungene Bewegungen werden bei Aristoteles von Kräften hervorgerufen. Dabei ist die Geschwindigkeit des bewegten Körpers proportional zum Quotienten aus wirkender Kraft und Masse des Körpers, also  $v \sim \frac{F}{m}$  mit den in der heutigen Physik üblichen Symbolen  $v$  für die Geschwindigkeit,  $F$  für die Kraft und  $m$  für die Masse. Bei Aristoteles liest sich das so:

*„Wenn A das Bewegende ist, B das Bewegte und C die Strecke, die in der Zeit D zurückgelegt ist, so wird in derselben Zeit dieselbe Kraft A die Hälfte von B entlang dem Doppelten von C bewegen und in der Hälfte der Zeit die Hälfte von B entlang der Strecke C.“*

*Arist. Phys. 7, 5, 249 b 30, Übers.*

*Sambursky 1965, S. 128.*

Die Proportionalität gilt, wie Aristoteles explizit betont, nur, sofern der Wert des Quotienten eine bestimmte kritische Größe überschreitet. Ist die aufgewendete Kraft im Verhältnis zur Masse zu gering, kommt gar keine Bewegung zustande (Arist. Phys. 7, 5, 249 b 30, vgl. Sambursky 1965, S. 129). Hierin verbirgt sich – von der Warte der modernen Physik betrachtet – die Haftreibung, die überwunden werden muss, um einen ruhenden Körper in Bewegung zu setzen.

Aristoteles' Ausdruck für „Kraft“, *δύναμις* /*dynamis*/ (Arist. Phys. 7, 5, 249 b 30, Aristoteles/Carteron 1961 b, S. 87), ist zum Namensgeber für die Dynamik als Teilgebiet der Physik geworden.

Ein interessantes Detail am Rande ist, dass Aristoteles träge und schwere Masse nicht gleichsetzt, indem er, wenn es um die träge Masse geht, lediglich von der „Hälfte von B“ spricht (*τὸ ἥμισυ τοῦ Β* /*to hemisy tou beta*/, Arist. Phys. 7, 5, 249 b 30, Aristoteles/Carteron 1961 b, S. 87), wenn es hingegen um die schwere Masse geht, das Wort „Gewicht“ verwendet (*βάρος* /*baros*/, Arist. De caelo 1, 6, 273 b 30, Aristoteles/Moraux 1965, S. 20).

Das aristotelische Kraftgesetz unterscheidet sich formal gar nicht allzu sehr von demjenigen Newtons: Auch dort tritt der Quotient aus Kraft und Masse auf, jedoch ist die damit in Beziehung gesetzte Größe nicht die Geschwindigkeit, sondern die Beschleunigung  $a$ , also die zeitliche Ableitung der Geschwindigkeit:  $a \sim \frac{F}{m}$ .

### 3 Die atomistische Physik als Gegenpol zu Aristoteles

Die Idee, dass alle makroskopischen Körper aus kleinsten, nicht weiter zerlegbaren Einheiten bestehen (gr. *ἄτομος* /*atomos*/ „nicht teilbar“), findet sich erstmals bei Leukipp und Demokrit (5. Jh. v. Chr.).

Gut hundert Jahre später integrierte Epikur von Samos die Atomlehre des Demokrit in sein philosophisch-religiöses Weltbild: Demgemäß gibt es nur Atome (die man sich als harte, kompakte, begrenzte Körper vorstellte, die unveränderlich und unzerstörbar sind, vgl. Sambursky 1965, S. 154) und den leeren Raum. Als Wechselwirkung lassen die Atomisten nur mechanische Stöße zwischen den Atomen zu, wobei die Möglichkeit des „Haftenbleibens“ besteht. Einmal zusammenhaftende Atomcluster können durch Stoßprozesse wieder auseinandergerissen werden (Lucr. 2, 85-87 und 105 ff., Lucretius/Büchner 1973, S. 90/92).

Nach atomistischer Auffassung gibt es ein „Gesetz von der Erhaltung der Materie“ (Sambursky 1965, S. 146), weil die Atome weder zerstört noch erschaffen, sondern nur umgruppiert werden können.

Zur Fallbewegung äußern die Atomisten, dass diese im Vakuum für alle Körper mit derselben Geschwindigkeit erfolgen müsse (Lucr. 2, 225-242, Lucretius/Büchner 1973, S. 100/102). Zwischen zwei aufeinanderfolgenden Stößen behalten die Atome ihren momentanen Bewegungszustand bei. Im atomistischen Weltbild ist also kräftefreie Bewegung möglich.<sup>4</sup> Der römische Autor Lucretius Carus (um 50 v. Chr.), von dem mit *De rerum natura* das einzige vollständig erhaltene Lehrbuch der atomistischen Physik stammt, kleidet die modern anmutende Vorstellung, dass trotz makroskopischer Ruhe auf der Ebene der Atome ständige und ungeordnete Bewegung stattfindet, in poetische Worte:

*„Es ist nicht verwunderlich, wieso das Ganze in völliger Ruhe zu verharren scheint, obwohl alle Atome in Bewegung sind [...]: Denn oft weiden Schafe auf einem Hügel das Gras ab [...] und glückliche Lämmer spielen und laufen schmeichelnd hin und her; all das erscheint uns aus der Ferne verschwommen und es sieht so*

<sup>4</sup> Da die einzige Wechselwirkung in Stößen besteht, kann zwischen zwei Stößen keine Kraft wirken. Die Existenz von Fernwirkungen im Sinne Newtons lehnen die Atomisten nämlich ebenso ab wie eine feldartige Beschreibung, da diese ja die Existenz einer kontinuierlichen „Substanz“ impliziert hätte.

*aus, als ob ein weißer Fleck auf dem grünen Hügel unbeweglich feststehe.“*

*Lucr. 2, 308-322, Lucretius/Büchner 1973, S. 106/108, Übers. d. Verf.*

Das griechische *ἄτομος* gibt Lukrez an dieser Stelle im Lateinischen als *primordium* („erster Anfang“) wieder, häufig begegnet jedoch in der lateinischsprachigen Literatur auch die wörtliche Übersetzung *in-dividuum* („nicht teilbar“).<sup>5</sup>

Interessant ist auch die Erklärung der Atomisten, warum trotz dieses einfachen Grundaufbaus das Weltgeschehen nicht deterministisch abläuft: Die durch den leeren Raum fliegenden Atome weichen ständig zufällig minimal von ihren ansonsten geradlinigen Flugbahnen ab (Lucr. 2, 217-220, Lucretius/Büchner 1973, S. 100).

#### 4 Widerstreit physikalischer Weltbilder

Angesichts solcher Erklärungen, die schon Teilaspekte der statistischen Mechanik und der Unschärferelation vorwegzunehmen scheinen, stellt sich die Frage, warum sich die atomistische Lehre in der Antike nicht durchsetzen konnte. Denn seit der Spätantike bis herauf ins späte Mittelalter wurde in naturwissenschaftlichen Werken fast ausschließlich die Physik des Aristoteles rezipiert.

Die offensichtlichste Antwort liegt in der Verquickung physikalischer Inhalte mit metaphysischen und religiösen Dogmen. Seit Epikur war der Atomismus untrennbar mit einer diesseitsbetonten, hedonistischen<sup>6</sup> Ideologie verknüpft. Nach Aristoteles hingegen wird das ganze Weltgefüge von einem externen „unbewegten Beweger“ in Gang gehalten, der selbst nicht Teil des Kosmos ist. Es ist unschwer zu erkennen, welches dieser beiden Weltbilder besser mit dem Christentum verträglich ist, das sich im Lauf des dritten und vierten nachchristlichen Jahrhunderts im Mittelmeerraum durchsetzte.

Vor dem Aufkommen des Christentums bestanden die genannten (und weitere, hier nicht behandelte) Weltbilder mehrere Jahrhunderte lang nebeneinander, ohne dass es zu einer wissenschaftlich fundierten Entscheidung zwischen ihnen kam. Die Ursache dafür liegt in der völlig fehlenden empirischen Basis. Das Experiment in unserem Sinne (Isolation und Reduktion von Systemen, Kontrolle und

planmäßige Variation einzelner Bedingungen) existierte in der Antike nicht (Teichmann 1996, S. 173). Es gab lediglich mehr oder weniger systematische Naturbeobachtung (Sambursky 1965, S. 15). Die quantitative Formulierung physikalischer Zusammenhänge fehlte ganz oder war unzureichend.

Somit standen keine objektivierbaren Entscheidungskriterien für oder gegen ein physikalisches Modell zur Verfügung. Dazu kommt die geringe Zahl an gleichzeitig lebenden Naturwissenschaftlern. Es fehlte an gegenseitigem Austausch sowie an einer „kritischen Masse“ von Erkenntnissen, oberhalb derer die Wissenschaftsentwicklung eine Eigendynamik erfährt, wie es dann ab dem 17. Jh. geschehen ist (Sambursky 1965, S. 10).

Ich vermute eine weitere Ursache hinter dem großen Erfolg der aristotelischen Lehre, während der Atomismus in der gesamten Antike ein Minderheitenprogramm geblieben ist: Die aristotelische Physik deckt sich in höherem Maß mit dem menschlichen Alltagsverständnis als die atomistische. Anhand einiger Beispiele möchte ich das Naheverhältnis moderner Schülervorstellungen zu aristotelischem Gedankengut verdeutlichen.

#### 5 Antike Physik und moderne Schülervorstellungen

##### 5.1 Beispiele

Physikalische Prozesse werden von Kindern gern intentional interpretiert: Ein aktiver Täter hat das Ziel, eine bestimmte Veränderung an einem passiven Opfer zu bewirken (Wodzinski 1996/2007 a, S. 25).

So ist es Schülern und Schülerinnen oft unverständlich, wie beim Aufprall eines fahrenden gegen ein stehendes Auto das stehende eine Kraft auf das fahrende ausüben kann. In ihren Augen ist das fahrende Auto der „Täter“, dessen Ziel es ist, durch den Stoß das ruhende Auto in Bewegung zu setzen (Wodzinski 1996/2007 a, S. 25). Ob das gelingt oder nicht, hängt von qualitativen Faktoren ab, etwa von der Frage, welches der beiden Fahrzeuge die größere Masse hat.

Bei Aristoteles ist jedes Naturgeschehen durch einen Zweck bestimmt. Der Stein will an seinen natürlichen Ort gelangen (nach unten); ob es ihm gelingt, ist dadurch determiniert, ob äußere Hindernisse entgegenstehen. Jede nicht natürliche Bewegung erfordert einen aktiven Täter.

Dahinter steht ein Verständnis von „Ursache“, das der heutigen Physik fremd ist: Fragt man

<sup>5</sup> Z.B. Cic. nat. deor. 1, 67.

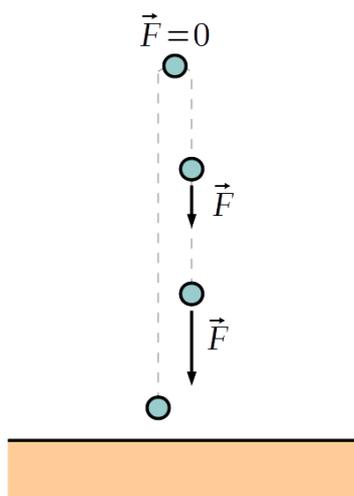
<sup>6</sup> Hedonistisch: auf die Maximierung der persönlichen „Lust“ (gr. ἡδονή /hedone/) ausgerichtet.

einen Physiker, weswegen ein Auto aus einer Kurve fliegen kann, wird er mit Kräften zwischen Auto und Straßenoberfläche argumentieren. Stellt man dieselbe Frage jedoch jüngeren Schülern, so erhält man sehr oft zur Antwort, der Lenker sei schuld daran (Jung/Wiesner 1981/2007, S. 125).

In genau demselben Sinn hätte wohl auch Aristoteles eine derartige Frage verstanden. Er verlangte von seinen Gegnern, buchstäblich zu erklären, „auf welche Weise Bewegung entstehen könne“ – eine quantitative Beschreibung des Bewegungsvorgangs, wie ihn die newtonsche Mechanik liefert, hätte ihm nicht ausgereicht (Sambursky 1965, S. 70).

Einer gängigen Schülervorstellung zufolge bewegt sich ein Körper, solange eine Kraft auf ihn ausgeübt wird (Wodzinski 1996/2007 b, S. 108). Wenn keine Kraft wirkt, gibt es demzufolge keine Bewegung. Aristoteles geht damit zumindest im Rahmen der erzwungenen Bewegung völlig konform.

Eine Proportionalität von Kraft und Geschwindigkeit, wie von Aristoteles formuliert, findet sich in Schülerantworten selten explizit, lässt sich aber erschließen, wenn etwa 80% der befragten High-School-Schüler im Beispiel einer nach oben geworfenen Münze für die Phase unmittelbar nach dem Hochwerfen eine nach oben (also in Bewegungsrichtung) wirkende Kraft angeben (Wodzinski 1996/2007 b, S. 111). Hartmut Wieser erwähnt die Kraft-Geschwindigkeits-Proportionalität in einer Liste häufig auftretender Lernschwierigkeiten in der Mechanik (siehe auch Abb. 2):



**Abb. 2** – Typisches Kräftediagramm in Schülerantworten zum lotrechten Wurf, nach Wiesner 1994/2007, S. 114.

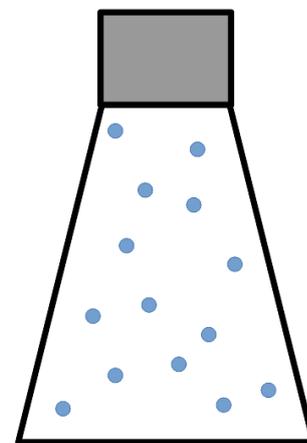
„ $\vec{F} \sim \vec{v}$ : Die Richtung der Kraft zeigt in die Richtung der Momentangeschwindigkeit und der Betrag von  $\vec{F}$  ist dem von  $\vec{v}$  proportional.“

Wiesner 1994/2007, S. 115.

Stellt man dies der weiter oben gegebenen Formulierung des Aristoteles für sein Kraftgesetz gegenüber, findet man eine – bis auf die konzisere und modernere Ausdrucksweise bei Wiesner – vollständige Übereinstimmung.

In Alltagssituationen ist für das Aufrechterhalten einer Bewegung, etwa der Verschiebung eines Objekts auf einer Oberfläche, tatsächlich stets eine Kraft in Bewegungsrichtung notwendig. Der Abstraktionsschritt hin zu einer Vernachlässigung der Reibung fällt heutigen Schülern und Schülerinnen ebenso schwer wie dem antiken Wissenschaftler Aristoteles.

Auch der diskrete Aufbau der Materie bereitet Schülerinnen und Schülern Schwierigkeiten. Zwar akzeptieren sie das Teilchenmodell sehr rasch, tun sich aber schwer, es konsequent beizubehalten (Duit 1993/2007, S. 6). Typische Antworten auf die Frage, was sich in der Skizze einer Substanz in einem Gefäß (Abb. 3) zwischen den Teilchen befindet, sind „Luft“ oder „dieselbe Substanz (in kontinuierlicher Form)“ (Fischler/Lichtfeldt 1997/2007, S. 219; Duit 1992/2007, S. 229).



**Abb. 3** – „Was befindet sich zwischen den Luftteilchen?“, nach Duit 1992/2007, S. 229.

Außerdem neigen sie dazu, den Teilchen Eigenschaften makroskopischer Objekte zuzuschreiben (Fischler/Lichtfeldt 1997/2007, S. 219), also etwa anzunehmen, die Teilchen, aus denen rote Objekte bestehen, seien rot. Hierher gehört auch die Annahme, einzelne Teilchen könnten warm oder kalt sein. Der Atomist Demokrit hat hingegen den einzelnen Atomen zwar „primäre“ Qualitäten wie Härte und Undurchdringlichkeit zugeschrieben, die

„sekundären“ Qualitäten Farbe, Geruch, Geschmack u. Ä. aber auf das Zusammentreffen der Atome untereinander und mit den Sinnesorganen zurückgeführt (Sambursky 1965, S. 165). Dies entspricht weitgehend der modernen Auffassung, ist aber, wie die Lernschwierigkeiten von Schülern und Schülerinnen zeigen, nicht intuitiv.

Die dauernde Teilchenbewegung zu akzeptieren, fällt Kindern ebenfalls schwer. Was schon Lukrez seinen Zeitgenossen mit dem Bild einer Schafherde verdeutlichen wollte, ist im heutigen Unterricht nicht weniger problematisch. Insbesondere glauben viele Schüler und Schülerinnen, die Teilchenbewegung müsse nach gewisser Zeit zur Ruhe kommen, wie sie es ja ständig bei makroskopischen Objekten beobachten können (Fischler/Lichtfeldt 1997/2007, S. 219).

Selbst die Vorstellung der „natürlichen Orte“ lässt sich an Beispielen aus der didaktischen Forschung belegen. Hinter der Schüleraussage, dass ein aufgeblasener Ball „*umso leichter wird, je mehr Luft darin ist*“ (Séré 1985/2007, S. 201 f.), steckt letztlich die Vorstellung, Luft habe eine innere Tendenz nach oben. Der Schritt zum „natürlichen Ort“ und der „natürlichen Bewegung“ der Luft im aristotelischen Sinn ist kein großer.

## 5.2 Aristoteles und die Intuition

An all diesen Beispielen zeigt sich, dass das Denken heutiger Schüler und Schülerinnen, die keine physikalische Vorbildung haben, in ähnlichen Bahnen verläuft wie das des antiken Naturwissenschaftlers Aristoteles. Vorstellungen der antiken Atomisten finden sich hingegen unter den üblichen Präkonzepten nicht.

Gewiss ist die Analogie nicht vollständig, und es gibt durchaus wesentliche Teilbereiche, in denen Aristoteles diametral von intuitiven kindlichen Vorstellungen abweicht.

Ein aufschlussreiches Beispiel ist die Behandlung des schrägen Wurfs oder allgemeiner die Frage, wie sich ein einmal in Bewegung gesetzter Körper verhält, nachdem der bewogende Einfluss aufgehört hat. Schülerinnen und Schüler argumentieren gern, dass dem Körper beim Anstoßen eine „Kraft“ mitgegeben worden ist, die sich im Lauf der Bewegung allmählich verbrauche (Wodzinski 1996/2007 b, S. 108). Wenn die Kraft verbraucht sei, komme der Körper zum Stillstand.

Dieses Konzept wird in der Forschung manchmal mit der sogenannten Impetustheorie

in Verbindung gebracht. Diese ist jedoch entgegen der landläufigen Meinung *nicht* aristotelisch!

Nach Aristoteles wird der Körper von der umgebenden Luft weitergetragen, in dem Sinne, dass die durch die Bewegung vor dem Körper verdrängte Luft rückwärts an ihm vorbei fließt und ihn gewissermaßen von hinten wieder anschiebt (Arist. Phys. 4, 8, 215 a 1; Sambursky 1965, S. 135 f.) – ein definitiv nicht intuitiver Ansatz, und dementsprechend auch derjenige Teil von Aristoteles' Physik, der in der Antike am wenigsten akzeptiert wurde (Sambursky 1965, S. 141; Simonyi 1990, S. 79 f.). Die Vorstellung einer dem Körper innewohnenden Quantität, die sich allmählich verbrauche, wurde erstmals von Johannes Philoponos im 6. Jh. n. Chr. konsequent vertreten und in das Gesamtgefüge der aristotelischen Physik integriert (Sambursky 1965, S. 141; Philoponos/Böhm 1967). In dieser Form gelangte sie auch ins Mittelalter. In einem Detail, in dem Aristoteles' Erklärung der Intuition widerspricht, ist seine Lehre also später dahingehend korrigiert worden, dass sich die Differenz zur Alltagsvorstellung verringerte!

## 5.3 Ist die aristotelische Physik angeboren?

Unter dieser provokanten Überschrift möchte ich der Frage nachgehen, woher die intuitiven Konzepte stammen, die sich sowohl in der aristotelischen Dynamik als auch in den Köpfen heutiger Schüler und Schülerinnen finden.

Da ein direkter Einfluss der aristotelischen Tradition auf Vorschulkinder unserer Zeit ausgeschlossen werden kann, es aber auffällig viele Übereinstimmungen gibt, ist die Frage nach einem gemeinsamen Ursprung legitim.

Peter Preece hat festgestellt, dass Präkonzepte über Länder- und Kulturgrenzen hinweg sehr ähnlich sind (Preece 1984, S. 7 und 9). Die Annahme, intuitive Vorstellungen seien aus der alltäglichen Erfahrung erlernt, reicht ihm zur Begründung der Ähnlichkeiten nicht aus (Preece 1984, S. 8); wenn man nicht nur einen räumlichen, sondern auch einen zeitlichen Bogen vom 20./21. Jh. zurück ins 4. Jh. v. Chr. schlägt, in dem der Alltag ganz anders strukturiert gewesen sein muss, gilt das umso mehr.

Preece vermutet, dass gewisse physikalische Konzepte latent in den Gehirnstrukturen des Menschen vorangelegt sind und durch entsprechende Erfahrungen lediglich aktiviert (engl. *triggered*), nicht neu angelegt werden.

Evolutionärer Selektionsdruck könnte die Entstehung derartiger Präkonzepte gefördert haben (Preece 1984, S. 8).

In der Diskussion, wo die Grenze zwischen angeborenen und erlernten Konzepten zu ziehen sei, sagt er:

*„... much, although not necessarily all, of children's intuitive science is a good candidate for the innate area.“*

*Preece 1984, S. 9.*

Demgemäß ist die aristotelische Physik sicherlich nicht im Detail im menschlichen Gehirn vorangelegt – schließlich handelt es sich um ein elaboriertes Lehrgebäude –, Aristoteles scheint aber in seine Theorie viele Konzepte eingebaut zu haben, die dem Menschen intuitiv einsichtig sind und die sich auch bei heutigen Schülern und Schülerinnen nachweisen lassen. In dieser intuitiven Erlernbarkeit liegt wohl einer der Gründe für die allgemeine Akzeptanz der aristotelischen Physik in der Spätantike und im Mittelalter.

## 6 Konsequenzen für den Unterricht

Die in diesem Artikel ausgeführten Gedanken können auf zweierlei Ebenen zum Gelingen des Physikunterrichts beitragen:

Einerseits kann die frühe Geschichte der Physik im Unterricht inhaltlich aufgearbeitet werden. Dafür bietet sich ein fächerübergreifender Ansatz an. In Frage kommende Fächer sind, abgesehen von der Physik, Geschichte, Philosophie, Altgriechisch, Latein und Religion bzw. Ethik.

Die Entwicklung der Naturwissenschaften kann im Fach Geschichte in einen historischen Kontext gestellt werden. In Philosophie kann die Rolle des Aristoteles und seiner Nachfolger in Antike, Mittelalter und Neuzeit diskutiert werden. Texte antiker Naturwissenschaftler können im Altgriechisch- und Lateinunterricht im Originalwortlaut gelesen und vor dem Hintergrund der modernen Physik interpretiert werden.<sup>7</sup> im Fach Religion oder Ethik kann das Spannungsfeld zwischen Wissenschaft und Religion thematisiert werden.

Die zweite Ebene setzt beim Selbstverständnis der Lehrperson an. Vielfach baut die Unterrichtsplanung auf der Hypothese auf, falsche Schülervorstellungen könnten durch logische Argumente und/oder einfache Experimente widerlegt werden und würden als Reaktion darauf von den Schülern und Schülerinnen verworfen.

Nun sind aber, wie hier gezeigt werden konnte, viele dieser Vorstellungen über Jahrhunderte Stand der naturwissenschaftlichen Forschung gewesen. Wenn sie so offensichtlich falsch wären, dürfte man kaum annehmen, dass hochgebildete Personen aus dem griechischen, dem römischen, dem arabischen und dem westeuropäischen Kulturraum sie so lange für richtig gehalten haben. Lehrer und Lehrerinnen müssen sich der extremen Hartnäckigkeit dieser intuitiven Vorstellungen bewusst sein und dürfen Schülern und Schülerinnen nicht Dummheit unterstellen, nur weil sie Ansichten vertreten, die nicht dem modernen Weltbild der Physik entsprechen.

## 7 Fazit

Unter den Ansätzen antiker Wissenschaftler zur Beschreibung der unbelebten Natur hat vor allem das Lehrgebäude des Aristoteles die weitere Wissenschaftsgeschichte geprägt. Die Gründe für seine Überzeugungskraft liegen nicht in empirischen Argumenten im Sinne der heutigen Experimentalphysik, sondern einerseits in soziokulturellen Rahmenbedingungen, etwa seiner Integrierbarkeit in die Lehre der katholischen Kirche, andererseits in seiner Nähe zu intuitiven Vorstellungen, wie sie auch heute vertreten werden – nicht nur von Kindern, die noch nie Physikunterricht gehört haben, sondern auch von Erwachsenen; ja selbst Physikstudenten unterläuft gelegentlich ein Rückfall in „aristotelisches“ Denken.

Die Entwicklung naturwissenschaftlichen Denkens ist für den Unterricht einerseits per se interessant, andererseits kann das Verständnis dieser Hintergründe Lehrpersonen davon abhalten, Schülervorstellungen vorschnell als leicht widerlegbare Irrtümer abzustempeln.

## 8 Literatur

- Aristoteles / Carteron, H. (1961 a) *Aristote, Physique (I-IV)*. Tome premier. Texte établi et traduit par H. Carteron. 3. Aufl., Paris: Les belles lettres
- Aristoteles / Carteron, H. (1961 b) *Aristote, Physique (V-VIII)*. Tome second. Texte établi et traduit par H. Carteron. 3. Aufl., Paris: Les belles lettres
- Aristoteles / Moraux, P. (1965) *Aristote, Du ciel*. Texte établi et traduit par P. Moraux. Paris: Les belles lettres
- Diehls, H. / Kranz, W. (1971) *Die Fragmente der Vorsokratiker*. Griechisch und Deutsch. 3 Bände. 15. Aufl., Dublin, Zürich: Weidmann
- Duit, R. (1992/2007) *Teilchen- und Atomvorstellungen*. In: Müller et al. 2007, S. 223-236
- Duit, R. (1993/2007) *Alltagsvorstellungen berücksichtigen!* In: Müller et al. 2007, S. 3-7
- Fischler, H. / Lichtfeldt, M. (1997/2007) *Teilchen und Atome. Modellbildung im Unterricht*. In: Müller et al. 2007, S. 218-222

<sup>7</sup> Empfehlenswerte Autoren sind Aristoteles/Physik für das Altgriechische und Lukrez/De rerum natura für Latein.

- Jung, W. / Wiesner, H. (1981/2007) Vorstellungen von Schülern über Begriffe der Newtonschen Mechanik. In: Müller et al. 2007, S. 120-126
- Lucretius Carus, T. / Büchner, K. (1973) De rerum natura. Welt aus Atomen. Lateinisch/Deutsch. Übersetzt und mit einem Nachwort herausgegeben von Karl Büchner. Stuttgart: Reclam
- Müller, R. / Wodzinski, R. / Hopf, M. (2007) Schülervorstellungen in der Physik. Festschrift für Hartmut Wiesner. 2. Aufl., Köln: Aulis Verlag Deubner
- Philoponos, J. / Böhm, W. (1967) Johannes Philoponos, Grammatikos von Alexandrien (6. Jh. n. Chr.). Christliche Naturwissenschaft im Ausklang der Antike, Vorläufer der modernen Physik, Wissenschaft und Bibel. Ausgewählte Schriften. Übersetzt, eingeleitet und kommentiert von Walter Böhm. München, Paderborn, Wien: Verlag Ferdinand Schöningh
- Preece, P. F. W. (1984) Intuitive science: Learned or triggered? In: European Journal of Science Education 6:1, S. 7-10
- Sambursky, S. (1965) Das physikalische Weltbild der Antike. Zürich, Stuttgart: Artemis
- Sambursky, S. (1975) Der Weg der Physik. Texte von Anaximander bis Pauli. Zürich, München: Artemis
- Séré, M.-G. (1985/2007) Der gasförmige Zustand (dt. von S. Krummrein und R. Wodzinski). In: Müller et al. 2007, S. 199-214
- Simonyi, K. (1990) Kulturgeschichte der Physik, dt. von K. Christoph. Leipzig, Jena, Berlin: Urania-Verlag
- Teichmann, J. (1996) Wandel des Weltbildes. Astronomie, Physik und Meßtechnik in der Kulturgeschichte. 3. Aufl., Leipzig: Teubner
- Wiesner, H. (1994/2007) Verbesserung des Lernerfolgs im Unterricht über Mechanik. Schülervorstellungen, Lernschwierigkeiten und fachdidaktische Folgerungen. In: Müller et al. 2007, S. 114-119
- Wodzinski, R. (1996/2007 a) Schülervorstellungen und Lernschwierigkeiten. In: Müller et al. 2007, S. 23-26
- Wodzinski, R. (1996/2007 b) Lernschwierigkeiten in der Mechanik. In: Müller et al. 2007, S. 107-113