

2

Historisches

An der Geschichte ihrer Wissenschaft interessiert Physiker nur nebenbei, wie sich dieser oder jener geäußert hat. Wirklich wissen wollen sie, welche nützlichen Anregungen die Arbeiten ihrer Vorgänger enthalten.

Diskussionsbemerkung von Jürgen Ehlers in [49]; dort englisch.

Im Abendland haben zuerst die altgriechischen Naturforscher und Philosophen vor Sokrates (469–399 vor Christus), Vorsokratiker, nach dem Leeren gefragt, das sie in ihrer Vorstellung mit dem Gegenteil von Etwas, dem Nichts, in Verbindung gebracht haben. Sie wollten ergründen, wie ein leerer Raum *gedacht* werden kann, und sind zu unterschiedlichen Ergebnissen gekommen. Wir fragen heute, wie Leer ein Raum *im Einklang mit den Naturgesetzen* sein kann. Das Ergebnis der Physik des 20. Jahrhunderts ist, wie bereits gesagt, dass es keinen im Wortsinn leeren Raum geben kann.

Beginnen wir mit Thales von Milet (etwa 625–545 vor Christus), dem ältesten der altgriechischen Philosophen. Für ihn war es selbstverständlich, dass der Raum immer ganz angefüllt, ein Plenum, ist. Angefüllt nämlich mit dem einen Grundstoff, aus dem laut ihm alles gemacht ist, dem Wasser.

Atomisten und Plenisten

Wenn wir die Ideen des Thales an moderne Vorstellungen heranzuführen wollen, können wir seinen Grundstoff Wasser mit dem Vakuum- oder Grundzustand eines physikalischen Systems vergleichen und die verschiedenen Erscheinungsformen des Grundstoffes wie Eis, Dampf und nach Thales überhaupt alles, was existiert, mit den Anregungen des Grundzustandes. Auf jeden Fall bilden die Phasenübergänge des Wassers vom Eis bis zum Dampf ein frühes

Vorbild für die Denkmöglichkeit der Entstehung von Formen durch Umwandlungen eines Grundstoffes – nicht mehr, aber auch nicht weniger. Sieht man von ihrer Realisierung durch das Wasser ab, sollte Thales Idee, dass alle Erscheinungen auf einen einheitlichen Grund zurückgeführt werden können, die Naturforschung bis heute beherrschen. Dieses Ziel zumindest im Prinzip zu erreichen, also die berühmt-berüchtigte Theorie von Allem (die TOE, »Theory Of Everything«) auch nur zu formulieren, ist bis heute ein Traum geblieben – »Der Traum von der Einheit des Universums«, wie es der deutsche Titel von Steven Weinbergs Buch [73] ausdrückt. Neben der Kühnheit des Entwurfs des Thales, dass es eine solche Einheit geben solle, und wie sie beschaffen sei, ist auch bemerkenswert, dass dieser Entwurf zum ersten Mal in der Geistesgeschichte rein physikalisch ist: Zur Erklärung der beobachteten Welt hat Thales statt Geister und Dämonen nur Annahmen über sie selbst herangezogen.

Wiederholt sei, dass für Thales die Welt wie selbstverständlich ein Plenum bildet. Als Selbstverständlichkeit aber sollte diese Vorstellung nicht lange Bestand haben. Bereits der kurz nach Thales Tod geborene Philosoph Parmenides von Elea (etwa 540–480 vor Christus) erörtert, ob es neben dem »Seienden« auch das »Nichtseiende« geben könne – und lehnt das als unmöglich ab. Der Raum hat Parmenides nur nebenbei interessiert, bemerkt aber, dass das Seiende raumerfüllend sei, sodass es keinen leeren Raum geben kann. Für ihn ist die Einsicht, dass der Raum stets angefüllt sein muss, ein Ergebnis des Denkens, also keinesfalls eine Selbstverständlichkeit, die keiner Begründung bedarf.

Vor demselben philosophischen Hintergrund haben sich dann Empedokles (um 433 vor Christus) und Leukipp (um 450–etwa 420 vor Christus) sowie Demokrit (um 460–etwa 370 vor Christus) der Frage nach dem leeren Raum zugewandt. Zu deren Positionen sollten in den Auseinandersetzungen um das Leere jahrtausendlang keine grundsätzlich neuen hinzutreten. Mit Empedokles werden die Plenisten behaupten, dass es, so der Aristoteles-Schüler Theophrast (um 372–etwa 287 vor Christus, zitiert nach [10], S. 222) »überhaupt keinen leeren Raum gäbe«. In des Empedokles eigenen Worten (nach [10], S. 222): »Im All gibt es nirgends einen leeren Raum, noch einen, der übervoll wäre«.

Nahezu gleichzeitig mit Empedokles haben die Atomisten Leukipp und Demokrit ihre der seinen entgegengesetzte These des Atomis-

mus verkündet. Demokrit (nach [10], S. 399): »In Wirklichkeit gibt es nur die Atome und den leeren Raum«.

Zwei Konzepte also, die unterschiedlicher nicht sein könnten. Sie aber fügt die heutige Physik zu einem Gesamtbild zusammen. Dadurch, dass sie beiden verschiedene Gültigkeitsbereiche zuweist – was erstaunlicherweise möglich ist. Der Atomismus ist näherungsweise richtig, wenn es um den Aufbau der Materie geht. Soll es aber um dasjenige gehen, was bleibt, wenn einem Raumbereich alle Atome entnommen wurden, versagt die Vorstellung der Atomisten: Der verbleibende Raum ist nicht im Wortsinn leer, sondern Leer im Sinne der Plenisten, belebt nämlich von den Kreationen der Physik des vergangenen Jahrhunderts: Er ist so Leer, wie es die Naturgesetze erlauben, und das ist nicht im Wortsinn leer.

Einerseits wirkt der Leere Raum dadurch in das Reich der Materie hinein, dass er Spektrallinien verschiebt. Andererseits ist diese Verschiebung so klein, dass sie erst ins Blickfeld rückt, wenn es bei vorgegebenem Gesamtbild des Kosmos aus Atomen und leerem Raum Korrekturen zu berücksichtigen gilt. Dass es solche Korrekturen überhaupt gibt, ist eine Erkenntnis aus der Mitte des vergangenen Jahrhunderts. Tatsächlich hängt kein bis um die vorvergangene Jahrhundertwende beobachtbarer Effekt davon ab, ob der Raum der Atomisten leer oder Leer ist.

Kein nichts, nirgends

Bis zur Wissenschaftlichen Revolution des 16. und 17. Jahrhunderts hat das System des wohl einflussreichsten Denkers aller Zeiten, des altgriechischen Philosophen Aristoteles (384–322 vor Christus), die Naturphilosophie beherrscht. Gekennzeichnet war dieses System vor allem dadurch, dass es keine Erklärungen natürlicher Phänomene zuließ, die auf Alltagserfahrungen beruhenden Intuitionen widersprachen. Dass die Erde ruhe, war wohl die am tiefsten verwurzelte Intuition von denen, die dem System des Aristoteles zugrunde lagen. Den Umsturz dieses Systems hat denn auch der diese Intuition negierende Vorschlag des Nikolaus Kopernikus (1473–1543) in seinem Buch *De Revolutionibus* aus dem Jahre 1543 eingeleitet, dass die Erde als ein Planet unter anderen die Sonne umlaufe und sich drehe. Dass diese Idee es schwer hatte, sich durchzusetzen, lag aber nicht

nur an ihrer der Intuition widersprechenden Abstraktheit, sondern auch daran, dass die Kirche das System des Aristoteles in ihre im Wortsinn herrschende Lehre aufgenommen hatte.

Zurück zum leeren Raum. Die Doktrin des Aristoteles, dass es keinen geben könne, hatten Kirche und Inquisition nach allerlei Hin und Her genauso übernommen wie die, dass die Erde den absolut ruhenden Mittelpunkt des Universums bilde. Beide Intuitionen, von denen die der ruhenden Erde tiefer verwurzelt war als die der Unmöglichkeit eines leeren Raumes, waren in einem einzigen theologisch-philosophischen System aufgegangen und unterstützten sich gegenseitig. War nicht leerer Raum nutzlos, sodass durch die Behauptung, dass es ihn gebe, Gott der Erschaffung nutzloser Werke bezichtigt würde? Konnte die Erde im Mittelpunkt des Universums ruhen, wenn sie von einem unendlichen leerem Raum ohne Mittelpunkt umgeben war? Ich will die Argumente des scholastischen, kirchlichen und aristotelischen Systems hier nicht weiter ausspinnen und verweise auf mein Buch [29] *Die Entdeckung des Nichts – Leere und Fülle im Universum*, das sich ausführlich mit ihnen beschäftigt, und aus dem ich einige Passagen übernommen habe.

***Horror vacui* und der äußere Luftdruck**

Ein Abkömmling der intuitiven, philosophisch und theologisch verfestigten Doktrin, dass es keinen leeren Raum geben könne, war bis zur Wissenschaftlichen Revolution die Idee des *horror vacui*, dass nämlich die Natur leeren Raum verabscheue und deshalb seine Entstehung zwar unbedingt, aber mit dem jeweils mildesten möglichen Mittel verhindere. Unabhängig von ihrer Begründung können dieser Idee wissenschaftliche Meriten nicht abgesprochen werden. Physikalische Hypothesen müssen vor allem aufgrund ihrer die Beobachtungen erklärenden Kraft beurteilt werden. Wenn wir nun so die Hypothese von den Atomen und dem leeren Raum mit der vom *horror vacui* vergleichen und uns auf Beobachtungen vor 1644 beschränken, müssen wir zugeben, dass das Erklärungspotenzial des *horror vacui* größer war als das der konkurrierenden Hypothese von dem leeren Raum und den Atomen. Wenn die Natur die Entstehung eines leeren Raumes nicht zulässt, ist das erste Beispiel hierfür selbstverständlich, dass der Trunk im Trinkhalm beim Saugen nach oben

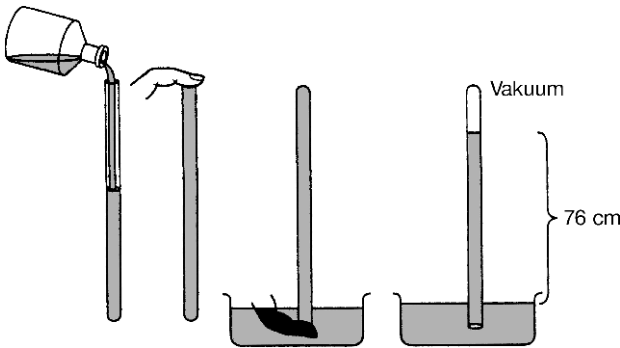


Abbildung 2.1: Das Experiment, durch das Torricelli gezeigt hat, dass es luftleeren Raum geben kann: Eine gut 76 Zentimeter lange Glasröhre wird mit Quecksilber gefüllt, verschlossen umgekehrt und ihre Öffnung in ein Quecksilberbad getaucht. Darauf sinkt die Quecksilbersäule bis zu einer Höhe von etwa 76 Zentimeter herab, sodass sich zwischen dem Quecksilber und dem Glas ein luftleerer Hohlraum bildet, an dem die Säule zu hängen scheint. Sie hängt aber nicht an dem luftleeren Raum, sondern wird von dem äußeren Luftdruck getragen, der auf den Quecksilberspiegel in der Schale lastet. Der Hohlraum muss luftleer sein, weil Luft weder Quecksilber noch Glas zu durchdringen vermag. Selbstverständlich enthält er Quecksilberdämpfe und andere, aus dem Glas und dem Quecksilber stammende Verunreinigungen. Deren Partialdruck lässt die Säule weiter herabsinken, als sie ohne ihn herabsinken würde.

steigt. Die Weltsicht der Atomisten konnte für sich allein, ohne das Wissen um den äußeren Luftdruck, diesen Effekt nicht verständlich machen.

Warum 1644? Dies ist das Jahr des Experimentes, durch das Evangelista Torricelli (1608–1647) auf Anregung Galileo Galileis (1564–1642) zum ersten Mal überzeugend gezeigt hat, dass es luftleeren Raum geben kann (Abb. 2.1). Genauer hat er gezeigt, dass es entweder leeren Raum geben können muss, oder dass sein Auftreten durch eine feine Substanz verhindert werden kann, welche Quecksilber oder Glas zu durchdringen vermag – oder die, so wissen wir heute, allgegenwärtig ist.

Das Experiment Torricellis ist zu dem Versuch äquivalent, Wasser durch einen mehr als zehn Meter langen Trinkhalm anzusaugen. Dass das unmöglich ist, war Galilei bekannt. Denn man wusste, dass

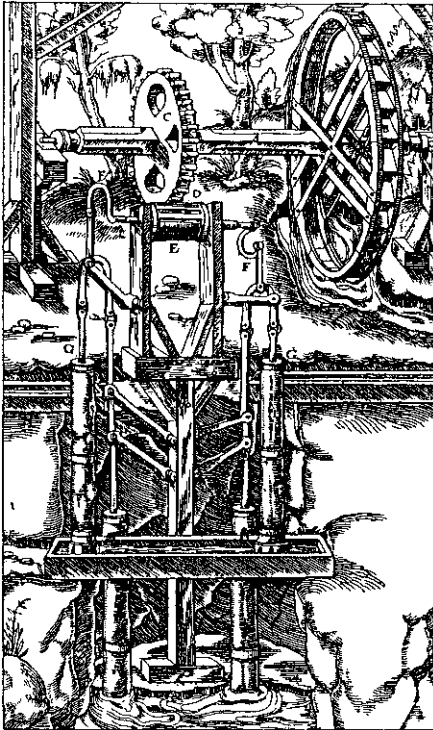


Abbildung 2.2: Ist eine Grube tiefer als etwa 10 Meter, müssen zu deren Entwässerung Saugpumpen hintereinander geschaltet werden.

Gruben, die tiefer sind als zehn Meter, durch eine Saugpumpe nicht entwässert werden können. Dazu war es nötig, mehrere Pumpen hintereinander zu schalten (Abb. 2.2). Dies ließ darauf schließen, dass statt eines unbedingten Prinzips wie das des *horror vacui* eine endliche Kraft die Entstehung leeren Raumes verhindert. Diese Kraft musste das hochsteigende Wasser ausüben, und da war es nur natürlich, zu ihrer Untersuchung im Labor statt des Wassers das spezifisch fast vierzehnmal so schwere Quecksilber zu verwenden. Das Ergebnis des Experimentes, dass die Quecksilbersäule bis zu der Höhe von etwa 76 Zentimeter herabsank, bestätigte quantitativ mit hinreichender Genauigkeit die Überzeugung, dass das Gewicht des Wassers für dessen auf etwa 10 Meter beschränkte Steighöhe in Saugpumpen verantwortlich sei. Denn das Verhältnis 13,16 der

beiden Höhen stimmt etwa mit dem Faktor 13,57 überein, um den Quecksilber genau genommen spezifisch schwerer als Wasser ist.