Zeitschrift: Museum Helveticum : schweizerische Zeitschrift für klassische Altertumswissenschaft = Revue suisse pour l'étude de l'antiquité classique = Rivista svizzera di filologia classica

Herausgeber: Schweizerische Vereinigung für Altertumswissenschaft

Band: 39 (1982)

Heft: 1

Artikel: Der Versuch mit dem "Wachsgefäss", ein verkanntes Demokritexperiment

Autor: Stückelberger, Alfred

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-30337

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 03.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Der Versuch mit dem 'Wachsgefäss', ein verkanntes Demokritexperiment

Von Alfred Stückelberger, Bern

Aristoteles berichtet in seinen Meteorologica und ähnlich auch in seiner Historia animalium von einem seltsamen Experiment mit einem 'Wachsgefäss', das in der Antike weithin Beachtung gefunden hat – die Aristoteleskommentare führen es aus, Aelian greift es in seiner Historia animalium wieder auf, Plutarch und Plinius deuten es kurz an[1] –, während man in neuerer Zeit meist recht achtlos daran vorbeigegangen ist[2]. Nachdem er am Anfang des 2. Buches seiner Meteorologie die Entstehung des Meeres und den Wasserkreislauf dargestellt hat, geht Aristoteles im 3. Kapitel ausführlich auf das Problem des Salzgehaltes des Meeres ein. Das gibt ihm Gelegenheit, sich zunächst mit Demokrit auseinanderzusetzen, nach dessen Ansicht das Meer der Rückstand eines riesigen Verdunstungsprozesses ist und infolgedessen immer mehr zusammengeschrumpft, eine Auffassung, die der aristotelischen Idee von der Ewigkeit des Kosmos und damit auch des Meeres diametral entgegensteht (Meteor. 2, 3, 356b4ff. = Dem. Fr. A 100 D.). Auch der Versuch des Empedokles, das Meer als ἱδρὼς τῆς γῆς zu erklären (ibid. 357a24 = Emp. Fr. B 55 D.), wird als lächerliche poetische Floskel abgetan, die den Ansprüchen der Naturwissenschaft nicht genüge. Diesen unvollkommenen Theorien älterer Naturphilosophen setzt er dann seinen eigenen Erklärungsversuch des Salzgehaltes gegenüber, dass es nämlich neben

1 Alex. Aphrod. *In Arist. meteor.* 2, 3, CAG 3, 2, 87, 25ff.; Olymp. *In Arist. meteor.* 2, 3, CAG 12, 1, 158, 25ff.; Aelian. *Hist. anim.* 9, 64; Plut. *Quaest. nat.* 5, 913b/c; Plin. *Nat. hist.* 31, 70; zu den Textstellen s. gleich unten.

2 Die ausführlichste Auseinandersetzung mit dem Experiment finde ich bei Herm. Diels, *Aristotelica,* Hermes 40 (1905) 310–316, der freilich, wie wir noch sehen werden, teilweise von falschen Voraussetzungen ausgeht und darum auch die Bedeutung weitgehend verkennt. Vom naturwissenschaftlichen Standpunkt aus hat sich damit befasst Edm. O. von Lippmann, *Die 'Entsalzung des Meerwassers' bei Aristoteles,* Chemiker-Zeitung 35 (1911) 629ff. und 1189ff. Auf die Bedeutung des Experimentes bin ich in meiner *Antiken Atomphysik* (München 1979) 23f. kurz eingegangen. Nur knappe Hinweise, die sich meist mit der Feststellung begnügen, dass das Experiment unmöglich sei, finden sich bei: Ing. Düring, *Aristotle's chemical treatise, Meteorologica Book IV,* in: Göteborgs Högskolas Arsskrift 50 (1944) 76f.; ders., *Aristoteles* (Heidelberg 1966) 385; D'Arcy W. Thompson, in der Oxforder Übers. der *Hist. animalium* (Works of Aristotle 4 [Oxford 1910]) Anm. zu 590a22; L. Pearson/F. H. Sandbach, *Plutarch's Moralia* Bd. 11 (London 1965) 165 Anm. zu *Quaest. nat.* 5, 913; H. Strohm in der *Meteorologie*-Übers. (Aristoteles' Werke in deutscher Übersetzung Bd. 12 [Berlin 1970]) 178. – Unerwähnt bleibt das Experiment leider bei Friedr. Solmsen, *Aristotle's system of the physical world* (Ithaka/New York 1960) und H. Happ, *Hyle, Studien zum aristotelischen Materie-Begriff* (Berlin 1971).

den feuchten auch trockene Ausdünstungen (ἀναθυμιάσεις) aus der Erde gebe, die sich in der Atmosphäre mit der Feuchtigkeit vermengten, sich dem Regen beimischten und so den Salzgehalt des Meeres verursachten. Er stützt dann seine Ansicht mit folgender Beobachtung:

Meteor. 2, 3, 358b35ff.: Dass der Salzgehalt auf einer Mischung mit etwas beruht, ist nicht nur aus dem eben Gesagten klar, sondern wird auch aus folgendem (Experiment) deutlich: wenn jemand ein 'Wachsgefäss' formt (κήρινον ἀγγεῖον), seine Öffnung gut abdichtet, so dass kein Meerwasser eindringen kann, und es dann ins Meer versenkt, dann wird das durch die wächsernen Wandungen eintretende Wasser trinkbar. Die erdigen Bestandteile, die den Salzgeschmack verursachen, werden nämlich wie durch ein Sieb zurückgehalten[3].

Dazu schreibt Alexander von Aphrodisias in seinem Kommentar zur Stelle, ohne wesentlich über die Erklärung von Aristoteles hinauszukommen:

CAG 3, 2, 87, 25ff.: Aristoteles führt zum Beweis, dass der Salzgehalt einer Flüssigkeit auf einer Mischung beruht, den Umstand an, dass bei Wachsgefässen, die ins Meer versenkt werden, das eindringende und durchsickernde und gleichsam vom Meerwasser abgesiebte (διηθούμενον) Wasser trinkbar ist, und zwar deshalb, weil die erdige Substanz, die den Salzgeschmack in der Mischung verursacht, wegen ihrer gröberen Beschaffenheit (διὰ τὴν παχύτητα) abgesondert wird[4].

Sachlich stimmen damit die Erklärungen Olympiodors zur genannten Stelle überein, der ausdrücklich noch das Missverständnis abwehrt, dass der süsse Geschmack des durchfiltrierten Wassers etwa auf den Süssigkeitsgehalt des Bienenwachses zurückzuführen sei[5].

In ganz anderem Zusammenhang verwendet Aristoteles das 'Wachsgefäss'-Experiment nochmals für seine Zwecke, und zwar in einer Schrift, die der Meteorologie zeitlich nahesteht: Im 8. Buch der Historia animalium geht er auf das Problem ein, weshalb Lebewesen im Meerwasser leben können, wo doch

3 Arist. *Meteor.* 2, 3, 358b35: Ὅτι δ' ἐστὶν ἐν μίξει τινὸς τὸ ἁλμυρόν, δῆλον οὐ μόνον ἐκ τῶν εἰρημένων, ἀλλὰ καὶ ἐάν τις ἀγγεῖον πλάσας θῇ κήρινον εἰς τὴν θάλατταν, περιδήσας τὸ στόμα τοιούτοις, ὥστε μὴ παρεγχεῖσθαι τῆς θαλάττης· τὸ γὰρ εἰσιὸν διὰ τῶν τοίχων τῶν κηρίνων γίνεται πότιμον ὕδωρ. 36. Ὥσπερ γὰρ δι' ἠθμοῦ τὸ γεῶδες ἀποκρίνεται καὶ τὸ ποιοῦν τὴν ἁλμυρότητα διὰ τὴν σύμμιξιν. Vgl. auch loc. cit. 2, 2, 354b19 διηθούμενον γὰρ γίγνεσθαι τὸ ἁλμυρὸν πότιμον.

4 Alex. Aphrod. *In Arist. meteor.* 2, 3, CAG 3, 2, 87, 25ff. Πίστιν κομίζει τοῦ κατὰ μῖξίν τινος τὸν ἁλμυρὸν χυμὸν γίνεσθαι τὸ διὰ τῶν κηρίνων ἀγγείων τῶν εἰς τὴν θάλασσαν τιθεμένων τὸ εἰσιόν τε καὶ ἱκμάζον καὶ διηθούμενον ἀπ' αὐτῆς ὕδωρ πότιμον εἶναι τῷ τὸ γεῶδες καὶ τὸ ποιοῦν τῇ μίξει ἁλμυρὸν τὸν χυμὸν διὰ τὴν παχύτητα ἀποκρίνεσθαι.

5 Olympiodor, *In Arist. meteor. comm.* CAG 12, 2, 158, 25ff.: τέταρτον ἐπιχείρημα· ὅτι γὰρ αὐτὸ καθ' αὑτὸ τὸ τῆς θαλάττης πότιμόν ἐστιν, ἀλλ' οὐχὶ ἁλμυρόν, καὶ ὅτι διὰ τὴν ἐπιμιξίαν τῆς καπνώδους ἀναθυμιάσεως, δῆλον. εἰ γὰρ κήρινον ἀγγεῖον διαπλάσῃς, εἶτα τούτου τὸ στόμα περιφράξας ἐπιμελῶς ἐμβάλῃς ἐν τῇ θαλάττῃ, ὡς μὴ εἰσελθεῖν ἔνδον θαλάττιον ὕδωρ διὰ τοῦ στομίου, εἶτα χρόνον ἐάσας ἀναλάβῃς, εὑρήσεις τὸ διὰ τοῦ τοίχου τοῦ ἀγγείου διηθηθὲν ὕδωρ γλυκὺ διὰ τὸ ἀπομεμενηκέναι ἐκτὸς τὴν καπνώδη ἀναθυμίασιν καὶ μόνον τὸ γνήσιον ὕδωρ εἰσεληλυθέναι. καὶ μή τις λεγέτω, ὅτι διὰ τὸν κηρὸν γέγονε γλυκὺ τὸ ὕδωρ ὡς δι' αὐτοῦ διηθηθέν, ἐπειδὴ περίττωμά ἐστιν ὁ κηρὸς τοῦ μέλιτος. εἰ γὰρ τοῦτο ἦν, ἐχρῆν καὶ ἄνωθεν διὰ τοῦ στομίου τοῦ ἀγγείου βαλλομένου τοῦ θαλαττίου ὕδατος μεταβάλλεσθαι εἰς γλυκύ, εἴπερ ὅλως ὁ κηρὸς ἦν ὁ μεταβάλλων, καὶ οὐχ ἡ διήθησις.

der Salzgehalt allgemein als lebenshemmend (ἄτροφον)[6] gilt. Er erklärt dies dann damit, dass etwa Muscheln dank dem im Meerwasser beigemischten Süsswasser lebten, «denn Süsswasser» (erklärt er) «lässt sich durch einen dichten Stoff hindurchfiltrieren, weil es von feinerer Beschaffenheit ist als das Meer, das 'eingekocht' ist»[7]. Er begründet dann diese Behauptung folgendermassen:

Hist. anim. 8, 2, 590a22ff.: Dass aber im Meerwasser Süsswasser enthalten ist und dieses hindurchfiltriert werden kann (διηθεῖσθαι), ist offenkundig: Man hat dafür nämlich folgendes Experiment (πεῖρα) angestellt: Formt man ein feines Gefäss aus Wachs, dichtet es ab und lässt es leer ins Meer hinab, so nimmt es während einer Nacht und eines Tages ein Quantum Wasser auf, welches sich als trinkbar erweist[8].

Von Aristoteles hat es dann Aelian in seinem gleichnamigen Werk unter ausdrücklicher Berufung auf seine Quelle übernommen, wobei er freilich noch eine detailliertere Beschreibung des Experimentes bietet:

Ael. Hist. anim. 9, 64: Aristoteles und vor ihm Demokrit und Theophrast als dritter behaupten, dass die Fische nicht vom Salzwasser leben, sondern von dem im Meer beigemischten Süsswasser. Und da dies unglaubhaft erscheinen mag, wollte der Sohn des Nikomachos das eben Gesagte mit Tatsachen untermauern und sagt, man könne folgendermassen nachweisen, dass im Meerwasser trinkbares Wasser vorhanden ist: wenn jemand aus Wachs ein feines hohles Gefäss formt und es leer ins Meer hinunterlässt, indem er es irgendwo anbindet, um es wieder hinaufziehen zu können, dann füllt sich dieses im Verlaufe einer Nacht und eines Tages mit süssem und trinkbarem Wasser[9].

Wir schliessen die Übersicht über die Belegstellen zum 'Wachsgefäss'-Experiment mit einer Stelle aus Plutarch, die der Sache nach nichts Neues bietet, die aber deshalb interessant ist, weil sie allem Anschein nach einen von Aristoteles unabhängigen Überlieferungszweig darstellt[10], auf den wir nochmals zu sprechen kommen werden. In der 5. quaestio naturalis geht der Verfasser, im Zusammenhang mit der Säftelehre, auf das ἁλμυρόν ein und sagt dann, nach einer Bezugnahme auf Platons Timaios:

Plut. Quaest. nat. 5, 913c: Filtriertes Meerwasser verliert seinen Salzgeschmack; dieser ist nämlich erdig und grobteilig (γεῶδες, παχυμερές); deshalb kann man, gräbt man beim Meeres-

6 Vgl. Theophr. *De causis plant.* 10, 1: ὅτι ἄτροφον καὶ ὥσπερ ἀγέννητον τὸ ἁλμυρόν; vgl. Plut. *Quaest. nat.* 5, 913c.

7 Arist. *Hist. anim.* 8, 2, 590a20f.: διηθεῖται γὰρ διὰ τῶν πυκνῶν διὰ τὸ λεπτότερον εἶναι τῆς θαλάττης συμπεττομένης.

8 Arist. *Hist. anim.* 8, 2, 590a22ff.: Ὅτι δ' ἐν τῇ θαλάττῃ πότιμον ἔνεστι καὶ τοῦτο διηθεῖσθαι δύναται, φανερόν ἐστιν. Ἤδη γὰρ εἰληφέναι τούτου συμβέβηκε πεῖραν· ἐὰν γάρ τις κήρινον πλάσας λεπτὸν ἀγγεῖον καὶ περιδήσας καθῇ εἰς τὴν θάλατταν κενόν, ἐν νυκτὶ καὶ ἡμέρᾳ λαμβάνει ὕδατος πλῆθος, καὶ τοῦτο φαίνεται πότιμον.

9 Aelian, *Hist. anim.* 9, 64: Λέγει δὲ Ἀριστοτέλης, καὶ Δημόκριτος πρὸ ἐκείνου, Θεόφραστός τε ἐκ τρίτων καὶ αὐτός φησι, μὴ τῷ ἁλμυρῷ ὕδατι τρέφεσθαι τοὺς ἰχθύς, ἀλλὰ τῷ παραμεμιγμένῳ τῇ θαλάττῃ γλυκεῖ ὕδατι. καὶ ἐπεὶ δοκεῖ πως ἄπιστον, δι' αὐτῶν τῶν ἔργων βεβαιῶσαι βουληθεὶς τὸ λεχθὲν ὁ τοῦ Νικομάχου λέγει εἶναί τι πότιμον ὕδωρ ἐν πάσῃ θαλάττῃ, καὶ ἐλέγχεσθαι ταύτῃ. εἴ τις ἀγγεῖον ἐκ κηροῦ ποιήσας κοῖλον καὶ λεπτὸν καθείη κενὸν ἐς τὴν θάλατταν, ἐξάψας ποθὲν ὥστε ἀνιμήσασθαι δύνασθαι, νυκτὸς διελθούσης καὶ ἡμέρας ἀρύτεται πεπλησμένον γλυκέος τε καὶ ποτίμου ὕδατος αὐτό.

10 So urteilt meines Erachtens richtig H. Diels, a.O. (oben Anm. 2) 312.

strand in die Tiefe, auf Süsswasseradern stossen; viele schöpfen auch in wächsernen Gefässen filtriertes Süsswasser aus dem Meer, wobei das Salzige und Erdige abgesondert wird. Und ferner wird Meerwasser durchaus trinkbar, wenn man es durch Tonröhren leitet und filtriert, weil diese das Erdige drinnen zurückhalten und nicht hindurchtreten lassen[11].

Soweit die wichtigsten Belegstellen zum Experiment[12], das übrigens eine recht anspruchsvolle Versuchsanordnung voraussetzt. Der Befund ist überall derselbe: ein geeignetes Gefäss muss beschafft werden (zu diesem Problem gleich unten), das in eine bestimmte Tiefe des Meeres versenkt wird (was eine Beschwerung des Gefässes voraussetzt); nach Verlauf einer bestimmten Zeit nimmt es dann ein Quantum Süsswasser auf. Nun hat natürlich die Vorstellung von einem solchen 'Wachsgefäss' sogleich Argwohn erweckt; denn abgesehen von der Schwierigkeit, ein solches Gefäss aus Wachs zu formen, wäre ein Wachsgefäss mit so festen Wandungen, dass es dem Wasserdruck widerstehen könnte, absolut wasserdicht und für den Versuch untauglich. So waren denn auch rasch Philologen zur Hand, die hier eine Textverderbnis sahen und – oft nur im Hinblick auf eine der genannten Stellen – zu konjizieren begannen: κεράμινον statt κήρινον hatte schon Hermann Diels vermutet, aber dann in seinem Aufsatz von 1905 vorsichtigerweise zurückgenommen[13]. 1911 hat dann Edmund O. von Lippmann, gestützt auf Versuche mit Tongefässen, die Konjektur κεράμινον ausführlich begründet[14], während Ingemar Düring κεράμεον befürwortet[15]. Überblickt man jedoch die Überlieferung an den zahlreichen Stellen, die mit auffallender Einhelligkeit von κήρινα ἀγγεῖα spricht, wobei Olympiodor ausdrücklich auf die süssliche Eigenschaft des Bienenwachses hinweist[16] und Plinius in seiner Kurzbeschreibung des Experimentes die *concavae ex cera pilae* nennt[17], wird man zögern, hier eine blosse Verschreibung zu sehen.

11 Plut. *Quaest. nat.* 5, 913c (mit vorangehender Partie): Πότερον οὖν οὐκ ἔστιν ἁλμυροῦ γένεσις ἀλλὰ φθορὰ τῶν ἄλλων τὸ ἁλμυρόν, διὸ καὶ πᾶσιν ἄτροφον τοῖς ἀπὸ φυτῶν καὶ σπερμάτων τρεφομένοις, ἥδυσμα δ' ἐνίοις γίνεται τῷ τὸ πλήσμιον ἀφαιρεῖν τῶν τρεφόντων; ἤ, καθάπερ τῆς θαλάττης ἕψοντες ἀφαιροῦσι τὸ ἁλυκὸν καὶ δηκτικόν, ἐν τοῖς θερμοῖς ὑπὸ θερμότητος ἐξαμαυροῦται τὸ ἁλμυρόν; ἢ χυμὸς μέν ἐστιν, ὡς Πλάτων (*Tim.* 59e) εἶπεν, ὕδωρ ἠθημένον διὰ φυτοῦ, διηθουμένη δὲ καὶ θάλαττα τὸ ἁλμυρὸν ἀποβάλλει; γεῶδες γὰρ καὶ παχυμερές ἐστιν, ὅθεν ὀρύττοντες παρὰ τὸν αἰγιαλὸν ἐντυγχάνουσι ποτίμοις λιβαδίοις, πολλοὶ δὲ καὶ κηρίνοις ἀγγείοις ἀναλαμβάνουσιν ἐκ τῆς θαλάττης ὕδωρ γλυκὺ διηθούμενον, ἀποκρινομένου τοῦ ἁλυκοῦ καὶ γεώδους· ἡ δὲ δι' ἀργίλου προδιαγωγὴ παντάπασι τὴν θάλατταν διηθουμένην πότιμον ἀποδίδωσι τῷ κατέχειν ἐν ἑαυτῇ καὶ μὴ διιέναι τὸ γεῶδες. – Vgl. dazu auch unten Anm. 23.

12 Zu einer weiteren Stelle bei Plin. *Nat. hist.* s. gleich unten.

13 Siehe app. crit. zu Olympiodor p. 158, 27; vgl. Diels, a.O. 310f.

14 Lippmann, a.O. (oben Anm. 2) 629ff. und 1189ff.: dazu gleich unten.

15 I. Düring, *Aristotle's chemical treatise* 76f.; in seiner Ausgabe von Arist. *Hist. anim.* führt Pierre Louis (Paris 1969) die Konjektur κεράμινον auf Ogle zurück.

16 Siehe oben Anm. 5.

17 Plin. *Nat. hist.* 31, 70: *Quia saepe navigantes defectu aquae dulcis laborant, haec quoque subsidia demonstrabimus: expansa circa navem vellera madescunt accepto halitu maris, quibus dulcis*

Nun, ob Wachsgefäss oder Tongefäss, für diesmal wird nicht der Philologe und nicht der Paläograph die Frage entscheiden, sondern der Chemiker. Der sonst überaus umsichtige Hermann Diels, der sich in seinem Aufsatz von 1905 auch auf die naturwissenschaftlichen Aspekte dieses Experimentes eingelassen hat, behauptet mit einer ihm sonst nicht eigenen Selbstsicherheit: «Eine Diosmose findet nur dann statt, wenn sich zu beiden Seiten der permeablen Scheidewand verschiedene Flüssigkeiten befinden; ... Bestimmt wird sich kein moderner Philologe oder Philosoph aufregen, wenn ich hier rundweg erkläre, dies Experiment des Aristoteles ist unmöglich»[18]. 1911 hat dann Edmund O. von Lippmann zusammen mit Ernst Erdmann Versuche mit Tongefässen angestellt, um das Experiment nachzuprüfen[19], und ist zum Schluss gekommen, dass das Experiment auf einer Täuschung beruhe: insofern man nämlich gebrauchte poröse Tongefässe verwende, die in ihren Wandungen eine erstaunlich grosse Menge von Wasser aufzunehmen vermögen, werde, wenn man sie ins Salzwasser tauche, durch das nachdringende Wasser tatsächlich eine gewisse Menge Süsswasser ins Gefäss gepresst. Da mich dieses Resultat nicht zu überzeugen vermochte, habe ich die Frage zusammen mit einem Chemiker, Dr. Willy Stadelmann, erneut aufgegriffen, der im Laboratorium des Gymnasiums Bern-Kirchenfeld mehrere Versuche anstellte[20]. Ein Versuch zunächst mit wachsbeschichteten Tongefässen – allenfalls eine Möglichkeit, die κήρινα ἀγγεῖα zu erklären – hat zu nichts geführt: Auch eine dünne Bienenwachsschicht erwies sich als wasserundurchlässig. Dagegen zeigte es sich bei Versuchen mit braunem Ton, wie er etwa zur Herstellung von Blumentöpfen gebraucht wird, dass Ton ausgesprochen die Fähigkeit besitzt, Ionen auszutauschen, d.h. Cl^--Ionen der Salzlösung gegen OH^--Ionen des Tones bzw. Na^+-Ionen der Salzlösung gegen andere im Ton vorkommende Kationen auszutauschen und somit Salzwasser zu entsalzen, ein Vorgang, der zu Lippmanns Zeit noch wenig erforscht war. Führt man nämlich eine Kochsalzlösung durch eine mit Tonscherben gefüllte Ionenaustauschersäule, so ist sie nur noch ganz gering salzhaltig[21].

umor exprimitur; item demissae reticulis in mare concavae ex cera pilae vel vasa inania opturata dulcem intra se colligunt umorem. nam in terra marina aqua argilla percolata dulcescit.

18 H. Diels, a.O. 310f.

19 Lippmann, a.O. (oben Anm. 2); schon im 16. Jh. hat Joh. Baptista Porta Versuche zum Experiment angestellt, freilich ohne Erfolg, vgl. seine *Magia naturalis* (1589) lib. 20, 1: dazu W. Brieger, *Zur 'Entsalzung des Meerwassers' bei Aristoteles,* Chemiker-Zeitung 42 (1918) 302. Die beiden Hinweise verdanke ich Prof. Andreas Kleinert vom Institut für Geschichte der Naturwissenschaften, Mathematik und Technik in Hamburg.

20 Ich benütze die Gelegenheit, Dr. Willy Stadelmann vom Städt. Gymnasium Bern-Kirchenfeld sowie Elsbeth Ernst vom medizinisch-chemischen Institut der Universität Bern für die wertvolle Mitarbeit und Beratung zu danken, ohne die ein Philologe das Problem nicht hätte angehen können.

21 Vgl. dazu: Ullmanns *Encyklopädie der technischen Chemie* 13 (1977) 281; F. Helfferich, *Ionenaustauscher,* Weinheim 1958.

Diese Eigenschaft des Tones, wenn auch anschaulicher, freilich nach heutigen Erkenntnissen unzutreffend mit 'filtrieren' (διηθεῖσθαι) erklärt[22], war in der Antike durchaus bekannt, wie die Angabe an der Plutarchstelle bezeugt, dass Meerwasser, durch Tonröhren geleitet, trinkbar werde[23].

Nun haben freilich unsere Versuche mit Tongefässen nur einen verhältnismässig geringen Entsalzungseffekt ergeben (das Verhältnis von eindringender Flüssigkeit und ionenaustauschendem Material ist hier viel ungünstiger als bei der Ionenaustauschersäule): Die Werte für die Abnahme des Salzgehaltes gegenüber der umgebenden Flüssigkeit lagen um 20%[24], eine heute leicht messbare Differenz, die aber in der Antike mit der Zunge – eine andere Methode, den Salzgehalt zu messen, stand kaum zur Verfügung – nicht festzustellen war. Dies mag daran liegen, dass uns nicht die richtigen Tonsorten oder zu wenig dickwandige Gefässe zur Verfügung gestanden haben.

Besondere Aufmerksamkeit erweckt hat nun allerdings ein Versuch mit einem mit Bienenwachs beschichteten Tongefäss, das in der Beschichtung einige kleine Aussparungen aufwies, durch welche unter einem minimen Druck Salzwasser eindringen konnte: Während bei einem gewöhnlichen Tongefäss der Ionenaustausch sich auf die eingedrungene wie auf die umgebende Flüssigkeit auswirkt und somit ein Teil der entsalzenden Wirkung für unsere Zwecke verlorengeht, zeigte ein Versuch mit einem derart beschichteten Tongefäss, bei welchem die Salzlösung nur durch einige Lecks in der Beschichtung eindringt und die Ionenaustauschkapazität – fast wie in einer Ionenaustauschersäule – sich ganz auf das eindringende Wasser auswirkt, recht günstige Resultate[25]. Fest steht jedenfalls, dass Ton die genannte Eigenschaft hat und dass sie mindestens beim Versuch mit den Tonröhren, wo die Verhältnisse günstiger sind, offenbar aber auch bei Tongefässen unter bestimmten Bedingungen beobachtet werden konnte.

Von der Sache her dürfte somit das Wachsgefäss-Experiment erklärt sein:

22 Dass es sich beim beobachteten Vorgang nicht um eine Dialyse handelt – so würden wir heute das 'Filtrieren' übersetzen –, ist nachgewiesen: In einem Dialyseschlauch, der von Wasser umspült wird, bleiben nur makromolekulare Stoffe (z. B. Eiweisse) zurück, nicht aber Salz. Im vorliegenden Fall waren aber sicher keine Makromoleküle im Spiel. In dieser Hinsicht muss auch die Angabe in meiner *Antiken Atomphysik* 24 Anm. 55 präzisiert werden. – Mit einer Diosmose, von der Diels spricht (s. oben), hat das Experiment überhaupt nichts zu tun.

23 Plut. *Quaest. nat.* 5, 913c: s. oben Anm. 11; dass es sich bei der δι' ἀργίλου προδιαγωγή um ein Leiten durch Tonröhren handelt, hat H. Strohm, Anm. zu Arist. *Meteor.* 2, 3 (a.O. 178) wohl richtig vermutet.

24 Die Na^+-Ionen-Konzentration der umgebenden Flüssigkeit (einer ca. 3,5%igen Kochsalzlösung) hat von 581 mVal/l auf 464 mVal/l in der eingedrungenen Flüssigkeit abgenommen, die Cl^--Ionen-Konzentration von 581 mVal/l auf 448 mVal/l; das bedeutet, dass der Salzgehalt um ca. 20% abgenommen hat. Die Leitfähigkeit hat von 45 ms/cm auf 38 ms/cm abgenommen, während der pH-Wert von 8,57 auf 10,54 leicht gestiegen, d.h. die eingedrungene Flüssigkeit etwas basischer geworden ist.

25 Weitere Versuche dazu sind zur Zeit noch im Gange.

Es ist nicht das Wachs, sondern der Ton, welcher tatsächlich die Fähigkeit hat, Ionen auszutauschen bzw. Salzwasser in gewissem Grade zu entsalzen. Die Nachprüfung des Versuches hat aber auch einen Hinweis gegeben, was unter dem ominösen κήρινον ἀγγεῖον zu verstehen ist. Denn dass es sich um einen blossen Abschreibefehler in der Überlieferung handelt, der mit einem einfachen Federstrich in κεράμινον zu ändern wäre, ist bei den zahlreichen Zeugnissen kaum denkbar[26]. Dass andererseits Aristoteles, von dem freilich die späteren Stellen abhängen, in seiner Vorlage statt des naheliegenden κεράμινον irrtümlich κήρινον gelesen hätte, ist wenig wahrscheinlich. Im Gegenteil: In der Formulierung (an beiden Aristotelesstellen), dass man solche Gefässe speziell herstellen müsse (πλάσας), kommt zum Ausdruck, dass er sich selber der Ungewöhnlichkeit bewusst war. Offenbar sind zum Versuch mit Wachs beschichtete – und wohl auch mit Wachs verpichte – poröse Tongefässe[27] gebraucht worden, deren Beschichtung – absichtlich oder unabsichtlich – kleinere Lecks aufwies, durch welche Meerwasser eindringen konnte[28]. Dieser Sachverhalt ist wohl schon dem Aristoteles, der das Experiment – offensichtlich ohne es nachzuprüfen – aus der Fachliteratur übernommen hat[29], sicher aber den von ihm abhängigen Autoren nicht mehr bekannt gewesen, für welche die κήρινα ἀγγεῖα durchaus eigentliche Wachsgefässe gewesen sind.

Nun von der Chemie wieder zurück zur Philologie. Wie immer man den chemischen Befund beurteilen mag: Entscheidend für unseren Zusammenhang ist das methodische Denken, das in dem Experiment zum Ausdruck kommt, und der geistige Zusammenhang, dem es zuzuordnen ist. Dass der Versuch nicht von Aristoteles stammen kann, ist aus dem oben Gesagten deutlich geworden. Es gilt also, seine Herkunft weiter zurückzuverfolgen.

26 Siehe dazu oben S. 18.

27 Poröse, wasserundurchlässige Tongefässe (κεράμια ἀγγεῖα), mit welchen Bauern betrügerischerweise den Weizen befeuchten, sind etwa auch Gal. *Nat. fac.* 1, 14 (2, 56 K.) genannt.

28 Wenigstens in einer Anmerkung soll eine Vermutung, der ich anfänglich nachgegangen bin, Platz finden, dass es sich bei den κήρινα ἀγγεῖα um einen Terminus technicus aus der Bienenzucht handeln könnte, nämlich um κηρίων ἀγγεῖα, also Gefässe für Bienenwaben. Jedenfalls werden in den Geoponica in den Kapiteln über die Bienenzucht (Geop. 15, 2–9) die Bienenstöcke regelmässig mit ἀγγεῖα – hier sind es freilich meist hölzerne (loc. cit. 15, 2, 7) – bezeichnet. Aber auch tönerne Bienenstöcke waren durchaus gebräuchlich und werden bei Schriftstellern über die Agrikultur erwähnt: Varro, *De re rust.* 3, 16 nennt *alvi fictiles*; vgl. Colum. 9, 6, 2; Pallad. 1, 37, 6. Abbildungen von Modellen solcher Ton-Bienenstöcke, die man gefunden hat, bei Ersie Richards-Mantzoulinou, *Melissa Potnia,* Athens Annals of Archaeology 12 (1979) 1, 75 (den Hinweis verdanke ich Dietrich Willers vom Archäolog. Seminar Bern). Solche Tongefässe mussten verhältnismässig dickwandig und porös sein, während die übrigen meist festgebrannt und wasserdicht waren. – Die Erklärung mit den wachsbeschichteten Tongefässen scheint mir aber doch einleuchtender.

29 So richtig Düring, *Aristoteles* 385; Strohm, a.O. (oben Anm. 2) 178; Aristoteles deutet dies ja auch an der Stelle in der Tiergeschichte an mit dem einleitenden Satz: loc. cit. 590a23f.: ἤδη γὰρ εἰληφέναι τούτου συμβέβηκε πεῖραν.

Zunächst ist auffallend, dass Aristoteles an der Meteorologiestelle, kurz vor dem Experiment im Zusammenhang mit der Frage nach dem Salzgehalt, auf Demokrit eingeht[30]. An der Aelianstelle wiederum wird neben Aristoteles und Theophrast als ältester Gewährsmann Demokrit genannt[31]. So hat denn Hermann Diels, vor allem gestützt auf die wohl demokriteische Säftelehre an der Plutarchstelle[32], das Experiment in der Tat auf Demokrit selbst zurückgeführt[33], eine These, die ich glaube mit weiteren Argumenten erhärten zu können und deren Tragweite für die antike Atomphysik ich zu erhellen suche, die Diels, fehlgeleitet durch falsche Voraussetzungen, weitgehend verkannt hat[34].

Das Experiment setzt klar ein atomistisches Denken voraus. Es liegt ihm die Überlegung zugrunde, dass sich die Salzteilchen deshalb absondern lassen (ἀποκρίνεσθαι), weil sie offenbar von gröberer Struktur sind (διὰ τὴν παχύτητα Arist. meteor. loc. cit.; παχυμερές Plut. loc. cit.) als die Wasserteilchen, die wegen ihrer Feinheit (διὰ τὸ λεπτότερον εἶναι Arist. Hist. anim. loc. cit.) durch die Poren der Gefässwandung hindurchfiltriert (διηθεῖσθαι) werden können. Dieser unmittelbare Zusammenhang mit der Vorstellung einer atomar aufgebauten Materie wird zwar von Aristoteles verschwiegen – er hätte ihm wohl in seiner Widerlegung der Atomphysik etwelche Schwierigkeiten bereitet –, er ist aber an allen angeführten Stellen, wo ein Erklärungsversuch für diesen 'Dialyseeffekt' gemacht wird, noch fassbar.

Nun weiss man aus anderen Quellen, dass sich Demokrit ausführlich mit dem Problem des Salzgeschmackes auseinandergesetzt hat. Theophrast referiert in seiner Abhandlung über die Sinneswahrnehmung eingehend über die demokriteische Säftelehre, offenbar aufgrund der bei Diog. Laert. 9, 46 erwähnten Demokritschrift Περὶ χυμῶν. Danach macht dort Demokrit den Versuch, die verschiedenen, subjektiv empfundenen geschmacklichen Wirkungen von Stoffen auf objektivierbare Faktoren, d.h. auf ganz bestimmte Atomformen (wir würden heute sagen Molekularstrukturen[35]) zurückzuführen. Nachdem er den Geschmack des Sauren durch kleine, eckige und gewundene, den des Süssen durch mittelgrosse, runde Atome erklärt hat, begründet er den Salzge-

30 Vgl. oben S. 15.

31 Vgl. Dem. Fr. A 155 D. (freilich zunächst nur auf den ersten Satz bezogen).

32 Siehe oben Anm. 11.

33 Diels, a.O. 312ff.

34 Dem Umstand, dass ich zunächst völlig unabhängig von Diels auf den selben Urheber des Experimentes gestossen bin, wird man zwar keinerlei Beweiskraft zubilligen; man darf ihn aber vielleicht doch als eine durch die Sache begründete Übereinstimmung gelten lassen.

35 An eine sachliche oder begriffliche Unterscheidung zwischen Atom und Molekül ist in der Antike nicht gedacht. Die Voraussetzungen, reine Elemente von chemischen Verbindungen zu unterscheiden, waren noch nicht gegeben, so dass unter *atomon* zunächst einfach der kleinste Baustein eines beständig erscheinenden Stoffes (wie etwa Wasser) zu verstehen ist. Der Begriff *molecula*, belegt erst bei Petrus Gassendi, *Philosophiae Epicuri syntagma* (1659), pars II, cap. 6, wird zunächst als Synonym zu Atom gebraucht. Die sachliche Differenzierung kommt erst im 19. Jh. auf (vgl. dazu meine Angaben in *Antike Atomphysik* 16).

schmack folgendermassen (Theophr. De sensu 66 = Dem. Fr. A 135 D., ich stütze mich bei der äusserst zweifelhaft überlieferten Stelle auf den gelungenen Wiederherstellungsvorschlag von J. B. McDiarmid[36]): ἁλμυρὸν δὲ [sc. χυλόν] τὸν ἐκ μεγάλων καὶ οὐ περιφερῶν οὐδὲ σκαληνῶν, ⟨ἀλλ' ἐκ γωνοειδῶν τε καὶ⟩ πολυκαμπῶν (βούλεται δὲ σκαληνὰ λέγειν ἅπερ περιπάλαξιν ἔχει πρὸς ἄλληλα καὶ συμπλοκήν)· μεγάλων μέν, ὅτι ἡ ἁλμυρὶς ἐπιπολάζει· ... οὐ περιφερῶν δ' ὅτι τὸ μὲν ἁλμυρὸν τραχὺ τὸ δὲ περιφερὲς λεῖον· οὐ σκαληνῶν δὲ διὰ τὸ μὴ περιπαλάττεσθαι, διὸ ψαφερὸν εἶναι. Die Aussage wird bestätigt durch eine Stelle aus einer anderen Theophrastschrift, in der auch sonst gern Demokrit herangezogen wird: Theophr. De caus. plant. 6, 1, 6 (= Dem. Fr. A 129 D.): Δημόκριτος δὲ σχῆμα περιθεὶς ἑκάστῳ [sc. χυμῷ] γλυκὺν μὲν τὸν στρογγύλον καὶ εὐμεγέθη ποιεῖ· ... ἁλμυρὸν δὲ τὸν γωνοειδῆ καὶ εὐμεγέθη καὶ σκολιὸν καὶ ἰσοσκελῆ[37].

Erst nach dem Erscheinen der oben besprochenen Dielsschen Abhandlung ist ein Papyrus zugänglich geworden, der das Gesagte schön bestätigt. Es ist der 1906 publizierte Hibeh-Papyrus 16 aus der ersten Hälfte des 3. Jh. v. Chr. (jetzt = Dem. Fr. A 99a D.), an dessen Ergänzung Diels mitgearbeitet hat[38]. Während sich in der stark zerstörten Kolumne I mindestens der Name [Δη]μόκριτος recht sicher ergänzen lässt, bietet die gut erhaltene Kolumne II eine Erörterung über die Entstehung des Meeres: Wie sich nach der bekannten demokriteischen Maxime «Gleiches zu Gleichem»[39] an verschiedenen Orten der Erde besondere Stoffe wie Weihrauch, Schwefel, Asphalt u. a. angesammelt hätten, so – erklärt Demokrit – habe sich auch das Meer aus homogenen Teilchen (ὁμογενῆ) an bestimmten Orten angesammelt. Der Vermittler dieser demokriteischen Ausführungen, vermutlich ist es auch hier wieder Theophrast[40], fährt dann weiter (Hibeh-Papyr. 16 = Dem. Fr. A 99a D.): ἐπεὶ ποιοῦντι [sc. Δημοκρίτῳ] ⟨γε⟩ τοὺς χυλοὺς διὰ τὰ σχήματα, καὶ τὸ ἁλμυρὸν ἐγ μεγάλων καὶ γωνιοειδῶν, οὐκ ἄλογόν πως περὶ τὴγ ⟨γῆν γίνεσθαι τὸν αὐτὸν τρόπον τὴν ἁλμυρότητα ὅνπερ

36 J. B. McDiarmid, *Theophrastus, De sensu 66: Democritus' explanation of Salinity,* Am. Journ. Philol. 80 (1959) 56–66. Der Rettungsversuch von Diels ἐπ' ἐνίων μὲν σκαληνῶν, ⟨ἐπὶ δὲ πλείστων οὐ σκαληνῶν⟩, eine recht widersprüchliche Formulierung, bleibt unbefriedigend. McDiarmid hat zur Wiederherstellung Theophr. *De caus. plant.* 6, 1, 6 herangezogen und einleuchtenderweise das dortige σκολιός mit πολυκαμπής und das ἰσοσκελής mit οὐ σκαληνός gleichgesetzt und damit sachlich den Text sehr schön erklärt, wenn sich auch in der sprachlichen Formulierung nie eine letzte Sicherheit gewinnen lässt.

37 Ähnlich die Stelle bei Theophr. *De caus. plant.* 6, 10, 3, die – obwohl Demokrit nicht ausdrücklich genannt ist – zweifellos auf ihn zurückgeht: καὶ ἐπιπολάζειν [sc. τὸ ἁλμυρόν]. πανταχοῦ γὰρ πλατέα καὶ μεγάλα τοῖς ὑγροῖς ἐπιφέρεσθαι ἀσύμπλεκτα δὲ καὶ ἄκολλα διὰ τὸ μηδὲν ἔχειν σκαληνές, ἀλλὰ γωνοειδῆ τε εἶναι καὶ πολυκαμπῆ.

38 *Hibeh-Papyri,* ed. B. P. Grenfell/A. S. Hunt, 1 (London 1906) 62f.

39 Vgl. C. W. Müller, *Gleiches zu Gleichem, ein Prinzip frühgriechischen Denkens,* Klass. Philol. Studien H. 31 (Wiesbaden 1965) bes. 120ff.

40 Diels, Dem. Fr. A 99a, denkt an die bei Diog. Laert. 5, 45 erwähnte Schrift von Theophrast Περὶ ὕδατος.

κἀν τῇ θαλάττῃ: suppl. Diels⟩. Die Salzteilchen bestehen also nach Demokrit aus grossen, eckigen, mit Krümmungen versehenen Atomen (ἐκ μεγάλων, γωνιοειδῶν, πολυκαμπῶν), die sich nicht leicht miteinander verzahnen (οὐ σκαληνῶν[41]) und darum keinen festen Stoff bilden. Damit sind just die Bedingungen für den 'Dialyseeffekt' gegeben, die beim Versuch mit dem wachsbeschichteten Gefäss vorausgesetzt wurden, dass eben die Salzteilchen beim 'Durchsieben' ausgesondert bleiben.

Damit wird auch die Quellenangabe bei Aelian Hist. anim. 9, 64[42] verständlich, wo als Gewährsleute für das Demokritzitat Fr. A. 155 D. Aristoteles, Theophrast und Demokrit genannt waren. Offenbar hat Aelian zunächst die gleichnamige Aristotelesschrift benützt, hat sich dann aber u. a. im Hinblick auf die Salzwasserfrage in den Schriften des Theophrast umgesehen und ist dabei auf Demokrit gestossen[43].

Soweit dürfte der Beweis erbracht worden sein, dass das 'Wachsgefäss'-Experiment genauestens in die demokriteische Atomvorstellung hineinpasst. Dass es aber tatsächlich in die Diskussion um den atomaren Aufbau der Materie hineingehört – die angeführten Erklärungsversuche des Dialyseeffektes liessen dies nur noch erahnen –, das legt ein bei Lukrez berichtetes Parallelexperiment nahe, das in diesem Zusammenhang, soviel ich sehe, noch nicht ausgewertet worden ist[44] und das wohl die grösste Beweiskraft für die atomistische und damit – weil voraristotelische – eben demokriteische Herkunft des Experimentes hat: Nachdem Lukrez im 2. Buch – ähnlich wie Demokrit im Referat bei Theophrast – ausführlich die verschiedenen Atomformen und deren Wirkung auf die Sinnesorgane dargelegt hat, kommt er 2, 464ff. auf den Geschmack des Salzigen zu sprechen. Er charakterisiert die betreffenden Atome als *squalida* (rauh), aber nicht *hamata* (οὐ σκαληνά) und als *globosa,* was hier wohl mehr dem εὐμεγέθης bei Demokrit entsprechen dürfte, und führt dann folgendes Experiment an:

Lucr. 2, 471–477: Und damit du eher glauben kannst, dass (im Salzwasser) rauhe mit glatten Atomen gemischt sind, aus welchen der bittere Stoff des Meerwassers besteht, gibt es ein Verfahren, die Stoffe zu scheiden und getrennt festzustellen: Wasser ist süss, wenn es mehrmals durch Erde hindurchgefiltert wird, so dass es in eine Grube fliesst und seinen bitteren Geschmack verliert; es

41 σκαληνός, das meistens sehr unbeholfen mit 'höckrig' übersetzt wird, bezeichnet nach Theophr. *De sens.* 66 (s. oben S. 23) offenbar die Eigenschaft, die geeignet ist zur gegenseitigen Verflechtung (πρὸς ἄλληλα συμπλοκή) der Atome und damit dem Stoff eine gewisse Festigkeit verleiht; s. dazu McDiarmid, a.O. 60f.

42 Siehe oben Anm. 9.

43 Da das genannte Demokritzitat in *De sensu* und in *De causis plantarum* nicht vorkommt, muss sich Theophrast noch in weiteren Schriften mit dem Salzwasserproblem auseinandergesetzt haben. Es liegt in der Tat nahe, dabei mit Diels an Περὶ ὕδατος zu denken (vgl. oben Anm. 40).

44 In meiner *Atomphysik* 24 hatte ich kurz darauf hingewiesen.

lässt nämlich oben die Atomteilchen des unangenehmen Salzes zurück, da die rauhen Teilchen eher in der Erde hängenbleiben können[45].

Es handelt sich hier um die genau gleiche Überlegung und um die analoge Argumentation wie beim Experiment mit dem wachsbeschichteten Gefäss, nur mit dem Unterschied, dass hier die Funktion innerhalb der atomistischen Beweisführung noch vollständig erhalten ist, während sie beim 'Wachsgefäss'-Experiment aus allerdings unmissverständlichen Spuren erschlossen werden musste. Dass nun diese zwei Experimente aufs engste zusammengehören und möglicherweise sogar noch aus einer grösseren Beweiskette stammen, ist nicht nur von der Sache her gegeben, sondern wird auch noch durch einen glücklichen Zufall bestätigt, hat doch Plutarch an der genannten Stelle die beiden Experimente miteinander verknüpft: Neben dem 'Wachsgefäss'-Versuch nennt er Quaest. nat. 5, 913c das Durchleiten von Meerwasser durch Tonröhren und das Graben nach Süsswasser am Meeresstrand[46].

Wenn wir also mit Diels darin übereinstimmen, dass wir in Demokrit den Urheber des Experimentes mit dem wachsbeschichteten Gefäss sehen, so unterscheiden wir uns von ihm grundsätzlich in der Bewertung dieser Einsicht: Während Diels in Demokrit «den eigentlichen Übeltäter» eines für ihn absurden Versuches glaubte gefunden zu haben[47], sehen wir in ihm den Heuretes eines der eindrücklichsten Argumente aus dem Bereich der Empirie zur Begründung der antiken Atomphysik[48], das – hält man ihm zugute, dass er die Beobachtung mit einer Dialyse zu erklären versuchte und noch nichts von einem Ionenaustausch wissen konnte[49] – heute von der Naturwissenschaft bestätigte Überlegungen zum Ausdruck bringt. Diese Annahme wäre freilich

45 Lucr. 2, 471–477: *et quo mixta putes magis aspera levibus esse / principiis, unde est Neptuni corpus acerbum, / est ratio secernendi sorsumque videndi: / umor dulcis, ubi per terras crebrius idem / percolatur, ut in foveam fluat ac mansuescat; / linquit enim supera taetri primordia viri, / aspera quom magis in terris haerescere possint*; vgl. auch die Feststellung an der genannten Pliniusstelle (*Nat. hist.* 31, 70, oben Anm. 17): *nam in terra marina aqua argilla* (= Tonerde) *percolata dulcescit* und bei Plutarch (*Quaest. nat.* 5, 913c, oben Anm. 11): ἡ δὲ δι' ἀργίλου προδιαγωγὴ παντάπασι τὴν θάλατταν διηθουμένην πότιμον ἀποδίδωσι τῷ κατέχειν ἐν ἑαυτῇ καὶ μὴ διιέναι τὸ γεῶδες.

46 Vgl. oben S. 17f.; während die Beobachtung, dass Meerwasser, durch Tonerde (δι' ἀργίλου) geleitet, entsalzt wird, richtig ist, scheint die Behauptung, wonach man an der Meeresküste nach Süsswasser graben könne, auf einer Täuschung zu beruhen. Wo dies der Fall ist, handelt es sich um unterirdische Süsswasseradern, nicht um 'filtriertes' Meerwasser.

47 Diels, a.O. 312.

48 Wenn wir Demokrit als Urheber bezeichnen, so schliesst dies nicht aus, dass er seinerseits eine alte Seemannserfahrung ausgenützt haben mag, was die Plinius-Stelle (oben Anm. 17) andeutet. Zum eigentlichen Experiment wird es erst dadurch, dass ein Vorgang erklärt und Folgerungen daraus gezogen werden, ähnlich wie der Hausfrauentrick mit dem Wasserheber erst durch die berühmte Erklärung des Empedokles mit dem Ein- und Ausströmen der Luft zum Experiment wird (Fr. B 100 D.).

49 Vgl. oben Anm. 22.

noch immer sehr kühn, wenn es sich dabei um das einzige Beispiel eines Experimentes bei Demokrit handelte. Nun hat uns aber Aristoteles, der sein Augenmerk weit mehr auf die theoretische Begründung bzw. Widerlegung der Atomphysik legt und sich recht wenig um die experimentelle Erfahrung kümmert, ganz beiläufig noch zwei weitere Demokritexperimente überliefert: Nach De caelo 313a14ff. (vgl. Dem. Fr. A 62 D.) stellt Demokrit fest, dass feine Metallplättchen auf dem Wasser obenaufschwimmen, während zwar leichtere und kleinere, aber runde Gegenstände absinken, und erklärt dies damit, dass «die aus dem Wasser aufsteigende Wärme (-teilchen) (τὰ ἀναφερόμενα σώματα) den schwereren Plättchen Auftrieb geben, während die schmaleren hindurchfallen, da sie nur auf wenig Widerstand stossen»[50]. Für uns ist im Moment weniger die Erklärung Demokrits als solche und deren Ablehnung durch Aristoteles entscheidend – sie ist immerhin dadurch, dass Galilei sie in einer Jugendschrift aufgreift, zum Ausgangspunkt einer epochemachenden Diskussion geworden[51] – als vielmehr die Tatsache, dass Demokrit sorgfältige Naturbeobachtungen anstellt und sie mit Hilfe seines atomistischen Materiebegriffes zu erklären sucht.

Ein anderes Demokritexperiment führt Aristoteles in seiner Physik 4, 6 nur ganz beiläufig an. In seiner Polemik gegen die Beweise, die von den Atomisten für die Existenz eines Vakuums vorgebracht werden, sagt er, im Anschluss an ein Argument des Melissos: Arist. Phys. 4, 6, 213b14ff. (vgl. Leuk. Fr. A 19): ἕνα μὲν οὖν τρόπον ἐκ τούτων δεικνύουσιν [sc. Δημόκριτος καὶ Λεύκιππος] ὅτι ἔστιν τι κενόν, ἄλλον δ' ὅτι φαίνεται ἔνια συνιόντα καὶ πιλούμενα· ... μαρτύριον δὲ καὶ τὸ περὶ τῆς τέφρας ποιοῦνται, ᾗ δέχεται ἴσον ὕδωρ ὅσον τὸ ἀγγεῖον τὸ κενόν[52]. Dazu bemerkt Diels: «Der Fehlschluss aus dem Gefäss mit Asche, das – mit Wasser gefüllt – ebensoviel fasst als vorher, ist für die Naivität dieser Positivisten lehrreich»[53]. Dabei ist vielmehr die Überheblichkeit der Positivisten der Jahrhundertwende aufschlussreich, die sich in ihrer Selbstsicherheit das Verständnis für das Niveau antiker Naturwissenschaften verbauten. Prüft man nämlich das Experiment nach, so stellt man fest, dass kaum ein Stoff so geeignet ist wie Asche, um den Vorgang des συνιέναι und des πιλεῖσθαι an-

50 Arist. *De caelo* 313a22ff. (= Dem. Fr. A 62 D.): ἐκεῖνος [sc. Δημόκριτος] γάρ φησι τὰ ἄνω φερόμενα θερμὰ ἐκ τοῦ ὕδατος ἀνακωχεύειν τὰ πλατέα τῶν ἐχόντων βάρος, τὰ δὲ στενὰ διαπίπτειν· ὀλίγα γὰρ εἶναι τὰ ἀντικρούοντα αὐτοῖς.

51 Galileo Galilei, *Discorso intorno alle cose che stanno in su l'acqua, o che in quella si muovono* (1612), in: Ediz. nazionale Bd. 4 (Florenz 1894), eine der frühesten Schriften Galileis, in der er ausführlich Demokrit gegen Aristoteles verteidigt und damit die nicht mehr abbrechende Diskussion um die Glaubwürdigkeit von Aristoteles auslöst.

52 Siehe zur Stelle auch Hans Wagner, *Aristoteles' Physikvorlesung*, Aristoteles-Übers. Bd. 11 (Darmstadt 1967) 553, der mit Recht auf die unlogische Gedankenführung bei Aristoteles hinweist, der das Experiment mit dem Problem der αὔξησις in Verbindung bringt, wodurch freilich das Experiment selber nicht berührt wird.

53 Diels, a.O. 313.

schaulich zu machen. In einem Litergefäss, das mit völlig ausgeglühter lockerer Holzasche gefüllt ist, finden – so hat meine Nachprüfung ergeben – ca. 880 cm^3 Wasser Platz, d. h. also rund $^9/_{10}$ des ganzen Volumens. Dass dieser Sachverhalt in der sehr summarischen Darstellung bei Aristoteles nur unpräzis zum Ausdruck kommt – «ebensoviel Wasser» statt «⟨fast⟩ ebensoviel Wasser» –, ist doch wohl eher dem Berichterstatter als dem Urheber dieses Experimentes anzulasten[54], das nicht nur eine feine Naturbeobachtung, sondern bereits ein durch Messungen untermauertes quantifizierendes Denken voraussetzt.

Die Ergebnisse der bisherigen Untersuchung dürfen freilich nicht zu einem einseitigen Demokritbild führen. Ein Hauptanstoss zur Begründung einer atomaren Vorstellung von der Materie ist zweifellos von einer ganz anderen Seite her gekommen. Zuerst musste denkerisch in der Welt des Unbeständigen und Vergänglichen die eine unveränderliche, unerschütterliche Grundlage, das parmenideische ὄν, gefunden werden, das – noch losgelöst von jeder Materie – bereits wesentliche Merkmale zeigt, die später dem Atom zukommen: ἀγένητον, ἀνώλεθρον, οὐλομελές, ἀτρεμές, ἀτέλεστον, ἕν, συνεχές[55]. Tatsächlich bringt auch Aristoteles in der Darlegung atomistischer Gedankengänge in De generatione et corruptione 324b35ff. Leukipps Lehre in Verbindung mit Parmenides und führt dort eine durchaus eleatische Begründung der Unteilbarkeit der Atome an, dass nämlich für jede Teilung wie überhaupt für jede Bewegung ein κενόν Voraussetzung sei, das ὄν aber ein παμπλῆρες und infolgedessen ein ἄτομον sei[56]. Ebenso bewegt sich die in De gen. et corr. 316a13ff. entwikkelte Begründung der Atomphysik auf rein theoretisch-spekulativer Ebene[57]: Eine Teilung ins Unendliche müsste – folgert Demokrit nach Aristoteles – der Materie jede Existenzgrundlage entziehen und schliesslich zum Nichts führen. Also muss es kleinste, unteilbare, unveränderliche Bausteine der Materie geben[58]. Dieser logisch-deduktive Weg zur Atomphysik, er mag wohl der ursprüngliche und entscheidende gewesen sein, ist immer gesehen worden und soll hier keineswegs in Frage gestellt werden.

54 So urteilt richtig schon W. D. Ross, *Aristotle's Physics*, ed. (Oxford 1936) 583, comm. ad loc. (gestützt auf Th. Gomperz, *Griechische Denker* 1, 352): «*nearly* as much water».

55 Parm. Fr. B 8, 3ff. D.

56 Arist. *De gen. et corr.* 325a26ff. (Leuk. Fr. A 7 D.) ὁμολογήσας δὲ [sc. Λεύκιππος] ταῦτα μὲν τοῖς φαινομένοις, τοῖς δὲ τὸ ἓν κατασκευάζουσιν [gemeint ist Parmenides] ὡς οὐκ ἂν κίνησιν οὖσαν ἄνευ κενοῦ, τό τε κενὸν μὴ ὄν, καὶ τοῦ ὄντος οὐθὲν μὴ ὄν φησιν εἶναι· τὸ γὰρ κυρίως ὂν παμπλῆρες ὄν. Die nicht ganz lückenlose Gedankenführung bei Aristoteles erläutert Joh. Philoponus in seinem Kommentar zur Stelle (CAG 14, 2, 158): εἶτα δεξάμενος ἐκ τῶν τὸ ἓν εἰσαγόντων καὶ συμφωνήσας αὐτοῖς κατὰ τὸ μὴ εἶναι κίνησιν ἄνευ κενοῦ, καὶ ὅτι τὸ κενὸν οὐκ ὄν ἐστι, τουτέστιν οὐ πλῆρες οὐδὲ οὐσία τις καὶ σύστασις, οὕτω τὰ ἑξῆς κατεσκεύασεν, λέγω δὴ ὅτι ἄτομά ἐστι καὶ τὸ κενόν.

57 Zur ganzen Beweisführung sehr gut J. Mau, *Studien zur erkenntnistheoretischen Grundlage der Atomlehre im Altertum*, Wiss. Zeitschr. d. Humboldt-Universität zu Berlin 2 (1952/53) Heft 3.

58 Es handelt sich um das bekannte Argument von der Beständigkeit der Stoffe, die über eine

Wir glauben aber, durch unsere Ausführungen gezeigt zu haben, dass daneben auch dem empirischen Weg, dem in der Geschichte der Atomphysik von Aristoteles bis heute weit weniger Beachtung geschenkt worden ist, eine Bedeutung zukommt[59], der Methode also, gewonnene Einsichten an der Erfahrungswelt zu überprüfen und Beobachtungen in der Natur und sogar Experimente zur Begründung der Atomphysik heranzuziehen. Aristoteles deutet dies selbst an, wenn er in De gen. et corr. 316a10ff. die φυσικῶς καὶ λογικῶς σκοποῦντες (die 'physikalische' und die 'erkenntnistheoretische' Betrachtungsweise) unterscheidet und mit dem λογικῶς die spekulative Methode Platons, nach welcher dieser im Timaios 53cff. die Materie auf immaterielle, geometrische Formen zurückführte, entschieden von Demokrit abhebt: Δημόκριτος δ' ἂν φανείη οἰκείοις καὶ φυσικοῖς λόγοις πεπεῖσθαι. Das ist der Weg, den spätere Atomisten in der griechischen Medizin weitergegangen sind[60] und der schliesslich zu dem reichen empirischen Material führt, das bei Lukrez erhalten ist. Es geht dabei nicht darum, einem skeptisch-dogmatischen Demokrit, wie ihn Sextus Empiricus sah[61], einen nach modernen Gesichtspunkten experimentierenden Demokrit gegenüberzustellen, sondern vielmehr darum, gerade «das Nebeneinander des spekulativen und des induktiven Arbeitens, ... wobei doch nicht eins ohne das andere sein kann»[62], zu zeigen. So meint es wohl auch Demokrit selber, wenn er ausdrücklich der anaxagoreischen Maxime zustimmt: ὄψις γὰρ τῶν ἀδήλων τὰ φαινόμενα[63].

unabsehbare Zeit hinaus ihre Qualität nicht verändert haben, das Lukrez 1, 234–237 wieder aufgreift und das viel später Newton in seiner *Optik* (ed. 1706, 343f.) ausführt; s. dazu A. Stükkelberger, *Empirische Ansätze in der antiken Atomphysik,* Arch. f. Kulturgesch. 56 (1974) 125f.

59 Im oben genannten Aufsatz habe ich seinerzeit versucht, dies zu zeigen, noch ohne die Beziehungen zum Experiment mit dem wachsbeschichteten Gefäss gesehen zu haben.

60 Dazu Stückelberger, a.O. 131ff.

61 Sext. Emp. *Adv. mathem.* 7, 135f.

62 So Mau, a.O. 6.

63 Dem. Fr. A 111 D. (vgl. Anax. Fr. B 21a); s. dazu auch O. Regenbogen, *Eine Forschungsmethode antiker Naturwissenschaft,* Kl. Schr. (München 1961) 141–194. (Die im übrigen ausgezeichnete Abhandlung geht leider zuwenig auf Demokrit ein.)