



Hartmut Böhme **Das Volle und das Leere** Zur Geschichte des Vakuums

1. Einleitung: Zur technischen Bemeisterung der Luft

Es war von größter kultureller und wissenschaftlicher Bedeutung, daß man praktische Techniken der Nutzung und Bemeisterung der Luft erfand. Diese Entwicklung reichte von der antiken Pneumatik bis zur heutigen Entdeckung des Pneu als Bauprinzip aller organischen Formen, die ihrerseits technisch nachgeahmt werden¹. Die Erfindung von Schiff und Segel wird mythisch als Tat von Kulturheroen gefeiert. Das Segel supplementiert erst und ersetzt dann die Muskelkraft für die strömungsunabhängige Schiffsbewegung. Die Nutzung der Windenergie, auch durch die aus dem Orient stammenden Windmühlen, welche bis zur Dampfmaschine die wichtigsten Energiemaschinen darstellten, ist weit mehr als die hydraulischen Techniken entscheidend für die Entstehung meerübergreifender Handels- und Militärräume, also thalassaler Imperien². Diese weiteten sich im Fortgang der Schifffahrts- und Navigationstechniken zu ozeanischer Dimension aus und stellten bis ins 20. Jahrhundert die wesentliche Quelle von politischer Macht dar. Doch seit den Montgolfieren wurde zunächst symbolisch, mit der Flugzeugtechnik dann auch real der Luftraum zum Leitmedium, welches zu beherrschen entscheidende Machtvorteile brachte. Zuvor war der Luftraum das Reservat der Götter, Dämonen, Engel, gelegentlich für Hexen und Schamanen auf ihren magischen Reisen, selten für abenteuerliche Ingenieure wie Dädalus und andere Piloten der Luftreisen. Das 20. Jahrhundert indes erschloß und organisierte den gesamten Luftraum als Personen- und Warenverkehrsnetz und vor allem als geostrategischen Militärraum, der das klassische Verhältnis von See- und Landstreitmacht noch einmal revolutionierte³.

Das 17. Jahrhundert legte mit der experimentellen Erzeugung des Vakuums langfristig die Grundlagen für die heutigen, äußerst anwendungsreichen Vakuumtechnologien, doch auch für die technische Bemeisterung der Bewegung im luftleeren Raum. »Bewegung im Vakuum« denken zu können, war nicht nur entscheidend für eine physikalische Theorie der Sternbewegungen auf der Basis einer Theorie von Fernkräften, die auf kein Übertragungsmedium mehr angewiesen sind; sondern auch die Weltraumfahrt war nur denkbar auf der Grundlage des für Raketen charakteristischen, vakuumtauglichen Rückstoßprinzips, das einen zur Flugzeugtechnik völlig verschiedenen Bewegungsantrieb darstellt. Die mentale, kognitive und technische Bewältigung des Vakuums im 17. Jahrhundert ist deswegen innerhalb einer Kulturgeschichte der Luft eine revolutionäre Leistung ersten Ranges, die langfristig das Gesicht der technischen Zivilisation und der Kosmologie prägte.

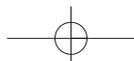
Im folgenden werde ich kurz die antiken wie mittelalterlichen Probleme der Konzeption des Leeren darstellen, um daran die Ausgangslage der Vakuumforschung des 17. Jahrhunderts anzuschließen. Das Gemälde *The Experiment with the Air-Pump* von Wright of Derby wird, obwohl 100 Jahre nach den großen Debatten um das Vakuum entstanden, im 2. Teil im Mittelpunkt

stehen, um seinen wissenschaftshistorischen Kontext zu demonstrieren. Das Gemälde ist die präziseste Visualisierung der Newtonschen Welt, die man sich im Medium der Kunst denken kann, und zugleich eine Art Sentimentalisierung des metaphysischen Schauders, von dem das 17. Jahrhundert angesichts der Leere erfaßt war.

2. Leukipp und Demokrits Lehre von den Atomen und der Leere

Am Anfang steht ein kühner Gedanke: die Welt sei aus unsichtbaren, unentstandenen und unvergänglichen, unteilbaren, qualitätslosen, ihrer Form nach indes verschiedenartigen Atomen gebildet. In einem anfangslosen, unendlichen leeren Raum differenzieren sich durch Zusammenstöße, Wirbel, Verhakungen, Häufungen, Verflechtungen, Stauungen vibrierende Massen aus Atomen. Aus ihnen konglomerieren in einem ungesteuerten Zufallsprozeß eine Vielzahl von kontingenten Weltsystemen im Leeren, die aber auch wieder zerfallen und vergehen können⁴. Es waren im 5. Jahrhundert v. Chr. die vorsokratischen Naturphilosophen Leukipp und Demokrit, die ohne jede empirische Physik diese intellektuelle Konstruktion von Welt vorlegten. Sie beruht auf zwei Grundlagen, die sich beide der sinnlichen Darstellung entziehen: die Atome und die Leere. Auch die Lebewesen, selbst der Mensch, sind nichts als dynamische Konfigurationen, die von Atomen und Leere gebildet sind. Keine Spur von Logozentrismus, Geozentrismus, Humanprivileg. Kein Gott ist für diese atomistische Welt erforderlich. Daß in der unendlichen Leere Raum für eine infinite Pluralität von Welten sei, wurde außer bei den Epikureern erst von Giordano Bruno in dieser Entschiedenheit vertreten. Zum ersten Mal wurde bei den Atomisten das Leere auch so gedacht, daß es keinerlei metaphysische Angst vor dem Nichts auslöste und mit der Seinsfülle zusammen bestand. Im Gegenteil: Die Leere ist mitkonstitutiv für die Wirklichkeit der Dinge; sie ermöglicht und »hält« die Fülle des Seins⁵.

Leukipp wie Demokrit behaupten, daß Bewegung ohne Voraussetzung eines Leeren (*to kenòn*) nicht denkbar sei; das Bewegte – also die Atome und ihre Figuren – sei das selbst Volle (*to pleres*) in der unendlichen Leere, die die bewegten Körper aufnähme. Das Volle und das Leere nennen sie Elemente (*stoicheia*). Sie benutzen dabei dasselbe Wort, das in der Elementenlehre für Wasser Feuer Erde Luft verwendet wird. Diese vier Elemente, wie sie von Empedokles, Platon und Aristoteles kanonisch gemacht werden, um daraus Struktur und Dynamik der sinnlichen Welt abzuleiten, sind bei Leukipp und Demokrit nicht elementar, sondern sekundäre Generierungen des in Zufallsspielen operierenden Materiemeeres. Dieses ist selbst unsichtbar (subliminal), fügt aber die »den Augen erscheinenden und wahrnehmbaren Massen« zusammen (DK 68 A 37). Die Konglomerate sind das Seiende (*to on*) im unbegrenzten, aber begrenzenden Leeren (*tò ápeiron*). Dieses *Apeiron* war zuvor von Anaximander nicht als Leeres, sondern als das alterslose, allumfassende und unwandelbare Unbeschränkte eingeführt worden, das Prinzip des Anfangs und Ursprungs, aus dem heraus alles Begrenzte und Wandelbare entstehe und worin es vergehe (DK 12 A1, A 11, A 14, A 15, A 9/B1). Das Leere, so erläutert Aristoteles diese von ihm bekämpften Auffassungen⁶,



sei von den Atomisten eingeführt, um mehreres zu erklären: zum einen das Worin der Atome und Konglomerate (Dinge), das sie Aufnehmende und Umfassende. Zum anderen, um Trennung zwischen Atomen oder Objekten einzuführen; denn Etwas ist ein Etwas nur durch Trennung vom Anderen; und dieses, was man auch das Zwischen, das Differentielle oder das Auseinander nennen kann, ist eben die Leere. Die Leere ist die Bedingung der Möglichkeit dafür, daß die Atome kompakte Einheiten bilden können; daß es einen ihre Bewegung aufnehmenden Raum gibt; daß die Atome nicht diffus im Raum verstreut oder abstandslos in einem Punkt kontrahiert sind; daß mithin eine von Abständigkeit und Differenz gehaltene Pluralität der Welten und Dinge entstehen kann⁷. Ohne die Leere gäbe es keine Bewegung; diese bliebe gleichsam stecken im kompakten Vollen, und wir hätten ein absolut bewegungsloses Sein, wie es Parmenides gelehrt hatte (DK 28 B 8). Von diesem übernehmen die Atomisten indes das Unveränderliche als Seinsqualität, beziehen es aber ausschließlich auf die atomaren Minima, nicht auf deren Konglomerate. Die Komplementarität von Atomen und Leere erweist sich so als die Konstruktion, welche bestimmte Momente der Ontologie des Parmenides zu bewahren erlaubte und zugleich eine unbegrenzte Bewegung in das Sein brachte. Dabei entstehen Denkparadoxe, die den späteren Philosophen Grund (oder Vorwände) zur Ablehnung der Theorie des Leeren und des Vollen lieferten. Wenn die Atome das Volle bezeichnen, so sind sie das eigentlich Seiende; das Leere ist dagegen das Nicht-Seiende. Demokrit nennt es auch »Nichts« (*medén*), dem er mit den Atomen das »Ichts« gegenüberstellt (*den*). »Ichts« (*den*) ist das Kunstwort dafür, das es etwas gibt und nicht vielmehr »Nichts« (*medén*) (DK 68 A37)⁸. Dieses Nichts ist das Nicht-Seiende, aber doch in der Gestalt der Leere ein Seiendes, denn es muß diese Leere *geben*, damit es ein Worin der Atome und der Bewegungen *gibt* (DK 67 A 6). Daß aber die Leere *Nichts* ist und zugleich *ist*, ein Seiendes und Nicht-Seiendes zumal, das enthält einen Widerspruch, der für Aristoteles ausreicht, um das Leere überhaupt abzulehnen. In der Tat ist es eine Zumutung für unsere Vernunft, aber vielleicht mehr noch für unser Gefühl, daß wir, um Seiendes einsehen zu können, zugleich sein Gegenteil, das Nicht-Seiende anerkennen müssen, das um nichts weniger seiend ist als das Seiende selbst.

Nach Platon, der gegen den Atomismus die Autonomie der Ideen zu sichern sucht; und nach Aristoteles, der in seiner Physik eine Ordnung der natürlichen Orte und natürlichen Bewegung entwickelte und deswegen den richtungs- und relationslosen Raum des Leeren ablehnen mußte – nach solchen mächtigen philosophischen Einsprüchen gegen das atomistische Konzept und besonders nach den religiösen Polemiken gegen die Gottlosigkeit der Atomisten hatte diese kühne Konzeption keine Chance mehr. Erst bei der Entstehung der neuzeitlichen Wissenschaft wurde der Atomismus nicht nur wiederentdeckt, sondern glänzend bestätigt, theoretisch wie experimentell.

3. Horror vacui und mystische Leere

In der Antike gibt es außerhalb der atomistischen Tradition keinen radikalen Begriff des Leeren, wenn auch eine Reihe von hydraulisch-pneumatischen

Experimenten, die ein physikalisches Konzept des Vakuums hätten vorbereiten können oder wie bei Heron von Alexandrien auch voraussetzen. Der dominante Aristotelismus indes benötigte für seine Theorie der Bewegung ein feinstoffliches Medium zur Übertragung des Bewegungsimpulses. Zudem hatte die Vier-Elementen-Lehre keine befriedigende Antwort bereitgestellt auf die Frage nach Einheit und Kohärenz des Kosmos. Aristoteles hatte deswegen (zum Beispiel *De anima* I 3 268 b 3ff) einen ewigen, unveränderlichen und unverletzlichen, kreisbewegten und die Himmelsphäre bildenden Körper eingeführt (*tò proton soma*, I 3,270 b 23): den Äther⁹, oder das, was später *quinta essentia* genannt wurde. In diesem Begriffsfeld hat die griechische wie die christliche Philosophie ihre Auslegungen des Göttlichen, des Seelischen, der lebendigen Urkraft, aber auch des Schönen entwickelt. Platon verortete den Äther noch als Mittlerschicht zwischen dem Feuer und der Luft. Er ist kein fünftes Element. Das Fünfte ist bei ihm der fünfte Urkörper, der das Ganze des Kosmos repräsentiert. Aristoteles nimmt dies auf, wenn er Licht eine *Energeia* nennt, eine Art Erregungszustand des »Durchscheinenden« (*tò diaphanés*). Dieses Durchscheinende ist bei Aristoteles die »zugrundeliegende Natur«, die sich ebenso in der Transparenz- und Brechungseigenschaft von Wasser und Luft wie als kohärente Raumerfüllung des Alls zeigt (418 b7 f). Diese zugrundeliegende Natur wird den Namen »Äther« führen.

Der Äther – fünftes Element, feinstoffliches Medium oder göttliches Pneuma – sichert das Prinzip der Fülle¹⁰ und schließt das Vakuum aus. Man benötigte den Äther (der poetisch wie alltagssprachlich öfters, aber fälschlich mit der Luft gleichgesetzt wird) auf vier Ebenen: erstens in der Optik und Bewegungslehre; zweitens in der Kosmologie, um das Zusammenhängende (Kohärenz) der mannigfaltigen Weltkörper zu denken; drittens um die Einheit der vier Elemente zu garantieren; und viertens um ein leeres Nichts auszuschließen und die Ubiquität des Göttlichen zu sichern. Für diese physikalischen wie metaphysischen Erfordernisse stand der Äther ein. Der Äther ist der erste Schauplatz Gottes und die allanwesende Umhüllung der Dinge der Welt, ihr Erscheinen wie ihre Bewegung ermöglichend. Ein Vakuum kann und darf es nicht geben.

In der scholastischen Naturkunde wurde daraus der *horror* (oder die *fuga*) *vacui* abgeleitet. Er bezeichnet etwas, dessen Status eigentümlich zwischen Naturprinzip, Kraft und Finalursache schwankt. Daß das Leere keine Kraft, keine Wirkursache sein könne, war schon von den antiken Pneumatikern gesagt worden; denn dies hätte bedeutet, daß das Vakuum nicht Nichts (*oudén*), sondern Etwas, mithin seiend wäre. Nichts aber ist nicht. Dennoch blieb unausgemacht, ob das Vakuum nicht doch eine Art Saugkraft darstellte oder wenigstens eine Kraft aufrief, die das Leere zu füllen bestrebt war. So konnte zum Beispiel der Wind erklärt werden als das Wehen der Luft dorthin, wo ein Leeres zu entstehen droht, oder man erklärte so die *Klepsydra*, eine Art Saugheber. Oder man konnte das Leere zulassen als dasjenige, welches das Disjunktive markiert, welches macht, daß ein Ding a *nicht* das Ding b *ist*, sondern ein *anderes*. Dieses »Nicht-Ist« wäre dann ein Modus des Differentiellen, oder wie Platon sagt: das Heteron (*éteron*). Daß etwas es selbst und Nichts Anderes (*non-aliud*) ist, wäre mithin dem Nicht(s) zu danken, das

alles Seiende mitkonstituiert. So kann es etwa auch in der Negativen Theologie von Ps.-Dionysius Areopagita bis zu Nikolaus von Cues wirksam werden.

Diese metaphysische Anerkennung des »Nicht-Ist« bedeutet freilich noch keine Anerkennung des Vakuums. »Nicht-Ist« ist vielmehr der Operator, in welchem sich gerade das Prinzip der differentiellen Fülle ausprägt, das jedes Vakuum strikt negiert. »Nicht-Ist« heißt nicht, das es »etwas« (*ti*) wäre, sondern nur, daß es aus dem Einen die Fülle des Vielen differenziert. Darum wird in der Scholastik das Vakuum abgelehnt und der *horror vacui* eingeführt¹¹. So sagt Roger Bacon: »Die Leere ist Nichts und keine Natur; was irgendeine Ursache ist, ist Natur; also ist die Leere keine Ursache.«¹²

Horror vacui meint, daß die Natur prinzipiell den Ort, den ein bewegtes Ding verläßt, mit Anderem zu »füllen« strebt. Dennoch ist *horror vacui* nicht physikalisch so zu verstehen, daß das Volumen Luft, welches ein geworfener Stein im Übergang von Ort A zum Ort A' verdrängt, am Ort A wieder ersetzt wird. Der *horror vacui* bedeutet auch nicht, daß eine aktive Saugkraft am Ort A Luft ins Vakuum hineinzieht – im Sinne einer *causa efficiens*. Sondern der *horror vacui* ist ein Prinzip, das besagt, daß die Schöpfung Gottes keine Unterbrechung, keine Diskontinuität aufweist. Zur Ordnung (*ordinatio*) des Seins insgesamt gehört es vielmehr, daß zwischen allem Seienden ein Übergängliches vermittelt, also Zusammenhang (*continuatio*) und Benachbarung (*convenientia*) besteht. Wenn also die Natur einen *horror vacui* zeigt, dann kann dies allenfalls heißen, daß er die Metapher für eine universale Zielursache ist: vom Ziel her, wonach die Natur kein Leeres zuläßt, wirkt der *horror vacui* bei jeder Zustandsänderung in die Bewegung so hinein, daß kein Leeres entsteht. Die *causa finalis*, welche nach Roger Bacon »die gleichförmige Ordnung der Weltkörper und des Weltbaus ist«, ist eingerichtet »damit nicht Leere sei«¹³.

Es ist kein Zweifel, daß dieses Naturprinzip aus den alltäglichen wie experimentellen Erfahrungen abstrahiert wurde, wonach Luft und Wasser die Eigenschaft aufweisen, an jene »Orte« nachzuströmen, die ein Objekt verlassen hat. Man erklärte in dieser Art sowohl das Verhalten der Luft, die Bewegung der Winde als auch das Strömungsverhalten von Flüssigkeiten, insbesondere in solchen Fällen, wo Luft und Wasser nicht – gemäß Aristoteles – »ihrer Natur« (*kata physin*) folgen, sondern eine Bewegungsrichtung einschlagen, die ihrer Natur widersprechen (*para physin*), wie man es bei Saug- und Kapselhebern, dem Heronschen Ball, Pumpen und ähnlichem studieren mochte. Dabei wurde ein großer metaphysischer Gewinn erzielt, denn der *horror vacui* sorgt dafür, daß die Natur nicht korrupt ist. Sie ist überall ein Ganzes, Zusammenhängendes, Eines. Ja, man kann im christlichen Kontext geradezu sagen, daß das Vakuum eine Einrichtung des Teufels wäre, eine Diabolik, ein Durcheinanderbringen der Schöpfungsordnung. Das Gutsein der Schöpfung besteht in der prinzipiellen Abwesenheit des Vakuums. Gott garantiert kosmologisch das Prinzip der Lückenlosigkeit und der Fülle des Seins.

Freilich gibt es – nicht nur in der scholastischen Naturkunde, sondern auch in der christlichen Mystik – Ansätze, welche die Akzeptanz des Vakuums vorbereiteten. Mit Gott in der *unio mystica* eins zu werden, setzte die vollen-

dede Evakuierung der Seele und des Bewußtseins von sämtlichen Repräsentationen (Vorstellungen) der Welt voraus¹⁴. Die leere Seele erst wird zum Gefäß, das Gott ganz aufzunehmen vermag. Gotteseerfülltheit wächst proportional mit der Entleerung der Seele von irdischen Inhalten. Leere und Enthusiasmus korrespondieren¹⁵. So kann man sagen, daß in der Mystik dem natürlichen *horror vacui* ein inverses geistliches Begehren nach Leere entspricht. Durchaus gehört diese mystische Denkfigur zu den Voraussetzungen der neuzeitlichen Physik. Erst nämlich, wenn das Vakuum positiv gedacht werden kann, wird der Geist frei, eine angemessene physikalische Kosmologie zu denken¹⁶.

Dies bedeutete auch, daß man ohne die Akzeptanz eines Vakuums zu keiner physikalischen Theorie der Bewegung kommen würde, nachdem man sowohl mit dem Bewegungskonzept des Aristoteles als auch mit der modifizierten Impetus-Theorie zunehmend in Schwierigkeiten geriet¹⁷. Sowohl hinsichtlich der Physik der Himmelsbewegungen als auch für die Pneumatik und Hydraulik gab es also eine Art Rubikon, den man zu überschreiten hatte: Mental gesehen bestand dieser Rubikon darin, frei zu werden für die ungeheure Idee, daß etwas, das nichts enthält, dennoch ist – und daß dieses Vakuum ebenso überall ist wie das Seiende selbst. Man mußte also einen Raum denken können, der nicht nur durch materielle Raumerfüllung gebildet wird, sondern durch Leere. Und man mußte vor allem gegenüber der mächtigen Phalanx der Plenisten die Existenz (das *ti*) des Vakuums in unwiderlegbaren Experimenten demonstrieren und ferner das »Verhalten« des Vakuums, also seine Physik studieren. Dazu benötigte man aber auch einen physikalischen Nachweis des Gewichts der Luft¹⁸ (damit auch des Luftdruckes) und seines Einflusses auf die Entstehung und das Verhalten von Vakua in den irdischen Verhältnissen der Erde.

4. Vakuumforschung im 17. Jahrhundert

Die experimentelle Erzeugung des Vakuums ist ein wissenschaftliches Großereignis, das nicht nur für eine Reihe von neuen Technologien – wie zum Beispiel für Meßtechniken in der Meteorologie (Barometer), Hydraulik, Pneumatik, Gas- und Vakuumtechnik, Weltraumtechnik –, sondern auch für die Physik des Raumes und der Bewegung sowie für die Kosmologie wegweisend wird. Wie bei der sogenannten Kopernikanischen Wende handelt es sich auch hier nicht um ein Ereignis, das auf ein singuläres Experiment eines einzigen Wissenschaftlers zurückzuführen wäre. Und es ist auch nicht so, daß man Gegner (Plenisten) und Anhänger (Vakuisten) des Leeren sauber in Lager – hier konservative Aristoteliker, dort fortschrittliche Vertreter der *new sciences* – einteilen könnte. Otto von Guericke charakterisiert diesen Streit rückblickend so: »Weil die Gelehrten seit langem über das Leere, ob es vorhanden sei, ob nicht, oder was es sei, gar heftig untereinander stritten und jeder einzelne eine vorgefaßte Meinung wie ein Soldat die Festung verbissen gegen den anstürmenden Feind verteidigte, konnte ich mein brennendes Verlangen, die Wahrheit dieses fragwürdigen Etwas zu ergründen, nicht mehr eindämmen, geschweige denn stillen, ohne einen Versuch darüber anzustellen...«¹⁹ Und zum traditionellen Äther, den die Plenisten vertei-

digen, schreibt er: »Was mochte das für ein Etwas sein, das alles in sich birgt und allem die Stätte des Seins und Bestehens darbietet? Ist es wohl irgendein feuriger Himmelsstoff, fest – wie die Aristoteliker wollen – oder flüssig – wie Copernicus und Tycho Brahe lehren? Ist es eine feine Quintessenz oder am Ende doch der stets geleugnete, jeder Stoffheit bare Raum?«²⁰

Diese Kontroverse über das Vakuum oder das raumerfüllende, womöglich ätherische Volle erfaßte um 1640 alle namhaften Philosophen und Naturwissenschaftler. So entwickelte der atomistisch eingestellte Experimentator, Astronom, Meteorologe und Akustiker Isaac Beeckman (1588 – 1637) in deutlicher Front gegen den *horror vacui*, bereits 1618 Versuche zum freien Fall in Vakua, zur Luftelastizität, zum Luftdruck und seinem Einfluß auf die Höhe von Wassersäulen in Saughebern²¹. Doch der mit ihm seit 1618 befreundete Anhänger der neuen Wissenschaften René Descartes blieb Plenist; er identifizierte den Raum mit der Extensionalität der Materie, hielt das Vakuum für unmöglich und füllte den Raum durch eine subtile Materie, hinter der sich der klassische Äther verbirgt: »Ein ›Leeres‹ (*vacuum*) im philosophischen Sinne, d.h. ein solches, in dem sich keine Substanz befindet, kann es offenbar nicht geben, weil die Ausdehnung des Raumes oder inneren Ortes von der Ausdehnung des Körpers nicht verschieden ist. Denn da man schon aus der Ausdehnung des Körpers nach Länge, Breite und Tiefe richtig folgert, daß er eine Substanz ist, weil es widersprechend ist, daß das Nichts eine Ausdehnung habe, so muß dasselbe auch von dem Raume gelten, der als leer angenommen wird, nämlich daß, da eine Ausdehnung in ihm ist, notwendig auch eine Substanz in ihm sein muß.« Den Beweis erbringt Descartes durch ein Gedankenexperiment, in dem er genau das eintreten läßt, was er beweisen will; es ist also nichts als eine *petitio principii*: »Fragt man aber, was werden würde, wenn Gott alle in einem Gefäß vorhandenen Körper wegnähme und keinem anderen an deren Stelle einzutreten gestattete, so ist zu antworten, daß die Wände des Gefäßes sich dann berühren würden. Denn wenn zwischen zwei Körpern nichts inneliegt, so müssen sie sich notwendig berühren, und es ist ein offener Widerstand, daß sie voneinander abstehen, oder daß ein Abstand zwischen ihnen sei und dieser Abstand doch nichts sei. Denn jeder Abstand ist ein Zustand der Ausdehnung und kann deshalb nicht ohne ausgedehnte Substanz sein.«²² Genau dieser Ansatz zwingt Descartes dazu, den Äther als raumerfüllende Feinstofflichkeit einzuführen, weil es abstandhaltende Leerräume nicht geben darf.

Pierre Gassendi (1592 – 1655), der wichtige Wiederentdecker von Lukrez, Epikur und damit des antiken Atomismus von Demokrit, konzipierte – noch vor Newton – den Raum als dreidimensionales, absolut körperloses, immobiles und homogenes Vakuum²³; aber noch Leibniz (1646 – 1716) lehnte die Möglichkeit eines Vakuums, selbst Lücken in der fugenlosen Kette des Seienden (*vacuum formarum*)²⁴ ab und mußte deswegen eine ätherähnliche Materie für das kosmologische Kontinuum sorgen lassen. Galilei (1564 – 1642) entwarf einige Experimente, welche die Existenz des Vakuums voraussetzten und ihn so die Bewegungsverhältnisse im Freien Fall formulieren ließen. Doch der Durchbruch zu einer Experimentaltechnik, die ihn das

Vakuum zu untersuchen erlaubte, gelang ihm nicht²⁵. Bei Thomas Hobbes (1588 – 1679) entstand die paradoxe Situation, daß er in seinen frühen optischen Werken bei der Konzeption der korpuskularen Bewegung des Lichtes sowohl ein Medium als auch minimale Vakua voraussetzte. Doch gerade die 1648 ihm vorgeführten überzeugenden Beweise der Lichtdurchlässigkeit des Vakuums, womit das Plenum, das Medium und der Äther erübrigt waren, führten Hobbes dazu, nunmehr in *De Corpore* (1655) das Vakuum prinzipiell zu bestreiten, ein universales Trägermedium für die Lichtausbreitung zu fordern und 1661 in seinem *Dialogus Physicus, sive de Natura Aeris* sogar die experimentellen Ergebnisse von Robert Boyle (1627 – 1691) für irrig zu erklären²⁶. Noch Newton (1643 – 1727), dem die Untersuchungen von Boyle und Robert Hooke (1635 – 1703) bekannt waren, wagte es nicht, seinen »absoluten Raum« als Vakuum und das Wirken der Gravitation in kosmisch leeren Räumen zu denken; diesbezügliche Aussagen nahm er in den späteren Ausgaben der *Opticks* zugunsten eines feinstofflichen Äthers wieder zurück²⁷.

Man kann sagen, daß zwischen 1620 bis 1660 die hydro-pneumatischen Experimente in ganz Europa im Mittelpunkt der wissenschaftlichen Anstrengungen standen. William Gilbert (1544 – 1603) hatte schon 1600 in *De Magnete* die These aufgestellt, daß der Weltraum zwischen den Sternen als leer anzusehen sei – während Tycho Brahe (1546 – 1601) und Johannes Kepler (1571 – 1630) den Äther als Bewegung übertragendes Medium für unverzichtbar hielten²⁸. Der Galilei-Schüler Evangelista Torricelli (1608 – 1647), der aufgrund seines florentinischen Versuchs mit der Quecksilbersäule vom Frühjahr 1644 gemeinhin als der Entdecker des experimentellen Vakuums gilt, stand keineswegs allein. Es ist hier an Gasparo Berti (1600 – 1643), Giovanni Battista Baliani (1582 – 1666), Michelangelo Ricci (1619 – 1682), Raffaello Magiotti (1597 – 1656), Paolo Casati (1617 – 1707) in Italien zu denken, an Pierre Gassendi, Blaise Pascal (1623 – 1662)²⁹ und den mit ihm verbundenen Gilles Personne de Roberval (1610 – 1675) aus dem Kreis von Marin Mersenne (1588 – 1642), Adrien Auzout (1622 – 1691), Emanuel Maignan (1601 – 1676), Jean Rey (1582 – 1645) in Frankreich; zu erinnern sind Robert Boyle, Robert Hooke und Stephen Hales in England, Otto von Guericke, Athanasius Kircher (1602 – 1680) und Kaspar Schott (1608 – 1666) in Deutschland; der erwähnte Isaac Beeckman und Christian Huygens (1629 – 1695) in Holland³⁰. Ihnen zusammen sind mentale und wissenschaftliche Durchbrüche zu danken, welche die Himmelsmechanik ebenso wie anwendungsbezogene Techniken auf ein neues Niveau hoben. Im Gefolge dieser Experimente verlor die Luft ihren Charakter als Element und wurde zu einer analysierbaren Teilmenge innerhalb der Familie der Gase³¹. Im 18. Jahrhundert war der Streit der Vakuaisten und der Plenisten zugunsten ersterer entschieden. Nach den spektakulären, in städtischer Öffentlichkeit unter den Augen der Royal Society, der Accademia del Cimento, in den Boboli-Gärten des Palazzo Pitti oder gar vor dem Reichstag von Regensburg vorgeführten Vakuumexperimenten waren diese mittlerweile zu Lehrbuchwissen geworden und drangen ins Bewußtsein der Bildungsschichten ein. Unumkehrbar war das Vakuum in der Welt, ja das meiste an und in ihr war, im Kleinsten wie im Größten, nichts als Vakuum.

5. Ein Theater des Vakuums:

Wright of Derbys Gemälde Das Experiment mit der Luftpumpe und sein wissenschaftshistorischer Kontext

Experimentierbühnen

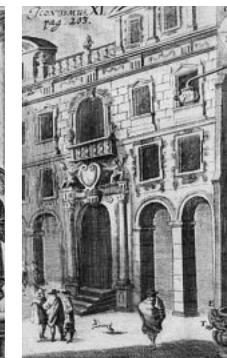
100 Jahre nach den großen Debatten schuf im Jahr 1768 der englische Maler Joseph Wright of Derby das große Gemälde *The Experiment with the Air-Pump*³². Von einer hinter dem vorderen Glasgefäß verborgenen Kerze sowie vom Mond, der das kosmische Licht repräsentiert, wird die Nachtszene magisch beleuchtet. Trotz ihres privaten Charakters gehört sie in die Tradition der theatralesierten Experimentalpraxis. In der Geschichte der Vakuumexperimente, deren Höhepunkt im barocken *saeculum theatralicum* lag, beobachtet man durchweg, daß die Wissenschaftler neben der technisch-mechanischen Analyse ihrer Experimentalanordnungen stets auf eine öffentlichkeitswirksame Inszenierung geachtet haben. Dies ist auch in der Bildgeschichte der Vakuumforschung nachvollziehbar. ((Abb. 1 und 2)) Der Grund dafür ist, daß die Vakuumforschung einen generellen Zug neuzeitlicher Wissenschaft radikalisiert: Sie hat es mit dem Unsichtbaren, ja absolut Unsinnlichen zu tun. Es gibt keine natürliche Ästhetik des Vakuums. Ja, das physikalische Objekt ›Vakuum‹³³ fällt mit Abstraktion in eins. Es ist vielleicht *das* Objekt und *das* Konzept, das am stärksten auf der Grenze zwischen Physik und Metaphysik sein Wesen treibt. Das auch macht seit Beginn der Vakuumforschung seinen unheimlichen und erhabenen Charakter aus³⁴. Da es ohne das experimentelle Arrangement das Phänomen gleichsam ›nicht gibt‹, benötigt moderne Wissenschaft in neuartiger Weise eine mediale Darstellung ihrer Objekte³⁵. So verwundert es nicht, daß es in der reichhaltigen Ikonologie der Vakuumexperimente sehr viele Kabinet-, Labor-, Pleinair-, Stadt-



3 Pneumatisches Experiment mit der Wassersäule von Gaspare Berti. In: Gaspar Schott: *Technica curiosa, sive, Mirabilia artis*. Würzburg 1664.



4 Höfische Experimentierszene mit Amorini. In: Gaspar Schott: *Technica curiosa, sive, Mirabilia artis*. Würzburg 1664.



5 Magdeburger Hemisphären. In: Otto von Guericke: *Experimenta Nova (ut vocantur) Magdeburgica De Vacuo Spatio*. Amsterdam 1672. Tafel 11.

Garten-Szenen gibt, bei denen *coram publicum* modisch aufgeputzte Experten und Laien auf dem spektakulären und ›curiösen‹ Schauplatz der Darstellung des Undarstellbaren auftreten ((Abb. 3, 4 und 5)). Wie es ein *Theatrum anatomicum* gibt, so auch ein *Theatrum vacui*. Im Zeichen solcher Wissens-Theatralität heißen wissenschaftliche Werke gelegentlich dann auch *Technica curiosa sive Mirabilia artis* (so von Kaspar Schott 1664)³⁶.

Peripetie: das Spiel um Leben und Tod

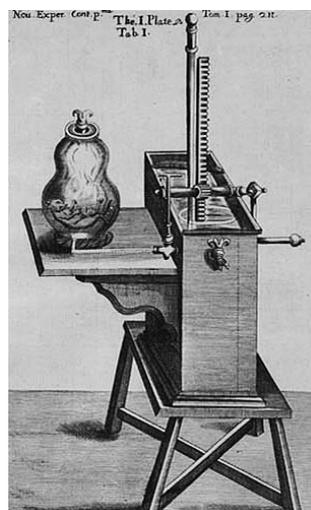
An einer solchen ›Szene‹ nehmen wir bei Wright of Derby teil, auf prominentem Logenplatz, denn auf uns als Betrachter sind die einzigen aus dem Bild herausführenden Blicke (des Experimentators und seines Assistenten) gerichtet: So ist das Experiment zentral an uns adressiert, die wir beobachtende Teilnehmer der Szene und zugleich Beobachter der Beobachter sind, nämlich der drei Generationen einer vornehmen Familie, für die das Experiment eingerichtet ist³⁷. Wir befinden uns genau an der Peripetie des Experiments, bei dem nicht nur Wissenschaft demonstriert, sondern magische, ja metaphysische Momente inszeniert werden: Der mit Attitüden des Zauberkünstlers versehene Experimentator hat mittels der Luftpumpe die Glaskugel evakuiert. Als Zeichen dieser Luftleere ist der weiße Kakadu stehend zu Boden gesunken. In diesem Augenblick, der die Abhängigkeit allen Lebens von der Luft und die Tödlichkeit des Vakuums bedrohlich naheückt – die Reaktionen der Versammelten changieren zwischen Angst, sich abwendendem Schrecken, ruhiger Aufmerksamkeit, gespannter Neugier, beruhigender Fürsorge und nach innen gerichteter Besonnenheit –, in diesem Augenblick also legt der Experte Hand an das oben am Glaskörper befindliche Ventil und wird zischend die Luft hineinlassen: Gleich wird der Vogel reanimiert sein. Schon läßt der Assistent die Voliere herab, die den wiedererweckten Vogel aufnehmen wird³⁸.

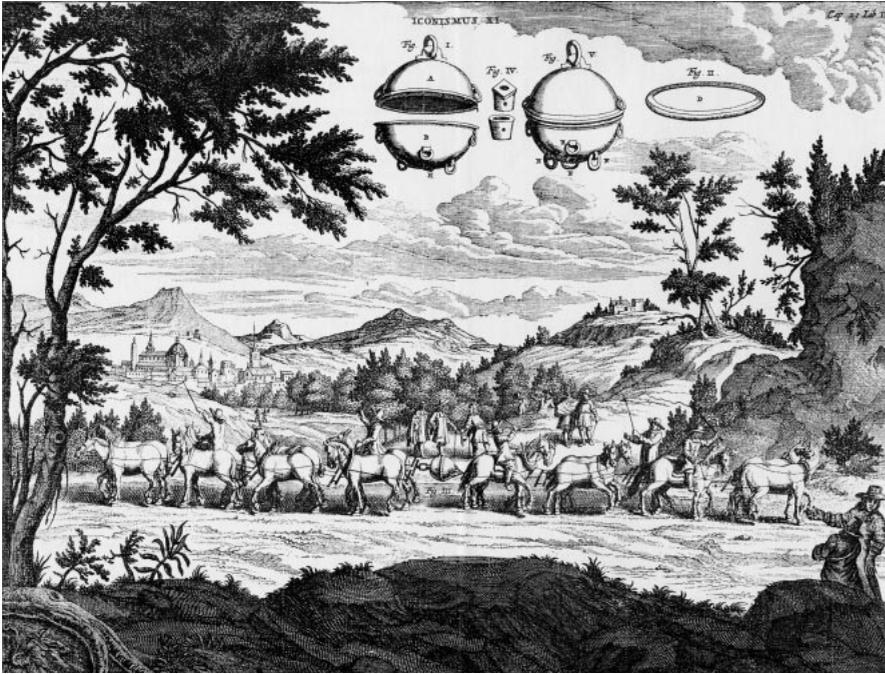
Im vorderen Glaszylinder, der die Kerze verdeckt und dadurch erst die Lichteffekte schafft, für die der *candlelight*-Maler Wright berühmt ist, liegt wie

1
Otto von Guericke:
*Experimenta Nova
(ut vocantur)
Magdeburgica De
Vacuo Spatio*.
Amsterdam 1672.
Frontispiz.



2
Experimentelle
Amorini.
In: Gaspar Schott:
*Technica curiosa,
sive, Mirabilia
artis*. Würzburg
1664.





6
Joseph Wright of
Derby:
*The Experiment
with the Air-Pump.*
1768. 183 x 244
cm. National Gal-
lery London.

durch ein Transparent dargestellt das anatomische Präparat einer Lunge³⁹. Sie erinnert an das physiologische Analogon des mechanischen Experiments; arbeitet die Lunge doch in jenem Lebensrhythmus von Leerung und Füllung, über den der Experimentator soeben seine technische Verfügung demonstriert. Man kann sagen, daß hier ein doppeltes Vakuum hergestellt wird, in der Glaskugel *und* in der Lunge des Tiers. Der Experimentator hat den Odem entzogen, mit dem Gott die Tiere und besonders den Menschen belebt hatte. Man fühlt sich an die berühmten Pascalschen Experimente des Vakuums im Vakuum erinnert⁴⁰.

Viele Vakuumexperten, etwa auch Otto von Guericke, haben seit den 40er Jahren des 17. Jahrhunderts derartige Tierversuche durchgeführt. Die Schilderung Guericques ist auch für das Gemälde aufschlußreich: »Zuerst schloß ich in ihn (= den Vakuum-Receiver, H.B.) einen Sperling ein, der flügel-schlagend unruhig darin hin und her flatterte. Dann verband ich das Glas mittels der (...) Rohrleitung (...) mit der Luftpumpe und sogleich hörte das Geflatter des Vögelchens auf. Auf den ersten Blick ließ sich nur feststellen, daß das Tier, (indes die Arbeiter kräftig weiterpumpten), mit offenem Schnabel mühsamer Atem holte; schließlich hockte es ohne jeden Atemzug mit weit aufgesperrtem Schnabel da und verharrte völlig regungslos in dieser Haltung, bis es kurz danach vornüber fiel und verendete.«⁴¹ Der ausgebreitete Flügel des Kakadu im Versuch bei Wright indiziert das dem Jetzt-Zustand vorangegangene Flattern; er steht auch nicht mehr, sondern ist bereits kollabiert; der Schnabel steht offen; die Atmung ist zum Stillstand gekommen. Genau diesen Moment, bevor der Vogel, wie bei Guericke, »sei-

nen Geist aushaucht«, muß der routinierte Experimentator treffen, um über den durchs Ventil geregelten Lufttritt das »Wunder der Wiedererweckung vom Tode« zu demonstrieren.

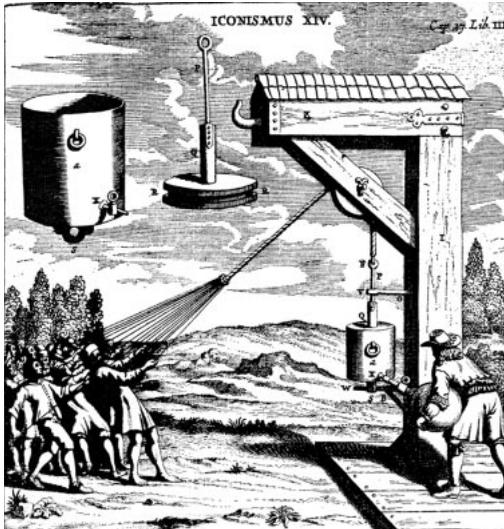
Hier heißt dies noch etwas anderes. Die Vakuumexperimente sind nämlich in mindestens zwei Registern folgenreich: dem der mechanischen Physik anorganischer und künstlicher Objekte *und* dem der Physiologie natürlicher Körper. Die Vakuumtechnik funktioniert als Homogenisierung von Physik und Anatomie, weil sie grundlegend ist für eine zureichende Theorie der Bewegung, gleichgültig, ob es sich dabei um die Bewegung des Blutkreislaufes, die Luftbewegung beim Atmen, um die Bewegung in Bewitterungs- oder Entwässerungsanlagen von Bergwerken, um die Fallbewegung von Objekten im Luftraum oder die Bewegung von Sternen im freien Raum handelt. Organische wie anorganische Welt funktionieren nach denselben Bewegungsgesetzen, die man angemessen erst versteht, wenn man von der Physik des Vakuums her auch die Bewegung in fluidalen Medien wie Luft, Gas, Wasser, Blut, Nerven begreifen lernt. Vielleicht hat niemand so klar wie Guericke die Weite der epistemischen Konsequenzen der Vakuumtechnik erkannt wie Guericke, der eben kein Technikbuch geschrieben hat, sondern, zentriert um seine Experimente, ein Buch über Kosmologie, Himmelsphysik, die Gravitationskraft, die Physik der Erde, die Bewegungslehre, die Meteorologie, Pump-techniken – bis hin zu den Reaktionen von Licht, Feuer, Organismen im Vakuum.

Da das Vakuum sich indes jedem sinnlichen Zugang versperrt, bedarf es zum Nachweis der Tatsächlichkeit des Vakuums performativer Zeichen, welche das Vakuum vermittelt anzeigen. Der sterbende Vogel ist das theatrale Substitut eines Messinstruments, wie es zur Messung von Feinvakua damals noch nicht zur Verfügung stand. *Daß* ein Vakuum *ist*, war das erste Demonstrationsziel der Vakuumtechniker seit den 1640er Jahren. *Messen* hingegen konnte man zunächst nur die Variationen des Luftdrucks in den irdischen Verhältnissen.

Die Vakuumforschung vollzieht somit einen höchst folgenreichen wissenschaftlichen Paradigmawechsel; sie ist zugleich Grundlagenforschung wie Anwendungstechnik; sie verändert das kosmologische und philosophische Bild der Welt und der Natur und sie revolutioniert sogar die metaphysische Architektur der Welt und der Schöpfung. All dies wird im Gemälde Wrights reflektiert.

Optische Phänomene; Gewicht der Luft; Gravitation

Dabei werden die Lichtquellen Kerze und Mond bedeutend. Ganz nebenher demonstriert der Versuch auch, daß das Licht das Vakuum zu durchqueren vermag, wozu schon Guericke und Boyle/Hooke Versuche unternommen hatten⁴². Daraus leitet Guericke zurecht ein Argument gegen den Welt-Äther ab. Solche Versuche sind für die Deutung des Gemäldes nicht unwichtig; die einzige Lichtquelle ist eine Kerze, die im Vakuum erlöschen würde; das heißt die *candlelight*-Technik des Malens hat hier auch die physikalische Bedeutung, daß das raumerhellende Licht an die Brechungsqualität der Luft gebunden ist, sonst bestünde die Schwärze des Weltalls. Es gäbe auch kein erhellendes Mondlicht. Als Bildbetrachter haben wir nicht nur die Verbindung



7
 Tierversuch: In:
 Robert Boyle: *New
 Experiments Physico-Mechanicall.
 Touching the
 Spring of the Air
 and its Effects.*
 Oxford 1660.

des Vakuums mit Schwärze und Tod zu lernen, sondern auch die Verbindung von Luft mit Licht, Farben und Leben. Das ist von fundamentaler Bedeutung für die Optik und die Theorie des Lichts. Das Licht durchquert das Nichts, nicht aber der Schall, der ein Übertragungsmedium benötigt: Den jämmerlich piepsenden Vogel würde niemand der Anwesenden hören; er ist gleichsam stimmlos geworden, in wahrer kosmischer Einsamkeit. Auch solche Schalluntersuchungen im Vakuum sind seit Boyle üblich. Erstmals wird der ungeheure Gedanke denkbar, daß das All stumm ist. Keine Rede von pythagorischem Sphärenklang, der seit der Antike den Himmelsraum erfüllte⁴³. Die Schalluntersuchungen im Va-

kuum sowie die von Isaac Beekman durchgeführten Experimente zur Korpuskulartheorie der Schallfortpflanzung gehören zu den großen Umwälzungen des antiken Weltbildes⁴⁴.

Das Reflexionslicht des vollen Mondes, das durchs Fenster dringt, bringt hingegen die kosmische Dimension der Vakuumkugel ins Spiel. Der Mond ist gleichsam ein Elementarteilchen im leeren Raum, an dem sich das unsichtbare Licht, das unermeßliche Wege durch das Nichts zwischen Sonne, Mond und Erde hinter sich gebracht hat, erst zur Sichtbarkeit bricht. Das All ist nicht nur stumm, es ist schwarz, so erfüllt von Licht es auch sein mag. Wie die gesamte Experimentierszene malerisch eingetaucht wird ins Schwarz, so ist die sichtbare Welt nur ein winziger Ausschnitt im unermeßlichen Schwarz des Weltraums. Wir sehen das ubiquitäre Licht nur, weil wir eingetaucht ins Medium der Luft leben, die wir atmen, die das Licht ins Sichtbare bricht und sich dabei zugleich lebensspendend erwärmt.

Daß optische Lichtbrechung ein wichtiges (durchweg übersehenes) Thema des Bildes ist, erkennt man an vielen Bildmotiven: dem Stab im unteren Glasgefäß, an der Phiolen vor den Mädchen, vor allem an der malerischen Gestaltung des linken Ärmels des Experimentators hinter dem Glas. Der sichtbare Ärmel beweist, daß man »durch das Vakuum hindurchsehen« kann, es läßt also Licht hindurch. Ferner sind die vielen Reflexionslichter und Spiegelungen zu beachten: auf der Tischplatte, dem Receiver, der Vakuumpumpe, der Kleidung, in den Augen des Magiers und beim Alten, selbst an der Voliere. Die Stoffe brechen das Licht zu Farben. Das Mondlicht ist selbst ein Reflexionslicht. Das Bild ist damit ein direkter Reflex der Newtonschen Optik, für die die vorangegangenen Vakuumexperimente nicht unwesentlich sind. Die Luftdurchlässigkeit des Vakuums mußte erst bewiesen werden, ohne den Äther zu Hilfe zu nehmen, wie Guericke wußte: »Man hat behauptet, unsere entleerten Glasgefäße könnten nicht von aller Materie leer sein, weil Dinge, welche man darin anbringe, gesehen würden. Wären aber wegen der Leere

daselbst befindliche Dinge nicht sichtbar, so müßte man ja schließen, das Vacuum sei im Stande, das Licht am Durchgang zu verhindern. Das Licht aufhalten kann aber nur ein dichter Körper. Folglich wäre das Vacuum ein solcher. Da aber der leere Raum nichts Körperliches ist, so ist er unsichtbar, ist er aber unsichtbar, so kann er nicht bei Tageslicht dunkel erscheinen. Woher sollte denn die Dunkelheit in dem Glase rühren, da es doch überall von Helligkeit oder Licht umgeben ist? Letzteres ist ja in der Luft vorhanden und gleichzeitig an allen umherbefindlichen Gegenständen, ja sogar in dem Glasgefäße selbst, welches er durchdringt!«⁴⁵ Anschließend zeigt Guericke, daß das Vakuum im Weltraum schwarz wäre. Der Ärmel hinter dem Glasvakuum demonstriert mithin dreierlei: die Penetrabilität des Vakuums von Licht; die Brechungseigenschaft von Glas; die Brechungseigenschaft von Luft.

Die Kerze schließlich, die die Experimentierszene wie eine Zentralsonne ins Licht setzt, würde, wie man seit den 1650er Jahren weiß, in der evakuierten Glaskugel erlöschen. Es gibt kein Feuer im Vakuum, womit eine andere aristotelische Grundannahme hinfällig wird, daß nämlich jenseits der Elementarsphäre der Luft die Sphäre des Feuers begänne. Schon Pascal, Guericke, Boyle und andere⁴⁶ hatten auf der Basis der höhenabhängigen Abnahme des Luftdrucks zu berechnen versucht, wie weit die Luft in den Weltraum hinaufreichen würde. Aus Vakuum- und Druckversuchen über das Gewicht der Luft wußte man, daß jenseits der immer dünneren Luft der leere Raum beginnen würde. Man wußte auch, daß die Luft sich wie alle Gase gleichmäßig im Raum verteilen würde, wenn sie nicht von der Erde festgehalten würde. Es war ebenfalls schon Guericke, der in der Erde eine Kraft vermutete, welche kontinuierlich im Abstand zu ihr abnähme, dadurch die Luft um den Globus festhielt und zugleich die Abnahme des Luftdrucks in Abhängigkeit zur Höhe bewirke. Guericke gelangen frappante Formulierungen der Gravitation des Erdkörpers (und jedes Himmelskörpers), auch wenn diese bei ihm noch unter dem Titel *Virtutes Mundanae* oder *Virtus Conservativa Terrae* angehandelt wird: die Erdanziehung halte die Luftmasse fest; die Anziehung nähme radial ab, so daß die Luft immer dünner und der Luftdruck immer niedriger würde, je höher entfernt man von der Erdoberfläche sei; die Anziehungskraft »fülle« nicht den Raum (also brauche sie kein Übertragungsmedium, keinen Äther), sondern »durchdringe« ihn (das heißt sie wirke auch im Vakuum); jenseits der Luftatmosphäre beginne der »reine Raum«, das was Guericke auch ein »mathematisches Vakuum« nennt, das man unter irdischen Bedingungen nicht absolut herstellen könne⁴⁷. Newton faßte diese Kraft, ohne sie erklären zu wollen, in eine mathematische Formel, das Gravitationsgesetz⁴⁸. Gravitation bildete den physikalischen Hintergrund für alle Bewegungen, die Aristoteles natürlich (*kata physin*) genannt hatte; sie erklärte auch das raumerfüllende Strömungsverhalten aller feinstofflichen Medien wie Luft, Gas oder Wasser, was man bisher durch das naturphilosophische Prinzip des *horror vacui* interpretiert hatte⁴⁹.

Die Vakuumtechnik, wie sie der Magier hier inszeniert, ermöglichte mithin nicht nur eine Homogenisierung von organischem und anorganischem Sein, sondern auch eine universale Theorie der Bewegung sowie eine Physik des Lichtes und der Kraft. Wrights Gemälde rekonstruiert zugleich den wissen-

schaftshistorischen Ausgang, von dem her sich die Newtonsche Welt aufbauen sollte. Vakuumpumpe, Glaskugel, Vogel und Lunge, Mond und Kerze, Licht und Schwärze, und schließlich gar die wie Planeten um eine Zentralsonne angeordneten Köpfe der Personen stellen insgesamt eine präzise Inszenierung des Newtonschen Weltbildes dar. Dessen genealogische Wurzeln liegen nicht nur in der Kosmologie von Kopernikus bis Kepler, sondern gleichermaßen in den Revolutionen, welche durch die Vakuumtechnik ausgelöst wurden. Es war neben Blaise Pascal vor allem Guericke, der seine Experimente immer zugleich in solchen naturphilosophischen und kosmologischen Dimensionen arrangierte. In den Vakuumexperimenten wird immer auch über ganze Weltbilder entschieden.

Religiöse Semantik; melancholische Reflexivität

Dies wird besonders deutlich, wenn man, wie Werner Busch, die religiösen Semantiken des Bildes bedenkt. Der Experimentator ist nicht nur Herr über Leben und Tod, sondern er verfügt mit dem Vakuum über den Zustand vor aller Schöpfung, als Gott mit sich allein war; und er vermag, mittels des Vakuumventils, sich selbst schöpfungsanalog zu verhalten, indem er durch den ›Odem des Lebens‹ das sterbende Tier reanimiert (*creatio ex nihilo*). Der *new scientist* in der Pose des *homo secundus deus*⁵⁰. Wissenschaftliche Technik wird zur zweiten Schöpfung⁵¹. Damit sind wir in die Grandiosität einer säkularisierten Erhabenheit eingetreten, deren Subjekt und Objekt allein der Mensch selbst ist. Das kommt einer Okkupation der metaphysischen Position Gottes gleich⁵².

Diese Lektion eines epochal neuen Selbstbewußtsein haben die Beobachter erst zu lernen; Ängste, Sorge, Schrecken, Mitleiden, bloßes Staunen sind unangemessen gegenüber jener Erhabenheit, in der der Mensch im Medium des Experiments sich selbst affirmiert. Dies wird gestützt dadurch, daß, wie Werner Busch zeigt, die Beleuchtungsform ikonologisch auf jenen Bildtyp des Jesuskindes in der nächtlichen Krippe zurückgeht, in welchem der Messias die einzige und selbstleuchtende Lichtquelle des Bildes ist, gleichsam wie die Umsetzung des Bibelwortes, wonach Jesus das Licht der Welt ist⁵³. Das Experiment rückt an die Stelle des Corpus Christi, und dessen Licht wird durch das Licht der wissenschaftlichen Aufklärung ersetzt. Dies ist unheimlich genug. Der Vogel ist als Versuchsobjekt das Opfer dieser sich selbst heiligenden Zeremonie der Wissenschaft⁵⁴. Geopfert werden müssen aber auch die tradierten Gefühle von Angst und Schrecken, Mitleiden und Sorge, die der Religion zugeordnet haben. Sie sind Zeichen von Unreife, die besonders dem weiblichen Publikum zugeschrieben wird. Es ist noch weit von dem erhabenen Selbstbewußtsein entfernt, welches mit der Ecce-Homo-Geste des weisen Initiationslenkers in der Maske des Experimentators beim Bildbetrachter aufgerufen wird, der sich der neuen Position des Menschen in der Welt bewußt werden soll.

Der unbeteiligte, fast blicklose Alte, der seine Brille in der Hand hält, bildet zweifellos den Kontrapunkt zur gestisch-mimischen Frontalität des Wissenschafts-Magiers. Der Alte repräsentiert jene nach innen gekehrte Selbstreflexion, die zur klassischen *theoria*-Haltung gehört. Nur beobachtet der Alte nichts und faßt nichts mehr ins Auge. Er repräsentiert nicht die begleitende

Reflexion der Wissenschaft und des Experiments, worin deren Grenze bedacht und ihr Sinn ermittelt wird. Über ihn ist die Zeit hinweggegangen, und er versinkt in der altehrwürdigen, aber eben doch alten Geste objektloser Innerlichkeit, also keineswegs in schöpferische, sondern vergrübelte, passive Melancholie. Dem Typ der ingeniosen, aktiven, vom *furor divinus* getriebenen, welterzeugenden Melancholie⁵⁵, die wir von Scharlatanerie und Schwindel nicht immer zu unterscheiden vermögen, gehört dagegen der Experimentator an. Sein Gesicht trägt die Züge jahrelanger Gedankenarbeit, die zugleich praktisch-technisch wird⁵⁶.

6. Abgründe

Tierversuche; wissenschaftliche Tötung

Eine erschreckende Perspektive liegt im Tierversuch, der hier bei Wright als *experimentum crucis* der Vakuumforschung inszeniert wird. Die frühen Vakuumkünstler wie Guericke führten in der Regel den Tod der Tiere herbei⁵⁷. Sie forcierten die systematische Nutzung von Tieren für Experimente, die trotz der bis ins 18. Jahrhundert zurückgehenden Debatten über die Legitimität tierverbrauchender Forschung und trotz Tierschutz bis heute anhält⁵⁸. Experimentelle Wissenschaft geht mit der Tiertötung früh eine Fusion ein, vor allem in der Medizin, Physiologie, Zoologie, Vakuumforschung. Dies gehört zur Vorgeschichte der »Experimentalisierung des Lebens«⁵⁹. Die auf den zwecksetzenden Menschen hin ausgerichtete Deutung, Ausbeutung und Zergliederung der Natur hat schon um 1500 Kritik ausgelöst und moralische wie emotionale Sensibilitäten geweckt. Das Experiment als solches war niemals frei vom Verdacht, daß es für das Objekt Qual, Folter, im Grenzfall Tod bedeutet⁶⁰. Francis Bacon war frei genug zu sagen, daß nur die *natura vexata*, die gequälte und gefolterte Natur, ihre Wahrheit



8
Simulation einer experimentellen Tötung. In: Otto von Guericke: *Experimenta Nova (ut vocantur) Magdeburgica De Vacuo Spatio*. Amsterdam 1672, Tafel 14.

hergäbe⁶¹. Der Experimentator muß sich dagegen durch Apathie, durch emotionale Distanz und sachliche Kühle wappnen. Die von sympathetischen Regungen für das Tier erfaßten Mädchen des Gemäldes sind weit von der programmatischen Apathie des Bacon'schen Zeitalters entfernt.

Beim ehrenwerten Guericke finden wir das radikalste Vakuumexperiment an Lebewesen überhaupt: Würde man einen Menschen mit seinem Mund an einen Vakuumkörper anschließen und das Ventil öffnen, so würde das Vakuum sämtliche Luft aus dem Menschen herausreißen und ihn augenblicklich töten. Das ist die erste Vision einer wissenschaftlich exekutierten, kühlen Tötung. Als er dies vor dem Regensburger Reichstag, vor Kaiser, Fürsten und Ständen vortrug, glaubte ihm der Fürst von Auersperg nicht, woraufhin Guericke – um keinen Mord zu begehen – ein Experiment ersann, um die ungeheuren Druck- beziehungsweise Saugkräfte zu demonstrieren, die entstehen, wenn ein Vakuumbehälter blitzartig mit einem luftgefüllten Gefäß (stellvertretend für die Lungen eines Menschen) verbunden wird. Guericke war sich sicher, daß dabei Kräfte entstehen, die 20, 30, ja 100 Männer umreißen würden⁶². (Abb. 8)

Metaphysischer Sturz: Gott und Nichts

Einen die Metaphysik umstürzenden Effekt haben die kosmologischen Konsequenzen der Vakuumphysik ferner dadurch, daß der Nachweis der Leere das naturphilosophische Prinzip des *horror vacui* erübrigt. Dies hatte Guericke in ganzen Serien von Versuchen gezeigt und darum in seinen *Experimenta Nova* programmatisch erklärt, daß die irdischen Phänomene, die den *horror vacui* disponiert hätten, sämtlich als Folgen des äußeren Luftdruckes zu erklären seien⁶³. Das aber hatte unabsehbare metaphysische und religiöse Folgen. Denn der *horror vacui* war eine Grundlage der göttlichen Schöpfungsordnung. Schöpfung hieß Negation der Negation, also absolute Vertreibung des Nichts (der Leere) durch das Werk Gottes. Der *horror vacui* war das Prinzip der Dichte des Seins. Die christlich-aristotelische Welt war eine kontagiöse Welt, alles stand mit allem in vermittelter Berührung. Nur der *horror* garantierte die Lückenlosigkeit des Prinzips der Fülle, die unmittelbar Ausdrück Gottes und seiner Allmacht war. Brach dieser *horror vacui* als Prinzip zusammen, so zersprang das Kontinuum Gottes. Wie sollte ein Gott, dessen Hypostase die Fülle des Seins und der Welten ist, im Nichts wohnen? Ja, die Leere erwies sich nicht einmal nur als *Hiatus* im Sein, als *Interruptus* in der Materieerfülltheit des Alls; es war vielmehr umgekehrt: Die Materie war eine Unterbrechung des Leeren, eine Diskontinuität im Kontinuum des Abwesenden. Sollte der in seiner Schöpfung materialisierte Gott eine verschwindende Minderheit in der kosmischen Leere sein? Und wenn Gott ubiquitär ist, doch »überall« vor allem nichts ist, wäre dann Gott womöglich selbst nichts? Wäre angesichts des »überall« vorhandenen Vakuums nicht die Negative Theologie die letzte Rettung? Gott als der, der »nichts« von allem ist, was uns aus der materiellen Welt bekannt ist? Gott als der absolute Entzug? Man erkennt, daß es von hier aus nur ein Schritt zum metaphysischen Nihilismus ist. Und man versteht die bei Boyle und Newton und noch bei Priestley zu beobachtenden Anstrengungen, die gefährlichen Folgerungen des Vakuums für die Architektur der christlichen Welt in Schach zu halten.

Es war sicherlich Blaise Pascal, der zuerst in seinen *Pensées* (1654) die Perspektive des Menschen in einer leeren Unendlichkeit radikal reflektierte. Guericke indes konnte seine Vakuumexperimente zwanglos mit einem radikal bildlosen, protestantischen Gottesbegriff verbinden, worin Gott mit dem Nichts koinzidiert: »Ebenso sagen wir, aus Nichts seien Himmel und Erde erschaffen, das heißt aus nichts Erschaffenem, sondern aus Unerschaffenem. Und wie aus Nichts alle Dinge erschaffen sind, so sind sie auch alle darin aufgenommen und darin gegründet, das ist im Unerschaffenen. (...) Es hat also jegliches Ding seine Stätte im Nichts; und wenn Gott das Gefüge der Welt, das er schuf, wieder zunichte machte, bliebe an seiner Stelle nichts als das Nichts, das Unerschaffene, wie es vor dem Anfang der Welt gewesen. (...) Außer der Welt ist nur das Nichts; das Nichts ist überall. Das Leere heißt man ein Nichts und den nur vorgestellten Raum, ja der Raum selbst soll ein Nichts sein.« Man erkennt, wie das semantische Changieren zwischen Leere und Nichts, das eine Haupteigentümlichkeit der Diskussion im 17. Jahrhundert ist, nicht nur den alten Gedanken der *creatio ex nihilo* aufnimmt, sondern den metaphysischen Nihilismus gleichsam physikalisch untermauert⁶⁴.

Unentscheidbarkeit: Plenum und Vakuum

Teleskop und Mikroskop eröffneten durch ständige Verbesserungen eine immer immensere Welt, im Größten wie im Kleinsten. Sie machten ein doppelt schwindelerregendes All, unter uns und über uns, in seiner schier erschöpflichen Fülle zugänglich – wenigstens durch mediale Aufbereitung⁶⁵. Der Vakuumexperimentator hingegen arbeitet gerade nicht im Prinzip der Fülle, sondern seines Gegenteils. Während der Plenist den Raum bis heute auf 15 Milliarden Lichtjahre aufgespreizt hat und ihn unvorstellbare Anzahlen von Weltkörpern beherbergen läßt, kontert der Vakuist damit, daß mit jeder Raumvergrößerung nicht nur die Masse der Welten, sondern weit mehr die leeren Räume wüchsen. Und auch in der mikroskopischen Welt gehört es zu den abgründigen Erfahrungen, daß die kompakten Massen sich auflösen und in ihnen die vakuierten Räume das weit Überwiegende sind. Selbst der Inbegriff von Kompaktheit, das Atom, erweist sich nicht nur als zerlegbar, sondern umfaßt im wesentlichen Leerräume. Seit dem 17. Jahrhundert wachsen Fülle wie Leere ununterbrochen, so daß es eine Entscheidung im alten Streit der Vakuisten und Plenisten nicht gibt. Kann man einerseits sagen, daß bei völliger Entfernung sämtlicher Vakua die Gesamtmasse des Universums in einer Streichholzschachtel Platz fände; so kann man andererseits dagegenhalten, daß der Anspruch der ersten Vakuumforscher des 17. Jahrhunderts, einen leeren Raum herzustellen, praktisch uneinlösbar ist, weil selbst Ultravakua Materiespuren enthalten⁶⁶. Auch ist der galaktische Raum, selbst wenn er nicht in ein Ätherplenum getaucht ist, nicht leer, sondern wird von Materieteilchen und Hintergrundstrahlung minimal erfüllt. So ist die Welt zugleich Fülle und Leere. Beides sind Idealbegriffe, die in der Natur nur näherungsweise Referenten finden. Damit aber stehen wir heute vor der Situation der Unentscheidbarkeit des Streits »Vakuisten versus Plenisten«. Oder man sollte sagen: wir sind wieder bei der Demokritischen Komplementarität von *to kenòn* und *to pleres*, von Leere und Fülle angelangt. Diese

Komplementarität bildet eine epistemische wie mentale Struktur, welche im 17. Jahrhundert geradezu die Dramaturgie der Epoche bildet.

Mit dem experimentellen Nachweis des Vakuums war, so hieß es, der *horror vacui* erledigt. Das aber hatte weitreichende Folgen. Im Schrecken, den die Natur vor dem Leeren prinzipiell zeigen sollte, war die alte Angst des Menschen verborgen, das Leere und das Nichts überhaupt für denkbar, geschweige denn für wirklich zu halten. Nun stand fest: *Nihil est*; es gibt Sein ebenso wie Nichts. Das ist ein gewaltiger, doch auch unheimlicher Durchbruch und gehört im Feld des Denkens sicher zum Mutigsten, was das 17. Jahrhundert hervorgebracht hat. Die Epikureer entgingen dem Schrecken vor den Repräsentanten des Nichts, dem Tod und der Leere, durch das bestenfalls rhetorische Argument, daß man den Tod nicht fürchten müsse: Er ginge uns nichts an, weil dort, wo wir seien, der Tod nicht sei; und wo der Tod sei, seien wir nicht⁶⁷. Man kann dies analog auch auf die Leere anwenden – doch ähnelt dies einer mühsamen Angstabwehr.

Das Zeitalter des Barock ist vom Sog der Leere ebenso bestimmt wie von den Beschwichtigungen der Üppigkeit. Jede Leinwand, jedes Bauwerk, jedes Buch schwelgt und prunkt in der Fülle der Bedeutungen und Allegorien, des Schmucks und der Ornamente, der Sujets und Motive, der ausfaltenden Umrißvergrößerungen und metaphorischen Wucherungen. Das Infinitesimale wurde zur säkularen mathematischen Entdeckung und versetzte, ins Mentale transformiert, in eine Position, in der man sich zum kalkulierenden Souverän des Unendlichen und seiner *plénitude* stilisieren mochte. Keine Epoche war fülliger als das Barock. Doch nichts davon war stabil. Die Bedeutungen zerfielen; die Ornamente verdeckten das Hohle; die Architekturen gaben vorauseilend schon ihren Anblick als Ruinen preis; der üppig angeordnete Augenschmaus der Bilder trug den Geschmack des Todes; die Allegorien fanden kein semantisches Ziel und mortifizierten alle Zeichen; das Infinitesimale konnte ebenso in den Schoß Gottes wie ins Nichts des Todes führen; das überbordende Aufgebot der Motive und Metaphern glich dem Maskenzug der Vanitas mehr als dem Schwelgen des Genusses⁶⁸.

Es ist kein Wunder, daß diese Zeit zur Epoche der Vakuumforschung wurde. Man muß erkennen, daß mit dem physikalisch Leeren als vorfindlicher und machbarer Realität der Natur auch die mentale und psychische Leere in die soziokulturelle Welt einzog. Und umgekehrt: in einer Epoche, die derart von der »negativen Lust«⁶⁹, also von der Angstlust als Erregungsprinzip der Vanitas befallen war, von einer süchtigen Erhabenheit – in einer solchen Zeit mußte das Leere als unleugbare Realität der Welt entdeckt und codiert werden. Das Prinzip der Fülle war nicht nur ein naturphilosophisches Prinzip gewesen, sondern auch ein Palliativ gegen den möglichen Nihilismus, der aus der kontingent gewordenen Welt nicht mehr zu eskamotieren ist. Die Freiheit, das Vakuum zu denken, es nachzuweisen und es zu *machen*, steht in einem durchaus ambivalenten Verhältnis dazu, daß diese Leere auch im Inneren des Subjektes, seiner Psyche und seinem Geist, und in den Beziehungsnetzen der Gesellschaft sich zeigen und womöglich epidemisch ausbreiten könnte⁷⁰.

Man kann sich keinen geeigneteren historischen Hintergrund für die Vakuumforschung denken als die traumatischen Anomien des 30jährigen Krie-

ges⁷¹. Und soll man umgekehrt nicht auch sagen, daß die wahrlich großartige Geschichte, in welcher der Mensch sich als technischer Herr über das Vakuum erweist, ein Therapeutikum für die zerbrochene Welt ist? Hat die Wissenschaft nicht die Aufgabe übernommen, dem Sturm der Evakuierung menschlichen Lebens und metaphysischer Bedeutungen das Palliativ physikalischer Ordnungen und technischer Machbarkeiten entgegenzusetzen? Waren Krieg und Bürgerkrieg womöglich eine gewaltige Vakuumpumpe, durch die alles bedroht war, sich ins Nichts aufzulösen? War es ein Krieg, dem die Frontsoldaten der Wissenschaften ihr Vermögen entgegenseetzten, über dieses furchtbare Nichts verfügen zu können und aus diesem wieder etwas zu schöpfen? Wird die christliche Schöpfungsformel der *creatio ex nihilo* zum Emblem der experimentellen Vernunft? Liegen im Vakuum die Wurzeln der modernen Erhabenheit?

Anmerkungen

1. Otto, Frei: »Der Pneu als formbildendes Prinzip«. In: *Technik und Natur*. Bd. 6. Düsseldorf 1994, S. 160 – 174.
2. Slemr, Franz: »Technik und Luft«. In: *Technik und Natur*. Bd. 6. Düsseldorf 1994, S. 344 – 369.
3. Wissmann, Gerhard: *Geschichte der Luftfahrt von Ikarus bis zur Gegenwart* (1960). Berlin o. J.; Behringer, Wolfgang/Ott-Koptschalski, Constance: *Der Traum vom Fliegen. Zwischen Mythos und Technik*. Frankfurt/M. 1991; Asendorf, Christoph: *Super Constellation – Flugzeug und Raumrevolution: Die Wirkung der Luftfahrt auf Kunst und Kultur der Moderne*. Wien/New York 1997.
4. Simonyi meint zurecht, das Bild des ursprünglichen Materiezustandes bei Demokrit komme der modernen kinetischen Gastheorie sehr nahe (Simonyi, Károly: *Kulturgeschichte der Physik*. Frankfurt/M. 1990. S. 72).
5. Vgl. Diels, Hermann/Kranz, Walther: *Die Fragmente der Vorsokratiker*. Griechisch u. Deutsch v. Hermann Diels, hrsg. v. Walther Kranz. 3 Bde. Zürich 1951⁶. [Abgekürzt als DK plus Fragment-Nummer]; *Die Vorsokratiker*. Bd. 2: »Zenon. Empedokles. Anaxagoras. Leukipp. Demokrit«. Griechisch/deutsch. Übers. u. erl. V. Jaap Mansfeld. Stuttgart 1986, hier: S. 230 – 345. Pleger, Wolfgang H.: *Die Vorsokratiker*. Stuttgart 1991, S. 116 – 38.
6. Die ausführlichste Diskussion über die Leere in Aristoteles: *Physik* D 208a – 217b; vgl. *Met.* A a 985b.
7. Man könnte diesem Gedanken eine kleine Theorie über das Spatium zwischen den Buchstaben und Wörtern sowie über das Intervall und die Pause in der Musik folgen lassen, um daran zu demonstrieren, daß das Gefüge der Sprache und der Musik entscheidend von den Leerzeichen abhängt, welche allererst sinnvolle Minima der Schrift, der gesprochenen Sprache und des Klangs konstituieren. Alle Buchstaben der Weltliteratur konzentriert, ergäben einen schwarzen Punkt, oder auch ein »Schwarzes Quadrat«, eine absolute Sinnleere; ebenso übrigens, wenn man die Buchstaben der Weltliteratur alle chaotisch im Raum verteilen würde. Erst eine operative Ökonomie der Leere ermöglicht differentielle Ordnungen und damit Sinn: Das fängt mit der leeren Seite an, die als *tabula rasa* des Thomas von Aquin bis zu Lockes *white sheet* eine große philosophische Karriere durchlaufen hat, und endet mit den Zeilen-, Säulen-, Wort- und Buchstabenabständen, die alle von geregelten Leeren dirigiert sind.
8. Bei Parmenides hatte es noch ausdrücklich geheißt, daß nur das Seiende ist, nicht aber das Nichts (*medên*) (DK 28 B 6).
9. Zum Äther vgl. Böhme, Gernot/Böhme, Hartmut: *Feuer Wasser Erde Luft. Eine Kulturgeschichte der Elemente*. München 1996, S. 143 – 163.
10. Zum »Prinzip der Fülle« vgl. insbesondere Lovejoy, Arthur Oncken: *The great chain of being. A study of the history of an idea*. New York 1935, 1960². Deutsch 1985, Kap. IV/V.
11. Vgl. Krafft, Fritz: »Horror vacui«. In: *Historisches Wörterbuch der Philosophie*. Bd. 3. Basel/Stuttgart 1974, Sp. 1206 – 1212. Sowie: Hartmann, S.: »Vacuum«. In: *Ebd.* Bd. 11. Basel/Stuttgart 1980, Sp. 527 – 530; Kobusch, Theo: »Nichts, Nichtseiendes«. In:

- Ebd. Bd. 6. Basel/Stuttgart 1984, Sp.805 – 836; Grant, E.: »Medieval explanations and Interpretations of the Dictum that ›Nature abhors a Vacuum‹. In: *Tradition*. 1973, S. 327 – 355; Ders.: *Much ado about nothing. Theories about space and vacuum from the Middle Ages to the Scientific Revolution*. Cambridge 1981, bes. S. 60 – 104.
12. Zitiert bei Krafft: vgl. Anm. 11, S.1207.
13. Ebd.
14. Heidrich, P.: »Leere«. In: Ritter, Joachim/Gründer, Karlfried (Hg.): *Historisches Wörterbuch der Philosophie*. Bd. 5. Basel/Stuttgart 1980, Sp. 157 – 159 (und die Nachweise ebd.).
15. Monika Wagner hat gezeigt, daß man seit etwa 1500, zum Beispiel auf der *Madonna di Foligno* von Raffael, kleine leere Tafeln entdecken kann, »tabula ansata«, welche die von allem Irdischen gereinigte Seele darstellen, die »anima cognitiva«. Die leere Tafel repräsentiert geradezu »die Quintessenz christlichen Lebens« (Wagner, Monika: »Pictures of nothing – but very like. Die tabula rasa als Denk-Bild«. In: Naumann, Barbara/Pankow, Edgar (Hg.): *Bilddenken – Denkbilder*. Erscheint in Kürze.)
16. Die innerliche Reinigung bis hin zur mystischen Leere und meditativen Versenkung ins Nichts hat psychohistorisch in der Langeweile, in der Depression und schließlich im Nihilismus ihre (teuflische bzw. pathologische) Gegenseite.
17. Zur Impetustheorie vgl. Grün, Klaus-Jürgen: *Vom Unbewegten Bewegter zur bewegenden Kraft. Der pantheistische Charakter der Impetustheorie im Mittelalter*. Paderborn 1999; Wolff, Michael: *Geschichte der Impetustheorie*. Frankfurt/M. 1978.
18. Vgl. dazu den guten Sammelband von Klever, Wim (Hg.): *Die Schwere der Luft in der Diskussion des 17. Jahrhunderts*. Wiesbaden 1997.
19. Guericke, Otto von: *Neue (sogenannte) Magdeburgische Versuche über den leeren Raum*. Übers. u. hg. v. Hans Schimank u. a. Düsseldorf 1968, Vorwort, o. Seitenzahl. Neben der fortan als Guericke 1968a zitierten (kleinen) Ausgabe ist zeitgleich von demselben Herausgeber eine umfangreichere erschienen: Guericke, Otto von: *Neue (sogenannte) Magdeburger Versuche über den leeren Raum, nebst Briefen, Urkunden und anderen Zeugnissen seiner Lebens- und Schaffensgeschichte*. Übers. u. hrsg. von H. Schimank sowie H. Gossen, G. Maurach, F. Krafft. Düsseldorf 1968 (zitiert als Guericke 1968b). Ferner: Guericke, Otto von: *Neue »Magdeburgische« Versuche über den leeren Raum*. Übers. u. hg. v. Friedrich Dannemann. Leipzig 1986 (Diese Ausgabe enthält nur Buch III). Über Guericke vgl.: Kauffeldt, A.: *Otto von Guericke. Philosophisches über den leeren Raum*. Berlin (DDR) 1968; Krafft, Fritz: *Otto von Guericke*. Darmstadt 1978. Vollhardt, Friedrich: »Otto von Guericke's Magdeburger Versuche über den leeren Raum; Untersuchungen zum Verhältnis von Naturerkenntnis und Literatur im 17. und 18. Jahrhundert«. In: Schandera, Gunter/Schilling, Michael (Hg.): *Prolegomena zur Kultur- und Literaturgeschichte des Magdeburger Raumes*. Magdeburg 1999, S. 165 – 185.
20. Guericke: Vgl. Anm. 19, S. 60.
21. Kubbinga, H. H.: »The First ›Molecular‹ Theory (1620): Isaac Beeckman (1588 – 1637)«. In: *Journal of Molecular Structure (Theochem)* 181 (1988), S. 205 – 218.
22. Descartes, René: *Die Prinzipien der Philosophie*. Übers. v. A. Buchenau. Berlin 1965, S. 39/40, vgl. den Kontext S. 35 – 41, 70 – 77, 83 – 85, 93 – 108. Vgl. auch Descartes, René: *Le Monde ou Traité de la Lumière – Die Welt oder Abhandlung über das Licht*. Übers. v. G. Matthias Tripp. Berlin 1989, S. 16 – 45. Zur kosmologisch begründeten Ablehnung des Leeren bei Descartes vgl. Koyré, Alexandre: *Von der geschlossenen Welt zum unendlichen Universum*. Frankfurt/M. 1980, S. 96 – 104. Cottingham, John: »Air, gravity and Cartesian physics«. In: Klever, Wim (Hg.): *Die Schwere der Luft in der Diskussion des 17. Jahrhunderts*. Wiesbaden 1997. S. 31 – 46.
23. Osler, Margaret J.: *Divine Will and the Mechanical Philosophy: Gassendi and Descartes on Contingency and Necessity in the Created World*. Cambridge 1994.
24. Meier-Oeser, S.: »Vacuum formarum«. In: Ritter, Joachim/Gründer, Karlfried (Hg.): *Historisches Wörterbuch der Philosophie*. Bd. 11. Basel/Stuttgart 1980, Sp. 530 – 531. Vgl. zu Leibniz' Ablehnung des Leeren (nachdem es längst experimentell nachgewiesen war!) Lovejoy: vgl. Anm. 10, S. 218 – 20.
25. Galileis Beschäftigung mit diesem Thema wurde 1630 ausgelöst durch eine briefliche Anfrage von Giovan Battista Baliani betreffend die Ursache, warum eine bestimmte Wassersäulen-Höhe in U-Röhren technisch nicht zu überwinden sei; letztlich führte die Frage zum Torricellischen Experiment von 1644, das das Ende des *horror vacui* und die Prüfung des Gewichts und Drucks der Luft auslöste. Obwohl Torricelli davon nur in

- einem Brief an Michelangelo Ricci vom 11.6.1644 Mitteilung machte, verbreiteten sich das Experiment wie seine epistemologischen Folgerungen sehr schnell in ganz Europa. Zur Diskussion über das mögliche Vakuum bei Galilei in: Galilei, Galileo: *Discorsi e Dimostrazioni Matematiche intorno a Due Nuove Scienze*. Hrsg. v. Adriano Carugo u. Ludovico Geymonat. Turin 1958, S. 72 – 110. Über Galilei in diesem Kontext: Blay, Michel: »Galileo and the ancient dispute about the weight of air«. In: Klever, Wim (Hg.): *Die Schwere der Luft in der Diskussion des 17. Jahrhunderts*. Wiesbaden 1997, S. 9 – 30.
26. Hobbes, Thomas: *Elemente der Philosophie. Erste Abteilung: Der Körper*. Hrsg. v. Karl Schuhmann. Hamburg 1997, S. 268 – 285, vgl. ebd. S. XXXII – XXXVI. Zu Hobbes pneumatische Auffassungen und ihrem Wandel vgl. Blay, Michel: »Le ›De Corpore‹ de Hobbes ou le ›poids de l'air‹ éliminé«. In: Klever, Wim (Hg.): *Die Schwere der Luft in der Diskussion des 17. Jahrhunderts*. Wiesbaden 1997, S. 73 – 88. Hobbes mußte seine anti-vakuistische Haltung mit dem Ausschluß aus der Royal Society bezahlen. Zu den Beziehungen zwischen Hobbes und Boyle vgl. Shapin, S./Schaffer, S.: *The Leviathan and the Air-Pump*. Princeton 1985. Den Wandel von Hobbes' frühen zu den späten Auffassungen über die Leere rekonstruieren Shapin/Schaffer höchst aufschlußreich ebd. S. 80 – 154. Verdienstvoll ist die Übersetzung des späten »Dialogus physicus« ebd. S. 345 – 391.
27. Busch, Werner: »Wenn die Luft kein Gewicht besäße, würde sie davonfliegen«. Ästhetische Reaktionen auf die Erkenntnisse der Gasforschung. In: Böhme, Hartmut (Hg.): *Die Elemente in der Kunst*. PARAGRANA. Bd. 5. H. 1. 1996, S. 69 – 77, hier: S. 63.
28. Vgl. Krafft, Fritz: »Keplers Beitrag zur Himmelsphysik«. In: *Internationales Kepler-Symposium Weil der Stadt 1971. Referate und Diskussionen*. Hrsg. v. Fritz Krafft u.a., S. 55 – 139. Ders.: »Die Anfänge einer theoretischen Mechanik und die Wandlung ihrer Stellung zur Wissenschaft von der Natur«. In: Baron, W. (Hg.): *Beiträge zur Methodik der Wissenschaftsgeschichte*. Wiesbaden 1967, S. 12 – 33. Ders.: »Die Schwere der Luft in der Diskussion des 17. Jahrhunderts: Otto von Guericke«. In: Klever, Wim (Hg.): *Die Schwere der Luft in der Diskussion des 17. Jahrhunderts*. Wiesbaden 1997, S. 135 – 170, hier: S. 146/7.
29. Pascals berühmter Versuch 1647/8 mit der »Leere in der Leere« und der Nachweis der Abhängigkeit der Höhe der Quecksilbersäule vom Luftdruck und die Variabilität des Luftdrucks von der Höhe über dem Meeresspiegel wurde ähnlich von Roberval und Auzout (die besonders Luftdruck- und Leere-in-der-Leere-Experimente verbesserten und erklärten), Guericke (der vom Pascalschen Versuch auf dem Reichstag 1654 erfuhr), und Robert Boyle wiederholt.
30. Vgl. hierzu die populärwissenschaftliche, instruktive Website des Istituto e Museo di Storia della Scienza, Firenze, Italia: <http://galileo.imss.firenze.it/vuoto/iprese7.html> (Stand: 30.4.2003).
31. Guericke erklärt programmatisch, daß die Luft kein Element sei, nicht in andere Elemente transformierbar (wie bei Aristoteles), sondern ein körperliches Objekt mit Eigenschaften *sui generis*; daß ferner der Himmel eine Projektion und, falls er als »reiner Raum« verstanden würde, bloße Leere sei, (Guericke 1968a, vgl. Anm. 19, S. 50 – 52, 79 – 81).
32. Über das Gemälde Wrights hat der Kunsthistoriker Werner Busch die immer noch beste Studie geschrieben: ders.: Joseph Wright of Derby: *Das Experiment mit der Luftpumpe. Eine Heilige Allianz zwischen Wissenschaft und Religion*. Frankfurt/M. 1986. Barbara Stafford hat den Bildsinn nicht erfasst (Stafford, Barbara Maria: *Kunstvolle Wissenschaft. Aufklärung, Unterhaltung und der Niedergang der visuellen Bildung*. Amsterdam/Dresden 1998; S. 122ff, 250). Zu Wright vgl. auch: Vollhardt (vgl. Anm. 19) 1999, S. 172 – 173. Daß das Gemälde Wrights nicht mehr »in dem weit ausgreifenden Deutungszusammenhang« des 17. Jahrhunderts, besonders Guericke's, stünde, ist eine unzutreffende Behauptung Vollhardts, wie sich zeigen wird.
33. Zum Konzept der epistemischen Dinge vgl. Rheinberger, Hans-Jörg: *Experimentalsysteme und epistemische Dinge*. Göttingen 2001.
34. Und daraus entsteht das Darstellungsproblem in der Vakuumforschung. Aufschlußreich dazu Vollhardt, Friedrich: »Eine Kultur? Zeitenössische Darstellung und wissenschaftshistorische Deutung frühneuzeitlicher Vakuumexperimente«. In: Danneberg, Lutz/Niederhauser, Jürg (Hg.): *Darstellungsformen der Wissenschaften im Kontext*. Tübingen 1998, S. 437 – 454.
35. Vgl. auch Stafford (vgl. Anm. 32), Kap. 2, S. 95 – 151. Schramm, Helmar: *Karneval des Denkens. Theatralität im Spiegel philosophischer Texte des 16. und 17. Jahrhunderts*.

- Berlin 1995. Das Problem der medialen Beglaubigung des Wissens bzw. des Einsatzes von Experimenten eben zu diesem Zweck setzt schon im 17. Jahrhundert massiv ein, anders als Jonathan Crary meint (ders.: *Techniken des Betrachters. Sehen und Moderne im 19. Jahrhundert*. Basel 1996).
36. Der jesuitische Mathematikprofessor Kaspar Schott hat Guericke's Experimente noch vor diesem publiziert, sie bis nach Rom zu Athanasius Kircher vermittelt, bzw. durch seine Publikation dafür gesorgt, daß Robert Boyle Kenntnis von ihnen erlangen konnte. In den *Technica Curiosa* publizierte Schott die *Mirabilia* sowohl von Guericke als auch von Boyle. (Vgl. Kaspar Schott: *Mechanica hydraulico-pneumatica... Opus bipartitum... Accessit Experimentum novum Madgedeburgicum*. Frankfurt 1657. Übers. in Guericke 1968b, vgl. Anm. 19. Auch (nur bez. der Magdeburger Experimente) in: *Wissenschaftliche Zeitschrift der Technischen Hochschule Otto von Guericke* Bd. 30. H.1/2. 1986, S. 114 – 131.
 37. Die von der kunsthistorischen Forschung angenommenen historischen Personen des Gemäldes interessieren hier nicht.
 38. Bei der Vakuummaschine handelt es sich um ein typisches kleinformatiges Tischgerät für demonstrative Versuchsserien *intra muros*. Schon Guericke hatte ein solches Gerät entwickelt und unter dem Titel »Ueber die Einrichtung eines hydraulisch-pneumatischen Apparats, der nicht nur die Möglichkeit zu vielen Entdeckungen bietet, sondern auch im Studierzimmer zur Anregung des Geistes aufbewahrt werden kann« vorgestellt (Guericke 1968a, vgl. Anm. 19, S. 105f). Robert Boyle, der auch die hier demonstrierte Abhängigkeit des Lebens und Stoffwechsels von Luft nachgewiesen hatte, steuerte ebenfalls solche Tischgeräte für Vakuumversuche bei. Um genau so einen Demonstrationsapparat handelt es sich auch auf dem Gemälde. Solche Apparate sind multifunktional. Es ist also auch bei Wright vorauszusetzen, daß der Experimentator eine Serie von Versuchen vorführt, welche das Publikum schon gesehen hat. Dafür sprechen die übrigen Experimentierensilien auf dem Tisch. Der Versuch hier, mit dem Experiment über Leben und Tod, ist zu denken als dramatischer Höhepunkt einer ganzen Experimental-Choreographie. Es handelt sich wahrlich um ein *experimentum crucis*.
 39. William Schubach glaubt, das Objekt in der trüben Flüssigkeit als menschlichen Schädel identifizieren zu dürfen. Zusammen mit der Kerze sei dies ein Todes-Symbol, und das ganze Gemälde sei von Wright dadurch in die Tradition der 'vanitas'-Allegorien gerückt worden. Diese Auslegung überzeugt in keiner Weise. Vgl. dazu Egerton, Judy (Hg.): *Joseph Wright of Derby. 1834 – 1797*. Ausstellungskat. London Paris New York 1990, S. 51/52.
 40. Pascal, Blaise: *Récit de la Grande Expérience de l'Équilibre des Liqueurs*. Paris 1648. Hierin berichtet Pascal u.a. über den Versuch, der am 19. Sept. 1648 auf seinen Auftrag hin von seinem Schwager Florin Périer am Puy de Dome durchgeführt wurde; dieser nämlich stellte am Fuße und auf dem Gipfel (974m) die Differenzen in der Höhe der Quecksilbersäule fest und lieferte Pascal damit den schlagenden Beweis für die Stärke des Luftdrucks in Abhängigkeit zur Höhe und damit auch für die Höhe der Quecksilbersäule in Abhängigkeit zum Luftdruck (Barometer). Auch Guericke stellte ähnliche Versuche an (Guericke 1968a, vgl. Anm. 19, S. 126/127).
 41. Guericke 1968a (vgl. Anm. 19) S. 103 – 105.
 42. Guericke 1968a (vgl. Anm. 19), S. 100 – 103 (über Vakuumversuche mit Feuer, Kerzen und mit Licht im Vakuum).
 43. Zu den wenigen Eigenschaften des Vakuums, die Guericke nicht klar erkannte, gehört, daß Schall an ein Medium gebunden ist; er hielt ihn noch für eine Imponderabilie. Darum fallen seine Schallversuche im Vakuum auch so aus, daß er sie falsch interpretiert (Guericke 1968a, vgl. Anm. 19, S. 102/103; vgl. auch 155 – 157). Es war Boyle, der als erster in seinem Glockenexperiment im Vakuum zweifelsfrei nachwies, daß die Leere stumm ist. Zum Sphärenklang: Nicklaus, Hans-Georg: *Die Maschine des Himmels. Zur Kosmologie und Ästhetik des Klangs*. München 1994.
 44. Cohen, H. Floris: *Quantifying Music. The Science of Music at the First Stage of Scientific Revolution 1580 – 1650*. Dordrecht 1984.
 45. Guericke 1968a, vgl. Anm. 19, S. 101/102.
 46. Vgl. Pascal (vgl. Anm. 40). Guericke 1968a (vgl. Anm. 19), S. 109 – 113 (Männchen-Barometer); S. 126/127 (Veränderlichkeit der Höhe der Quecksilbersäule in Relation zur Höhe des Messpunkte über dem Meeresspiegel), S. 127/128 (Abhängigkeit des Standes der Quecksilbersäule vom Zeitpunkt der Messung = Wetterabhängigkeit des Luftdrucks). Gegenüber Guericke verbesserte Boyle teilweise die Experimente: Boyle, Robert: *New Experiments Physico-mechanical, touching the Spring of the Air, and Its Effects, made in the most part in a new pneumatical engine*. Oxford 1659 (lat. 1661). Reprint: *The Works of Robert Boyle*. Hrsg. v. Thomas Birch. 6 Bde. London 1772, hier Bd. 1. Zu Boyles pneumatischen Experimenten vgl. Clericuzio, Antonio: »Notes on Corpuscular Philosophy and Pneumatical Experiments in Richard Boyle's New Experiments Physico-mechanical, touching the Spring of the Air«. In: Klever, Wim (Hg.): *Die Schwere der Luft in der Diskussion des 17. Jahrhunderts*. Wiesbaden 1997, S. 109 – 116. Fazzari, Michela: »Robert Boyle: elasticity of air and philosophical polemics«. In: Klever. S. 117 – 134.
 47. Guericke 1968a, vgl. Anm. 19, S. 94 – 97. Buch IV widmet sich ausschließlich diesen Fragen.
 48. Newton, Isaac: *Mathematische Prinzipien der Naturlehre. (Philosophiae naturalis principia mathematica, 1687)*. Darmstadt 1963, S. 32 – 45. Newton, Isaac: *Über die Gravitation*. Übers. u. erl. v. Gernot Böhme. Frankfurt/M. 1988. Hutter, K. (Hg.): *Die Anfänge der Mechanik. Newtons Principia gedeutet aus ihrer Zeit und ihrer Wirkung auf die Physik*. Berlin u.a. 1989.
 49. Zum *horror vacui* im 17. Jahrhundert vgl. Vollhardt (vgl. Anm. 19).
 50. Zu diesem Motiv, das im Mittelalter noch Ausdruck des Gottgemäßen war, sich in der Neuzeit aber zur Formel der Selbstermächtigung veränderte vgl. Rübner, Vinzenz: »Homo secundus Deus. Eine geistesgeschichtliche Studie zum menschlichen Schöpfer-tum«. In: *Philosophisches Jahrbuch der Görres-Gesellschaft* 63 (1955), S. 248–291.
 51. Dazu Sutter, Alex: *Göttliche Maschinen. Die Automaten für Lebendiges*. Frankfurt/M. 1988; Heckmann, Herbert: *Die andere Schöpfung. Geschichte der frühen Automaten in Wirklichkeit und Dichtung*. Frankfurt/M. 1982.
 52. Hier ist wichtig, daß in der Scholastik aufgrund von Spekulationen über die Allmacht Gottes zwar eingeräumt wurde, daß Gott sowohl unendlich viele Welten wie auch die Leere hätte einrichten können; die These über die Leere wurde indes 1277 verurteilt. Vgl. Flasch, Kurt (Hg.): *Aufklärung im Mittelalter? Die Verurteilung von 1277. Das Dokument des Bischofs von Paris (Tempier, Etienne = Stephanus Temperius)*. Mainz 1989, These 34 (S. 131) und 49 (S. 147); ferner Grant 1981, vgl. Anm. 11, S. 108ff. In der Natur könne ein Vakuum nicht vorkommen und auch nicht hergestellt werden. Wenn dies aber doch geschieht wie hier, kommt dies symbolisch einer Übernahme der Allmacht Gottes gleich.
 53. Vgl. Busch (vgl. Anm. 32), S. 34ff. Auch andere Gemälde Wrights, die naturwissenschaftlichen oder technischen Themen gewidmet sind, weisen eine solche Beleuchtung auf, wie zum Beispiel *Ein Philosoph gibt eine Vorlesung am Tischplanetarium*, 1764 – 66; *Die Schmiede*, 1771.
 54. Interessant ist, daß die junge Ehefrau links, die ihren Mann anschaut, einen Hermlin-Kragen (weiß wie der Kakadu!) trägt: Ihr zum Schmuck ist ein Tier bereits geopfert worden (eine 'unmoderne' Form der Tieropferung gegenüber jenem Opfer, bei dem Tiere nicht die Schönheit, sondern das Wissen maximieren). Zeichen eines noch präautonomen Bewußtseins ist es auch, daß die junge Frau ihren das Experiment aufmerksam beobachtenden Mann anschaut, statt einen eigenen, selbständigen Blick zu entwickeln.
 55. Zur Unterscheidung der Melancholie-Typen vgl. Böhme, Hartmut: *Albrecht Dürer: Melancholia I. Im Labyrinth der Deutung*. Frankfurt/M. 1993³.
 56. Ich weiche von der Deutung Werner Buschs (Anm. 32, S. 69ff) ab, der aus einer Art Bipolarität (die visuell allerdings nicht besteht) von Experimentator und sinnendem Alten programmatisch eine ebenso reflexive wie heilige Allianz von Wissenschaft und Religion herleitet. Diese aber besteht m.E. nicht. Vielmehr ist es im Bild so, daß die Wissenschaft die historische Nachfolge der Religion antritt, d.h. diese sowohl ablöst, wie ihre sakralen Formen und Heilsversprechen mehr oder weniger transformiert fortsetzt. Das macht den 'Zwiespalt' der Wissenschaft aus, den man am 'Magier' bzw. an der Konstellation Experimentator – Alter Mann ablesen kann.
 57. Allerdings kann man Guericke auch als Erfinder der Vakuumverpackung bezeichnen: Er zuerst hat die Konservierung von Lebensmitteln im Vakuum entdeckt, indem er Trauben ein halbes Jahr frisch hielt (Guericke 1968a, vgl. Anm. 19, S. 105).
 58. Vgl. dazu Maehle, A.-H.: *Kritik und Verteidigung des Tierversuchs. Die Anfänge der Diskussion im 17. und 18. Jahrhundert*. Stuttgart 1992. Bei den Vakuumexperimenten benutzte man in der Regel Mäuse, Vögel, Frösche oder Katzen. Das ethisch Bedenkliche daran wurde von James Ferguson bemerkt: »Certains démonstrateurs préféreraient

- utiliser un ballon ou poumons artificiels, considérant, comme James Ferguson, que l'expérience avec un animal vivant était 'trop choquante pour quoconque n'était pas dépourvu d'un minimum d'humanité» (Egerton 1990, vgl. Anm. 39, S. 50).*
59. Rheinberger, Hans-Jörg/Hagner, Michael (Hg.): *Die Experimentalisierung des Lebens. Experimentalsysteme in den biologischen Wissenschaften 1850 – 1950*. Berlin 1993.
60. »Die Natur verstummt auf der Folter«, sagt Goethe und meint damit das Newtonsche Experiment (HA XII, 434).
61. Bacon, Francis: *Das neue Organon*. Berlin 1988², S. 134 – 37 (zur Herrschaft über Natur), S. 109 (natura vexata). Der umstrittene, kaum haltbare Vorwurf, daß Bacon das Experiment strikt analog zur Folter ausrichte, wird angemessen diskutiert in Krohn, Wolfgang: »Die Natur als Labyrinth, die Erkenntnis als Inquisition, das Handeln als Macht. Bacons Philosophie der Naturerkenntnis, betrachtet in ihren Metaphern«. In: Schäfer, Lothar/Ströker Elisabeth (Hg.): *Naturauffassungen in Philosophie, Wissenschaft und Technik*. Bd. 2. *Renaissance und frühe Neuzeit*. Freiburg/München 1994, S. 59 – 100.
62. Guericke 1968a (vgl. Anm. 19), S. 121 – 124. Zu den Regensburger Versuchen vgl. Krafft 1978 (vgl. Anm. 19), S. 103 – 108.
63. Guericke 1968a (vgl. Anm. 30), S. 90 – 97, S. 108 – 109.
64. Guericke 1968a (vgl. Anm. 19), S. 70. Das hat klar herausgearbeitet Vollhardt (vgl. Anm. 19) 1999, S.178 – 182. Vgl. zuvor Kauffeldt (vgl. Anm. 19), S. 46 – 60. Freilich hatte auch die jüdische Kabbalistik und die Negative Theologie Gott mit dem Nichts identifiziert.
65. Richard Panek eröffnet sein Buch (*Das Auge Gottes. Das Teleskop und die lange Entdeckung der Unendlichkeit*. Stuttgart 2001, S.9) mit dem Satz: »Am 15. Januar 1996 wuchs das Universum um vierzig Milliarden Galaxien.« Panek bezieht sich auf die an diesem Tage veröffentlichten Daten des *Hubble Deep Field*.
66. Das Ultravakuum, wie man es bei Teilchen-Beschleunigern wie im CERN oder DESY benötigt, ist mit 10^{-15} mmHG gegenwärtig das Nonplusultra der Vakuumtechnik.
67. Der 2. Hauptlehrsatz des Epikurs (in: Jürß, Fritz/Müller, Reimar/Schmidt, Ernst Guenther (Hg.): *Griechische Atomisten*. Berlin 1991⁴, S. 284).
68. Vgl. dazu Benjamin, Walter: »Ursprung des deutschen Trauerspiels« In: *Gesammelte Schriften*. Hrsg. v. Rolf Tiedemann u. Hermann Schweppenhäuser. Bd. 1. Frankfurt/M. 1977, S. 205 – 430; Deleuze, Gilles: *Die Falte. Leibniz und der Barock*. Frankfurt/M. 1995.
69. Kant, Immanuel: *Kritik der Urteilskraft*. (KdU B 76).
70. Es ist aufschlußreich, daß, wie Lepenies gezeigt hat, im 17. Jahrhundert an den absolutistischen Höfen, die wahrlich Üppigkeit, Fülle und pausenlose 'Bewegung' erzeugten, Ennui und Melancholie grassierten wie Krankheiten der Leere; und entsprechend mit einem Verbot belegt wurden. Am Hof, in der Nähe des Souveräns, der die absolute Fülle repräsentiert, durfte es keine Leere geben (Lepenies, Wolf: *Melancholie und Gesellschaft*. Frankfurt/M. 1972).
71. Vgl. die überzeugende Korrelation, die Toulmin zwischen dem 30jährigen Krieg, den französischen Religionskriegen, dem englischen Bürgerkrieg mit der Hinrichtung des Königs und der Philosophie Descartes', Hobbes' u.a. entwickelt (Toulmin, Stephen E.: *Kosmopolis. Die unerkannten Aufgaben der Moderne*. Frankfurt/M. 1991; ferner: Shapin/ Schaffer: Vgl. Anm. 26).