

CHAOS –

Vision einer unverständlichen Welt.

An einem Samstag blättere ich spontan in einem alten Tagebuch: Chaos. Ich denke über das Gelesene nach, versuche zu ordnen: Chaos. Dann schäme ich mich ein wenig und blättere noch etwas in Joyces Ulysses und dann in Becketts Watt: Chaos. Ich stecke mittendrin, in meiner Geschichte, ziehe einzeln an Fäden eines Knäuels, was nur eine erneute Kugel wieder entwirren kann. Vor meinem Fenster sitzt gerade eine Schwalbe, ungeplagt von allem höheren Sinn, den sich Menschen manchmal wünschen. Einfach Luft holen. Wenn du leben willst: Einfach atmen. Wie geschickt, dass man Gedanken und Sätze im Kopf herumschieben kann, bis sie stimmen. Doch wir müssen weiter gehen, immer weiter. Und nur den gestreamten Film können wir pausieren, um zu verstehen, was wir gerade gesehen haben. Jedes Kunstwerk und jedes Buch will konstruiert sein, strukturiert und durchgeplant, damit man dort Dinge entdecken kann, die man sonst nicht sieht: Ende des Chaos?

In der Philosophie ist wenig von Chaos als solchem die Rede. Das Wort stammt wahrscheinlich vom Griechischen χάινειν, was so viel wie „gähnen“ oder „klaffen“ bedeutet. Sein etymologischer Sinngehalt ist aber nicht eindeutig geklärt. Aus Hesiods Theogonie, der berühmten Erzählung von der Ontogenese des Kosmos aus sechs Urgottheiten, lernen wir, dass das Chaos wohl das Erste war, das „ins Sein kam“. Gelehrte haben dies oft so interpretiert, dass der Dichter damit die erste wesentliche Stufe in der Genese beschreibt. Man geht nämlich davon aus, dass die Vorstellung vom Einem, aus dem alles entsteht, unter seinen Lesern weit verbreitet war, sodass er dies stillschweigend voraussetzen konnte und daher nicht näher explizieren musste. Bei Aristophanes und einigen anderen findet sich mehr als zweihundert Jahre später Chaos, zusätzlich zur kosmogonischen Verwendung des Wortes, in der Bedeutung von „Luft“, als Lücke oder Region zwischen Himmel und Erde, als das, worin die Vögel fliegen. Und selbst in der Theogonie findet sich an einer anderen Stelle eine kurze Passage, die ebensoviel andeutet und erst durch die Identifizierung von Chaos mit „Luft“ verständlicher wird. In der Deutungsgeschichte des Wortes gibt es außerdem drei spätere Erklärungen, die den Horizont des Begriffs bis heute mitbestimmen. Die erste geht davon aus, dass es sich beim Chaos um eine Art Raum handle. Diese Ansicht vertrat zum Beispiel Aristoteles. Räumliche Ausdifferenzierungen des Begriffs wurden jedoch erst durch die Eleaten ab ca. 540 v. Chr. von größerem Interesse und sind damit als nachträgliche Interpretation zu bewerten. Die zweite Erklärung geht auf die Stoa zurück und identifiziert Chaos mit „dem, was gegossen wird“. Das Fließende, in der Art des Wassers, verhält sich unstedt bzw. „chaotisch“, da es sich dem Zugriff verweigert. Heraklits Spruch „πάντα ῥεῖ“ lässt sich mit diesem Verständnis sicherlich in Verbindung bringen, der hierin die Welt mit dem anfänglichen Chaos verflucht. In ähnlicher Weise lässt sich auch der dritte Deutungsversuch auf die stoische Tradition zurückführen: Sie setzt Chaos mit Unordnung gleich und verschärft somit die These der Fluidität um die Undurchsichtigkeit.

Die Griechische Antike ist jedoch nicht die einzige Quelle des Chaos. Ein Blick ins Buch der Genesis der heiligen Schrift zeigt, dass auch dort von all den genannten Ideen bereits die Rede ist. Zunächst spaltet Gott, was ist, in Himmel und Erde. Fasst man nun Chaos im obigen Sinne der Lücke (oder des Raumes) auf, so lässt es sich auch hier als das Erste nach der „Einheit“ verstehen. Diese anfängliche Spaltung ist oft mit dem Unterschied zwischen Geistigem bzw. Seelischem einerseits und Körperlichem andererseits identifiziert worden. Wenn man das Chaos bedenkt, dass diese Diskrepanz zwischen Herz und Hirn bisher und bis heute verursacht hat, besteht kein Zweifel an dem gewaltigen Chaosmoment des ursprünglichen Schöpfungsaktes. Weiter lesen wir in der Lutherschen Übertragung von der Erde als „wüst und leer“ (tohu wa-bohu), von einer Finsternis „auf der Tiefe“ und vom Geist Gottes, der „auf dem Wasser“ schwebte. Aufgrund der mystischen

Qualität des Textes lässt sich schwer sagen, wie die einzelnen Elemente genau zusammenpassen. Es scheint, als ob alles mehr oder minder zugleich entstünde. Am zweiten Tag erschafft Gott die Feste bzw. das Firmament, das die scheinbar chaotischen Wasser ordnet. Erst am dritten Tag entsteht schließlich das Trockene zwischen den Wassern, sodass man davon ausgehen kann, dass, was zunächst als Erde bezeichnet wurde, ganz und gar nicht identisch mit der Erde ist, die wir unter unseren Füßen wissen, ebenso wie das Wasser zu Beginn des Texts nicht unsere Meere und Seen meint. Plausibler erscheint es, dass, was wir in der ersten Passage erfahren, eine Beschreibung des anfänglichen Chaos darstellt. Hier liegt der „cosmos in potentia“. Das Chaos äußert sich also in den Attributen des Leeren (gar Wüsten), Finsteren, Tiefen und Flüssigen – alles Attribute, die auch bei den Griechen an erster Stelle auftauchen.

Der englische Poet John Milton, berühmter Verfasser des Versepos *Paradise Lost*, hat bereits in seinem konzisen Nachfolgeepos *Paradise Regained* die These aufgestellt, dass die Griechische Antike vom Hebräischen Altertum abgeleitet sei und gesellt sich also in die Reihe der Gelehrten, welche das kontinuierliche geistige Erbe über die sich abwechselnden Kulturhegemonien beobachten. Noch heute stimmen die meisten einer mehr oder minder linearen Erzählung der Wissensgeschichte zu, die wesentlich mit dem Begriff des Fortschritts verknüpft ist. Der Mensch hebe sich gewissermaßen immer geschickter aus dem Sumpf der Unwissenheit, indem er die Errungenschaften und Erkenntnisse älterer Epochen aufarbeitet. Ob dies tatsächlich zum Fortschritt der Menschheit oder nicht vielmehr zu deren Untergang führt, mag an dieser Stelle dahingestellt sein. Entscheidend aber ist, dass jeder Lernprozess immer nur über die Vergangenheit anhebt und daraus notwendigerweise seine Inspiration schöpft, *ex negativo* getreu dem Motto „*ex nihilo nihil*“. Bei Milton lernen wir im zweiten Buch von *Paradise Lost*, als dem ersten gefallenen Engel Satan die Tore der Hölle aufgetan werden, in welchem Milieu das Chaos anzutreffen ist.

The secrets of the hoary Deep--a dark
Illimitable ocean, without bound,
Without dimension; where length, breadth, and height,
And time, and place, are lost; where eldest Night
And Chaos, ancestors of Nature, hold
Eternal anarchy, amidst the noise
Of endless wars, and by confusion stand.

Auch hier beginnen wir mit einem endlosen Wasser, finster, tief und alt. Der beschriebene Zustand ist sogar von Raum und Zeit verlassen, jenen Fundamenten, auf denen ein Universum nach rationalem Dafürhalten fußt. Ewige Anarchie und Krieg herrschen dort zwischen den Elementen, die selbst nicht einmal in einer bestimmten Form existieren. Spätestens hier wird deutlich, dass Chaos etwas zu sein scheint, das sich jeglicher Festigkeit entzieht und darin dem Abyssos (aus der Offenbarung des Johannes), dem Unergründlichen und Grundlosen, gleicht. Chaos ist bodenloser als die Welt, erschütternder noch als ein Erdbeben – und zugleich Ahne der Natur, in der alles von chaotischen Vorgängen zu wimmeln scheint. Vielmehr scheint das Chaos ureigentlich nichts zu sein, da es jeder Länge, Breite und Höhe entbehrt und keine Dimension kennt. Ja, nach jedem menschlichen Verständnis, das sich nur in Begriffen vollzieht, ist es schlicht und einfach nichts außer das Chaos selbst und verschwindet in der Nacht, im Dünkel des Unbestimmbaren, wo die Metapher des Krieges aller Kriege nichts anderes als Auslöschung und Nivellierung bedeutet. Im Chaos geht das Einzelne unter, es selbst herrscht willkürlich und ohne Gnade als Einziges.

Wenn wir uns also einer Definition des Chaos annähern wollen, so stoßen wir unweigerlich auf die Unmöglichkeit dieses Unterfangens. Der französische Mathematiker Henri Poincaré beschrieb als einer der ersten dynamische Systeme mit extremer Sensibilität

bezüglich ihrer Anfangsbedingungen und begründete damit die Chaostheorie in der Mathematik. Er fand, dass sich selbst simple deterministische Systeme wie etwa das Doppelpendel als unmöglich vorhersagbar herausstellten, auch wenn sich die einzelnen Elemente für sich genommen berechenbar verhielten. Diese Erkenntnis widerspricht zunächst unserer unmittelbaren mathematischen Intuition, die noch von der Newton'schen Weltanschauung abgeleitet ist; aber bereits bei der Beobachtung von Himmelskörpern entdeckten Wissenschaftler wie Johannes Kepler, dass sich schon die Bahnen von nur drei Körpern nur sehr ungenau beschreiben ließen. Dieses in der Mathematik als Dreikörperproblem bekannte Rätsel bleibt bis heute ungelöst und war einer der Ausgangspunkte für die Entwicklung der Chaostheorie. Den meisten wird der von Edward Lorenz entdeckte Schmetterlingseffekt (butterfly effect) in Zusammenhang mit der Theorie ein Begriff sein, auf den er Anfang der 1960er Jahre bei einer Wettersimulation am Computer stieß. Der Effekt deckte die theoretische Möglichkeit auf, dass etwa der unschuldige Flügelschlag eines Schmetterlings im Amazonasgebiet einen Tornado in Texas auslösen konnte: Winzige Veränderungen in den Anfangsbedingungen eines nichtlinearen Systems können verheerende Folgen nach sich ziehen. Unter heutigen Wissenschaftlern herrscht dennoch Einigkeit darüber, dass solche Systeme trotzdem als deterministisch zu bezeichnen sind. Salopp gesagt, heißt das, es existiert ein Grad von Bestimmbarkeit, der sich in Formeln ausdrücken lässt.¹ Mit Chaos lässt sich also rechnen. Da Wissenschaft allein durch die Möglichkeit der Isolation von Systemen funktioniert, da man unmöglich alles zugleich berechnen kann, schienen die Erkenntnisse von Poincaré und Lorenz zunächst eine Gefährdung für die Agenda der Wissenschaft selbst darzustellen. Ihre Befunde hatten schließlich gezeigt, dass die Vernachlässigung von scheinbar insignifikanten Details durchaus signifikante Veränderungen im System zur Folge hatten. Es zeigte sich jedoch auch, dass kurzfristige Voraussagen immer noch möglich blieben – und so war die Wissenschaft wieder einmal gerettet. Die Ideen der Chaostheorie finden mittlerweile auch in Psychologie und der Karriereberatung Anwendung, da sich unsere Leben ebenfalls wie chaotische Systeme verhalten, in denen kleine Veränderungen große Auswirkungen haben können. In der Politikwissenschaft und Soziologie werden ferner Studien zu vermeintlich chaotischen Systemen wie Protesten, Kriegen und anderen anarchischen Gesellschaftsphänomenen betrieben, immer in der Annahme, dass sich auch hier wenigstens Muster erkennen lassen. Überblickbar bleiben hier wie dort stets nur winzige Zeiträume. Mit der Chaostheorie ist die wissenschaftliche Wunschvorstellung von Langzeitvorhersagen vorerst ins Reich der Unmöglichkeiten verbannt. Wenn bereits im einfachen allgemeinen Fall keine numerische Lösung erzielt werden kann, ist eine Lösung im realen, komplexen Fall undenkbar. Die makroskopische Komplexität wird durch das Auftreten des echten Zufalls noch verstärkt, der in der Quantenmechanik eine Rolle spielt. Aus einem chaotischen System wird ein chaotisches und zugleich zufälliges System und damit noch unberechenbarer. Der Dichter Milton unterscheidet Chaos und Zufall, wie folgt:

Chaos umpire sits,
And by decision more embroils the fray
By which he reigns: next him, high arbiter,
Chance governs all. Into this wild abyss,
The womb of nature, and perhaps her grave,

¹ Hier sei auf den Unterschied zwischen expliziten und impliziten Funktionen verwiesen. Die Definition einer impliziten Funktion besagt, dass diese nicht durch eine (explizite) Zuordnungsvorschrift $y = f(x)$ gegeben, sondern deren Funktionswerte durch eine Gleichung $F(x,y) = 0$ definiert sind. In der Naturwissenschaft lassen sich nun die meisten Phänomene nur implizit beschreiben, d.h. sie sind nicht global formalisierbar und damit auch nur unvollständig verbalisierbar. Die Philosophie und Wissenschaftstheorie kennt darüberhinaus den Unterschied zwischen explizitem und implizitem Wissen. Nur explizites Wissen ist vermittelbar.

Of neither sea, nor shore, nor air, nor fire,
But all these in their pregnant causes mixed
Confusedly, and which thus must ever fight,
Unless the Almighty Maker them ordain
His dark materials to create more worlds, [...]

Obwohl voneinander unterschieden, sind Chaos und Zufall beide Richter im tiefen Schlund der Welt (im Abyssos), woraus sich die Natur erhebt – und wo sie vielleicht auch ihr Grab findet. Es scheint, als ob der Zufall das Chaos noch verstärkt. Während aber das Chaos gewissermaßen die Entscheidung trifft, den Kampf der Dinge untereinander zu vermehren, d.h. also eine aktive Kraft ist, scheint der Zufall „bloß“ zu passieren, indem er alles intrinsisch beherrscht. Zusammen ergeben sie eine Wildheit, die Ratio und Unterbewusstes gleichermaßen bestürzt. Die vier Grundelemente sind in diesem Zustand undistinkt und erkennen sich selbst nicht wieder. Sie existieren im eigentlichen Sinne nicht – wie ein ungeborenes Kind im Leib der Mutter. Aber die Passage in Milton endet zum Glück mit Bezug auf den Allmächtigen, dem allein die Macht gegeben ist, seine dunkle Materie in andere und weitere Welten zu verwandeln. Er vermag als Einziger das Chaos zu beherrschen und schafft daraus mögliche und vielfältige Alternativen. Gottes Geist auf dem Wasser war es, der aus dem vermeintlichen Nichts etwas entstehen ließ. Die Offenheit des Chaos ist dabei sein Material, das ihm an sich dunkel und leer erst zur Verwirklichung neuer Welten dient.

Was soll man aber unter der Offenheit des Chaos verstehen? Sie kann nur das Attribut des Nichts im Sinne der unendlichen Möglichkeiten bedeuten und bietet darin wie ein gähnender Abgrund oder ein (metaphorisches) schwarzes Loch die Gefahr des Falles. Satan fällt ins Chaos, in die Hölle, die ihn wie ein Luftzug einsaugt, weil er Gottes Ordnung widerstrebt. Es scheint ja beinahe notwendig, dass Satan fällt, da der Abgrund in ihn hineinsieht. Das Chaos liegt nicht nur am Grund der ewigen Nacht, sondern in allen Dingen, die nicht von Gottes Geist durchdrungen sind. Folgt man der Schöpfungsgeschichte, so scheint mit dem Fall des Menschen das Chaos nur zuzunehmen. Es kommt daher nicht von ungefähr, dass man den quantenmechanischen Indeterminismus mit dem Freien Willen assoziiert hat, der sich an keine Regeln zu halten hat. Die anfängliche Spaltung zwischen Geist und Körper, dem Un-Bestimmten und dem Zu-Bestimmenden, ist der Beginn des Chaos und zugleich Beginn der Ordnung „in potentia“, die Gleiches zu Gleichem gesellt. Sie ist der Beginn der Möglichkeit zur Rückkehr von Einheit im scheinbar exponentiell auseinanderdriftenden Chaos, eben weil sie die Möglichkeit der Distanzierung aufweist.

Die Wissenschaft kennt fast in all ihren Bereichen die Idee der Expansion. In der Astrophysik spricht man von der Expansion des Universums bzw. des Raumes, in der Politikwissenschaft von Expansionsbestreben und auch in der Wirtschaft ist der Begriff kein Fremdwort. Expansion und Chaos treffen aber auf besondere Weise im Begriff der Entropie aufeinander, die als physikalische Größe die Gesamtbewegung aller Teile im Universum beschreibt. Sie wird gemeinhin als das Maß für die Irreversibilität von Wärmeprozessen bezeichnet und ist fest im zweiten Hauptsatz der Thermodynamik verankert. Oft verwechselt man sie mit einer Zunahme an Unordnung. Je nach Interpretation ließe sich jedoch auch genau das Gegenteil behaupten. Die Entropie steigt, wann immer ein Prozess unumkehrbar geworden und damit unwiderruflich vorbei ist. Das klassische Beispiel sind die schmelzenden Eiswürfel im Cocktailglas, die sich, einmal geschmolzen, nicht wieder ohne weiteres herstellen lassen. Es scheint ganz und gar unmöglich, dass sich der Ausgangszustand exakt wiederherstellen lässt. Man hat an die Vorstellung der Entropie aus diesem Grund den Verlauf der Zeit geknüpft, die sich ebenfalls beständig nach vorne bewegt und niemals umkehrbar scheint. Der Pfeil der Zeit zeigt also deshalb nach vorne, weil die Bewegungen der Teilchen und Dinge diese selbst immer weiter von ihrem Ursprung entfernen. Sie expandieren, bis ein thermodynamisches

Gleichgewicht hergestellt ist.

Der schottische Wissenschaftler James Clerk Maxwell hat diesen Befund der unbedingten Entropiezunahme in seinem berühmten Gedankenexperiment von 1872 angezweifelt. In einem abgeschlossenen System aus zwei Gasen unterschiedlicher Temperatur stellt sich nach und nach eine gleichmäßige Mischtemperatur ein. Während das wärmere Gas abkühlt, wird das kältere Gas wärmer und so vermischen sich die Wärmeenergien. Maxwell hatte nun als Erster entdeckt, dass die Temperatur eines Stoffes unmittelbar von der Geschwindigkeit abhängt, mit der sich die einzelnen Stoffteilchen bewegen. In seinem Gedankenexperiment stellte er sich nun vor, dass ein Dämon die Tür in einer Scheidewand in der Mitte des Systems kontrollierte. Nachdem sich die Gase vermischt hatten, konnte der Dämon die Gase wieder trennen, indem er Teilchen mit hoher Geschwindigkeit in die eine und Teilchen mit niedriger in die andere Richtung durch die Tür ließ. So, behauptete Maxwell, ließe sich die Ausgangssituation wiederherstellen und der Prozess der Vermischung wäre noch einmal möglich.² Der Dämon hatte nämlich einen irreversiblen Prozess in einen reversiblen verwandelt. Maxwells Experiment hat in der Folge, wie zu erwarten, Wellen des Erstaunens ausgelöst und viele Wissenschaftler mit der Suche nach einer Lösung beschäftigt. Man ging davon aus, dass er in seinen Überlegungen einen Fehler gemacht hatte, denn die Fehlerlosigkeit seines Vorschlags hätte bedeutet, dass der zweite Hauptsatz der Thermodynamik in Gefahr, auf dem so viele physikalische Überlegungen ruhten, und sogar ein Perpetuum mobile zweiter Art theoretisch möglich war. Erst 1929 schien Leó Szilárd den Fehler gefunden zu haben: Der Dämon, der von Maxwell selbst als endliches Wesen beschrieben worden war, musste die Geschwindigkeiten der einzelnen Teilchen irgendwie messen und die ermittelten Daten speichern. Szilárd behauptete nun, dass der Speicher des Dämonen nach logischem Ermessen irgendwann voll sein und dieser somit beginnen müsse, Informationen zu löschen. Dieser Prozess aber koste Energie und sei somit ohne eine Energiezufuhr von Außen nicht durchführbar. Ergo: Es bleibt düster – die Zeit läuft weiter nur in die eine Richtung voran und das Universum wird schließlich den Wärmetod sterben, oder im toten Raum enden, wenn man die Idee der räumlichen Expansion bedient. Was aber, wenn auch Szilárd einen Fehler gemacht hat?

Der Physiker Rolf Landauer hatte den Überlegungen Szilárds entgegengehalten, dass die Messungen der Teilchengeschwindigkeiten in reversiblen Prozessen durchgeführt werden konnten. Wenn dies jedoch möglich ist, dann müssen die Messungen mit keiner Entropiezunahme bezahlt werden. Die zweite Annahme von Szilárd aber lässt sich durch einfaches Nachdenken ebenso rasch entkräften. Wozu sollte der Dämon die Informationen über die jeweiligen Messungen speichern müssen? Wie sich herausstellt, gibt es auf diese Frage keine vernünftige Antwort. Der Dämon braucht allein eine Geisteshaltung, die ihm erlaubt die Partikel zu ordnen. Diese Geisteshaltung setzt sich aus einer endlichen Anzahl von Regeln zusammen (im mathematischen Sinne folglich aus einem Set von Regeln), welche die Ausgangsbedingungen erfüllen. Die Lösung des Gedankenexperiments von Maxwell ergibt sich im weitesten Sinne also aus der Dichotomie zwischen Geist und Körper. Das Chaos, in dem nichts als Chaos existiert und in dem Ungleiches aufeinander trifft und nichts als das an Ort und Stelle bleibt, was es ist, wird allein durch den Geist und seine zur Ordnung bestimmten Regeln bezwungen. Der Geist teilt die Dinge der Welt in Paare oder Gruppen, er (unter-)scheidet sie von einander und ordnet dadurch wie Gott zu Beginn die Welt. Und die Physik weiß sehr genau, dass alles, was geordnet ist, eine

2 Dies ist freilich nur möglich, sofern die einzelnen Teilchen ihre Geschwindigkeit auch nach der Vermischung noch beibehalten. Es lässt sich jedoch leicht vorstellen, dass die Teilchen im Prozess aneinander stoßen und somit ihre Geschwindigkeit und Richtung ändern. Liegt hier der Fehler in Maxwells Gedankenexperiment? Da die Struktur der Welt aber bislang nur zu einem sehr geringen Prozentanteil erforscht ist, lässt sich nicht sagen, wie sie im Quantenbereich exakt aussieht. Es bleibt daher offen, ob in diesen kleinsten Größenordnungen nicht wieder klare Grenzen gezogen werden können und Maxwells Experiment damit im Prinzip möglich bleibt....

größere Kraft besitzt, ein größeres Potential. Ordnung schafft aber nur der Geist und er schafft es nur durch Trennung. Wie die Geisteshaltung des Maxwell'schen Dämon genau zu beschreiben ist, stellt sich also als die wahre Frage zum Weg einer Lösung dieses Rätsels heraus. Sie ist eine Aufgabe der Physik von morgen. In dieser Richtung liegt der Beginn vom Ende des Chaos.