

## Chaos

Stefan Lobenhofer

Wissenschaftliche Relevanz besitzt der Ausdruck „Chaos“ vor allem in der Antike und in der modernen Chaostheorie. Während er in der antiken Mythologie und Philosophie im Rahmen von Kosmogonien und Kosmologien die Frage beantworten sollte, woraus der wohlgeordnete Kosmos entstanden ist, änderte sich die Bedeutung von „Chaos“ in der Moderne deutlich. In den vor allem naturwissenschaftlichen und mathematischen Theorien wird Chaos nicht mehr als vollkommene Unordnung verstanden, sondern als Unvorhersagbarkeit von Prozessen. Diese Unvorhersagbarkeit bedeutet jedoch gerade nicht, dass chaotische Ereignisse nicht im Rahmen der grundlegenden Konzepte von Kausalität und Determiniertheit stattfinden, sondern dass die kleinste Veränderung in den Ausgangsdaten zu unvorhersagbaren Änderungen im weiteren Prozessverlauf führt – weshalb man auch von deterministischem Chaos spricht.

### Zitations- und Lizenzhinweis

Lobenhofer, Stefan (2022): Chaos [deutschsprachige Fassung]. In: Kirchhoff, Thomas (Hg.): Online Encyclopedia Philosophy of Nature / Online Lexikon Naturphilosophie. ISSN 2629-8821. doi: [10.11588/oepn.2019.0.68092](https://doi.org/10.11588/oepn.2019.0.68092).

Dieses Werk ist unter der Creative Commons-Lizenz 4.0 (CC BY-ND 4.0) veröffentlicht.

„Chaos“ ist einer jener wissenschaftlich relevanten Ausdrücke, die ihren Weg auch in die Alltagssprache gefunden haben. Dort wird unter „Chaos“ üblicherweise und in einem allgemeinen Sinn Unordnung oder Durcheinander verstanden. Wie so oft ist es auch hier der Fall, dass es zwar eine lose semantische Verbindung zum wissenschaftlichen Gebrauch des Ausdrucks gibt, die Differenzen zwischen Alltags- und Fachbedeutung aber deutlich zu sehen sind. Die wichtigsten Wissenschaftsepochen für das Chaos sind die Antike und die Moderne. Entsprechend liegt der Fokus im Folgenden auf diesen Epochen, um den Gehalt des Ausdrucks „Chaos“ vor dem Hintergrund des alltäglichen Verständnisses darzulegen. Während in der antiken Mythologie und Philosophie das Chaos als Gegensatz zur kosmischen Ordnung verstanden wird, liegt das moderne Verständnis von Chaos, im Sinne der Chaostheorie, explizit im Rahmen der „natürlichen Ordnung“, nämlich kausaler und deterministischer Erklärungsansätze, so wie es zum Beispiel der Buchtitel „Chaos. Bausteine der Ordnung“ (Peitgen et al. 1998) anzeigt.

### 1. Antike: Aus dem Chaos entsteht der Kosmos

In der Kosmogonie der griechischen Mythologie spielt der Ausdruck „Chaos“ vor allem bei Hesiod (um 700 v. Chr.) eine entscheidende Rolle. Er lässt sich dort als

Antagonist des Ausdrucks „Kosmos“ verstehen, der ein geordnetes und schönes (Welt-)Ganzes bedeutet. In Hesiods *Theogonie* steht das Chaos am Anfang der Weltentstehung; ihm folgen Gaia (Erde) und Eros (begehrende Liebe) und in der Folge die weiteren Götter sowie der gesamte Kosmos (Hesiod: *Theogonie*, Verse 116–153). Das Chaos wird hier oft gedeutet als „gähnender Abgrund“, als das, was da war, bevor Himmel und Erde sowie alles darauf, darin und dazwischen zu entstehen begann; in der Etymologie wird *chaos* mit dem Verb *chaskein* (gähnen, klaffen) und dem Adjektiv *chaunos* (auseinanderklaffen; schwammig, löchrig, locker) in Verbindung gebracht (zur schwierigen Semantik von „Chaos“ vgl. Börtzler 1930: 254 et passim; Frisk 1970: 1073).

Entsprechungen hat das „Chaos“ zum Beispiel im „Ginnungagap“ aus der nordischen sowie im „Tohuwabohu“ aus der jüdischen Mythologie, womit jeweils der eigentlich unbestimmbare und unsagbare Urgrund des Kosmos dennoch sprachlich-bildhaft eingefangen werden soll. Der „Ginnungagap“ kommt in der dritten Strophe des ersten Lieds der Lieder-Edda, der *Völuspá* vor: „Urzeit war es, als Ymir lebte; es gab weder Sand noch Meer, noch kühle Wogen, Erde existierte nicht noch Himmel darüber, den Urschlund nur gab es [gap var ginnunga], aber nirgends Gras“ (Simek 2008: 67 f.). Das hebräische „Tohuwabohu“ kommt, auch hier ganz am Anfang, im

zweiten Satz des ersten Buch Mose vor: „Am Anfang schuf Gott Himmel und Erde. Und die Erde war wüst und leer [tohu wa-bohu]“ (Gen 1.1–2, zitiert nach EKD 2017). Buber (1954: 9) übersetzt mit „Irrsal und Wirrsal“. Eine emotionale Färbung, „eine Vorstellung von Furcht und Schrecken“ (Jammer 1960: 7), die damit verbunden ist, ist wohl nicht zufällig.

Im Anschluss an die Mythologie (zur Rolle des Chaos in weiteren Mythen siehe Paslack 1996a) entwickelt sich in der antiken Philosophie eine Diskussion, die zwar nicht mehr direkt auf den Ausdruck „Chaos“ zurückgreift, die Problematik des Urgrunds des Kosmos aber aufnimmt und naturphilosophisch wendet. Die erste Station in diesem Prozess, den man gerne, oft aber simplifizierend, als Übergang vom Mythos zum Logos beschreibt, bildet die Vorsokratik, in der sich divergente Denker und Theorien in der Beantwortung der Frage nach dem Urgrund Konkurrenz machen und dabei neue, philosophisch relevante und wirkmächtige Begriffe einführen, die zwar keine phonetische, aber eine semantische Verwandtschaft zum Chaos aufweisen. Ein wichtiges Beispiel hierfür ist der Ausdruck *archê*, der eine hohe Bedeutungsvarianz besitzt. In den meisten Übersetzungsvorschlägen wird die Trias „Prinzip“, „Anfang“, „Herrschaft“ genannt. Mit dem Ausdruck *archê* ist in der Vorsokratik die Frage nach dem gestellt, das allem, was es gibt, als Prinzip zugrunde liegt, anders formuliert: die Frage nach dem, was der Anfang von allem ist und deswegen über alles andere „herrscht“. Die Antworten auf diese Frage fallen unterschiedlich aus.

Die sogenannten Stoffdenker bestimmen *archê* als eines bis alle der später durch Empedokles (um 495–um 435 v. Chr.) kanonisierten vier Elemente Feuer, Wasser, Erde und Luft. Anaximander (um 610–nach 547 v. Chr.) erreicht eine höhere Abstraktionsstufe, indem er das Unbestimmte (*apeiron*) als Prinzip benennt. Die Atomisten gehen in ihrer sehr modern erscheinenden Theorie davon aus, dass es nur den leeren Raum und unteilbare (*atomos*) Teile gibt, aus denen alles, was es gibt, zusammengesetzt ist. (Zur Vorsokratik vgl. Rapp 2007, insbesondere zum *apeiron*, vgl. Solmsen 1949.)

In Platons (428/427–348/347 v. Chr.) *Timaios*, dem Hauptwerk der platonischen Kosmologie, findet „Chaos“ seine Entsprechung im griechischen Ausdruck *chôra*, der unter anderem interpretiert wird als „gestaltloser Raum (*chôra*)“, in dem sich stoffliche Spuren (*ichnê*) der Elemente in ungeordneter Bewegung befinden (Tim[aios] 53a–b)“

(Mesch 2017: 220). Dass es sich bei der platonischen *chôra* aber nicht um eine Variation der atomistischen Interpretation des Weltursprungs handelt, wird durch Platon bzw. Timaios selbst deutlich gemacht: Er bezeichnet die entsprechende Untersuchung als den Versuch, „eine schwierige und dunkle Form durch Worte zu verdeutlichen“; am passendsten ist demnach die Bestimmung der *chôra* als Amme, „die alles Werden in sich aufnimmt“ (Timaios 49a). (Zum Zusammenhang von Hesiod und Platon siehe vor allem Pender 2010 und Sedley 2010.) Erst durch den Demiurgen, den Weltbildner, der sich bei der Welterschaffung an den (platonischen) Ideen als dem ewig Seienden orientiert, entsteht der sich stets im Werden befindende Kosmos. Hier stellt *chôra* ein Drittes dar, das zwischen dem Seienden als Vorbild und dem Werdenden als Abbild rangiert und in anderen Interpretationen als „ungeordneter Stoff“ erst die materielle, jedoch unbestimmte Grundlage der Welterschaffung bildet. (Diesbezüglich wird eine nicht unumstrittene Verbindungslinie zum aristotelischen Konzept der *prima materia* konstatiert, siehe Strobach 2011: 294.)

Im Rahmen seiner Untersuchung des Ortsbegriffs in der *Physik* konkretisiert und problematisiert Aristoteles (384–322 v. Chr.) die Interpretation des hesiod’schen Chaos als „leeren Raum“ (Physik IV 1 208b27–209a2; vgl. Jammer 1960: 6–26). Er versteht Chaos als etwas, das unabhängig von den Körpern existiert und ohne das wiederum keine wahrnehmbaren Körper existieren können. „Chaos“ wird damit im Rahmen einer explizit physikalischen Untersuchung eingeführt, ist dem mythologischen Verständnis nun sehr weit entwachsen und dient bei Aristoteles vor allem zur Auseinandersetzung mit den Atomisten, die die Existenz des leeren Raums behaupten. Für Aristoteles widerspricht diese Annahme einigen Prinzipien seiner physikalischen Theorie (z.B. der Annahme „natürlicher Bewegungen“ der „einfachen Körper“, nämlich Feuer, Wasser, Erde und Luft, nach oben oder nach unten) sowie seiner teleologischen Grundauffassung der Natur. Aber auch Aristoteles entwickelt – nun stark metaphysische – Konzepte, die man als Antworten auf die vorsokratische Frage nach dem Ursprung von allem verstehen kann: Zum einen ist die *prima materia* als die unbestimmte, formlose, erste Materie als Bedingung des Seienden zu nennen (Metaphysik VII 3, 1029a20 f.; zur kontroversen Interpretation des Begriffs siehe Detel 2009: 276), zum anderen der „unbewegte Beweger“, ein Grundbestandteil der aristotelischen „Theologie“, die er

aufgrund physikalischer Überlegungen entwickelt – „Alles Bewegende wird von etwas bewegt“ (Metaphysik XII 8, 1073a26) – und auf diese Weise die Frage nach dem Urgrund von allem beantwortet (ebd., 1069a15–1076a5).

Das Chaos hat seine Wirkung auch auf die hellenistischen Philosophen gehabt. So berichtet der antike Philosophiehistoriker Diogenes Laertius (im 3. Jahrhundert n. Chr.), dass Epikur (um 341–271/270 v. Chr.) sich der Philosophie zugewandt hat, weil ihm sein Lehrer das Chaos bei Hesiod nicht erklären konnte (Diogenes Laertius X, 2; siehe auch Karafyllis/Lobenhofer 2020: 5). Epikur entwickelte die Atomtheorie seiner vorsokratischen Ahnen Leukipp und Demokrit weiter, um die Prinzipienfrage zu beantworten. In der Stoa gilt das Feuer als das Grundelement alles Seienden, dessen *archê* (Ursprung) aber wiederum als *hylê* (Materie) und *theos* (Gott) bezeichnet wird (Nickel 2008: 289, 262; Arnim: SVF I 98). Der Gottesbegriff ist bei den Stoikern stark vernunftbasiert und wird auch mit dem wirkmächtigen *logos spermatikos* („vernunfttragende Keimkraft“) identifiziert (Nickel 2008: 285, 258; Arnim: SVF I 102), der im Feuchten verweilt und dort alles Weitere „erzeugt“ (*apogenesthai*). Es ist möglich, dass der Gründer der Stoa, Zenon von Kition (333/332–262/261 v. Chr.), in diesem Kontext auf Hesiod Bezug nimmt, wenn er das hesiod'sche *chaos* mit dem Verb *cheesthai* (sich ergießen; ausgegossen werden) in Verbindung bringt (Arnim: SVF I 103). (Ausführlicher zur stoischen Naturphilosophie und Kosmologie siehe White 2003.)

Eine eindeutige Bestimmung des antiken Chaosbegriffs ist nicht möglich: Das Urteil von Frisk (1979: 1073), dass sich nicht mit Sicherheit entscheiden lasse, welche Vorstellungen Hesiod und seine Vorgänger innerhalb der mythologischen Kosmogonie mit *chaos* verbunden haben, lässt sich mit guten Gründen auf Hesiods philosophische Nachfolger bis in die hellenistischen Schulen hinein ausweiten. Man kann aber festhalten, dass die Deutungsversuche zwischen einem mythologisch motivierten Anschaulich-Machen des bedrohlichen Urgrunds als „Kluft“ und „Abgrund“ und den sich daraus entwickelnden, naturphilosophisch so wichtigen Konzepten des Prinzips, des Raumes und/oder des Stoffes im Rahmen philosophischer Kosmologien rangieren. (Zum antiken Chaosbegriff generell siehe Karafyllis/Lobenhofer 2020; Paslack 1996b.)

## 2. Mittelalter: Schöpfung aus dem Nichts

In der Antike wurde versucht, die Entstehung des Kosmos mit der Prinzipienfrage zu beantworten: Was war da, bevor der Kosmos da war? Die Antworten fallen unterschiedlich aus; der Ausdruck „Chaos“ steht jedoch in der Mythologie und auch noch in der Philosophie für den Ausgangspunkt des Sprache gewordenen Versuchs, diese Frage spekulativ in den Griff zu bekommen. Gemeinsam ist den antiken Denkern der Grundsatz, dass aus nichts auch nichts entstehen kann (*nihil ex nihilo fit*) (siehe z.B. Aristoteles: Physik I 4, 187a28–29). Es war ja gerade diese Überzeugung, die zu den verschiedenen Konzepten des Chaos, und in der Folge der *chôra* oder der *prima materia* geführt haben. Im Mittelalter nimmt die Bedeutung des Chaosbegriffs auch deswegen ab, weil der Idee des *nihil ex nihilo fit* jene der Schöpfung aus dem Nichts (*creatio ex nihilo*) entgegengesetzt wird. Sie wird schon von frühchristlichen Denkern wie Tatian (gestorben um 170 n. Chr.) und Theophilus von Antiochien (gestorben um 183 n. Chr.) gegen die antiken Kosmologien und Kosmogonien verteidigt (Tatian: Oratio ad Graecos 31–34; Theophilus: Ad Autolyicum II, 10; explizit zur Zurückweisung von Hesiods Chaos siehe ebd.: II, 12).

Für das Hochmittelalter lässt sich anhand dessen herausragenden Vertretern, nämlich Albertus Magnus (um 1200–1280) und sein Schüler Thomas von Aquin (um 1225–1274), recht gut zeigen, dass sich unter dem Einfluss des Christentums philosophische Antworten auf die Ursprungsfrage prinzipiell ändern. Auch hier ist der Kosmos nicht aus etwas entstanden, sondern von einem personalen Gott aus dem Nichts erschaffen. Dass das antike Verständnis von „Chaos“ im Mittelalter an Bedeutung verliert, wird auch durch die Ablehnung von korrespondierenden Konzepten, die mit diesem Verständnis zusammenhängen, deutlich: Die „formlose Materie“ als das, was vor dem Kosmos da war, wird von Thomas von Aquin ausdrücklich abgelehnt (Summa theologica I, 66, 1; vgl. Kurdzialek 1971: 981). Bei aller Nähe zu Aristoteles, die die scholastische Philosophie des Mittelalters auszeichnet, zeigt sich in diesem Kontext der große Einfluss des Christentums auch in Albertus Magnus' Behandlung der Idee des unbewegten Bewegers der aristotelischen Physik, und zwar insofern als „er [Albertus, S.L.] zwar manchmal Gott und den unbewegten Beweger gleichzusetzen scheint, dann aber doch einen

deutlichen Unterschied macht zwischen diesem unbewegten Beweger als erster Ursache einer Gattung von Bewegungsursachen und Gott als einer einmaligen ersten Ursache, der die Welt aus dem Nichts entstehen ließ“ (Hoßfeld 1989: 80).

### 3. Neuzeit: Mystik, geschöpftes Chaos und tanzende Sterne

In der Neuzeit erhält die Idee der *creatio ex nihilo* unter Reaktivierung antiken Gedankenguts erneut Konkurrenz. Hervorzuheben sind hier Paracelsus und Jakob Böhme, die beide der Mystik nahestehen. Paracelsus (1493/1494–1541) wendet sich vom christlichen Schöpfungsprinzip (*creatio ex nihilo*) ab und knüpft an die Antike an: „Die ‘prima materia’, die auch mal ‘Iliaster’ oder ‘Chaos’ genannt wird, ist nicht geschaffen, sondern ewig“ (Letter 2000: 127). Aus diesem Vorgefundenen wird die Welt nach Paracelsus nicht kreiert, sondern separiert – und zwar nicht nur durch den einen Gott, sondern, quasi vorbereitend, durch einen „Unterschöpfer“ (ebd.: 128). Der flämische Universalgelehrte und Paracelsus-Anhänger Johan Baptista van Helmont (1580–1644), der sich vor allem der Medizin und der Chemie zugewandt hat, ist der Erfinder des Ausdrucks „Gas“, mit dem er sich explizit auf das „antike Chaos“ bezogen hat: „Van Helmont’s ‘new term of Gas’ is not unlikely to have been derived from ‘chaos’. He himself indicated as much, saying of gas that is was not far removed from the ‘chaos of the ancients’.“ (Pagel 1982: 64; ausführlicher zum van Helmont’schen Verständnis von Gas siehe ebd.: 60–70)

Jakob Böhme (1575–1624) bringt das Chaos in Verbindung mit dem, was er „Mysterium Magnum“ nennt: „Das Mysterium Magnum ist das Chaos, daraus Licht und Finsternis als das Fundamentum des Himmels und der Höllen von Ewigkeit geflossen und offenbar worden ist“ (Böhme: Clavis VI, 22). Die Entstehung der Welt begreift Böhme als „göttliche Selbstentäußerung“ (McGinn 2017: 235), an deren Anfang das Mysterium Magnum steht, das zwei Wesen offenbart: zum einen die „Einheit Gottes als Göttliche Krafft“, zum anderen den „schiedlichen Willen“ (Böhme: Clavis VI, 21), der dem Wunsch entspricht, „Eigenschaften und Unterscheidungen zu schaffen“ (McGinn 2017: 233 f.). Bei Böhme und Paracelsus zeigt sich, dass die Versuche einer „kosmologischen Depotenzenierung [des Chaosbegriffs, S.L.] bei Albertus Magnus und Thomas von Aquin und die

Ersetzung durch eine theologische Weltordnung [nicht] verfangen“ (Hülsewiesche 1992: 275).

Einen neuen Versuch der theologischen Einhegung des Chaosbegriffs nimmt John Ray (1627–1705) vor. Der „Vater der englischen Botanik“, Theologe und Altphilologe hat sich in seinem 1693 erschienenen Werk „Three Physico-Theological Discourses“ mit dem beschäftigt, was man auch als „kosmologischen Gottesbeweis“ kennt: Das ‘argument from design’ versucht, die Existenz Gottes aus der anscheinenden Planmäßigkeit und aus der Komplexität, die der Kosmos offenbart, zu erweisen – jemand muss hinter dem großen Ganzen als „Designer“ stecken. Die erste der drei Abhandlungen des genannten Werkes trägt den Titel „Of primitive chaos and creation“. Darin setzt sich Ray mit den „heidnischen Denckern“, unter ihnen Hesiod, auseinander und kommt zu folgendem Schluss: „That which I chiefly dislike in this opinion of theirs, is, that they make no mention of the Creation of this *Chaos*, but seem to look upon it as self-existent and improduced“ (Ray [1693] 1713: 4). Ray vereint die Annahme des Chaos mit theologischen Grundsätzen, indem er es als gottgeschaffen und als Ausgangspunkt des stetig komplexer werdenden Schöpfungsprozesses versteht. Die Idee, dass das Chaos immer schon „in Ordnung“ ist, nimmt auch Immanuel Kant (1724–1804) auf, allerdings weist er eine theologische Erklärung zurück: „Die Existenz Gottes reduziert er [Kant, S.L.] im Sinne des Deismus von simplifizierender religiöser Teleologie auf das Prinzip grundsätzlicher Gesetzmäßigkeit“ (Irrlitz 2015: 80). In der Vorrede seiner frühen, vorkritischen Schrift *Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels* von 1755 schreibt Kant: „[E]s ist ein Gott eben deswegen, weil die Natur auch selbst im Chaos nicht anders als regelmäßig und ordentlich verfahren kann“ (Kant [1755] 1968: 228). In naturphilosophischer Hinsicht wird im 18. Jahrhundert also das Chaos „in Ordnung“ gebracht. Wenn auch nicht argumentativ an Kant anschließend, wird diese Umwendung des Chaos durch die moderne Naturwissenschaft und Mathematik weitergeführt. In der Zeit unmittelbar nach Kant entfernt sich der Gebrauch des Chaosbegriffs jedoch zunächst von der Naturphilosophie.

Bei Friedrich Wilhelm Joseph Schelling (1775–1854) erhält der Chaosbegriff eine idealistische Wendung, die in einer Definition kulminiert, die Chaos als „eine ‘metaphysische Einheit geistiger Potenzen’, d.h. das ‘sich selbst Gleiche’ vor dem Auseinandertreten in

verschieden Seiende“ bestimmt (Dierse/Kuhlen 1971: 982, mit Zitaten aus Schelling 1857: 600; zu Schellings wichtigem Potenzbegriff siehe Gloy 2012). Bei Friedrich Wilhelm Nietzsche (1844–1900) tritt dann die Verbindung von Chaos mit Schaffenskraft bzw. Macht in den Vordergrund. Bekannt ist etwa Zarathustras Ausspruch: „Ich sage euch: man muss noch Chaos in sich haben, um einen tanzenden Stern gebären zu können“ (Nietzsche [1883–1885] 1999: 19 = Zarathustra I, Vorrede 5.). Zu Nietzsches Lebzeiten wird allerdings schon der Grundstein für die zweite herausragende Epoche des Chaos gelegt.

#### 4. Moderne: deterministisches Chaos

Während der antike Chaosbegriff noch eher mit dem heutigen Alltagsgebrauch – Chaos als Zustand der Unordnung oder richtiger: Nicht-Ordnung – zusammenpasst, wird hinsichtlich der modernen Chaostheorie unter anderen von Klaus Mainzer die Bedeutungslücke zwischen alltäglichem und wissenschaftlichem Verständnis verdeutlicht: „Der Chaosbegriff ist zwar vordergründig (meist aufgrund von Mißverständnissen in der Öffentlichkeit) schick. Aber das eigentliche fachübergreifende Forschungsproblem ist die nichtlineare Dynamik komplexer Systeme in Natur und Gesellschaft, die schwer zu beherrschen ist.“ (Mainzer 1996: 8) Um zu verstehen, was diese „nicht-lineare Dynamik komplexer Systeme“ mit Chaos zu tun hat, was also das Kernthema moderner Chaostheorie ist, muss man bei dem Mathematiker Henri Poincaré (1854–1912) beginnen. Dieser hatte sich im Rahmen einer Preisfrage des schwedischen Königs im Jahre 1888 mit dem sog. Dreikörperproblem beschäftigt, dem Problem der Vorhersage des Bahnverlaufs dreier Körper unter dem Einfluss ihrer gegenseitigen Gravitationsanziehung. Dabei handelt es sich um die mathematische Erfassung und Beschreibung dieses Verlaufs. Während das Verhalten von zwei Körpern zueinander im Rahmen der Kepler’schen Gesetze schon von Isaac Newton (1642–1726) mathematisch beschrieben wurde, erwies sich das entsprechende Vorhaben bezüglich des Verhaltens von drei (und mehr) Körpern zueinander als ungleich komplexer. Poincaré konnte aufzeigen, „dass ein System von drei Körpern unter bestimmten Umständen ein merkwürdiges Verhalten aufweisen kann: In Abhängigkeit von ihren Anfangsbedingungen verlaufen die Bewegungen der Körper sehr verschiedenartig. Bereits minimal kleine Änderungen

der Anfangsbedingungen des Systems führen zu großen Unterschieden in seinen Bewegungsabläufen“ (Jaeger 2015: 359). Wenn ein System mit endlich vielen Freiheitsgraden durch lineare Gleichungen beschrieben wird, kann diese sensitive Abhängigkeit der Abläufe von Anfangswerten nicht dargestellt werden. Die Dynamik chaotischer Systeme ist im Detail also nicht vorhersagbar. Eine weitverbreitete Definition chaotischer Systeme besteht dann darin, diese sensitive Abhängigkeit von Anfangswerten und/oder die Unvorhersagbarkeit des Verlaufs als Definiens anzugeben. Es gibt allerdings im wissenschaftlichen Diskurs keinen Konsens hinsichtlich der Definitionsfrage, da auch der Verlauf nicht-chaotischer Systeme unvorhersagbar sein kann (Werndl 2009: 217). Werndl schlägt deshalb „Vermischung“ als Definiens vor: „Defining chaos via mixing. Intuitively speaking, the fact that a system is mixing means that any bundle of solutions spreads out in phase space like a drop of ink in a glass of water“ (ebd.: 204; siehe zur Definitionsfrage auch den ersten Abschnitt „Defining chaos: determinism, non-linearity and sensitive dependence“ von Bishop 2017).

Nach Poincarés Anfängen dauerte es noch einige Zeit, bis derartige Überlegungen zu einer anerkannten Theorie, der modernen Chaostheorie, entwickelt wurden: „Vermutlich wegen der Komplexität des Problems und [...] des Fehlen[s] leistungsfähiger Computer blieb diese Art von Bewegung, die heute als deterministisches Chaos bezeichnet wird, lange Zeit unerforscht.“ (Haken 2007: 34 f.) Erst einige Jahrzehnte nach Poincaré nahm der Meteorologe Edward N. Lorenz (1917–2008) – wenn auch per Zufall – den Faden wieder auf (Lorenz 1963). Er gilt heute als eine der Gründerfiguren der modernen Chaostheorie. Von Lorenz stammt auch die bis in die Popkultur hinein bekannte Bezeichnung „Schmetterlingseffekt“, die er in seinem Vortrag „Does the flap of a butterfly’s wings in Brazil set off a tornado in Texas?“ (Lorenz 1972) verwendet hat: Das Vorkommen oder Ausbleiben des Flügelschlags eines Schmetterlings kann – so Lorenz’ bildhafte Veranschaulichung – das Entstehen oder Ausbleiben eines Tornados auf der anderen Seite der Erde bestimmen. Chaotische Systeme, wie zum Beispiel das Wetter, sind nicht-lineare dynamische Systeme, die nicht im Voraus berechenbar sind, weil eine Änderung in den Anfangsbedingungen zu beliebig großen Veränderungen ihres Verlaufs führen kann. Dennoch unterliegen diese Systeme, wie lineare Systeme, dem Prinzip der Kausalität und sind somit nicht etwa indeterminiert, sondern

determiniert – insofern stimmt der systemtheoretische Chaosbegriff nicht mit dem Alltagsverständnis von Chaos überein. Anders als in linearen Systemen ist in nicht-linearen Systemen das Verhältnis von Ursache und Wirkung jedoch nicht direkt proportional. Insbesondere können Rückkopplungen zwischen Systemteilen zu chaotischem Verhalten führen (aber nicht jedes System mit einer Rückkoppelung ist ein chaotisches System). Das kann durch das sog. Doppelpendel veranschaulicht werden, bei dem am Ende eines Pendels ein zweites angehängt ist, dessen Aufhängepunkt sich also bewegt. Das Verhalten des Doppelpendels ist chaotisch, da sich seine beiden Teilsysteme in ihren Bewegungen rückkoppeln. Es lässt sich beobachten, dass sich trotz ähnlicher Ausgangsbedingungen („Aufziehen“ des Pendels) die verschiedenen Endzustände des Systems massiv unterscheiden – anders als beim normalen Pendel, das in immer ähnlicher Weise gleichmäßig hin und her schwingt (zum Pendel siehe Eckhardt 2004: 7–23).

Die Bahnen, in die dynamische Systeme über eine bestimmte Zeit hinweg „hineingezogen“ werden, bezeichnet man als Attraktoren. Ein Fixpunkt-Attraktor steht für einen Gleichgewichtszustand, auf den ein lineares System hinausläuft. Ein Chaos-Attraktor zeichnet sich durch irreguläre und nicht-periodische Verhaltensweisen aus, die nicht-linearen Systemen zu eigen sind. Wenn ein Chaos-Attraktor ein sog. Fraktal bildet, spricht man von einem „seltsamen Attraktor“: Fraktale sind geometrische Objekte, die sich dadurch auszeichnen, dass sich die Teile des Objekts und das Gesamtobjekt ähneln (Selbstähnlichkeit). Nach dem Entdecker der Fraktale, dem Mathematiker Benoît Mandelbrot (1924–2010, siehe z.B. Mandelbrot 1987), ist das wohl berühmteste Fraktal, die Mandelbrot-Menge benannt, die auch als „Apfelmännchen“ bekannt ist (vgl. das zweite Kapitel „Klassische Fraktale und Selbstähnlichkeit“ in Peitgen et al. 1992: 81–159). In den seltsamen Attraktoren lässt sich die Regelmäßigkeit erkennen, die auch in chaotischen Prozessen vorhanden ist. Es ist das Eigentümliche des Chaosverständnisses in der modernen Komplexitätsforschung, dass das vormalig vollkommen unbestimmte Chaos mit der modernen Mathematik und Physik zurück in die Ordnung, im Sinne grundlegender Gesetzmäßigkeiten, geholt wurde. (Eine physikalische Einführung in diese Thematik bietet das Kapitel „Nichtlineare Dynamik und Chaos“ in Demtröder 2021: 427–448.)

Resümierend lässt sich zum einen sagen, dass der Ausdruck „Chaos“ am Anfang des Nachdenkens über zahlreiche naturphilosophische Problemfelder, zum Beispiel Raum und Stoff, vor allem am Beginn der abendländischen Philosophiegeschichte steht. Zum anderen ist festzuhalten, dass der Chaosbegriff gemäß der Chaostheorie in anderer Form erneut an Bedeutung gewonnen hat und in diesem Kontext enorm erfolgreich darin ist, sich interdisziplinär auszubreiten, das heißt, dass die Chaostheorie in vielen unterschiedlichen Bereichen angewandt werden kann; immer dann, wenn ein System bzw. bestimmte Aspekte eines Systems mit mathematischen Gleichungen, die bestimmte Eigenschaften aufweisen, beschrieben werden kann bzw. können, kommt es zum Chaos. Im Rahmen der Komplexitätsforschung spielt der Chaosbegriff heute in den verschiedensten Wissenschaftszweigen eine Rolle (Mainzer 2008), zum Beispiel in der Neurologie, der Psychologie, der Ökonomie sowie in sozialen und historischen Wissenschaften (siehe zu letzteren etwa das Buch von Herbst 2004: „Komplexität und Chaos. Grundzüge einer Theorie der Geschichte“). Im Zuge dieser Entwicklung sind auch neue Forschungsfelder entstanden, etwa das der Emergenz und das der Selbstorganisation. Mit diesem Begriff ist die „spontane Entstehung von Ordnung“ angesprochen, „ohne daß externe Anweisungen oder interne Programme diese Ordnung bestimmen“ (Küppers 1996b: 122). Aus einem ungeordneten, chaotischen Zustand entsteht allein durch die mikroskopischen Eigenschaften der beteiligten Elemente/Komponenten eine neu hervortretende makroskopische Ordnung, die sich einer „blinden“ Dynamik verdankt. Nach dieser Sichtweise entsteht aus dem Chaos Ordnung ganz von selbst, ohne ordnende Instanz (Mainzer 1992: 270–275).

Eine spezielle Form der Selbstorganisation, die vermehrt die Aufmerksamkeit der interdisziplinären Forschung erhält, ist das Schwarmverhalten: „Wie ist es möglich, dass eine Menge einfacher Individuen, die jeweils nur mit ihren nächsten Nachbarn in Wechselwirkung stehen, das grandiose, kollektive Verhalten riesiger Schwärme erzeugen“ (Satz 2021: IX).

In dieser starken interdisziplinären Tendenz des Chaosbegriffs liegt jedoch auch der Grund für einen generellen Kritikpunkt, dass nämlich die Komplexitäts- und Chaosforschung so umfassend sei, dass sie für eine wissenschaftliche Theorie zu unspezifisch sei (Jaeger 2015: 362).

## Danksagung

Der Autor bedankt sich beim Herausgeber und bei den Gutachtern für die sehr hilfreichen Hinweise und wichtigen Ergänzungen, die zur Endfassung des vorliegenden Textes beigetragen haben.

## Basisliteratur

- Eckhardt, Bruno 2004: Chaos. Frankfurt/M., Fischer.
- Küppers, Günter (Hg.) 1996a: Chaos und Ordnung. Formen der Selbstorganisation in Natur und Gesellschaft. Stuttgart, Reclam.
- Leiber, Theodor 1996: Kosmos, Kausalität und Chaos. Naturphilosophische, erkenntnistheoretische und wissenschaftstheoretische Perspektiven. Würzburg, Ergon.
- Mainzer, Klaus 2008: Komplexität. Paderborn, Fink.

## Literatur

- Aristoteles: Metaphysik = Aristoteles 1980: Metaphysik. Bücher VII–XIV. Griechisch-deutsch. In der Übersetzung von Hermann Bonitz. Neu bearbeitet, mit Einleitung und Kommentar herausgegeben von Horst Seidl. Hamburg, Meiner.
- Aristoteles: Physik = Aristoteles 1987: Physik. Bücher I–IV. Griechisch-deutsch. Übersetzt, mit einer Einleitung und mit Anmerkungen herausgegeben von Hans Günter Zekl. Hamburg, Meiner.
- Arnim: SVF = Arnim, Hans von (Hg.) 1905: Stoicorum Veterum Fragmenta. Band I: Zeno et Zenonis discipuli. Leipzig, Teubner.
- Bishop, Robert 2017: Chaos. In: Zalta, Edward (Hg.): The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Spring 2017 Edition). <https://plato.stanford.edu/archives/spr2017/entries/chaos/> (zuletzt aufgerufen am 09.01.2022).
- Böhme, Gernot 1989: Jacob Böhme. In: Böhme, Gernot (Hg.): Klassiker der Naturphilosophie. Von den Vorsokratikern bis zur Kopenhagener Schule. München, Beck: 158–170.
- Böhme: Clavis = Böhme, Jacob [1624] 1956: Clavis, oder Schlüssel, das ist eine Erklärung der vornehmsten Punkten und Wörter, welche in diesen Schriften gebraucht werden. In: Böhme, Jacob: Sämtliche Schriften. Neunter Band. Faksimile-Neudruck der Ausgabe von 1730 in elf Bänden, neu herausgegeben von Will-Erich Peuckert. Stuttgart, Frommanns: 75–120.

- Börtzler, Friedrich 1930: Zu den antiken Chaoskoposmogonien. In: Archiv für Religionswissenschaft 28: 253–268.
- Buber, Martin 1954: Die fünf Bücher der Weisung. Verdeutschung von Martin Buber gemeinsam mit Franz Rosenzweig. Köln/Olten, Hegner.
- Cordo, Luciano A. 1989: XAOΣ. Zur Ursprungsvorstellung bei den Griechen. Idstein, Schulz-Kirchner.
- Demtröder, Wolfgang <sup>9</sup>2021: Experimentalphysik I. Mechanik und Wärme. Berlin/Heidelberg, Springer.
- Detel, Wolfgang 2009: Kommentar. In: Aristoteles: Metaphysik. Bücher VII und VIII. Griechisch-deutsch. Aus dem Griechischen von Wolfgang Detel unter Mitarbeit von Julia Wildberger. Kommentar von Wolfgang Detel. Frankfurt/M., Suhrkamp: 141–779.
- Dierse, Ulrich/Kuhlen, Rainer 1971: Chaos, II. In: Ritter, Joachim (Hg.): Historisches Wörterbuch der Philosophie. Band 1. Basel/Stuttgart, Schwabe: Sp. 981–984.
- Diogenes Laertius 2008: Leben und Meinungen berühmter Philosophen. In der Übersetzung von Otto Apelt unter Mitarbeit von Hans Günter Zekl neu herausgegeben sowie mit Einleitung und Anmerkungen versehen von Klaus Reich. Zweiter Band. Bücher VII–X. Hamburg, Meiner.
- Eckhardt, Bruno 2004: Chaos. Frankfurt/M., Fischer.
- EKD = Evangelische Kirche in Deutschland (Hg.) 2017: Die Bibel nach Martin Luthers Übersetzung. Lutherbibel revidiert 2017 mit Apokryphen. Stuttgart, Deutsche Bibelgesellschaft.
- Frisk, Hjalmar 1970: Griechisches Etymologisches Wörterbuch. Band II. Heidelberg, Winter.
- Gaede, Friedrich 2000: Chaosbegriff und Weltende. Zur Aktualität Jacob Böhmes. In: Morgen-Glantz. Zeitschrift der Christian Knorr von Rosenroth Gesellschaft 10: 15–36.
- Gloy, Karen 2012: Schellings Naturphilosophie. In: Hiltischer, Reinhard/Klingner, Stefan (Hg.): Friedrich Wilhelm Joseph Schelling. Darmstadt, Wissenschaftliche Buchgesellschaft: 85–102.
- Haken, Hermann <sup>2</sup>2007: Die Selbstorganisation komplexer Systeme – Ergebnisse aus der Werkstatt der Chaostheorie. Wien, Picus.
- Herbst, Ludolf 2004: Komplexität und Chaos. Grundzüge einer Theorie der Geschichte. München, Beck.
- Hesiod: Theogonie = Hesiod 1999: Theogonie. Griechisch-deutsch. Übersetzt und herausgegeben von Otto Schönberger. Stuttgart, Reclam.

- Höfele, Andreas/Levin, Christoph/Müller, Reinhard/Quiring, Björn 2020: Chaos from the Ancient World to Early Modernity. Formations of the Formless. Berlin/Boston, de Gruyter.
- Hoßfeld, Paul 1989: Albertus Magnus. In: Böhme, Gernot (Hg.): Klassiker der Naturphilosophie. Von den Vorsokratikern bis zur Kopenhagener Schule. München, Beck: 74–85.
- Hülsewiesche, Reinhold 1992: Chaos – Zur Reanimation eines uralten Begriffes. In: Archiv für Begriffsgeschichte 35: 274–280.
- Irrlitz, Gerd 2015: Kant-Handbuch. Leben und Werk. 3., überarbeitete und ergänzte Auflage. Stuttgart, Metzler.
- Jaeger, Lars 2015: Die Naturwissenschaften. Eine Biographie. Berlin/Heidelberg, Springer.
- Jammer, Max 1960: Das Problem des Raumes. Die Entwicklung der Raumtheorien. Darmstadt, Wissenschaftliche Buchgesellschaft.
- Kant, Immanuel [1755] 1968: Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels. In: Kants Werke. Vorkritische Schriften I. 1747–1756. (Akademie Textausgabe Band I). Berlin/New York, de Gruyter: 215–368.
- Karafyllis, Nicole C./Lobenhofer, Stefan 2020: Kosmos und Universum: Chaos, Logos, Kosmos. In: Kirchhoff, Thomas/Karafyllis, Nicole C./Evers, Dirk/Falkenburg, Brigitte/Gerhard, Myriam/Hartung, Gerald/Hübner, Jürgen/Köchy, Kristian/Krohs, Ulrich/Potthast, Thomas/Schäfer, Otto/Schiemann, Gregor/Schlette, Magnus/Schulz, Reinhard/Vogelsang, Frank (Hg.): Naturphilosophie. Ein Lehr- und Studienbuch. 2., aktualisierte und durchgesehene Auflage. Tübingen, UTB/Mohr Siebeck: 5–18.
- Küppers, Günter (Hg.) 1996a: Chaos und Ordnung. Formen der Selbstorganisation in Natur und Gesellschaft. Stuttgart, Reclam.
- Küppers, Günter 1996b: Selbstorganisation: Selektion durch Schließung. In: Küppers, Günter (Hg.): Chaos und Ordnung. Formen der Selbstorganisation in Natur und Gesellschaft. Stuttgart, Reclam: 122–148.
- Kurzialek, Marian 1971: Chaos, I. In: Ritter, Joachim (Hg.): Historisches Wörterbuch der Philosophie. Band 1. Basel/Stuttgart, Schwabe: Sp. 980–981.
- Leiber, Theodor 1996: Kosmos, Kausalität und Chaos. Naturphilosophische, erkenntnistheoretische und wissenschaftstheoretische Perspektiven. Würzburg, Ergon.
- Letter, Paul 2000: Paracelsus. Leben und Werk. Königsförde, Königsfurt.
- Lorenz, Edward N. 1963: Deterministic nonperiodic flow. In: Journal of the Atmospheric Sciences 20 (2): 130–141.
- Lorenz, Edward N. 1972: Predictability: Does the Flap of a Butterfly's Wings in Brazil Set Off a Tornado in Texas? Vortrag gehalten auf dem 139. Meeting der American Association for the Advancement of Sciences. [https://eapsweb.mit.edu/sites/default/files/Butterfly\\_1972.pdf](https://eapsweb.mit.edu/sites/default/files/Butterfly_1972.pdf) (zuletzt aufgerufen am 09.01.2022).
- Lorenz, Edward N. 1993: The Essence of Chaos. Seattle, University of Washington Press.
- Mainzer, Klaus 1992: Chaos, Selbstorganisation und Symmetrie. Bemerkungen zu drei aktuellen Forschungsprogrammen. In: Selbstorganisation. Jahrbuch für Komplexität in den Natur-, Sozial- und Geisteswissenschaften 3: 259–278.
- Mainzer, Klaus 1996: Kosmos, Kausalität und Chaos – oder wie berechenbar sind Natur und Gesellschaft? In: Leiber, Theodor (Hg.): Kosmos, Kausalität und Chaos. Naturphilosophische, erkenntnistheoretische und wissenschaftstheoretische Perspektiven. Würzburg, Ergon: 7–9.
- Mainzer, Klaus 2008: Komplexität. Paderborn, UTB/Fink.
- Mandelbrot, Benoît B. 1987: Die fraktale Geometrie der Natur. Basel/Boston, Birkhäuser.
- McGinn, Bernard 2017: Die Mystik im Abendland. Band 6/1: Verzweigung. Protestantische Mystik (1500–1650). Freiburg/Basel/Wien, Herder.
- Mesch, Walter <sup>2</sup>2017: Kosmologie. In: Horn, Christoph/Müller, Jörn/Söder, Joachim (Hg.): Platon-Handbuch. Leben – Werk – Wirkung. Stuttgart, Metzler: 217–222.
- Nickel, Rainer (Hg.) 2008: Stoa und Stoiker. Erster Band. Griechisch-lateinisch-deutsch. Auswahl der Fragmente und Zeugnisse, Übersetzung und Erläuterung von Rainer Nickel. Düsseldorf, Artemis & Winkler.
- Nietzsche, Friedrich [1883–1885] 1999: Also sprach Zarathustra. Kritische Studienausgabe Band 4. Herausgegeben von Giorgio Colli und Mazzino Montinari. München, Deutscher Taschenbuchverlag.
- Pagel, Walter 1982: Joan Baptista Van Helmont. Reformer of Science and Medicine. Cambridge, Cambridge University Press.
- Paslack, Rainer 1996a: Sagenhaftes Chaos: Der Ursprung der Welt im Mythos. In: Küppers, Günter (Hg.): Chaos

- und Ordnung. Formen der Selbstorganisation in Natur und Gesellschaft. Stuttgart, Reclam: 11–27.
- Paslack, Rainer 1996b: Vom Mythos zum Logos: Chaos und Selbstorganisation bei den Griechen. In: Küppers, Günter (Hg.): Chaos und Ordnung. Formen der Selbstorganisation in Natur und Gesellschaft. Stuttgart, Reclam: 28–43.
- Peitgen, Heinz-Otto/Jürgen, Hartmut/Saupe, Dietmar 1992: Bausteine des Chaos. Fraktale. Berlin, Springer.
- Peitgen, Heinz-Otto/Jürgen, Hartmut/Saupe, Dietmar 1998: Chaos: Bausteine der Ordnung. Reinbeck, Rowohlt.
- Pender, Elizabeth E. 2010: Chaos corrected: Hesiod in Plato's creation myth. In: Boys-Stones, Georg R./Haubold, Johannes H. (Hg.): Plato and Hesiod. Oxford, Oxford University Press: 219–245.
- Platon: Timaios = Platon 2009: Timaios. Griechisch-deutsch. Übersetzung, Anmerkungen und Nachwort von Thomas Paulsen und Rudolf Rehn. Stuttgart, Reclam.
- Rapp, Christof <sup>2</sup>2007: Vorsokratiker. München, Beck.
- Ray, John [1693] <sup>3</sup>1713: Three Physico-Theological Discourses. London, Innys.
- Reckermann, Alfons 2011: Den Anfang denken. Die Philosophie der Antike in Texten und Darstellung. Band 1: Vom Mythos zur Rhetorik. Hamburg, Meiner.
- Rescher, Nicholas 1998: Complexity. A Philosophical Overview. New Brunswick, Transaction Publishers.
- Satz, Helmut 2021: Heuschrecken haben keinen König. Schwarmbildung und Selbstorganisation in Tierwelt, Physik und Informatik. Weinheim, Wiley-VCH.
- Schelling, Friedrich Wilhelm Joseph 1857: Philosophie der Mythologie (Sämtliche Werke. Zweite Abtheilung. Zweiter Band.) Herausgegeben von K.F.A. Schelling. Stuttgart/Augsburg, Cotta.
- Sedley, David 2010: Hesiod's Theogony and Plato's Timaeus. In: Boys-Stones, Georg R./Haubold, Johannes H. (Hg.): Plato and Hesiod. Oxford, Oxford University Press: 246–258.
- Simek, Rudolf (Hg.) 2008: Die Edda. Aus der Prosa-Edda des Snorri Sturluson und der Lieder-Edda nach der Übersetzung von Arnulf Krause. Ausgewählt und mit einem Nachwort versehen von Rudolf Simek. München, Beck.
- Solmsen, Friedrich 1949: Chaos and apeiron. In: Studi italiani di Filologia classica 24: 235–248.
- Strobach, Niko 2011: Ort. In: Rapp, Christof/Corcilius, Klaus (Hg.): Aristoteles-Handbuch. Leben – Werk – Wirkung. Stuttgart/Weimar, Metzler: 292–297.
- Sturlese, Loris 2017: Albert der Große. In: Holzhey, Helmut (Hg.): Grundriss der Geschichte der Philosophie. Begründet von Friedrich Ueberweg. Die Philosophie des Mittelalters. Band 4: 13. Jahrhundert. Herausgegeben von Alexander Brungs, Vilem Mudroch und Peter Schultheiss. Basel, Schwabe: 861–886.
- Tatian: Oratio ad Graecos = Tatianos 2012: Oratio ad Graecos. Rede an die Griechen. Herausgegeben und neu übersetzt von Jörg Trelenberg. Tübingen, Mohr Siebeck.
- Theophilus: Ad Autolyicum = Theophilus of Antioch 1970: Ad Autolyicum. Greek-English. Text and Translation by Robert M. Grant. Oxford, Clarendon Press.
- Thomas von Aquin 1934: Das Werk der Sechs Tage. Summa theologica I 65–74. (Die deutsche Thomas-Ausgabe. Vollständige, ungekürzte deutsch-lateinische Ausgabe der Summa theologica. Übersetzt von Dominikanern und Benediktinern Deutschlands und Österreichs, Band 5). Salzburg, Pustet.
- Werndl, Charlotte 2009: What are the new implications of chaos for unpredictability? In: British Journal for the Philosophy of Science 60 (1): 195–220.
- White, Michael J. 2003: Stoic natural philosophy (physics and cosmology). In: Inwood, Brad (Hg.): The Cambridge Companion to the Stoics. Cambridge, Cambridge University Press.