

Werner Ebeling

## Über das Gedächtnis des Zufalls – zur Dialektik von Gesetz und Zufall

Vortrag auf dem Fest-Kolloquium der Leibniz-Sozietät zum 80. Geburtstag von Herbert Hörz am 12.09.2013

Das gewählte Thema „Gesetz und Zufall“ hat Herbert Hörz sein ganzes Arbeitsleben lang beschäftigt. Wir beginnen diese Analyse mit Zitaten zu den Auffassungen einiger Vordenker: Leibniz hat bekanntlich in seiner Monadologie die Idee der Theodizee als „*raison determinante*“ entwickelt. Dabei handelt es sich um eine extreme Form der möglichen Auffassungen zu Notwendigkeit und Zufall, das bekannte „*principium rationis sufficientis*“: „Und das des zureichenden Grundes, kraft dessen wir erwägen, dass keine Tatsache als wahr oder existierend gelten kann und keine Aussage als richtig, ohne daß es einen zureichenden Grund dafür gibt, daß es so und nicht anders ist, obwohl uns diese Gründe meist nicht bekannt sein mögen.“ Eine ganz gegensätzliche Position dazu vertritt Hegel, die wir nach Friedrich Engels wie folgt formulieren: „Gegenüber diesen Auffassungen tritt Hegel mit den bisher ganz unerhörten Sätzen, daß das Zufällige einen Grund hat, weil es zufällig ist, und ebensosehr auch keinen Grund hat, weil es zufällig ist; daß das Zufällige notwendig ist, daß die Notwendigkeit sich selbst als Zufälligkeit bestimmt, und daß andererseits diese Zufälligkeit vielmehr die absolute Notwendigkeit ist (aus »Logik« und »Die Wirklichkeit«). Die Naturwissenschaft hat diese Sätze einfach als paradoxe Spielereien, als sich selbst widersprechenden Unsinn links liegenlassen und ist theoretisch verharrt in der Gedankenlosigkeit ..., nach der etwas entweder zufällig ist oder notwendig, aber nicht beides zugleich“.

Der Verfasser dieses Aufsatzes hat Herbert Hörz (im folgenden kurz HH) in den frühen 70er Jahren durch seine Vorträge auf den Kühlungsborner Kolloquien und Seminaren kennen-gelernt. HH war damals noch ein relativ junger, aber sehr überzeugend argumentierender Philosoph, der einen „Draht“ zu den Naturwissenschaftlern hatte und mit Publikationen hervortrat, die einen

großen Einfluß hatten (Banse & Wollgast, 2003). Der Einfluß von HH auf den Verfasser lässt sich dadurch belegen, dass sich Referenzen auf die Arbeiten von HH in allen frühen Büchern, die in Rostock und Berlin verfasst wurden, nachweisen lassen (Ebeling & Feistel, 1982, 1986; Ebeling, Engel & Herzel, 1990, Ebeling, Engel & Feistel, 1990). Einen großen Einfluss auf den Verf. und andere Naturwissenschaftler hatten insbesondere die Arbeiten von HH zum Determinismus und seine klare und überzeugende Argumentation zu Gesetz und Zufall. Aus den frühen Arbeiten von HH, die in seiner Bibliographie aufgeführt werden (Banse & Wollgast, 2003), finden wir zum Thema „Gesetz und Zufall“ Beispiele (die exakten bibliographischen Nachweise sind im Anhang zur Festschrift von 2003 verzeichnet (Banse & Wollgast, 2003)). Hier werden nur Stichworte angegeben:

Gesetz und Zufall bei Engels (1971), Zufall in der modernen Physik (1980), Zufall als philosophisches Problem (1980), Zufall – eine philosophische Untersuchung (1980), Statistische Gesetze in den Gesellschaftswissenschaften (1973), Kausalität und Gesetz (1974), Zakon, Razvitie, Sluchajnost (1978), Ist der Zufall beherschbar (1979, 1980).

Wir wissen, daß sich die Problematik „Gesetz und Zufall“ durch die gesamte Geschichte der Naturwissenschaften zieht. Um den hier vertretenen Standpunkt klarzumachen, beginnen wir mit einer Betrachtung zu Zufall und Gesetz in Zahlenfolgen:

In einer periodischen Folge: 010 010 010 010 010 010 ....oder 3254 3254 3254 3254 3254 .. erkennen wir Regeln und können die Fortsetzung genau vorhersagen. Das gelingt nicht bei chaotischen Folgen wie 001010111010011100101101011... Hier können wir nur raten. Es gibt auch Folgen mit komplizierten Regeln, wie die Quadrate: 2 4 9 16 25 36 49 81 .....oder die Primzahlen 1 3 5 7 11 13 17 ..... Die folgenden Strukturen lassen sich erst nach einer genaueren Analyse einordnen: 141592653589793238462643383279.... oder 718281828459045235 .... oder 14285714285714285714 .... . Der mathematisch geschulte Leser erkennt schnell, daß es sich bei den ersten beiden Folgen um die Nachkommastellen der Kreiszahl pi und der Eulerzahl e handelt, während die dritte Zahl nur 1/7 darstellt und eine periodische Folge ist. Während wir die Fortsetzung der Folgen pi und e auf keine Weise aus Teilbeobachtungen der Folge erschließen können, kennen wir doch einfache Algorithmen, wie:

$$pi = 4*(1 - 1/3 + 1/5 - 1/7 + 1/9 - \dots) \text{ und } e = 2 + 1/2 + 1/6 + 1/24 + 1/120 + \dots$$

wobei die letztere Vorschrift schon 1676 von Leibniz gefunden wurde. Wir haben nun herausgefunden, daß rationale Zahlen wie 1/7 periodische Folgen

liefern und irrationale Zahlen wie  $\pi$  und  $e$  relativ zufällige, d.h. unvorhersagbare Folgen ergeben, für die es aber doch eine mathematische Vorschrift gibt. Hegel und sein Interpret Engels haben also recht: Zufall und Gesetz schließen einander nicht aus.

Wenn im Zufall Ordnung stecken kann, entsteht die Frage, wie kann man das messen? Es gibt zwei wichtige Ansätze zur Lösung dieses Problems:

1. Die Theorie stochastischer Prozesse nach Markov, Chapman, Kolmogorov, u.a.
2. Die Chaostheorie nach Poincare, Sinai, Lorenz, Shilnikov, u.a. ...

Beide Ansätze hängen eng zusammen. Der russische Mathematiker A.A. Markov hat in den Jahren ab 1905 die Grundlagen der stochastischen Theorie in der Mathematik gelegt, die von Chapman und dem Mitglied unserer Akademie Andrey Kolmogorov in genialer Weise ausgebaut wurde. Gleichzeitig haben in der Physik Einstein, Smoluchowski, Fokker und Planck die Theorie der Brownschen Bewegung entwickelt. Beide Richtungen münden heute in das große Gebiet der Theorie stochastischer Prozesse, das in der Sozietät z.B. durch Lutz Schimansky-Geier vertreten wird.

In der stochastischen Theorie wird Zufall als Prozess verstanden und die Kernfrage ist, was kommt nach einem zufälligen Ereignis, mit welcher Wahrscheinlichkeit tritt ein bestimmter der möglichen Nachfolgezustände auf und welche Korrelationen gibt es zum Nachfolger. Die Korrelationen zum Nachfolger machen das Gedächtnis aus. Das moderne Maß für die Korrelationen und das Gedächtnis eines Prozesses stellt einen Zusammenhang zur Informationstheorie her, es ist die relative Entropie als Maß der Gesetzmäßigkeit im Zufall. Dieses Konzept stammt von Claude E. Shannon und wurde in seiner fundamentalen Arbeit zur Sprachtheorie „Prediction and entropy of printed English“ aus dem Jahre 1951 entwickelt, und von Khinchin 1957 in seinem Werk „Mathematical foundation of information theory“ ausgebaut. Den Schlussbaustein dieser Theorie setzten dann unsere Mitglieder Kolmogorov mit einer „Theorie der Nachrichtenübermittlung“ (1957) und dem Aufsatz über „drei Zugänge zu einer quantitativen Theorie der Information“ (1965) und etwas später dann Gregory Chaitin mit den Arbeiten zu „Randomness and Mathematical Proof“. Der Verf. hat diese Konzepte verschiedentlich ausführlich dargestellt (Ebeling & Feistel, 1982; Ebeling, Freund, Schweitzer, 1998). Das trifft auch zu auf den Problemkreis „Gesetz und Zufall in der Physik“ sowie die Themen „Chaos und Selbstorganisation“ (Feistel & Ebeling, 2011).

Wir machen daher nur noch einige Bemerkungen zu den aktuellen Themen: Chaos in den Planetenbewegungen und im Klima. Diese Geschichte beginnt historisch mit einer Preisaufgabe der norwegischen Mathematischen Gesellschaft und führt uns zum „Streitthema Klimaprognose“ unserer heutigen Gesellschaft. Die Aufgabe der norwegischen Gesellschaft bestand darin, einen Beweis für die Stabilität (die Vorhersagbarkeit) der Planetenbewegung zu erbringen. Poincare konnte beweisen, daß alle Lösungen periodisch oder quasi-periodisch sind. Damit war die Aufgabe gelöst, das Planetensystem ist stabil, es ist vorhersagbar! Aber der Beweis war falsch. Poincare, der den Preis erhielt, war zur Korrektur gezwungen und zeigte noch 1890, daß es chaotische, unvorhersagbare Lösungen gibt. Das mündete viel später in das berühmte Theorem von Kolmogorov, Arnold und Moser. Eine schöne literarische Darstellung findet man in einem Buch von Spiro über das „Poincare-Abenteuer“ (Spiro, 2009). Nicht nur die Planetenbewegung führt auf chaotische Lösungen, sondern auch die Klimadynamik. Das hat zuerst Edward Lorenz 1963 für ein einfaches Klimamodell gezeigt. Wir haben verschiedentlich und besonders in Arbeiten mit Lanius und Feistel den komplexen und chaotischen Charakter der Klimadynamik unterstrichen (Ebeling & Lanius, 2000). Ein Zitat aus einem neueren Werk (Feistel & Ebeling, 2011) sei erlaubt: „Any prediction on the future of evolving systems and the climate is one of those, is on principle associated with large unavoidable uncertainties. A century of research in stochastic theory and fifty years of chaos theory have taught us that we can predict only mean values, dispersions and probability distributions, but never individual trajectories. This is a matter of principle.” Was die globale Erwärmung angeht, so muß man stets die Geschichte des Klimas und den historischen Charakter der Temperaturänderungen zwischen Warm- und Kaltphasen im Auge haben (s.a. Behringer, 2007). Angesichts der Leidenschaftlichkeit, mit der gegenwärtig die wissenschaftliche Diskussion in Blogs und in der Presse geführt wird und die ungewöhnlich und sehr politisch ist, kann man nur vor einem neuen „Poincare-Abenteuer“ warnen. Dazu noch ein Zitat (Feistel & Ebeling, 2011): „The hope that the global mean temperature can actively be steered in a rather linear manner on a timescale of, say, a decade of years, by just a single turning knob, the atmospheric CO<sub>2</sub> level, appears rather optimistic. The reduction of anthropogenically induced changes to a minimum is the least risky option we have, but even in that case climatic change cannot fully be excluded, as a look at the pre-human terrestrial history clearly indicates. Ice ages and warm periods formed the human evolution

rather than vice versa. Our geophysical understanding of the causes and feedback mechanisms during ice-age cycles is still only fragmentary.”

Es geht hier um ein Problem der Vorhersage, und unser Standpunkt ist definitiv: Die Modelle müssen noch weiter entwickelt werden, so lange, bis bessere Modelle (eine Art „Euler-Formel“) gefunden werden, welche alle entscheidenden Ursachen einbeziehen. Die Vorhersagekraft der gegenwärtigen Modelle kann, jedenfalls vom Standpunkt der Stochastik- und Chaos-Theorie aus gesehen, besonders im Hinblick auf die Abweichungen des beobachteten Temperaturverlaufs von den Prognosen des Modells, nicht wirklich überzeugen. Das sieht offenbar auch eine Minderheit der deutschen Klimaforscher ähnlich (Behringer, 2010; v. Storch, 2013). Hans v. Storch, Institutsdirektor am Helmholtz-Zentrum Geesthacht sagt kürzlich in einem Interview: „Es ist aber so, dass wir tatsächlich in den letzten 15 Jahren einen deutlich geringeren Erwärmungstrend hatten, als unsere Szenarien, die mit Klimamodellen hergestellt worden sind, uns avisiert haben. Da kann man nun argumentieren, na ja, 1998 war ein außergewöhnlich warmes Jahr, wenn man das wegnimmt, dann ist das ein bisschen schwächer. Aber das hängt nicht nur an diesem 1998-Jahr. Wir haben definitiv eine weniger starke Erwärmung, als wir erwartet haben.“ Interessanterweise spricht Hans von Storch in diesem Kontext davon „dass die Klimatologie in eine Determinismusfalle geraten sei.“ Damit sind wir auch wieder bei unserem Thema und sehen seine gesellschaftliche Brisanz.

Kommen wir zu einem Fazit: Es gibt in der Theorie und in der Realität, sehr vielfältige komplexe Strukturen und Prozesse: Insbesondere gibt es determinierte, zufällige und chaotische Prozesse, gut und schlecht vorhersagbare Strukturen. Beschränkte Vorhersagbarkeit liegt insbesondere vor bei makroskopischen, biologischen, ökologischen und sozialen Prozessen. Wir haben soweit ganz davon abgesehen, dass es auch auf der submikroskopischen Ebene der Quantentheorie mit Schrödingergleichung und von Neumann Axiomatik auch Besonderheiten der Vorhersagbarkeit gibt, aber das ist ein extra Thema.

Wir können heute auf jeden Fall eine der „ewigen Fragen der Wissenschaft“ besser beantworten als zu Zeiten von Leibniz, Engels und Hegel: Es gibt echten Zufall, und es gibt chaotische Strukturen mit geringem Vorhersagehorizont. Die Dialektik von Gesetz und Zufall, wie sie HH von Anfang an richtig verstanden hat, entspricht der modernen Auffassung von stochastischen und chaotischen Prozessen und dem Stand der Naturwissenschaft. Last but not least entspricht das auch der alltäglichen Erfahrung: Unsere Welt ist

nicht strikt determiniert, die Wege in die Zukunft sind nicht eindeutig und folgen nicht strengen Regeln. Nicht nur die Familie, auch die Gesundheit, die Arbeit, das Wetter und das Klima folgen zwar gewissen Regeln, sind aber im Detail nicht präzise vorhersehbar. Wer hier das Gegenteil behauptet, hat die Resultate von 100 Jahren Forschung verschlafen. Das politische Geschehen enthält extreme Wendungen und Brüche. Unsere Welt zeigt eine komplexe Ordnung mit Determination und Zufall. Das Spiel dazwischen mit Komplexität, Selbstorganisation, Vielfalt und Kreativität, das ist das Rezept der Evolution!

Das Ergebnis dieser Analysen bestätigen uns also darin, dem Konzept von HH zuzustimmen: Es gibt die Dialektik von Gesetz und Zufall, es gibt den objektiven Zufall.

Auf der anderen Seite bekennt sich der Verf. dieser Analyse von Gesetz und Zufall von Leibniz bis zu Herbert Hörz, entschieden zu den Prinzipien der Stochastik und Chaostheorie, die einen vorsichtigen Skeptizismus bezüglich der Vorhersagbarkeit komplexer Prozesse nahelegen. Zu den Prozessen mit besonders großer Komplexität, mit denen wir es zu tun haben, gehören Gesellschaft, Natur, Ökologie und Klima. Die Grundgesetze dieser Prozesse sind bisher schlecht verstanden. Wir haben, um bei unserem Beispiel zu bleiben, eine lange Folge aus der Euler-Zahl vor uns, kennen aber noch nicht die Leibnizsche Vorschrift für die interne Struktur dieser Folge. Die Vorhersagen zur gesellschaftlichen Entwicklung mündeten vor einem Vierteljahrhundert in einem grandiosen Irrtum mit zum Teil tragischen Folgen. Um Worte von Herbert Hörz zu gebrauchen, wir sollten immer ein breites Möglichkeitsfeld in die Vorhersagen einbeziehen. Wir haben auf Grund vorliegender Kurven aus Eisbohrungen der russisch-französischen Station Vostok (Behringer, 2010) mit stochastischen Methoden das Möglichkeitsfeld für die Temperaturentwicklung bis zum Jahr 2100 und bis 20 000 abgeschätzt (s. Fig. 1 nach Feistel & Ebeling, 2011). Der Unterschied zu den bekannten Prognosen liegt eigentlich nur darin, daß wir ein relativ großes Möglichkeitsfeld angeben und daß wir auf lange Sicht sogar mit der Möglichkeit einer nächsten Eiszeit rechnen. Um die Wahrscheinlichkeiten für den bis Ende des Jahrhunderts erwarteten Anstieg zu kleineren Werten zu verschieben, ein „Anhalten der Klimadynamik“ wäre reines Wunschdenken, sollte man u.E. viel mehr Varianten durchrechnen, wie z.B. Verringerung des Rußausstoßes, Verstärkung der CO<sub>2</sub>-Aufnahme durch Wälder, Landwirtschaft, Meeresalgen und als wichtigste Maßnahme, die Ächtung von Bombenkriegen. Auf keinen Fall sollten die politischen Organe einseitige, nicht bis zu Ende durchgerechnete

Maßnahmen ergreifen und sollten immer alternative Möglichkeiten einbeziehen. Als zentrale Schlußfolgerung bleibt: Auch das Unerwünschte ist möglich und hat eine gewisse Wahrscheinlichkeit, sollte daher niemals aus den Betrachtungen ausgeschlossen werden. Bei komplexen Prozessen muss man auf ALLES vorbereitet sein und Wissenschaftler, die unerwünschte Prognosen machen, dürfen nicht wie Cassandra ausgestoßen werden.

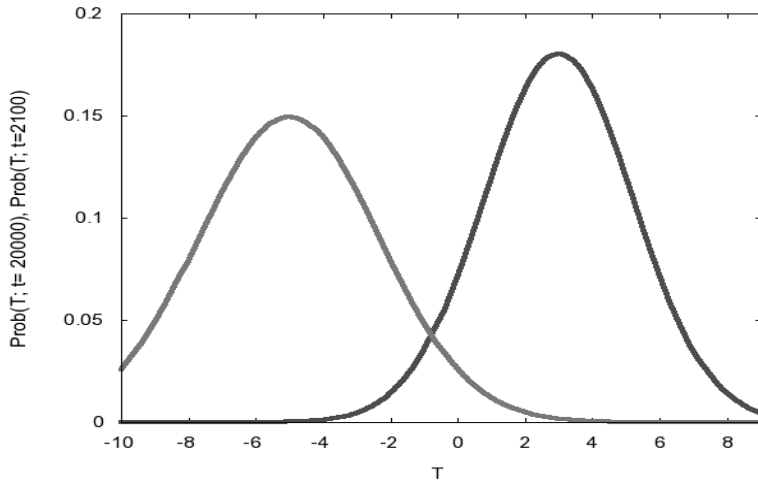


Fig. 1: Schätzung der Wahrscheinlichkeitsverteilung der zukünftigen globalen Temperatur im Jahre 2100 (rechtes Maximum) und im Jahre 20 000 (linkes Maximum, nach Feistel & Ebeling, 2011)

Eine Schlußbemerkung: Wenn man so möchte, kann man in der Leibniz-Sozietät eine gerade Linie zum Thema Gesetz und Zufall sehen, die von Leibniz über Hegel, Einstein und Planck bis zu Kolmogorov und Chaitin führt, in die die philosophischen Arbeiten von Herbert Hörz sich folgerichtig einfügen. Wir schliessen also mit einem Zitat (Hörz, 2012):

„Eine dialektische Theorie des Zufalls hebt deshalb die Einheit von Notwendigkeit und Zufall in der inneren Struktur objektiver Gesetze in Natur, Gesellschaft, bei der geistigen Aneignung der Wirklichkeit und der Einsicht in eigenes Verhalten hervor. Die Erkenntnis von zufälligen Ereignissen verlangt eine Bedingungsanalyse zur Aufdeckung wesentlicher Kausalbeziehungen.“

**Literatur:**

- G. Banse, S. Wollgast (Hrsg.): Philosophie und Wissenschaft in Vergangenheit und Gegenwart. Festschrift zum 70. Geburtstag von Herbert Hörz. Trafo Verlag, Berlin 2003
- W. Behringer, A. Cultural History of Climate, Polity, Cambridge 2010
- W. Ebeling, R. Feistel, Physik der Selbstorganisation und Evolution, Akademie-Verlag Berlin 1982, 1986
- W. Ebeling, H. Engel, H. Herzel, Selbstorganisation in der Zeit, Akademie-Verlag, Berlin 1990
- W. Ebeling, A. Engel, R. Feistel, Physik der Evolutionsprozesse, Akademie-Verlag, Berlin 1990
- W. Ebeling, J. Freund, F. Schweitzer, Komplexe Strukturen: Entropie und Information. Teubner Stuttgart-Leipzig 1998
- W. Ebeling, K. Lanius, Zur Vorhersagbarkeit komplexer Prozesse, Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät 42 (2000), S. 5–26
- H. Hörz, Herbert, Zufall. – Eine philosophische Untersuchung. Akademie-Verlag, Berlin 1980
- Herbert Hörz: Bibliographie seiner Arbeiten, Stand 31. März 2003, Anhang zu G. Banse, S. Wollgast, l.c., 2003
- R. Feistel, W. Ebeling: Physics of Self-Organization and Evolution, Wiley 2011
- H. Hörz, Ist der Zufall erkenn- und beherrschbar? Grundzüge einer dialektischen Theorie des Zufalls, Leibniz Online 14/2012
- Georg E. Spiro, Das Poincare Abenteuer – eine mathematisches Welträtsel wird gelöst. Piper 2009
- Hans v. Storch: Interview mit dem Deutschlandfunk, 10. September, 2013