
Karl-Heinz Bernhardt

Kausalität in Natur und Gesellschaft – Gedanken zu einem Ansatz von Hans Ertel

Vor einem halben Jahrhundert, im Novemberheft der schwedischen Vierteljahres-Zeitschrift „Tellus“, erschien ein Aufsatz von Charney, Fjörtoft und v. Neumann (1950), der mit vier Beispielen einer numerischen Integration der barotropen Vorticitygleichung für die 500 mbar-Fläche über einem Teilgebiet der Erde das Zeitalter der numerischen Wettervorhersage – d. h. der Vorausberechnung des Zustandes der Atmosphäre durch näherungsweise Integration der thermohydrodynamischen Grundgleichungen – eröffnete, hierin einem Konzept von Vilhelm Bjerknes (1862–1951, korrespondierendes Mitglied der Preußischen Akademie der Wissenschaften seit 1928), aus dem Jahre 1904 (Bjerknes 1904) folgend.

Dieses wissenschaftshistorisch bedeutsame Ereignis, dessen 50-jähriges Jubiläum in diesen Tagen Anlaß für ein gemeinsames Symposium der Deutschen Meteorologischen Gesellschaft und der European Meteorological Society in Potsdam (9./10. März 2000) gibt, leitete eine Entwicklung ein, die freilich noch Bergeron (1959) mit den Worten charakterisierte, „the meteorological forecast stands alone as the most important and promising but still unsolved Laplacian problem on our planet“ (a.a.O., S. 441).

Es ist hier nicht der Ort, die seither erzielten Fortschritte bei der Bewältigung des „wichtigsten und vielversprechendsten...Laplaceschen Problems“ zu diskutieren, wozu z. B. auf die historischen Darlegungen bei Kluge (1991), Nebeker (1995), Bernhardt (1997, 1998) und den in Vorbereitung befindlichen Berichtsband des genannten DMG/EMS-Symposiums verwiesen sei. „Laplacesches Problem“ zielt natürlich auf Determinismus und Laplaceschen Dämon als Ausdruck einer Form der Kausalität, womit wir beim Gegenstand des vorliegenden Beitrages angelangt wären.

Vorab sei aber noch eine historische Reminiszenz gestattet, und zwar angesichts der vielen Worte, die heutzutage in Geschichtsphilosophie und Tagespublizistik über mißlungene Experimente, diskreditierte Ideen und

all das verloren wird, was angeblich niemals sein wird: Das in Grenzen erste gelungene Vorhersageexperiment von Charney, Fjörtoft und v. Neumann hatte nämlich einen zu trauriger Berühmtheit gelangten, weil drastisch gescheiterten Vorläufer – den Versuch von Richardson (1922), mit einem sehr viel vollständigeren und weniger einschneidend vereinfachten Gleichungssystem in 6-wöchiger Rechenarbeit die Änderung des Luftdruckes an der Erdoberfläche über einen einzigen Zeitschritt von 6 Stunden für nur zwei Gitterquadrate vorauszuberechnen (vgl. Platzmann 1967, Nebeker, a.a.O., chapter 6).

Das Rechenergebnis hatte nichts mit der Wirklichkeit gemein – wie wir heute wissen, auf Grund der völlig unzureichenden, nicht modellgerecht adaptierten Beobachtungsdaten und einem verfehlten numerischen Integrationsverfahren mit viel zu großem Zeitschritt, *n i c h t* aber, weil der physikalische Ansatz fehlerhaft gewesen wäre. Im Gegenteil – Platzmann (a.a.O.), selbst einer der Pioniere der numerischen Wettervorhersage in den USA, hat gezeigt, daß ein seinerzeit beim U. S. National Meteorological Center im operativen Einsatz befindliches Modell auf der Grundlage der auch von Richardson verwendeten ursprünglichen („primitiven“) hydrodynamischen Gleichungen in seinem grundsätzlichen Aufbau weitgehend dem Richardsonschen Modell entspricht!

Wie dem auch sei, F. M. Exner (1876–1930), einer der führenden Vertreter der theoretischen Meteorologie in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts, hielt es in einer ausführlichen Rezension des Richardsonschen Buches „für nicht wahrscheinlich, daß man jemals auf dem angegebenen Wege einen wesentlichen Fortschritt in der Wetterprognose erzielen“ werde und zeigte sich, wie seiner Meinung nach die Mehrzahl der Meteorologen, davon überzeugt, „daß der von Richardson zur Wettervorhersage eingeschlagene Weg verfehlt oder doch mindestens sehr verfrüht ist“ (Exner 1923).

Nicht einmal drei Jahrzehnte später wurde dieser vermeintlich verfehlt Weg erstmals erfolgreich experimentell, abermals wenige Jahrzehnte danach bereits in mehreren Ländern routinemäßig beschritten, und heutzutage erarbeiten große Prognosezentren globale numerische Vorhersagen bis zu 10 Tagen im voraus – seit einigen Jahren auch in Gestalt von Ensemblevorhersagen, worin sich ein gewandeltes Determinismusverständnis und die Einsicht in den chaotischen Charakter des atmosphärischen Geschehens offenbart, womit zugleich Grenzen der Vorhersagbarkeit abgesteckt sind (vgl. hierzu Kluge, a.a.O., Böhme 1998, 1999).

Die ersten Protagonisten einer Vorausberechnung des Wetters waren Anhänger eines naiven, uneingeschränkten Determinismus, wonach, „wenn es sich so verhält, wie jeder naturwissenschaftlich denkende Mann (!) glaubt, daß sich die späteren Zustände g e s e t z m ä ß i g aus den vorhergehenden entwickeln“, es für eine rationelle Lösung des Prognoseproblems notwendig und hinreichend sei, den Zustand der Atmosphäre und die Gesetze, nach denen sich ein atmosphärischer Zustand aus dem anderen entwickelt, „mit hinreichender Genauigkeit zu kennen“ (Bjerknes 1904, S. 1).

Wie „hinreichend genau“ Anfangszustand und Bewegungsgesetze bekannt sein müßten, blieb zunächst unerörtert (desgleichen die Frage nach der notwendigen Genauigkeit der graphischen oder numerischen Lösungsverfahren!), obgleich beispielsweise bereits Helmholtz (1875) und Poincaré (1908, erstes Buch, viertes Kapitel) mit Blick auf die Wettervorhersage die Bedeutung kleiner Fehler im Ansatz der Rechnung bzw. kleiner, für den Beobachter nicht mehr wahrnehmbarer Unterschiede in den Anfangsbedingungen für die Vorausberechnung der Folgezustände betont hatten (zu Details vgl. Bernhardt 1998).

Einen strikt deterministischen Standpunkt bezog auch Hans Ertel (1904–1971), der zu Anfang der vierziger Jahre (Ertel 1940, 1941a) Formen der atmosphärischen Bewegungsgleichungen ganz analog denen abgeleitet hatte, die in den fünfziger Jahren in den eingangs zitierten Vorhersageexperimenten und später in der ersten Generation operativer Vorhersagemodelle Verwendung fanden. In anschließenden Arbeiten (Ertel 1944, 1948) verwies er zwar auf seit längerer Zeit laut gewordene „indeterministische“ Auffassungen zur Wettervorhersage (Schmauß, Wenger, Wigand), gab aber ganz offensichtlich der klassischen deterministischen Position in bezug auf das Prognoseproblem den Vorzug und ergänzte die Bjerknessche Konzeption durch den Nachweis der prinzipiellen Unmöglichkeit einer exakten Wettervorhersage für Teilgebiete der Erde (Ertel 1941b): Eine Vorausberechnung des Luftdruckfeldes über einem Ausschnitt der Erdoberfläche würde die Kenntnis des Luftdruckverlaufes auf dem seitlichen Rand des Vorhersagegebietes für den gesamten Prognosezeitraum erfordern, die natürlich nicht gegeben, andererseits aber Voraussetzung für eine exakte Lösung des gegebenen Anfangs- und Randwertproblems der Luftdruckvorhersage ist.

Auf Grund der ständigen Wechselwirkung zwischen einem Teilgebiet der Atmosphäre und der umgebenden Gesamtatmosphäre existiert also

für das Teilgebiet keine eindeutige Lösung der Prognosegleichungen; folglich ist für Teilgebiete der Erde nur eine näherungsweise Wettervorhersage möglich, eine eindeutige Prognose dagegen nur für die Atmosphäre als Ganzes, die keine seitlichen Ränder besitzt, auf denen zeitabhängige Randwerte vorgegeben werden müßten. (Bezüglich weiterer Einzelheiten wird auf die Wiedergabe der zitierten Arbeiten durch Schröder und Treder 1995, eingeleitet und kommentiert von Bernhardt 1995, verwiesen.)

Die hier skizzierte Vorgeschichte ist dem Verständnis der einzigen Arbeit Ertels von dezidiert philosophischem Inhalt dienlich, die dieser, seit 1949 ordentliches Mitglied der Deutschen Akademie der Wissenschaften und einer ihrer Vizepräsidenten von 1951 bis 1961, am 11. Februar 1954 dem Plenum der Akademie vorlegte (Ertel 1954). Eine Neuausgabe dieser Veröffentlichung mit Kommentaren u. a. von W. Böhme, H. Fortak, H. Hörz (entsprechend Hörz 1999) und dem Autor des vorliegenden Beitrages wird vorbereitet (Schröder 2000).

Ertel behandelt in seiner Schrift auf mathematisch-analytische Weise „Kausalität, Teleologie und Willensfreiheit als Problemkomplex der Naturphilosophie“. In einer Übersicht über die seinerzeitige Situation – das Literaturverzeichnis umfaßt 60 Zitate, von Ostwalds Vorlesungen über Naturphilosophie bis zu Titeln aus dem damals neuesten naturwissenschaftlichen und philosophischen Schrifttum in Ost und West – gibt der Autor deutlich seine Bevorzugung eines heute als mechanisch-deterministisch zu bezeichnenden Standpunktes zu erkennen, wobei er „kausal“ und „deterministisch“, ebenso wie umgekehrt „akausal“ und „indeterministisch“, jeweils als Synonyme gebraucht.

Im weiteren betrachtet er die Welt als ein „kausal funktionierendes System“, dessen Zustand zur Zeit $t = t_0$ durch eine endliche Menge von Parametern a_1, \dots, a_n beschreibbar sei. Infolge der vorausgesetzten „durchgängigen Kausalstruktur der Welt“ sind deren sämtliche Folgezustände für $t > t_0$ eindeutig determiniert. Ein durch die Menge von Parametern b_1, \dots, b_n charakterisierter Folgezustand sei mit dem Anfangszustand durch ein System von n Gleichungen verknüpft, die sowohl nach den a_1, \dots, a_n als auch nach den b_1, \dots, b_n eindeutig auflösbar seien, so daß alle Folgezustände „der Welt“ aus ihrem Anfangszustand abgeleitet, der Anfangszustand aus jedem Folgezustand rekonstruiert werden kann – die Welt erweist sich nach diesem Modell als komplett im Sinne des Laplaceschen Determinismus strukturiert!

Wird nun die „als Ganzes kausal-determinierte Welt“ in zwei Teilsysteme zerlegt, die etwa als Partialsystem und Umgebung oder als Individuum und Umwelt interpretiert werden können, so beweist Ertel, daß der Folgezustand jedes der beiden Teilsysteme nicht allein aus seinem Anfangszustand hergeleitet werden kann, sondern daß es dafür zusätzlich der Kenntnis des Anfangs- oder des Folgezustandes des jeweils komplementären Teilsystems bedarf.

Ertel bezeichnet die erstgenannte Betrachtungsweise als „kausal-konditionale“ Beschreibung, indem der Folgezustand eines Teilsystems durch seinen Anfangszustand und den des komplementären Teilsystems determiniert wird, dessen Anfangsparameter als außerhalb des Partialsystems, in der „Umgebung“ lokalisierte „Bedingungen“ aufgefaßt werden können.

Als Beispiel für diese Konstellation sei nochmals an die Wettervorhersage für Teilgebiete der Erde erinnert, wenn anstelle der „Welt“ die Atmosphäre idealisierend als abgeschlossenes Gesamtsystem betrachtet wird: Der Zustand des Atmosphärenausschnittes (Teilsystem) über einem solchen Gebiet wird durch einen vorangegangenen Zustand des Teilsystems und der übrigen Atmosphäre (komplementäres Teilsystem), mithin also durch einen vorangegangenen Zustand der gesamten Atmosphäre (Gesamtsystem) bestimmt.

Die zweitgenannte Betrachtungsweise möchte Ertel zur Deutung von Teleologie und Willensfreiheit in einer kausal determinierten Welt heranziehen: Wird der Folgezustand eines Teilsystems durch seinen Anfangszustand und den Folgezustand der Umgebung (des komplementären Teilsystems) determiniert, in die es eingebettet ist, so erscheint der Folgezustand des Partialsystems gewissermaßen vorherbestimmt, und die scheinbare Richtungsbestimmtheit eines Geschehens auf einen Endzustand hin erweist sich im Sinne von Bertalanffy als ein Ausdruck der Kausalität (vgl. Ertel, a.a.O., S. 21). Wird als Teilsystem ein handelndes Individuum betrachtet, so ist ein Folgezustand des komplementären Teilsystems „Umgebung“ durch deren Ausgangszustand und den Folgezustand des Individuums nach vollzogener Handlung bestimmt, „für deren ‘Wahl’ die ‘Umwelt’ (Umgebung, Komplementärsystem) die ‘Freiheit’ dadurch offen läßt, daß der ‘Endzustand der Umwelt’ gerade erst durch diese ‘Handlung’ zu einem eindeutig determinierten im Sinne der Kausalstruktur der gesamten Welt (Person + Umwelt) wird“ (Ertel a.a.O., S. 24).

Hier liegt allerdings der Einwand auf der Hand, daß es in einer mechanisch determinierten Welt nur eine virtuelle Willensfreiheit geben kann, da jeder Folgezustand infolge des durchgängig wirksamen Determinismus durch einen Ausgangszustand des Gesamtsystems unverrückbar festgelegt ist. Ertels Argumentation zu diesem Punkt läuft denn auch mit Ostwald und Steudel darauf hinaus, daß wir zwar mit der Empfindung des freien Willens handeln können und sollen, alles aber in der Welt nach 'ehernen ewigen Gesetzen' geschieht und sich das Naturgesetz unfehlbar durchsetzt (Ertel a.a.O., S. 23-25).

Insofern erscheint auch Ertels Verteidigung des „dialektischen Materialismus“ gegen Wetter (1952) in diesem Punkt nicht überzeugend, ebenso wenig die Auffassung von Klaus (1957), der in seiner bekannten Streitschrift gegen Wetter „die interessanten und geistvollen Darlegungen von Ertel“ als „eine zusätzliche Bestätigung der marxistisch-leninistischen Behauptung, daß die Naturwissenschaften im Begriffe sind, den dialektischen Materialismus zu gebären“, wertet (a.a.O., S. 337).

Indem Ertel seinem Weltmodell einen Determinismus Laplacescher Prägung zugrunde legt, vermag die elegante mathematische Behandlung zwar die Konsequenzen einer solchen Annahme für die Wechselwirkung komplementärer Teilsysteme innerhalb eines Gesamtsystems beispielhaft zu demonstrieren, nicht aber die Grenzen einer solchen mechanisch-materialistischen Betrachtungsweise zu überschreiten – etwa in Richtung auf die von Engels (Marx, Engels, Werke; MEW) postulierte Auflösung der Vorstellung von Ursache und Wirkung in der Anschauung der universellen Wechselwirkung als der wahren *causa finalis*.

Spätestens hier erhebt sich die Frage nach dem Stellenwert, den der Ertelsche Ansatz zur Deutung von Kausalität, Teleologie und Willensfreiheit in einem streng mechanisch determinierten Weltmodell heute beanspruchen kann – abgesehen natürlich von seinem Charakter als Zeitdokument für die kreative Reaktion eines bedeutenden Naturwissenschaftlers auf eine aktuelle natur- und geschichtsphilosophische Problemstellung und für den Beginn eines fruchtbaren Dialogs zwischen Naturwissenschaftlern und Philosophen in der DDR innerhalb wie außerhalb der Akademie der Wissenschaften.

Bei der Bewertung der Ertelschen Schrift als Zeitdokument ist sicher zu bedenken, daß die Skepsis großer Physiker, wie Albert Einstein und Max Planck, gegen die Endgültigkeit statistischer Gesetze noch weit ver-

breitet war und Louis de Broglies Fragestellung, „Wird die Quantenphysik indeterministisch bleiben?“ (de Broglie 1953), nicht nur in den Vorlesungen zur marxistischen Philosophie vielfach zitiert und durchaus kontrovers diskutiert wurde.

Ertel behandelt in seiner Arbeit das Problem der Kausalität im Falle miteinander wechselwirkender Teilsysteme innerhalb eines Gesamtsystems. Die Ergebnisse sind unbesehen sicher nicht auf die Welt als Ganzes, wohl aber auf solche Systeme anwendbar, die in erster Näherung als abgeschlossen und im wesentlichen von dynamischen (im Sinne von mechanisch-deterministischen) Gesetzen beherrscht angesehen werden können. Das betrifft z. B. neben der Atmosphäre im Zeitbereich der Kurzfristvorhersage für längere Zeitskalen auch das Klimasystem (dargestellt z. B. bei Hantel 1989, Hupfer 1991, Trenberth et al. 1996) mit der einleuchtenden Konsequenz, daß ein späterer klimatischer Zustand der Atmosphäre nicht allein durch ihren Anfangszustand, sondern nur im Verein mit Anfangs- bzw. Folgezustand der anderen Komponenten des Klimasystems – Hydrosphäre, Kryosphäre, Biosphäre, Pedosphäre, Lithosphäre, erdnahe kosmischer Raum – bestimmt wird. Mathematische Modelle, die nur eine oder wenige Komponenten des Klimasystems erfassen, darunter auch die gekoppelten Ozean-Atmosphären-Modelle, sind daher im strengen Sinne keine „Klimamodelle“!

Schlußfolgerungen wenigstens qualitativer Art lassen sich aus dem Ertelschen Ansatz auch für solche Objektbereiche ziehen, für die die Annahme mechanisch-deterministischen Geschehens offensichtlich nicht zutrifft. Der Zustand beispielsweise, den ein gesellschaftliches Teilsystem erreicht (einschließlich der möglichen Implosion!), wird nicht allein von dessen inneren Gesetzmäßigkeiten (oder „Triebkräften“), sondern gleichermaßen von den Ausgangs- bzw. Folgezuständen der anderen Partialsysteme der gesamten menschlichen Gesellschaft bestimmt, vom möglicherweise gravierenden Einfluß der natürlichen Komponenten des übergeordneten Gesamtsystems Natur und Gesellschaft ganz zu schweigen!

Georg Klaus (1912-1974), um ein weiteres Beispiel zu erörtern, stellt im Zusammenhang mit seiner Diskussion der Ertelschen Schrift fest, daß die Arbeiterklasse ein Partialsystem innerhalb des Systems der menschlichen Gesellschaft bzw. der kapitalistischen Gesellschaftsordnung darstellt, fügt dem aber entgegen der Grundaussage der Ertelschen Betrachtung hinzu: „Der Zustand, dem die kapitalistische Gesellschaftsordnung zu-

strebt, wird bestimmt durch die Tätigkeit der Arbeiterklasse“ (a.a.O., S. 338), womit die Einwirkung der Kapitalistenklasse sowie weiterer Klassen und Schichten – also der anderen Partialsysteme! – außen vor bleibt.

Beachtung verdient auch der von Ertel exemplifizierte Tatbestand, daß sich hinter einer scheinbaren *causa finalis* durchaus eine *causa efficiens*, hinter der scheinbar von einem teleologischen Prinzip beherrschten Veränderung eines Partialsystems das Wirken eines durchgängigen – sogar mechanischen – Determinismus in einem übergeordneten Gesamtsystem verbergen kann.

Ein andersgelagertes Beispiel hierfür hatte bereits um die Wende vom 19. zum 20. Jahrhundert die Diskussion um die Boltzmannsche Deutung des zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik, speziell um den Loschmidtschen Umkehrerwand, offenbart (vgl. H. Bernhardt 1967). In einem abgeschlossenen idealen Gas nimmt infolge der Zusammenstöße der Moleküle untereinander eine Größe *H* für die allermeisten, durch eine gewisse „molekulare Unordnung“ gekennzeichneten Anfangszustände bis zum Erreichen eines Maximalwertes zu, was dem Übergang des Systems von Zuständen geringerer in solche größerer thermodynamischer Wahrscheinlichkeit bzw. höherer Entropie entspricht. Ursache für den Übergang des Systems in Zustände höherer Wahrscheinlichkeit ist jedoch nicht die letztere im Sinne einer Endursache, sondern es sind die statistischen Gesetze des mechanischen Stoßes entsprechend der Boltzmannschen Stoßgleichung, die die Wechselwirkung der Moleküle untereinander beschreibt.

Daß das vermeintlich freie Handeln von Individuen im geschichtlichen Prozeß so häufig andere als die erwarteten Ergebnisse bringt, ist im Sinne der Ertelschen Betrachtungen nicht immer nur dem von Friedrich Engels formulierten Prinzip der geschichtsbildenden Resultante individueller Willenshandlungen geschuldet, sondern auch aus der Einbettung des Partialsystems der handelnden Personen in ein Gesamtsystem verständlich, auch wenn man letzteres nicht, wie dies Ertel voraussetzt, als „durchgängig kausal-determiniert“ ansieht.

Hinsichtlich einer weiteren Diskussion des Ertelschen Ansatzes aus heutiger Sicht sei auf die kritischen Anmerkungen von Hörz (1999) verwiesen, denen wir uns im wesentlichen anschließen, aber noch einige Gedanken zu einer möglichen Weiterführung der Ertelschen Untersuchung hinzufügen möchten.

So wären die Konsequenzen zu überdenken, die aus dem nichtlinearen Charakter vieler Zusammenhänge der realen Welt und dem daraus resultierenden chaotischen Verhalten folgen, wozu sich in bezug auf die Ertelsche Arbeit bereits Böhme (2000) geäußert hat. Die schon von Poincaré noch vor Smoluchowski konstatierten Konstellationen „kleine Ursache – große Wirkung“ und „verschiedene (bzw. große) Ursachen – gleiche (bzw. kleine) Wirkungen“, die auch in der Determinismus-Indeterminismus-Diskussion um die Wettervorhersage eine Rolle gespielt haben (Kluge, a.a.O.), sind ja dem Historiker und Geschichtsphilosophen nicht unbekannt. Daß ein gegebener Zustand der Gesellschaft Folge ganz unterschiedlicher historischer Ausgangssituationen und Ergebnis verschiedenartiger geschichtlicher Abläufe sein kann, charakterisiert wohl ein Phänomen, das der Jubilar des heutigen Tages gesprächsweise als Offenheit der Geschichte „nach rückwärts“ bezeichnet hat.

Wie wirkt sich die Abhängigkeit des Folgezustandes eines Systems von geringfügigen Variationen des Ausgangszustandes aus, wenn das betrachtete Gesamtsystem in zwei (oder mehrere) komplementäre Teilsysteme zerlegt wird? In welcher Weise z. B. verändert sich der Einfluß geringfügig variierender Anfangsparameter eines Partialsystems auf seinen Folgezustand (und damit seine Vorhersagbarkeit!), je nachdem, ob dieser Folgezustand als vom Anfangs- oder vom Folgezustand des komplementären Teilsystems mitbestimmt betrachtet wird, und wie variiert der zu prognostizierende Folgezustand des Partialsystems in Abhängigkeit von Variationen des Anfangs- und/oder des Folgezustandes des jeweils komplementären Teilsystems? Vor allem aber: Welche Informationen über die Wechselwirkung zwischen Partial- und komplementärem Teilsystem können der Verfolgung des zeitlichen Verlaufs der Zustandsänderung des Partialsystems entnommen werden – innerhalb welcher Grenzen ist z. B. eine meteorologische Vorhersage für Teilgebiete der Erde auf Grund der Auswertung lokaler Zeitreihen bestimmter (welcher?) meteorologischer Parameter möglich und sinnvoll (vgl. Böhme 1998, 1999)?

Dies sind Fragen, die eine Weiterverfolgung des Ertelschen Ansatzes unter Einsatz moderner mathematischer Methoden, aber auch numerischer Experimente mit Ensembles von Gesamt- und Teilsystemen nahelegen.

Schließlich: Wie gestaltet sich die Wechselwirkung von Teilsystemen, wenn der von Ertel postulierte mechanische durch einen dialektischen Determinismus (Hörz 1971) etwa in der Weise ersetzt wird, daß die An-

fangsparameter eines Gesamt- bzw. der Teilsysteme nicht diskrete Parameterwerte, sondern Wahrscheinlichkeitsverteilungen der Parameter der Folgezustände bestimmen? Für einen solchen probabilistischen Ansatz, der als Konsequenz sowohl deterministisch-chaotischen Verhaltens, als auch des Waltens primär statistischer Gesetzmäßigkeiten begründet werden kann, lassen sich ähnliche Fragestellungen formulieren wie oben für den Fall variierender Anfangsbedingungen ausgeführt.

Eine solche weiterführende Untersuchung würde zweifellos auch die sinngemäße Übertragung der Ergebnisse auf geschichtswissenschaftliche und formationstheoretische Problemstellungen erleichtern, hat doch hier – nicht zuletzt dank der Überlegungen unseres Jubilars! – anstelle der schönen Illusion gesetzmäßig, einsinnig linear und unumkehrbar verlaufender Fortschrittsprozesse die Vorstellung der historischen Möglichkeitsfelder Platz gegriffen, die durch menschliches Handeln im Gesamtsystem „menschliche Gesellschaft und natürliche Umwelt“ eröffnet und besetzt werden. In einem solchen Weltmodell ist kein Platz mehr für ein, wie auch immer motiviertes, „Vorwegbescheidwissen“, und an die Stelle voluntaristischer Lösungen wie auch der Beschwörung einer angeblichen Alternativlosigkeit der praktischen Politik tritt die jüngst formulierte programmatische Forderung, Geschichte in möglichen Perspektiven zu denken (Eichhorn, Küttler 1999).

Literatur

- Bergeron, T.: Methods in scientific weather analysis and forecasting. In: Bolin, B.(ed.), *The atmosphere and sea in motion*. Rockefeller Inst. Press, Oxford Univ. Press (1959), 440–474
- Bernhardt, H.: Der Umkehrinwand gegen das H-Theorem und Boltzmanns statistische Deutung der Entropie. *NTM* 4(1967), 35–44
- Bernhardt, K.: Ausgewählte Arbeiten Hans Ertels zu theoretischen Grundlagen der Wettervorhersage. In: Schröder, W., Treder, H.-J. (eds.), *Theoretical meteorology, weather prediction, cosmology and general applications*. Selected scientific papers by Hans Ertel. Interdivisional commission on history of IAGA, Newsletters, No. 29 (1995), 8–31.
- Bernhardt, K.: Meteorology as an exact science – V. Bjerknes' concept of hydrodynamic weather prediction in retrospect. In: Schröder, W. (ed.), *Geomagnetism and acronomy (IAGA Newsletters 29/1997)*, 190–200
- Bernhardt, K.: Wettervorhersage und Meteorologie als exakte Wissenschaft – Anmerkungen aus historischer Sicht. In: Schröder, W. (Hrsg.), *From Newton to Einstein*. (A

- Festschrift in Honour of the 70th Birthday of Hans-Jürgen Treder). Mitteilungen des Arbeitskreises Geschichte der Geophysik der DGG 17(1998), Heft 3–4, 26–37
- Bernhardt, K.: Zu Hans Ertels Arbeit „Kausalität, Teleologie und Willensfreiheit als Problemkomplex der Naturphilosophie“. In: Schröder, W. (Hrsg.), Kausalität, Teleologie und Willensfreiheit als Problemkomplex der Naturphilosophie. Science edition (2000), in Vorbereitung
- Bjerknes, V.: Das Problem der Wettervorhersage, betrachtet vom Standpunkt der Mechanik und der Physik. Meteorol. Z. 21(1904), 1–7
- Böhme, W.: Atmosphärische Zirkulation und Chaos – Ergebnisse und Konsequenzen. Sitz.-Ber. Leibniz-Soz. 24(1998) Heft 5, 151–182
- Böhme, W.: Anwendung der Methode der Ensemblevorhersage bei komplexen dynamischen Systemen auf statistische Verfahren. Sitz.-Ber. Leibniz-Soz. 30(1999) Heft 3, 145–151
- Böhme, W.: Bemerkungen zu Ertels Schrift „Kausalität, Teleologie und Willensfreiheit als Problemkomplex der Naturphilosophie“. In: Schröder, W. (Hrsg.), Kausalität, Teleologie und Willensfreiheit als Problemkomplex der Naturphilosophie. Science edition (2000), in Vorbereitung
- Brogie, L. de: Wird die Quantenphysik indeterministisch bleiben? Phys. Blätter 9(1953), 488–497, 529–548
- Charney, J. G., Fjörtoft, R., Neumann, J. v.: Numerical integration of the barotropic vorticity equation. Tellus 2(1950), 237–254
- Eichhorn, W., Küttler, W.: Geschichte in möglichen Perspektiven denken. Formationsentwicklung im 19. und 20. Jahrhundert. Sitz.-Ber. Leibniz-Soz. 34(1999) Heft 7, 7–52
- Ertel, H.: Neue atmosphärische Bewegungsgleichungen und ihre Anwendung auf die Theorie der Zyklonenbewegung. Ann. Hydr. marit. Meteorol. 68(1940), 421–431
- Ertel, H.: Über atmosphärische Bewegungsgleichungen und eine Differentialgleichung des Luftdruckfeldes. Meteorol. Z. 58(1941a), 77–78
- Ertel, H.: Die Unmöglichkeit einer exakten Wetterprognose auf Grund synoptischer Luftdruckkarten von Teilgebieten der Erde. Meteorol. Z. 58(1941b), 309–313
- Ertel, H.: Wettervorhersage als Randwertproblem. Meteorol. Z. 61(1944), 181–190
- Ertel, H.: Das Problem der Wettervorhersage vom Standpunkt der theoretischen Meteorologie. Z. Meteorol. 2(1948), 97–106
- Ertel, H.: Kausalität, Teleologie und Willensfreiheit als Problemkomplex der Naturphilosophie. Sitz.-Ber. Deu. Akad. Wiss. Berlin, Klasse Math. allg. Naturwiss. (1954) Nr. 1, 29 S.
- Exner, F. M.: Lewis F. Richardson: Weather prediction by numerical process. Meteorol. Z. 40 (1923), 189–191
- Hantel, M.: Climate modeling. In: Landolt-Börnstein, Zahlenwerte und Funktionen in Naturwissenschaft und Technik. Neue Serie, Gr. V, Bd. 4, Meteorologie, Teilband c 2, Springer-Verlag, Berlin etc. (1989), 1–116
- Helmholtz, H. v.: Wirbelstürme und Gewitter (1875). In: Vorträge und Reden, 2. Bd., 5. Aufl., Vieweg, Braunschweig 1903, 139–163
- Hörz, H.: Der dialektische Determinismus in Natur und Gesellschaft. 4. Aufl., Deu. Verl. d. Wissenschaften, Berlin (1971), 301 S.
- Hörz, H.: Kausalität, Teleologie und Willensfreiheit – Bemerkungen zu Positionen von Hans Ertel. Mitteil. d. Arbeitskreises Geschichte d. Geophys. d. DGG 18(1999), Heft 1-3, 122–128; s. auch Schröder (2000)

- Hupfer, P. (Hrsg.): Das Klimasystem der Erde. Akademie Verlag, Berlin (1991), 464 S.
- Klaus, G.: Jesuiten Gott Materie. Deu. Verl. d. Wissenschaften, Berlin (1957), 351 S.
- Kluge, J.: Die Bjerknes'sche und Schmauß'sche Auffassung des Problems der Wettervorhersage aus heutiger Sicht. *Z. Meteorol.* 41(1991), 65–75
- Marx, K., Engels, F.: Werke (MEW), Bd. 20, Berlin (1978), 21–22, 499
- Nebeker, F.: Calculating the weather. *Internat. Geophys. Ser.*, vol. 60. Academic Press, San Diego etc. (1995), 255 S.
- Platzmann, G. W.: A retrospective view of Richardson's book on weather prediction. *Bull. Amer. Meteorol. Soc.* 48(1967), 514–550
- Poincaré, H.: Science et méthode. E. Flammarion, Paris (1908). Deutsch unter dem Titel: Wissenschaft und Methode. B. G. Teubner, Leipzig, Berlin, 1914, 283 S.
- Richardson, L. F.: Weather prediction by numerical process. Cambridge Univ. Press (1922), 236 S. Reprint Dover Publ., Inc., New York, 1965
- Schröder, W. (Hrsg.): Kausalität, Teleologie und Willensfreiheit als Problemkomplex der Naturphilosophie. Science edition (2000), in Vorbereitung
- Schröder, W., Treder, H.-J. (Hrsg.): Theoretical meteorology, weather prediction, cosmology and general applications. Selected scientific papers by Hans Ertel. Interdivisional commission on history of IAGA, Newsletters, No. 29(1995), 156 S.
- Trenberth, K. E., Houghton, J. T., Meira Filho, L. G.: The climate system: an overview. In: Climate change 1995, ed. by J. T. Houghton et al., Cambridge Univ. Press (1996), 51–64
- Wetter, G. A.: Der dialektische Materialismus. Herder, Freiburg i. Br. (1952), 647 S.