MYTHOS AUS DEM COMPUTER

SPIEGEL-Autor Peter Brügge über Ausbreitung und Mißbrauch der „Chaostheorie"

Plötzlich findet alle Welt an dem Wort Chaos Gefallen. Wie durch einen verborgenen Zauber weckt es statt Unbehagen zunehmend Interesse und sogar Hoffnung. Chaos ist das Wort mit der weltweit größten Wertsteigerung.

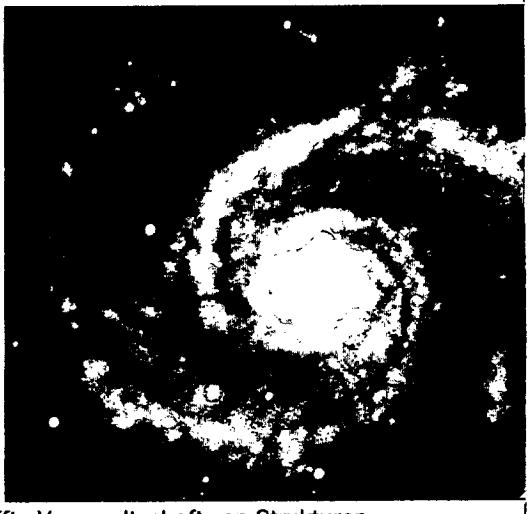
Daß es so ist, liegt an einigen tausend Mathematikern, Physikern und Biologen. Überall in der Natur und der Gesellschaft entdecken sie das, was sie unter dem Wort Chaos verstehen.

Im Pulsieren des menschlichen Herzens glauben sie ihm auf der Spur zu sein, in den flüchtigen Rauchkringeln über jeder Zigarette, in der Umlaufbahn der Erde und anderer Himmelskörper. Sie identifizieren die Macht des Chaos in Wirbelstürmen oder in Börsenkrächen. Sie meinen, daß es sich im unentwegten Stoffwechsel von Gehirnzellen ebenso äußert wie in den jaulenden Rückkopplungen von Lautsprechern und in den zermürbenden Schüben des Verkehrs auf der Autobahn.

Was diese Chaosforscher unter Chaos verstehen, ist einerseits: völlige, nicht mehr berechenbare Unregelmäßigkeit; etwas, das im Widerspruch steht zur Illusion von einer kalkulierbaren Welt. Andererseits ist an ihrem Chaos neu, daß sich in ihm nachweislich Ordnung verbirgt, aus der es hervorgeht oder in die es irgendwann einmal auch wieder mündet.

In suggestiven Computerbildern führen sie das einer wachsenden Menge angenehm verblüffter Laien vor. Die Bilder verheißen: Chaos ist schön, und es entwickelt sich in phantastischen Mustern und Formen.

Daß diese sich anscheinend ein bißchen vorhersehen lassen, vermehrt die Faszination. Es entwickelt sich ein Augenschmaus, der im Fernsehen günstige Einschaltquoten erzielt. Er kann von jedem PC-Besitzer oder Video-Freak zur Erbauung nachvollzogen, kann in Bildbänden vermarktet und zu Ausstellungen arrangiert werden. Die Computerbilder deutscher Chaosforscher sind, meist auf Kosten deutscher Steuerzahler, in bislang mehr als hundert Städten der Welt gleich einem Kulturgut erster Ordnung öffentlich zu sehen gewesen.



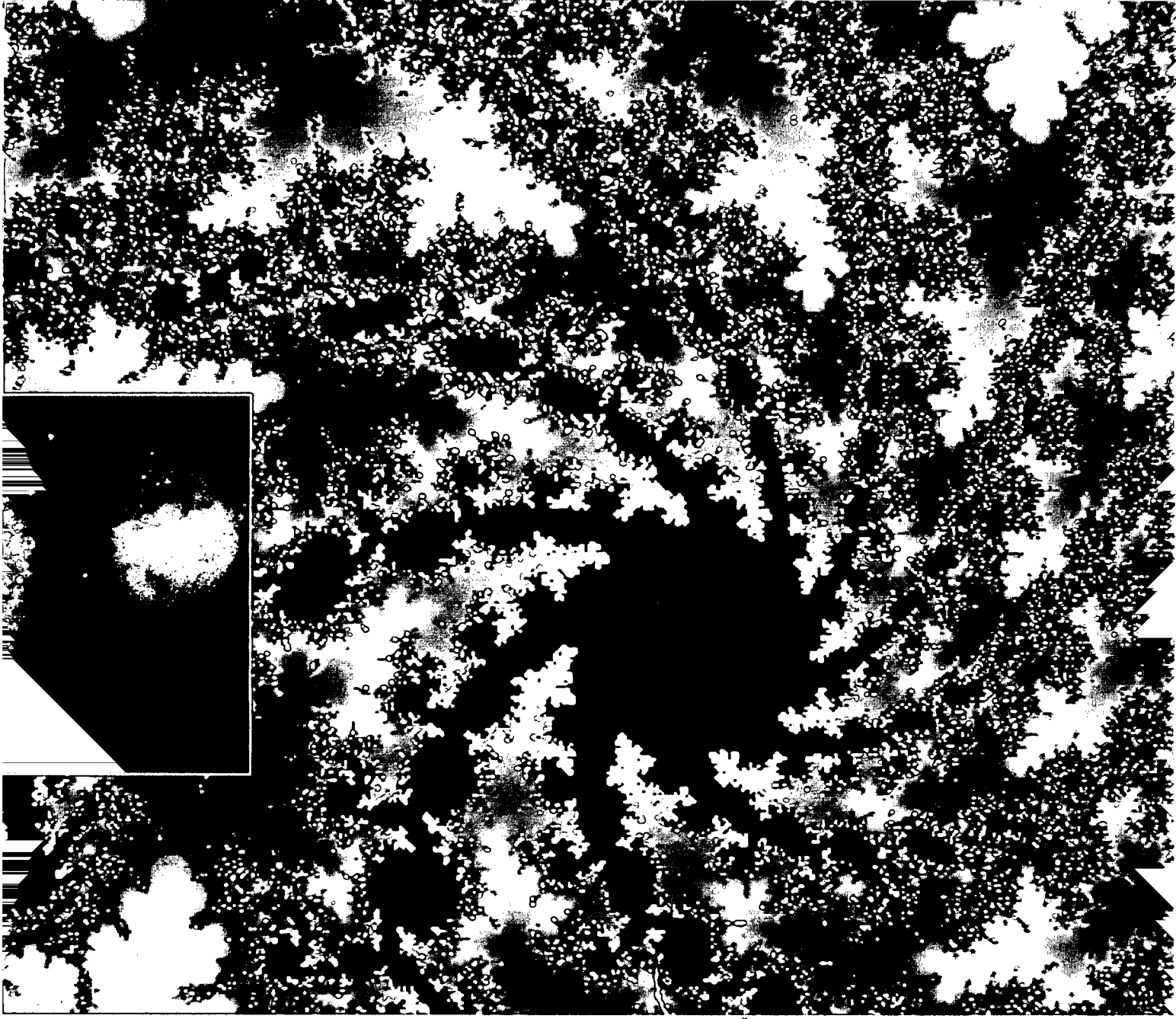
„Chaos" im Kaffee, Spiralnebel: Unverhoffte Verwandtschaft von Strukturen

„Chaos"-Klub in München: Volksaufklärung über schöpferische Instabilität

„Das Wort Chaos", sagt Benno Hess, ein mit solcher numerischen Kunstfertigkeit bekannt gewordener Biochemiker vom Dortmunder Max-Planck-Institut für Ernährungsphysiologie, „wurde von der großen Öffentlichkeit mit erstaunlichem Vergnügen akzeptiert."

Die Komponisten John Cage und György Ligeti sind zwei von ungezählten Tonkünstlern, welche dem mathematisch neuen Bild von Chaos in ihrem Œuvre Rechnung zu tragen versuchten. 25 deutsche Schriftsteller, von Hans Magnus Enzensberger bis Max von der Grün, haben einschlägigen Gefühlen in einem Band mit Chaosbildern aus dem Computer Ausdruck verliehen*. *Bild* meldete Ende 1992 sogar, daß wahrscheinlich „Gott Chaos" statt der Natur-

* „Verknüpfungen". Birkhäuser Verlag, Basel; 159 Seiten; 78 Mark.



Computerbild aus der „Chaos"-Mathematik („Mandelbrot-Menge"): „Von der Öffentlichkeit mit Vergnügen akzeptiert"

Verlockendes Chaos

Seit Darwins Lehre von der Entstehung der Arten hat keine Naturerklärung soviel Wirbel gemacht wie nun die „Chaostheorie". Obwohl sie auf ziemlich alten mathematisch-physikalischen Einsichten fußt, erklären viele ihrer Verfechter sie zur wissenschaftlichen Revolution.

Wie ein Flächenbrand hat sie fast alle Bereiche der Forschung erfaßt. Ihr Leitgedanke ist, daß der Ordnung in der Natur unberechenbare Instabilität innewohnt, aus der sich naturgesetzlich neue Ordnung organisiert. Strukturen entwickeln sich danach nicht rein zufällig, sondern in universaler Ähnlichkeit.

Von dieser Vorstellung sind Biochemiker, Ökologen, Mediziner und Sozialforscher ebenso angesteckt wie Komponisten, Dichter und Psychologen.

Manager der Wirtschaft hoffen im Namen des Chaos auf die Fruchtbarkeit eines Durcheinanders, das ihnen sonst Angst einflößen müßte. Abermillionen von Fernsehkonsumenten erliegen der Faszination prächtig falscher Chaosdarstellungen aus dem Computer wie einer Heilsbotschaft.

Angesichts dieser in der Kulturgeschichte beispiellosen Wissenschaftsvermarktung verdrängen sogar die Experten, wie schwankend, dünn und durch die Beschränktheit der digitalen Rechner vernebelt ihr Wissen vom Chaos in Wahrheit ist. So entsteht mit Hilfe der Wissenschaft ein neuer Chaosmythos – das Gegenteil von Aufklärung.

gesetze „regiere". Chaos wird konsumiert, und zwar geradezu gierig.

Die Verbraucher verstehen darunter nicht mehr das, was es mindestens 3000 Jahre lang bedeutet hat; nicht mehr die mythische Vorstellung vom gestaltlosen Zustand vor der Entstehung der Welt; nicht mehr bloß mächtiges Durcheinander.

Denn die durch Computer zu schier unbegrenzten Rechenmanövern befähigte Wissenschaft findet im Chaos jetzt eben diese unverhoffte Verwandtschaft zur Struktur, zu Rhythmus und Gestalt. Sie meint, zeigen zu können, daß es sich dabei um ein irgendwie immer weiter reguläres Ausflippen, Wirbeln und Toben handelt, etwas, das sich aber dem Naturgesetz und seinen Formzwängen nicht wirklich entwindet. Darum gibt sie ihm den paradox anmutenden Namen „deterministisches Chaos" und meint damit „regelrechte

Unberechenbarkeit" oder auch „unberechenbare Ordnung".

Das Millionenpublikum, zu dem die dahinter verborgene Physik und Mathematik bloß in prachtvollen Computerbildern spricht, erlebt diese Simulationen und „Visualisierungen" aus dem Rechner wie den tröstlichen Röntgenbefund einer nur scheinbar aus den Fugen geratenen Welt. Die Chaosforschung, die mittlerweile fast alle Bereiche der Wissenschaft mit ihren Theorien ansteckt, weiß das zu schätzen.

Allein der deutsche Buchmarkt bedient die einschlägige Nachfrage zur Zeit mit 70 Titeln. Darin steht nur nicht, wie schwach das Fundament des Chaoskultes ist.

★

Physikalisch gehört das Thema Chaos vorwiegend in das schwierige Kapitel „nichtlineare Dynamik". Bei ihr läßt nichts sich so gradlinig zusammenrechnen wie die Ladung eines Güterzuges. Vielmehr vermag sich dabei mit der Zeit – oft in unvorstellbar kurzer Zeit – etwas zu entfalten, das mehr und qualitativ etwas ganz anderes ergibt als die Summe seiner Teile.

Bei nichtlinearer Dynamik hängen Wirkungen nicht gradlinig von den Ursachen ab, sie beeinflussen sogar rückkoppelnd die Ursachen. Das kann zu drastisch sich selbst verstärkenden Prozessen führen.

In der Natur funktioniert so alles, was sich unter Energieverzehr aufbaut, bewegt, ausdehnt, fortpflanzt, gemeinsam höher organisiert oder aufeinander Jagd macht. Galaxien, Ameisenvölker, Industriegesellschaften, Zellkulturen, Embryos sowie nukleares Feuer – das sind samt und sonders Beispiele für die Dynamik des Nichtlinearen.

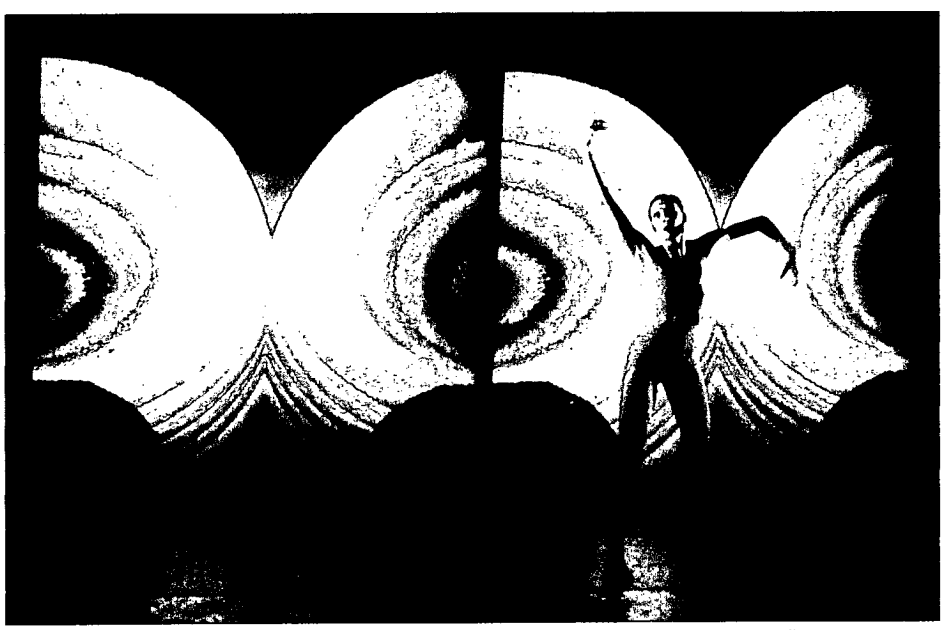
Ehe es Computer gab, waren die mit solchem Stoff verbundenen theoretischen Probleme meist nur mit Hilfe mathematischer Näherungsverfahren oder gar nicht zu behandeln. Es geht um Prozesse, die sich selbst anfachen wie die Luftwirbel eines Sturmtiefs. Es geht um Stoffe, die oszillierend ihrer eigenen Vermehrung dienen – ein ständiger Vorgang in lebenden Zellen.

Der geniale britische Mathematiker Alan Turing beispielsweise, der im Zweiten Weltkrieg die Geheimcodes der Deutschen geknackt hatte, war später dem Geheimnis solcher sich selbst antreibender (autokatalytischer) zellularer Selbstorganisation auf der Spur, mit der sich nun wieder die Chaosforschung beschäftigt. Mangels Computer kam er nicht weiter. Und ehe die ersten schnellen Rechner auftauchten, hatte Turing sich durch den Verzehr eines mit Blausäure getränkten Apfels getötet.

★

Alle Chaosforscher sind sich einig, ihr Chaos, das deterministische, gesetzmäßige, sei generell möglich, wo immer es nichtlineare Dynamik gibt; also in allen Bereichen des Mikro- und Makrokosmos.

Ist unser Sonnensystem folglich auch nicht stabil? „Fast sicher nicht", sagt der weltberühmte amerikanische Chaosforscher Mitchell Feigenbaum. Allerdings könnten, darin wiederum sind sich die Chaosexperten aus dem Garchinger Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik fast sicher, die endlich meßbaren kleinen Abweichungen der Erde auf ihrer Umlaufbahn sich wohl erst in 200 Millionen Jahren deutlich auswirken. Viele Forscher glauben ja, Großrechner wären dazu fähig, so etwas vorauszuberechnen.



„Chaos"-Ballett in Unna: „Das alles wirkt wie aus Träumen vertraut"

Was bewirkt denn aber, daß es in einem nichtlinearen System überhaupt zu Chaos kommt? Chaosforscher und Chaosfans geben auf diese Frage unisono die Antwort: Eine Winzigkeit genügt! Es entsteht prinzipiell immer, weil irgendeine minime Randbedingung, ein „Parameter" sich geändert hat.

Nichts wissen sie alle vom Chaos so gewiß wie dies. Es genügt, das kennen mittlerweile auch schon Millionen mathematisch ahnungsloser Verbraucher des Wetterberichts, ein „Schmetterlingseffekt", und es passiert.

Jede Winzigkeit hat unvorhersehbare Folgen

Dieser Effekt ist ein Schlüssel zum Verständnis von deterministischem Chaos. Edward Lorenz vom MIT in Cambridge (Massachusetts), einst ein Mauerblümchen unter den Wetter-Mathematikern, hat ihn der Menschheit 1961 als Fazit eines wissenschaftlichen Spiels mit dem Computer beschert. Es ist die millionenfach zitierte und meist mißverstandene Geschichte vom Wirbelsturm, zu dem sich womöglich auswächst, was weit entfernt begonnen haben mag mit dem Flügelschlag eines Insekts.

Lorenz wurde zum Gründungsvater des erst in den achtziger Jahren auflebenden Chaoskultes. Sein „Schmetterlingseffekt" ist heute ein Synonym für ökologisches Kausaldenken. Mit jedem nächsten Sprühstoß aus der Dose, warnen grüne Mitbenutzer der Chaostheorie, könnte im Weltklima der apokalyptische Umschwung veranlaßt werden.

Doch so zielbewußt, das werden wir sehen, ist die Botschaft des Edward Lorenz nicht zu übersetzen. Nach ihr kann in dieser Welt des Nichtlinearen prinzipiell jede noch so bescheidene Abwandlung, auch eine gutgemeinte, unidentifizierbar den ersten Anstoß für einen wie auch immer ausartenden Umschwung geben.

Nach ihr kann im Bereich des Nichtlinearen eigentlich überhaupt nichts geschehen, was nicht irgendwann, irgendwo zu irgendwelchen mächtigen Folgen beitragen mag. Die Unvorhersagbarkeit, von der die Chaosforschung handelt, reicht nämlich – seit jeher – weiter, als die wildschönen Wirbelbilder vom Display der Computer uns das empfinden lassen.

Sie verbirgt sich in den mikroskopischen Details einer Welt, die von der Mehrheit ihrer menschlichen Bewohner beharrlich mit einer Maschine verwechselt wird. Doch eine richtige Ahnung hat es, jenseits aller Wissenschaft, bei den Menschen immer gegeben („Kleine

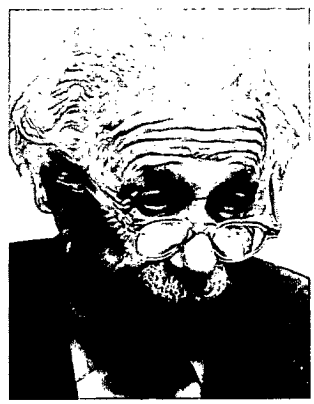
Ursachen haben große Wirkungen . . .").

★

Diesen Sommer, beim ersten internationalen „Forum" in Einsteins brandenburgischem Landhaus, ging es gleichfalls um Chaos. In der Diskussion wurde sogar der unstete Aufstieg Friedrichs II. damit in Verbindung gebracht.

Und natürlich ist da Botho Strauß. In der Berliner Schaubühne legt die Direktion dem Publikum nahe, die Inszenierung seines „Schlußchors" in diesem Sinne zu verstehen. Im 197 Seiten starken Programmheft werden dazu statt einer Einführung in das Stück wegweisende Zitate aus der populärwissenschaftlichen Literatur über die determinierte Instabilität sowie über die Rückkopplung von materiellen und geistigen Prozessen verkauft.

Weltbild-Schöpfer Newton



Weltbild-Schöpfer Einstein

In der Stadthalle von Unna (Westfalen) hat deterministisches Chaos auf Kosten der europäischen Wirtschaft zum Bühnen-Bündnis zwischen Biologie und Tanz geführt. Die Kulisse dazu ist von den künstlerisch ambitionierten Chaosforschern aus dem Max-Planck-Institut für Ernährungsphysiologie geliefert worden. Durch Eingabe von nichtlinearen Gleichungen und Simulationen des zellularen Stoffwechsels gewannen sie dem Computer prachtvoll eingefärbte Bilder von zellularen Schwingungen ab und ließen das alles auf das Format von Scheunentoren vergrößern.

Davor bewegte sich dann die Tänzerin Ilka Doubek zu sphärischem Brausen aus dem Synthesizer und in einem Lichtgewitter aus Laserkanonen so, daß sich dabei an chaotische Umschwünge, an Rückkopplungen und Metamorphosen denken ließ. Ergänzend waberte künstlicher Nebel ins Haus.

Und in diesen Nebel trat schließlich unter dem Jubel der festlich gekleideten Honoratioren aus dem Revier Ilya Prigogine, Nobelpreisträger für Chemie, und rief in seinem russisch-französisch verfremdeten Englisch, dies sei eine „magnificent performance".

Noch nie hat Naturwissenschaft sich so ans Volk herangemacht. Prigogine findet, man müsse die andächtige Aufnahmebereitschaft der Leute nutzen. Jetzt nämlich, in dieser Chaoswelle, bahne sich, davon ist er durchdrungen, der Sturz des seit 300 Jahren herrschenden wissenschaftlichen Weltbildes an. Von Newton bis Einstein inklusive, meint er, sei alles passé, was die Vorstellung nähre, in der Natur gebe es „ewig gültige Gesetze".

Weltbild-Veränderer Prigogine: „Das Universum muß nicht untergehen"

Den wesentlichen Gedanken für diese Revolution hat der Physiko-Chemiker Prigogine aus Zellmodellen und Computersimulationen abgeleitet, wie sie im Spektakel von Unna, gigantisch aufgebläht, hinter ihm zum Bühnenbild arrangiert worden sind.

Eigentlich Unsichtbares wird da illustriert, das nämlich, wozu Materie sich unter der Einwirkung und Umwandlung von Energie mit der Zeit wie von selbst organisiert: Muster entstehen, Wirbel, in sich rückgekoppelte Prozesse und eben die sich selbst verstärkende Erzeugung von Stoffen, Botenstoffen, zellularen Metamorphosen.

Alle überhaupt aus der Materie aufkeimenden Ordnungen und Systeme, das ist Prigogines Botschaft, sind „dissipativ", das heißt, mit Energieverlust verbunden. Indem sie also ständig von Energiezufuhr abhängen, entstehen unumkehrbare Prozesse. Die Ordnungen wandeln sich um und verknüpfen sich zu immer Komplexerem. Das alles ergibt, sagt Prigogine, die einzige gemeinsame Richtung der Zeit für Natur- wie Kulturgeschichte, den „Zeitpfeil" in Richtung einer höchstens bis zum Tellerrand berechenbaren Zukunft.

Sie bleibe deshalb so wenig berechenbar, weil im nichtlinearen Zusammenwirken all der im Grunde voraussehbaren Ordnungsfähigkeiten von Materie sich nie wieder völlig das gleiche ereignet; weil die labile Regelmäßigkeit von Schwingungen irgendwann erratisch ausarten und daraus völlig Neues erwachsen kann.

Prigogine zaudert nicht, diese eigentlich dem Mikrobereich seiner Biochemie abgewonnenen Perspektiven auf buchstäblich alles – auch den Kosmos – anzuwenden. Gibt es für alles nur die eine Zeitrichtung, so erledigen sich, meint er, die Zeitvorstellungen von Isaac Newton wie von Albert Einstein. Nach deren Gleichungen kann Zeit auch umkehrbar („reversibel") gedacht und gerechnet werden, obwohl keine Kugel in den Lauf zurückfliegt und keine Kohle wieder zu Wald wird.

Das Universum selber, sagt Ilya Prigogine, sei hervorgegangen aus einer Instabilität und insofern „mit seinem Hintergrund verbunden". Daß es „untergehen werde", sehe er folglich „nicht als zwingend an".

Natürlich ist das schwere Kost und nicht gerade ein Stoff für die Bühne. Das Publikum jedoch ist so angetan vom Thema Chaos, daß es beifällig für Ungefähres dankt. Das Ganze wirke eben, meint Prigogine, „wie aus Träumen vertraut". Deshalb bedient er sich beharrlich dieses uralten, mythisch befrachteten Wortes Chaos, von dem er beiläufig eingesteht, er halte es für ein „unglückliches Wort".

Das eigentliche Faszinosum seiner Forschung liegt in seinem Versuch, Ordnung, ihre Entstehung und Aufrechterhaltung zu erklären. Darin, wie Natur in „dissipativen Systemen" die Unregelmäßigkeiten eigentlich fortwährend aus sich heraus auszugleichen vermag.

Das Wort Chaos aber ist schon so übermächtig geworden, daß viele der

Anhänger Prigogines für diese Ordnung den Namen „Anti-Chaos" gebrauchen.

★

Die Chaosmode animiert Naturforscher und Mathematiker zu interdisziplinären Ausschweifungen in die Zeitgeschichte, die Kunstbewertung, die Soziologie, die Ökonomie. Etwas, worin Renate Mayntz, Direktorin des Kölner Max-Planck-Instituts für Gesellschaftsforschung, „naturwissenschaftliche Hegemonialansprüche" sieht, wird von einem Chaosagitator wie Prigogine imperial geltend gemacht.

Wer in der Firma ist ein „Chaos-Killer"?

Seine Ordnungstheorie stützt sich insbesondere auf Computersimulationen, eine überaus künstliche anorganische Erzeugung von Oszillationen in der Petrischale und den Stoffwechsel von Hefepilzen. Verwegen weitet er sie aus auf Himmelsmechanik. Doch damit nicht genug, besorgt er sich daraus Perspektiven auch für die Beurteilung der US-Wirtschaft und des Befundes der GUS.

Zufolge solcher Allzuständigkeit ist er Berater der EG. Seinen Bühnenauftritt in Unna nutzte er schließlich dazu, „unserer Industrie" dringend eine „positivere Einstellung zum Chaos" anzuempfehlen.

So etwas ist Musik in den Ohren ungezählter Chaosjünger in den Chefetagen der Wirtschaft. Sie haben sich frei gemacht für die guten Seiten der nun zum neuen Paradigma ausgerufenen „schöpferischen Instabilität".

Das zu erlernen, gibt es teure Seminare und eine Fortbildungsliteratur, die viele, so auch den Leitartikler der *Münchner Medizinischen Wochenschrift,* so weit bringt, sogar noch „die Tohuwaboiker" zu „Bannerträgern der wahren Kreativität" zu ernennen.

Das Chaos wird von der Mehrzahl seiner gesellschaftlichen Animateure niemals deutlich genug erklärt. Genährt wird die Illusion, die Selbstorganisation des Neuen, der schöpferische Umschwung („Kreativität") laufe im Geschäft ähnlich dynamisch wie in ein paar modellhaften Experimenten im Labor.

Einer der prominentesten Verfechter des „Paradigmas der Selbstorganisation", der Biochemiker Bernd-Olaf Küppers, spricht zwar von der strengen Hierarchie, „die sich von den Zellen . . . bis hin zu den Individuen, Gruppen und Gesellschaften erstreckt".

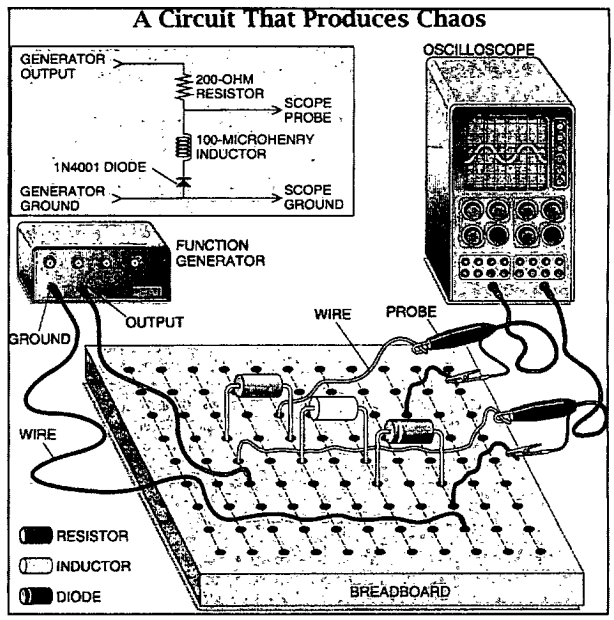
In den verbreiteten Chaosübungen für Betriebswirte hingegen müssen die noch an festen Hierarchien im Unternehmen Interessierten sich das neue Schmähwort „Chaos-Killer" anhängen lassen. Besondere Fragebogen sollen aufdecken helfen, in wem sich so ein Killer verbirgt.

★

Ein bißchen Chaos ist schnell inszeniert. Ein Schuß Sahne in den heißen Kaffee, und es ist ein paar Sekunden lang scheinbar da: Die spiralige Verteilung in der Tasse vermittelt eine Ahnung davon, was an der Sache determiniert und was chaotisch abläuft.

Die Vermengung der Moleküle vollzieht sich, auch vom Rauch über der Zigarette kennt man es ja, in einer voraussehbaren Struktur. Myriaden von Teilchen bewegen sich da so geordnet, als wären sie Mitwirkende eines Massenballetts. Vom unsichtbaren Zusammenstoß zwischen Teilchen rührt es her, daß die Formation sich erst vorhersehbar, dann unvorhersagbar abwandelt und verliert.

Einem wohl öffentlichen Interesse entsprechend hat die Zeitschrift *Scientific American* eine Bastelanleitung herausgegeben, nach der zu Hause mit etwas Aufwand elektrisches Chaos herzustellen ist. Für umgerechnet 300 Mark liefert der Handel das Nötige: Widerstände, Schaltbrett, Oszilloskop. Damit kann jeder durch spielerisches Herumstöpseln Rückkopplungen anfachen, die jählings aus den regelmäßigen Spannungsamplituden im Fenster des Oszilloskops ein erratisches Furioso machen. Das zu verfolgen sei „entspannend", lobt die Zeitschrift. Da sehe man die „Schönheit der Natur".



Bastelanleitung für „Chaos-Generator"*
„Chaos sehen entspannt"

In München haben sich an der TU junge Physiker, Mathematiker und Informatiker zu einem Chaosverein verbunden. Wie sie sagen, soll der eine „Lobby für das Chaos" bilden und möglichst vielen Zeitgenossen möglichst einfach nahebringen, wie sehr es sie angeht. Der Klub wird von der Industrie gefördert. Das Interesse am Chaos ist mittlerweile steuerbegünstigt.

Einmal im Monat üben die jungen Experten eine Art Volksaufklärung im Schwabinger „Cafe Ignaz" aus. Sozialarbeiter, Notärzte, Aktienspekulanten und Besitzer von Heimcomputern suchen da Orientierung in allen erdenklichen Fragen, die sie verunsichern. Es geht um Asylantenzahlen, Herzflattern, Börsenkurse und sonstig Instabiles. Faschistische Schwärmer möchten hören, wie sich, naturgesetzlich gesehen, wieder Ordnung schaffen ließe im Land.

Die jungen Leute vom Verein sind zu allen lieb. Stolz nennen sie sich „Chaoten". Daß dies vor kurzem noch ausschließlich als Bezeichnung für Typen galt, die ihre Anschauungen mit Hilfe von Molotowcocktails und Pflastersteinen geltend machen, berührt die neuen Chaosfans nicht mehr.

Chaos zu zeigen ist ihre Spezialität. Einer von ihnen tut das mit so viel unterhalterischer Bravour, daß ihn ein Software-Produzent vor einem Firmenempfang im Münchner Zwei-Sterne-Restaurant „Tantris" hat auftreten lassen – Chaos zum Horsd'œuvre.

Wo immer der Chaosklub seine einführenden Experimente zur Show macht, ob in regelmäßigen Symposien für jedermann oder in den Physiksälen von Fachschulen: Es herrscht Andrang wie bei einer Filmpremiere.

Mit Pendeln fängt es immer an. Pendel, scherzte James Gleick, der Chaosexperte der *New York Times*, die seien so etwas wie die Labormäuse der Chaosforschung. Das liegt daran, daß sich mit nichts so direkt und einfach vorführen läßt, wieviel Unberechenbares mit Schwingungen passieren kann.

Unglaublich viel in der Natur, ihren Systemen und Zellen ereignet sich in Form einander überlagernder Schwingungen, die kaum zu analysieren sind. Zu Pendeln gibt es eher Zugang, ob sie nun in Gestalt kinetischen Spielzeugs auf dem Schreibtisch stehen, verbunden mit subtilsten Meßgeräten in Forschungsstätten oder als Kinderschaukel

* Aus dem *Scientific American.*

im Garten. Stets schwingt, wie die Chaoslobbyisten unter Beifall vorführen, die Möglichkeit zu unberechenbarem Hin und Her in diesen schlicht mechanischen Vorrichtungen mit.

Gleichmäßig und mit wissenschaftlicher Präzision angeschubst, erreicht ein ganz simples Pendel vorübergehend eine chaotische Phase. Innerhalb derer schlägt es unberechenbar oft in diese oder jene Richtung um und schwingt zwischendurch berechenbar oft auch brav hin und her.

Wenn es genau die Scheitelhöhe erreicht, hat es mitunter die Möglichkeit, in der einen oder der anderen Richtung abwärts zu schwingen. Das vergleichen heute manche Chaostheoretiker mit dem, was sich in lebenden Zellen, insbesondere solchen des Gehirns, immer wieder in einem Mini-Moment der Umorientierung oder Entscheidung tut.

Für gewöhnlich strapazieren die Münchner Chaoslobbyisten ihr Auditorium nicht so weit. Lieber verblüffen sie es mit einem Doppelpendel, einem, das wie der Arm eines Hampelmanns über zwei Gelenke verfügt. Ein kräftiger Anstoß genügt, und der Pendelarm, in dessen Zappeln sich die Dynamik rückkoppelt, zuckt und rotiert in gespenstischer Unberechenbarkeit. Der Chaosverein stellt solche Pendel her und verkauft sie.

Er wirbt für das Chaos auch mit Tropfen. Eine Schlüsselentdeckung der Chaosforschung, genauer gesagt, des Tübinger Biochemikers Otto E. Rössler, ist nämlich: „der tropfende Wasserhahn". Am Tröpfeln aus dem Hahn läßt sich mustergültig verfolgen, wie naturgesetzlich vorbestimmt sich Ordnung in Chaos verwandelt.

Die Tropfen folgen einander nach Art einer geometrischen Reihe, wenn der Wasserdruck zunimmt. Im gleichen Zeitraum fallen plötzlich statt eines Tropfens 2, dann 4 (und nicht etwa 3), dann 8 (und nicht 7 oder 9), dann 16 und so fort. So etwas nennt die Chaosphysik „Periodenverdopplung".

Schließlich geht die Regelmäßigkeit über in Regellosigkeit. Kurz bevor das Wasser zum Rinnsal wird, herrscht für den, der sorgsam mitzählt, ein Tröpfelchaos. In der nämlichen Schrittfolge bewegen sich andere Flüssigkeiten, Gasgemenge, elektrische, akustische und biologische Prozesse in Periodenverdopplungen dem Chaos entgegen. Die Dynamik verdoppelt, vervier-, veracht-, versechzehn-, verzweiunddreißigfacht sich und geht ins Maßlose über.

Eine darauf passende Folge von „Bifurkationen" (Verzweigungen) hat 1845 der belgische Mathematiker Pierre Verhulst beim Errechnen von Wachstumssprüngen in der belebten Natur beobachtet. Der Marburger Physiker Siegfried Grossmann und Mitchell Feigenbaum erweiterten das zur universalen mathematischen Darstellung der Route ins Chaos. Dieses „Feigenbaum-Szenarium" ist eine der wenigen Orientierungshilfen der Chaosforschung.

Im Prinzip läuft das auf die Art hinaus, in der ein Baum sich verzweigt. Immer kleinere Gabelungen sehen den größeren gleich, aus denen sie hervorgehen. In dem Ganzen herrscht folglich „Selbstähnlichkeit", ein von der Chaosforschung überaus wichtig genommenes Merkmal nichtlinearer Ordnung.

In der Natur taucht das auf, wo immer sich etwas verästelt, seien es Blitze, Wurzeln, ein Flußdelta, Systeme von Adern und Nerven. Die Chaoten vom Chaosklub haben bei ihren Vorführungen auch ein Schälchen mit Öl bereit, in dem eine Prise Stahlkügelchen unter Strom gesetzt werden kann. Blitzgeschwind ketten die elektrisierten Kügelchen sich aneinander zu einer Verästelung, die einem Nervenmuster gleicht: unberechenbar im Detail, doch festgelegt in der Struktur.

Wer dabei zuschaut – und das sind Abertausende –, gewinnt die Überzeugung, es liege in der Materie schon immer das Orientierungsmuster für alles weitere vor. Das ist es, was die Leute am Chaos schätzen.

★

Der Mitwirkung von Schmetterlingen hat es für die Erfindung des „Schmetterlingseffektes" nicht bedurft. Dem Wetter-Mathematiker Edward Lorenz, der damit später zu Weltruhm gekommen ist, wurde sie wie ein Wink des Himmels von seinem Computer eingegeben.

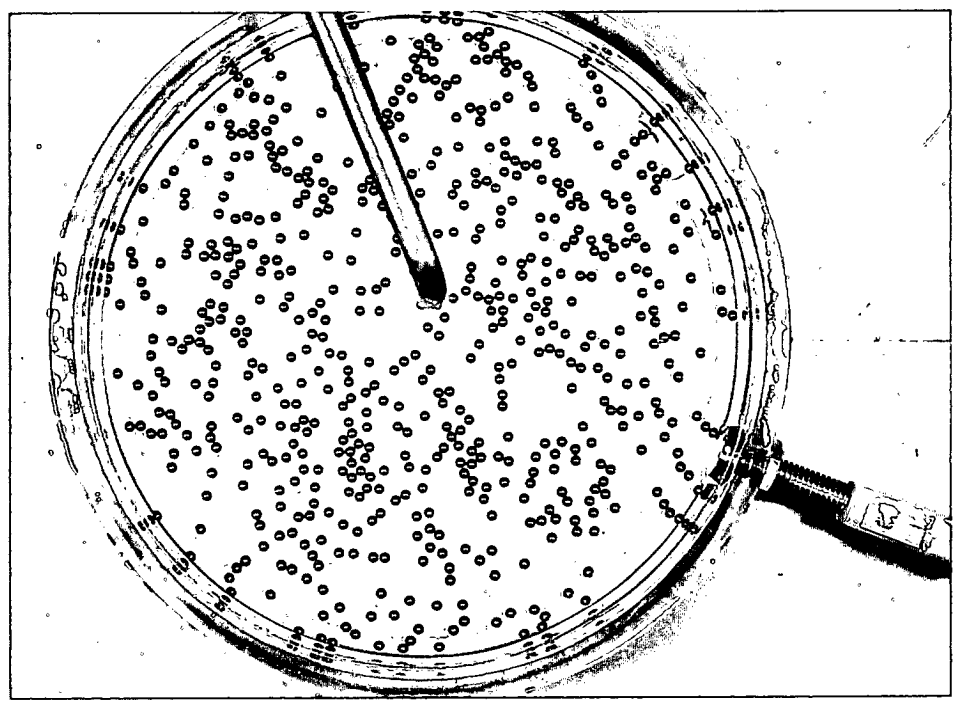
Das war ein „Royal McBee", eine laute, im Vergleich zu den mindestens zwanzigmillionenmal effektiveren Rechnern von heute unerhört lahme Maschine. 17 Rechenvorgänge schaffte sie pro Sekunde und wies maximal sechs Stellen hinter dem Komma aus (zehn mehr sind heute Standard).

Da lag es nahe, sich für das mathematische Modell zu einer mehrwöchigen Wetterprognose, dessen Tauglichkeit Lorenz am MIT zu erkunden suchte, versuchsweise schon mit drei Stellen nach dem Komma zu begnügen.

Das hieß, die Ausgangsdaten um Zehntausendstel zu runden – aufs Wetter übertragen, doch wohl eine Quantité négligeable. Lorenz wäre es jedenfalls nicht in den Sinn gekommen, so etwas könne sich in den Ergebnissen seiner auf die langfristige Bewegung von Luftmassen zugeschnittenen mathematischen Gleichungen niederschlagen. Aber das tat es, und zwar sprunghaft.

Die hauchfeine Änderung der Anfangsdaten führte binnen Stunden zu einem so verblüffend anderen Ablauf der Wetter-Simulation, daß Lorenz zunächst einen Fehler in der Maschine vermutet hat.

Dann fiel ihm ein: Angeblich schlummerte in nichtlinearen Systemen eine seltsame, gar nicht berechenbare Sensibilität gegen Anfangsdaten. Schon Ende des 19. Jahrhunderts hatten einige französische Mathematiker das intuitiv erkannt. In Systemen mit zumindest drei beweglich aufeinander einwirkenden Elementen, so fand deren bedeutendster, nämlich Henri Poincaré, anno 1908



Versuchsanordnung für das Verhalten von Stahlschrot unter elektrischer Spannung

„Selbstähnlichkeit" im Experiment, „Selbstähnlichkeit" in der Natur (Bildleiste

konnte ein ganz kleiner Unterschied von solchen Anfangsimpulsen zu völlig unvorhersehbaren Entwicklungen führen.

Weil das eigentlich alle Dynamik des Lebens und der Himmelsmechanik betraf, lief es auf einen Abschied von der herrschenden Vorstellung einer letztlich berechenbaren Welt hinaus. Die Unvorhersagbarkeit des Wetters, über die der philosophierende Mathematiker Poincaré bereits Bescheid wußte, war nur ein Aspekt davon. Er, dem das Wort „Chaos" dazu noch nicht einfiel, erschrak, obwohl er die einschlägigen Differentialgleichungen nicht zu lösen vermochte. „Die Dinge sind so seltsam", fand er, „daß ich es nicht aushalte, weiter darüber nachzudenken."

Diesen Faden nahm Edward Lorenz, ohne von Poincarés Skrupeln etwas zu wissen, wieder auf. Er war sicher, mit seinen enorm vereinfachenden Gleichungen und dem, was der Computer daraus machte, der nichtlinearen Sprunghaftigkeit tatsächlicher Wetterbewegungen auf der Spur zu sein.

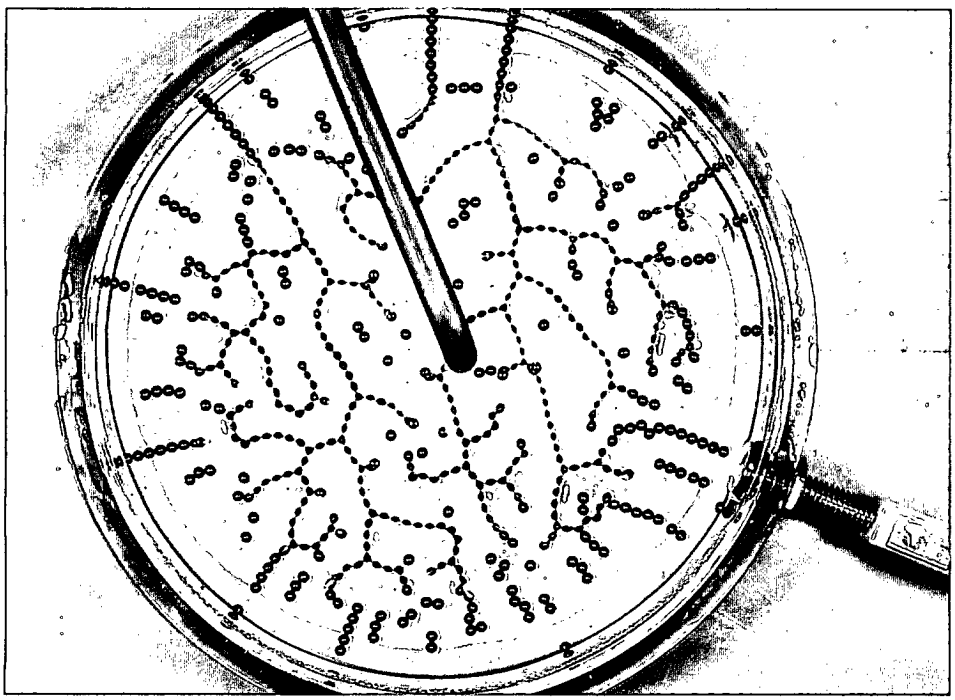
Nun, so fand er, habe man es schwarz auf weiß, wieso das Wetter, einmal in Schwung, die Vorhersagen immer wieder Lügen strafte; wieso es eine langfristige Vorhersage niemals würde geben können.

Wenn eine Wertberichtigung um lachhafte Zehntausendstel die Daten seines hausgemachten meteorologischen Rechenexempels so zum Ausflippen brachte, wie erst mußte sich dann der unentwegte Konditionswandel im molekularen Gewoge des konkreten Wetters auswirken? Derartiges wollten sich in den sechziger Jahren die meisten seiner Fachkollegen allerdings noch längst nicht fragen. Sie waren von der Idee besessen, mit Hilfe eines immer dichteren Netzes von Meßstationen und immer schnellerer Rechner müsse das Wetter sich bald weit voraus ermitteln, eines schönen Tages vielleicht sogar dirigieren lassen.

Dabei konnte, so malte es sich Lorenz noch bescheiden aus, bereits eine „Seemöwe" flügelschlagend den ersten Impuls für eine später furchtbare Turbulenz liefern. Als er das 1979 endlich einem großen Fachkongreß unterbreiten durfte, wandelten findige Promotoren das Möwen-Gleichnis ab. Der Schmetterling kam ins Spiel.

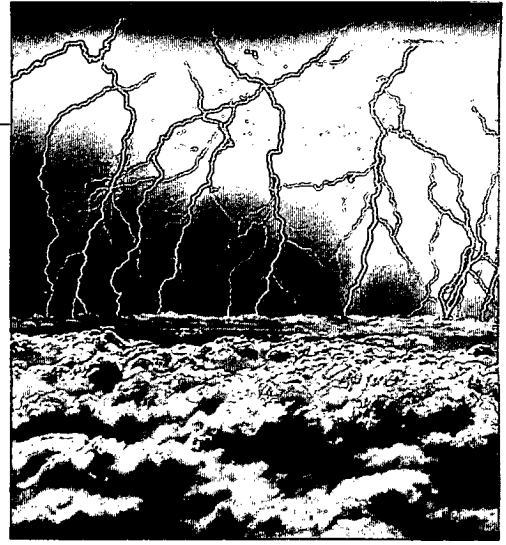
Lorenz stellte die alsbald um die Welt wandernde Frage: „Löst der Flügelschlag eines Schmetterlings in Brasilien einen Wirbelsturm in Texas aus?" Die Vorstellung, genau das könne er tun und vielleicht auch noch nachweisbar, ist wie eine Erleuchtung in den 14 Jahren seither übergesprungen auf Multimillionen kluger Köpfe. Dank eines schillernden Losungswortes wurde die fast hundert Jahre zuvor schon diskutierte „Sensibilität gegen Anfangsbedingungen" zum kulturellen Gemeinplatz.

Sogar im Nachrichtenblatt des feinen „Vereins Deutscher Ingenieure" gibt es nun Mißdeutungen zu lesen wie diese: „Unterbleibt der Flügelschlag, so bleibt Texas noch einmal von der Katastrophe verschont." Viele tun mittlerweile gerade so, als würden speziell unangenehme Naturereignisse per Schmetterling auf den Weg gebracht. Biologen, Mediziner, Sozialwissenschaftler bedienen sich

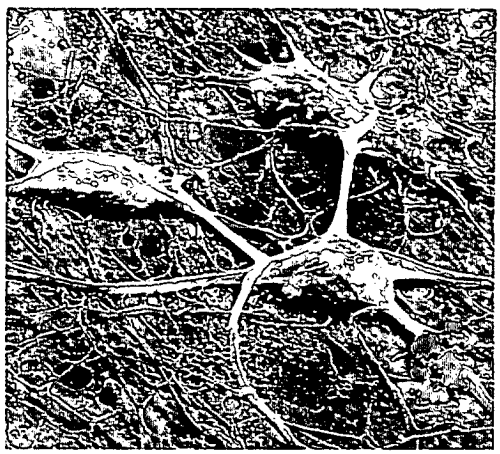


Unter Spannung ordnen sich die Kugeln zu verzweigten Strukturen

rechts): Universale Muster aus der Materie?

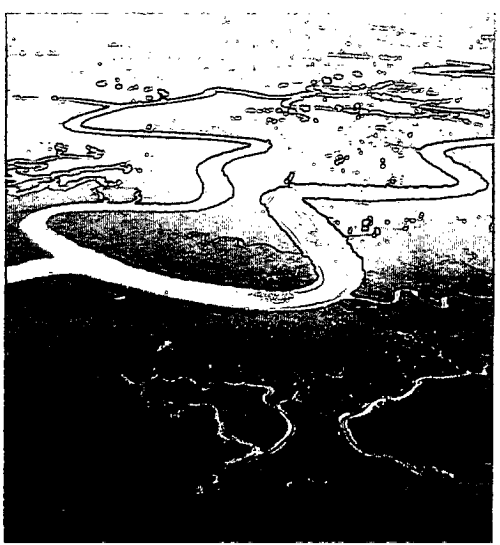


Verzweigung von Blitzen



Verzweigung von Nervenzellen (Neuronen)

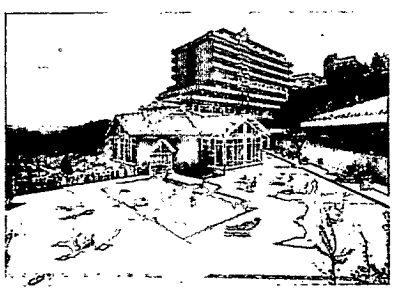
Verzweigung von Ästen, Flußdelta



Vergessen Sie alles, was Sie bisher über Kliniken gehört haben!

Auch Gesundheit geht durch den Magen

Ihre Gesundheit wird wesentlich von ausgewogener Ernährung bestimmt. Deshalb legt unser Küchenchef besonderen Wert darauf, Sie mit einer Kost zu verwöhnen, die dieses Ziel auch mit lukullischen Leckereien erreicht. Ihre Mahlzeiten nehmen Sie im stilvollen Speisesaal oder bei schönem Wetter auf der Terrasse mit wundervollem Blick in waldreiche Natur ein.



Weitab von jeglicher Hektik – oberhalb des malerischen Fachwerkstädtchens Rotenburg a.d. Fulda und umgeben von intakter Natur – liegt unsere »**Rodenberg-Klinik**«.

Qualifiziertes Personal, modernste Diagnostik und wunderbare Ruhe ermöglichen Erholung von den Anstrengungen des Alltags und die Rückgewinnung einer stabilen Gesundheit.

Bitte fordern Sie unser ausführliches Informationsmaterial an!

Rodenberg-Klinik

Internationale Herz- und Kreislaufklinik für Privatpatienten

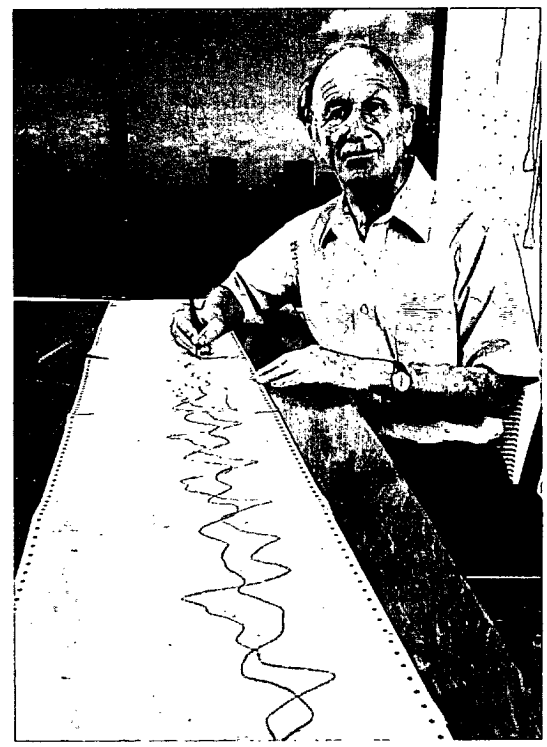
Panoramastr. 101
36199 Rotenburg a.d. Fulda
Tel. 06623/88-5000 • Fax 06623/88-5012

des Schmetterlingsvergleiches, wo immer irgendwelche Umschwünge in Systemen, Organismen oder Gesellschaften in Rede stehen. Quantenphysiker sogar sind davon angesteckt. Dabei befaßt ihre Theorie sich ausschließlich mit Wahrscheinlichkeitsaussagen und gestattet deshalb keine Prognosen über irgendwelche vorbestimmten Mustern gehorchenden Teilchenbewegungen.

Sei's drum: In einem Laborversuch, den noch keiner von ihnen ganz versteht, gelang es, ein experimentell isoliertes Wasserstoffatom durch eine minimale Veränderung in seiner weiteren „Umgebung" – Schmetterlingseffekt! – aus periodischen Bewegungen in völlig verrückte zu versetzen.

All dies nahm seinen Anfang mit jenem wohlgemerkt naturfernen meteorologischen Computerversuch am MIT. Denn, was Lorenz, der Tüftler mit dem Waldarbeitergesicht, seinem Rechner zu verarbeiten gab, war eine Kette von Differentialgleichungen, welche die komplexe Dynamik des Wetters etwa so treffend widerspiegeln wie eine Spielzeugeisenbahn den Verkehr der Bundesbahn.

Nicht nur, daß diese Wetter-Mathematik zwangsläufig aus groben Vereinfachungen und Näherungen bestand. Sie mußte der Computernumerik wegen auch noch wesentlich verändert werden.



„Chaos"-Pionier Lorenz
Woher kam der Schmetterlingseffekt?

Warnung vor den Geisterbildern im Computer

Denn mit den eigentlich notwendigen Differentialgleichungen kann ein Digitalrechner nichts anfangen. Zusätzlich wurden dann bei der rasanten Potenzierung gerundeter Zahlen die Ergebnisse unkontrolliert und mächtig verfälscht.

Nicht genug damit: Die sogenannten Zeitschritte, in denen die andauernde Dynamik der modellierten Luftbewegungen im Computer vorangetrieben wurde, waren unverträglich groß. Heute wissen viele Computerfachleute, wie durch so etwas bereits ganz von selbst das sogenannte Chaos ins Ergebnis kommen kann.

Die Entdeckung des Schmetterlingseffektes, der das Nachdenken über Chaos gleich einem Flächenbrand angefacht hat, war, mathematisch betrachtet, Schimäre. Edward Lorenz selbst hat 26 Jahre nach seiner folgenreichen, papierenen Begegnung mit ihm öffentlich vor Geisterbildern und „Blow-ups" gewarnt, auf die Chaossucher am Großrechner gefaßt sein müssen.

Auch ihm, dem Zaubermeister, war klargeworden, welche täuschenden Verwerfungen von Resultaten sich aus den Eigenheiten der Numerik ergeben und den Zauberlehrlingen ein Abbild von Wirklichkeit vorgaukeln. Sie konnten verschleiern, woher der Chaos bewirkende „Schmetterlingseffekt", falls es ihn wirklich gab, in Wahrheit gekommen ist – aus der Natur der Sache oder aus der Natur des Rechners.

Fazit: Ein unbekannt großer Anteil dessen, was bei der für revolutionär erklärten Betrachtung nichtlinearer Prozesse in der Natur, der Gesellschaft, der Ökonomie nach Chaos aussieht, ist vor allem ein Erzeugnis der Numerik – Computerchaos. Während den Chaosschwärmern der Schmetterlingseffekt bereits dazu dient, die Wirksamkeit homöopathischer Verdünnungen oder die Fernwirkungen von Gorbatschows Gedanken zu erklären, wollen sie sich über die Folgen von „Computerchaos" lieber nicht den Kopf zerbrechen.

Die Sache ist zu penetrant. Das Hilfsmittel, ohne das dem deterministischen Chaos gar nicht auf die Spur zu kommen war, erzeugt das Gesuchte selber!

Im nächsten Heft

Chaotisch Falsches aus dem Großrechner – Täuschung mit dem „Apfelmännchen" – Sind Fraktale „gezähmtes Chaos"?