



**»Vielleicht  
ist Gott  
das Loch  
im Schweizer  
Käse«**

Dieser Mann hat sein Leben der Unordnung gewidmet und wurde damit berühmt. Ein Gespräch mit dem Chaosmathematiker Heinz-Otto Peitgen über das Geheimnis der Leberchirurgie, die Fehler bei Auto-Crashtests und die Eichhörnchen im Baum der Wissenschaft

Interview **Niels Boeing, Andreas Lebert** Fotos **Benne Ochs**

**W**ir treffen einen bestens aufgelegten Heinz-Otto Peitgen im Fraunhofer-Institut für Bildgestützte Medizin in Bremen, das er bis Ende 2012 leitete. Auf einem Bord neben dem Tisch stehen zwei eigenartige Objekte, die an Korallen erinnern.

**Herr Peitgen, was für Skulpturen sind das?**  
Das sind Ausgüsse von Organen, rechts steht der Ausguss einer menschlichen Leber.  
**Und die haben mit Chaostheorie zu tun?**

Ja, mit ihrer Hilfe ist uns eine außerordentliche Verbesserung der Leberchirurgie gelungen. Nehmen wir an, jemand hat einen Tumor in der Leber, den man herausnehmen will. Dafür muss man in Gefäßstrukturen hineinschneiden. Schneidet man zu viel heraus, wird die Leber schwer geschädigt. Wir haben Softwaresysteme entwickelt, die auf der fraktalen Geometrie beruhen, einem Teilgebiet der Chaostheorie, und mit denen können wir die Schädigung der Leber bei Chirurgiepatienten individuell vorhersagen. Das ist eine unserer schönsten Leistungen, die sehr viele Menschenleben gerettet hat. Übrigens auch in Japan, wo das Problem noch komplizierter ist.



**Das Chaos** in der Mathematik konnte erst mit dem Computer entdeckt werden: Heinz-Otto Peitgen erklärt die »Logistische Gleichung«, eines der Herzstücke der Chaostheorie

## **Inwiefern?**

Es gibt Länder, in denen eine Lebertransplantation aus religiösen, aus ethischen Gründen nicht möglich ist, dazu gehört Japan. Dort darf man den Körper eines Toten nicht öffnen und schon gar nicht Organe entfernen. Deshalb entnimmt man von einem gesunden Menschen ein Stück Leber, um es in die Leber eines Kranken einzusetzen. Das geht, weil die Leber neben der Haut das einzige Organ ist, das sich von selbst regeneriert. Allerdings hat man nun ein doppeltes Risiko: Man muss die komplexen Gefäßsysteme in der gesunden und der kranken Leber so trennen, dass das, was übrig bleibt, noch voll funktionsfähig ist. Chirurgen aus Japan schicken die radiologischen Aufnahmen nach Bremen, und unser Expertenteam erzeugt mit einer speziell dafür entwickelten Software die optimalen Schnittpläne. Die werden als 3-D-Aufnahmen nach Japan zurückschickt, und die Chirurgen operieren anhand dieser Pläne.

## **Was kommt nach der Leberchirurgie?**

Das Thema Brustkrebs fasziniert mich. Denn wie gehen wir heute mit Brustkrebs um, mit dieser Geißel der Frauen, was machen wir da? Mammografien, Projektionsaufnahmen der Brust. Die Bildung von Tumoren ist aber ein äußerst komplexes

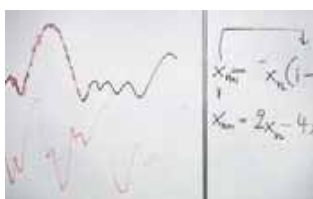
Phänomen, vor allem die Bildung von Metastasen. Ein so einfaches Verfahren wie die Mammografie dagegensetzen – das ist ein völliges Unverhältnis. Es kann überhaupt nicht sein, dass man ein so komplexes Problem wie die Tumorbildung mit so simplen Methoden wie einer Chemotherapie behandeln will. Das ist zu monokausal gedacht. Wenn wir das so angehen, ist es hoffnungslos, Krebs wirklich zu besiegen.

#### Ist das Ihr nächstes Projekt?

Ich bin hin- und hergerissen. Eigentlich möchte ich nicht unbedingt noch mal alte Dinge aufgreifen, Wissenschaft und Medizin. In den letzten Jahren hatte ich den Wunsch, an einen zeitgenössischen Komponisten einen Kompositionsauftrag zu vergeben, um ein Oratorium für Dietrich Bonhoeffer zu schreiben. Daran sitzen wir auch mit der Deutschen Kammerphilharmonie Bremen immer noch.

#### Bonhoeffer war ein großer Theologe, der im KZ ermordet wurde. Was verbindet den Chaostheoretiker Peitgen mit ihm?

Das kam durch einen Religionslehrer. Der hat mit uns die Tagebücher des Lagerkommandanten von Auschwitz Rudolf Höß gelesen. Unser Lehrer hatte die Idee, mit uns ein KZ zu besuchen, und so sind wir nach Buchenwald gefahren, wo es auch eine Gedenkstelle für Bonhoeffer gibt. Er war 1945 dort inhaftiert, bevor er im KZ Flossenbürg umgebracht wurde. Bonhoeffer hat mich danach mein ganzes Leben lang nicht mehr verlassen. In seinen Briefen, die er in der Haft geschrieben hat, beschäftigt er sich auch mit der Frage, wie Gott das zulassen kann, was damals passierte. Er lässt sich immer wieder Bücher einschmuggeln, darunter eines von Carl Friedrich von Weizsäcker, *Zum Weltbild der Physik*. Das liest er. Und begreift, dass die Physik offenbar gewaltige Sprünge gemacht hat, dass ihr Verständnis von Materie in Dimensionen vorstößt, die unvorstellbar sind, unglaubliche Folgen haben. Er zieht daraus einen Schluss: Wenn Gott der Lückenbüßer unserer unvollständigen Erkenntnis wäre, dann hätte Gott langfristig keine Chance, weil die Erkenntnis sich über die Zeit ausweitet und anschickt, die ganze real erfassbare Welt zu durchdringen und zu verstehen. Ich benutze diesen Gedanken gern in populärwissenschaftlichen Vorträgen über Chaos. Denn wenn Bonhoeffer gewusst hätte, was wir heute wissen, nämlich dass es einerseits mathema-



**Peitgen wurde** Ende der achtziger Jahre mit Visualisierungen von mathematischen Funktionen berühmt, die Bilder wie die sogenannte Julia-Menge (oben) erzeugen. Kleine Abweichungen in den Anfangsbedingungen führen in der Chaostheorie dazu, dass die Kurven einer Funktion unterschiedliche Wege nehmen (unten)

tische Aussagen gibt, die weder bestätigt noch widerlegt werden können, wie Kurt Gödel gezeigt hat, und andererseits Chaos zum Universum gehört, dann hätte er sich keine Sorgen machen müssen um den Lückenbüßer-Gott. Man könnte auch sagen, das sind zwei Anzeichen dafür, dass die Welt da draußen wie ein Schweizer Käse ist: Mit Erkenntnislücken, in die wir mit unseren mathematisch-naturwissenschaftlichen Methoden prinzipiell nie reinkommen. Ein Rückzugsgebiet für den Lückenbüßer-Gott.

#### Das Wort »Chaos« ist jetzt schon mehrmals gefallen. Was bedeutet das: Chaos?

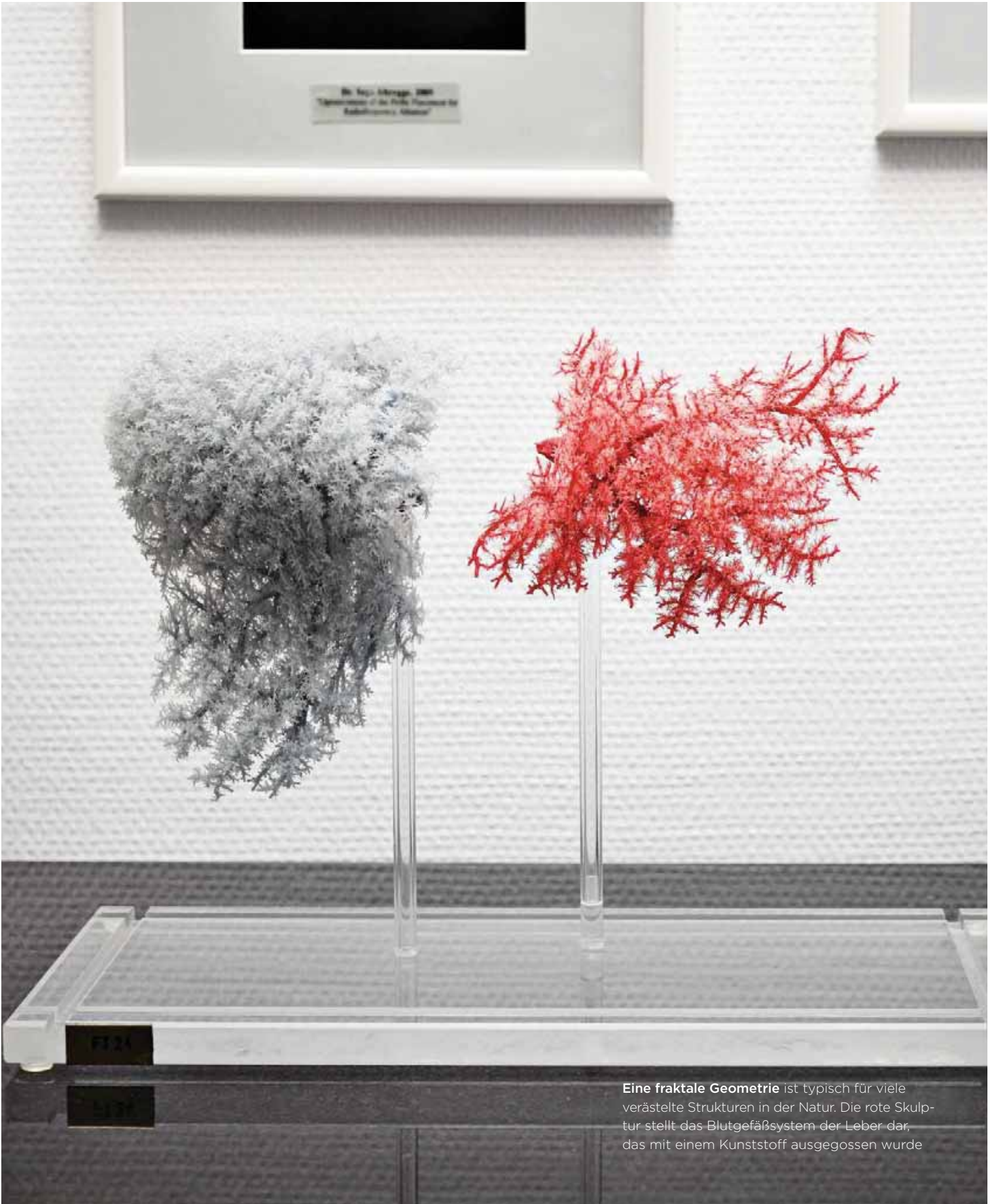
Im ursprünglichen Wortsinne geht es um die Gestaltwerdung aus der Leere.

#### Was bedeutet Chaos in der Wissenschaft?

Der Anfang geht zurück auf die Frage: Ist das Planetensystem stabil? Mit der hatte sich Henri Poincaré beschäftigt und dabei eine neue Mathematik erfunden, in der er schon Spuren von dem entdeckte, was wir heute Chaos nennen. Dann passierte lange nichts, bis Ed Lorenz, ein theoretischer Meteorologe am Massachusetts Institute of Technology, 1960 versuchte, die numerische Wetterprognose weiterzuentwickeln. Dafür reduzierte er das Wetter auf dem ganzen Planeten auf drei gewöhnliche Differenzialgleichungen, die aber – mathematisch gesprochen – nicht linear und miteinander verknüpft sind. Die hat er dann mit einem Tischrechner untersucht, der einen Bruchteil der Rechenleistung eines heutigen Handys hatte. Lorenz setzt also die Parameter in die Gleichungen ein, eine Wetterprognose für zehn Tage ist das Ziel, und gibt alles in seinen Rechner ein. Der Rechner ist langsam, die Ergebnisse werden noch auf Papier ausgedruckt, Lorenz kann zwischendurch etwas anderes machen. Als er zurückkommt, sieht er, dass er aus Versehen die Berechnung über fünf statt zehn Tage gemacht hat. Er setzt die Rechnung mit den bisherigen Ergebnissen ab Tag sechs fort. Als er das Ergebnis sieht, findet er es merkwürdig. Er startet die ganze Rechnung noch mal von vorn, diesmal gibt er tatsächlich zehn Tage ein. Als er die Ergebnisse der Durchläufe vergleicht, sind sie total unterschiedlich.

#### Fand er eine Erklärung dafür?

Die Ergebnisse aus der ersten Fünf-Tage-Berechnung waren im Computer zwar auf zehn Stellen hinter dem Komma genau, ausgedruckt wurden aber nur fünf dezimale Stellen, und die hatte er in den zweiten Teil



Eine fraktale Geometrie ist typisch für viele verästelte Strukturen in der Natur. Die rote Skulptur stellt das Blutgefäßsystem der Leber dar, das mit einem Kunststoff ausgegossen wurde

der Rechnung eingegeben. In diesem gab es also eine kleine Unsicherheit über die Nachkommastellen sechs bis zehn. 1963 hatte er Gewissheit: Solche winzigen Unterschiede in den Anfangsdaten können in den Ergebnissen der drei Wettergleichungen große Unterschiede hervorrufen. Er stellte diesen Befund auf einer Meteorologiekonferenz in Rio de Janeiro vor und erklärte ihn mit dem Bild, »dass der Flügelschlag eines Schmetterlings in Rio de Janeiro einen Wirbelsturm in Houston, Texas, auslösen, aber auch verhindern könnte«. Kleinste Unterschiede, kleinste Unsicherheiten am Anfang können sich zu massiv unterschiedlichen Wirkungen auswachsen – damit hatte er das Wesen des Chaos entdeckt.

**Daher stammt also der berühmte »Schmetterlingseffekt«?**

Genau. Die meteorologische Fachwelt hat damals gesagt, der gute alte Ed ist verrückt geworden. Der ist durchgeknallt. So ist seine Entdeckung erst mal liegen geblieben. Anfang der Achtziger haben einige Wissenschaftler sie wieder aufgegriffen und gezeigt, dass eine Wetterprognose über mehr als 14 Tage hinaus prinzipiell unmöglich ist. Heute wird bei einer Fünf-Tage-Prognose im Fernsehwetterbericht der Temperaturverlauf mit so einer Art Kegel unterlegt, der breiter wird und die fortschreitende Unschärfe der numerischen Wetterprognose darstellt. Genau genommen, kann man schon über fünf Tage keine ernsthaften Prognosen mehr abgeben. Das sagen die Gangster aber nie.

**Wie ist das mit dem Klima? Gilt die Lorenzsche Grenze der Prognostizierbarkeit auch für das gesamte Klimasystem?**

Das weiß man nicht. Was ich jetzt sage, ist ein bisschen gemein: Die Entdeckung des Chaos in der Klimatologie ist nicht erwünscht.

**Das kann man sich gut vorstellen.**

Die Entdeckung des Chaos war auch in der Meteorologie nicht erwünscht, und sie ist von der meteorologischen Community nur sehr schwer verarbeitet worden. Das hat Jahrzehnte gedauert. Die Klimaforschung brauchte einen neuen Lorenz, der genauso knochentrocken und nüchtern ist und das Chaos im Klima entdeckt. Lorenz selbst hat schon in den sechziger Jahren über die Unmöglichkeit spekuliert, Klima mit mathematischen Modellen vorhersagen zu können. Ich wage mal ein Gedankenspiel,

das das Dilemma beleuchtet: den Golfstrom. Er zieht, aus dem Golf von Mexiko kommend, an der Südspitze von Florida vorbei und strömt dann als schmales Band warmen Wassers an der nordamerikanischen Ostküste nach Norden. Auf der Höhe Washington, New York wird dieses schmale Band breiter und breiter und biegt ab nach Osten. Dort zerfasert es förmlich, ähnlich wie sich kräuselnder Zigarettenrauch in turbulente Wirbelstraßen auflöst, und so zieht es nach Europa. Würden wir an der europäischen Westküste und in der Atmosphäre mit vielen Stationen messen, wie viel Wärme der Golfstrom transportiert, würden wir ein extrem komplexes Signal registrieren, das über die Zeit aussieht wie ein Zufallsereignis, das hin und her wabert und in sich stark fluktuiert. Was können wir tun? Die brutale Holzhammermethode wäre, über alle Messungen den Mittelwert zu bilden. Die nicht vorhersag-

---

**»Soll einer noch sagen, das Wissen um Chaos hätte keine praktischen Auswirkungen. Chaosforschung rettet Menschenleben«**

**»Mathematiker sind Menschen, von denen die Öffentlichkeit glaubt, sie kämen nur mit einem Blinden-hund durchs Leben«**

---

baren Schwankungen, die real vorhanden sind, wären bei dieser Herangehensweise für die klimatologischen Entwicklungen erst mal eliminiert und als unwichtig deklariert. Aber was, wenn der Mittelwert über sehr lange Zeit wiederum fluktuieren würde? Ein eventuell vorhandener Treiber für Chaos wäre damit in der Modellbildung von vornherein ausgeschaltet oder nicht greifbar. Klimaforschung über mathematische Modellierung steht vor der prinzipiellen Frage, ob es in der tatsächlichen Klimaveränderung, mit oder ohne antropogene Wirkungen, Schmetterlinge gibt, die dazu führen, dass aus einer Ausgangssituation sehr unterschiedliche Klimaentwicklungen möglich sind.

*Inzwischen sitzen wir mit Peitgen bei einem Italiener in der Nähe des Instituts. Während wir ihm mit Messer und Gabel in das Dilemma der Klimaforschung folgen, hat er den Golfstrom auf einer Serviette skizziert. Doch er holt schon zum nächsten Thema aus.*

Ich erzähle Ihnen jetzt eine Geschichte, da werden Sie sagen, die ist doch erfunden.

**Was kommt jetzt?**

Jeder Autohersteller, der ein neues Modell auf den Markt bringen will, muss vorher Crashtests machen. Früher hat man die Autos wirklich gecrasht, das war ziemlich teuer. Deshalb war die Autoindustrie elektrisiert bis in die Fingerspitzen, als Ingenieure, Mathematiker und Physiker auf die Idee kamen, ein solches Auto im Rechner zu simulieren und zu crashen. Dazu sind monumentale Computermodelle nötig. Als vor einigen Jahren Computer mit Multiprozessorsystemen herauskamen, mit mehr als einem Prozessor, freuten sich die Numeriker, dass sie damit die Rechenleistung erheblich steigern können. Rechenvorgänge, die vorher linear, also nacheinander in einem Prozessor abliefen, wurden nun auf mehrere Prozessoren verteilt oder parallelisiert, wie man sagt. Man setzte Software ein, die organisiert, welcher Prozessor was macht. Irgendwann ist dabei jemandem aufgefallen, dass die Crashergebnisse bei zwei Rechenläufen mit identischen Ausgangsbedingungen unterschiedlich waren. Große Aufregung: Hat die Software versagt? Ist die Programmierung falsch? Ist die Modellierung falsch?

**Und was war der Grund?**

Die Modellierung eines Fahrzeugs mit der komplexen Interaktion seiner Bauteile in einem Crash kann unter Umständen chaotisch sein: Kleine Unterschiede können also große Änderungen in dem Crashergebnis hervorrufen können – es gibt »Schmetterlinge« in der Konstruktion. Als man noch reale Crashtests machte, dachte man, die Tests seien aussagekräftig, aber auch die hatten Schmetterlinge in der Konstruktion. Heute findet man die mit mathematischer Software und weiß dann, welche Bauelemente man verändern muss, um ein belastbares Crashergebnis zu erhalten. Ist das nicht eine tolle Geschichte?! Jetzt soll noch einer sagen, das Wissen um Chaos hätte keine praktische Konsequenz. Chaosforschung rettet auch hier Menschenleben.

#### **Wie kam es überhaupt, dass Sie in die Mathematik gingen?**

Das lag an Friedrich Hirzebruch, wahrscheinlich einer der bedeutendsten Mathematiker Deutschlands nach dem Krieg. Auf den stieß ich in Bonn, als ich anfing, Physik und Mathematik zu studieren – das war damals bis zum Vordiplom noch ein Studiengang. Hirzebruch hielt Vorlesungen, die man niemals missen wollte. Er war ein Menschenfänger sondergleichen an der Tafel, und bei ihm war die Mathematik ein unglaubliches Erlebnis. Anders als seine Kollegen schrieb Hirzebruch nicht einfach nur die Tafel voll. Er entwickelte in einer Vorlesung eine Idee, verfiel sich in den Beweisen, machte einen neuen Entwurf, der schließlich klappte, und dann freute er sich. Man erlebte Mathematik von der Idee bis zur Vollendung! Eine grandiose Persönlichkeit. Hirzebruch hat mich dazu bewegt, dass ich Mathematiker und nicht Physiker geworden bin. Wir sind später gute Freunde geworden, auch wenn sein Mathematikbild stark geprägt war vom Bourbakismus.

#### **Bourbakismus?**

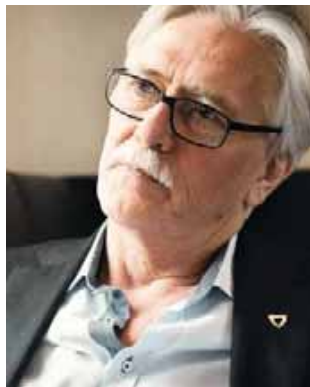
Zu Beginn des 20. Jahrhunderts geriet die Mathematik in eine Krise – ähnlich übrigens wie die Physik oder die Kunst. Die Mathematiker spürten, dass die Begriffe, die sie über Jahrhunderte verwendet hatten, ohne eine Präzisierung zu gewaltigen Irrtümern führen konnten. Eine Gruppe von französischen Mathematikern, die unter dem gemeinsamen Pseudonym Nicolas Bourbaki publizierte, gab deshalb das Programm aus: Wir reduzieren die Mathematik auf das, worin wir sicher sind. Bourbaki

entwickelte in der Art und Weise, wie man Mathematik schriftlich niederlegt, eine geradezu theologische Strenge. Das heißt, mathematische Formulierungen wurden vollkommen entindividualisiert, entemotionalisiert. Es war eine Reinigungsbewegung: Alles weg, was zu Irrtümern führen kann. Außerdem entfernten sie die Bilder aus der Mathematik. In den Büchern von Bourbaki gibt es keine Bilder mehr.

#### **Auch keine geometrischen?**

Nein, nichts mehr, Bilder sind out. Das hat mich ungeheuer fasziniert, diese Unbedingtheit, diese Härte. Ich hatte in der Studentenbude sogar ein großformatiges Druckwerk mit den ersten Seiten der Bourbaki-Mengenlehre. Warum hängt man sich so was übers Bett?! Fragt man sich heute.

#### **Erst recht, wenn man weiß, dass Sie maßgeblich daran beteiligt waren, den Begriff des Chaos, der ja viele Bilder im Kopf hervorruft, populär zu machen.**



**Der Mathematiker** Heinz-Otto Peitgen, 68, baute Ende der siebziger Jahre an der Universität Bremen eines der ersten Labore für Computergrafik auf. Er hatte zwei Professuren in den USA inne und erlebte dort bei Vorträgen über fraktale Geometrie »Popstar-Momente«, weil er die Begeisterung über das neue Forschungsgebiet wie kaum ein anderer zu entzünden verstand. 1995 gründete er das Center for Medical Image Computing Mevis in Bremen, das 2009 Fraunhofer-Institut wurde

Es gab ja einen unglaublichen Streit in der *scientific community*, der auch in die populären Medien ausuferte, darüber, ob der Begriff Chaos richtig gewählt ist.

#### **Finden Sie in der Rückschau, dass der Begriff gut gewählt war?**

Ja, weil er an dem, was Chaos im mathematisch-naturwissenschaftlichen Sinne ist, ziemlich nahe dran ist. Aber wenn man den Begriff Chaos in seiner historischen Entwicklung nimmt, von den Griechen bis in die Moderne, dann ist das durchaus gefährlich. Und ich kann nachempfinden, dass Leute sagen, die Popularität hat mit dem Begriff zu tun. Es gab viele, die sich in den Achtzigern dadurch sehr bedrängt fühlten.

#### **Durch die Popularität?**

Ja. Ich war einer der Popularisierer der Chaosforschung geworden. Mit der Folge, dass es in der Deutschen Mathematikervereinigung eine heftige Kampagne gegen mich gab Ende der achtziger, Anfang der neunziger Jahre, als meine Bücher herauskamen. Einige sagten, das ist alles nicht Mathematik, was der macht, das sind nur hübsche, bunte Bilder, dahinter steckt nichts Tiefes, das ist ein großer Schaden für die Mathematik. Mathematiker sind ja von Natur aus »unöffentliche« Personen, Menschen, von denen die Öffentlichkeit glaubt, die kämen nur mit dem Blindenhund durchs Leben.

#### **Ein Klischee.**

Die Mathematiker sind nicht so blind, dass sie dieses Klischee nicht kennen würden. Und wenn ein negatives Klischee über eine Berufsgruppe existiert, macht die sich oft einen Gegenentwurf. Der Gegenentwurf ist: Wir sind besonders. Die Außenwelt versteht uns nicht. Und jetzt kommt da Herr Peitgen, über den die Leute sagen, wenn der das erklärt, kann man alles verstehen.

#### **Waren auch Bourbakisten unter den Gegnern?**

Natürlich. Menschen, die dem Bourbakismus verpflichtet sind, fühlen sich durch eine Mathematik, so wie ich sie erklärt habe, total verletzt.

#### **Haben die Vorwürfe Sie verletzt?**

Ja, es war eine richtig schwere Zeit.

#### **Und was hat Hirzebruch dazu gesagt?**

Der hat immer zu mir gestanden, das war wunderbar.

#### **Nun sind 20 Jahre vergangen. Hat sich die deutsche Mathematikwelt geändert?**

Ja, total! Die Entbourbakisierung ist abgeschlossen. Das heißt, heute scheut sich kein

Mathematiker mehr, seine Sache mit Bildern zu präsentieren und zu popularisieren. **Dennoch werden bei jungen Leuten Mathematik und Naturwissenschaft immer unpopulärer. Warum?**

Die Lehrer bekommen an den Unis immer noch ein Mathematikbild mit auf den Weg, das sie nicht zu begeisterten, sondern eher zu frustrierten Mathematikern macht. Ich habe in Bremen eine Lehrerakademie gegründet, um etwas an der Ausbildung der Mathematiklehrer zu ändern. Die übliche Segmentierung in lineare Algebra, Differenzialrechnung, Wahrscheinlichkeitsrechnung, Mengenlehre, Topologie und so weiter ist für Mathematiker vielleicht das Richtige. Für Lehrer ist sie blöd, für die Schule sogar tödlich. Als Methodik habe ich deshalb die Computerunterstützung in den Unterricht getragen. Damit kann man mathematische Erfahrungen machen, die übergreifend sind und entdeckenden Charakter haben. Das heißt, es gibt unterschiedliche Wege und unterschiedliche Ergebnisse, sehr gute und weniger gute, die aber alle brauchbar sind. Mathematik in der Schule muss nicht so sein wie die reine Mathematik, mit diesem Fanatismus der Genauigkeit und der Betonung des Formalen. **Ein Problem ist doch auch, dass ich als normaler Mensch mit einer hausgemachten Mathematik über die Runden komme, die eigentlich den Stand von 1600 hat. Alles, was dann danach kam, wie Topologie oder lineare Algebra, brauche ich nicht.**

Wir haben in den vergangenen Jahrzehnten etwas erlebt, was die Bedeutung von Mathematik vollkommen verändert hat. Der Wegbereiter dieser Veränderung ist der Computer. Ob in der Biologie, in der Molekulargenetik, in der Medizin: Überall ist eine Mathematisierung im Gange ...

**... die aber an den Computer abgegeben wird. Da sieht man als Laie erst recht keinen Anreiz, sich über Dreisatz und Prozentrechnung hinauszubewegen.**

Wir müssen die Mathematik heute anders betrachten. Ich möchte das an etwas verdeutlichen, was ich den Baum der Wissenschaften nenne. Wenn man die Wissenschaften historisch betrachtet, haben wir am Anfang einen dicken Stamm: die Naturwissenschaften – und die waren alle eins. Galileo war nicht Mathematiker, nicht Physiker, Galileo war Galileo. Newton war nicht Physiker, er war nicht Mathematiker,

er war Naturforscher. Dann, um 1900, entsteht plötzlich das neue Bewusstsein der einzelnen Disziplinen, und aus dem Stamm wachsen dicke Äste heraus, Mathematik, Physik, Biologie, Chemie. Sie entstehen als eigenständige Disziplinen, die sich stark gegenüber den anderen abgrenzen. Aus den großen Ästen sprießen wieder Äste heraus, in der Mathematik zum Beispiel Gruppentheorie oder Mengenlehre. Und auch aus diesen kommen kleinere Zweige. Was passiert mit einem Baum, der sich immer weiter verzweigt? Irgendwann sind die Zweige so klein und zahlreich geworden, dass sie anderen Ästchen plötzlich wieder ganz nahe kommen. In den Spitzen des Baums sind alle wieder zusammen. Was heute en vogue ist, nämlich die Multi- und Interdisziplinarität, ist keine Modeerscheinung, sondern eine Zwangsläufigkeit. Das Konzept des 20. Jahrhunderts, die Wissenschaften in Teilgebiete zu unterteilen, ist kaputt.



**Über den Baum** der Erkenntnis diskutiert Peitgen mit den Redakteuren von ZEIT WISSEN Niels Boeing (links) und Andreas Lebert

**Der Mensch flitzt dann wie ein Eichhörnchen auf dem Erkenntnisbaum herum und ist ständig mit allen möglichen Ästen zugange?**

Er ist immer mittendrin. Und wenn das Eichhörnchen da oben herumtanzt, weiß es mitunter gar nicht, welcher Hauptast dazugehört. Das ist ihm auch schietegal. Ein wunderschönes Bild.

**Könnten Sie sich vorstellen, dass es einen Zeitpunkt gibt, zu dem an einer ganz anderen Stelle noch mal ein Stamm wächst und sich eine völlig andere wissenschaftliche Welt entwickelt?**

Ja, klar. Wir haben das Beispiel praktisch vor uns. Die Wissenschaften haben sich physikalisch durch Computer vollkommen transformiert – heute gibt es Computerphysik, Computerastronomie oder Computerbiologie. Ich glaube, das Hervortreten und das Wichtigwerden von Information ist etwas, was wir quer durch die Wissenschaften erleben. Der vorherrschende Gedanke in der Molekulargenetik etwa ist Informationsübertragung, Informationserzeugung, Informationsstörung. Information, eine nicht physikalische Entität, ist jetzt überall. **Materie, Energie – und Information als etwas Drittes.**

Ja, eine dritte Sphäre. Einstein sagte, alles ist Energie, und damit haben wir lange ganz gut leben können. Heute ist alles Information.

**Was bedeutet das?**

Bis Ende des 19. Jahrhunderts gab es die Vorstellung, dass die Welt ein Uhrwerk ist. Laplace, der französische Mathematiker, dachte, wir müssen nur die Anfangszustände der Bausteine des Universums feststellen, und dann können wir vorhersagen, was in Zukunft passiert. Diese Vorstellung von Kausalität ist Bottom-up. Die Information bringt plötzlich eine Top-down-Kausalität ins Spiel, die alles durcheinanderbringt. Der Computer ist ein gutes Beispiel: Erst wenn die Information, die Software geladen wird, fängt die Maschine an zu arbeiten, bewegen sich die Elektronen. Wir erleben gerade, wie Information praktisch die ganze Wirklichkeit top-down manipuliert, steuert – und uns damit eine offene Zukunft gibt.

**Noch einmal zurück zum Schmetterlingseffekt. Es gibt ja die Redensart »Was macht es schon, wenn in China ein Sack Reis umfällt?«. Jeder Mensch würde sagen: nichts. Könnte nicht die Bedeutung der Information zu einem gesellschaftlichen Äquiva-**

**lent des Schmetterlingseffekts führen, sozusagen zu einem »Reissack-Effekt«?**

Komplexität hat viel damit zu tun, wie Dinge in einem System vernetzt sind und interagieren, welche Geschwindigkeiten im Fluss der Information durch das Netzwerk eine Rolle spielen. Nehmen wir einfach mal die Information, die man gemeinhin meint, also die Information in den Medien. Hier gibt es einen neuen Zustand, den wir bisher nicht gekannt haben. Der Umfang der Information ist sprunghaft angestiegen. Früher waren die Informationsanbieter stabil und bekannt – Radiostationen, Presse, Fernsehen. Jetzt nehmen fast alle an der Informationserzeugung teil. All das passiert in einem gewaltigen Netzwerk, das selbstorganisiert abläuft. Wenn man an die Phänomene denkt, die wir vor drei Jahren in der arabischen Welt gesehen haben: Die wären ohne das Fluidum Information und Selbstorganisation kaum denkbar gewesen.

---

**»Die Zukunft ist offener, als wir es uns bisher vorstellen konnten. Ich denke, der Trost könnte aus der Geschichte kommen. Gesellschaften sind unglaublich anpassungsfähig«**

Es wäre also vorstellbar, dass es auch in der Sphäre der Information zu Schmetterlingseffekten kommt. Die hochvernetzten Finanzmärkte deuten schon darauf hin: Ein Effekt, der früher Tage, vielleicht sogar Wochen gebraucht hätte, um sich auszuweiten, kann sich jetzt innerhalb von Sekunden ausbreiten, und er kann nicht mehr von Menschen kontrolliert werden, sondern wird durch die vernetzten Systeme organisiert. Das führt zu Reaktionen. Auch hier können kleine Änderungen in der Information massive Auswirkungen haben.

**Wir verlieren also gerade die Kontrolle. Wo ist der Trost für uns Menschen?**

Die Zukunft ist offener, als wir es uns bisher vorstellen konnten. Ich denke, der Trost könnte aus der Geschichte kommen. Es hat immer Innovationen gegeben, die umwälzend waren und alte Industrien, alte Lebensgewohnheiten vernichtet haben – der Buchdruck, die Eisenbahn, die Telefonie. Menschen, die diesen Umwälzungen ausgesetzt waren, fühlten sich oft gelähmt. Wenn wir heute vom Übergang des Buchs zum elektronischen Buch reden und ihn als Kulturverlust erleben, könnte man dagegenhalten, dass die Menschen dasselbe empfanden, als die Bücher aufkamen. Und dann haben sie sich doch daran gewöhnt. Vielleicht liegt der Trost darin, dass die Anpassungsfähigkeit von Gesellschaften eine unglaubliche Fähigkeit darstellt, die die Voraussetzung dafür ist, per Evolution durch eine gänzlich offene Zukunft zu navigieren.

**Würden Sie einem jungen Menschen heute raten, Mathematik zu studieren?**

Ich habe mich natürlich selber oft gefragt, ob ich das wieder tun würde, denn ich hatte auch andere Neigungen, zum Beispiel Musik. Aber ich bin sicher, dass jemand, der Mathematik studiert, eine ungeheure Befriedigung haben kann, weil Mathematik etwas sehr Eigenes ist. Die großen Siege sind sehr selten, die Niederlagen überwiegen. Aber aus den Fehlversuchen, die für die Mathematik in gewisser Weise typisch sind, kann man trotzdem eine Befriedigung ziehen. Das ist ganz eigenartig. —

---

*Niels Boeing (nbo@bitfaction.com) kam während des Physikstudiums mit Chaos- und Komplexitätstheorie in Berührung, die er neben Quantenmechanik und Relativitätstheorie für eine der wichtigsten naturwissenschaftlichen Entdeckungen des 20. Jahrhunderts hält.*

# GLADIATOREN · UND KOLOSSEUM

· HELDEN UND ARCHITEKTUR  
IM DIENST DER MÄCHTIGEN



**20. Februar bis 24. August 2014**



expona  
museum exhibition network



Liechtensteinisches  
LandesMuseum

**Sie werden staunen, wie nah das Fürstentum Liechtenstein ist: von Zürich 100 km, von Innsbruck 170 km, von München 240 km und von Stuttgart 260 km.**

[www.landesmuseum.li](http://www.landesmuseum.li)