

## INTERVIEW

**"Der Wissenschaftler muß wie der Künstler mit seinem Werk ringen"**

*Von Henrik Klagges*

**Henrik Klagges unterhielt sich mit dem Biochemiker und Nobelpreisträger Manfred Eigen über die Genomanalyse, über das Verhältnis von Wissenschaft zu Musik und über Ethik und Evolution.**



Manfred Eigen

*Manfred Eigen, 70, ist einer der großen alten Männer der deutschen Wissenschaft. Er erhielt 1967 den Nobelpreis für Chemie für seine Arbeiten über die Kinetik ultraschneller chemischer Reaktionen. Eigen ist Autor der populären Wissenschaftsbücher "Das Spiel" und "Stufen zum Leben". Bis zu seiner Emeritierung war er Direktor des Max-Planck-Instituts für biophysikalische Chemie in Göttingen, das deshalb auch liebevoll-spöttisch als "Eigenheim" bezeichnet wird. Er leitet dort immer noch ein aktives Forschungsteam, verbringt jedoch auch viel Zeit in den USA, wo wir ihn am Scripps Research Institute im kalifornischen La Jolla besuchten.*

**SPIEGEL ONLINE:** Herr Professor Eigen, wieviel Information steckt im Menschen?

**Eigen:** Wenn Sie die Zahl der Buchstaben in der DNS nehmen, dann entspricht ein Coli-Bakterium ungefähr einem eintausend Seiten starken Buch, etwa Thomas Mann's "Zauberberg". Und da das menschliche Genom wiederum tausendmal so groß ist, so entspricht das eben einer gut ausgestatteten Privatbibliothek. Es ist wohl die wichtigste Entdeckung der Biologie dieses Jahrhunderts, daß DNS der Informationsspeicher ist. Man versteht heute, wie die Informationsübertragung auf molekularer Ebene vonstatten geht.

**SPIEGEL ONLINE:** Tausend Bücher hören sich nach außerordentlich viel Information an...

**Eigen:** Die Insider waren eher überrascht, wie wenig das ist. Zum Beispiel entsprechen einem Protein aus hundert Aminosäuren nur etwa fünfhundert Bits. Das ist für eine komplexe Funktion nicht viel.

**SPIEGEL ONLINE:** Für einen erheblichen Teil unserer DNS ist bislang keine Funktion bekannt. Handelt es sich dabei um unbrauchbaren "Schrott"?

**Eigen:** Das würde ich nicht sagen. Daß es wirklich "Junk-DNS" gibt, glaube ich nicht, sonst hätte der Organismus sie längst abgestoßen. Es ist nur einfach Information, die nicht in Proteine übersetzt wird. Sie kann sehr wohl für die Rekombination wichtig sein, zum Beispiel, um die richtigen räumlichen Abstände festzulegen. Bei den Zellen höherer Lebewesen kann es durch Rekombination noch zu wesentlichen Änderungen im Genom kommen. Deshalb ist jeder Mensch auch genetisch absolut ein Individuum. Auf alle Fälle steckt eine ganze Menge von Information in der DNS, die nicht Software, sondern Hardware ist.

**SPIEGEL ONLINE:** Die tatsächliche Analyse und Synthese von DNS sind noch sehr zeitaufwendig?

**Eigen:** Ja. Eintausend Basen pro Tag zu lesen ist bei der gegenwärtigen Technologie schon eine recht gute Leistung. Wir arbeiten zur Zeit daran, die Abfolge der einzelnen Basenpaare in einem DNS-Molekül zu bestimmen. Wenn man nur ein einziges Molekül nimmt und es vom Ende her abbaut, läßt es sich anhand der sukzessive erscheinenden Bausteine direkt "lesen". Die einzelnen Basen markieren wir mit fluoreszierenden Gruppen. Ein optimiertes Enzym braucht pro Abbauschritt eine tausendstel bis eine hundertstel Sekunde. Im Bestfall könnte man damit in wenigen Monaten die gesamte Genomsequenz eines Menschen herausfinden.

**SPIEGEL ONLINE:** Es reicht nicht, das menschliche Genom nur einmal zu analysieren, so wie es im Human Genome Project unternommen wird?

**Eigen:** Das ist zwar sehr interessant, aber damit kann man medizinisch noch nicht viel anfangen. Man will ja im Einzelfall vergleichen und gegebenenfalls feststellen, ob eine genetisch bedingte Krankheit vorliegt. Man müßte eigentlich jedes beliebige Genom untersuchen können.

**SPIEGEL ONLINE:** Wie können Sie denn die notwendigen Abbauenzyme entwickeln und verbessern?

**Eigen:** Es funktioniert so, wie die Natur es macht. Die Information wird in Nukleinsäuren "übersetzt", die sich reproduzieren können, und wir schaffen Bedingungen, unter denen das mit optimaler Geschwindigkeit vor sich geht. Diese sogenannte Evolutionstechnologie ist unser Hauptarbeitsgebiet. Wir sind nicht so sehr an der Frage interessiert, wie das Leben "historisch" entstanden ist.

Die Frage ist, kann man eine Maschine konstruieren, die so etwas im Labor tut? Wie kann man ein Protein in einen optimalen Katalysator verwandeln oder ein Virus umprogrammieren?

**SPIEGEL ONLINE:** Und dabei manipulieren Sie routinemäßig die kleinsten Dinge...

**Eigen:** Mit der Fluoreszenzkorrelation haben wir eine Methode, mit der wir einzelne Moleküle beobachten. So können wir verfolgen, wie sie sich entwickeln. Das zu messende Signal muß daher sehr klein - praktisch null - sein. Damit wird auch das störende Rauschen sehr klein. Wir beobachten dann die Fluktuationen des Meßsignals. Dazu fokussieren wir den Laserstrahl auf ein winziges Volumen, kleiner als ein Coli-Bakterium. Ein Coli-Bakterium ist deutlich kleiner als eine Zelle im menschlichen Körper. Gelegentlich wandert dann ein Molekül in dieses kleine Meß-Volumen hinein, wobei es ein Signal abgibt. Diese Photonen registrieren wir zeitaufgelöst als Fluktuation.

**SPIEGEL ONLINE:** Und woher wissen Sie, daß das Signal mit dem gesuchten Molekül zu tun hat?

**Eigen:** Man kann die Moleküle spezifisch sichtbar machen. Im Falle von DNS zum Beispiel koppelt man einen Fluoreszenzmarker an einen sogenannten Primer. Ein Primer ist eine Sequenz, so um die zwanzig Bausteine lang, die genau komplementär - spiegelverkehrt - zum gesuchten Zielmolekül ist. Wenn das Zielmolekül sich in der Probe befindet, so bindet der Primer, und nach einer charakteristischen Diffusionszeit sehen wir das Fluoreszenzsignal. Das Verfahren ist höchst empfindlich und zugleich einfach zu handhaben: Das Experiment läuft in eingeschweißten Folien ab, die nicht geöffnet zu werden brauchen. Sicherheitsbestimmungen lassen sich damit sehr viel leichter erfüllen. Wir haben einen Virustest entwickelt, der sich sicher und sauber handhaben läßt. Außerdem benötigt man dabei Proben von nur einem millionstel Liter. Für die Anwendung dieser Ideen, also für den Technologietransfer, haben wir gesorgt, indem wir vor drei Jahren eine Firma in Hamburg gegründet haben.

**SPIEGEL ONLINE:** Warum in Deutschland und nicht in Amerika?

**Eigen:** Wir wollen eben sehen, ob so etwas nicht auch in Deutschland geht. Zuerst war es ziemlich frustrierend, Risikokapital zu erhalten. Aber dann haben wir Glück gehabt und einen privaten Geldgeber gefunden. Es hat drei Jahre gedauert bis alles anlief, und es war harte Arbeit. Aber jetzt haben wir bereits achtzig Mitarbeiter in der Firma. Die Stadt Hamburg ist schon recht zufrieden mit uns, weil wir dort Arbeitsplätze geschaffen haben. Die Gewinnzone werden wir wohl erst später erreichen.

**SPIEGEL ONLINE:** Das menschliche Genom scheint beherrschbar geworden zu sein, wenn man hört, mit welcher Selbstverständlichkeit mit genetischer Information umgegangen wird, daß Ihre Evolutionsmaschinen Viren umprogrammieren, daß die Informationen des menschlichen Erbmaterials sich problemlos auf wenige CD-Roms pressen ließen?

**Eigen:** Warum soll das eine Entwertung sein?

**SPIEGEL ONLINE:** Weil die Magie verlorengegangen ist.

**Eigen:** Für mich ist das keineswegs so. Als ich 1945 in Göttingen zu studieren anfang, habe ich die Physik-Vorlesungen von Professor Pohl gehört. Wir nannten es immer den Pohl'schen Zirkus, es waren wunderbare Experimente, die er vorführte. Und wenn er irgendeine schwierige Sache klar gemacht hatte, und wir glaubten, es jetzt auch verstanden zu haben, dann sagte er: "Und darüber kann man sich nicht genug wundern". Das heißt also, das "sich Wundern" kann erst anfangen, wenn wir einen gewissen Einblick haben, und nicht, wenn wir gar nichts davon verstehen. Das geht mir auch immer so mit den Kreationisten, die sich die Schöpfung nach biblischem Muster so einfach vorstellen. Die können gar keine richtige Hochachtung entwickeln, weil sie die Komplexität eines solchen Prozesses überhaupt nicht begreifen. Die andere Frage ist, ob man ein Verständnis der biologischen Evolution mißbrauchen kann. Natürlich kann man alles, was man gelernt und verstanden hat, zum Vorteil oder zum Nachteil einsetzen. Sie können mit einem Streichholz in einer Raffinerie eine Riesenkatastrophe anrichten - mit einem einzigen Streichholz. Die Gesellschaft muß dafür sorgen, daß so etwa nicht passiert. Wir müssen eine angemessene Moral entwickeln, was auch bedeutet, daß man nicht alles umsetzt, was möglich ist.

**SPIEGEL ONLINE:** Aber wenn die Naturwissenschaftler nur die Erkenntnis liefern, wo soll dann die Moral herkommen? Läßt die sich aus der Naturwissenschaft ableiten?

**Eigen:** Natürlich nicht. Moral ist etwas Normatives. Es ist Aufgabe der menschlichen Gesellschaft, sie zu erarbeiten. Da muß einfließen, was der Gesellschaft nützt und was ihr schadet. So ist Moral ursprünglich ja auch entstanden. Ich glaube nicht, daß sich so etwas aus den Naturwissenschaften ableiten läßt. Allerdings ist es schon wichtig, die Erkenntnisse der Naturwissenschaften zu berücksichtigen.

**SPIEGEL ONLINE:** Die wissenschaftliche Methodik, also das vorsichtige Denken, die Kombination aus Datensammeln und Aufstellen und Verwerfen von Hypothesen, ist also eine Denkweise, die auch über den Wissenschaftsbereich hinaus von Nutzen sein kann?

**Eigen:** Ja. Hier liegen auch die Berührungspunkte zu den Künsten. Nicht in der Sache, da gibt es kaum Berührungspunkte. Eine Mozartsinfonie ist einzigartig. Wenn sie nicht geschrieben worden wäre, gäbe es sie einfach nicht. Wenn dagegen Einstein nicht gelebt hätte, gäbe es am Ende doch so etwas wie die Relativitätstheorie. Das "Kunstwerk" in Einsteins Theorie ist, wie er diese zusammengebaut hat. Das ist einmalig. Das hätte kein anderer so gemacht. Genauso würden ohne Richard Feynman die von ihm entwickelten Diagramme nicht existieren. Die Prozesse, die durch Feynmans Diagramme erklärt werden, wären aber wohl auf andere Weise beschrieben worden.

**SPIEGEL ONLINE:** Und darin liegt der Unterschied zur Kunst?

**Eigen:** Ja. Trotzdem entspricht die Art und Weise, wie der Künstler an seine Arbeit herangeht, wiederum sehr der des Wissenschaftlers. Wenn wir Wissenschaftler über ein Problem nachdenken, gehen wir nicht logisch, Schritt für Schritt vor, so wie wir es später in der Veröffentlichung darstellen. Auf diese Weise sind wichtige Entdeckungen kaum gemacht worden. Wir gehen häufig von Vermutungen aus, von Vergleichen. Intuition spielt eine große Rolle. Der Wissenschaftler muß wie der Künstler mit seinem Werk ringen.

**SPIEGEL ONLINE:** Der Wissenschaftler geht aber nach bestimmten, sachlichen Kriterien vor.

**Eigen:** Sicher, aber das tut der Künstler auch. Seine Arbeit muß ebenfalls bestimmten Kriterien genügen. Diese Kriterien sind aber nicht allgemein, sonst wäre das Kunstwerk keine individuelle Schöpfung mehr.

**SPIEGEL ONLINE:** Sie persönlich haben sich sehr viel mit Musik beschäftigt?

**Eigen:** Wir hatten sogar einmal die Idee, ein Max-Planck-Institut für Musik zu gründen - eine Art Bauhaus der Musik. Es sollte das Handwerkliche mit dem Künstlerischen zusammengeführt werden. Dieses Institut hätte mehrere Abteilungen beherbergt, eine, die direkt die Praxis der Musik pflegt, also in die einige sehr gute Instrumentalisten berufen worden wären, dann die schöpferische Musik, Komposition, weiterhin die Technik der Musik, neue Klangentwicklungen, und schließlich die Musikgeschichte. Wir haben einen Vorschlag ausgearbeitet, der jedoch Gutachtern gegeben wurde, die mit moderner Musik nicht viel anfangen konnten.

**SPIEGEL ONLINE:** In der Komposition gibt es eine Menge klassischer Formen und Grundmuster. Ist deren Anzahl beschränkt?

**Eigen:** Wahrscheinlich nicht. Es gibt zwar Wiederholungen, aber

nehmen Sie die Mozart'sche Musik. Die Reprisen enthalten immer wieder Abwandlungen. Das Zusammenführen der Teile ist nahezu unbeschränkt. Man hat versucht, dies am Computer zu simulieren. Man hat versucht zu lernen, welche Intervalle am häufigsten vorkommen, und das über viele Intervallschritte hinweg. Musik geht aber weit darüber hinaus. Die Ideen sind nicht programmierbar.

**SPIEGEL ONLINE:** Über der Form steht also doch noch das Lebendige, der Geist?

**Eigen:** So ist es. Sie können das fast bis in die Mathematik zurückverfolgen. Die berühmten Arbeiten von Kurt Gödel und Alan Turing haben gezeigt, daß nicht einmal die Mathematik aus ihren formalen Kriterien vollständig ableitbar ist. Nicht alle Wahrheiten sind durch Axiome objektivierbar. Roger Penrose aus Oxford hat in seinen neuen Büchern klar ausgeführt, daß das menschliche Gehirn kein Turing-Automat ist.

**SPIEGEL ONLINE:** Sagen wir einmal, das er versucht hat, dieses zu beweisen. Nicht alle Forscher sind sich da einig.

**Eigen:** Penrose sagt, daß das, was man heute als künstliche Intelligenz bezeichnet, nicht ausreicht, um das Gehirn zu erklären. Das ist richtig. Darüber hinaus ist seine Darstellung der Ideen Gödels und Turings hervorragend. Ich stimme aber gar nicht mit seinen Schlußfolgerungen überein, daß wir zur Erklärung der natürlichen Intelligenz eine ganz neue Physik, zum Beispiel Quantengravitation, brauchen. Die einzige Begründung, die man für seine These geben könnte, lautet etwa: "Wir wissen noch nicht, wie das Gehirn funktioniert, wir wissen noch nicht, wie Quantengravitation zu formulieren ist, also wird es wohl das gleiche sein". Penrose setzt sich meiner Ansicht nach nicht genügend damit auseinander, daß unser Gehirn eben adaptiv arbeitet. Physiker haben ja früher oft Ideen geäußert, wie man das Leben erklären könnte. Diese Ideen haben sich durchweg als falsch erwiesen.

**SPIEGEL ONLINE:** Welche Rolle spielt Darwins Weltbild in der heutigen Wissenschaft?

**Eigen:** Die Molekularbiologie hat im großen und ganzen zur Bestätigung der Darwinschen Ideen geführt. Sie hat außerdem gezeigt, daß alles sehr viel subtiler ist. Darwin hat ja selber auch einmal über den Ursprung des Lebens spekuliert. Er schrieb in einem Brief: "Oh, what a big question!" Er sah wohl voraus, daß sein Prinzip irgendwann einmal Teil eines sehr viel allgemeineren Prinzips werden würde. Und wir stellen heute fest, daß es Selektion bereits auf der Ebene der Moleküle gibt.

**SPIEGEL ONLINE:** Hat sich die Evolution inzwischen auf die Ebene

des Wissens und der Ideen verlagert?

**Eigen:** Die Zukunft der Menschheit spielt sich mit Sicherheit nicht mehr auf der Ebene der Moleküle, der Gene ab, wie das in der Evolution bis zum Menschen hin der Fall war. Sie findet heute auf der Ebene des Geistes statt. Dort ist ja wiederum Reproduktion möglich geworden, nämlich geistige Reproduktion. Dieser Evolutionsprozeß läuft in sehr viel kürzeren Zeiträumen ab.

**SPIEGEL ONLINE:** Steht der Mensch dann überhaupt noch im Mittelpunkt?

**Eigen:** Ideen brauchen immer wieder den Katalysator Mensch, der mit seinem Bewußtsein reflektiert. Trotzdem geht die Evolution nicht mehr in der Art und Weise weiter, wie das vor der Existenz des menschlichen Geistes der Fall war. Zunächst hatte sich ja als erste Lebenseinheit die autonome Zelle herausgebildet, und das möglicherweise schon sehr früh, vor etwa drei bis vier Milliarden Jahren. Auf diesem Niveau ist die Evolution dann fast drei Milliarden Jahre lang stehengeblieben.

**SPIEGEL ONLINE:** Die Zellen sind also lange zur Grundschule gegangen...

**Eigen:** Ja, und in der Zeit haben sie viel lernen müssen. Erst etwa vor einer Milliarde Jahren haben sich die vielzelligen Organismen entwickelt. Der Mensch selbst ist erst vor wenigen Millionen Jahren auf der Bühne des Lebens erschienen. Irgendeine Änderung in unserem Zentralnervensystem, die uns sprachfähig machte, die eine Fixierung von Information außerhalb des Gehirns ermöglichte, hat einen neuen Schub der Evolution ausgelöst. Dazu gehört auch das "Begreifen", das ja die Benutzung der Hände einschließt. Gentechnik und Computer sind dann erst in den letzten dreißig Jahren dazugekommen und werden vielleicht neue Schübe auslösen.

**SPIEGEL ONLINE:** Wie geht es weiter?

**Eigen:** Die Fragen, wie wir mit der Zukunft fertig werden, werden erst in der Zukunft selbst zu lösen sein. Denn trotz beschleunigter Evolution auf geistiger Ebene passiert in Zukunft mit unseren Genen nicht mehr als in den letzten zehntausend Jahren. Die Menschen schießen sich nach wie vor gegenseitig tot, und wir haben es immer noch nicht fertig gebracht, mit unserem Geist einen optimalen Modus Vivendi herauszufinden. Kriege sind heute in keiner Weise humaner als vor tausend Jahren. Dabei verstehe ich unter dem Begriff "human" das Wunschbild, und nicht die Wirklichkeit.

**SPIEGEL ONLINE:** Sie haben eine Reihe interessanter Bücher geschrieben und lassen sich hoffentlich auch weiterhin nicht davon

abbringen?

**Eigen:** Mein neues Buch ist ein sehr ambitioniertes Unternehmen. Ich hoffe, Ende nächsten Jahres damit fertig zu werden. Es heißt "Treatise on Matter, Information, Life and Thought". Sie sehen am Titel, daß ich mir ein sehr hohes Ziel gesetzt habe. Mir hat einmal ein Freund gesagt, "Warum sagst Du nicht, worüber Du nicht schreiben willst. Das ist sicherlich einfacher".

**SPIEGEL ONLINE:** Eine Theory Of Everything?

**Eigen:** Ich glaube nicht, daß es so etwas wie eine Theory of Everything gibt. Das ist übrigens eines der Hauptthemen im ersten Kapitel meines Buches. Insgesamt besteht das Buch aus zehn Kapiteln, und jedes Kapitel beinhaltet zehn Fragen, zusammen also einhundert Fragen, die beantwortet werden, oder auch nicht.

**SPIEGEL ONLINE:** Herr Professor Eigen, wir danken Ihnen für das Gespräch.

Foto: Ingrid v. Kruse

SPIEGEL ONLINE 29/1997 - Vervielfältigung nur mit Genehmigung des SPIEGEL-Verlags