

# the m o d e r n i s m



@rs electronica 95

PETER WEIBEL

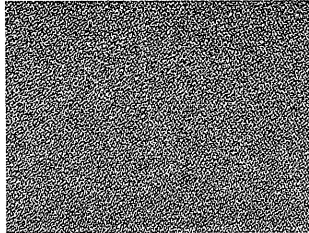
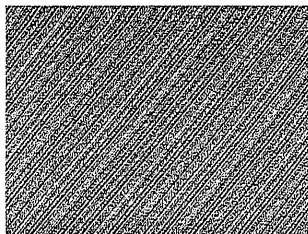
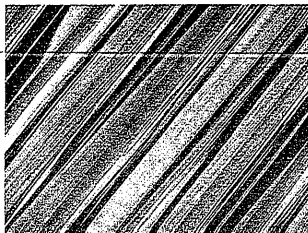
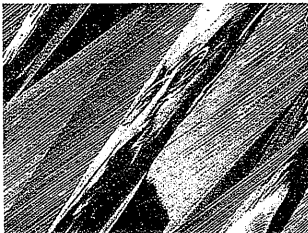
Das Rauschen des Beobachters

The Noise of the Observer

(1995)

s. 8-23

WELCOME TO THE WIRED WORLD



James P. Crutchfield; Vom Videobild zum chaotischen Rauschen mit Struktur und wieder retour

## I. INFORMATION UND ENTROPIE IN PHYSIKALISCHEN SYSTEMEN

Die moderne statistische Informationstheorie hat ihre Wurzeln in der Thermodynamik. Die Beziehung von Information und Entropie als „fehlende Information“ (L. Boltzmann, 1894) beginnt mit dem berühmten Maxwell'schen Dämon. In „Theory of Heat“ (1871) schreibt J.C. Maxwell:

„One of the best established facts in thermodynamics is that it is impossible in a system enclosed in an envelope which permits neither change of volume nor passage of heat, and in which both the temperature and the pressure are everywhere the same, to produce any inequality of temperature or pressure without the expenditure of work. This is the second law of thermodynamics, and it is undoubtedly true as long as we can deal with bodies only in mass, and have no power of perceiving or handling the separate molecules of which they are made up. But if we conceive a being whose faculties are so sharpened that he can follow every molecule in its course, such a being, whose attributes are still as essentially finite as your own, would be able to do what is at present impossible to us. For we have seen that the molecules in a vessel full of air at uniform temperature are moving with velocities by no means uniform, though the mean velocity of any great number of them, arbitrarily selected, is almost exactly uniform. Now let us suppose that such a vessel is divided into two portions, A and B, by a division in which there is a small hole, and that a being, who can see the individual molecules, opens and closes this hole, so as to allow only the swifter molecules to pass from A to B, and only the slower ones to pass from B to A. He will thus, without expenditure of work, raise the temperature of B and lower that of A, in contradiction to the second law of thermodynamics.“<sup>1</sup>

Maxwell offerierte keine definitive Zurückweisung seines Dämons. M. von Smoluchowski offerierte 1912 eine teilweise Lösung des Problems. Er stellte eine verbesserte Version des Dämons vor. Ein simpler automatischer Apparat wie eine Falltür würde durch seine eigene Brown'sche Bewegung daran gehindert werden, als effektiver Dämon zu funktionieren: „Soweit unsere jetzigen Kenntnisse reichen, gibt es also trotz molekularer Schwankungen kein automatisches dauernd wirkendes Perpetuum mobile, aber wohl könnte eine solche Vorrichtung regelmäßig funktionieren, falls sie durch intelligente Wesen in passender Weise betätigt würde...“<sup>2</sup>. Hypothetische intelligente Wesen heißen nun die Dämonen und L. Szillard sollte ihre Funktion bald näher untersuchen. Sie haben offensichtlich die Eigenschaft, gegen den zweiten Hauptsatz der Thermodynamik zu verstoßen. Die Frage war, gehorchen solche Wesen den gleichen Gesetzen wie alle anderen materiellen Systeme?

Paul Ehrenfest kam dieser Frage näher, indem er die intelligenten Wesen mit Menschen verglich, wie es vor ihm auch Smoluchowski getan hat. Ehrenfest verglich in einem Brief von 1927 Albert Einstein, der eine Lücke in der Konsistenz der Quantenmechanik aufdecken wollte, mit einem kleinen „Teufelchen in der Box“, das „gewissermaßen Perpetuum mobile zweiter Art“ spielen möchte, „um die Ungenauig-

## I. INFORMATION AND ENTROPY IN PHYSICAL SYSTEMS

Modern statistical information theory has its roots in thermodynamics. The relation between information and entropy as “missing information” (L. Boltzmann, 1894) begins with Maxwell's famous demon. In “Theory of Heat” (1871) J. C. Maxwell writes:

“One of the best-established facts in thermodynamics is that it is impossible in a system enclosed in an envelope which permits neither change of volume nor passage of heat, and in which both the temperature and the pressure are everywhere the same, to produce any inequality of temperature or pressure without the expenditure of work. This is the second law of thermodynamics, and it is undoubtedly true as long as we can deal with bodies only in mass, and have no power of perceiving or handling the separate molecules of which they are made up. But if we conceive a being whose faculties are so sharpened that he can follow every molecule in its course, such a being, whose attributes are still as essentially finite as our own, would be able to do what is at present impossible to us. For we have seen that the molecules in a vessel full of air at uniform temperature are moving with velocities by no means uniform, though the mean velocity of any great number of them, arbitrarily selected, is almost exactly uniform. Now let us suppose that such a vessel is divided into two portions, A and B, by a division in which there is a small hole, and that a being, who can see the individual molecules, opens and closes this hole, so as to allow only the swifter molecules to pass from A to B, and only the slower ones to pass from B to A. He will thus, without expenditure of work, raise the temperature of B and lower that of A, in contradiction to the second law of thermodynamics.“<sup>1</sup>

Maxwell offered no definite rejection of his demon. In 1912 M. von Smoluchowski offered a partial solution to the problem. He introduced an improved version of the demon. A simple automatic apparatus such as a trap door would be hindered by its own Brownian movement to act as an effective demon: “As far as our current knowledge goes there is then, in spite of molecular fluctuation, no automatic, continuously active perpetuum mobile, but such a device might well function regularly if it were operated by intelligent beings in an appropriate way...“<sup>2</sup> From then on, hypothetical intelligent beings were being referred to as demons and L. Szillard was soon to investigate their function more closely. They apparently have the ability to defy the second law of thermodynamics. The question was, do such beings obey the same laws as all other material systems?

WELCOME TO THE WIRED WORLD

Paul Ehrenfest investigated this question more closely by comparing these intelligent beings with humans, as Smoluchowski had done previously. Ehrenfest, in a letter of 1927, compared Albert Einstein and his attempt to find a loophole in the consistency of quantum mechanics, to "a little devil in the box" who wanted to play "at a perpetuum mobile of a second order". "In order to break through the inaccuracy relation".<sup>3</sup> The intelligent beings were thus being identified as internal observers.

The decisive identification, however, had already originated with Ludwig Boltzmann, whose work on statistical physics of 1894 made him the first to relate the concept of information to entropy, and to define entropy as "missing information", which one might measure as the number of alternatives still open to a physical system, after all the macroscopically observable information relating to it has been recorded. This already points to the model of Claude Shannon's definition of information as a logarithm of the number of choices present. A situation with two possible choices contains, as we know, a "bit", or binary digit, of information. Sixteen alternative messages characterise four bits of information, since  $16 = 2$  to the 4th power.

The relation between information and entropy was first formulated explicitly in 1929 in Leo Szillards renowned paper "On the Decrease of Entropy in a Thermodynamic System by the Intervention of Intelligent Beings".<sup>4</sup> In this treatise Szillard defined that quantity which today and since the time of Claude Shannon has become known as information, as the amount of free energy used when an observer learns through an experiment which of two seemingly equal alternatives is being realised. One bit of information is equivalent to  $k \ln 2$  units of entropy. From this Claude Shannon was able, in 1948, to derive his famous formula for measuring information, expressed in terms of entropy:  $H = - \sum p_i \log p_i$

where  $p$  results in the number of possible choices.<sup>5</sup> The thermodynamic cost of a measurement and of the information gain were apparently clear. Around 1950 it was considered proven that in each act of observation energy up to a maximum of  $k \ln 2$  was being employed. John von Neumann and Brillouin assumed that in each act of information processing a minimum  $k \ln 2$  of energy was being used.<sup>6</sup> Thus, for instance, in a 1949 address, Neumann said that, "a computer operating at temperature  $T$  must dissipate at least  $k \ln 2$  of energy per elementary act of information, that is, per elementary decision of a two-way alternative

keitsrelation zu durchbrechen".<sup>3</sup> Die intelligenten Wesen wurden also als interne Beobachter identifiziert.

Die entscheidende Identifikation entstammt allerdings schon von Ludwig Boltzmann, der in seiner Arbeit über die statistische Physik von 1894 den Begriff der Information erstmals auf die Entropie bezog und die Entropie als „fehlende Information“ definierte, und die man als die Zahl der Alternativen messen könnte, die einem physikalischen System noch möglich bleiben, nachdem all die makroskopisch beobachtbare Information, die es betreffen, aufgezeichnet ist. Dies verweist bereits auf das Modell von Claude Shannons Definition der Information als Logarithmus der Anzahl der vorhandenen Wahlmöglichkeiten. Eine Situation mit zwei Wahlmöglichkeiten enthält bekanntlich ein „bit“ (binary digit) an Information. 16 alternative Botschaften charakterisieren 4 bits an Information, denn  $16 = 2$  hoch 4.

Die Beziehung zwischen Information und Entropie wurde erstmals 1929 explizit formuliert in Leo Szillards berühmtem Papier „Über die Entropieverminderung in einem thermodynamischen System bei Eingriffen intelligenter Wesen“.<sup>4</sup> In dieser Arbeit definierte Szillard die Quantität, die heute seit Claude Shannon als Information bekannt ist, als die Menge der freien Energie, die verbraucht wird, wenn ein Beobachter durch ein Experiment lernt, welche von zwei gleich erscheinenden Alternativen realisiert wird. Ein bit Information ist äquivalent zu  $k \ln 2$  Einheiten von Entropie. Daraus konnte Claude Shannon 1948 seine berühmte entropie-ausgedrückte Formel des Informationsmaßes ableiten:  $H = - \sum p_i \log p_i$

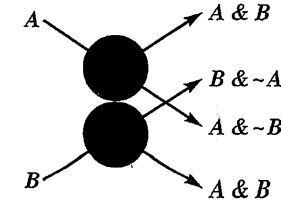
wobei  $p$  die Anzahl der Auswahlmöglichkeiten ergibt.<sup>5</sup> Die thermodynamischen Kosten einer Messung und der Informationsgewinnung waren scheinbar klar. Um 1950 galt es als erwiesen, daß bei jedem Akt der Beobachtung bzw. Messung Energie in der Höhe von  $k \ln 2$  verbraucht wird. John von Neumann und Brillouin nahmen an, daß bei jedem Akt der Informationsverarbeitung ein Minimum an Energie  $k \ln 2$  verbraucht würde.<sup>6</sup> Zum Beispiel sagte von Neumann 1949 in einem Vortrag: „a computer operating at temperature  $T$  must dissipate at least  $k \ln 2$  of energy per elementary act of information, that is, per elementary decision of a two-way alternative and per elementary transmittal of one unit of information“.<sup>7</sup>

Doch diese Vorstellungen von Energieverbrauch und Information erwiesen sich als naiv und zum Teil unrichtig. 1961 konnte Rolf Landauer zeigen, daß der Prozeß, der wirklich minimal aber unvermeidlich Energie verbrauchte, der Prozeß der Vernichtung von Information ist.<sup>8</sup> Nur bei Informationszerstörung gibt es irreversible thermodynamische Kosten (im Gegensatz zu den reversiblen Kosten bei der Informationsgewinnung). Auch die Übertragung von Information, z.B. ein bit von einem Platz zum andern, benötigt nicht  $k \ln 2$

Energie, im Gegenteil. Landauer zeigte auch hier, daß die thermodynamischen Kosten gering sind, weil die Informationsübertragung, wenn wir es langsam tun, mit willkürlich kleiner, also vernachlässigbarer Energie-Dissipation erfolgt.<sup>9</sup> Um das zweite Gesetz der Thermodynamik zu retten, bedarf es keiner (minimalen und unvermeidlichen) Energie-Dissipation bei der Informationsgewinnung, beim Transfer der Information vom zu beobachtenden Objekt, sondern bei der Wiederherstellung des Beobachterzustandes nach dem Transfer, d.h. bei der Informationszerstörung. Die Betonung der thermodynamischen Kosten verlagert sich durch Landauer von der Beobachtung und der Messung auf die Wiederherstellung des Zustandes vor der Messung, also auf die Kosten der Löschung der Information und der Geschichte.

Genau da setzt ein weiteres bahnbrechendes Papier von 1973 an, nämlich „Logical Reversibility of Computation“ von Charles H. Bennett.<sup>10</sup> Bennett konstruierte eine „enzymatische Turing Maschine“, wo jede Computation in reversibles Format verwandelt werden konnte, indem die Geschichte aller der Information akkumuliert wurde, die normalerweise weggeworfen werden würde, um sich dann dieser Geschichte zu entledigen in einem Prozeß, umgekehrt zu dem, der sie geschaffen hat. Die Computation wurde in eine Serie von Schritten verwandelt, wo jeder logisch reversibel war, und dies wiederum erlaubte physikalische Reversibilität. Computation konnte also mit willkürlich kleiner Energie-Dissipation geschehen.

Edward Fredkin entwickelte 1982 ein Billard-Ball Modell der Berechenbarkeit (Computation) als Beispiel eines reversiblen Computers.<sup>11</sup> Die Kollisionen von Billard-Bällen können jede logische Funktion simulieren, daher auch jede digitale Computation.



Diese Billard-Ball Kollision realisiert eine 2-Input, 4-Output Logikfunktion: A und B, B und nicht A, A und nicht B, A und B. Die Werte 1 oder 0 werden durch die Präsenz bzw. Absenz des Billard-Balls auf einer gegebenen Trajektorie repräsentiert. Er beschrieb mit diesen zellulären Automaten vom reversiblen Typ das erste explizite, computer-simulierbare Modell-Universum. Dieses Universum besteht ausschließlich aus Information. Sobald man es in irgendeiner konkreten Form realisiert hat (wobei die verschiedenen Arten von Hardware denkbar sind), liegen seine Eigenschaften vollkommen

and per elementary transmittal of one unit of information“.<sup>7</sup>

Yet this concept of energy-use and information proved naive and, in part, incorrect. In 1961 Rolf Landauer was able to show that the process, which in reality used minimal but unavoidable amounts of energy, served to destroy information.<sup>9</sup> Only in information destruction do irreversible thermodynamic costs arise (as opposed to the reversible costs in information gain). Also the transmission of information, e.g. of a bit from one place to another, did not require  $k \ln 2$  of energy. On the contrary, Landauer was able to show that here, too, the thermodynamic cost of energy transmission, if done slowly, occurs with an arbitrarily minute, i.e., negligible energy dissipation.<sup>9</sup> To rescue the second law of thermodynamics (the law of the preservation of energy) no (minimal and unavoidable) dissipation of energy is required in information gain and the transfer of information from the object that is to be observed, but rather after the reconstitution of the observer's condition after the transfer, i.e., after the information has been destroyed. The accent on the thermodynamic cost is shifted, after Landauer, from the observation and measuring to the re-establishment of the pre-measurement situation, that is, to the cost of extinguishing information, and with it, history.

Precisely at this point another epoch-making paper appeared in the form of Charles H. Bennett's "Logical Reversibility of Computation" of 1973.<sup>10</sup>

Bennett constructed an "enzymatic Turing machine", where every computation could be transformed to a reversible format by accumulating the history of all the information that would ordinarily be thrown out, only to rid oneself of this history within a process which was the reverse of the one which had created it. The computation was transformed into a series of steps where each step was logically reversible, which in turn permitted its physical reversibility. Computation could thus occur with an arbitrarily small dissipation of energy.

In 1982, Edward Fredkin developed a billiard ball-model of computation as an example of a reversible computer.<sup>11</sup> The collisions of billiard balls can simulate any logical function, and hence also any digital computation.

This billiard-ball collision realises a 2-input, 4-output function of logics: A and B, B and not A, A and not B, A and B. The values 1 and 0 are represented by the presence or, respectively, absence, of the billiard-ball on a given trajectory. With these cellular automats of a

reversible type he described the first explicit model-universe capable of being computer-simulated. This universe consists exclusively of information. As soon as it has been realised in some concrete form (with various forms of hardware being conceivable) its properties are fully established. It begins to produce autonomous "material" properties internally — e.g. collections of hundreds of black pixels, which stabilise at a certain size and then mutually attract each other like elementary particles, with a well-defined theorem somewhat like Coulomb's. It is Fredkin's hope that some day all natural laws as we know them will emerge as implications from a single such reversible cellular law of automation. The only deciding factor being that one must have the luck to hit upon the correct reversible local rule.

P. Benioff succeeded at about the same time (1981-82), in setting up a reversible quantum-mechanical model of computation and information, thereby combining Hamilton's model with a Turing machine.<sup>12</sup> In his work, "Maxwell's Demon, Szillard's Engine and Quantum Measurements"<sup>13</sup> W. H. Zurek summed up the results and transferred Szillard's thought-experiment to quantum mechanics. The measuring device then becomes the demon, increasing the entropy. This entropy can be passed on by the demon (the internal observer) to the environment. The environment, then, pays for the entropic cost of the measurement. The information gained by the observation or the measurement has to be balanced out by way of an increase in the entropy of the measuring device.

The relations between the entropic cost of information and the environment are also addressed in the work "Entropy Cost of Information" by Paul N. Fahn.<sup>14</sup> The second law of thermodynamics, then, is a theorem of entropy-balance which states that, if within a system there is an increase of entropy, then in another, linked system entropy will decrease. As a thought-experiment, Maxwell's Demon has shown up some paradoxical problems in these theorems. It was Szillard's one-molecule demon that brought the term "information" into the debate. Since then, a theory of the entropy-cost of information has been developed, a theory of the correlation between information and entropy, which in recent times has been expanded by Landauer and Bennett to include a theory of computation.<sup>15</sup> Benioff, Feynmann, Zurek and Rössler have brought quantum physics and chaos theory into play, as did their predecessor, J. v. Neumann.<sup>16</sup>

The job of the demon is to transform entropy into in-

fest. Es beginnt „materielle“ Eigenschaften von selbst intern zu erzeugen - z.B. Ansammlungen von Hunderten von schwarzen Pixels, die sich bei einer bestimmten Größe stabilisieren und dann gegenseitig anziehen wie Elementarteilchen, mit einem wohldefinierten Kraftgesetz wie dem Coulomb'schen. Fredkin's Hoffnung ist, daß sich eines Tages alle Naturgesetze, wie wir sie kennen, als Implikationen aus einem solchen reversiblen zellulären Automaten-gesetz ergeben. Das einzige, worauf es ankommt ist, daß man mit Glück auf die richtige reversible lokale Regel stoßen muß.

P. Benioff gelang es um die gleiche Zeit (1981-82), ein reversibles quantenmechanische Modell der Berechenbarkeit und der Information zu erstellen, also das Hamilton'sche Modell mit der Turing-Maschine zu verbinden.<sup>12</sup> In seiner Arbeit „Maxwell's Demon, Szillard's Engine and Quantum Measurements“<sup>13</sup> faßt W.H. Zurek die Ergebnisse zusammen. Er übertrug Szillards Gedankenexperiment in die Quantenmechanik. Der Meßapparat ist dann der Dämon, der die Entropie vermehrt. Diese Entropie kann vom Dämon (dem internen Beobachter) an die Umwelt weitergegeben werden. Die Umgebung bezahlt also die entropischen Kosten der Messung. Die Information, welche durch die Beobachtung, bzw. Messung gewonnen wird, muß durch die Vermehrung der Entropie des Meßapparates ausgeglichen werden.

Auf den Zusammenhang zwischen den entropischen Kosten der Information und der Umgebung bezieht sich auch die Arbeit „Entropy Cost of Information“ von Paul N. Fahn.<sup>14</sup> Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik ist also ein Entropie-Nichtvermehrungs-Theorem, zumindest ein Entropie-Balance-Theorem, das besagt, wenn in einem System die Entropie zunimmt, im anderen gekoppelten System die Entropie abnimmt. Maxwell's Dämon hat als ein Gedankenexperiment paradoxe Probleme dieser Theoreme gezeigt. Szillard's Ein-Molekül-Dämon hat den Begriff der Information in die Debatte gebracht. Seitdem gibt es eine Theorie der Entropie-Kosten der Information, eine Theorie der Korrelation zwischen Information und Entropie, die in jüngster Zeit durch Landauer und Bennett um eine Theorie der Berechenbarkeit (Computation) erweitert worden ist.<sup>15</sup> Benioff, Feynman, Zurek und Rössler haben die Quantenphysik bzw. Chaostheorie ins Spiel gebracht, wie bereits vor ihnen J.v. Neumann.<sup>16</sup>

Der Dämon verwandelt bei seiner Arbeit Entropie in Information, die informationslöschende Operation verwandelt Information in Entropie. Das sind die zwei Seiten einer Interaktion zwischen einer informationsverarbeitenden Maschine (dem Dämon) und einem klassischen thermodynamischen System.<sup>17</sup> Den Dämon als informationsverarbeitende Maschine, also als Computer zu definieren, war R. Landauers Idee.<sup>9</sup> Maxwell's Dämon wurde eine computer-kontrollierte Vorrichtung, die mit dem Gas interagiert. Die Boltzmann-

Entropie des Gases wurde vermindert auf Kosten der Entropie-Vermehrung seines eigenen Informationsgehaltes. Um ein bit an Information zu löschen ist ein minimaler Betrag ( $kT \log 2$ ) an Hitzedissipation in die Umwelt notwendig. Also ereignet sich Entropie-Verminderung nur solange der Dämon sich mehr und mehr mit Information füllt. Die Frage nach den entropischen Kosten der Information, die Szillard startete, wurden von Brillouin, Landauer und Bennett genauer untersucht. Für Brillouin und Bennett sind Meßoperationen und Auslöschung, Gewinnung und Vernichtung von Information, thermodynamisch teure Ereignisse, weil sie Entropie vermehren. Landauer hat als Ausweg die Beziehung zur Umwelt angegeben. Auch Paul N. Fahn<sup>14</sup> geht bei seiner Berechnung der entropischen Kosten der Information diesen Weg. Für ihn sind weder „measurement“ noch „erasure“ im Prinzip teure thermodynamische Operationen. Aber die Dekorrelation des Systems von der Information vermehrt Entropie im System-mit-Information. Dadurch steigt die Entropie im Universum, es sei denn, die Information wird benützt, um woanders die Entropie zu vermindern, bevor die Korrelation zerbricht. Die thermodynamischen Kosten der Information steigen in dem Ausmaß, in dem sie nicht verwendet wird, um Arbeit vom beobachteten, gemessenen System zu erhalten. Dekorrelation zwischen Information und System ist daher das eigentlich entropie-produzierende Ereignis.

Die moderne Kommunikationstheorie bezieht sich aber nicht nur auf Thermodynamik und statistische Mechanik, sondern ihr Ursprung ist auch im Feld der elektrischen Kommunikation zu finden, in der Übertragung von Signalen durch elektrische Ströme. Nach der Erfindung der Telegraphie 1832 durch F. B. Morse, die Übermittlung von Botschaften durch die An- oder (kürzere oder längere) Abwesenheit eines elektrischen Stromes, tauchen sogleich Fragen nach den Grenzen der Geschwindigkeit und Deutlichkeit der Signalübertragung auf. Externe Ströme sind immer vorhanden, die mit dem gesendeten Signal interferieren und stören, d.h. die Unterscheidung zwischen alternativen Signalen erschweren. Die Störungen durch diese Ströme, die „noise“ (Rauschen) genannt wurden, galt es natürlich, soweit wie möglich zu reduzieren. Harry Nyquist publizierte erste wichtige mathematische Beiträge zur modernen Kommunikationstheorie: „Certain Factors Affecting Telegraph Speed“ (1924) und „Certain Topics in Telegraph Transmission Theory“ (1928), wo er zeigte, wie die Geschwindigkeit der Signalübertragung erhöht werden kann und wo er auch die logarithmische Funktion als Vergleichsmaß der Information einführte, wie später Shannon. R.V.L. Hartley gab in „Transmission of Information“ (1928) eine erste formale Definition der Information, die er als Sequenz von Symbolen betrachtete:  $H = n \log s$  wobei H die Information der Botschaft, der Logarithmus der Anzahl der möglichen Symbolsequenzen ist, wobei n die Anzahl der

formation, while the information-erasing operation changes information back to entropy. These are the two sides of an interaction between an information-processing machine (the demon) and a classical thermodynamic system.<sup>17</sup> It was R. Landauer's idea to define the demon as an information-processing machine, or, in other words, as a computer.<sup>9</sup> Maxwell's Demon became a computer-controlled device that interacted with the gas. The Boltzmann-entropy of the gas was reduced at the expense of the entropy-enrichment of its own informational content. Erasure of a bit of information requires a minimum amount ( $kT \log 2$ ) of heat dissipation into the environment. Thus entropy-reduction only occurs as long as the demon continues to gorge itself more and more with information. The question of the entropic cost of information, first raised by Szillard, was more precisely investigated by Brillouin, Landauer and Bennett. To Brillouin and Bennett, measuring operation and erasure, accumulation and annihilation of information, are thermodynamically expensive operations, since they increase entropy. Landauer cited the relationship to the environment as a way out of this dilemma. Paul N. Fahn<sup>14</sup>, too, took this third path in his calculation of the entropic cost of information. To him, neither measurement nor erasure are, in principle, expensive thermodynamic operations. But the decorrelation of the system from information increases entropy in the system-cum-information, thereby increasing entropy in the universe, unless the information is used to reduce entropy elsewhere before the correlation disintegrates. The thermodynamic cost of information rises to the degree in which it is not being used to obtain work from the observed and measured system. De-correlation between information and system is, therefore, the actual entropy-producing occurrence.

Modern communication theory does not solely refer to thermodynamics and statistical mechanics, however, its advance can also be found in the field of electric communication, in the transmission of signals through electric currents. After F. B. Morse's invention of telegraphy in 1832, which involved the transmission of messages through the presence or a longer or shorter absence of an electric current, questions immediately arose relating to the limits of the speed and precision of signal transmission. External currents are always present, which interfere with and disturb the signal being transmitted, thus impeding the differentiation between alternative signals. The disturbances caused by such currents, which were called "noise", clearly needed to be reduced as far as possible. Harry Nyquist published

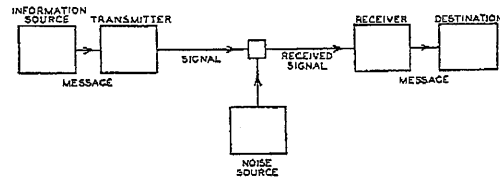
some of the first important mathematical contributions towards modern communication theory. "Certain Factors Affecting Telegraph Speed" (1924) and "Certain Topics in Telegraph Transmission Theory" (1928), in which he showed how the speed of signal transmission could be increased and also introduced the logarithmic function as the comparative measure of information. R. V. L. Hartley, in his "Transmission of Information" (1928), gave a first formal definition of information, which he viewed as a sequence of symbols:  $H = n \log s$  where  $H$  represents the information of the message or the logarithm of the number of possible symbolic sequences,  $n$  stands for the number of chosen symbols and  $s$  equals the number of symbols available.

During the war the subject of noise became more pressing than in peace time, as it became necessary to correctly interpret "noisy" radar data, for example. Devices were sought that could filter out the noise-signals. A. N. Kolmogoroff and Norbert Wiener provided the solutions to these problems. In the same year (1948) that Wiener published his book "Cybernetics", Claude E. Shannon published his famous article "The Mathematical Theory of Communication", in the Bell Systems Technical Journal. (The same journal, incidentally, in which Nyquist and Hartley had also been published, a fact Wiener referred to in his introduction. Shannon placed particular emphasis on the effect of noise in the communication system and in the information channel, as one may glean from his famous diagram of the communication system. The reason for this was that the semantic aspect of communication is irrelevant to the engineer's view-of-communication, as the latter's fundamental problem of communication simply consists in how a message selected at one point can be reproduced exactly or in as close an approximation as possible at another point.

It was the afore-mentioned Nyquist who named the electric fluctuations causing the heat, "Johnson noise" or "thermal noise", after their discoverer, J. B. Johnson. This "noise" is a particularly simple, universal and unavoidable noise which sets natural limits on signal transmission systems. The noise is thus added to each signal. Each message is disturbed by noise, be it during transmission or at the receiving end. Once the signal has been received there always remains an undesirable uncertainty, i.e., noise regarding what the message sent really was. Shannon introduced additional observers who would correct the deviations caused in one way or another by noise between the data sent and the data received.

gewählten Symbole ist und  $s$  die Zahl der Symbole, die zur Verfügung standen.

Im Krieg wurden die Fragen des Rauschens dringlicher als zu Friedenszeiten, denn es kam darauf an, z.B. „noisy“ Radardaten richtig zu interpretieren. Vorrichtungen, welche die Rausch-Signale ausfiltern, wurden gesucht. A.N. Kolmogoroff und Norbert Wiener lösten diese Probleme. Im selben Jahr (1948), in dem Wiener sein Buch „Cybernetics“ veröffentlichte, publizierte Claude E. Shannon seinen berühmten Artikel „The Mathematical Theory of Communication“, übrigens im gleichen Journal, wo auch Nyquist und Hartley publiziert hatten, im Bell System Technical Journal, worauf er sich auch in der Einführung bezog. Shannon betonte besonders den Effekt des Rauschens im Kommunikationssystem bzw. im Informationskanal, wie man seinem berühmten Schema des Kommunikationssystems entnehmen kann. Dies deshalb, weil semantische Aspekte der Kommunikation für den Ingenieurs-Aspekt der Kommunikation irrelevant sind, für den das fundamentale Problem der Kommunikation einfach darin besteht, wie kann an einem Punkt exakt oder möglichst approximativ eine Botschaft reproduziert werden, die an einem anderen Punkt ausgewählt wurde.



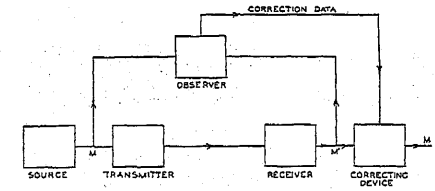
Schematic diagram of a general communication system

Es war der schon genannte Nyquist, der den von J.B. Johnson entdeckten elektrischen Schwankungen, welche die Hitze verursachte, den Namen „Johnson noise“ oder „thermal noise“ gab. Dieses „Rauschen“ ist ein besonders einfaches, universales, unvermeidbares Rauschen, das Signalübertragungssystemen natürliche Grenzen setzt. Rauschen wird also zu jedem Signal addiert. Jede Botschaft wird durch das Rauschen gestört, sei es während der Übertragung oder beim Empfänger. Nachdem das Signal empfangen ist, bleibt immer eine unerwünschte „uncertainly“ Ungewißheit (noise) darüber, was die gesendete Botschaft wirklich war. Shannon hat einen Beobachter (zusätzliche Vorrichtung) eingeführt, der die Abweichung zwischen gesendeten und empfangenen Daten, die von „noise“ auf die eine oder andere Art verursacht wurden, korrigiert.

Shannon hat mehrere Methoden entwickelt, um die Kanalkapazität eines „noisy channel“ zu definieren, der eben von der Entropie, der statistischen Ungewißheit, Grenzen gesetzt werden.  $H = -\sum p_i \log p_i$  ist die Entropie der Menge der Wahr-

scheinlichkeiten  $p_1, \dots, p_n$ . Der Shannon'sche Beobachter, der beides sieht, nämlich was gesendet und was aufgrund der vom Rauschen verursachten Fehler verzerrt empfangen worden ist, notiert die Fehler und übermittelt die Daten über einen „korrigierenden Kanal“ oder einen „fehlerkorrigierenden Code“ zum Empfänger, der die Fehler ausbessert. Wenn  $H_y(x)$  die Menge der zusätzlichen Informationen ist, die pro Sekunde benötigt wird, um die empfangene Botschaft zu korrigieren, dann können wir die Grenze der Kanalkapazität für Kanäle mit Rauschen definieren: Ein diskreter Kanal habe die Kanalkapazität  $C$  und eine diskrete Quelle die Entropie  $H$  per Sekunde. Wenn  $H \leq C$ , dann gibt es einen Code, sodaß der Output der Quelle über den Kanal mit einer beliebig kleinen Fehlerfrequenz übertragen werden kann. Es wird also angenommen, es gäbe einen idealen Beobachter, der die Fehler, das Rauschen der Informationsquelle bzw. des Informationskanals korrigiert. Information, Wahl, Ungewißheit und Entropie sind auch bei Shannon Begriffe, die sich wechselseitig definieren. Man zahlt offensichtlich einen Preis für Information. In dem die Information unsere Ungewißheit über den Zustand des Systems reduziert, reduziert sie die (thermodynamische) Entropie des Systems. Die Reduktion der Entropie erhöht aber die freie Energie des Systems, die proportional dem Minimum an Energie ist, das notwendig ist, die Botschaft zu übertragen, welche zu einer Vermehrung der freien Energie führte. Der Preis, den man für Information über das eigene System zahlt, der zur Reduktion (der thermodynamischen, statistischen) Entropie eines Systems führt, ist proportional zur (informationstheoretischen) Entropie der Signalquelle, welche die Information produziert. Er ist immer so hoch, um ein Perpetuum mobile der zweiten Art zu verhindern, um den zweiten Hauptsatz der Thermodynamik nicht zu verletzen.

Entropie ist ein Maß des Zufalls und des Zerfalls. Die Tendenz physikalischer Systeme, immer weniger organisiert zu sein, immer mehr zu zerfallen, ist mit Entropie assoziiert. Der Pfeil der Zeit, die Irreversibilität der Zeit entsteht auf Grund der Entropie. In der informationstheoretischen Kommunikationstheorie wird Information als Anzahl der Wahlmöglichkeiten definiert. Wenn eine Situation hoch genug organisiert ist, gibt es wenig Wahlmöglichkeiten, ist der Grad an Zufall gering, das System ist determiniert - daher ist die Information gering. Ein chaotisches (deterministisches, nicht-lineares) System im Gegensatz zu einem rein deterministischen System hat daher mehr Information, weil mehr Freiheitsgrade, Wahlmöglichkeiten, Ungewißheiten, Freiheit der Wahl, Entropie und Information, definiert als Logarithmus der Anzahl von Wahlmöglichkeiten, konvergieren also als Begriffe. Je größer die Freiheit der Wahl, desto größer die Information, desto größer die Ungewißheit. Rauschen bedeutet aber ebenfalls erhöhte Ungewißheit, sodaß man fälschlich meinen könnte:



Schematic diagram of a correction system

Shannon developed a number of methods to define the channel capacities of a "noisy channel", which simply has its limits in entropy or statistical uncertainty.  $H = -\sum p_i \log p_i$  is the entropy of the amount of the probabilities  $p_1, \dots, p_n$ . Shannon's observer, who sees both that which is sent and that which has been received distortedly on account of the errors caused by noise, notes the errors and transmits the data via a "corrective channel" or an "error-correcting code" to the receiver who will then correct the errors. If  $H_y(x)$  is the amount of additional information required per second to correct the message received, then we can define a limit of channel capacity for channels with noise. A discrete channel would have a channel capacity  $C$  and a discrete source would have the entropy  $H$  per second. If  $H \leq C$ , then there is a code, so that the output of the source via the channel can be transmitted with an arbitrarily small frequency of errors. It is thus assumed that there may be an ideal observer who could correct errors, as well as the noise of the information source or the information channel. By reducing our uncertainty about the condition of the system the message reduces the thermodynamic entropy of the system. The reduction of entropy, however, augments the system's free energy, which is proportional to the minimum energy required to transmit the message that led to an increase in free energy. The price one has to pay for information regarding one's own system and leading to a reduction of the (thermodynamic, statistical) entropy of a system is proportional to the entropy (based on information theory) of the signal source that produces the information. The price is always as high as it needs to be to avoid a second-order perpetuum mobile, so as not to contravene the second law of thermodynamics.

Entropy is a measure of chance and of disintegration. The tendency of physical systems to be ever less organised, and to increasingly fall apart, is associated with entropy. The arrow of time, the irreversibility of time comes about as a result of entropy. Within the theory of

WELCOME TO THE WILD WORLD OF ENTROPY

WELCOME TO THE WILD WORLD OF ENTROPY

communication based on information theory, information is defined as the number of available choices. If a situation is sufficiently highly organised, there are few available choices, the degree of chance is low and the system is pre-determined — hence, there is little information. A chaotic (deterministic, non-linear) system, therefore, in contrast to a purely deterministic system, contains more information, since it has more degrees of freedom, available choices, incertitudes. Thus freedom of choice, entropy and information, defined as a logarithm of the number of available choices, all converge as concepts. The greater the freedom of choice, the greater the information, and the greater also the uncertainty. Noise, however, equally means increased uncertainty, so that one might mistakenly assume that increased noise means heightened uncertainty and hence increased freedom of choice, i.e., information. This is, of course, paradoxical. One thus needs a process that distinguishes desirable uncertainty (information) from undesirable uncertainty (noise). This task should be carried out by the channel capacity or by the ideal observer.

Noise, therefore, threatens information in several ways. The classic communication theory of information theory or cybernetics firstly simplified the problem of noise by excluding semantic problems, and secondly, viewed it naively, for example, by interpreting the observer not as a source of errors but as a corrector of errors. In a way, it represents a partial retrogression to the time before the thermodynamic theory of entropy. The approaches of quantum physics and chaos theory to information and entropy, as derived from thermodynamics, appear to me the most promising for neutralising the paradoxes and aporia of the theories of entropy and information, as exemplified by Maxwell's Demon, Szillard's machines etc, because they place the problem of the observer at the centre of attention. The noise of classical communication theory is more or less the noise of one's own signal, where the observer acts to correct errors. The noise in quantum physics is the noise of the observer, unavoidably and necessarily producing errors. Goedel's 1931 work "On Formally Undecidable Propositions of Principia Mathematica"<sup>18</sup> was the first proof of the unavoidable incompleteness or uncertainty of a system, the information about a system, the self-assertions of a system about itself or about its own condition, when viewed from the inside. In elementary number theory there are, according to Goedel, propositions that are true but cannot be formally proved. In the universe of numbers there will al-

erhöhtes Rauschen bedeutet erhöhte Ungewißheit und damit erhöhte Freiheit der Wahl, also Information. Das ist natürlich paradox. Man braucht also ein Verfahren, das gewünschte Ungewißheit (Information) von unerwünschter Ungewißheit (Rauschen) unterscheidet. Die Kanalkapazität soll diese Aufgabe erfüllen, bzw. der ideale Beobachter.

Das Rauschen bedroht also die Information auf mehrfache Weise. Die klassische informationstheoretische bzw. kybernetische Kommunikationstheorie hat das Problem des Rauschens erstens vereinfacht, indem sie semantische Probleme ausgeklammert hat, zweitens naiv gesehen, indem sie z.B. den Beobachter nicht als Fehlerquelle, sondern als Fehlerkorrektur interpretiert. Sie stellt gewissermaßen einen teilweisen Rückschritt hinter die thermodynamische Entropietheorie dar. Die aus der Thermodynamik abgeleiteten quantenphysikalischen und chaostheoretischen Zugänge zur Information und Entropie scheinen mir die aussichtsreichsten, um die Paradoxien und Aporien der Entropie- und Informations-Theorien, wie sie Maxwell's Dämon, Szillards Maschinen etc. exemplifizieren, zu beheben, weil sie das Problem des Beobachters in den Mittelpunkt stellen. Das Rauschen der klassischen Kommunikationstheorie ist mehr oder minder das Rauschen des Eigensignals, wo der Beobachter Fehler korrigiert. Das Rauschen in der Quantenphysik ist das Rauschen des Beobachters, der Fehler unvermeidlich und notwendig produziert. Gödels Arbeit von 1931, "Über formal unentscheidbare Sätze der Principia Mathematica"<sup>18</sup> war der erste Beweis für die unvermeidbare Unvollständigkeit bzw. Ungewißheit eines Systems bzw. der Informationen über ein System bzw. der Selbstaussage eines Systems über sich selbst, über seinen Eigenzustand, wenn es von innen betrachtet wird. In der elementaren Zahlentheorie gibt es gemäß Gödel Aussagen, die wahr, aber formal unbeweisbar sind. In der Welt der Zahlen wird es immer Dinge geben, die wir nicht wissen. Gregory Chaitin hat Gödels Resultat von 1931 und Turings Halteproblem von 1936<sup>19</sup> universalisiert, indem er einen thermodynamischen, statistisch-mechanischen Zugang zur Mathematik vorschlug, der die Zufallsstruktur in manchen Bereichen der Arithmetik behauptet.<sup>20</sup> Aus Gödels Resultat und Boltzmanns Statistischer Mechanik entwickelte er eine algorithmische Informationstheorie bzw. „thermodynamische Erkenntnistheorie“, welche die Ungewißheit und den Zufall nicht ausschließt, da es Gebiete der Arithmetik gibt, wo Probleme nicht durch logisches Schließen gelöst werden können, weil dort Zufall herrscht. Ungewißheit, Mangel an Vorhersagbarkeit und an Information, Zufall sind also allgegenwärtige Prinzipien nicht nur in der reinen Mathematik, sondern auch in der klassischen Physik und in der Quantenmechanik. Kurz nachdem Gödel seinen berühmten Beweis der Unvollständigkeit (von innen) der Arithmetik vorgestellt hatte, begann sein Freund von

Neumann der Frage nachzugehen, ob vielleicht die Quantenmechanik eine ähnliche Beschränkung darstellt — diesmal in einem physikalischen Zusammenhang. Glücklicherweise war von Neumann in der Lage zu beweisen, daß wenn man die Quantenmechanik als die grundlegende physikalische Theorie akzeptiert, welche alle anderen möglichen Theorien als Spezialfälle mitumfaßt, tatsächlich kein Grund zur Besorgnis besteht. Die Struktur der Quantenmechanik gewährleistet nämlich, daß „die Informiertheit des Beobachters über den eigenen Zustand“ aus dem Formalismus herausfällt.<sup>16</sup> Diese Problematik des Beobachters bzw. des Rauschens des Beobachters, der Information erzeugt und gleichzeitig löscht, hat die Quantenphysik eingeführt, um entropische Kosten der Beobachtung bzw. der Information zu berechnen. Die Endophysik von Otto Rössler, eine mögliche Erklärung der Quantenmechanik ab ca. 1980 entwickelt, verschärft das Beobachterproblem durch die Unterscheidung zwischen internem Beobachter, dem nur bestimmte Bereiche der Welt zugänglich sind und für den Rest der Welt in einer für ihn nicht korrigierbaren und erkennbaren Weise verzerrt wird, und externem Beobachter, der als Superbeobachter allerdings nur konstruiert werden kann innerhalb von Modellwelten. Die Welt ist immer nur definiert auf der Schnittstelle zwischen dem Beobachter und dem Rest der Welt. Die Beobachterposition ist also ein Regler, der auf einer Frequenz zwischen Paradies (Information) und Hölle (Fehler) verschoben werden kann. Die Information ist also unvermeidlich beobachter-relativ. Der Beobachter erzeugt notwendigerweise Rauschen. Er kann diesem Rauschen der Beobachtung nur entkommen, wenn er selbst ein Teil des Informationsmodells ist. Ähnlich dem von John Bell 1964 vorgeschlagenen Theorem über Fernwirkungen über beliebige Distanzen, über die Existenz der Nicht-Lokalität und des Indeterminismus, wo uns durch (statistische) Korrelationen die Information zugänglich wird, ist auch das Rauschen des Beobachters nur durch (Fern-)Korrelationen aufhebbar. Es genügt also nicht zu fordern mehr Beobachtung durch mehr Beobachter, um die Informationen zu erhöhen, sondern es bedarf der erhöhten Korrelationen und Kovarianz der Beobachter und Beobachtungen, also mehr Kommunikation. Allerdings ist die Frage, ob wir uns dieser Korrelationen bemächtigen können.

## II. INFORMATION UND ENTROPIE IN SOZIALEN SYSTEMEN

Wenn wir wie bisher in der neuzeitlichen Welt die Naturwissenschaft als Leitwissenschaft betrachten wollen, wird es vielleicht erlaubt sein, die Modelle der Information, der Entropie und des Rauschens von den physikalischen Systemen auf soziale Systeme zu übertragen und auch dort nach den relativen Beziehungen zwischen Information, Entropie und Beobachtung zu fragen. Die informationstheoretische Kommunikationstheorie hat diese Frage der Energiedissipation

ways be things we won't know. Gregory Chaitin universalised Goedel's results of 1931 and Turing's holding-problem of 1936<sup>19</sup> by proposing a thermodynamic, statistical-mechanical approach to mathematics, which claims a chance structure for some areas of arithmetic.<sup>20</sup> From Goedel's result and Boltzmann's statistical mechanics he developed an algorithmic theory of information or "thermodynamic theory of knowledge", which does not exclude uncertainty and chance, because there are areas of arithmetic where problems cannot be solved by drawing logical conclusions because these areas are governed by chance. Uncertainty, the lack of predictability and information, and chance, are thus omnipresent principles not only in pure mathematics, but also in classical physics and in quantum mechanics. Shortly after Goedel had introduced his famous proof of the incompleteness of arithmetic (when regarded at from the inside), his friend Neumann began to investigate the question of whether perhaps quantum mechanics might present a similar limitation — this time, within a physical context. Fortunately, Neumann was able to show that, if quantum mechanics is accepted as the basic theory of physics which comprises all other possible theories as special cases, then there is indeed no reason to worry. For the structure of quantum mechanics guarantees that "the informedness of the observer regarding his own condition" is excluded from formalism.<sup>16</sup> The question of the observer or rather, the noise of the observer who both generates information and at the same erases it, was introduced by quantum physics in order to calculate the entropic cost of observations or information. Otto Rössler's endophysics, developed from about 1980 onwards, is a possible explanation of quantum mechanics, heightens the problem of the observer by its distinction between an internal observer, to whom only certain aspects of the world are accessible and for whom the rest of the world is distorted in a manner incorrigible and unrecognisable to him, and an external observer, who, however, as a kind of super-observer, can only be construed within the confines of model worlds. The world is only ever defined at the interface between the observer and the rest of the world. Thus, the observer's position, is a regulator that can be moved on a frequency between paradise (information) and hell (error). Information is therefore unavoidably observer-relative. Of necessity the observer creates noise. He can escape this noise of observation only by himself becoming a part of the information model. Similar to the theorem proposed in in 1964, by John Bell, on remote effects via arbitrary distances, and the existence of non-locality and indeterminism, where in-

formation becomes accessible to us via (statistical) correlations, so too, the noise of the observer can only be resolved by remote correlations.

Observation by an observer is, therefore, no longer sufficient to increase information; rather, what is required is an increased correlation and co-variance of observers and observations. It is questionable, however, whether we can grasp these correlations.

## II: INFORMATION AND ENTROPY IN SOCIAL SYSTEMS

If we wanted to consider, as we have done up to now, the natural sciences, as the key science of the modern world, it may perhaps be permissible to transfer the problems of information, of entropy and noise, from physical systems to social systems, and there, too, inquire after the relative relationships between information, entropy and observation. Information theoretical communication theory has neglected this question of energy dissipation and the problem of the observer. Quantum physics has acquainted us with the fact that in observing systems and objects we must not dismiss the role of the observer. Niels Bohr promulgated the famous theory that the act of observation in turn influences the very object of our observation. Archibald Wheeler went even further by saying that a phenomenon is a phenomenon only if it is also an observable phenomenon. Here, the informedness of the observer is of central importance. A condition noted by the internal observer is different from that which "objectively exists" and can be observed from the outside. Quantum Demon therefore describes the problem of the noise-generating observer within information systems.

What quantum theory has described for physical systems can also be applied to social systems. Here, too, the deciding factors are the informedness of the observer, his knowledge of his own condition and a distinction as to whether he is an internal observer who is a part of the observation system, or an external observer outside the system he is observing. The theories of quantum physics on the dependency of a system's information level on the observer are also valid for social and cultural systems. A quantum theory of cultural theory is sorely needed. We must part with the traditional historical notion that there is a pure and objective description of the occurrences in the world of the mind, where the observer's contribution to the phenomena under observation can be disregarded or subtracted. We must take leave of this cliché and this

und das Beobachterproblem vernachlässigt. Die Quantenphysik hat uns mit der Tatsache vertraut gemacht, daß wir bei der Beobachtung von Systemen und Objekten die Rolle des Beobachters nicht außer Acht lassen dürfen. Niels Bohr hat die berühmte These aufgestellt, daß der Akt der Beobachtung, das was wir beobachten, selbst beeinflußt. Archibald Wheeler ist noch weiter gegangen und hat gesagt, ein Phänomen ist nur dann ein Phänomen, wenn es ein beobachtbares Phänomen ist. Die Informiertheit des Beobachters spielt eine zentrale Rolle. Ein vom internen Beobachter festgestellter Zustand ist ein anderer als der „objektiv existierende“, von außen beobachtbare. Quantum Dämon beschreibt also das Problem des (Rauschen erzeugenden) Beobachters in Informationssystemen.

Was die Quantentheorie für physikalische Systeme beschrieben hat, kann auch auf soziale Systeme angewendet werden. Auch hier spielen die Informiertheit des Beobachters, das Wissen über seinen Eigenzustand, und der Unterschied, ob er ein interner, dem beobachtenden System angehörender Beobachter ist, oder ein externer Beobachter außerhalb des Systems ist, das er beobachtet, eine entscheidende Rolle. Die quantenphysikalischen Theorien über die Abhängigkeit des Informationszustandes eines Systems vom Beobachter gelten auch für soziale und kulturelle Systeme. Eine Quantentheorie für die Kulturtheorie ist vonnöten. Es muß von den klassischen historischen Vorstellungen Abschied genommen werden, als gäbe es eine reine und objektive Beschreibung der Vorgänge in der geistigen Welt, wo der Beitrag des Beobachters zu den beobachteten Phänomenen ausgeblendet bzw. subtrahiert werden kann. Von diesem Klischee und von dieser Illusion muß Abschied genommen werden. Gerade im Gegenteil, besonders in der Medienwelt gilt Wheelers Theorem, daß nur ein beobachtetes Phänomen ein Phänomen ist. Nur was in den Medien repräsentiert wird, existiert auch, und in welcher Form es im Datenraum existiert, ist ebenfalls abhängig von der Position des Beobachters. Der Kritiker und Kulturtheoretiker praktiziert also nolens volens eine Beobachterrelativität. Das Eigensignal des beobachteten Objektes vermischt sich untrennbar mit dem Eigensignal bzw. dem Rauschen des Beobachters. Der Beobachter konstruiert nicht nur Information, er destruiert und löscht auch Information. Die Gesetze der entropischen Kosten der Information, ob auf Kosten der Beobachtung, der Meßung, Informationsübertragung, der Umgebung, sind im kulturellen Bereich genauso hoch.

Eine quantenphysikalische Informationstheorie ist für die Praktik des Handels mit Informationen und Werken, deren Plazierung und Verdrängung, deren Publikation und Unterdrückung in der postindustriellen informationsbasierten kapitalistischen Gesellschaft angemessener als die klassische idealistische, wo der Einfluß des Beobachters (Kritikers,

Kurators, Theoretikers, Herausgebers) durch die Beobachtung auf das Beobachtete, auf die durch die Beobachtung erst eigentlich konstruierte und codierte Information, verleugnet bzw. vernachlässigt worden ist. Information und Beobachter sind nicht mehr zu trennen. Das Rauschen des Beobachters, die Unbestimmtheitsrelation zwischen Information und Beobachter ist nicht beliebig reduzierbar. In der gegenwärtigen Welt, wo einerseits von der Medizin bis zur Ökonomie die Information, der Zugang zur Information, die Verbreitung von Information, weltweit eine immer fundamentalere und zentralere Rolle spielen, andererseits immense Komplexe der Desinformation globale Zonen der Ungewißheit etablieren, sind diese erwähnten Einschränkungen besonders zu beachten, weil ganz offensichtlich die Gefahr besteht, erstens Rauschen für Information zu halten, und zweitens mit zunehmender Informationsmenge dieses Rauschen nicht zu eliminieren, sondern zu verstärken, gemäß dem Theorem der Quanten- und Endophysik, wenn der innere Beobachter nicht weiß, daß er Beobachter ist und sein Rauschen für die Information des beobachteten Sachverhalts hält.

Die Versuche der Soziologie, von Harold Laswell bis zu Walter Lippmann<sup>21</sup>, das Entstehen von Information in sozialen Systemen zu analysieren, waren nicht sehr erfolgreich. Erst die Arbeiten von Noam Chomsky und Niklas Luhmann, wo das Rauschen des Beobachters konstitutiv eine Rolle spielt, bilden Ansätze zur Erklärung jener unvorstellbaren Verelendung der Informationsdimension im öffentlichen Raum, wie sie gegenwärtig dominiert, wo die Informationen über kulturelle wie politische Transaktionen unzugänglich bleiben. Die Fabrikation von Konsens<sup>22</sup> ist es, was das Rauschen der Beobachter und der massenmedial verbreitete Informationsstaub heute erzeugen. Die entropischen Kosten regulieren und dominieren den Informationsmarkt der westlichen Welt. Entropie ist das Maß der Massenmedien. Werden die digitalen Autobahnen Teil dieses Informationsstaubs, dieser Entropie, oder werden sie mehr Korrelationen und Kovarianzen zwischen Beobachtern bilden, wie es notwendig wäre? Wird die telematische Gesellschaft endlich ihren Mechanismen der Informationsunterdrückung durch Korrelationen und Kovarianzen der Beobachter über weltweite Netzwerke entgegensteuern? Die postmoderne Gesellschaft ist informationsbasiert. Nicht mehr mechanische Maschinen, sondern Informationsmaschinen wie Computer stützen das soziale Betriebssystem. Die Dogmen der Informationsgesellschaft sind: Es gibt mehr Informationen denn je. Information ist allgemein-leichter zugänglich denn je. Information wird mehr ausgetauscht denn je. Werden durch diese Bytes für Bürger die Menschen gescheiter und wissender? Nimmt die Information jedes Einzelnen tatsächlich zu, oder wird nicht auch mehr Information denn je verloren?

illusion. For, on the contrary, in the world of the media in particular, Wheeler's Theorem applies that only an observed phenomenon is a true phenomenon. Only what is represented in the media also exists, and the form in which it exists in the data space equally depends on the position of the observer. Thus, the critic and the theoretician of culture act, willy-nilly, as real-life observers. The observed object's own signal becomes inseparably mingled with the observer's own signal or noise.

In a nutshell, this would be an information theory based on quantum physics, which might be more appropriate to the practice of a trade in information and works, their placement and displacement, their publication and suppression in the post-industrial information-based capitalist society, than is the classic idealist theory, where the influence of the observer (critic, curator, theoretician, editor) on the matter being observed, and on the information, which is only actually constructed and codified by means of the act of observation, has been denied or neglected. Information and the observer can no longer be divided. The noise of the observer, the indeterminacy-relation between information and observer is not arbitrarily reducible. In the present world, in which, from medicine to economics, access to information and the spread of information are gaining an ever-more fundamental and central importance worldwide, the above-mentioned limitations are particularly noteworthy, since quite obviously there is a danger; firstly, of mistaking noise for information and, secondly, of not eliminating this noise with any increase in the amount of information, but of increasing it, in accordance with the theorem of quantum- and endo-physics, where the internal observer does not know that he is an observer and takes his own noise for the information from the situation under observation.

The attempts of sociologists, from Harold Laswell to Walter Lippmann<sup>21</sup>, to analyse the origins of information in social systems, have not been very successful. Not until the theses of Noam Chomsky and Niklas Luhmann, where the noise of the observer plays a constitutive role, do tentative explanations arise of that unimaginable impoverishment of the information dimension which currently dominates the public domain where information concerning cultural and political transactions remains inaccessible. The "manufacture of consent"<sup>22</sup> is what is generated today by the noise of the observers, and the current level of information handed out by the mass media. The en-

tropic cost regulates and dominates the information market of the Western world. Entropy is the measure of the mass media. Will the digital data-highways become a part of this information bottleneck, of this entropy; or will they form further correlations and covariances between the observers, as would be necessary? Will the telematic society at last try to counteract its suppressions of information, through the correlations and co-variances of the observers via worldwide networks? The postmodern society is information-based. No longer do mechanical machines support the social servicing system, but information machines, such as computers, do the job. The dogmas of the information society are: there is more information than ever. Information is generally more easily accessible than ever. Information is being exchanged more than ever. Do these bytes for the soundbite-generation make humanity any cleverer or any more knowledgeable? Does the information intake of each individual person actually increase or doesn't, rather, more information than ever get lost? Is, in fact, the exchange of information being decreasing? Don't people, experts aside, know less about one another than ever? Isn't an information implosion and an information bottleneck developing in the digital data-nets? In the age of multiple media, infotainment, knowledge software, edutainment, and the data-highways, Ars Electronica 1995 puts critical questions to the myths and dogmas of the postmodern information-oriented society.

Postmodern society consists of very complex, dynamic social systems within which the idea of information plays a central role. The exchange of data in the network of information machines supports the social servicing system from medicine to tourism, from the running of the economy to leisure time activities. The theory of information has become a key science. The spread of information through the mass-medial can, however, also become a part of the arsenal of repressive and optimising strategies of those in power. The exchange of data can flare up in a data war.

Just as centuries ago, with the aid of atlases and meridians, new territories would be measured and devised, discovered and construed, so too, the global data networks represent a new, if virtual, geography. The discourse of cyber-culture has expanded to the data-highways. We no longer merely inhabit streets and buildings, but also cable channels, telegraph wires, E-mail-boxes and, thus global digital dependency. It was in 1969 that, for the first time, four computers were

Nimmt in Wirklichkeit der Austausch der Information ab? Wissen die Menschen - abgesehen von Experten - weniger denn je voneinander? Entsteht nicht eine Informationsimplosion und ein Informationsstau in den digitalen Datennetzen? Im Zeitalter der Multimediaen, Infotainment, Wissenssoftware, Edutainment, Datenautobahnen ist es notwendig, kritische Fragen an die Mythen und Dogmen der postmodernen Informationsgesellschaft zu stellen.

Die postmoderne Gesellschaft besteht aus sehr komplexen, dynamischen, sozialen Systemen, in denen die Idee der Information eine zentrale Rolle spielt. Der Datenaustausch im Netzwerk von Informationsmaschinen stützt, von der Ökonomie bis zur Freizeitgestaltung, von der Medizin bis zum Tourismus, das soziale Betriebssystem. Die Theorie der Information ist zu einer Leitwissenschaft geworden. Die massenmediale Verbreitung von Information kann aber auch zum Arsenal von Unterdrückungs- und Optimierungsstrategien der Macht gehören. Der Datenaustausch kann zu einem Datenkrieg entflammen.

Wie vor Jahrhunderten mit Atlanten und Meridianen neue Territorien vermessen und entworfen, entdeckt und konstruiert wurden, so stellen auch die globalen Datennetze eine neue, virtuelle Geographie dar. In dieser Geographie, in dieser Datenlandschaft geht es verstärkt darum, Dekorrelationen zwischen Beobachtern, zwischen Information und Umgebung zu vermeiden und im Gegenteil zahlreiche Korrelationen zwischen den diversen Daten der Beobachtungen, Messungen, Umgebungen herzustellen, eben zu vernetzen, um die entropischen Kosten der Informationsgesellschaft zu minimieren, egal ob Maxwells Dämon ein Computer, ein interner Beobachter oder ein hypothetisches Wesen ist. Der Diskurs der Cyberkultur expandierte in die Datenautobahnen. Wir leben nicht mehr allein in Straßen und Häusern, sondern auch in Kabelkanälen, Telegraphendrähten, E-mail-Boxen und eben in digitalen globalen Netzwelten. 1969 wurden erstmals vier Computer miteinander verbunden. Dieses Computernetz trug den Namen ARPANET (Advanced Research Projects Agency-NET). Als INTERNET bezeichnet man daher die Verbindungen all jener Computer, die über ein Protokoll, TCP (Transmission Control Protocol) und IP (Internet Protocol), miteinander kommunizieren. 1972 wurde dieses Projekt des amerikanischen Verteidigungsministeriums öffentlich präsentiert und viele Universitäten und andere Forschungseinrichtungen schlossen sich an das Netz an. Im Jahre 1990 bestand das Internet aus ca. 3000 lokalen Netzwerken mit über 200.000 Computern, im Jahr 1994 hat ihre Zahl über 2,5 Millionen erreicht. Bill Gates rechnet bis zum Jahr 2000 mit 20 Millionen vernetzten Haushalten und Institutionen. Das Informationssystem World Wide Web (WWW) wurde am europäischen CERN-Labor (von Tim Berners-Lee)

entwickelt und stellt wegen seiner Hypertext-Verbindungen (sog. Hyperlinks) das flexibelste Werkzeug am Internet dar. Die globalen Datennetze dürfen nicht nur verstanden werden als multimediale Datenbanken und Kommunikationskanäle, wo Texte, Bilder, Töne transportiert und prozessiert werden, sondern diese Datennetze erlauben auch neue Formen der Kommunikation und auch neue Kommunikationspartner, wie zum Beispiel mit Software-Agenten, die mit künstlicher Intelligenz ausgestattet sind, also gleichsam Prototypen von Subjekten ohne Körper bilden. Es werden Kommunikationsformen mit realen Menschen in virtuellen Räumen und mit virtuellen Menschen in realen Räumen möglich. Das Rauschen des Beobachters und Kommunikationspartners kann konstruktiv eingesetzt werden und die Struktur, also auch die Botschaft der Kommunikation jeweils lokal verändern. Die eindimensionale Kommunikation zwischen zwei Partnern mit zwei Interpretationswelten wird zur mehrdimensionalen Kommunikation mit multiplen Interpretationsmöglichkeiten aufgebrochen. Dieser Verlust an gegenseitiger Kontrolle und Eindeutigkeit kann als Freiheit empfunden werden.

Es wird im Reich der öffentlichen Medien zu gigantischen Fehlerexplosionen, zu beschleunigt wandernden Galaxien aus frühzeitig verbrannten Informationsstaub kommen. Unsere Vorstellungen von Information, Kommunikation und Beobachtung werden sich radikal ändern und auch Auswirkungen auf die sozialen Systeme haben. Unsere politischen Systeme werden radikalen Transformationen auf der Grundlage der Demokratie unterworfen oder zu Komplizen von Monopolen und totalitären Systemen werden („wired democracy“, Computerdemokratie, Telekratie, Videokratie). Gerade die künstlerischen Netzprojekte der Ars Electronica 95 werden weltweit zum ersten Mal den Vorhang heben für einen Blick auf diesen Horizont der digitalen Datenautobahnen, die uns bisher mehr oder minder in der Form von medialen Phantomen präsentiert wurden. Es werden die finanziellen und menschlichen Kosten und Strategien einer vernetzten Gesellschaft kritisch hinterfragt. Wie werden die Netzbewohner in dieser Wired World leben? Was werden Information und Kommunikation in diesen Netzwelten kosten? Wer werden die Hitch-Hiker und Hi-Jacker der Information-Superhighways sein? Das Surfen in den digitalen Netzwelten wird neue Formen des Sozialen, von der telematischen Besetzung des Körpers bis zur individuellen Aneignung von Datenmonopolen, ermöglichen.

Mein Dank für viele Anregungen an Otto E. Rössler.

linked in a network system referred to as the ARPANET (Advanced Research Projects Agency-NET). The name INTERNET, therefore, is used to describe any link-ups of those computers that communicate with one another via a protocol, such as TCP (Transmission Control Protocol) or IP (Internet Protocol). In 1972 this project of the American ministry of defense was presented to the public, and many universities and other research institutions joined the net. In 1990 the internet consisted of some 3000 local networks with more than 20.000 computers. By 1994 their number had reached 2.5 million. Bill Gates expects some 20 million network-linked households and institutions by the year 2000. The information system World Wide Web (WWW) was developed at the European CERN-laboratory (by Tim Berners-Lee), and due to its hypertext-linkages (so-called hyperlinks) represents the most flexible tool within the internet.

The global data-nets must not be understood merely as multi-media data banks and communication channels, where texts, images, and sounds are transported and processed. These data-networks also permit new forms of communication and also new communication partners, such as, for instance, communication with software agents equipped with artificial intelligence, thus not unlike prototypes of subjects without a physical body. Forms of communication become possible between real people in virtual spaces and between virtual people in real spaces. The noise of the observer and the communication partner can be employed constructively and alter the structure, and thus also the message of communication, at each individual location. One-dimensional communication between two partners with two different interpretational worlds is broken up into multi-dimensional communication with multiple interpretive means. This loss of mutual control and definitiveness can be experienced as a form of liberty.

There will come a time in the realm of the public media with giant cataclysms of exploding errors, with accelerated wanderings of galaxies made up of prematurely incinerated information-dust. Our concepts of information, communication and observation will alter radically and also affect the social systems as we know them. Our political systems will be subjected to radical transformations on the basis of democracy or become accomplices of the monopolies and totalitarian systems („wired democracy“, computer democracy, telecracy, videocracy). In particular the artistic net-projects of Ars Electronica 95 will lift the curtain

worldwide for the first time to allow a glimpse at this horizon of the digital data-highways, which were up to now presented to us more or less as phantoms of the media. The financial and human costs as well as the strategies strategies of a networked society will be critically questioned. How will the inhabitants of the net live in this wired world? What will be the price of information and communication within these network-worlds? Who will be the hitch-hikers and hi-jackers on the superhighways of information? Diving through digital conduits and netsurfing on a sea of data will bring about new forms of social contact, ranging from telematic reconstruction of the body to individual acquisition of data-monopolies. Ars Electronica 95 gives critical and euphoric experts an opportunity to appraise this brave new net-worked world.

Thanks to Otto E. Rössler for inspirations

Anmerkungen/Annotations:

1) J.C. Maxwell, Theory of Heat. 4. Ed. Longmans, Green and Co., London 1875, S. 328-329.

2) M. v. Smoluchowski, Experimentell nachweisbare, der üblichen Thermodynamik widersprechende Molekularphänomene. Physik Z. 13, S. 1068-1080, 1912.

3) Paul Ehrenfest, Brief an Samule Goldsmit, George Uhlenbeck und Gerhard Dieke, Nov. 1927. In: Niels Bohr, Vieweg, Braunschweig, 1958, S. 152.

4) Leo Szillard, Über die Entropieverminderung in einem thermodynamischen System bei Eingriffen intelligenter Wesen. Z. f. Physik 53, S. 840-856, 1929.

5) Claude E. Shannon, The Mathematical Theory of Communication, Bell System Technical Journal, Juli, Okt. 1948.

6) L. Brioullin, Maxwell's demon cannot operate: Information and entropy I. J. Appl. Phys. 22, S. 334-337, 1951. L. Brioullin, Science and Information Theory, 1956.

7) John von Neumann, Lecture in 1949. In: Theory of Self-Reproducing Automata. Arthur Burks (Ed.), Univ. of Illinois Press, Urbana, 1966, S. 66.

8) Rolf Landauer, Irreversibility and Heat Generation in the Computing Process, IBM J. Res. Dev., vol. 5, 1961, S.183-191. Wiederabdruck, H.S.Leff/A.F.Rex (Hrg.), Maxwell's Demon, Princeton Univ. Press, 1990, S. 188-196.

9) Rolf Landauer, Information is Physical, Phys. Today, vol. 44, Mai 1991, S. 23-29. Rolf Landauer, Computation, Measurement, Communication and Energy Dissipation. In: Selected Topics in Signal Processing, S.Haykin (ed.): Englewood Cliffs: Prentice Hall, S:188-196, 1959.

10) Charles H. Bennett, Logical Reversibility of Computation. IBM J. Res. Dev., vol.17, S. 525-532, 1973. C.H. Bennett, Demons, engines and the second law. Scientific American, 257, S. 108-116, 1987. C.H. Bennett, The Thermodynamics of Computation. Inst. f. Theor. Phys. 32 (12), S. 905-940, 1982.

11) E. Fredkin und T. Toftoli, Inst. f. Theor. Phys., vol. 21, S. 219-233, 1982. E. Fredkin, Digital information mechanics. Preprint 1983. Digital Mechanics Physica D 45, S. 254-270, 1990.

12) P. Benioff, The computer as a Physical System: A Microscopic Quantum Mechanical Hamiltonian Model of Computers as Represented by Turing Machines. J. Stat. Phys., vol. 22, S.563-591, 1980. Quantum Mechanical Models of Turing Machines that Dissipate No Energy. Phys. Rev. Lett., vol. 48, S. 1581-158, 1982.

13) W.H. Zurek, Maxwell's Demon, Szillard's Engine and Quantum Measurements. In: Maxwell's Demon, Entropy, Information, Computing, H. S. Left/ A.F. Rex (ed.), Princeton 1990, S. 249-259.

14) Paul N. Fahn, Entropy Cost of Information. In: Proceedings of the Workshop on Physics and Computation, PhysComp '94. IEEE Computer Society Press, Los Alamitos, Cal. 1994, S. 217-226.

15) Harvey S. Left, Andrew F. Rex (Hrg.), Maxwell's Demon: Entropy, Information, Computing. Princeton University Press 1990.

16) John v. Neumann, Mathematische Grundlagen der Quanten Mechanik, Berlin 1932, Kapitel 5. R. Feynman, Quantum Mechanical Computers. Opt. News, vol. 11 (2), S. 11-20, 1985. Otto E. Rössler, Endophysics. In: J.L.Casti, A Karlquist (Hrg.), Real Brains, Artificial Minds, North Holland, N.Y. 1987, S. 25-46.

17) W.H. Zurek, Algorithmic randomness and physical entropy. Physical Review A 40 (8), S. 4731-4751, 1989.

18) Kurt Gödel, Über formal unentscheidbare Sätze der Principia Mathematica und verwandter Systeme I. Monatshefte für Mathematik und Physik, 38, S. 173-198, 1931.

19) Alan Turing, On Computable Numbers with an Application to the Entscheidungsproblem. Proc. of the London Math. Soc., 2, vol. 42, S. 230-265, 1936-1937.

20) Gregory J. Chaitin, Information, Randomness and Incompleteness. World Scientific, Singapore, 1990.

21) Walter Lippmann, Public Opinion, 1921.

22) Noam Chomsky, Eduard S. Herman, Manufacturing Consent, Pantheon Books, N.Y. 1988.

the network of the server

NAM JUNE PAIK  
VENICE IV - 1993, BILL CLINTON STOLE MY IDEA

# NAM JUNE PAIK: "Bill Clinton stole my Idea"

**1974** Media Planning for the Postindustrial Society

In 1974 I proposed the "Electronic Super Highway" to the Rockefeller Foundation and made \$2,000. The idea was published in *Green* (3/200) and in 1976, Mayor Bill Clinton read it in the *Guardian*. He used exactly the same language.

**Conclusion:** The Depression of the 20's was brought back by total public works and central agencies, such as the TVA, Tennessee Valley Authority, the Works Progress Administration, and highway building. These comprehensive programs have been the backbone of economic growth for the last 20 years. Now economic stagnation caused by the double shock of energy and entropy will be logical necessity for the transition into the postindustrial society requires radical remedies. This social investment must also be economically viable. These remedies should reinforce the economic infrastructure, raise the economic competitiveness, and contribute to the single-polarized programs.


The building of new **ELECTRONIC SUPER HIGHWAYS** will be an even bigger economic stimulus than the New Deal and in Los Angeles with multiple of broadband

communications networks, and its dramatic satellites, super grids, bundles of optical cables, and laser fiber-optics have been. The expenses would be as high as manufacturing, but the expected turnover of investments would be more numerous than general economic development. High speed multipoint-to-TV conferences call, with sophisticated teleoperator will increase exponentially. While no energy consumption is involved, except for the initial capital, it will cut down on travel and ending oil dependence. Immediate service is better. Efficient communication systems social-voice and multimedia in every corner, raising the exponential growth in energy cost savings. They will create the job of an entire industrial or business but will become the support of all unemployed new human activities. One hundred pages ago. These words:

"Even if the telephone company suspended its service to people in Missouri, people in Tennessee, what would they have to say to each other?" The rest is history.

Published in *Green* in 1979 in the magazine "New June Paik Venice 1974-1975, Visual Music", ed. by "Wall Heisterkamp, Kinkadee Kunstverein, Cologne 1976, p. 145-146.

**1993** Electronic Super Highway "Venice → Ulan Bator"



"Information to Art, Art as Information" 1972, Nam June Paik, Kunsthaus Graz, Austria. Photo: Günther Kieser

"Rehabilitation of Capitalism Through Music in Progress", 1973, Nam June Paik, Kunsthaus Graz, Austria. Photo: Günther Kieser