

# **Die fundamentale Bedeutung der Informations- und Wissensmessung und ihre Beziehung zum System der Planckeinheiten**

**Prof. Dr. Walther Umstätter**

**Institut für Bibliotheks- und Informationswissenschaft  
der Humboldt-Universität zu Berlin**

Sapere aude!

## ***Zusammenfassung***

Das bit als Maß für das Verhältnis von Information, informationstheoretischem Rauschen, *a posteriori* Redundanz, *a priori* Redundanz bzw. Wissen, so wie es sich zunächst in den Betrachtungen zur Entropie, aus der Thermodynamik heraus ergeben hat, ist ein weitaus fundamentaleres Maß, als es zunächst aus der Thermodynamik und dem Eta-Theorem Ludwig Boltzmanns heraus zu erwarten war, weil es uns die Möglichkeit gibt, das Wissen von Lebewesen, und von Systemen mit Künstlicher Intelligenz zu messen, und nicht mehr wie bisher nur vergleichend abzuschätzen. So ist es gängige Praxis in Prüfungen bei Wiederholung gleicher oder ähnlicher Fragen festzustellen, wer diese mehr oder weniger richtig und umfassend zu beantworten vermag. Information ist ein Maß für Ordnung bzw. Redundanz und hat nichts mit Energie zu tun. Im Sinne Galileis, das zu messen, was messbar ist, und messbar zu machen, was noch nicht messbar ist, wird die Messbarkeit von Wissen im 21. Jahrhundert, in dem die Wissenschaft der dominierende Faktor der menschlichen Gesellschaft ist, fundamentale Bedeutung erlangen. Das bit ist im Gegensatz zu den klassischen naturwissenschaftlichen Maßsystemen, wie Meter, Kilogramm, Sekunde oder Kelvin nicht mehr ein anthropozentrisches, also vom Menschen beliebig gewähltes Maß, es ist die Konsequenz grundlegender wissenschaftlicher Einsichten des letzten Jahrhunderts über die Bedeutung der Entropie.

Die Gravitationskonstante  $G$ , die Lichtgeschwindigkeit  $c$ , das Plancksche Wirkungsquantum  $h$  (genauer gesagt Diracs Konstante  $\hbar$ ), die Boltzmann-Konstante  $k_B$  und die Coulombsche Konstante  $k_C$  können inzwischen alle 1 gesetzt werden, weil sie sich im vernetzten Gleichungssystem der Physik als reine Umrechnungsfaktoren des cgs-, bzw. mks-Systems erwiesen haben. Raum, Energie und Zeit bilden somit ein Kontinuum. Eine Sonderstellung hat dabei die Feinstrukturkonstante  $\alpha$ , die sich als potentieller Umrechnungsfaktor der helikalen Rotation (Spin) von Wirkungsquanten in träge bzw. schwere Masse erweist. Das  $h$  ein Wirkungsquantum ist, erscheint eher irreführend. Es ist als Produkt von Energie mal Zeit zwar eine Wirkung, seine Quantelung kann aber für Photonen nicht bestätigt werden, diese tritt nur bei den Elektronenschalen als  $1\hbar; 2\hbar; 3\hbar \dots n\hbar$  zu Tage, weil alle Elektronenniveaus miteinander harmonische Frequenzen bilden müssen, und diese Quantelung ist durch  $\alpha$  gegeben. Genau genommen ist  $\hbar$  ein Drehmoment  $\hbar = m_{ph} c r_{ph}$ , dass sich beim Elektron des Wasserstoff-

atoms aus  $\hbar\alpha^2 = m_{\text{phH}}/\alpha^2 * \alpha c * r_{\text{phH}}\alpha^3$  ergibt. Hier ist  $m_{\text{phH}} = 4,8509 \cdot 10^{-35}$  [kg] und  $r_{\text{phH}} = 7,2516 \cdot 10^{-9}$  [m] Masse und Radius eines Photons der Energie des Elektrons, mit  $6,5797 \cdot 10^{15}$  [Hz]. Das Drehmoment des Elektrons spaltet sich, dem entsprechenden Photon gegenüber, auf in  $\hbar = m_e \alpha c r_B$  ( $r_B = \text{Bohrradius}$ ) und in  $\hbar\alpha^2 = m_e \alpha c r_e$  bzw. in Planckeinheiten gerechnet in 1 und  $\alpha^2$ . In Planckeinheiten gilt für alle Photonen  $m_{\text{ph}} * r_{\text{ph}} = 1$ , genauer gesagt  $m_{\text{ph}} * 1 * r_{\text{ph}} = 1$ , da die Lichtgeschwindigkeit  $c = 1$  ist. Für das Elektron gilt  $m_e * r_e = \alpha$  bzw. das Proton  $m_p * r_p = \alpha$ . Bedenkt man, dass  $h = m_{\text{ph}} c \lambda_{\text{ph}}$  ist, so wird deutlich, dass jedes Photon die Länge  $\lambda_{\text{ph}}$  und den Radius  $r_{\text{ph}} = \lambda_{\text{ph}}/2\pi$  hat. Je kleiner der Radius, desto größer die Masse.

Die Energiequanten von  $6,58 \cdot 10^{15}$  [Hz] können demnach nicht beliebig an Masse zunehmen, sondern verlangsamen sich um  $\alpha$ , wenn die Masse um  $m/\alpha^2$  zunimmt, während sich ihr Radius um  $\alpha^3$  verringert. Das heißt, dass sich der Radius direkt proportional zur Masse verringert, aber dann noch zusätzlich dadurch, dass die Geschwindigkeit, bedingt durch die Massenzunahme, abnimmt.

Das Universum hat heute eine Entropie von  $2 \cdot 10^{122}$  (~406 bit), die im Sinne von Bekenstein und Hawking mit seiner Oberfläche wächst. Dieses Entropiewachstum darf nicht mit dem Boltzmanns verwechselt werden, da es sich im Falle der Thermodynamik, wie sie Boltzmann betrachtet hat, um abgeschlossene Systeme handelt, die eine unveränderliche Zahl an Molekülen enthalten. Boltzmann ließ dabei auch die Tatsache außer acht, dass viele Ereignisse in der Natur Wellencharakter haben und somit Resonanzen und Schwingungsmuster erzeugen. Aus der Informationstheorie Shannon und Weavers haben wir darüber hinaus gelernt, dass sich die Zahl der bits auf den Umfang des jeweiligen Zeichensatzes (enthaltenen Elemente) in einem System bezieht. Da sich das Universum, nach unserem heutigen Wissen, permanent ausdehnt und immer mehr Quanten bildet, wächst sein Informationsgehalt stetig an.

## ***Vorwort***

Da der Autor mehrere Jahre lang geschäftsführender Direktor des Instituts für Bibliotheks- und Informationswissenschaft war, sei hier noch eine kurze Bemerkung zu dieser Wissenschaft, die in unserer heutigen Gesellschaft noch immer weitgehend unbekannt ist, eingefügt. Sie ist ein essentieller Teil der modernen *knowledge economy*,<sup>1</sup> genauer gesagt, der Wissenswirtschaft publizierten Wissens.<sup>2</sup> Sie beruht auf der Informationstheorie und darauf, dass publizierte Informationen immer öfter digitalisiert vorliegen. Für alle Forschenden, Lehrenden und Lernenden an einem solchen Institut ist es eine große Herausforderung, wenn man bedenkt, wie fundamental und weitreichend die Informationstheorie ist, und dass sie die größte geistige Revolution des letzten Jahrhunderts war. Ihr Einfluss reichte von der physikalischen Thermodynamik, über die Informatik, Nachrichtentechnik, Kybernetik, Genetik, Biologie, Neurophysiologie, Psychologie, Philosophie, bis weit in die Sozialwissenschaften hinein. Nicht unbegründet sprach man vom Informationszeitalter bzw. der Informationsgesellschaft. Erste Versuche, den Informationsgehalt einer Bibliothek, wie den der Library of Congress mit  $10^{13}$  bit zu bestimmen, gehen auf den Weinberg Report von 1963 zurück, an dem auch J.W. Tukey, der Namensgeber dieser Einheit bit, beteiligt war. Durch diese Digitalisierung hat die

<sup>1</sup> Umstätter, Walther: Zwischen Informationsflut und Wissenswachstum. S. 172 Simon Verl. f. Bibliothekswis. Berlin (2009)

<sup>2</sup> Umstätter, Walther: Milkau oder Harnack, warum ist das eine interessante Frage? <http://www.ib.hu-berlin.de/~wumsta/infopub/lectures/Harnack09.pdf>

alte Aufgabe der Bibliotheken, das Wissen der Welt zu sammeln und zu organisieren, wichtige neue Impulse erfahren.<sup>3</sup>

Wenn man in diesem Sinne das 20. Jahrhundert als das Informationszeitalter bezeichnen muss, so ist es nur konsequent zu erwarten, dass wir nun in die Ära wechseln, die oft Wissensgesellschaft genannt wird. Historisch betrachtet richtiger wäre es allerdings von einer Ära der Wissenschaftsgesellschaft zu sprechen, da die Einteilung in die Gesellschaft der Jäger und Sammler, der Agrargesellschaft und der Industriegesellschaft sich von den jeweils dominierenden Tätigkeiten ableitet, auf denen die menschliche Existenz in diesen Zeiten beruhte. Nun ist zu beobachten, dass die Menschheit in den nächsten Jahrzehnten immer mehr von ihrer Wissensproduktion lebt, und sicher nicht von dem höchst unzureichenden Wissen, das sie schon besitzt.

In einer solchen Wissenschaftsgesellschaft ist es notwendig Wissen genauer als bisher definieren zu können, und es auf die Basis der Informationswissenschaft zu stellen, die wiederum auf der Informationstheorie aufbaut.

### ***Das anthropozentrische Maßsystem der Physik***

Das Maßsystem der Menschheit, so wie wir es aus den SI-Einheiten (Système Internationale d'unités) kennen, ist trotz seiner physikalischen Wissenschaftlichkeit im höchsten Maße anthropozentrisch. Das gilt sowohl für die Längenmessung in Metern, die Massenbestimmung in Kilogramm, die Zeit in Sekunden, wie auch die Temperaturmessung in der Kelvin Gradation (mks°K-System).

Eine interessante Ausnahme bildet das Maß von Information, nachrichtentheoretischem Rauschen, Redundanz und Wissen. Sie alle sind in bit messbar – einer Maßeinheit, die bemerkenswerterweise mit der Entropie in der Physik korrespondiert, aber von weitaus grundsätzlicherer Natur ist. Sie hat sich im letzten Jahrhundert als eine Konsequenz naturwissenschaftlicher Einsichten von Boltzmann, Hartley, Nyquist, Fisher, von Neumann, Schrödinger, Wiener, Shannon, Weaver u.a. herauskristallisiert, an die wir Menschen uns teilweise nur langsam gewöhnen können. Korrekterweise müsste man dieses Informationsmaß gemäß der ISO (International Standard Organisation) in Shannon (Sh) angeben, das sich allerdings gegen die Einheit bit als Bezeichnung nicht durchsetzen konnte. Die Messung des sogenannten mittleren Informationsgehaltes, unter Nutzung des Logarithmus auf der Basis 2, wird darum auch heute noch allgemein bit (binary digit) genannt. Auf der Basis  $e$  spricht man von logons oder nats (natural units of information) bzw. der Basis 10 von hartleys.

$$\begin{array}{llll} 1 \text{ logon} & = 1/\ln 2 & = \log_2 e & = 1,443 \text{ Sh (bit)} \\ 1 \text{ hartley} & = 1/\log_{10} 2 & = \log_2 10 & = 3,332 \text{ Sh (bit)} \\ 1 \text{ hartley} & = 1/\log_{10} e & = \ln 10 & = 2,303 \text{ logons (nats)} \end{array}$$

Ihre Verbreitung steht aber berechtigterweise weit hinter dem bit zurück.

Bei der Suche nach den sogenannten Fundamental-, Gods-, Natural-, Planck- oder Stoney-units kann man vom cgs- oder vom mks-System ausgehen, und ebenfalls vom Planckschen Wirkungsquantum  $h$ , von  $\hbar = h/2\pi$ , (auch Dirac-Konstante,  $h$ -bar oder  $h$ -quer genannt), oder von  $h_d = h/\pi$ . Wobei Dirac den Zusammenhang zwischen  $\hbar$  und der Feinstrukturkonstante  $\alpha$  erkannte. Bei  $c = G = \hbar = 1$  spricht man von den reduzierten Planckeinheiten im Gegensatz zu den früheren Planckeinheiten, in denen  $c = G = h = 1$  gesetzt wurde. Da sich die Anwendung

---

<sup>3</sup> Umstätter, Walther: [Bibliothekswissenschaft im Wandel, von den geordneten Büchern zur Wissensorganisation](http://www.bibliothek-saur.de/preprint/inhalt.htm). Bibliothek in Forschung und Praxis (2009) <http://www.bibliothek-saur.de/preprint/inhalt.htm>

der reduzierten Planckeinheiten weitgehend durchgesetzt hat, sind sie heute zumeist gemeint, wenn von Planckeinheiten die Rede ist.

**Dabei erweist sich interessanterweise  $\alpha$  als Umrechnungsfaktor der helikalen Rotation von Wirkungsquanten in träge bzw. schwere Masse auf dem Energieniveau  $6,58 \cdot 10^{15}$  [Hz].**

So gilt in Planckeinheiten  $m_e \cdot r_e = \alpha$  (Die Elektronenmasse ergibt sich direkt aus dem Kehrwert des Elektronenradius, multipliziert mit  $\alpha$ ).

Aus Alpha ergibt sich ein besseres Verständnis für die Bedeutung dessen, was wir die Dualität der Wirkungsquanten nennen. Es spielt eine wichtige Rolle bei der Abnahme der Radien bei den zylinderförmigen Wirkungsquanten bzw. den toroidalen Elektronen, die durch  $\hbar = m_{ph} \cdot c \cdot r_{ph} = m_e \cdot \alpha \cdot 2\pi \cdot r_B$  bei der Frequenz  $6,58 \cdot 10^{15}$  [Hz] gegeben sind. Darin bedeutet  $m_{ph}$  = Masse eines Photons;  $c$  = Lichtgeschwindigkeit;  $r_{ph}$  = Radius eines Photons;  $m_e$  = Masse des Elektrons;  $\alpha$  = Sommerfeldsche Feinstrukturkonstante;  $r_B$  = Bohrradius. Das Elektron und ebenso das Photon folgt in seiner Länge der Heisenbergschen Unschärferelation  $\Delta\lambda \cdot \Delta p \geq \hbar$  mit  $3,32 \cdot 10^{-10}$  [m] respektive  $4,56 \cdot 10^{-8}$  [m], so dass das Elektron um  $\alpha$  kürzer ist, weil es bei gleicher Frequenz um  $\alpha$  langsamer ist als die Lichtgeschwindigkeit  $c$ . Sein Durchmesser gegenüber dem Photon gleicher Frequenz nimmt um  $\alpha^3$  und die Geschwindigkeit um  $\alpha$  ab, während seine Masse um  $1/\alpha^2$  zunimmt. Für ein Elektron können wir schreiben  $\hbar = m_{ph}/\alpha^2 \cdot c \cdot \alpha \cdot r_{ph} \cdot \alpha$ . Es fällt auf, dass in das Drehmoment des Elektrons der Bohrradius und nicht der um  $\alpha^2$  noch kleinere Radius des Elektrons eingeht. Mit dieser Verkleinerung des Radius geht also eine quadratische Massenzunahme und eine um  $\alpha$  geringere Geschwindigkeit einher.

Das Verhältnis der Planckschen Konstante  $h$  zur Diracschen Konstant  $\hbar$ , macht deutlich, dass das Verhältnis der Wellenlänge  $\lambda$  zum Radius der bzw. zur Amplitude der elektromagnetischen Wellen konstant ist. Wenn  $h = \text{Energie} \cdot \text{Zeit} = [\text{kg} \cdot \text{m/s} \cdot \text{m}]$  ist, entspricht dies einer Masse, mit der Geschwindigkeit  $c$  über einen entsprechend Weg  $\lambda$  bzw. dessen Drehmoment. Das Wirkungsquantum bei  $6,58 \cdot 10^{15}$  [Hz] hat die Länge  $4,56 \cdot 10^{-8}$  [m], die Masse  $m = E/c^2 = \alpha \cdot c / (\hbar \cdot r_B) = 4,85 \cdot 10^{-35}$  [kg] und rotiert mit dem Radius  $r_{ph} = \lambda_{ph}/2\pi = 7,25163 \cdot 10^{-9}$  [m], der um  $1/\alpha$  größer ist als der Bohrradius  $r_B = 5,29 \cdot 10^{-11}$  [m]. Um so mehr die Geschwindigkeit abnimmt, um so kleiner und um so dünner werden die Wirkungsquanten, so dass sie im Atom und insbesondere im Atomkern, mit zunehmender Masse, immer mehr Stringcharakter erreichen.

**Die Dualität des Lichtes wird also von  $\alpha$  bestimmt, in dem sich das Verhältnis von Länge zu Durchmesser der Wirkungsquanten bei abnehmender Geschwindigkeit immer mehr zu geringeren Radien und damit zu Masseteilchen mit helikaler Rotation hin verschiebt.**

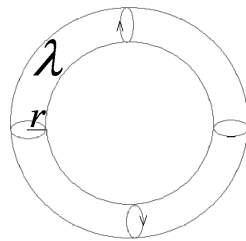
In Planckeinheiten ist das Produkt aus Radius des Spins und Masse, bei der Geschwindigkeit  $\alpha \cdot c$  konstant  $\alpha$ . Bei den Protonen gilt  $m_p \cdot r_p = \alpha$  bzw. bei den Elektronen  $m_e \cdot r_e = \alpha$ . Das könnte zunächst dazu verleiten, anzunehmen, dass Drehmoment in Planckeinheiten  $m_e \cdot 1/\alpha \cdot r_e = 1$  beträgt und damit  $1/\alpha$  in SI-Einheiten  $c \cdot 137,036$  bedeutet, also eine vielfache Lichtgeschwindigkeit. Das Gleiche gilt für  $m_p \cdot r_p = \alpha$ . Dieser Widerspruch löst sich allerdings auf, wenn man die Gleichung durch  $13,399 \cdot m_{phH}/\alpha^3 \cdot \alpha \cdot r_{phH} \cdot \alpha^4/13,399 = \alpha^2$  erweitert, wobei  $m_{phH}$  bzw.  $r_{phH}$  die Masse beziehungsweise der Radius des Photons mit  $6,57969 \cdot 10^{15}$  [Hz] ist, wie beim Wasserstoffatom. Die Zahl  $13,399/\alpha = 1836,15$  macht das Verhältnis von Elektron zu Proton etwas verständlicher und damit auch, dass das Proton aus Quarks zusammengesetzt ist. Denn die vergleichbare Beziehung für das Elektron ist  $m_{phH}/\alpha^2 \cdot \alpha \cdot r_{phH} \cdot \alpha^3 = \alpha^2$ . Wir haben es also beim Elektron mit zwei Drehmomenten zu tun, dem des Elektrons auf dem Bohrradius, und der Eigenrotation  $r_e$ . Man kann für die Elektronenmasse auch  $m_e^2 = 1/(r_e \cdot r_B)$  und

für die Protonenmasse  $m_p^2 = r_e/(r_p^2 r_B)$  schreiben. Beide Massen ergeben sich damit in Planck-einheiten direkt aus den entsprechenden Radien. Da  $h = E t$  das Produkt aus Energie und Zeit ist und auf den Elektronenschalen ganze Vielfache bildet, wird es als Wirkungsquantum bezeichnet. Für Photonen gilt dagegen,  $h = m_{ph} c 2\pi r_{ph}$  bzw. in den reduzierten Planckeinheiten  $m_{ph} r_{ph} = 1$ . Damit ist auch die Masse eines Photons immer umgekehrt proportional zu seinem Radius  $m_{ph} = 1/r_{ph}$ . In reduzierten Planckeinheiten ist  $m_{ph} = E_{ph} = 2\pi v = 2\pi/\lambda = 1/r_{ph}$ . Alle Photonen haben demnach das gleiche Verhältnis von Länge zu Radius. Ihr Umfang entspricht genau ihrer Länge. Für das Elektron gilt in Planckeinheiten  $m_e = 1/(\alpha r_B)$ .

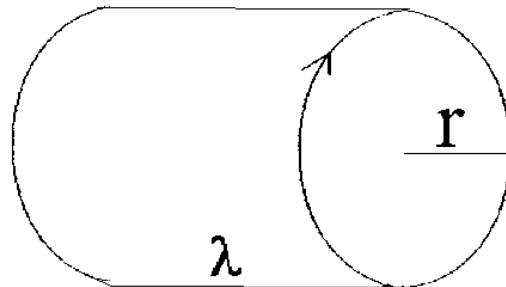
Auf den ersten Blick erscheint die Zunahme der Masse mit abnehmender Geschwindigkeit ein Widerspruch zu Einsteins Formel  $m = m_0/\sqrt{1-(v/c)^2}$  zu sein, nach der die Masse mit der Geschwindigkeit zunimmt, und bei  $c$  gegen unendlich geht. Dies gilt aber nur für eine Masse  $m_0$ , die immer stärker beschleunigt wird, und bei der damit von der Beschleunigungsenergie mehr und mehr in Masse übergeht. Bei konstanter Energie und Frequenz muss dagegen mit  $E = m v^2$  die Masse zunehmen, wenn  $v$  abnimmt. Die verringerte longitudinale Geschwindigkeit wird dabei über  $\alpha$  in Masse bzw. in Rotationskraft eines immer kleineren  $r$  umgesetzt.

**Aus der Tatsache, dass mit abnehmendem  $r$  auch eine wachsende Zentrifugal- bzw. Zentripetalkraft  $K = m v^2/r$  einher geht, wird verständlich, warum die träge Masse der Anziehungskraft der schweren Masse gleicht.**

Wir sehen also, dass bei einer Geschwindigkeitsabnahme  $m$  größer und  $r$  kleiner wird, wenn die Kraft  $K$  konstant bleibt.



Schematisches Heliumelektron:  
 $\lambda = 2\pi r_B = 3,32 \cdot 10^{-10}$  [m] mit  $v = \alpha c$   
 $r = 2,82 \cdot 10^{-15}$  [m] ( $2\pi r_e/\lambda = \alpha^2$ )



Photon bei gleicher Energie  
 $\lambda = 4,56 \cdot 10^{-8}$  [m] mit  $v = c$   
 $r = \lambda = 4,56 \cdot 10^{-8}$  [m] ( $2\pi r_B/\alpha$ )

Auf den Zusammenhang von  $\alpha$  und den Brechungsindex  $n = c/v = (\epsilon\mu)^{1/2}$ , in der der Maxwellschen Relation, bei dem  $\epsilon$  die Dielektrizitätskonstante und  $\mu$  die Permeabilität ist,<sup>4</sup> sei hier nur am Rande noch hingewiesen, da bei dem bekannten Verhältnis  $n/c = \alpha$  die Konstante  $\epsilon = \alpha^{-2}$  wird.

Durch den hohen Einfluss Plancks auf dieses logische Maßsystem sei hier grundsätzlich von Planckeinheiten die Rede, auch wenn das darin enthaltene  $h$ ,  $\hbar$  bzw.  $h_d$  zu geringfügigen Verschiebungen führt, die leicht umrechenbar sind.

Da  $\hbar$ , bei  $h = 2\pi \hbar$ , seine Welleneigenschaft offenbart, und die Bedeutung der Amplitude einer Welle bzw. des Radius, bei einer Rotation zeigt, ist  $h_d$  der Durchmesser dieser Rotation, bzw. die gesamte Auslenkung der elektromagnetischen Welle. Wenn man also vermeiden

<sup>4</sup> [http://en.wikipedia.org/wiki/Speed\\_of\\_light](http://en.wikipedia.org/wiki/Speed_of_light)

will, dass die Kreiskonstante  $\pi$  in der Naturkonstante  $h$  sozusagen unbemerkt versteckt bleibt, geht man sinnvollerweise von

$$h_d = h/\pi = 2 \hbar$$

aus, und schafft den eigentlichen Zusammenhang von Energie mal Zeit zur Amplitude.

Im Gegensatz zu der etwas irreführenden Vorstellung, dass Energie nur gequantelt, im Sinne von ganzzahligen Vielfachen von  $h$  abgegeben bzw. aufgenommen werden kann, ist bei  $E = h \nu$

dieses  $\nu$  selbstverständlich auch in gebrochenen Zahlen denkbar, denn die Frequenz Hz (1/Sekunde) können wir kaum als Basis für die ganzzahligen Quantensprünge annehmen.

Im Verhältnis von

$$E/\nu = E \lambda = h \text{ bzw. } E \lambda \pi = h_d$$

ist bei Messungen lediglich festgestellt worden, dass eine elektromagnetische Welle bei ihrer Ausstrahlung sich um so langsamer ablöst je geringer ihre Energie ist, auch wenn ihre Wellenfront sich immer mit Lichtgeschwindigkeit fortbewegt. Je mehr Energie also abgegeben wird, desto rascher geschieht dies. Beeindruckend ist dabei die Bandbreite von den härtesten Strahlungen mit über  $10^{40}$  Hz bis zu denen von einigen wenigen Schwingungen pro Sekunde.

Von Quanten, die über mehrere Sekunden oder Stunden, möglicherweise noch langsamer (bis zum Gesamtalter des Kosmos) abgegeben werden, wissen wir bislang wenig. Da sich aber die Eigenschaften der Quanten, je nach Energieniveau, von den  $\gamma$ -Strahlen, über die des sichtbaren Lichtes, zur Wärmestrahlung, bis zu den Kurz- und Langwellen des Rundfunks hin, sehr stark verändern, wäre die Frage, wie sich Wellen von beispielsweise  $3 \times 10^8$  m Länge, also 1 Hz erkennen lassen. Ein interessanter Fall ist in diesem Zusammenhang die Schumann-Resonanz von 7.8 Hz.

Die bekannte Erscheinung, dass die Energieabstrahlung und -resorption von Atomen in Quantensprüngen erfolgt, liegt weniger an der Konstanten  $h$ , als vielmehr an den Resonanzen der Elektronen, die sich harmonisch zueinander auf ihren festen Orbitalen bewegen müssen. Dabei spielt  $\alpha$  die entscheidende Rolle.

Unter heutigen Bedingungen ist also für die Bestimmung von Planckeinheiten weder das veraltete cgs-System, noch  $h$  als Ausgangspunkt geeignet, sondern  $\hbar$ . Man kann dabei von der höchst interessanten Beobachtung der Physik ausgehen, dass die Gravitationskonstante  $G$ , die Lichtgeschwindigkeitskonstante  $c$ , die Boltzmann-Konstante  $k_B$  und das Plancksche Wirkungsquantum  $h$ , alle über Gleichungen miteinander vernetzt sind.

Bezüglich der Gravitationskonstante lässt sich anstelle  $K = G m^2/r^2$  auch

$G = c^3 \cdot t_U / m_U = 2,6944 \cdot 10^{25} \cdot 4,32043 \cdot 10^{17} / 1,74464 \cdot 10^{53} = 6,67243 \cdot 10^{-11}$  schreiben, da Kraft  $K = \text{Masse } m \text{ mal Beschleunigung (Meter/Sekunde}^2\text{)}$  und  $G = \text{Meter}^3 / (\text{Zeit}^2 \cdot \text{Masse})$  ist. Dabei ist  $t_U$  das Alter des Universums in Sekunden und  $m_U$  die Masse in Kilogramm. Damit ist die Gravitationskonstante  $G$  von der Konstanten  $c$  (Lichtgeschwindigkeit) abgesehen ein Umrechnungsfaktor von Zeit ( $t_u = \text{Alter des Universums}$ ) zu Masse ( $m_u = \text{Masse des Universums}$ ). Andererseits wird erkennbar, dass die Masse des Universums direkt proportional zur Zeit zunimmt. Dies gilt bemerkenswerterweise auch schon für die Planck-Zeit und die Planck-Masse.  $G = 2,6944 \cdot 10^{25} \cdot 5,39049 \cdot 10^{-44} / 2,17674 \cdot 10^{-8} = 6,67243 \cdot 10^{-11}$ .

**Demnach dehnt sich das Universum in die drei Raumkoordinaten mit jeweils Lichtgeschwindigkeit  $c$  aus, und gewinnt dabei linear an Masse.**

Dass wir davon heute wenig bemerken liegt daran, dass eine Massenzunahme von  $4,04 \cdot 10^{35}$  [kg/sec] zwar eine unvorstellbare Größe ist, aber bezogen auf das gesamte Universum mit  $1,74 \cdot 10^{53}$  [kg] auf der Erde kaum messbar bleibt, auch wenn diese mit  $5,97 \cdot 10^{24}$  [kg] und einem jährlichen Zuwachs von  $4,36 \cdot 10^{14}$  [kg] erkennbar sein müsste. Hinzu kommt, dass die Massenzunahme des Universums im Laufe der Zeit, im Vakuum und in den Schwarzen Löchern nicht gleich verteilt sein dürften, auch wenn die Hintergrundstrahlung von etwa zwei Millimetern Wellenlänge auf den ersten Blick mit etwa 200 Photonen/cm<sup>3</sup> weitgehend gleich verteilt ist.<sup>5</sup>

Das Fazit, auf eine allgemeine Entropie bezogen ist, dass das Universum durch die Resonanzen, die darin wirksam sind, weit weniger homogen ist, als man nach der Gleichung  $S = \ln W$  ( $W = \text{Wahrscheinlichkeit}$ ) annehmen sollte. In red. Planckeinheiten gerechnet erhöht sich die Masse des Universums um eine Planckmasse pro Planck-Zeit und ebenso um eine Planckenergieeinheit pro Planck-Zeit.

**Das Gesetz der Energieerhaltung gilt damit nur in den Grenzen einer Genauigkeit von  $5,39 \cdot 10^{-44}$ , denn mit jeder Zeitzunahme erhöht sich die Energie, die Masse und die Entropie (bzw. der Informationsgehalt) des Universums.**

Wenn das Universum dementsprechend pro Sekunde um  $4,04 \cdot 10^{35}$  [kg] schwerer wird, so ist dies heute, bei einer Masse des Universums von  $1,74 \cdot 10^{53}$  [kg] eine Zunahme um  $2,31 \cdot 10^{-15}$  ‰ pro Sekunde, bzw.  $7,30 \cdot 10^{-8}$  ‰ pro Jahr.<sup>6</sup> Das würde bei einer gleichmäßigen Massenzunahme im gesamten Universum für die Erde eine Erhöhung von  $4,36 \cdot 10^{14}$  [kg/J] bedeuten.

Das Universum verhält sich annähernd wie ein Schwarzes Loch mit dem Schwarzschildradius  $r_s = G m_u/c^2 = 6,67243 \cdot 10^{-11} * 1,74 \cdot 10^{53}/8,99 \cdot 10^{16} = 1,30 \cdot 10^{26}$  [m]. Dies gilt auch für seinen Ausgangspunkt  $6,67243 \cdot 10^{-11} * 2,177 \cdot 10^{-8}/8,99 \cdot 10^{16} = 1,616 \cdot 10^{-35}$  [m] der Planck-Länge.

Nimmt man nach Bekenstein und Hawking für Schwarze Löcher eine maximale Entropie  $S = A/4$  an, in der A die Oberfläche zum Radius  $r_s$  ist, so liegt diese beim Big Bang bei  $8,20 \cdot 10^{-70}$  und beim heutigen Universum bei  $5,27 \cdot 10^{52}$ . Die maximale Entropiezunahme betrug damit  $S = 6,42 \cdot 10^{121}$  (~405 bit). In Planckeinheiten gemessen, lag die Entropie beim Big Bang bei  $\pi$  und heute bei  $2,02 \cdot 10^{122}$ , also auch bei einer Zunahme von  $6,42 \cdot 10^{121}$ . Interessanterweise haben Egan, C. A. and Lineweaver, C.H. (2009)<sup>7</sup> für die beobachtete Entropy einen Wert von  $S_{\text{obs}} 3,1 \cdot 10^{104}$  (~348 bit) gefunden, so dass dieser um  $10^{18}$  (~60 bit) niedriger liegt, was bei der Strukturbildung von Atomen, Molekülen, Kristallen, Lebewesen, Planeten und Galaxien verständlich ist. Dabei korreliert nach Colin et al die Bildung von Galaxien nur sehr schwach mit dem *redshift*, während das *dark matter clustering* dies in hohem Maße tut.<sup>8</sup> Die Größe der Galaxien folgt etwa einem *power law* mit der Potenz ~1,7. Das spricht dafür, dass Galaxien rascher wachsen, wenn sie ohnehin schon größer sind.

<sup>5</sup> Bei 2 mm Länge und 0,3 mm Breite bzw. Höhe eines Photons der Hintergrundstrahlung passen 203 Photonen in einen Kubikzentimeter. Umgerechnet auf das Universum, mit  $9,10 \cdot 10^{78}$  [m<sup>3</sup>] und einer Masse von  $2,24 \cdot 10^{-31}$  [kg/m<sup>3</sup>] ergibt sich eine Masse von  $2,04 \cdot 10^{48}$  [kg] Hintergrundstrahlung im Universum. Das damit insgesamt nur  $8,6 \cdot 10^4$  mal schwerer wäre, als die Hintergrundstrahlung.

<sup>6</sup> Es ist bemerkenswert, dass man die Masse des Universums direkt aus seinem Alter  $4,32 \cdot 10^{17}$  [sec] bzw.  $8 \cdot 10^{60}$  Planck-Zeiten bzw.  $8 \cdot 10^{60}$  Planck-Masse des Universums errechnen kann.

<sup>7</sup> Egan, C. A. and Lineweaver, C.H.: A Larger Estimate of the Entropy of the Universe (2009) [http://arxiv.org/PS\\_cache/arxiv/pdf/0909/0909.3983v1.pdf](http://arxiv.org/PS_cache/arxiv/pdf/0909/0909.3983v1.pdf)

<sup>8</sup> Colín, P.; Klypin, A.; Kravtsov, A.V. and Khokhlow, A. M.: Evolution of Bias in Different Cosmological Models. The Astrophysical Journal, 523-532 (1999)

An die Interdependenz der Naturgesetze haben wir uns inzwischen soweit gewöhnt, dass viele Menschen das tiefe Erstaunen von Kepler, Newton oder Einstein kaum noch nachvollziehen können, das diese und viele andere Naturwissenschaftler über die Harmonie in dieser Welt empfunden haben. Eine Harmonie, die sich zwangsläufig aus dem höchst breitbandigen Wellencharakter von  $h$  ergibt.

Daher ist  $\hbar$  ohne Zweifel die wichtigste Konstante, da sie die Energie mit der Zeit und dem Weg, und so auch mit der Lichtgeschwindigkeit verbindet. In gewisser Hinsicht könnte man sagen, je nach Höhe der Energie, wird diese bei ihrer Ausbreitung langsam oder schnell auf Lichtgeschwindigkeit beschleunigt.

Wenn man somit die Planckeinheiten für das cgs-System und  $h$  bestimmt, so erhält man die gleichen Werte, wie beim entsprechenden mks-System, aber natürlich mit den Umrechnungen  $g \times 1.000$  und  $cm \times 100$ . Beim Wechsel von  $h$  zu  $\hbar$  werden entsprechend alle Werte um  $\sqrt[3]{2\pi}$  kleiner.

5,46E-05	<b>g</b>	6,67E-08	G
4,05E-33	<b>cm</b>	3,00E+10	c
1,35E-43	<b>s</b>	6,63E-27	$h$
5,46E-08	<b>kg</b>	6,67E-11	G
4,05E-35	<b>m</b>	3,00E+08	c
1,35E-43	<b>s</b>	6,63E-34	$h$
2,18E-08	<b>kg</b>	6,67E-11	G
1,62E-35	<b>m</b>	3,00E+08	C
5,39E-44	<b>s</b>	1,05E-34	$\hbar$

Beim Wechsel von  $\hbar$  zu  $h_d$  werden alle Werte um  $\sqrt[3]{2} = 1,41$  größer, da sich  $\hbar$  zu  $h_d$  wie der Radius  $r$  zum Durchmesser  $2r$  verhält, aber nur als Wurzel in die Umrechnung eingeht. Die Gravitationskonstante  $G$ , die Lichtgeschwindigkeit  $c$ , das Wirkungsquantum  $h$  bzw.  $\hbar$  und die Boltzmann-Konstante  $k_B$  können so 1 gesetzt werden.

$2,18 \times 10^{-08}$	kg	Kilogramm
$1,62 \times 10^{-35}$	m	Meter
$5,39 \times 10^{-44}$	s	Sekunde
$1,42 \times 10^{32}$	K	Kelvin
$1,96 \times 10^{09}$	J	Joul
$1,04 \times 10^{27}$	V	Volt
$1,21 \times 10^{44}$	N	Newton
$3,48 \times 10^{25}$	A	Ampere
$3,00 \times 10^{01}$	$\Omega$	Ohm
$3,63 \times 10^{52}$	W	Watt
$1,88 \times 10^{-18}$	C	Coulomb
$6,67 \times 10^{-11}$	G	1,000
$3,00 \times 10^{08}$	c	1,000
$2,11 \times 10^{-34}$	$\hbar$	1,000
$1,38 \times 10^{-23}$	$k_B$	1,000

**Man muss somit  $\hbar$ , c, G und  $k_B$  als reine Proportionalitätsfaktoren für unser anthropozentrisches Maßsystem Meter, Kilogramm, Sekunde und Grad Kelvin verstehen, und nicht mehr als Naturkonstanten, die entfallen, sobald wir Planckeinheiten einführen.**

Dabei wird  $\hbar = c = G = k_B = 1$ , weil wir es eigentlich nicht nur mit einem Raum-Zeit-Kontinuum sondern mit einem Energie-Raum-Zeit-Kontinuum zu tun haben.



Daneben gibt es mehrere Ansätze für die Suche nach natürlichen Einheiten<sup>9</sup>, unter Einbeziehung der Elektronenladung  $e$ , der Elektronenmasse  $m_e$  und der Sommerfeldschen Feinstrukturkonstante  $\alpha$ , die unter verschiedenen Namen geführt werden können:

Stoney units:  $c = G = e = 1$  und  $\hbar = 1/\alpha$   
 Schrödinger units:  $\hbar = G = e = 1$  und  $c = 1/\alpha$   
 Dirac units:  $c = m_e = e = 1$  und  $\hbar = 1/\alpha$   
 Bohr units:  $e = m_e = \hbar = 1$  und  $c = 1/\alpha$   
**Red. Planck units:  $c = G = \hbar = 1$  und  $e^2 = \alpha$**

Da die Feinstrukturkonstante  $\alpha = e^2/c\hbar$  ist, und damit das Quadrat der Elementarladung  $e^2 = \alpha$ ,

wenn  $c = \hbar = 1$  wird, ist  $e = \sqrt{1/137}$ . Die Massenanziehungskraft Newtons  $K_N$ , wird unter Nutzung des Planckschen Wirkungsquantums  $h = 1$ , in Beziehung zu Masse  $m$ , Entfernung  $r$ , Energie  $E$  und Frequenz  $\nu$  zu

$$\text{und bei } \hbar = 1 \quad \begin{array}{llll} K_N = m_1 m_2/r^2 & E = m & E = \nu & m = \nu, \\ K_N = m_1 m_2/r^2 & E = m & E = 2 \pi \nu & m = 2 \pi \nu, \end{array}$$

Die Lichtgeschwindigkeit  $c$  ist beispielsweise 1, weil wir die Längenmessung gegenüber der Zeitmessung nicht mehr um  $10^8$  feiner bestimmen als bisher. Die Länge  $l_p$ , die Masse  $m_p$ , die Zeit  $t_p$ , und die Temperatur  $T_p$  sind damit Planckeinheiten, die insbesondere durch das Plancksche Wirkungsquantum definiert sind, denn dieses ist durch die Lichtgeschwindigkeit, und damit durch die konstante Relation zwischen Weg und Zeit im Vakuum, sowie die Masse bestimmt. Die Feinstrukturkonstante lässt sich auch aus dem Verhältnis der Geschwindigkeit des Elektrons ( $2,18 \cdot 10^6$  m/s) zur Lichtgeschwindigkeit ( $3 \cdot 10^8$  m/s) berechnen.

Eines der Probleme, das durch die Verknüpfung von Energie, Raum und Zeit entsteht, ist die viel diskutierte Zeitabhängigkeit der sogenannten Fundamentalkonstanten, die wir bisher nicht feststellen können, weil sich alle Verhältnisse in festen Relationen zueinander verändern würden – auch die Zeit. Das einzige, was wir dabei sehr stark vermuten können, ist die permanente Zunahme der Entropie bzw. der Information im Universum. Wenn es einen Urknall gab, und dieser sozusagen als ein einziges Wirkungsquantum in einer  $10^{44}$ stel Sekunde die gesamte Energie des Universums abgab, war dies der Moment geringster Entropie und höchster Energiekonzentration, bezogen auf das heutige Universum. Innerhalb dieses Planckraumes von etwa  $10^{-35}$  m Radius war die Entropie bei einer Temperatur von  $10^{32}$  °K dagegen unvorstellbar hoch. Es ist somit nicht verwunderlich, dass es über die Frage der Entropie beim Urknall unterschiedliche Standpunkte gibt.

Zwischen Energie und Entropie bzw. Information, gibt es keine direkte Verknüpfung, weil sich beliebig viele Strukturen, auf beliebig hohem Niveau (auch Energieniveau) auf- und abbauen können. Dass solche Strukturen in der Physik immer an bestimmte Energieniveaus gebunden sind, liegt lediglich daran, dass die Physik *per definitionem* die Wissenschaft ist, die sich mit den Energieformen dieser Welt beschäftigt. Mit zunehmender Temperatur steigt die Unordnung im Sinne der Entropie und der kinetischen Energie.

Sowohl mit der Relativitätstheorie, als auch mit der Quantentheorie trat in der modernen Wissenschaft ein Problem auf, das man bis dahin immer auszuschließen versucht hatte. Der Messvorgang, bzw. der Beobachter bei einem Experiment, beeinflusste unausweichlich die Ergebnisse. Schlagworte wie Zwillingsproblem, Heisenbergsche Unschärferelation oder Schrödingers Katze machten deutlich, dass Objekt und Beobachter bzw. Sender und Empfän-

<sup>9</sup> <http://www.cooldictionary.com/words/Planck-units.wikipedia>

ger immer noch durch einen Übertragungskanal getrennt sind, der mehr oder weniger gestört sein kann.

Die Objektivität der Wissenschaft, ihre Forderung nach Kausalität und nicht selten sogar die Wissenschaft insgesamt, wurde seit dem immer wieder in Frage gestellt. Dabei spielte der Welle-Teilchen-Dualismus eine erhebliche Rolle. Denn das Photon erschien je nach Bestimmungsmethode als Teilchen mit einer Masse oder als eine über Raum und Zeit verteilte Welle. Der Grund dafür ist ebenfalls die Konstante  $h$ . Sie legt nicht, wie die alten Griechen vermuteten, ein kleinstes Teilchen, das  $\alpha$ -τομὸς nahe,<sup>10</sup> auch nicht eine kleinste Energiemenge, sondern das konstante Produkt von Energie mal Zeit. Diese immer an eine ganze Schwingung gebundene Energie, kann nur durch Wechselwirkung bzw. durch die entsprechende Eigenschwingung identifiziert werden, so dass jeder Detektor als Empfänger nur die Nachrichten empfangen kann, mit denen er in Resonanz tritt.

Auch in diesem Sinne ist die Informationstheorie eine allgemeingültige Grundannahme, die deutlich macht, dass alle denkbaren Informationen immer auf dem einfachsten Modell basieren, dem von Sender, Übertragungskanal und Empfänger.

Entsprechend dem konstanten Wirkungsquantum kann anscheinend die höchste denkbare Energien im Zeitraum von weniger als dem  $10^{40}$ sten Teil einer Sekunde abgegeben werden, während eine kleinere Länge als die vom  $10^{35}$ sten Teil eines Meters nicht möglich sein dürfte. Im Vergleich dazu erscheint eine Masse von  $10^{-8}$  kg schon geradezu gigantisch groß, und wird somit in der Literatur im Zusammenhang mit diesen kleinen Raum-zeitlichen Ausdehnungen, unter dem Aspekt von Schwarzen Löchern diskutiert. Daher korrespondiert auch die Länge von  $10^{-35}$  m mit dem Schwarzschildradius.

Die Planckeinheiten haben folglich nicht nur den Vorteil, eine Verhältnismäßigkeit zwischen den bislang beliebigen anthropozentrischen Maßeinheiten herzustellen, sondern auch das Verständnis dafür zu fördern, wie diese Verhältnisse aus ihren wechselseitigen Beziehungen heraus begründet sind.

Dass die Temperaturmessung  $T_p$ , im Vergleich dazu, unsere Kelvin Gradation um den Faktor  $10^{32}$  gewissermaßen komprimiert, ergibt sich natürlich aus der Boltzmann-Konstante, die ja mit  $10^{-23}$  Joul/°K schon signalisiert, wie gering der Energieanstieg pro Grad Celsius bzw. Kelvin ist. Wenn wir folglich eine Konkordanz zwischen Energie, Masse und Temperatur herstellen, so ist ein °K eine geradezu verschwindend kleine Energiemenge. Sie ist aber frei wirksam, im Gegensatz zur Energie in einer großen Masse.

Interessanterweise reagieren wir als Lebewesen auf die verschiedenen Energieformen sehr unterschiedlich. Das wird schon allein daran deutlich, dass wir Menschen, als homöotherme Regelsysteme, bei nur zwei oder drei °C Erhöhung der Körpertemperatur, also nur  $10^{-23}$  J mehr, bereits mit fieberartigen Zuständen reagieren. Dagegen bewerten wir die Energie in Form von Masse, gemäß der Gleichung  $E = m c^2$ , der Einheit Joul gegenüber, um den Faktor  $10^{17}$  großzügiger.

Biologische Zellen reagieren auf verschieden energetische Frequenzen als Mechanosensoren ihrer Umwelt unterschiedlich und höchst selektiv.

---

<sup>10</sup> Die Namensgebung für unser heutiges Atom ist bekanntlich eine klassische Verballhornung dessen, was Demokrit damit gemeint haben kann. Um so erstaunlicher ist es, dass die Physik daran festhielt.

Ähnlich wie zwei Substanzen um so leichter ineinander löslich sind, je genauer ihre Schwingungsfrequenzen miteinander übereinstimmen<sup>11</sup>, reagieren viele Zellmoleküle je nach Eigenfrequenz sehr spezifisch. Aller Wahrscheinlichkeit nach ist dies die Hauptaufgabe der Genetik, Eiweißmoleküle und Molekülkomplexe hervorzubringen, die im molekularen Frequenzbereich an den richtigen Stellen in Resonanz geraten.<sup>12</sup>

Es sei hier auch an das Rhodopsin und seine Lichtempfindlichkeit in den diversen Augenentwicklungen der Tiere erinnert.

### *Das Maß der Entropie*

Eine ganz eigene Betrachtung erfordert in diesem Zusammenhang die Entropie. Das griechische Verb  $\epsilon\nu\tau\rho\epsilon\pi\epsilon\upsilon\eta$  (sich umwenden, sich hinkehren zu) wählte Rudolf Clausius 1865<sup>13</sup> um deutlich zu machen, dass thermodynamische Abläufe in geschlossenen Systemen eine Tendenz zu dem haben, was Hermann von Helmholtz 1854 den Wärmetod des Weltalls nannte. Danach ist die Entropie  $\Delta S = \Delta q/T$ , wobei T die Temperatur in Kelvin und  $\Delta q$  die dem betrachteten System hinzugefügte Energie ist.

Aus seinen Einsichten über die kinetische Gastheorie und die Maxwell-Boltzmannsche Geschwindigkeitsverteilung von Molekülen heraus, erkannte Ludwig Boltzmann den Zusammenhang von Entropie und Ordnung. Danach ist die Entropie

$$S = k_B \ln W_{th},$$

wobei  $k_B$  (das Verhältnis von Joul/°K) mit dem Logarithmus der thermodynamischen Wahrscheinlichkeit (dass sich bestimmte Moleküle an bestimmten Orten aufhalten) multipliziert wird. So betrachtet wurde Boltzmann klar, dass die Entropie die Hinwendung von einem etwas mehr geordneten zu einem etwas weniger geordneten thermodynamischen Zustand ist, oder genauer gesagt, der Übergang von ungleich verteilten Molekülen zu einer zunehmenden Gleichverteilung.

Da sich die unüberschaubare Zahl an Mikrozuständen in einem Gas kaum beschreiben lassen, hat Boltzmann die makroskopischen Variablen, als das was man Komplexionen nennt, aufgefasst. In seiner Eta-Funktion (H-Funktion) bzw. „Logarithmusfunktion“

$$H = \int \int \int F \log F \Delta u \Delta v \Delta w$$

erstreckt sich die Integration über alle möglichen Werte von  $u, v, w$ , von  $-\infty$  bis  $+\infty$ . „H ist also eine reine Zahl, gänzlich unabhängig von  $u, v, w$ , nur abhängig von der analytischen Form von F. Da F im Gleichgewichtszustand sich nicht mehr ändern soll, so können wir die Bedingung für den Gleichgewichtszustand auch so ausdrücken:  $dH/dt = 0$ .“<sup>14</sup> Das ist die Bedingung, die zum Maxwell'schen Verteilungsgesetz führte. Für jeden, vom Gleichgewicht abweichenden Zustand gilt die Ungleichung  $dH/dt < 0$ . Diese beiden Beziehungen zusammen, die Gleichung bzw. Ungleichung, werden als das Eta Theorem (H) von Boltzmann, in seinem einfachsten Fall, bezeichnet. „Die Größe H zeigt also das nämliche Verhalten, wie die negative Entropie, H muss also mit der Größe  $-S$  in engem Zusammenhang stehen.“

<sup>11</sup> Umstätter, H.: Strukturmechanik. Ein Beitrag zur Physik der Kolloide. S.166. Verl. Th. Steinkopff, Dresden (1948)

<sup>12</sup> Dies zeigten auch Beobachtungen an Pflanzenzellen: Umstätter, W.: Über die Differenzierung von Zellverbänden aus *Daucus carota* L. auf synthetischen Nährmedien. Diss. FU Berlin (1978). Dass Zellen Oszillatoren („cellular oscillators“) mit einem sehr breiten Frequenzspektrum sind, dürfte außer Frage stehen.

<sup>13</sup> Clausius, R.J.E.: „Die Energie des Universums ist konstant – die Entropie des Universums tendiert gegen ein Maximum“. Zitiert nach Macrone, M.: Heureka S.162; Marix Verlag, Wiesbaden (2004).

<sup>14</sup> Schäfer, C.: Einführung in die theoretische Physik. Bd. II S.453 De Gruyter, Berlin (1944)

Da  $H$  nun offenbar rein mechanisch definiert ist, so hätten wir damit eine mechanische Deutung des Entropiebegriffs und des Satzes vom Wachstum der Entropie gewonnen. Ein gewaltiges Resultat.“, wie Schäfer, C. lapidar feststellt.<sup>15</sup>

Hinsichtlich der thermodynamischen Wahrscheinlichkeit hat Boltzmann somit gezeigt, dass die Größe  $H$  mit der Wahrscheinlichkeit des thermodynamischen Zustandes zusammenhängt, wobei man zwischen dem Mikro- und dem Makrozustand unterscheiden muss. Da eine Vielzahl von verschiedenen Mikrozuständen, die durchaus gleich wahrscheinlich sind, zu bestimmten Makrozuständen führen können, hat er eine eigene, die „Boltzmann Statistik“, entwickelt, die zu dem Ergebnis gelangt, dass die thermodynamische Wahrscheinlichkeit eines Makrozustandes (hier  $W_{th}$ ), der Anzahl der ihn realisierenden Komplexionen gleicht. Das Ergebnis ist

$$S = k_B \ln W_{th} + \text{const.}$$

Wobei dies allerdings die Schreibweise ist, die Planck dafür einführte.

Einstein hatte an dieser Betrachtung Zweifel. So schrieb er 1909: „Weder Herr Boltzmann noch Herr Planck haben eine Definition von  $W$  gegeben. Sie setzen rein formal  $W = \text{Anzahl der Komplexionen des betrachteten Zustandes}$ “,<sup>16</sup> und ein Jahr später: „Gewöhnlich wird  $W$  gleichgesetzt der Anzahl der möglichen verschiedenen Arten (Komplexionen), in welchen der ins Auge gefasste, durch die beobachtbaren Parameter eines Systems im Sinne einer Molekulartheorie unvollständig definierte Zustand realisiert gedacht werden kann. Um  $W$  berechnen zu können, braucht man eine vollständige Theorie (etwa eine vollständige molekular-mechanische Theorie) des ins Auge gefassten Systems. Deshalb erscheint es fraglich, ob bei dieser Art der Auffassung dem Boltzmannschen Prinzip allein, d.h. ohne eine vollständige molekular-mechanische oder sonstige die Elementarvorgänge vollständig darstellende Theorie (Elementartheorie) irgend ein Sinn zukommt. Die Gleichung  $S = (R/N) \lg W + \text{konst.}$  erscheint ohne Beigabe einer Elementartheorie oder – wie man es auch wohl ausdrücken kann – vom phänomenologischen Standpunkt aus betrachtet inhaltslos.“<sup>17</sup>

Diese Kritik ist recht harsch und macht deutlich, dass Einstein die wichtige Erkenntnis, dass Entropie weniger ein physikalisches als vielmehr ein strukturelles Problem ist, möglicherweise ahnte, aber in ihrer fundamentalen Bedeutung 1910 noch nicht erkennen konnte. Dies wurde erst in den Folgenden Jahren deutlich, als das H-Theorem Boltzmanns und Plancks, durch die Überlegungen Fishers, Hartleys, Kolmogorovs, Nyquists, von Neumanns, Wieners, Shannons und anderer, von der Informationstheorie her eine völlig neue Bedeutung gewann. Die Bezeichnung Informationstheorie setzte sich dabei gegen die „mathematical theory of communication“ durch, weil sich die Information als echtes Pendant des Eta-Theorems und der Entropie erwies, und die Information, neben der Redundanz und dem Rauschen als das Wesentliche in einer Nachricht angesehen wurde.

**Wenn man berücksichtigt, dass im Rahmen der Planckeinheiten auch die Boltzmann-Konstante  $k_B = 1$  ist, und damit  $k$  in der Gleichung  $-H = S = k_B \ln W_{th}$ , als Verhältnis  $\text{Joul}/^\circ\text{K}$ , entfällt, weil Energie- und Temperaturmessung nur vom Menschen unterschiedlich registrierte Energieformen sind, so wird das Verhältnis maximaler Wahr-**

---

<sup>15</sup> ibid S.458. (Es sei an dieser Stelle darauf aufmerksam gemacht, dass diese Äußerung von 1944 stammt, also bevor Shannon seine Theorie nach dem Kriege publizieren durfte.)

<sup>16</sup> Einstein, A.: Zum gegenwärtigen Stand des Strahlungsproblems. Physikalische Zeitschrift 10 185-193 (1909)

<sup>17</sup> Einstein, A.: Theorie der Opaleszenz von homogenen Flüssigkeiten und Flüssigkeitsgemischen in der Nähe des kritischen Zustandes. Annalen der Physik (Leipzig) 33 1275-1298 (1910)

## **scheinlichkeit in einem geschlossenen System, zur real eintretenden Wahrscheinlichkeit, zum alleinigen Maßstab des mittleren Informationsgehaltes.**

Die Messung von Struktur bzw. Ordnung erweist sich damit als reine Frage der Wahrscheinlichkeit. Sie hat weder mit Energie noch mit Materie zu tun, wie N. Wiener richtig bemerkte, auch wenn Szilard, Brillouin u.a. im Zusammenhang mit dem Maxwellschen Dämon versucht haben, dem bit eine Energiemenge zuzurechnen. Diese Versuche wirken, wenn auch mathematisch scheinbar fundiert, gezwungen, um den zweiten Hauptsatz der Thermodynamik gegen den Hinweis Maxwells zu verteidigen. Es ist aber gerade das entscheidende Merkmal der Wahrscheinlichkeit, dass sie nicht streng gesetzmäßig sondern nur statistisch gilt.

## **Der Maxwellsche Dämon ist kein Widerspruch zum zweiten Hauptsatz der Thermodynamik, er ist eine wichtige Verdeutlichung des Wahrscheinlichkeitscharakters von Entropie und Information.**

Nachdem Robert Mayer 1848 festgestellt hatte, dass auch Wärme eine Energieform ist, kennen wir neben ihr, Bindungsenergie, chemische Energie, Deformationsenergie, elektrische Energie, innere Energie, Kernenergie, kinetische Energie, magnetische Energie, mechanische Energie, Photonenenergie, potentielle Energie, Rotationsenergie, Schallenergie, Schmelzenergie, Schwingungsenergie, Strahlungsenergie, Translationsenergie, Verdampfungsenergie, etc. Sie alle sind nach dem Energieerhaltungssatz ineinander Umwandelbar, haben aber im allgemeinen die Tendenz der räumlichen Energieausbreitung. Dass sich mehrere schwache Energieformen zu einer starken Energieform vereinigen ist dagegen unwahrscheinlicher. Es gelingt eben nur in Ausnahmefällen oder bei gezielter Beeinflussung.

Heraklit (der Dunkle) hat mit seinem "Πάντα ρεῖ, οὐδὲν μένει"<sup>18</sup> auf die Vergänglichkeit alles Seienden hingewiesen. Dass alles im Sinne der Fließkunde wirklich fließt, also nicht nur Wasser oder Öl, sondern auch Glas, Eis und Granit, kalte Luft, wachsende Lebewesen, und sogar das Licht bzw. alle elektromagnetischen Wellen, hat sich erst aus der Rheologie ergeben. Sie alle haben innere Reibung, also Viskosität, zeigen Entropie und damit auch Struktur und Information. Sadi N.L. Carnot (1796-1832) betrachtete auch den Wärmefluss von Heiß nach Kalt sozusagen als Flüssigkeit und Clausius (1822-1888) assoziierte ihn mit der Entropiezunahme. Der 2. Hauptsatz der Wärmelehre wurde 1850 so von Carnot und Clausius entdeckt und formuliert. Erst die Thermodynamik machte deutlich, dass Temperatur ein Ergebnis der Molekülkinetik ist und keine Flüssigkeit mit dem Namen „Wärme“. Die Erkenntnis der Entropie war damit eine wichtige Weiterentwicklung des Πάντα ρεῖ, weil sie zusätzlich etwas darüber aussagte, dass alles in eine bestimmte Richtung fließt, in die des Wärmetodes. In Worten wie Wärmefluss, Energiefluss oder Wärmestrom erkennt man noch deutlich die Vorstellungen aus Carnotscher Zeit, obwohl uns heutige kinetische Gastheorie weitaus realistischere Vorstellungen erlaubt. Trotzdem widerspricht auch die Transportgleichung der Wärme durch einen Stab beispielsweise nicht der Vorstellung, dass es sich dabei um einen Fließvorgang handelt. Die Energie, so sagen wir, fließt vom wärmeren zum kälteren Ende des Stabes, obwohl wir wissen, dass es eine Impulsübertragung und eine Wärmestrahlung ist.

Dass über diese Aussage hinaus, dass alles in eine Richtung fließt, auch noch die Aussage gilt, alles schwingt, haben die alten Griechen in den Sphärenklängen und den Untersuchungen am Monochord auch schon vermutet, ebenso Kepler in seinen himmlischen Harmonien, aber eine wirkliche Vorstellung dessen, haben wir erst durch das Plancksche Wirkungsquantum gewonnen, und darum kann diese Welt in bit zerlegt werden, wie bereits H. Nyquist 1924

---

<sup>18</sup> Alles fließt, nichts bleibt.

gezeigt hat. Das hat somit sehr viel mit der Informationswissenschaft, und noch mehr mit der Redundanzwissenschaft zu tun.

Eigentlich wäre es daher im Rahmen der „Mathematischen Theorie der Kommunikation“ immer wichtiger, neben der Informationstheorie auch eine Redundanztheorie zu entwickeln. Dieser Begriff ist allerdings schon aus der Zeit vor der Informationstheorie von Shannon und Weaver durch F.R. Ramsey (1927), G. Frege u.a. belegt, die eine „Redundanztheorie der Wahrheit“ zu begründen suchten. Daneben wurde auch die „Redundanztheorie des Lernens“ von F. von Cube und H. Frank diskutiert, weil systematisches Lernen natürlich nichts anderes ist, als das Auffinden von Redundanzen. Lebewesen erreichen dies durch die Didaktische Reduktion beim biologischen lernen.<sup>19</sup> Um so wichtiger wäre die Begründung einer grundlegenden „Redundanztheorie“, in Korrespondenz zur Informationstheorie. Deren eigentlicher Gegenstand ist das Wissen, denn der mittlere Informationsgehalt eines unmöglichen Ereignisses ist ebenso 0 bit, wie der eines sicheren Ereignisses. Beide basieren auf dem Wissen, das eine Information nicht eintreten kann bzw. sicher eintreffen wird. Solche Vorhersagen können nur aus vorherigen Redundanzen abgeleitet werden, woraus sich auch schon wahrheitstheoretisch ergibt, dass es kein absolut sicher es Wissen gibt. Unser Wissen ist immer nur so zuverlässig, wie hoch wir seine Redundanz veranschlagen könne. Bezogen auf Wellenfunktionen bedeutet dies, eine Zunahme mit der Frequenz.

Weil also nicht nur alles fließt, sondern auch alles schwingt, wird verständlich, warum der dritte Hauptsatz der Thermodynamik vom Maxwellschen Dämon durchaus in bestimmten Grenzen durchbrochen werden kann. Neben der Information gibt es immer auch Redundanz und sie ist das eigentliche Element der Struktur bzw. aller Wellenbewegungen. Insofern ist es kein Zufall, dass im Wort Redundanz das lat. *unda* = Welle, Woge enthalten ist.

Merkwürdigerweise hat sich zwar die Informationstheorie aus der Thermodynamik ergeben, Begriffe wie Redundanz und Rauschen haben aber nicht im gleichen Maße auf die Physik zurückgewirkt. So wird im allgemeinen kaum registriert, dass Schwingungen grundsätzlich als Redundanz aufzufassen sind. Je mehr Schwingungen wir pro Zeit oder Raum haben, desto mehr Struktur ist in einem geschlossenen System, und desto höher ist, entsprechend dem Planckschen Wirkungsquantum (Energie mal Zeit = Konstant) die darin enthaltene Energie. Wenn Schwingungen somit einer Redundanz entsprechen, so vermindern sie den Informationsgehalt, und damit die Entropie. Dagegen kann das reine Rauschen dem Wärmetod zugeordnet werden.

Die Feststellung, dass man alle Energieformen völlig in Wärmeenergie umwandeln kann, aber nicht umgekehrt, beruht ja darauf, dass Wärme eine Gauß- bzw. Poisson-verteilte kinetische Energie darstellt, von der immer ein gewisser Rest übrig bleibt. Dem widerspricht die Wirkung eines Maxwellschen Dämons insofern nicht, als auch dieser immer nur Moleküle mit signifikant höherer kinetischer Energie nutzen kann.

Es ist also sehr fragwürdig, ob die wiederholten Bemühungen den Maxwellschen Dämon *ad absurdum* zu führen, wirklich sinnvoll sind. Es scheint eher wahrscheinlich, dass der zweite Hauptsatz der Thermodynamik zeitweilig zu stark vereinfacht gesehen wird, wenn man berücksichtigt, dass die Omnipräsenz des Planckschen Wirkungsquantums ein Ausdruck grundsätzlich wellenförmigen Energieaustausches ist.

---

<sup>19</sup> <http://www.ib.hu-berlin.de/~wumsta/lectd.html>

Nach den Erkenntnissen der Strukturmechanik<sup>20</sup> muss das Anwachsen der Entropie daher nicht unbedingt stetig sein. Es können innerhalb der Energieumwandlungen durchaus auch Schwankungen auftreten, "deren Rhythmus mit irgendeiner Eigenfrequenz eines anderen schwankungsfähigen Systems übereinstimmt, so besteht immer die Möglichkeit, daß sich Energieniveaus aufschaukeln bis zu einem Maximum, das durch das Dämpfungsdekrement dieses Systems bedingt ist, um später gegebenenfalls wieder abzuklingen und so fort. Was man beobachtet, ist dann nicht ein einziger stetiger Ausgleichsvorgang, sondern eine bunte Mannigfaltigkeit von Schwankungserscheinungen, wie sie die Natur, insbesondere in der belebten Welt, uns tatsächlich darbietet.

Jedenfalls kann jeder Ausgleichsvorgang beim Vorhandensein einer negativen Charakteristik prinzipiell immer in einen Schwingungsvorgang umklappen. Wenn aber irreversible Vorgänge prinzipiell auch reversibel verlaufen können, so muß die Entropie des Weltalls nicht unentwegt wachsen.“

Wenn man es genau betrachtet, sind alle strukturellen Ungleichverteilungen in unserem Universum nichts anderes, als die Ergebnisse „Maxwellscher Dämonen“, die bei bestimmten Resonanzen bestimmte Energien einfangen und so lange gefangen halten, bis sie von neuen Energieanstößen zu einer weiteren Entropiezunahme gezwungen werden. Wiener sprach in diesem Zusammenhang, und speziell bezüglich lebender Systeme, von "metastable Maxwell Demons"<sup>21</sup>

**Im zweiten Hauptsatz der Thermodynamik gilt, die Entropie wächst von Zeit  $t$  zu Zeit  $t+\Delta t$ . Dieses  $\Delta t$  ist aber keinesfalls infinitesimal. Es hängt vielmehr von der Wahrscheinlichkeitsverteilung im geschlossenen System ab, und von den resonanten Redundanzen. Bei den Atomen ist es durch  $\alpha$  gekennzeichnet.**

Es scheint auch keinesfalls ausgeschlossen zu sein, dass Membrankomplexe in biologischen Zellen in der Lage sind, Moleküle mit ausreichend hoher kinetischer Energie, von außen nach innen zu transportieren, so dass dabei ein zeitlich begrenzter Energiegewinn erzielbar ist. Die kinetische Energie der transportierten Moleküle muss nur so viel höher sein, dass es sich lohnt, und je geringer dieser Anteil in der Maxwell-Boltzmannschen Energieverteilung ist, um so langsamer schreitet der Vorgang fort. Dass ein Maxwellscher Dämon für die Auswahl dieser Moleküle genau so viel Energie für den Informationsbedarf verbraucht, wie er thermodynamisch gewinnen kann, erweckt im höchsten Maße Zweifel an diesen anthropomorphen Vorstellungen. Es scheint ohnehin so zu sein, dass der Maxwellsche Dämon (1871) in seiner „Intelligenz“ oft in die Nähe des Laplaceschen Dämons gerückt wurde, was sicher nicht zuletzt der Bezeichnung W. Thomsons (Lord Kelvin) von 1874 geschuldet ist, denn Maxwell hatte in diesem Zusammenhang noch nicht von einem Dämon gesprochen.

Schon ein einfacher Membrankomplex müsste nichts anderes leisten, als eine selektive Reaktion auf kinetische Energien von einem bestimmten Schwellenwert ab. Dass ein solcher Vorgang, ähnlich wie bei einer Osmose, nur bis zu einem bestimmten Innendruck fortschreiten kann, ist selbstverständlich. Er würde damit den zweiten Hauptsatz der Thermodynamik insgesamt nicht infrage stellen.

Hinsichtlich der Betrachtungen zur Informationstheorie von Wiener, Schrödinger, Shannon und von Neumann war es nicht verwunderlich, dass man etwa in der Mitte des letzten Jahrhunderts erkannte, dass Information, und Entropie entsprechend Boltzmanns H-Theorem, im

---

<sup>20</sup> Umstätter, H.: Strukturmechanik. Ein Beitrag zur Physik der Kolloide. S. 203-204. Verl. Th. Steinkopff, Dresden (1948)

<sup>21</sup> Wiener, N.: Cybernetics. Im Kapitel „Information, Language and Society“ S. 58 MIT Press (1948)

Prinzip das Selbe sind. Darum wählte Shannon für den mittleren Informationsgehalt auch das griechische Zeichen  $H$ . Auch Norbert Wiener war bei Überlegungen über eine kontinuierliche Filtertheorie zur gleichen Zeit zu einer ganz ähnlichen Definition der Informationseinheit gelangt, wie er selbst schreibt.<sup>22</sup> Allerdings kritisiert er an der selben Stelle das Dualsystem süffisant mit den Worten: Shannon liebt ... das Diskontinuum und scheut das Kontinuum.“

Die Wahl des *logarithmus dualis* und des  $\Sigma$ -Zeichens bei Shannon trägt aber der wichtigen Tatsache Rechnung, dass die Informationstheorie, ebenso wie das H-Theorem, nur für diskrete Elemente, Moleküle oder Zeichen gilt, und nicht für infinitesimal unterteilbare Erscheinungen. Dazu passt auch die humorvolle Empfehlung J. von Neumanns, dass Shannon für seine Theorie der Zeichen den Begriff Entropie wählen sollte. So schrieb Shannon: “My greatest concern was what to call it. I thought of calling it 'information', but the word was overly used, so I decided to call it 'uncertainty'. When I discussed it with John von Neumann, he had a better idea. Von Neumann told me, you should call it entropy, for two reasons. In the first place your uncertainty function has been used in statistical mechanics under that name, so it already has a name. In the second place, and more important, nobody knows what entropy really is, so in a debate you will always have the advantage.”<sup>23</sup>

Dieser letzte Satz ist oft missverstanden worden, denn die Begriffswahl war wohlbegründet und selbstverständlich nicht, wie manche vermuten, als geeignete Ausrede gedacht.

Das sich daraus ergebende Maß für den Strukturanteil eines Systems zeigt sich in der Bedeutung der Redundanz. „Ordnung ist ihrem Wesen nach ein Mangel an Zufälligkeit“ schreibt N. Wiener sehr treffend.<sup>24</sup> Je mehr ein System von der rein zufälligen Verteilung seiner Elemente abweicht, um so geringer wird seine Entropie und um so höher seine Redundanz. Jede Form von Wiederholung, von Disproportionierung oder von Systematik schlägt sich als Redundanz nieder und verringert so den Informationsgehalt einer Nachricht. Ein durchaus gewöhnungsbedürftiges, aber sehr logisches Maß für Information.

## ***Das Maß der Information***

Bei der Informationstheorie konnte man im Gegensatz zur thermodynamischen Entropie von einem geschlossenen System in der weise ausgehen, dass man genau festlegt, wie viele Zeichen in die Betrachtung einbezogen werden. Im Sinne der Semiotik können wir hier den Begriff Zeichen für alles verwenden, was wir bezeichnen möchten, Atome, Moleküle, Molekülzustände, Dinge, Gegenstände, Elemente, Mengen oder Ideen, sie müssen nur eindeutig codierbar sein. Da die Informationstheorie nichts über die Qualität und die Semantik des Bezeichneten aussagt, sondern lediglich über die Wahrscheinlichkeit seines Auftretens, ist sie von allgemeiner Bedeutung. Erst in der Semiotik findet die Verknüpfung von Zeichen und Bezeichnetem statt. Dort wiederholt sich im Prinzip die Modellvorstellung von Sender und Empfänger, die durch einen Übertragungskanal voneinander getrennt sind, auf höherer Ebene. Alle Zeichen sind diskrete Elemente, so dass an die Stelle des Integrals beim Boltzmannschen H-Theorem, bei Shannon das Summenzeichen tritt.

$$H_i = \sum p_i \lg 1/p_i \quad \text{bzw.} \quad -H = \sum p_i \lg p_i$$

Dabei ist  $p_i$  die Wahrscheinlichkeit für jedes einzelne Zeichen, und  $\lg$  der *logarithmus dualis*, an dessen Stelle zwar jeder andere Logarithmus auch treten könnte, sich aber dann das Maß bit ( $\lg$ ), in nats ( $\ln$ ) oder Hartelys ( $\lg_{10}$ ) verschiebt. Wie man an den beiden Gleichungen leicht

<sup>22</sup> Wiener, N.: Mathematik, mein Leben. S.228 Econ-Verlag, Düsseldorf (1962)

<sup>23</sup> Tribus, M. and McIrvine, E.C.: Energy and Information. Scientific American 225 S.179-188 (Sept. 1971)

<sup>24</sup> Wiener, N.: Mensch und Maschine. S.32 Athenäum Verl. Frankfurt (1964)



erkennt, sind ihre Aussagen völlig identisch. Das Vorzeichen verschiebt sich nur, weil der Logarithmus von  $1/p_i$  und  $p_i/1$  den selben Wert mit verändertem Vorzeichen erbringt.

Schrödinger hat daher in der Gleichung Boltzmanns bzw. Plancks  $S = k_B \log W_{th}$  für  $W_{th}$  die Größe  $D$  als Maß für die atomistische Unordnung (Disorder) eingeführt, wobei nach seiner Einschätzung die Inverse,  $1/D$ , entsprechend als Maß für die Ordnung angesehen werden kann. Er kommt so zu der umgeformten Boltzmannschen Gleichung

$$-S = k_B \log (1/D),$$

die ihn zu der Bezeichnung Negentropie, für die Entropie mit negativem Vorzeichen, führte. Das hat Stonier (1989)<sup>25</sup> dazu verleitet  $I = c 1/D$  zu setzen, wobei  $c$  eine Konstante sei, die  $k$  und die logarithmische Umrechnung beinhaltet. Er folgerte daraus weiter:

$$S = k_B \log (c/I) \text{ und} \\ I = c e^{-S/k_B}.$$

Dies widerspricht aber der Feststellung von Shannon, dass Information  $I = -H = S = \ln W_{th}$  ist. Wobei wir hier im Moment den konstanten logarithmischen Umrechnungsfaktor vernachlässigen können.

Dass diese Vorstellungen Stoniers höchst fragwürdig sind,<sup>26</sup> erkennt man auch daran, dass er 1990<sup>27</sup> "Infonen" postulierte, vergleichbar den Phononen, Fermionen oder Bosonen. Danach sollte „Information“ Partikelcharakter haben, ohne Masse und Energie.

Daneben gab und gibt es eine ganze Reihe weiterer Versuche die Messung von Information besser oder anders zu begründen, bzw. sie zu verallgemeinern, wie z.B. von Burg, Daroczy, Fisher, Kapur, Kolmogorov, Kullback, Prigogine, Rényi, Tsallis u.a.<sup>28</sup> Es bleibt aber das Grundphänomen der Information, dass sie durch das rein wahrscheinlichkeitstheoretische Verhältnis zur Redundanz messbar ist. Dieses Maß hat sich in der Bibliothekswissenschaft, der Genetik, der Informatik, der Kryptographie, der Nachrichtentechnik und in vielen anderen Bereichen bewährt und ist aus unserer modernen Wissenschaft und Technik nicht mehr wegzudenken.

**Dass die Informationstheorie die Semiotik eindeutig ausschließt, ist insofern ein weiterer Vorzug dieser Theorie, weil erst damit erkennbar wird, wo der Unterschied liegt.<sup>29</sup>**

Die Entscheidung Shannons, den Logarithmus zur Basis 2 zu verwenden war naheliegend, wenn man beispielsweise an die Überlegungen von Leibniz über das dyadische System denkt, oder auch daran, dass sich bestimmte Informationen aus einem Satz von Zeichen am grundlegendsten durch einen binären Fragenbaum ermitteln lassen. Als ein schönes Beispiel sei an dieser Stelle auch das Galtonbrett am Rande erwähnt, bei dem aus einem zufälligen dualen Entscheidungsbaum bekanntlich die Entstehung der Gaußverteilung hervorgeht. Als anthropozentrisch bzw. anthropomorph kann man ein solches verallgemeinertes Prinzip der Entropie, im Gegensatz zu Wigner bzw. Jaynes,<sup>30</sup> kaum bezeichnen, weil es eine Skalierung zeigt,

---

<sup>25</sup> Stonier, T.: Towards a general theory of information II: information and entropy. Aslib. Proc. 41(2) S.41-55 (1989)

<sup>26</sup> Umstätter, W.: Die Skalierung von Information, Wissen und Literatur. Nachr. f. Dok. 43 (4) S.227-242 (1992) <http://www.ib.hu-berlin.de/~wumsta/pub67.html>

<sup>27</sup> Stonier, T.: Information and the Internal Structure of the Universe. An Exploration into Information Physics Springer Verl., London (1990)

<sup>28</sup> Arndt, C.: Information Measures. Springer Verl., Heidelberg (2001)

<sup>29</sup> Umstätter, W. und Wagner-Döbler, R.: Einführung in die Katalogkunde. S.61ff Hiersemann Verl., Stuttgart (2005)

<sup>30</sup> „Entropy is an anthropomorphic concept“ Jaynes, E.T.: Gibbs vs. Boltzmann entropies. Am. J. Phys. 33, S.391-398 (1965)

die im Gegensatz zu den linearen Gradationen m, kg, s und °K, exponentiell ansteigt, und menschlichem Denken zunächst eher fremd ist. So entsprechen bekanntlich 10 bit nicht  $10 \times 1$ , sondern  $2^{10} = 1.024$  Elementen. Es ist auch nicht strukturmechanisch oder physikalisch, im eigentlichen Sinne, sondern eher strukturtheoretisch im geisteswissenschaftlichen Sinne.

Wie fremd uns eine solche exponentielle Skalierung ist, erkennt man schon daran, dass man beim Umgang mit Speicherkapazitäten in der Informatik scheinbar völlig unlogisch, mal exponentiell und dann wieder linear weiter rechnet. Der Grund ist zwar einfach, und es ist auch richtig, dass wir beispielsweise die Kapazität einer Bibliothek mit 1 Mio. Bücher, á 300 Seiten, 3.000 Buchstaben pro Seite und 8 bit pro Zeichen überschlagsmäßig auf knapp  $10^{13}$  bit linear hochrechnen, weil wir bei einer Digitalisierung der Texte im ASCII-Format etwa diese Speicherkapazität brauchen würden. Aber es ist prinzipiell eine unerlaubte Vereinfachung, dies als den Informationsgehalt, geschweige den Wissensgehalt in dieser Bibliothek anzusehen. Abgesehen davon, dass damit nur die Texte berücksichtigt sind, bleibt die Menge an Redundanz und Rauschen völlig unerwähnt, und sie ist der Grund, dass wir im Bereich eines Bytes die ersten 8 bit exponentiell berechnen, um dann, meist ohne jede Erklärung in eine lineare Hochrechnung überzugehen.

Diese Fremdheit empfinden wir allerdings nur im bewussten Bereich. In unserem Unbewussten kalkulieren wir öfter logarithmisch als wir denken, z.B. in der Empfindungsstärke des Weber-Fechnerschen Gesetzes.

Die Library of Congress beinhaltet eindeutig weit weniger als  $10^{13}$  bit Information und noch weit weniger bit an begründeter Information, die als Wissen komprimiert ist.

**Die Messung von Information in bit ist die Konsequenz wissenschaftlicher Erkenntnisse des zwanzigsten Jahrhunderts, und nicht wie beim mks°K-System eine beliebige Wahl von Skalierungen aus historischer Zeit.**

Darin liegt ohne Zweifel ein Teil der Schwierigkeiten für diese Maßeinheit und für die scheinbaren Paradoxa der Informationswissenschaft. Es sei hier nur daran erinnert, dass ein rein weißer oder schwarzer Bildschirm maximale Redundanz beherbergt, während er mit rein zufälliger Verteilung schwarzer und weißer Pixel, der Theorie gemäß, die maximale Entropie bzw. den maximalen Informationsgehalt erreicht. Auf den ersten Blick erscheint eine solche Theorie absurd, sie ist aber durchaus logisch und an jedem Computer leicht nachvollziehbar, wenn man sich eine Bilderserie vor Augen führt, bei der ein Schwarzweißfoto immer mehr Details erhält, bis fast jedes einzelne Pixel eine eigene Information trägt.



Auch die Feststellung, dass die Entropie bei den Wahrscheinlichkeiten 0 und 1 jeweils 0 ist, und bei der Wahrscheinlichkeit 0,5 ihr Maximum durchläuft, ist sicher kein besonders an-

schauliches Maßsystem, sondern die Konsequenz statistischer Überlegungen. Wir müssen dies hinnehmen, so wie wir die Zahl  $\pi$ , die Feinstrukturkonstante  $\alpha$  oder auch die Eulersche Zahl  $e$  hinnehmen müssen.

Je nachdem auf welcher Ebene das bit ansetzt, unterliegt sozusagen alles was kleiner ist der Unschärferelation. Diese Feststellung korrespondiert mit der Quantelung der Wirkung von Energie und Zeit in der Physik. Je höher die Bandbreite eines Frequenzspektrums ist, desto mehr bit können auf einem Übertragungskanal untergebracht werden. In der Physik könnten diese Werte mit wachsender Energie und wachsender Masse in theoretischen Bandbreiten von  $10^{60}$  liegen. Dagegen beschäftigt sich die herkömmliche Informationstheorie meist nur mit Größenordnungen die für ein menschliches Gehirn verkraftbar sind.

An die Stelle des sogenannten geschlossenen thermodynamischen Systems tritt damit in der Informationstheorie ein jeweils klar begrenzter Zeichensatz bzw. eine genau bestimmte Menge an Elementen, die durch den jeweiligen Binärbaum erschlossen sind. Es ist gleichgültig, ob wir in diesem geschlossenen System die Zahlen 0 – 9, Atome, Buchstaben, Lebewesen oder alle Worte einer Sprache betrachten, die Informationstheorie ist auf jedes codierbare System anwendbar.

Außerdem ist dieses geschlossene informationstheoretische Modell durch die Beziehung

Sender ----- Übertragungskanal ----- Empfänger

klar umrissen, wobei *per definitionem* Sender und Empfänger über den selben Zeichensatz verfügen müssen, anderenfalls können sie nicht miteinander kommunizieren. Ein einfacheres und grundlegendes Modell ist nicht denkbar. Hier wird aber Information und Interpretation oft verwechselt, warum schon Weaver in aller Deutlichkeit darauf hinwies, „information must not be confused with meaning“.<sup>31</sup> Die Bedeutung von Zeichen erfolgt erst in der Semantik durch den damit verbundenen Bezug eines Zeichens zu seinem Gegenstand, und in der Pragmatik, durch die Vernetzung (nicht ganz korrekt als semantische Netze bezeichnet) von Benennungen untereinander.

Ein Zeichensatz enthält die maximale mittlere Information, wenn alle Zeichen die gleiche Wahrscheinlichkeit haben ausgewählt zu werden. Wird dieses  $H_{\max}$  nicht ausgeschöpft, berechnet sich die Redundanz  $R$  nach:

$$R = \text{Error!}$$

Damit ist klar, was im Sinne der Informationstheorie unter Ordnung bzw. Struktur zu verstehen ist. Sobald eine Nachricht Zeichen enthält, die den Empfänger wiederholt erreichen, sind dies keine Informationen sondern Redundanzen.

**Ein besonders interessanter, aber bislang weitgehend unberücksichtigt gebliebener Fall, ist die *a priori* Redundanz, die uns als Wissen entgegen tritt, weil es sich einerseits um Informationen handelt, die wir bis dahin noch nicht erhalten haben, insofern für den Empfänger also eindeutig neu sind, andererseits aber aus den Strukturen bereits erhaltener Nachrichten ableitbare Nachrichten sind, die damit zu einer *a priori* Redundanz werden. Sobald wir eine Information richtig vorhersehen erscheint sie also nicht mehr als neu.**

---

<sup>31</sup> Shannon, C./ Weaver, W.: The Mathematical Theory of Communication. S.8 Univ. Ill. Press, Urbana (1949)

Solche Vorhersagen noch nicht erhaltener Information können aus bedingten Wahrscheinlichkeiten heraus ermittelt werden, durch neuronale Netze, mit Hilfe der Biogenetischen Evolutionsstrategie<sup>32</sup> oder auch konstruktivistisch auf der Ebene der Semiotik, bzw. durch Kausalanalysen auf der Wissensebene.

**Es ist ein wesentliches Merkmal des Wissens, dass wir große Teile bibliothekarischer Bestände auf ihre Richtigkeit prüfen können, in dem wir ihre Begründung hinterfragen.**

Wie stark Lebewesen ihr Wissen über diese Welt täglich einsetzen, wird deutlich, wenn man genauer analysiert, wie Menschen und Tiere sehen oder auch hören. Sie filtern dabei weitgehend alle Nachrichten aus ihrer Umwelt heraus, bis auf die, die sie gerade erwarten. Darum ist es in der Wissenschaft zeitweilig sogar schwierig, nicht nur die Ergebnisse zu finden die man finden möchte. Manche radikalen Konstruktivisten vertreten daher sogar die Ansicht, dass es in diesem Sinne gar keine Objektivität geben kann.<sup>33</sup> Wenn dem allerdings so wäre, gäbe es keine Wissenschaft, keine negativen Versuchsergebnisse, keine Disputationen und keine Paradigmenwechsel, denn der Wechsel von einer wissenschaftlichen Arbeitshypothese zu einer Theorie erfolgt immer erst, wenn sich unsere theoretischen Erwartungen auch in der Praxis verifizieren lassen. Wir haben zwar auch dann noch keine absolute Gewissheit, dass unsere Theorie wirkliches Wissen widerspiegelt, weil es für den Menschen kein absolutes Wissen geben kann, und weil die Informationstheorie auch nur eine Wahrscheinlichkeitstheorie ist. Aber diese begrenzte Objektivität reichte bisher zum überleben von Pflanzen, Tieren und Mensch über viele Jahrmillionen.

**Alle Lebewesen unterliegen unter diesem Aspekt einer einfachen Relation: Je weniger ein System über seine Umwelt weiß, desto mehr Nachkommen muss es erzeugen.**

Innerhalb der Biogenetischen Evolutionsstrategie gibt es somit zwei extreme Taktiken. Die der Bakterien, die wenig von ihrer Welt Wissen und dies mit Milliarden von Nachkommen ausgleichen, und der Mensch, der mit wenig mehr als zwei Nachkommen pro Elternpaar bereits in eine gefährliche Überpopulation gerät.

Risiko ist somit ebenfalls durch eine einfache Wahrscheinlichkeitsabschätzung definiert. Je mehr wir wissen, desto geringer ist unser Risiko, denn die Information eines sicheren Ereignisses ist ebenso  $H = 0$ , wie die eines völlig unmöglichen Ereignisses. Dabei sollte man Risiko nicht, wie das gemeinhin oft geschieht, mit Gefahr gleichsetzen.

**Risiko ist das geschätzte Verhältnis von zu erwartenden Vor- und Nachteilen, das wir bei einer beabsichtigten Handlung eingehen.**

Dabei gibt es eine interessante statistische Relation.

**Das Wissen über die zu erwartenden Vor- und Nachteile muss die Präzision ebenso wie die Zuverlässigkeit dieses Wissens auf ein einziges bit bringen. Ist in beabsichtigter Weise zu handeln, ja oder nein?**

---

<sup>32</sup> <http://www.ib.hu-berlin.de/~wumsta/infopub/pub54.html>  
<http://www.ib.hu-berlin.de/~wumsta/infopub/pub66.html>  
<http://www.ib.hu-berlin.de/~wumsta/infopub/umf002.html>  
<http://www.ib.hu-berlin.de/%7Ewumsta/infopub/pub2001f/biuz04.pdf>

<sup>33</sup> von Glasersfeld, E.: Abschied von der Objektivität. In: Das Auge des Betrachters. Beiträge zum Konstruktivismus. Festschrift für Heinz von Foerster, hrsg. von P. Watzlawick und P. Krieg, München (1991)

Dieses Risiko zu tragen sind Menschen oft auch dann gezwungen, wenn sie in der Kürze der Zeit, oder grundsätzlich, kein entsprechendes Wissen haben können. In diesen Fällen wechseln sie zwangsläufig zu Glaubensentscheidungen, gleichgültig ob diese theistisch oder atheistisch sind. Meist sind sie weitgehend unbewusst, weil wir die meisten Entscheidungen, wie die Tiere auch, aus evolutionär ererbtem Wissen und nicht aus bewusstem Wissen ableiten.

Die in diesem Zusammenhang auftauchende Frage nach der Freiheit menschlichen Willens, ist aber an unser Bewusstsein gebunden. Bewusstsein bedeutet, Verantwortung für die Konsequenzen unseres Handelns zu übernehmen. Woran man ebenfalls erkennt, dass Wissen, bezogen auf unser Handeln, voraussetzt, dass wir die Konsequenzen dieses Handelns voraussehen. Und Schiller hat aus den Erkenntnissen seiner Dissertation zum Thema: "Versuch über den Zusammenhang der thierischen Natur des Menschen mit seiner geistigen" (1780) zusammenfassend bekanntlich gedichtet: Das ist's ja was den Menschen zieret, und dazu ward ihm der Verstand, daß er im innern Herzen spüret, was er erschafft mit seiner Hand."<sup>34</sup>

Die Frage, wie wahrscheinlich ein bestimmtes Ereignis im Rahmen des vorgegebenen Ereignisraumes ist, kann, wie Boltzmann gezeigt hat, auf die Aufenthaltswahrscheinlichkeit von Molekülen ebenso, wie auf die von Shannon verallgemeinerte Auswahl von Zeichen angewendet werden. Im ersten Fall sprechen wir von Entropie im Rahmen physikalischer Ereignisse, im zweiten von Information.

**Insofern hat Shannon ein Maßsystem der Thermodynamik zu einem weitaus grundlegenden Messinstrument für die gesamten Wissenschaften, also auch der Geisteswissenschaften, umgestaltet, und indirekt auch die Basis für die Wissensmessung geschaffen.<sup>35</sup>**

### *Das Maß für Wissen*

Geht man bei der Definition von Wissen auf die griechische Philosophie und die Aufklärung zurück, so findet sich wiederholt die Forderung, dass Wissen begründet sein sollte.<sup>36</sup> Im Gegensatz zur Information, von der wir zunächst nicht sagen können, ob sie richtig oder falsch, irreführend oder zuverlässig ist, sollte Wissen, von dem der es vertritt, beispielsweise auch in Prüfungen, evident gemacht werden können.

**Insofern können wir auf der Basis der Informationstheorie definatorisch festhalten: Wissen ist begründete Information.<sup>37</sup>**

Das bit als Maß für das Verhältnis von Information, Rauschen, *a posteriori* Redundanz, *a priori* Redundanz bzw. Wissen, hat nichts mit dem Wert, der Bewertung, der Bedeutung, dem Nutzen oder der Richtigkeit einer Nachricht zu tun, womit Information leicht und oft verwechselt wird. Es ist ein reines Maß für den Anteil an Strukturelementen, im Sinne von Redundanz. Gleichgültig, ob wir ein Blatt Papier mit Linien oder Karos, ein Pflanzenblatt, ein

---

<sup>34</sup> Umstätter, W.: Auf dem Weg zur Informationskultur. Festschrift für Norbert Henrichs zum 65. Geburtstag. S. 31-42 Hrsg.: Schröder, T.A. Reihe: Schriften der Universitäts- und Landesbibliothek Düsseldorf, Band 32. (2000) <http://www.ib.hu-berlin.de/~wumsta/pub115.html>

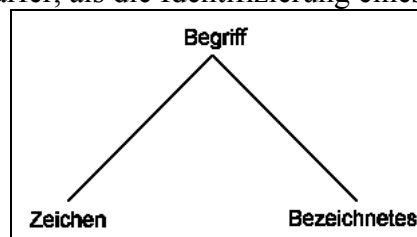
<sup>35</sup> Umstätter, W.: [Die Messung von Wissen](#). Nachr. f. Dok. 49 (4) S.221-224 (1998)

<sup>36</sup> Wissen ist nach der Brockhaus-Enzyklopädie der "Inbegriff von rationalen Kenntnissen, das Innwerden einer spezifischen Gewißheit und die begründete und begründbare Erkenntnis." F. Bacon: "Etwas wirklich zu wissen heißt, seine Gründe zu kennen." bzw. "Wahres Wissen ist Wissen, das auf die Ursachen zurückgeht."

<sup>37</sup> In englischer Übersetzung sollte es dementsprechend heißen: *Knowledge is evidence based information.*

Zebra, einen Kristall, ein Atom oder komplexe soziale Strukturen betrachten, informationstheoretisch sind ihre Strukturen lediglich Abweichungen von einer reinen Gleich- bzw. Zufallsverteilung.

Dass wir auf dieser Grundlauge der Informationstheorie in die Lage versetzt werden, sehr viel genauer als bisher, Semiotik zu definieren, ist verständlich, wenn man bedenkt, dass C.W. Morris seine Einteilung von Semantik, Syntaktik und Pragmatik 1938, also zehn Jahre vor der klassischen Publikation Shannons, vornahm. So wiederholt sich die Ebene der Informationstheorie mit Codierung auf der Senderseite und Decodierung auf der Empfängerseite, auf der semiotischen Ebene, mit der Semantik auf der Sender- und der Pragmatik auf der Empfängerseite. Während die Codierung und Decodierung, beispielsweise des ASCII-Codes, aber keinen Entscheidungsspielraum zulässt, kann und muss auf semiotischer Ebene die Bedeutung von Zeichen durch Interpretation zugeordnet werden. Was wir beispielsweise begrifflich als Baum bezeichnen, ist weitaus unschärfer, als die Identifizierung eines B im ASCII-Zeichensatz.



Weitere 15 Jahre vor Morris haben Ogden und Richard den Zusammenhang von Zeichen und Bezeichnetem im semantischen Dreieck, dargestellt. Damit gibt der Begriff, dem Zeichen, durch seine Hindeutung auf das Bezeichnete seine Bedeutung. Es fällt also auf, dass die Semiotik heutiger Prägung weitgehend gleichzeitig, teilweise sogar vor der Informationstheorie entstand, aber erst durch sie und ihr Sender-Empfänger-Modell wirklich verständlich wird. Im Prinzip ist die Semiotik noch sehr viel älter, wenn man an die Versuche im Altertum denkt, die Zeichen der Götter zu verstehen, oder auch in der Medizin, die diagnostischen Zeichen um bestimmte Krankheiten zu identifizieren. So war man beispielsweise lange der Meinung, dass das Leberblümchen (*Anemone hepática*) in seiner Blattform einen versteckten göttlichen Hinweis darauf enthält, gegen Leberleiden pharmazeutisch wirksam zu sein. Insofern ist es verständlich, dass bis heute weite Bereiche der Semiotik, den Einfluss der Informationstheorie noch nicht wirklich wahrgenommen haben.

**Um so wichtiger ist es aber zu erkennen, dass die Computer beim Wechsel von der informationsverarbeitenden Ebene, auf die semiotische Ebene, und dann auf die Wissens-ebene, eine jeweils völlig neue Qualität erreichen.**

Wie weit Strukturen als solche wirklich erkennbar sind, hängt für den Empfänger von den Strategien ab, mit denen er solche Redundanzen als Ordnungsprinzipien identifiziert. Auch dies gehört aber schon in den Bereich der Semiotik und nicht mehr in den Bereich der Informationstheorie. Es ist eine Frage der Interpretation von Zeichen und nicht der Messung ihrer Entropie.

Semiotik, Konstruktivismus und die kybernetische Erzeugung innerer Modelle von unserer Umwelt, zur Wissensgewinnung, sind notwendig, um bisher unbekannte Signale aus unserem Universum zu entziffern und richtig zu deuten – eine Bedingung, die die Informationstheorie als gegeben voraussetzt.

Erstaunlicherweise kann die Bedeutung einer Information also erst auf der nächst höheren Ebene, der Semiotik, ermittelt werden, so dass viele Zeichen in der Kommunikation zwischen

Sender und Empfänger erst im Laufe der Zeit entstehen. Folgerichtig sind die Informationstheorie und die Semiotik Teile eines Rückkopplungssystems zur Identifikation von Zeichen.

Von der Informationstheorie ausgehend können bzw. müssen wir vier Ebenen unterscheiden:<sup>38</sup>

1. die Informationsebene
2. die Bedeutungs- bzw. semiotische Ebene
3. die Wissensebene
4. die Bewusstseinssebene<sup>39</sup>

Auf der 1. Ebene werden Daten (Information, Redundanz und Rauschen) lediglich kodiert, dekodiert und algorithmisch verarbeitet. Dabei wird vorausgesetzt, dass Sender und Empfänger den selben Zeichensatz verwenden. Ob eine Nachricht im klassischen Sinne redundant ist, kann zunächst nur *a posteriori*, im Vergleich mit bereits vorher eingetroffenen Nachrichten, festgestellt werden.

Auf der 2. Ebene wird die Bedeutung von Zeichen durch sog. semantische (korrekter, semiotische) Netze interpretiert. Morris hat im Rahmen der Semiotik, die Semantik: „the relationship of signs to what they stand for“ klar von der Pragmatik: "the relation of signs to interpreters"<sup>40</sup> unterschieden. Auf dem Hintergrund der Informationstheorie bedeutet dies auch, dass die Zuordnung von Zeichen zu Gegenständen auf der Senderseite, ganz einfach dadurch erfolgt, dass Zeichen mit Gegenständen, z.B. durch hindeuten in Verbindung gebracht werden. Auf der Empfängerseite dagegen, muss die Bedeutung aus einem so genannten „semantischen Netz“ oder einer „Ontology“ heraus, durch Interpretation gewonnen werden. Hier wäre es also sinnvoller von einem semiotischen Thesaurus zu sprechen, in dem in der Pragmatik die Semantik rekonstruiert wird. Solche Konstrukte, bzw. ihre Rekonstruktionen können real, unreal, fiktiv oder auch höchst bizarr sein, müssen also keinesfalls Wissen über diese unsere Welt enthalten.

Auf der 3. Ebene werden nur Konstrukte dieser Vernetzung zugelassen, wenn sie innere Modelle der realen Umwelt abbilden. Sie unterliegen damit einer mehr oder minder scharfen Selektion der Realität. Nur wenn sich Informationen aus anderen Informationen und Redundanzen heraus begründen lassen, warum sie so und nicht anders sind, und damit der Selektion standhalten, sprechen wir von Wissen. Bei Bertrand Russell, in „The Encyclopaedia Britannica“ von 1926, zum Thema „Theory of Knowledge“ heißt es dazu: „knowledge might be defined as belief which is in agreement with the facts.“ Dies ist folglich der fundamentale Unterschied zwischen Konstruktivismus und Wissen, dass letzteres Vorhersagen über diese Welt möglich macht, und dass so gewonnene Informationen zur *a priori* Redundanzen werden.

Auf der 4. Ebene wird die Entstehung und Vernetzung des Wissens analysiert, um neue Erkenntnisse daraus zu gewinnen. Insofern definiert sich Bewusstsein als das Wissen über das Wissen – in heute beliebter Diktion, also Metawissen. Im Gegensatz zu unserem menschlichen Unterbewusstsein, in dem wir, ebenso wie andere Lebewesen ein Wissen darüber besitzen, wie man in dieser Welt überlebt, können wir uns einen Teil dieses Wissens bewusst machen, es analysieren und logisch weiterentwickeln. In jedem Fall können wir es aber daran messen, wie oft bestimmte Ereignisse in unserer Umwelt eintreten, die wir richtig vorhergesagt haben. In dieser Erkenntnis liegt auch der Unterschied von Hypothese und Theorie. Soweit sich heute erkennen lässt, haben Tiere und sogar Pflanzen<sup>41</sup> ein

---

<sup>38</sup> <http://www.ib.hu-berlin.de/~wumsta/infopub/pub2001f/GFKL06.pdf>

<sup>39</sup> Umstätter, W. und Wagner-Döbler, R.: Einführung in die Katalogkunde. S. 60. Hiersemann Verl. (2005)

<sup>40</sup> Morris, Charles W.: Foundations of the Theory of Signs. Chicago, University Press (1938)

<sup>41</sup> "Also die Blumen 'wissen' etwas über allgemeine Regelmäßigkeiten." Popper, K.R.: Alles Leben ist Problemlösen (S.135) R. Pieper Verl. München (1994).

<http://www.ib.hu-berlin.de/~wumsta/infopub/lectures/lectr.html>

immenses Wissen,<sup>42</sup> das sie in ihrer Phylogenese über Jahrmillionen erworben haben, um solange überleben zu können. Dagegen scheint nur der Mensch ein Bewusstsein erlangt zu haben, mit dem er sein Unterbewusstsein teilweise kontrolliert. Phylogenetisch betrachtet ist das Bewusstsein erst sehr spät zum menschlichen Denken hinzuge treten, und hat weitgehend nur kontrollierenden Charakter. Darum sind auch Experimente wie die von H.H. Kornhuber über neuronale Bereitschaftspotentiale und insbesondere die von B. Libet über den freien Willen,<sup>43</sup> nur begrenzt aussagefähig, weil sich dieser nur entfalten kann, wenn man dem Bewusstsein die notwendige Zeit lässt, unterbewusstes zu analysieren und zu hinterfragen.

Dass der Mensch einen freien Willen haben kann, ergibt sich indirekt auch aus dem Wahrscheinlichkeitscharakter der Informationstheorie, da dies unter rein gesetzmäßigen bzw. deterministischen Bedingungen ausgeschlossen wäre.

Es ist sicher eine der faszinierendsten Entwicklungen unserer Zeit, Computer von der informationsverarbeitenden Ebene auf die semiotische, und weiterhin auf die Wissensebene zu bringen. Dazu sind aber semiotische Thesauri<sup>44</sup> bzw. Ontologien notwendig, die Benennungen durch entsprechende Hierarchisierung und Vernetzung mit Begrifflichkeiten verbinden. Sie eines Tages auch auf die Bewusstseins ebene zu heben ist sicher ein kühner, aber keinesfalls unmöglicher Gedanke.

Da solche Begrifflichkeiten, insbesondere die uns bewussten, früher nur in Gehirnen existieren konnten, findet man noch immer die Aussage, Wissen könne nur in menschlichen Gehirnen existieren. „Computer speichern Daten, kein Wissen!“<sup>45</sup> Dementsprechend wird nicht selten die gesamte Künstliche Intelligenz (KI) geleugnet. Wobei man oft den Einwand findet, diese KI sei ja nur einprogrammiert. Dass das menschliche Wissen ebenso über Jahrmillionen „einprogrammiert“ worden ist, wird dabei oft übersehen. Ebenso wissen wir, dass auch Computer zu selbstlernenden und selbstoptimierenden Systemen gemacht werden können, die das Wissen ihrer Programmierer möglicherweise weit übertreffen.

Aus Untersuchungen von Hull, C.L.(1952)<sup>46</sup> und Noble, C.E. (1957)<sup>47</sup> wissen wir, dass das Lernen über Versuch-und Irrtum der Gleichung

$$R_p = a ( i ) r^N$$

**R<sub>p</sub>** = probability of a correct first choice (1R+)

**A** = asymptote of R<sub>p</sub> (1,00)

**i** = initial probability (1/N<sub>R</sub>)

**r** = rate parameter related to N<sub>R</sub>

**N** = number of trials

<sup>42</sup> Umstätter, W.: Kann die Evolution in die Zukunft sehen? Umschau 81 (17) S.534-535 (1981)  
<http://www.ib.hu-berlin.de/~wumsta/infopub/pub08.html>

<sup>43</sup> Libet, B.: Do we have free will? Journal of Consciousness Studies, 6, S.47–57 (1999)

<sup>44</sup> Schwarz, I. und Umstätter, W.: Die vernachlässigten Aspekte des Thesaurus: dokumentarische, pragmatische, semantische und syntaktische Einblicke. nfd Information - Wissenschaft und Praxis 50 (4) S.197-203 (1999)  
<http://www.ib.hu-berlin.de/~wumsta/umlit00.html>

<sup>45</sup> [http://www.oegkv.at/fileadmin/docs/OEPZ\\_2005/06-07/luksch.pdf](http://www.oegkv.at/fileadmin/docs/OEPZ_2005/06-07/luksch.pdf)

<sup>46</sup> Hull, C.L.: Behavior System (1952)

<sup>47</sup> Noble, C.E.: The Length-Difficulty Relationship in Compound Trial-and-Error Learning. J. Exp. Psychol. 54 (4) S.246-252 (1957)

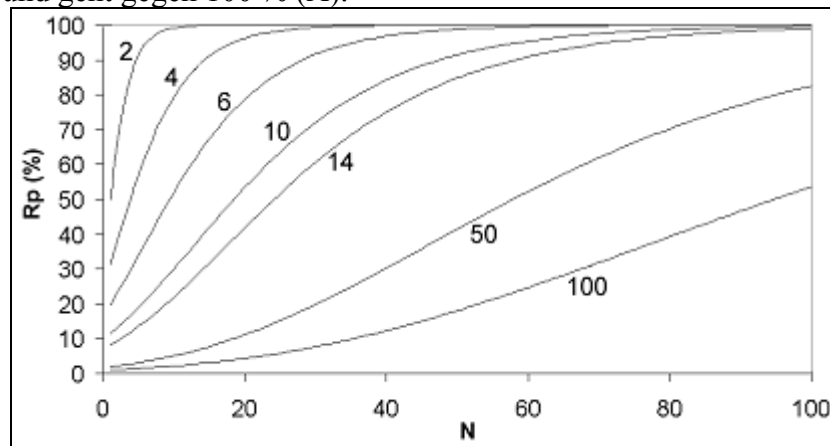


folgt. Sie ist rein zufallstheoretisch begründet, konnte aber an menschlichen Probanden getestet werden, Sie enthält zwei wichtige Parameter:  $i$  und  $r$ .

Die Ausgangswahrscheinlichkeit  $i$  eine korrekte Antwort in der Versuch-und-Irrtums-Beziehung zu finden ist bei  $N = 0$ . Der Parameter  $i$  entspricht damit der Inversen von  $N_R$ , der Zahl an Antwortmöglichkeiten.

Der Exponent  $r$  ist davon abhängig, aus wie vielen Wahlmöglichkeiten (Felder, Fragen, multiple choices, etc.) die richtige ausgewählt werden muss. Der Anstieg beträgt nach Noble bei 4 Feldern = 0,835, bei 6 = 0,904, bei 10 = 0,937 und bei 14 = 0,946. kann ein Maß für den Lernfortschritt.<sup>48</sup>

Probanden können bei einem 4-Feldermonitor schon ohne jede Kenntnis in 25 % aller Fälle ( $i$ ) eine richtige Entscheidung treffen. Diese Wahrscheinlichkeit steigt mit jedem neuen Versuch rasch an und geht gegen 100 % (A).



Diese Kurven beschreiben somit den Zuwachs an Wissen mit der Zahl  $N$  an Versuchen, bzw. die Wahrscheinlichkeit richtiger Vorhersagen ( $R_p$ ), auf Grund von Erfahrung in einem Versuch-und-Irrtum-Lernsystem, mit 2; 4; 6; 10; 14; 50 und 100 Auswahlmöglichkeiten.

Bei diesem Grundprinzip des Lernens, bei dem wir zunächst rein zufällig eine richtige Antwort finden, um sie dann in Erinnerung zu behalten und bei einer passenden Assoziation wieder abzurufen, ist bekanntlich schon in der primitiven Evolutionsstrategie mit dem *trial-and-error-principle* (Mutation und Selektion) erfüllt. Sie erfüllt aber noch nicht die wichtige Voraussetzung des strategischen Wissenserwerbs, wie wir ihn bei der Biogenetischen Evolutionsstrategie beobachten. Dieses erworbene Wissen fließt in die Intelligenz der Lebewesen ein.

**Intelligenz ist nichts anderes als das ererbte Wissen das wir besitzen,**<sup>49</sup> denn das ist seit Galton, Binet u.a. der Sinn von Intelligenztests, nur das im Intelligenzquotienten (IQ) zu „messen“, was Menschen an Problemlösungsfähigkeiten ererbt haben, und möglichst weitgehend alles herauszufiltern, was an Einflüssen durch die Schule, das Privatleben oder durch Bekannte und Verwandte bereits erlernt worden ist. Die Begabung von Kindern sollte mit solchen Tests möglichst frühzeitig erkannt werden, weil man sich damit um 1900 die Einsparung von ineffektiven Ausbildungskosten erhoffte. Dass dies in den bisherigen Intelligenztests meist nur zu 70 – 80% gelungen ist, bedeutet nichts anderes, als das der Messfehler erfahrungsgemäß bei etwa 20-30% liegt. Heute neigt man dazu, die vielfältigen Begabungen von Kindern zu entdecken und zu fördern, anstatt die sog. Unbegabten geistig zu vernachlässigen.

<sup>48</sup> Umstätter, C.: Tier-Technik-Beziehung bei der automatischen Milchgewinnung. Humboldt-Universität zu Berlin Dissertation (2002)

<http://edoc.hu-berlin.de/dissertationen/umstaetter-christina-2002-06-04/HTML/umstaetter-ch2.html>

<sup>49</sup> <http://www.ib.hu-berlin.de/~wumsta/infopub/lectures/Intelligenz09.pdf>

Ein einfaches Beispiele dafür, das Wissen aber zunächst nichts anderes ist, als der Vergleich einer erwarteten Information mit der entsprechend eintreffenden, wäre die Vorhersage, dass der Planet Neptun zu einer bestimmten Zeit an einer bestimmten Himmelsposition erscheint. Ein anderes, ebenso einfaches Beispiel, wäre die richtige bzw. erwartete Antwort auf die Frage eines Prüfers. Dieser Vorgang der Wissensabschätzung ist insofern nicht neu, als er gängige Praxis in allen herkömmlichen Prüfungen war und ist. Wobei wir natürlich nicht von Wissen sprechen, sondern nur von auswendig gelerntem, wenn ein Prüfling schon von vornherein gesagt bekäme, was gefragt wird, und nur tonbandartig die Antworten wiederholen würde. Auch zufällig richtige Vorhersagen rechnen wir *per definitionem* nicht zum Wissen,<sup>50</sup> sondern nur Vorhersagen, die sich aus Erfahrung und Logik heraus ableiten lassen.

Wie weit eine Antwort auf eine Prüfungsfrage, die sich aus ihrer Begründung ableiten lässt, vom Prüfer als richtig oder falsch gewertet wird, ist zwangsläufig interpretierbar. Hier kommt es oft darauf an, welche Begriffsdefinitionen zugrunde liegen. So kann in einem bestimmten Prüfungszusammenhang „Information“ und „Wissen“ synonym verstanden werden, und in einem anderen, schon fast als Antonym, wenn wir an eine Information denken, die falsch oder irreführend ist, und an ein Wissen, das wohlbegründet und damit richtig ist.

Eine System künstlicher Intelligenz könnte eine solche Unterscheidung immer nur mit Hilfe eines semiotischen Thesaurus (bzw. einer Ontologie oder eines sog. semantischen Netzes) entscheiden.

Während die Bewertung von Wissen in der bisherigen Geschichte der Menschheit weitgehend in Prüfungen durch Vergleich erfolgte, ist eine Messung in bit heute durchaus möglich. Bei diesen Vergleichen hat man beispielsweise Prüfungen mit gut (2) bewertete, wenn die Prüflinge mehr richtige Antworten hatten, als andere Prüflinge in vergleichbaren Prüfungsabläufen, in denen nur die Note befriedigend (3) vergeben wurde. Dies ist ohne Zweifel als Vorstufe zur Wissensabschätzung zu werten. Ebenso können auch die klassischen Multiple-Choice-Tests durchaus als erste Ansätze in Richtung Wissensmessung verstanden werden. Wobei man gerade hier die interessante Beobachtung macht, dass beispielsweise eine Frage, wie „Ist Wissen messbar? Ja oder Nein.“ schon mit 50%iger Wahrscheinlichkeit richtig beantwortet werden kann, auch wenn man darüber kein Wissen besitzt. Die Zuverlässigkeit einer richtigen Vorhersage hängt somit bekanntlich auch davon ab, wie groß das Verhältnis von möglichen falschen zu möglichen richtigen Vorhersagen ist. Der Messfehler kann also erheblich verringert werden, wenn die Wahrscheinlichkeit einer zufällig richtigen Antwort vernachlässigbar gering wird.

Dabei sind fünf Wissenskomponenten zu unterscheiden:<sup>51</sup>

1. Zeitliche Reichweite
2. Inhaltliche Reichweite
3. Präzision (Fehlertoleranz)
4. Zuverlässigkeit
5. Kompression

---

<sup>50</sup> Evolutionstheoretisch ist diese Möglichkeit wichtig, weil Lebewesen zufällig (durch Mutation) eine überlebenswichtige Reaktion zeigen können, die sie dann weiter vererben. Insofern ist das Versuch-und-Irrtums-Prinzip ein wichtiges Element der Biogenetischen Evolutionsstrategie zum Erwerb von Wissen.

<sup>51</sup> <http://www.ib.hu-berlin.de/~wumsta/infopub/Courses/lailumu1.pdf>; Umstätter, W.: Anmerkungen zum „Lai-LuMU“ 5. Aufl. Hrsg: Kühlen, R., Seeger, T. und Strauch, D.: Grundlagen der praktischen Information und Dokumentation. Saur Verl., München (2004)

- Zu 1.: Gilt unser Wissen beispielsweise für die Position des Neptun nur für ein, hundert oder tausend Jahre?
- Zu 2.: Gilt unser Wissen beispielsweise nur für die Position des Neptun oder auch für alle gleichartigen Objekte?
- Zu 3.: Wie genau ist unsere Vorhersage. Mit welcher Vergrößerung können wir in unserem Beispiel den Himmelsausschnitt den wir betrachten, auswählen?
- Zu 4.: Wird unsere Vorhersage in 50, in 90 oder 99 von 100 Fällen richtig sein? Dabei ist es wichtig zu klären, bei welcher Abweichung wir noch von einer richtigen oder falschen Vorhersage sprechen.
- Zu 5.: Können wir unser Wissen nur in einer umfangreichen verbalen Beschreibung, einer Aufzählung, tabellarisch oder möglicherweise in einer knappen mathematischen Formel fassen?

Daneben unterscheidet man im Knowledge Management noch zwischen *tacit knowledge* und *explicit knowledge*, wobei letzteres fast immer auch bewusstes Wissen ist, im Gegensatz zum unbewussten Wissen, das wir ja mit allen anderen Lebewesen gemeinsam haben, dessen Kenntnis uns aber weitgehend verborgen bleibt. Erst mit dem was Sokrates Maieutik nannte können wir versuchen unbewusstes über das Unterbewusste uns bewusst zu machen. Denn erst das bewusste Wissen können wir verbalisieren.

**Man muss also deutlicher als bisher bewusstes Wissen vom unbewussten Wissen unterscheiden. Das unbewusste Wissen ist weitgehend im Laufe der Phylogenese erworben worden.**

Die Informationskompression des Wissens ist insofern von besonderer Bedeutung, weil wir es dieser Eigenschaft des Wissens verdanken, dass wir, trotz des seit Jahrhunderten anhaltenden Zuwachses an Wissen, dieses problemlos erlernen können. Es ist sogar so, dass ja gerade das zunehmende Wissen zu einer immer stärkeren Kompression führt. Als Beispiel kann an dieser Stelle die eingangs erwähnte Erkenntnis angeführt werden, dass mit der Einführung der Planckeinheiten die Naturkonstanten  $G$ ,  $c$ ,  $\hbar$  und  $^{\circ}K$  alle 1 werden und so eine Reihe von Gleichungen vereinfachen.

Wir können also bei der Messung von Wissen nicht davon ausgehen, dass ein Expertensystem mit 1 MB Speicherkapazität nur die Hälfte dessen weiß, was ein anderes System mit einer Wissensbank von 2 MB weiß. Dies deckt sich natürlich auch mit unserer Erfahrung, dass es Bücher gibt, die bestimmte Wissenszusammenhänge akribisch, langatmig, narrativ oder auch umständlich abhandeln, während der gleiche Zusammenhang mit einem genialen Satz vollständig erklärt sein kann. Im allgemeinen entspricht dies auch dem Fortschritt jeder Wissenschaft, die zunächst immer als beschreibende Wissenschaft beginnt, um dann analytisch weiter vorzugehen und nach Präzisierung, Zuverlässigkeit, Verallgemeinerung und nicht zuletzt nach Kompressionsmöglichkeiten zu suchen. Dabei ist es wichtig, dass jedes neue Wissen auf dem bereits vorhandenen aufbauen kann, ohne es immer zu wiederholen. Dies gilt auch für die Berichtigung eines fehlerhaften Weltbildes.

Wissenschaftler sammeln und beschreiben, wie beispielsweise in der Biologie, zahlreiche Lebewesen, klassifizieren sie, in dem sie nach Redundanzen suchen, um dann Gründe für diese Redundanzen zu ermitteln.

**Klassifikation bedeutet somit nichts anderes als die Erzeugung von Redundanz.**

Bei Linné war es die geniale Erkenntnis, die Sexualität der Lebewesen, als wichtigstes natürliches Unterscheidungsmerkmal im *systema naturae*, zu wählen, weil sich daraus zwangsläufig

fig die Verwandtschaft der Arten, und folgerichtig die biologische Evolution ergab. Darwin und Wallace erkannten dann die Selektion als Grund für die zunehmende Artenvielfalt, weil die beeindruckende Menge von Hunderten, Tausenden oder auch Millionen Lebewesen regelmäßig zugrunde gehen muss, bevor sich ein oder zwei Individuen nachhaltig weiter vererben. Das ist konstruktive Zerstörung in einmaliger Dramatik.

Wenn man versucht, das Linnésche Prinzip auf die Evolution menschlichen Wissen zu übertragen, so gibt es zwei grundlegende Probleme:

1. Wissen kann von jedem Menschen, und inzwischen teilweise sogar von Computern, auch ohne „Vererbung“ konstruktivistisch erzeugt werden. In der Biologie nannte man dies Urzeugung, die es dort aber nicht gibt.
2. Ein großer Teil des in Bibliotheken gespeicherten Wissens enthält nicht die Quellen die eigentlich zitiert werden müssten. Dies bezeichnet man als *uncitedness*.

Obwohl die Messung von Wissen in bit zunächst keine Aussagen über dessen Qualität macht, sondern lediglich darüber, ob eine zu erwartende Menge an Information eintritt oder nicht, lassen sich damit trotzdem Aussagen über die zeitliche und inhaltliche Reichweite, die Präzision, die Fehlertoleranz, die Zuverlässigkeit und die Kompression gewinnen. Die jeweils bestimmbare Menge an richtigen oder falschen bit bzw. richtigen oder falschen Vorhersagen, enthält also immer nur eine sinnvolle Aussage, im Zusammenhang mit der jeweiligen Testsituation.

Um das oben erwähnte Beispiel vom Planeten Neptun aufzugreifen, ist die Aussage, der Neptun befindet sich am 23.9.1846 (U. Leverrier bzw. J.G.Galle) zur Zeit  $t$ , an der Position  $xx$ , mit nur einem einzigen bit (richtig oder falsch) zu messen. Die Vorhersage dazu erfordert dagegen einige Byte an Bahnberechnung – je weniger desto besser. In der Realität war das Problem allerdings etwas komplizierter, da das in Frage kommende Gebiet nicht so präzise vorausberechnet werden konnte, dass man im Umfeld nicht noch hätte etwas suchen müssen. Außerdem gibt es in vielen Fällen nicht nur ein Ja oder Nein, sondern auch den Bedarf an Verlässlichkeitswerten, wie wir sie aus Expertensystemen bereits kennen.

Eine solche Messung von Wissen ist im Prinzip nichts neues, weil sie durchaus auf altbewehrtes zurückgreift. Sie macht aber bewusst und objektiviert, worauf es letztendlich beim Wissensserwerb ankommt – mit möglichst wenig bit an begründeter Information, möglichst viele bit an zu erwartender Information, so präzise, zuverlässig und allgemeingültig wie möglich vorherzusagen.

**Das Wissen, als *a priori* Redundanz, ist von der herkömmlichen *a posteriori* Redundanz zu unterscheiden. Es kann aber ebenso eindeutig in bit gemessen werden.**

Die Entwicklung einer solchen Wissensmessung mit Hilfe von Computern ist ohne Zweifel ein großes Desiderat zur Bestimmung des Wissensgehaltes in Bibliotheken<sup>52</sup> und folgt der Forderung Harnacks, der die „Professur für Bibliothekswissenschaften“ in Berlin schon 1921 im „Kreis der nationalökonomischen Fächer, aber der geistes-wirtschaftlichen.“ bzw. in der „Nationalökonomie des Geistes“ verortet sehen wollte.<sup>53</sup> Da Information und Wissen keine Ware wie jede andere ist, brauchen wir neben der Betriebs- und Volkswirtschaft, eine auf der Informations- und Redundanztheorie begründete Wissenswirtschaft.

---

<sup>52</sup> Umstätter, W.: Der Anteil an Wissen in Bibliotheken. In: Wissensmanagement in der Wissenschaft. Hrsg. v. K. Fuchs-Kittowski, W. Umstätter und R.F. Wagner-Döbler. Wissenschaftsforschung Jahrbuch 2004; GeWiF, Berlin. [http://www.sciencestudies.eu/JB04\\_119-137.pdf](http://www.sciencestudies.eu/JB04_119-137.pdf).

<sup>53</sup> Harnack, A. v.: Die Professur für Bibliothekswissenschaften in Preußen. Vossische Zeitung 27.7.1921; S.218-220; <http://www.ib.hu-berlin.de/~wumsta/infopub/que/harnack1921a.html>

(21. Dezember 2009)

**Errata zum Buch: Umstätter, W.: Zwischen Informationsflut und Wissenswachstum.  
Simon Verl. Bibliothekswissen (2009)**

S. 25 Der Radius eines Photons mit der Frequenz  $6,58 \cdot 10^{15}$  [Hz] und der entsprechenden Masse  $4,85 \cdot 10^{-35}$  [kg] beträgt  $7,25 \cdot 10^{-9}$  [m] und nicht  $5,29 \cdot 10^{-11}$  [m], da  $\hbar$ , das Drehmoment für alle Photonen identisch ist, und in red. Planckeinheiten 1 beträgt. Damit ist  $r_{\text{ph}} = \hbar / (c * m_{\text{ph}}) = 7,25 \cdot 10^{-9}$  [m]. Insofern ist das Plancksche Wirkungsquantum  $h$  auch kein Drehmoment oder Drehimpuls, wie oft fälschlich behauptet wird, sondern bezieht mit  $h = m_{\text{ph}} * c * \lambda_{\text{ph}}$  die Wellenlänge ein, die damit  $\lambda_{\text{ph}} = r_{\text{ph}} 2 \pi$  beträgt. Dass alle Photonen das selbe Drehmoment, trotz höchst unterschiedlicher Energie haben, liegt daran, dass bei konstanter Geschwindigkeit  $c$  die Masse  $m_{\text{ph}}$  um so mehr wächst, je kleiner  $r_{\text{ph}}$  wird. Daraus folgt auch, dass auf S. 22 Photonen keinen konstanten Umfang haben.