Energie, Masse und Information

Professor Dr. Klaus Hofer

Die Beschreibung unserer Welt mit Hilfe der vier Naturelemente Feuer, Wasser, Erde, und Luft geht auf den griechischen Naturphilosophen Empedokles (473 v.Ch.) zurück. Trotz des enormen Wissenszuwachs der Menschheit hat sich diese naive Sichtweise hartnäckig bis ins 18. Jahrhundert gehalten. Doch die Erkenntnisse der modernen Naturwissenschaften zeigen, dass es ganz andere Naturgrößen sind, welche die Welt im inneren zusammenhalten und die Dinge und Erscheinungen um uns herum bestimmen. Dabei handelt es sich um die beiden physikalischen Größen Energie und Masse sowie die immaterielle Größe Information. Während die Zusammenhänge zwischen Energie und Masse gemäß der Superstringtheorie hinreichend bekannt sind, gibt es über die Information bislang nur die philosophische Erkenntnis, dass sie unzertrennlich an Energie und Materie gebunden sei.
Erweitert man die zehn Raum-Zeitdimensionen der Superstringtheorie um eine Informationsdimension, so werden aus den energiegeladenen Massefäden (Strings) bindungshungrige Schöpfungsbits, welche in ihren rhythmischen Schwingungen alle drei Naturgrößen in idealer Weise vereinen (Strings = Energie, Masse, Information). Gemäß der SEMI-Theorie basiert die enorme Schöpfungsvielfalt der Natur auf einer stetigen Informationssteigerung durch Verwebung gigantischer Stringverbünde, ähnlich den Bits in Computerprogrammen. Diese Erkenntnis hebt die bisherigen Grenzen zwischen der massebezogenen Physik und der zellorientierten Biologie vollständig auf.
Zur Demonstration werden in diesem Beitrag die Energie-Masse-Abhängigkeiten bei der Informationsgewinnung in Strings, Chips, Gehirnen, Lebewesen und der Evolution mathematisch formuliert und berechnet. Die Ergebnisse sind ernüchternd und belegen den beginnenden Übergang (Singularity) von der neuronalen Intelligenz zur künstlichen Intelligenz, hin zu den so genannten Maschinenlebewesen.

1. Definition eines Informationsquotienten

Betrachtet man das Grundwesen von Informationen etwas allgemeiner, dann fällt auf, dass jede Information beim Empfänger eine bestimmte Änderung in einem gewünschten Zeitrahmen hervorrufen muss, um nicht sinnlos gewesen zu sein. Deshalb besitzen Informationen immer ein Verfallsdatum, das je nach Informationsdynamik sehr kurz (Lichtimpuls) oder sehr lang (Tag/Nacht) sein kann. Informationen sind darüber hinaus meist zyklisch, da sich ihre Aktualität wie bei einem Fahrplan periodisch wiederholt.
Daraus folgt, dass die Speicherung und Aufnahme von Informationen eine Hardware (Masse) und die Verarbeitung und Weiterleitung von Informationen zusätzlich noch eine Kraft (Energie) erforderlich machen. Typische Beispiele für das Zusammenspiel von Energie, Masse und Information sind neben Fahrzeugen, Robotern, Computern und Halbleiterchips vor allem auch Superstrings, Atome, Moleküle, Zellen und Lebewesen. Da die Bedeutung und Interpretation einer Information von Empfänger zu Empfänger sehr unterschiedlich ausfallen kann, soll im Folgenden die Qualität und der Inhalt der Information ausschließlich nach messbaren, physikalischen Merkmalen beurteilt werden.

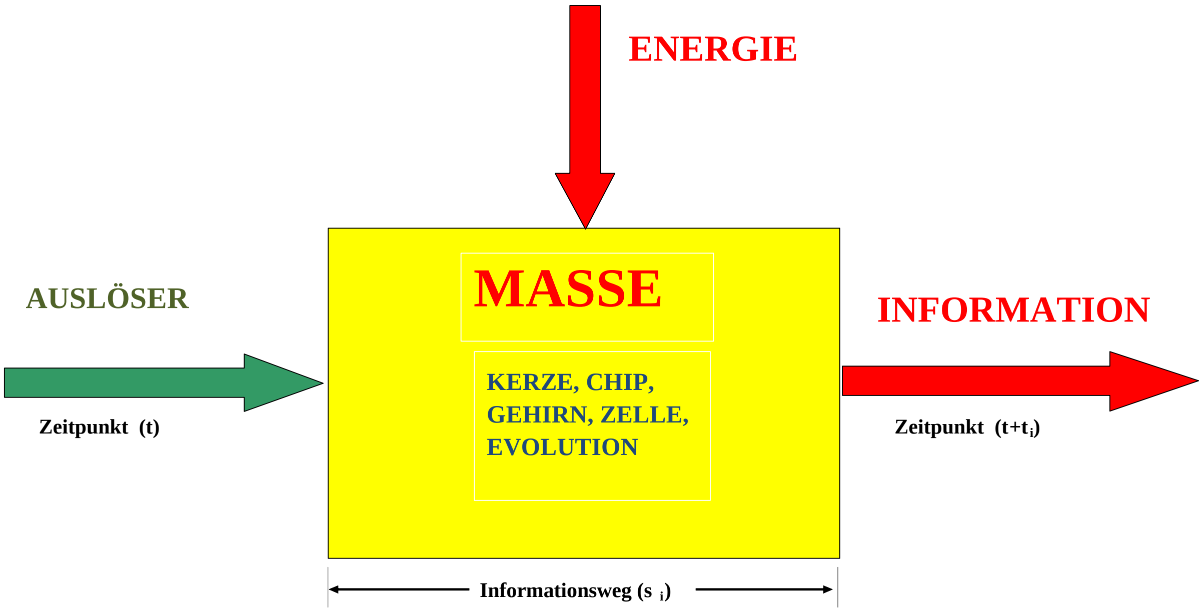


Bild 1. Prinzipieller Zusammenhang zwischen Energie, Masse und Information

Bildet man den Quotienten aus den physikalischen Größen Energie und Masse (E/m), erhält man die so genannte Energiedichte eines Stoffes oder Gegenstandes, welche die in der zugehörigen Masse gespeicherte oder der Masse zugeführte Energie angibt. Die physikalische Einheit der Energiedichte wird in Wattsekunden pro Kilogramm oder Newtonmeter pro Kilogramm angegeben, was wiederum über die SI-Einheiten auch in m^2/s^2 ausgedrückt werden kann.

$$\frac{E}{m} = Energiedichte = [\mathrm{Ws/kg}] = [\mathrm{Nm/kg}] = [\mathrm{m^2/s^2}] \qquad (1)$$

Ist die Energiedichte eines Mediums sehr groß, dann handelt es sich um einen informationsarmen Energieträger, ist sie sehr klein, um einen energiearmen Informationsträger. Auffallend ist, dass die Wurzel aus der Energiedichte einer Geschwindigkeit entspricht. Die Erklärung liefert der Bewegungsimpuls (mv), welcher den Zusammenhang zwischen Masse, Kraft und Geschwindigkeit (Bewegung) herstellt:

$$F = \frac{d}{dt}(mv) = m\frac{dv}{dt} + v\frac{dm}{dt} \qquad \text{Beschleunigungskraft} \qquad (2)$$

Durch Multiplikation mit der Geschwindigkeit kommt man zur Leistung ($P = F \cdot v$):

$$P = F \cdot v = m \cdot v\frac{dv}{dt} + v^2\frac{dm}{dt} \qquad \text{Beschleunigungsleistung} \qquad (3)$$

Integriert man die Leistung über der Zeit, folgen schließlich die bekannten Formen der kinetischen Energie:

$$E = \int P dt = \frac{1}{2} m \cdot v^2 + m \cdot v^2 \qquad \text{Energie bewegter Massen} \qquad (4)$$

Dieser Ausdruck belegt die quadratische Abhängigkeit der Bewegung eines Gegenstandes vom Quotienten aus Energie und Masse. Für die Bewegungsdynamik folgt daraus der stationäre Zusammenhang:

$$v_m = \sqrt{\frac{E}{m}} = \sqrt{\frac{P \cdot t}{m}} \quad \text{Bewegungsdynamik} \qquad (5)$$

welcher sich für die Normierung einer Informationsgewinnung und zur Definition eines Informationsquotienten (IFQ) in idealer Weise anbietet. Aufgrund der physikalischen Verknüpfung von Energie, Masse und Geschwindigkeit ist es nahe liegend, auch der Informationsdynamik eine Geschwindigkeit gemäß **Bild 1** zuzuordnen und zwar unabhängig von der Aussagekraft und Wichtigkeit ihres Inhalts.
In Analogie zur Bewegungsdynamik gibt die Geschwindigkeit (v_i) einer Informationsquelle an, welcher physikalische Weg (s_i) zwischen der Auslösung zum Zeitpunkt (t) bis zur fertig generierten Information ab ($t + t_i$), also während des Informationsgewinnungsvorgangs, zurückgelegt wurde:

$$v_i = \frac{ds_i}{dt_i} = \frac{s_i}{t_i} = \frac{Informationsstrecke}{Generierungszeit} \quad \text{Mittlere Geschwindigkeit der Information} \qquad (6)$$

Für Informationen mit der Auflösung bzw. Bitbreite (n) lässt sich unabhängig von der Aussagekraft oder Wichtigkeit des Inhalts eine Wertigkeit der Information in bezogener Form als so genannter Informationsquotient definieren:

$$IFQ = n \cdot \frac{v_i}{v_m} = n \cdot \frac{\frac{s_i}{t_i}}{\sqrt{\frac{E}{m}}} = n \cdot \frac{s_i}{t_i}\sqrt{\frac{m}{E}} = n \cdot \frac{s_i}{\sqrt{t_i^{\,3}}}\sqrt{\frac{m}{P}} \quad \text{Informationsquotient} \qquad (7)$$

Der Informationsquotient gibt die Ausbeute und Effizienz eines Informationsgewinnungssystems in Abhängigkeit vom Energieeinsatz und der beteiligten Masse an. Daraus folgt, dass bei geringem Energieaufwand und großer Bitbreite (n) der Informationsquotient stark anwächst. Bei einwertigen ($n = 1$) Informationen ist die Informationsgeschwindigkeit (v_i) als Quotient aus Übertragungsweg (s_i) und Generierungsdauer (t_i) in der Regel deutlich kleiner als die Normierungsgeschwindigkeit (v_m) aus der Wurzel der Energiedichte.
Setzt man die zur Generierung einer Information benötigte Energiemenge (E) durch die zugeführte Leistung $E = P \cdot t_i$ gemäß Gl.(5), so kann der Informationsquotient (INF) gemäß Gl.(7) auch über die Leistungszu- bzw. abfuhr ausgedrückt werden. Aus diesen Definitionen wird ersichtlich, dass die schnelle Erzeugung von Informationen mit großer Bitbreite/Auflösung auf eine hohe Effektivität des betreffenden Informationsgewinnungssystems führt. Als Maßfaktor des dimensionslosen Informationsquotienten sollen IFQ = 100 % = 1 H entsprechen. Selbstverständlich können sich die Informationsgeschwindigkeit, die Masse, der Leistungsfluss und die Bitrate in komplexeren Informationssystemen während der Informationsgewinnungszeit verändern, das heißt selbst eine Funktion der Zeit sein. Für diesen Fall müssen die Berechnungsgleichungen des Informationsquotienten entsprechend erweitert werden.
Da der Informationsquotient der momentanen Leistungsfähigkeit eines Informationsmoduls entspricht, gewinnt man die über einen längeren Zeitraum angehäufte Informationsmenge durch Aufsummieren:

$$INF = \int IFQ \cdot dt = \sum_{k=1}^{n} IFQ_K \qquad \text{Informationsmenge} \qquad (8)$$

2. Berechnung einiger Informationsquotienten

Ein typisches Beispiel für einen Auslöser zur Generierung einer einfachen Zeitinformation, ist das Umdrehen einer Sanduhr. Ähnliches gilt beim Anzünden und Niederbrennen einer Kerze oder Zigarette. In allen Fällen muss die Information einen Weg durch das Informationsmedium zurücklegen, um sich bemerkbar machen zu können. Irgendwann ist die Aktualität der Information dann abgelaufen und ihre Generierung muss erneut ausgelöst werden.

2.1 Abbrennen einer Kerze

Der Auslöser für die Informationsgewinnung „Kerze abgebrannt" ist in diesem einfachen Beispiel das Anzünden der Kerze. Bei einer Kerzenlänge von s_i = 10 cm und einer Brenndauer von t_i = 2h, ist die Informationsgeschwindigkeit festgelegt. Hat die Kerze eine Masse von m = 100 g und eine im Kerzenwachs gespeicherte Energiemenge von E = 50 Wh ist die Energiedichte ebenfalls gegeben. Die Anzahl der Informationsbits ist bei einer brennenden/erloschenen Kerze n = 1 Bit.

Aus diesen Angaben lassen sich über die Gl. (7 und 8) der Reihe nach die Energiedichte, Normierungsgröße und die Informationsgeschwindigkeit berechnen:

$E/m = 1{,}8 \cdot 10^6$ Ws/kg, v_m = 1342 m/s und $v_i = 1{,}4 \cdot 10^{-5}$ m/s bzw. **IFQ = 1,04 10^{-8} H**

Da die Kerze eine hohe Energiedichte bei einer kleinen Informationsgeschwindigkeit und Bitrate aufweist, errechnet sich ein sehr schlechter Informationsquotient nahe Null. Trotz dieser geringen Normqualität ist diese Information auf keinen Fall unwichtig, da ein Nichtbeachten zu beachtlichen Schäden führen kann.

Durch die Anordnung mehrer Kerzen (n = 2, 3, 4, …) wird der extrem schlechte Informationsquotient nur geringfügig erhöht. Mit einer drehenden Lochscheibe vor der Lichtquelle könnte zum Beispiel der Informationsgehalt zur Bestimmung einer Drehbewegung deutlich gesteigert werden.

2.2 Zeitmessung mit einer Sanduhr

Der Auslöser für die einwertige (n = 1) Informationsgewinnung „Zeit abgelaufen" ist in diesem Falle das Umdrehen der Sanduhr. Dadurch wird eine bestimmte Energiemenge in Form von potentieller Energie ($E = m \cdot g \cdot h$) geladen, die sich über den Sandstrom in eine Informationsgeschwindigkeit umrechnen lässt.

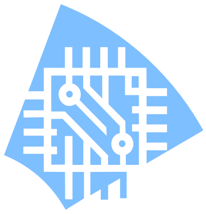
Für eine Sandmasse von $m = 50$ g, eine Höhendifferenz (Informationsweg) von $s_i = 10$ cm und eine Informationsgewinnungszeit von $t_i = 3$ min, errechnen sich die Energiedichte, Normierungsgeschwindigkeit und die Informationsgeschwindigkeit zu:

$E = 0{,}05$ Wh, $E/m = 1$ Ws/kg, $v_m = 1$ m/s und $v_i = 5{,}5 \cdot 10^{-4}$ m/s, bzw. **IFQ = 5,5 10^{-4} H**

Da auch hier der Informationsquotient deutlich unter Eins liegt, ist die Qualität der Information ebenfalls noch sehr gering. Dennoch ist auch der Inhalt dieser Information nicht unwichtig, da ein Nichtbeachten unter Umständen zu Problemen führen kann.

2.3 Computerchip

Betrachtet man einen Mikrocontroller ($m = 5$ g, $P = 1$ W) in einer Prozesssteuerung, dann kann dieser die mathematische Operation zweier 10 Bit Zahlen, welche er über seinen Eingang übermittelt bekommt, bereits nach einer Informationsgewinnungszeit von höchstens $t_i = 1$ ms durchführen und das Ergebnis an seinem Ausgang ausgeben. Die Kantenlänge des Chips von $s_i = 1$ cm entspricht dabei dem Informationsweg.



Mit diesen Vorgaben lassen sich der Reihe nach die Energiedichte, Normierungsgröße und die Informationsgeschwindigkeit gemäß Gl. (7 oder 8) berechnen:

$E = 0{,}001$ Ws, $E/m = 0{,}2$ Ws/kg, $v_m = 0{,}45$ m/s und $v_i = 10$ m/s bzw. **IFQ = 224 H**

Bedingt durch den geringen Energieverbrauch bei der Generierung der 10-wertigen Information (z. B. Multiplikation) ergibt sich ein auffällig hoher Informationsquotient.

2.3 Gehirn

Führt man eine Rechenaufgabe mit dem Kopf aus, so beträgt der Informationsweg von der Auslösung (Auge) über das Gehirn ($m = 3$ kg, $P = 10$ W) bis zur Ausgabe (Mund) der gewonnenen Information ungefähr $s_i = 20$ cm.

Bei einer Informationsgewinnungszeit von $t_i = 5$ s für die Lösung einer leichten Rechenaufgabe mit zweistelligen Zahlen ($n = 7$) errechnen sich die Energiedichte, Normierungsgröße und die Informationsgeschwindigkeit zu:

$E = 50$ Ws, $E/m = 16{,}7$ Ws/kg, $v_m = 4{,}08$ m/s und $v_i = 0{,}04$ m/s bzw. **IFQ = 0,07 H**

Verglichen mit einem Computerchip ist das Lösen einer Mathematikaufgabe mit dem Kopf im Zahlenraum von 0 bis 100 von geringerer Qualität und Effektivität, da die Rechenzeit und der Energieaufwand deutlich höher liegen. Kaum anders sieht es bei einer kreativen Informa-

tionsleistung aus. Beim Skizzieren eines Portraits mit der Hand auf eine Leinwand (1 m) in der Zeit von zehn Stunden bei einer Auflösung von 10^6 Bits errechnet sich der Informationsquotient wegen des enormen Energiebedarfs über Gl. (7 bzw. 8) ebenfalls nur zu IFQ = 0,08.
In Falle der kreativen Informationsgewinnung hat ein Siliziumchip bis jetzt noch einen vernachlässigbaren Informationsquotienten und ist dem Gehirn unterlegen. Evolutionäre und neuronale Algorithmen werden diesen Mangel in Zukunft beseitigen und Computer ermöglichen, die unsere geistigen Fähigkeiten bei weitem übertreffen (Singularity).

2.4 Leben

Mit der Befruchtung (Informationsauslöser) einer menschlichen Eizelle beginnt durch stetige Zellteilung der Aufbau eines kleinen Körpers mit ca. $n = 2 \cdot 10^{11}$ Bit (Zellen), was einem Informationsweg von $s_i = 50$ cm entspricht. Die Informationsgewinnungszeit bis zur Geburt des Babys (m = 3 kg) beträgt $t_i = 9$ Monate.

Legt man während der Schwangerschaft eine mittlere Leistungszufuhr von P = 10 W zugrunde, errechnen sich die Energiedichte, Normierungsgröße und die Informationsgeschwindigkeit im Mutterleib zu:

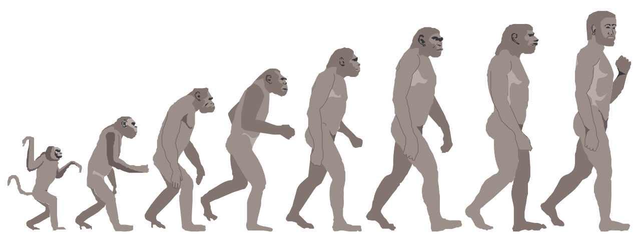
$E = 2{,}33 \cdot 10^8$ Ws, $E/m = 0{,}78 \cdot 10^8$ Ws/kg, $v_m = 8818$ m/s und $v_i = 2{,}14\ 10^{-8}$ m/s bzw.

IFQ = 0,48 H

Für eine genauere Berechnung müssten die Energieaufnahme und die Masse des Embryos als Funktion der Zeit angesetzt werden. Da die Information über den exakten Bauplan des menschlichen Körpers bereits in der Eizelle enthalten ist, besteht der Informationsgewinn bei der Reproduktion von Lebewesen lediglich im Kopieren durch Zellteilung. Dieses Kopieren geht wesentlich effektiver als das evolutionäre Weiterprogrammieren des Erbgutes.

2.5 Evolution

Betrachtet man die evolutionäre Entwicklung der menschlichen Lebewesen, dann hat die Natur im Laufe der letzten 8 Millionen Jahre aus den Bonobos (Schimpansen) in Zentralafrika das heutige Menschenmodell hervorgebracht. In dieser langen Programmierzeit wurden lediglich 1,5 Prozent der drei Milliarden menschlichen Gene evolutionär neu entwickelt. Das bedeutet, dass der Genzuwachs pro Generation (t_i = 25 Jahre) ungefähr $n = 4{,}5 \cdot 10^7$ Bit 25/8.000.000 = 157 beträgt. Der Informationsweg erstreckt sich über alle $z = 25 \cdot 10^{11}$ Körperzellen eines Menschen, ehe er nach ca. 25 Jahren seine neuen Erbinformationen genetisch an seine Nachkommen weitergibt.



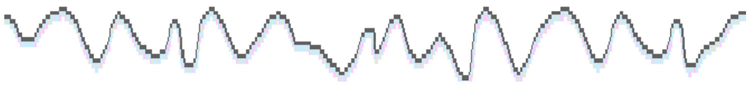
Bei der Berechnung der Energiedichte (E/m) einer Körperzelle kürzt sich die Anzahl der Körperzellen (z) heraus, weshalb man auch die Masse eines Menschenkörpers (z)m = 75 kg und die Leistungsaufnahme eines Körpers (z)P = 2.500 Kcal/Tag = 2,4 kWh/Tag = 100 W benutzen kann. Der Informationsweg entspricht der Länge aller Körperzellen $s_i = 25 \cdot 10^{11}$ Körperzellen mal dem Zelldurchmesser = $25 \cdot 10^{11} \cdot 100$ µm = $25 \cdot 10^7$ m. Mit diesen Angaben folgt der Reihe nach:

$E/m = 10{,}5 \cdot 10^8$ Ws/kg, $v_m = 3{,}24 \cdot 10^4$ m/s und $v_i = 0{,}317$ m/s bzw. **IFQ = 0,0016 H**

Dieser extrem niedrige Wert belegt, dass die Natur nur sehr, sehr langsam die evolutionäre Weiterentwicklung ihrer Geschöpfe über die Gene voranbringt und macht klar, warum zwischen den ersten Pflanzen und Viren bis heute zehn Milliarden Jahre verstrichen sind. Das Kopieren und Vervielfältigen von Zellen bei der Fortpflanzung geht gemäß Punkt 2.4 wesentlich effizienter.
Betrachtet man die Evolution des Menschen nicht nur über eine Generation, sondern über den gesamten Zeitraum von 8 Millionen Jahre, so lässt sich aus obigem Ergebnis IFQ = 0,0016 H die Anzahl der von der Natur verschlissenen Datenträger mit 123 Billionen Lebewesen berechnen, vergl. Abschnitt 3.

2.6 Strings

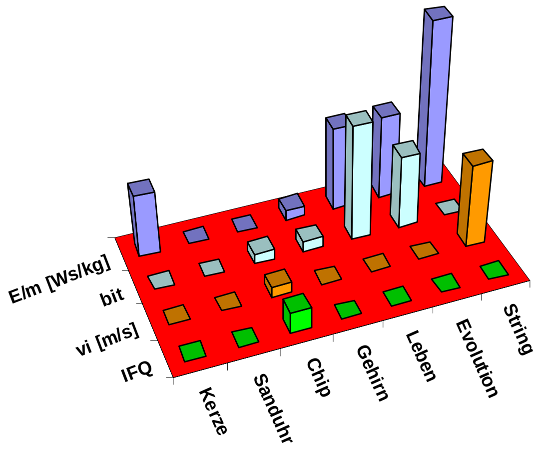
Ordnet man den Informationsgehalt eines Strings seiner Schwingungsfrequenz zu, so muss unter Berücksichtigung der Lichtgeschwindigkeit gelten, dass die maximale Frequenz eines Strings begrenzt ist. Da jeder String mit einer anderen Informationsfrequenz (f_i) schwingt, muss gelten: $c = k \cdot v_i = k \cdot s_i f_i$ (k = 1, 2, 3, …). Das heißt, dass Strings mit kleineren Schwingungsfrequenzen länger sein müssen. Dies deckt sich mit den Aussagen der Stringphysik, welche Strings von bis zu einem Meter Länge für möglich hält. Denkbar ist aber auch, dass sich die einzelnen Strings aneinanderreihen, um niedrigere Schwingungsfrequenzen zu realisieren.



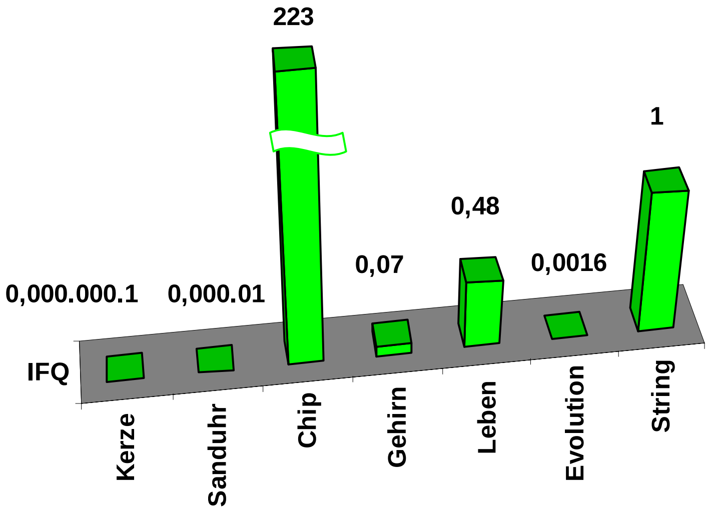
Bei einer Stringlänge von 10^{-35} m (Plancklänge) errechnet sich die maximale Frequenz (k=1) eines Strings zu $f_{imax} = 3 \cdot 10^{48}$ Hz. Die Energiedichte eines Strings besitzt den höchstmöglichen Wert von $e/m = c^2$. Mit der Informationsgeschwindigkeit eines Strings von $v_i = c/k$ und einer Informationsbreite von n = 1 folgt für den Informationsquotienten: IFQ = 1/k < 1 H.
Im Sonderfall (k=1) eines mit höchster Frequenz schwingenden Strings gilt für den Informationsquotienten: **IFQ = 1 H**

3. Vergleich und Ausblick

Bei einem direkten Vergleich der errechneten Informationsquotienten der einzelnen Informationsgewinnungssysteme fällt auf, dass eine relativ hohe Energiedichte gemäß Gl. (7 und 8) nur dann auf eine nennenswerte Informationsausbeute (Qualität) der generierten Information führen kann, wenn gleichzeitig die Informationsgeschwindigkeit und/oder die Bitbreite extrem größer als Eins sind.
Anders herum ausgedrückt, je kleiner die Energiedichte eines Informationsmediums und je größer die Bitbreite der generierten Information sind, desto größer wird der Informationsquotient. Wegen der hohen Bandbreite der auftretenden Zehnerpotenzen wurden die abgebildeten Einzelgrößen logarithmisch aufgetragen.



In dieser stark nichtlinear gewichteten Balkendarstellung erscheint die Informationsausbeute und Effektivität der physikalischen und biologischen Informationsgewinnungssysteme vernachlässigbar gering gegenüber dem technischen Siliziumchip. Um die einzelnen Informationsquotienten quantitativ miteinander vergleichen zu können, wurde die betreffende Reihe in einer linearen Darstellung herauskopiert.



Dieser direkte Vergleich legt die Vermutung nahe, dass es bei der biologischen und neuronalen Informationsgewinnung eine natürliche Grenze bei INF = 1 zu geben scheint. Der errechnete Informationsquotient des Gehirns von 0,07 belegt darüber hinaus die bekannte Tatsache, dass selbst ein Genie bisher nur maximal 10 % seiner neuronalen Fähigkeiten ausnutzt.
Besonders auffallend ist die Erkenntnis, dass von allen Beispielen nur die Computerchips einen Informationsquotienten deutlich größer als Eins aufweisen. Das heißt, bei entsprechender Speicherkapazität und Programmierung eines Siliziumgehirns mit evolutionären und neuronalen Algorithmen, werden diese technischen Informationsmaschinen dem menschlichen Gehirn in wenigen Jahrzehnten auch bezüglich kreativer Eigenschaften haushoch überlegen sein. Der prognostizierte Übergang (Singularity) von den langsamen, biologischen Informationsgewinnungssystemen zu den hocheffizienten, technischen Wissensmaschinen wird mit diesen Zahlen verständlich.

Geht man in biologischen Systemen gemäß obiger Grafiktabelle von einer natürlichen Begrenzung des Informationsquotienten auf Eins aus, so lassen sich aus den Tabellenwerten die zukünftigen Fähigkeiten menschlicher Gehirne ebenso ableiten, wie das evolutionäre Endziel der Schöpfung bestimmen. Für den Fall dieses natürlichen Optimums folgt für die Bitbreite (n) und die Produktionsdauer (t_i) der Information der interessante Zusammenhang:

$$\frac{n}{\sqrt{t_i^3}} = IFQ\frac{1}{s_i}\sqrt{\frac{P}{m}} = \frac{1}{s_i}\sqrt{\frac{P}{m}} \qquad \text{(IFQ = 1 H)} \qquad (9)$$

Das bedeutet, dass sich bei einem festen Informationsweg, einer konstanten Masse und Leistungszufuhr des biologischen Informationssystems der optimale Informationsquotient durch Erhöhung der Bitbreite oder Verkleinerung der Informationsgewinnungszeit erreichen lässt. Daraus lassen sich Entwicklungsgrenzen biologischer Informationsverarbeitungssysteme ablesen. Im Falle unseres **Gehirns** müsste sich dafür die Bitbreite der Information von sieben auf hundert Bit erhöhen. Das heißt konkret, Rechenaufgaben mit dreißigstelligen Zahlen müssten in fünf Sekunden oder einfache Aufgaben im Zahlenraum bis 128 (7 Bit) müssten bereits in 0,84 Sekunden mit dem Kopf ausgeführt werden können.
Bezogen auf die Informationssteigerung bei der Fortpflanzung von **Leben** ist der Spielraum der Natur wesentlich bescheidener, weil bereits hoch ausgenutzt. Bleibt die Dauer einer Schwangerschaft auch in Zukunft bei 9 Monaten, dann könnte die Natur bis zum maximalen Informationsquotienten lediglich noch die Bitrate (Zellenanzahl) eines Säuglings verdoppeln.
Der extrem schlechte Informationsquotient (0,0016) der **Evolution** weist darauf hin, dass es noch sehr lange dauern wird, bis die Schöpfung einen Endpunkt erreicht hat. Würde die Genprogrammierung der Natur mit INF = 1 erfolgen, müssten nach Gl. (9) nicht 157 sondern 101.000 Genveränderungen pro Generation stattfinden Für die Programmierung dieses Informationszuwachs benötigt die Evolution aber gemäß Gl. (7) nicht 25 Jahre sondern tatsächlich 356 Jahre. Eine evolutionär programmierter Computerchip könnte diesen Evolutionsprozess bereits in wenigen Augenblicken bewältigen.
Interessant wird es, wenn man die Informationsparameter der Evolution pro Generation in Abschnitt 2.5 benutzt und damit die Anzahl von menschlichen Lebewesen (x) berechnet, welche während der gesamten Informationsgewinnungszeit von t_i = 8 Millionen Jahren für die n = $4{,}5 \cdot 10^7$ Generweiterungen (Bit) gelebt haben müssen. Mit einem Informationsweg von s_i = $x \cdot 100$ µm und einem evolutionären Informationsquotienten von INF = 0,0016 errechnet sich eine Anzahl von x = 123 Billionen verbrauchten Lebewesen. Das entspricht im Mittel einer Sterberate von 15,3 Millionen menschenähnlichen Kreaturen pro Jahr. Unabhängig von Inhalt und Qualität biologischer Informationssteigerung belegt dieser enorme Aufwand an verschlissenen Datenträgern erneut die Schwerfälligkeit und Ineffizienz der Natur bei der evolutionären Programmierung genetischer Informationsträger.

Fazit: Summa summarum bleibt festzuhalten, dass die Entwicklung der Siliziumchips ebenso revolutionär ist wie die Erfindung des Rades vor ca. fünftausend Jahren. Beide Entdeckungen haben die Weiterentwicklung der Menschheit zum Verstandeswesen gravierend beschleunigt, insbesondere weil diese technischen Innovationssysteme in der Natur nicht vorkommen. Insofern wird die digitale Zukunft (Singularity) unsere geistigen Fähigkeiten ebenso überflügeln, wie sämtliche Arbeitsmaschinen mit Rollen und Rädern unsere Leistungsfähigkeit und Mobilität entscheidend gesteigert haben.