

## **Mensch und Natur – das menschliche Maß und die Harmonik**

### **Vorbemerkung**

Der Mensch ist Teil der Natur. Als denkendes Wesen kann er ihr aber auch gegenüber stehen, im positiven wie im negativen Sinn: Mit dem Schöpfungsauftrag „Macht euch die Erde (= die Natur) untertan“ kann nicht gemeint sein, die Ressourcen der Erde hemmungslos auszuschöpfen und dabei den eigenen Lebensraum zu zerstören - ihrerseits zerstören Naturgewalten wiederum Menschen und Menschenwerk – der Auftrag muss daher wohl eher heißen:

„Lernt die Natur verstehen, seid ihr ein Partner!“

Auch dies haben Menschen getan, von Anbeginn ihrer Entwicklungsgeschichte bis heute. Heute ist es die Naturwissenschaft, die versucht, die Welt zu verstehen. Und es gelingt ihr nicht immer, dieses Verstehen auch verständlich zu machen, denn das Fachwissen entfernt sich immer mehr vom Allgemeinwissen. Das ist eine durchaus logische Entwicklung, denn jedes Fachgebiet erhält fast täglich neue Informationen, die es zu sichten und zu verarbeiten gibt, und diese Informationsflut geht schon weit über das menschliche Maß hinaus.

Und dieses menschliche Maß muss wieder gefunden werden, damit wir uns in unserer Welt, wie sie uns heute entgegentritt, zurechtfinden können.

Dazu bedarf es eines Hilfsmittels. Im Folgenden soll der Frage nachgegangen werden, ob die Harmonik dazu geeignet sein kann. Harmonik kommt von „Harmonia“, und das bedeutet im Altgriechischen „Ebenmaß“, was man auch mit Schönheit gleichsetzen kann. Es bedeutet aber auch „Eintracht“ – und die Göttin der Eintracht hatte bei den Griechen den Namen „Harmonia“. Und Harmonia war die Tochter von Ares und Aphrodite, dem Kriegsgott und der Göttin der Liebe (römisch: Mars und Venus) – hier werden die unterschiedlichsten Positionen in einer Gottheit, der Harmonia vereinigt, ihr Name bedeutet also auch „Einheit“. In der Musik versteht man unter Harmonie den Einklang, im weiteren Sinne das Verschmelzen von Tönen zu einem gemeinsamen, stabilen und wohlklingenden Einklang. Insofern hat Harmonie und Harmonik sehr viel Musik zu tun. Und als Musiker werde ich vor allem die Analogien zur Musik suchen.

## 1. Universelle Größen: Raum und Raum-Maße

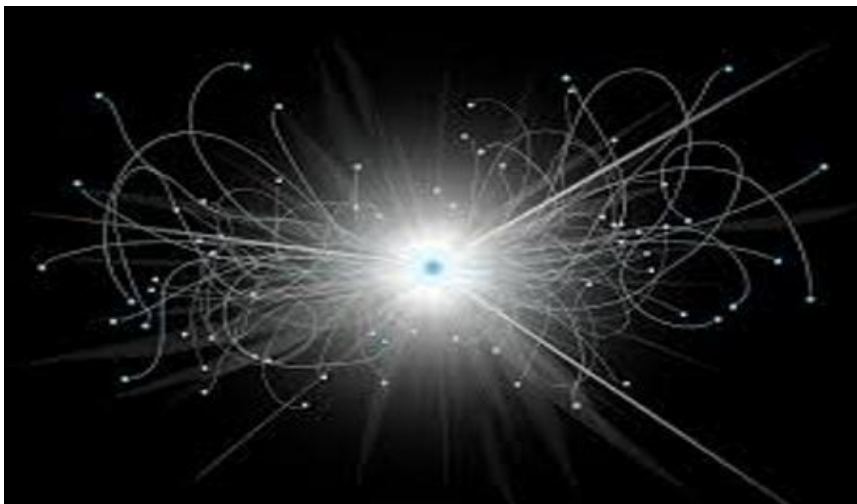
258



Dies ist eine Seite aus einer Partitur. Hier sind nach einem erkennbaren Zeilen-System die Stimmen der einzelnen Instrumente untereinander geschrieben – die aufeinander folgenden Takte werden von links nach rechts gelesen und von den Instrumentalisten nach einem vorgegebenen Metrum (das der Dirigent angibt) gespielt. Im Idealfall gibt es eine hörbare Übereinstimmung mit dem Geschriebenen (symphonó (gr.) = zustimmen, übereinstimmen), ein paar Takte einer Symphonie. Er klingt nur ein Ausschnitt aus dieser Symphonie, beispielsweise nur ein Taktteil oder ein Takt, dann werden wohl nur Kenner diesen einer bestimmten Symphonie zuordnen können. Es bedarf einer Folge von Tönen und Klängen, um sie eindeutig identifizieren zu können.

Doch was hat dies mit Wissenschaft, mit Naturwissenschaft zu tun?

Das Bild, das wir von den Elektronen haben, entspricht eher nicht diesem Bild hier: Diese Zeichnung stellt eine Momentaufnahme von Elektronen dar, wie sie unseren Vorstellungen gemäß um einen Atomkern kreisen sollten.



So schön das Bild ist, die Wirklichkeit ist anders und weitab unseres Vorstellungsvermögens. Allein die Größenverhältnisse sind völlig anders: Stellen wir uns ein Proton, den Kern eines Wasserstoffatoms so stark vergrößert vor, dass er einem Ballon mit 1,7m Durchmesser entspricht, dann „kreist“ ein Elektron von 0,1mm Durchmesser in einem Abstand von 50 km um diesen Ballon, und selbst das lässt sich nicht mit Sicherheit sagen, sondern nur, dass sich in das Elektron zu einem bestimmten Zeitpunkt irgendwo da draußen in 50km befinden muss. Und dass es zu diesem Zeitpunkt eine Masse haben kann oder auch nicht, und dass es möglicherweise nicht einmal eine Größe hat, doch mit Sicherheit eine Ladung und damit auch Energie.

In der Physik nennt man das Unschärfe, und das ist eine große Herausforderung für die Quantenphysik. Denn noch lassen sich keine Aussagen darüber machen, welchen Weg ein

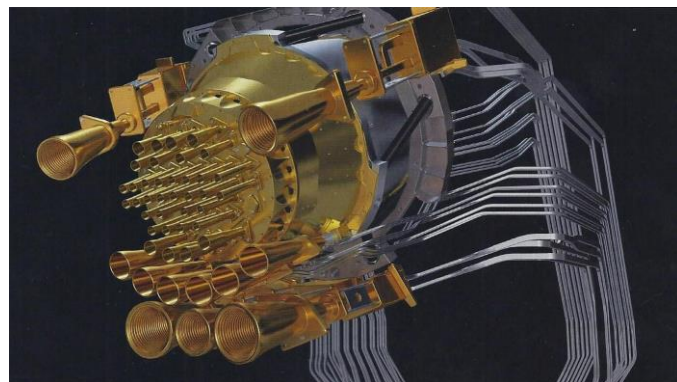
Elektron beschreibt, man kann bestenfalls sagen, in welchem Raum es sich seinem Energieniveau entsprechend befindet oder befunden hat, wenn es auf Energieeinwirkung reagiert. Dann kann ihm die Energie einer bewegten Masse oder einer Welle zugeordnet werden und daraus lassen sich auch Größe und Masse rechnerisch ermitteln.

Was hat nun die Partitur mit den Elektronen-Orbitals zu tun? – Nun, vom Institut für Schallforschung in Wien wurde vor wenigen Wochen in der Fachzeitschrift „Annuals of Physics“ eine Anregung gebracht, wie man die mathematische Fassbarkeit von Teilchen in der Quantenmechanik verbessern könnte, nämlich mit Hilfe der Akustik.

Hier werden Frequenzschichten im zeitlichen Ablauf gespeichert und mit speziellen festgelegten „wavelets“ („kleine Wellen“) verglichen. Die Frequenzschichten entsprechen in der Partitur den Instrumenten in ihren Stimmlagen, und die fortschreitenden Takte entsprechen dem zeitlichen Ablauf. So könnte man gleichsam jedem Elektron-Orbital ein Instrument zuordnen, und ihre Aufenthaltsorte um den Kern entsprächen einer elektronischen Symphonie. Wie unser Ohr die Symphonie erkennt, könnten die Vergleichs-„wavelets“ diese Aufenthaltsorte entschlüsseln.

Hinsichtlich Zeit und Raum liegt dies natürlich außerhalb unseres menschlichen Vorstellungsvermögens, doch das Beispiel zeigt, dass musikalische Ideen selbst in den kleinsten Bereichen des Mikrokosmos hinein wirksam sein können.

*Planck-Sonde, gestartet 2009*



bis

Und das gleiche gilt auch für den unvorstellbar großen Makrokosmos um uns. Dazu gehen wir an die Grenze des Universums.

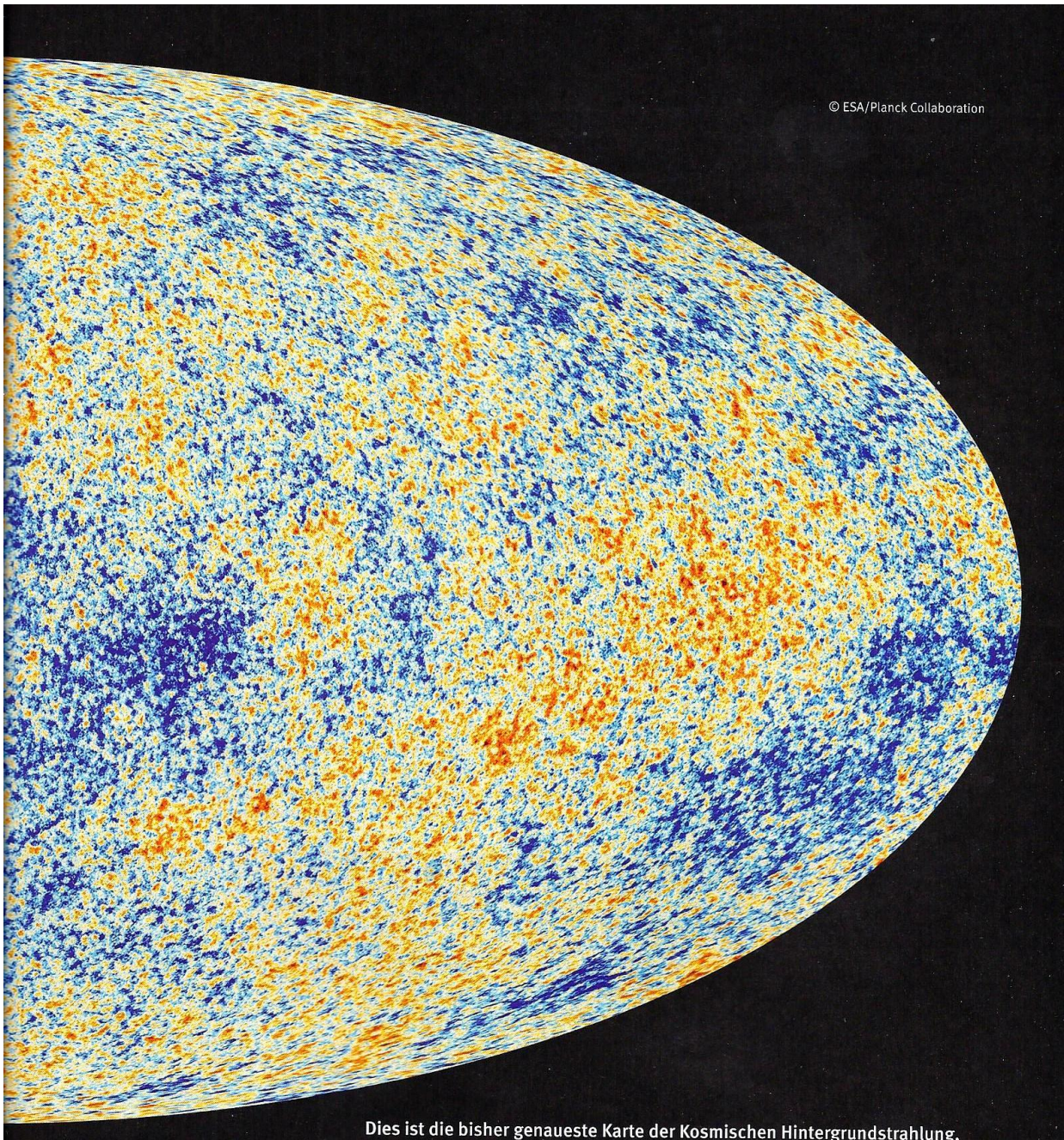
Das Licht, das uns von dort erreicht, war 13,81 Milliarden Jahre unterwegs gewesen, die

Sterne oder Materieverdichtungen, die es ausgesendet haben, hatten sich um 380.000 Jahre nach dem „Urknall“, der Entstehung unseres Universums gebildet.

Hinter dieser Grenze ist für unsere Augen und Geräte nur noch leerer Raum, in ihn hinein gesandtes Licht kommt nicht zurück, es reagiert wie ein schwarzer Körper. Eintreffendes Licht wird absorbiert, doch an der Oberfläche eines Schwarzkörpers tritt Wärme auf. Der Weltraumhintergrund reagiert wie ein solcher Schwarzkörper, seine Temperatur ist deshalb nicht  $0^0$  K, sondern leicht erhöht, sie liegt bei  $2,728^0$  K (+- 0,002).

Die Vermessung des Weltraumhintergrunds ergab jedoch keine gleichmäßige Wärmeverteilung, wie es bei der Schwarzkörperstrahlung zu erwarten gewesen wäre, sondern eine unregelmäßige (Anisotropie). Um diesem überraschenden Umstand nachzugehen, wurden die Raumsonden, die die Messungen durchführten, mit immer genaueren Messgeräten für immer kleinere Messgebiete ausgestattet. Die Planck-Sonde, die 2009 gestartet war und seit 2013 Messergebnisse liefert, hat eine Messgenauigkeit von  $0,2 \mu\text{K}$ . Dargestellt mit grünen und blauen Flächen für kältere Zonen und mit gelben und roten Flächen für wärmere Zonen ergaben die Messungen der Plancksonde dieses Wärme-Bild vom kosmischen Hintergrund:





Dies ist die bisher genaueste Karte der Kosmischen Hintergrundstrahlung,

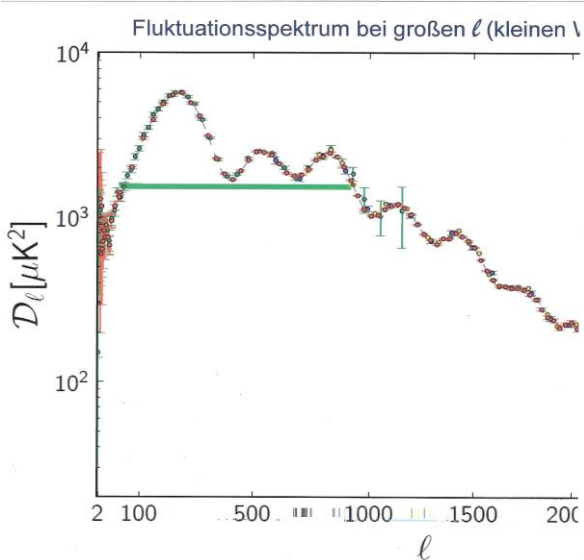
*Kosmischer Hintergrund (Wärmebild)*

Man kann sagen, dass dieses Bild den Zustand des Universums 378.000 Jahre nach dem Urknall wiedergibt: Dieses Muster lässt darauf schließen, dass es bereits in der ersten Sekunde der Entstehung des Universums Quanten-Fluktuationen gegeben hat, die zu Verdichtungen und Verdünnungen der Teilchen im Plasma geführt haben. In der Folge entstanden daraus die ersten Galaxien.

Passieren Photonen auf ihrer Reise vom Ursprung des Weltalls zu dessen Hintergrund Materieverdichtungen wie in Galaxien, so verlieren sie an Energie, ihrer Abbildung am Hintergrund entspricht eine niedrigere Temperatur (grün, blau). Treffen sie ungehindert oder kaum gehindert an, so ist ihre Energie höher, und damit auch die Temperatur (gelb, rot). So erscheint uns das Abbild unseres Weltraum-Hintergrunds wie ein grobkörniges Raster aus hellen und dunklen Farben.



Doch die scheinbar zufällige Verteilung der Farben folgt, wenn man sie in einer durchgehenden Linie verfolgt, einem ziemlich gleichmäßigen Muster: auf rot/gelb folgt grün/blau. Graphisch dargestellt ergeben die Temperaturangaben, wie sie die Plancksonde gemessen hat, das Bild einer Schwingungskurve, die beim Abfallen weitere Maxima in gleichen Abständen aufweist:

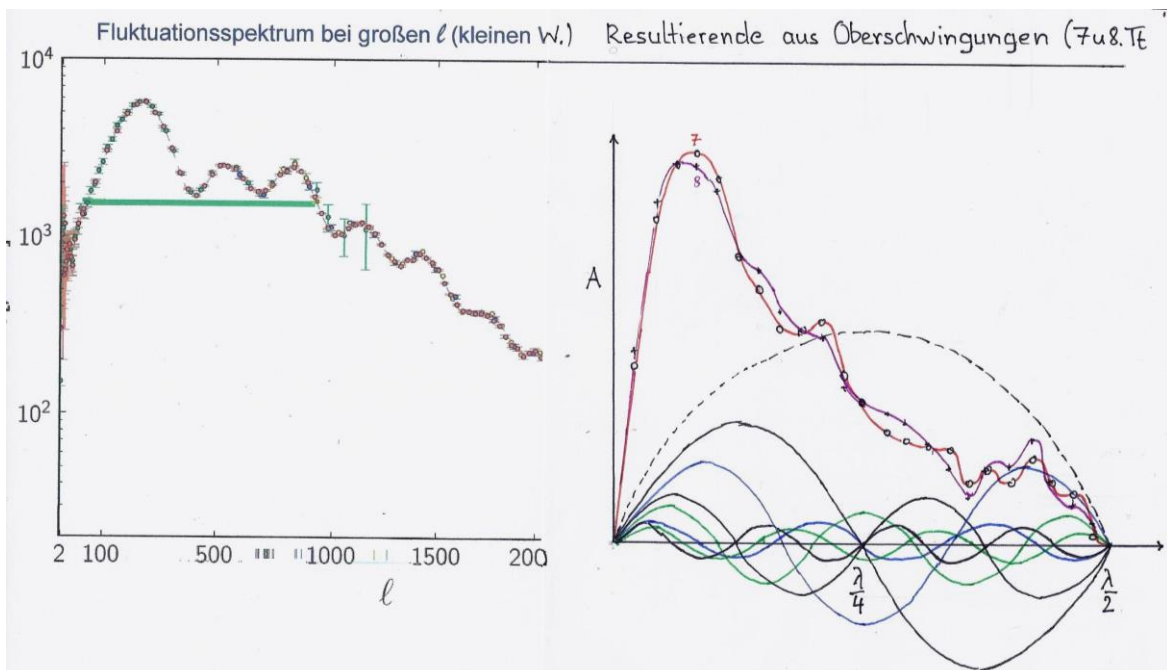


*Temperaturkurve bei Streckung der Winkelverkleinerung*

Die x-Koordinate gibt den Winkelbereich an, geteilt durch die Zahl L. Für L=1 ist der Winkel  $180^\circ$ , für L=2 ist er  $90^\circ$ . Für L=100 ist der Winkel nur noch  $1,8^\circ$ , bei L=1000 nur noch 10,8 Bogenminuten. Die Winkelverkleinerung wird dadurch gestreckt und erlaubt es, die Maxima deutlicher zu erkennen. Die y-Koordinate zeigt die Temperaturunterschiede der wärmeren und kälteren im Winkelmaß durchfahrenen Zonen in  $\mu\text{K}^2$  (Mikro-Kelvin zum Quadrat), um die geringen Temperaturunterschiede zu verdeutlichen.

*Tonkurve und Hintergrundstrahlung*

Dieses Bild gleicht sehr dem Bild einer Schwingungskurve von Tönen mit ihren Obertönen. Auf einen Grundton (hier: halbe Wellenlänge) überlagern sich die Obertöne. Je mehr Partialtöne einbezogen sind, desto größer wird die Zahl der Maxima („Sägezahn“-Welle).



*Tonkurve und Hintergrundstrahlung*

Es finden sich Analogien zur Musik sowohl im Makrokosmos wie im Mikrokosmos, von der Teilchengröße kleinster Teilchen bis zur Größe des erkennbaren Universums. Die folgende Tabelle zeigt eine Aufstellung der Größen in 10-er-Potenzen.

# Größe $10^{\text{hoch}}$ in m

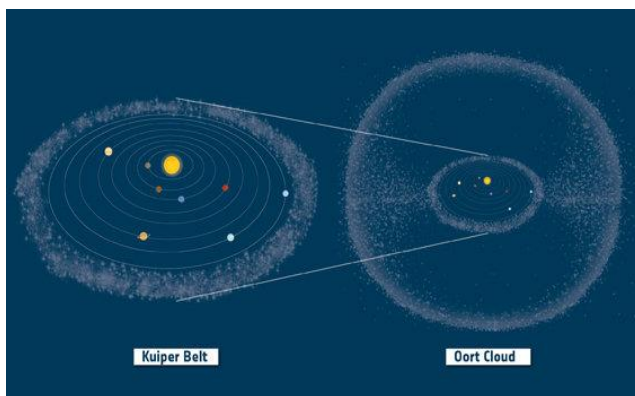
	Raumlängen	Wellenlängen
-21		
-20		
-19	Elektron $10^{-19}$	
-18	Quarks $10^{-18}$	<i>Grenze d. Materie</i>
-17		
-16		↑
-15	fm Atomkern $10^{-15}$	↑
-14		↑
-13		γ-Strahlung
-12	pm	↑
-11		↑
-10	Å Atomdurchmesser $10^{-10}$	↑
-9	nm Viren $10^{-9} - 10^{-8}$	Röntgenstrahlung
-8		UV-Strahlung
-7		sichtbares Licht (380-780 nm)
-6	µm Bakterien $10^{-6} - 10^{-5}$	nahes IR
-5	Protozoen $10^{-5} - 10^{-4}$	mittleres IR
-4		fernes IR
-3	mm Insekten $10^{-4} - 10^{-1}$	↑
-2		↑
-1	Amphibien, Säugetiere $10^{-1} - 10^{+1}$	Mikrowellen
0	m Mensch $1,75 \times 10^0$	↑
1		Schallwellen Radiowellen UKW
2		KW, MW
3	km Dubai Tower $3,2 \times 10^2$	LW ( $10^{+5}$ Hz)
4		Niederfrequenzen v.l.
5		ultra low
6	1000 km	super low
7		extremely low
8		Gravitationswellen
9	1 Mio km Sonne (Durchmesser) $1,4 \times 10^9$	mittleres Frequenzband
10		(Laser-Interferometrie) $10^{+1}$ Hz
11	AE $1,496 \times 10^{12}$ m Abstand Erde – Sonne $1,5 \times 10^{11}$	↑
12	Neptun – Sonne $4,5 \times 10^{12}$	↑
13		↑
14		↑
15	Lj $9,461 \times 10^{15}$ m Solarsystem (Oortsche Wolke) $1,5 \times 10^{15}$	LF $10^{-1}$ Hz
16	Parsec $3,09 \times 10^{16}$ m α-Centauri $3,97 \times 10^{16}$	↑
17		↑
18		VLF $10^{-7}$ Hz
19		(very low frequency)
20		Pulsare
21	Durchmesser Galaxis $1,0 \times 10^{21}$ , Andromeda $1,3 \times 10^{21}$	↑
22	Entfernung Andromeda $2,37 \times 10^{22}$	ULF $10^{-10}$ Hz
23		(ultra low frequency)
24	Superhaufen $1,9 \times 10^{24}$	Quasare
25		↑
26	Universum (Durchmesser) $7,3875 \times 10^{26}$	ELF $10^{-14}$ Hz
27		(extr. low frequency) (Hubble-Band)

Ich habe als Größeneinheit 1m gewählt. Diese Dimension ist nicht zufällig diejenige unserer eigenen Körpergröße, die sich um  $10^0 = 1$  bewegt. Nach der m-Größe orientieren sich die größeren und kleineren Einheiten wie z.B. km und mm. Es ist das menschliche Maß.

Mit dem Faktor 10 wird diese Maßeinheit verkleinert, um in den Mikrokosmos einzudringen, mit dem Faktor 10 wird sie vergrößert, mit ihm eröffnet sich der Makrokosmos. Den Mikrokosmos lernen wir verstehen, wenn wir ihn auf das menschliche Maß vergrößern – so, wie es an dem Beispiel des Wasserstoffatoms veranschaulicht worden ist, wo das Proton auf 1.70m Durchmesser vergrößert wurde, um zu demonstrieren, dass sich das Elektron dann in Staubkorngröße in 40 km Abstand dazu bewegt.

Ebenso können wir den Makrokosmos verstehen, wenn wir ihn auf das menschliche Maß verkleinern:

*Oortsche Wolke*



Unser Sonnensystem können wir uns in ähnlicher Weise vorstellen: Die Sonne ist wieder ein Ballon in ähnlicher Größe (Durchmesser: 1,40m) - dann befindet sich die Erde in Kirschengröße in ca.150m Entfernung, der Mars, noch erheblich kleiner, in 230m Entfernung.

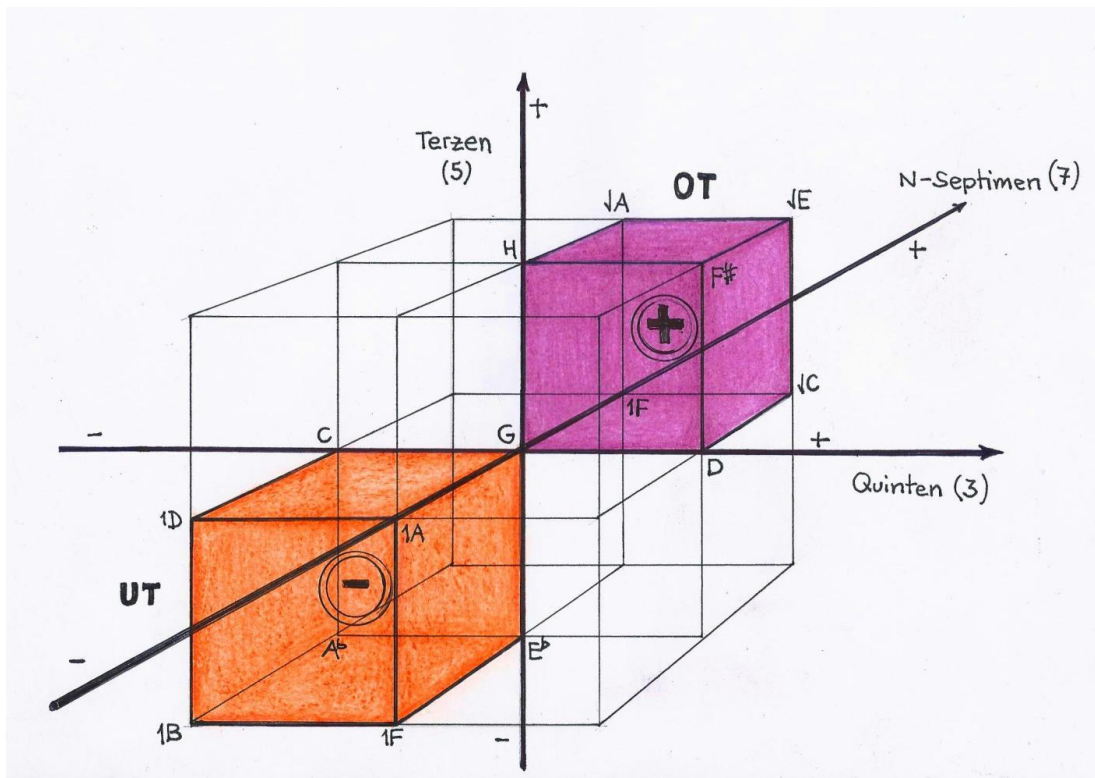
Neptun, der äußerste Planet, wäre bereits 4,5 km entfernt und etwa so groß wie ein Ping-pong-Ball. Daran schließt sich der Kuiper-Gürtel mit seinen Zwergplaneten im Bereich von 6-8 km an, seine Gesteins-

und Staubteilchen reichen bis zu 11km, und um dieses unser Solarsystem schließt sich in 3.300km Entfernung die Oortsche Wolke aus Eis- und Gesteinsbrocken, von der Kometen in Richtung Zentralgestirn abdriften.

In 25-facher Entfernung befindet sich das System von Alpha Centauri A und B mit Proxima Centauri. Einen ähnlichen Abstand hat unser Milchstraßensystem von der benachbarten Andromeda-Galaxis. Wir können sie uns als zwei Suppenteller vorstellen, die 6m voneinander entfernt sind. Etwa eine Million solcher Suppenteller in ähnlichen Abständen bilden die so genannten „Superhaufen“, die in ähnlicher Anzahl und Anordnung, verbunden durch fadenförmige Filamente schließlich unser Universum füllen. (geschätzt über 100 Milliarden Galaxien).

Durch Vergrößerung, bzw. Verkleinerung können wir uns den Raum, in dem wir leben, veranschaulichen. Das Maß erlaubt uns, diesen Raum in Längen zu messen und zu berechnen. Dabei gehen wir aber davon aus, dass es nur Längen von 0 bis Unendlich gibt, also in absoluten Zahlen.

Gibt es negative Längen und damit negative Räume? – So sicher, wie es negative Zahlen gibt. Allein das Koordinatensystem mit dem Schnittpunkt der Koordinaten bei 0 zeigt, dass damit bereits 8 verschiedene Räume eröffnet werden, von denen nur einer (+x, +y, +z) ausschließlich aus positiven Längen besteht. In der Musik entspricht dies dem System der Obertöne. In der entgegengesetzten Richtung finden wir das System der Untertöne mit den Raumkoordinaten (-x, -y, -z), also mit ausschließlich negativen Längen besetzt. In der Musik spielt das keine Rolle: Man kann auf Töne der Untertonreihe Obertonreihen setzen oder umgekehrt auf Töne der Obertonreihe Untertonreihen bilden.



Ob man daraus auf negative Räume und deren Verbindung mit positiven Räumen schließen kann, soll jedoch an anderer Stelle erörtert werden.

## 2. Universelle Größen: Raum und Zeit

Mit der universellen Formel  $E = m \times c^2$  hat Albert Einstein das Wesentliche der uns bekannten Welt beschrieben - die Verknüpfung von Masse und Energie mit einer Konstanten, der Lichtgeschwindigkeit. Die Lichtgeschwindigkeit wird bestimmt von der Zeit, die ein Photon benötigt, um einen Raum zu durchqueren: ihre Parameter sind Raum und Zeit. Die Energie, die dieses Photon hat, kann auf zweierlei Weise gemessen werden. Hat es Wellencharakter, so ist sie abhängig von der Frequenz ( $E = h \times \nu$ ), einer Zeiteinheit, oder der entsprechenden Wellenlänge, einer Raumeinheit. Die Parameter sind auch hier Raum und Zeit. Andererseits kann es wie Masse reagieren, dann hat es kinetische Energie ( $E = \frac{1}{2} m v^2$ ) Da die Masse mit der Energie verknüpft ist, lässt sie sich aus ihr berechnen – und daraus folgt, dass selbst ihre Parameter wiederum Raum und Zeit sind.

Raum und Zeit aber sind veränderlich: Bewegung in Raum und/oder Zeit verändert die Größen um den „Lorentz-Faktor“ ( $\sqrt{1 - v^2/c^2}$ ).

Eine Masse nimmt bei steigender Geschwindigkeit zu – so muss, um sie zu beschleunigen, immer mehr Kraft angewendet werden, und das führt dazu, dass sie niemals Lichtgeschwindigkeit erreichen kann, denn ihre Masse ginge dann gegen unendlich, und ebenso unendlich wäre die Kraft, die nötig wäre, um sie zu bewegen. Photonen dagegen können mit Lichtgeschwindigkeit fliegen, denn sie haben keine Masse.

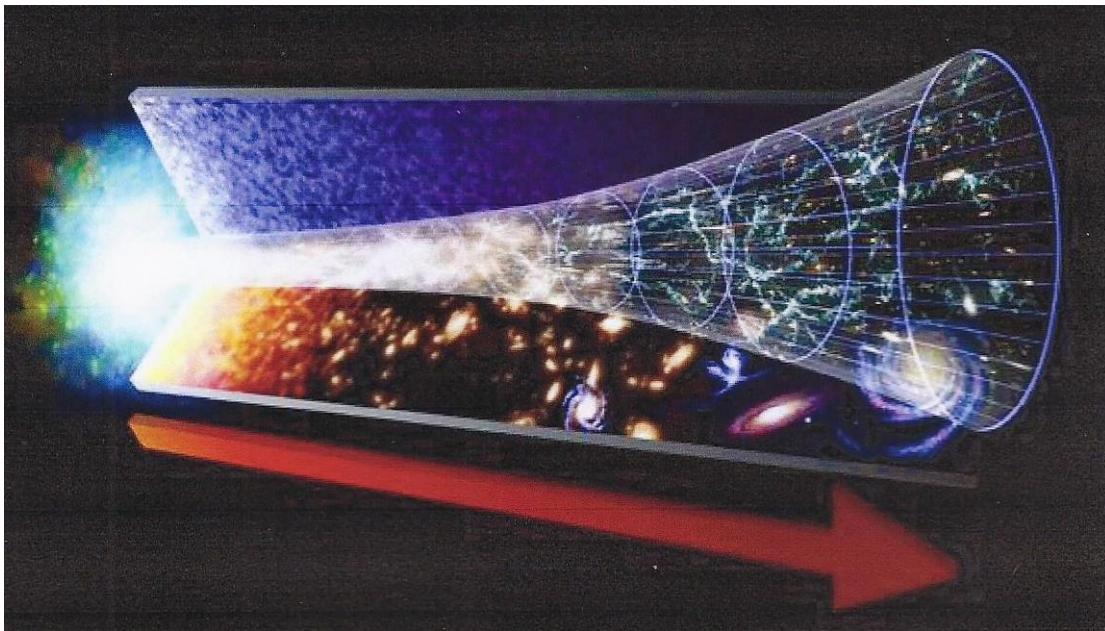
Und: der Raum wird kleiner, wenn die Zeit größer wird. Wir kennen das Beispiel der Uhr, die mit einem Flugzeug um die Erde geflogen wurde: Für sie ist weniger Zeit vergangen als für jene Uhr, die stationär auf der Erde geblieben ist. Hier hat der Lorentz-Faktor die Zeit gedehnt, auch wenn es nur ganz geringfügig war.



$$T = \frac{T_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad L = L_0 \times \sqrt{1 - v^2/c^2}$$

Dies nennt man eine Zeitdilatation; umgekehrt wird der Raum verkleinert (Raumkontraktion). Das zeigt, dass Zeit und Raum keine konstanten Größen sind, sondern von der Bewegung abhängig – konstant bleibt nur die Lichtgeschwindigkeit.

Es ist also Zeit, sich mit der Zeit zu beschäftigen. Wir wollen sie von einem ruhigen Punkt im Raum aus betrachten, ohne Kontraktion oder Dilatation. Und wie beim Raum stellt sich die Frage: Gibt es eine negative Zeit?



*Bild 11: Zeitpfeil*

Wir wissen: Zeit ist eindimensional. Sie kommt aus der Vergangenheit und geht in die Zukunft. Vom Standpunkt der Gegenwart können wir nur die Vergangenheit betrachten, und aus dieser müssen wir schließen: der Zeitstrahl ist gerichtet, er geht nur in eine Richtung. Was wir noch nicht sagen können, ist, dass eine Umkehrung des Zeitstrahls unmöglich sein sollte – dann in der ersten Dimension sind Bewegungen in beide Richtungen möglich: vorwärts oder zurück.

Über eine Umkehr des Zeitpfeils wird noch immer heftig debattiert; die Frage ist, wann eine Umkehrung des Zeitpfeils zu erwarten sein könnte: Schon 1958 hatte der Kosmologe Thomas Gold vermutet, dass bei einem Stillstand der Beschleunigung sich die Zeit umdrehen würde und das Universum bei umgekehrter Beschleunigung wieder in sich zusammenstürzen würde. Auch Prof. Andrej Linde und seine Mitarbeiter an der Stanford University halten es nicht für ausgeschlossen, dass unser Universum seine größte Ausdehnung in absehbarer Zeit erreichen wird und die Energiedichte dann kleiner 1 wird – mit den gleichen Folgen. Nur, dass erst dann die Zeit sich umkehrt und von neuem beginnt.

Das menschliche Maß aber lässt nur einen Anbeginn der Zeit zu, und den können wir auf die Geburt unseres Universums festlegen: Die Zeit beginnt mit dem Urknall, die allererste Zeitspanne ist die Planck-Zeit, eine unvorstellbar kurze Zeitspanne:  $10^{-43}$  Sekunden. Weil vorher nichts war, beschäftigt sich die Physik nicht damit, es gibt also keine negative Zeit vor dem Urknall, wir beginnen nicht bei 0, sondern ein Zeit-Quantum darauf, bei der Planck-Zeit.

## Zeit $10^{\text{hoch}}$ in Sekunden

....		
-43	Planck-Zeit	
....		
-35	Beginn der Inflationsphase	
-34		
-33	Ende der Inflationsphase	
....		
-27		
-26		
-25		
-24		
-23		
-22		
-21		
-20	Licht passiert Durchmesser eines Protons ( $1,7 \text{ fm} = 10^{-15} \text{ m}$ )	
-19		
-18		
-17		
-16		
-15	Femtosekunde (Licht durchquert 300 nm)	
-14		
-13		
-12	Picosekunde (Licht durchquert 0,3 mm)	
-11		
-10		
-9	Nanosekunde (Licht durchquert 30 cm)	
-8		
-7		
-6	Mikrosekunde (Licht durchquert 300 m)	
-5		
-4		
-3	Millisekunde (Licht durchquert 300 km)	
-2		
-1		
0	<hr/>	
0	1 Sekunde / 1 Lichtsekunde - Licht durchquert 300.000 km ( $= 3 \times 10^8 \text{ m}$ )	
1	10 Sekunden	
2	1,6 Minuten	
3	16,6 Minuten	(Licht durchquert 2x Abstand zur Sonne)
4	2 Std. 47 Minuten	
5	1 Tag, 3 Std. 47 Minuten	(Licht durchquert 30 Mrd. km)
6	11 ½ Tage	
7	3 Monate, 26 Tage	
8	3 Jahre, 2 Monate	(Licht vom nächsten Fixstern)
9	31 Jahre, 8 Monate	$10^0 - 10^{9,3} \text{ sek} = \text{Menschenleben}$
10	317 Jahre	
11	3.171 Jahre	vor $10^{11} \text{ sek} = \text{Beginn der Kulturgeschichte}$
12	31.709 Jahre	(Licht durchquert 1/3 Galaxis)
13	317.090 Jahre	vor $10^{13} - 10^{14} \text{ sek} = \text{erste Menschen}$
14	3,17 Mio. Jahre	(Licht von der Andromeda-Gal.)
15	31,7 Mio Jahre	
16	317,1 Mio Jahre	vor $10^{16} \text{ sek} = \text{erstes Leben entsteht}$
17	3,171 Milliarden Jahre	vor $10^{17} \text{ sek} = \text{Planeten entstehen (Licht vom Rand d.U)}$
<hr/>		
G E G E N W A R T		
18	31,709 Milliarden Jahre	(vor $10^{18} \text{ sek}$ : vor dem Urknall. 13,8 Mrd Jahre)
19	317,1 Milliarden Jahre	(in $10^{19} \text{ sek}$ : Universum besteht nicht mehr)

Der Zeitinhalt einer einzigen Sekunde ist, wenn man von der Planck-Zeit ausgeht, doch sehr beträchtlich. Tatsächlich hat sich in der ersten Sekunde des Universums das Wesentliche ereignet: es hat sich in der Inflationsphase aufgebläht, und Quanten-Fluktuation hat die Voraussetzungen für die ungleiche Verteilung der Materie und die weitere Ausdehnung des Universums geschaffen.

Welches ist das menschliche Maß der Zeit? Wir wissen, dass die gefühlte Zeit sehr unterschiedlich sein kann. Auch die erlebte Zeit kann sich ausdehnen oder zusammenziehen, Tage können sehr kurz oder auch sehr lang sein. Die objektivste Zeiteinteilung dürften doch die Sekunden sein: man kann sie zählen, mit dem Herzschlag vergleichen – zumindest sind wir hier in einer Zeit-Dimension, die wir weitaus besser abschätzen können als kleinere oder größere. Nicht umsonst werden die Taktschläge in der Musik mit dem Metronom gezählt: langsamere Tempi haben 60 Schläge in der Minute, das entspricht genau der Sekunde, mittlere Tempi 80 Schläge in der Minute, das entspricht dem mittleren Pulsschlag, und rasche Tempi 120 Schläge, wie die Pulsschläge beim Laufen – oder 2 Schläge pro Sekunde.

Wir können alles in Sekunden messen: eine Stunde hat 3.600 Sekunden, ein Jahr bereits 31,6 Millionen Sekunden, und ein Menschenleben 2 bis 3 Milliarden Sekunden. Das sind noch überschaubare Zahlen. Von dort aus kommen wir schnell zu den kosmischen Größen, ein paar Jahrtausende können wir uns noch vorstellen, doch das Millionenfache dessen wohl nicht mehr - wie das Alter unseres Universums: 13,81 Milliarden Jahre.

Hier stellt sich von neuem die Frage nach der Endlichkeit der Zeit, ihrer möglichen Umkehr oder gar der Nichtexistenz. Wir wollen vom menschlichen Maß ausgehen: Unser Leben hat einen Anfang und auch ein Ende. Und die Zeit geht weiter.

### **3. Wellen – Verbindung von Raum und Zeit - Sehen und Hören**

Unsere Sinnesorgane zur Aufnahme von Raum und Zeit sind Augen und Ohren. Mit ihnen können wir uns ein Bild von der Welt machen, Tastorgane dienen zur Bestätigung des Aufgenommenen. Die Informationen von Raum und Zeit werden in Form von Wellen ausgesandt: in Licht- und Schallwellen.

Licht und Schallwellen verbinden Zeit und Raum: sie werden in Raumeinheiten gemessen (Wellenlängen) und/oder in umgekehrten Zeiteinheiten (Frequenzen,  $1/T$ ). Aus der Umkehrung der Zeiteinheit ergibt sich, dass einer Verkürzung der Wellenlänge eine Erhöhung der Frequenz gegenübersteht:

*(S. Tabelle: Wellenlänge und Frequenzen)*

Dabei ist der Bereich, der uns für die Aufnahme elektromagnetischer Wellen zur Verfügung steht, denkbar klein: es ist das Lichtfenster in einem Wellenlängenbereich von 780 - 380 nm (zwischen  $10^{14}$  und  $10^{15}$  Hz). Doch dieser Bereich genügt, um das sichtbare Licht und seine Farben, die es zusammensetzen, in ihrer Reflektion zu erkennen. Er macht uns das Sehen überhaupt möglich. Welche Farben wir sehen, ist ein neuronaler Prozess, der bei Säugetieren und anderen Tierarten durchaus unterschiedlich sein kann. Auch das Sichtfenster kann verschoben sein, wie es bei nachtaktiven Tieren der Fall ist: Sie können im nahen Infrarotbereich noch sehen.

Weil die Farben im Lichtspektrum ineinander übergehen, ist es sehr schwierig, Farben ihrer Wellenlänge entsprechend genau zu charakterisieren, man kann sie nur mit Geräten messen.



# Wellenlängen $10^{\text{hoch}}$ in m und Frequenzen

$\lambda$	Gravitationsw.	el.magn.Welle	Größenvergleich	Schallwelle	Frequenz	
-22					$10^{+30}$ Hz	
-21						
-20						
-19					$10^{+27}$ Hz	
-18	----- Grenze d. Materie -----				$10^{+26}$ Hz	
-17						
-16					$10^{+24}$ Hz	
-15	fm					
-14		Höhenstrahlung				
-13				1ZHz	$10^{+21}$ Hz	
-12	pm	$\gamma$ -Strahlung				
-11						
-10	Å		(Atomdurchmesser $10^{-10}$ )	1 EHz	$10^{+18}$ Hz	
-9	nm	Röntgenstrahlung				
-8		UV-Strahlung				
-7		sichtbares Licht (380-780 nm)		1PHz	$10^{+15}$ Hz	
-6	$\mu$ m	nahes IR	(Bakterien $10^{-6} - 10^{-5}$ )			
-5		mittleres IR				
-4		fernes IR		1THz	$10^{+12}$ Hz	
-3	mm		(Insekten $10^{-4} - 10^{-1}$ )		$10^{+11}$ Hz	
-2				Ultraschall		
-1		Mikrowellen	(Amphibien, Säugetiere $10^{-1}-10^{+1}$ )	1 GigaHz		
0	m		(Mensch $1,75 \times 10^0$ )	↑	$10^{+8}$ Hz	
1		Radiowellen UKW (100 MHz)		Schallwellen		
2		KW,MW (1, 10 MHz)		Infraschall	1 MegaHz	
3	km	HF LW (100 kHz)			$10^{+5}$ Hz	
4		Niederfrequenzen very low	(Mount Everest $0,9 \times 10^4$ )			
5		ultra low			1 KiloHz	
6	1000 km	super low				
7		extremely low	(Erddurchmesser $1,27 \times 10^7$ )		↑	
8		Gravitationswellen			1 Hz ( $10^0$ )	
9	1 Mio km	mittleres Frequenzband	(Sonne (Durchmesser) $1,4 \times 10^9$ )		↑	
10					$10^{-2}$ Hz	
11	AE $1,496 \times 10^{12}$ m		(Abstand Erde – Sonne $1,5 \times 10^{11}$ )		↑	
12			(Neptun – Sonne $4,5 \times 10^{12}$ )		↑	
13					$10^{-6}$ Hz	
14					↑	
15	Lj $9,461 \times 10^{15}$ m	Low Frequency			$10^{-8}$ Hz	
16	Parsec $3,09 \times 10^{16}$ m		( $\alpha$ -Centauri $3,97 \times 10^{16}$ )		↑	
17					↑	
18		Very Low Frequency			$10^{-11}$ Hz	
19						
20			(Pulsare)			
21			(Durchmesser Galaxis $1,0 \times 10^{21}$ )		↑	
22		Ultra Low Frequency	(Entfernung Andromeda $2,37 \times 10^2$ )		$10^{-15}$ Hz	
23						
24			(Quasare)			
25					↑	
26	----- Extreme Low Frequency -----				(Universum $7,3875 \times 10^{26}$ )	$10^{-19}$ Hz
27			(Hubble-Band)			

Anders ist dies beim Hören. Beim Hören allerdings handelt es sich nicht um die Schwingungen einer Welle senkrecht zu ihrer Fortpflanzungsrichtung, sondern um die Schwingungen von Teilchen in ihrer Fortpflanzungsrichtung. Sie können sich nicht im leeren Raum fortpflanzen, sie benötigen eine Materiedichte dazu, die von Gasen und Flüssigkeiten bis zum dichtesten Material wie Diamanten reicht. In diesem Material ist die Fortpflanzungsgeschwindigkeit – die Schallgeschwindigkeit – am größten. In der Luft beträgt sie bei 20<sup>0</sup> und mittlerer Luftfeuchtigkeit 343 m/sek., ist also um fast 1 Million Mal kleiner als die Geschwindigkeit einer elektromagnetischen Welle.

Dafür ist aber unser Gehör bestens ausgerüstet, Geräusche auseinander zu halten und zu identifizieren, und besonders Tonhöhen lassen sich eindeutig festlegen. Es sind allerdings nicht die Tonhöhen, die wir erkennen, sondern der Unterschied von Tonhöhen in Form des Verhältnisses ihrer Frequenzen zueinander:

Ein Oktavton hat die doppelte Frequenz des Grundtons, ihr Schwingungsverhältnis ist 2:1, und das ist selbst für musikalisch Ungeschulte leicht zu erkennen. Das nächste einfache Schwingungsverhältnis ist 3:2, eine Quinte. Sie wird zum Stimmen von Streichinstrumenten benutzt. Außerdem taucht sie gut hörbar als Oberton der Grundschiwingung der Saite auf.

Neuronale Prozesse im Gehirn machen es nun möglich, bis zu 24 und mehr solcher Schwingungsverhältnisse zu erfassen. Unsere westlich-abendländische Musik hat mit ihren 12 Intervallen also noch längst nicht alle ihre Möglichkeiten genutzt. Und die gleichstufig temperierte Tonskala mit ihren angepassten (temperierten) Tonstufen bietet nur annähernd richtige Intervalle, die aber entsprechend der Schwingungsverhältnisse „zurecht gehört“ werden:

C	C#	D	E <sup>b</sup>	E	F	F#	G	A <sup>b</sup>	A	B	H	C
1/1	16/15	9/8	6/5	5/4	4/3	7/5	3/2	8/5	5/3	9/5	15/8	2/1

Auch die Wellenlängen, die sich den Schallwellen zuordnen lassen, kommen in erstaunlicher Weise dem menschlichen Maß entgegen. Sie sind wegen ihrer Abhängigkeit von Materie relativ groß und bewegen sich in unserem Hörbereich zwischen wenigen cm und einigen Metern.

Hörbereich				
Oktaven in 2 <sup>n</sup> Hz		Frequenz	Wellenlänge	
-1		0,5 Hz	686 m	
0		1 Hz	343 m	
1		2 Hz	171,5m	
2		4 Hz	86 m	
3		8 Hz	43 m	Infraschall
4	Orgel	16 Hz	21,4 m	tiefste Frequenz, die als Ton empfunden wird
		27,5 Hz	12,5 m	tiefster Ton am Klavier (A)
5	32F	32 Hz	10,2 m	
		41 Hz	8,3 m	tiefster Ton am Kontrabass
6	16F	64 Hz	5,3 m	
		68 Hz	5,0 m	tiefster Ton der menschlichen Stimme (C)
7	8F	128 Hz	2,68 m	
8	4F	256 Hz	1,34 m	Sprachbereich tief
		440 Hz	78 cm	----Kammerton---
9	2F	512 Hz	67 cm	Sprachbereich hoch
10	1F	1024 Hz	33 cm	
		1090 Hz	31,5cm	höchster Ton der menschlichen Stimme (c")
11		2048 Hz	16,7 cm	
		3520 Hz	9,7 cm	höchster Ton am Klavier
12		4096 Hz	8,4 cm	
13		8192 Hz	4,2 cm	Auflösung des Tonhöhenerkennens
14		16.384 Hz	2,1 cm	
		20.000 Hz	1,7 cm	obere Grenze des Hörbereichs
15		32.768 Hz	1,04cm	Ultraschall

Die Wellenlängen von Tönen, die wir hören können, entsprechen ziemlich genau den Körperlängen der Säugetiere: vom Pottwal mit etwa 20m bis zur Hausmaus mit 5 cm. Auch ihr Hörbereich ist der Körperlänge angepasst, und ebenso die Töne, die sie von sich geben. Walgesänge umfassen einen großen Tonbereich, der sehr tief nach unten gehen kann, und die Hausmaus piepst in hohen Tönen. Wer einen Hund hat, weiß, dass Hunde Töne hören können, die über unseren Hörbereich hinausgehen, und die kleine Fledermaus orientiert sich durch Schall-Ortung im Ultraschall-Bereich.

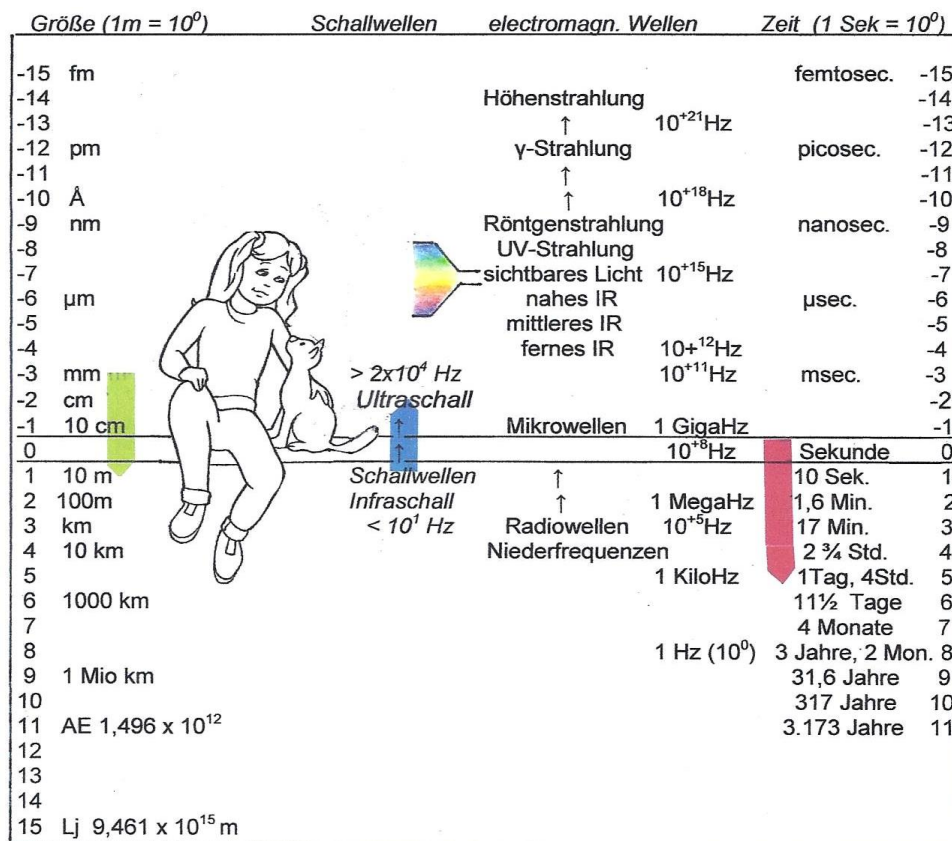
Wir Menschen nehmen einen Platz in der Mitte ein, und in diesem mittleren Tonbereich sind die Tonhöhen am besten zu unterscheiden. Der Raum für Musik umfasst 7 – 8 Oktaven und bietet unseren Ohren die meisten Klangmöglichkeiten.

#### 4. Das menschliche Maß in Zeit und Raum

Seit er denken kann, versucht der Mensch, die Natur, der er gegenübersteht zu erfassen, um damit seinen Platz in der Welt zu finden. In der Welt der Naturwissenschaft sind wir dabei, die Grenzen auszuloten – ob wir sie jemals werden überschreiten können, sei dahingestellt. Es sind viele Modelle entwickelt worden, um die Unendlichkeit der Räume zu beschreiben und über ein Vor- oder Nach der Zeit nachzudenken, und es ist nicht abzusehen, ob sich eines davon einmal als brauchbar erweisen wird.

Nach dem Bild der Physik gibt es ganz klar einen Anfang, eine Singularität, von der Raum und Zeit ihren Ausgang genommen haben. Über ein Ende kann man noch keine Aussagen machen, also müssen wir von einer Unendlichkeit ausgehen.

Nach heutiger Sichtweise bewegen wir uns also zwischen 0 und Unendlich. Wenn wir die Größen- und Zeitvergleiche heranziehen, bewegen wir Menschen uns hinsichtlich Raum- und Zeitgrößen genau in der Mitte – und wenn wir die Zeit in Sekunden und den Raum in Metern messen, so haben wir damit einen Maßstab gefunden, der auch genau diesem menschlichen Maß entspricht.



Das menschliche Maß in Zeit und Raum



Wir befinden uns mit unserem menschlichen Maß in der Größenordnung  $10^0 = 1$ . Eine Ausnahme davon macht das Sichtfenster in einem Größenbereich von  $10^{-7}$  und einem Zeitbereich  $1/T$  (also einem Frequenzbereich) von  $10^{14}$  bis  $10^{15}$ . Hier bestimmt das Licht mit seiner Geschwindigkeit  $c$  (in m/sec.) als wichtigste Konstante der Physik die Größen von Zeit und Raum.

Und diese Größen gehen von 0 bis Unendlich. In dieser Reihe nehmen wir aber mit unserem Maß  $10^0 = 1$  einen besonderen Platz ein: Nur die 1 stellt die Verbindung zwischen 0 und Unendlich her – mit Vorbehalt,

$$1 / 0 = \infty ; \quad 1 / \infty = 0 ; \quad \rightarrow \quad 0 \times \infty = 1 ;$$

weil wir nämlich die Einschränkung machen müssen, dass es sich bei 0 und  $\infty$  mathematisch nur um Näherungswerte handelt und das Gleichheitszeichen deshalb nur eine Annäherung darstellt. Für eine Zahlenreihe mit allen Zahlen zwischen 0 und Unendlich gilt jedoch sicher:

$$0 < 1 < \infty$$

und für ganze Zahlen  $N$ :  $0 < 1 < N < \infty$ ,

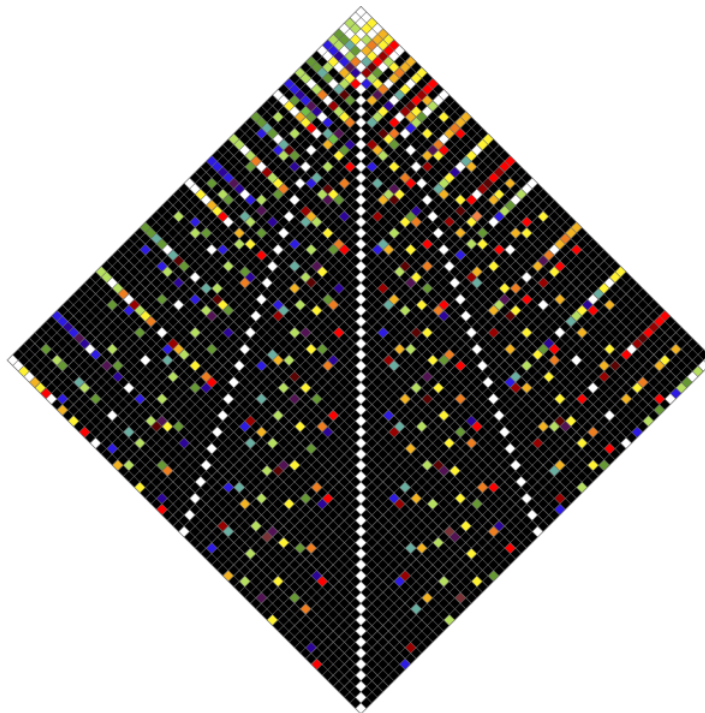
Entnimmt man der Reihe der ganzen Zahlen  $N$  die Zahlen  $a$  und  $b$ , wobei  $b - a \geq 1$  und  $b / a = P$  (Proportion), so ist

$$0 < 1 / P < 1 < 1 \times P < \infty$$

oder:  $0 < a / b < 1 < b / a < \infty$

Und dies kommt uns bereits vertraut vor: es ist nichts anderes als das Lambdoma, zu Recht das Symbol der Harmonik.

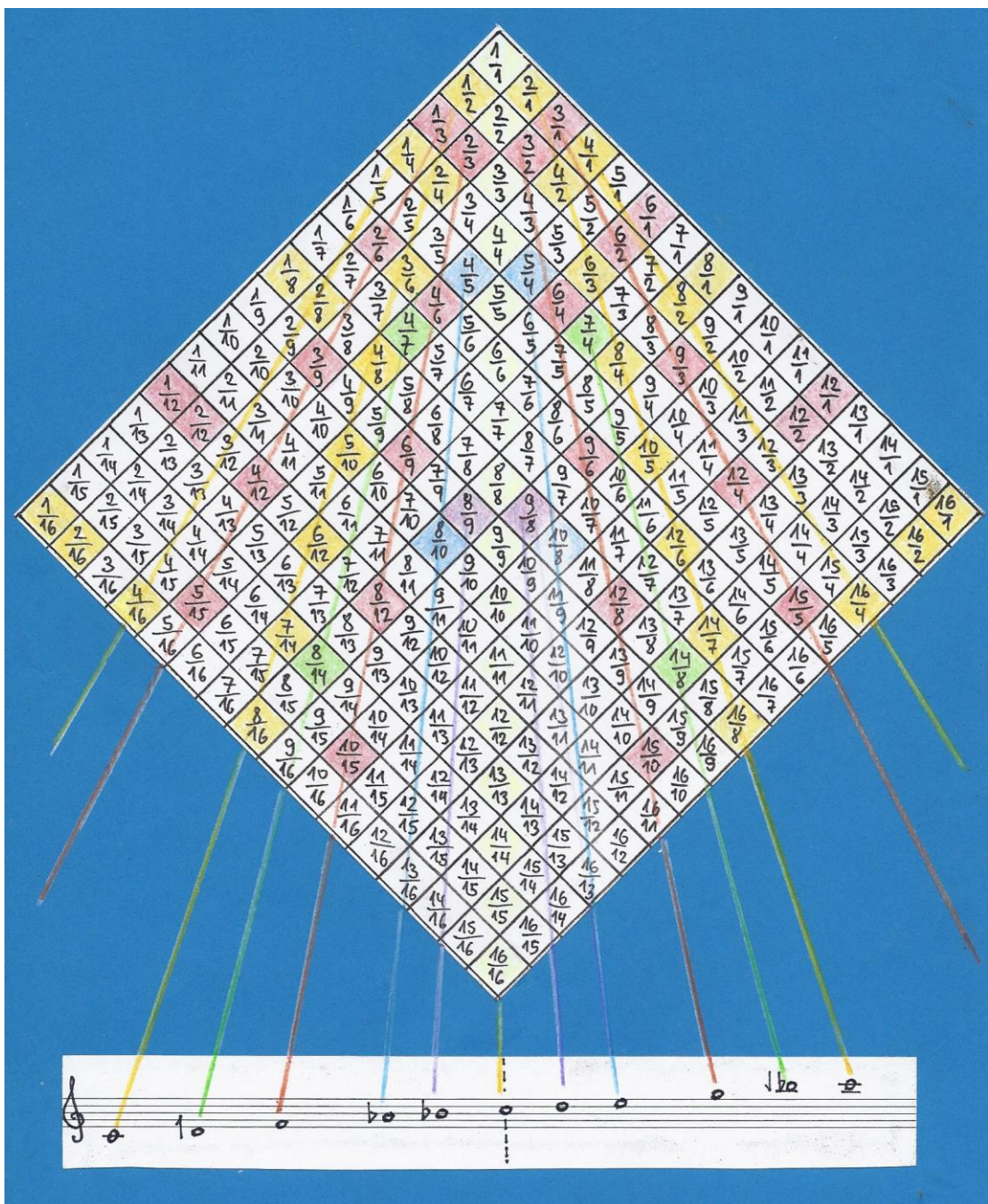
Es enthält als Proportionen alle Zahlen zwischen 0 und Unendlich, und die Zahl 1 teilt diese in reelle Zahlen zwischen 0 und 1, die also kleiner sind als 1 und in reelle Zahlen zwischen 1 und Unendlich, also reelle Zahlen, die größer sind als 1.



*Lambdoma*

Proportionen sind reine Zahlenverhältnisse ohne Einheitsangaben, sie können Größen- oder Gewichtsverhältnisse sein, Wellenlängen- oder Frequenzverhältnisse und andere. Auf Schallwellen, bzw. Schallfrequenzverhältnisse bezogen stellen sie musikalische Intervalle dar; die 1, die Proportion gleicher Größen, symbolisiert dabei den Einklang - die „Harmonia“.

Alle Proportionen rechts von 1 sind Obertöne und sind größer als 1 – aus ihnen bildet sich beispielsweise der Dur-Dreiklang. Wir befinden uns hier im Dur-Bereich. Proportionen, die kleiner als 1 sind, sind Untertöne. Weil sie nicht hörbar sind, müssen sie oktaviert werden, so entsteht beispielsweise aus der Umkehrung der Quinte  $3:2$  die Quarte  $4:3$  ( $2/3 \times 2/1$ ) oder aus der Umkehrung der großen Terz  $5/4$  die kleine Sext  $8/5$  ( $4/5 \times 2/1$ ). Mit dem Einklang, bzw. der Oktav bilden sie einen Moll-Dreiklang. Tatsächlich entsprechen die Intervallproportionen auf der linken Seite des Lambdomas dem Moll-Bereich. Oder: Moll ist die Umkehrung von Dur, bzw. Dur die Umkehrung von Moll.



Lambdoma, Unter- und Obertöne, Gleichtonlinien, Dur und Moll

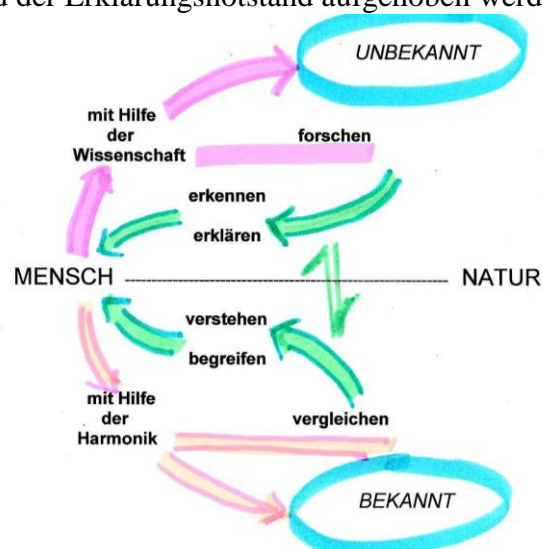
Über das Lambdoma in seiner Einfachheit und mit seinen Aussagen hat man sich schon viele Gedanken gemacht, besonders über die Zahl 1. Ist sie menschlich oder göttlich? Wenn wir an die Größenvielfalt im Mikro- und im Makrokosmos denken, so liegt es nahe, sie, die Zahl 1 als das menschliche Maß zu betrachten. Denn wir Menschen sind die Beobachter der Natur und können sie nur über das menschliche Maß erkennen und begreifen. Was liegt hier näher als die Zahl 1? Wir hören im Einklang die absolute Harmonie. Je weiter wir uns mit Intervallgrößen entfernen, desto mehr Spannung entsteht. Und dies in beide Richtungen, in Dur und in Moll. Je mehr wir uns dem Einklang wieder nähern - mit Intervallproportionen kleiner ganzer Zahlen, desto stärker wird die Harmonia. Und wie die Gleichtonlinien zeigen, weist sie bis in die Unendlichkeit des Kleinsten und des Größten. Sie hat überall ihre Gültigkeit.

### Ausblick: Aufgaben der Harmonik

Die Wissenschaft dringt forschend ins Unbekannte vor und damit in Bereiche, die nicht sichtbar sind und sich der menschlichen Vorstellungskraft entziehen. Die großartigen Erkenntnisse und Ergebnisse der Forschung können dadurch nur noch unter Experten ausgetauscht werden – die Wissenschaft isoliert sich, es herrscht Erklärungsnotstand.

Harmonik baut auf bekanntem Wissen auf, auf optische und akustische Erfahrungen, die allen Menschen geläufig sind. Harmonik sucht den Ausgleich. Sie vergleicht und kann auf diese Weise neue Erkenntnisse der Wissenschaft auf das menschliche Maß zurückführen, mit dem Ziel, das Unbegreifliche begreifbar und das Unverständliche verstehbar zu machen.

Es ist also auch eine gesellschaftliche Aufgabe, die wir als Harmoniker zu erfüllen haben. Wir müssen nach beiden Seiten offen sein, die neuen Entwicklungen in Wissenschaft und Forschung verfolgen und mit dem harmonikalen Wissen in Verbindung bringen können. Ebenso offen müssen unsere Ohren und Augen für die Entwicklung der Kunst sein. Und schließlich ist es unsere Aufgabe, dieses Wissen zu vermitteln, damit einmal die Isolation der Wissenschaft beendet und der Erklärungsnotstand aufgehoben werden kann.



Und zum Schluss noch ein Gedanke:

Harmonia war in der griechischen Mythologie das gemeinsame Kind von Ares und Aphrodite, dem Gott des Krieges und der Göttin der Liebe. Die entsprechenden römischen Götter waren Mars und Venus, das sind auch die Namen zweier Planeten im inneren Sonnensystem. Und welcher Planet liegt als verbindendes Glied dazwischen?

Es wird unsere wichtigste Aufgabe sein, diesen Planeten zur Harmonia zu machen. Und Harmonia bedeutet Einklang, Einheit, Ebenmäßigkeit, Schönheit....