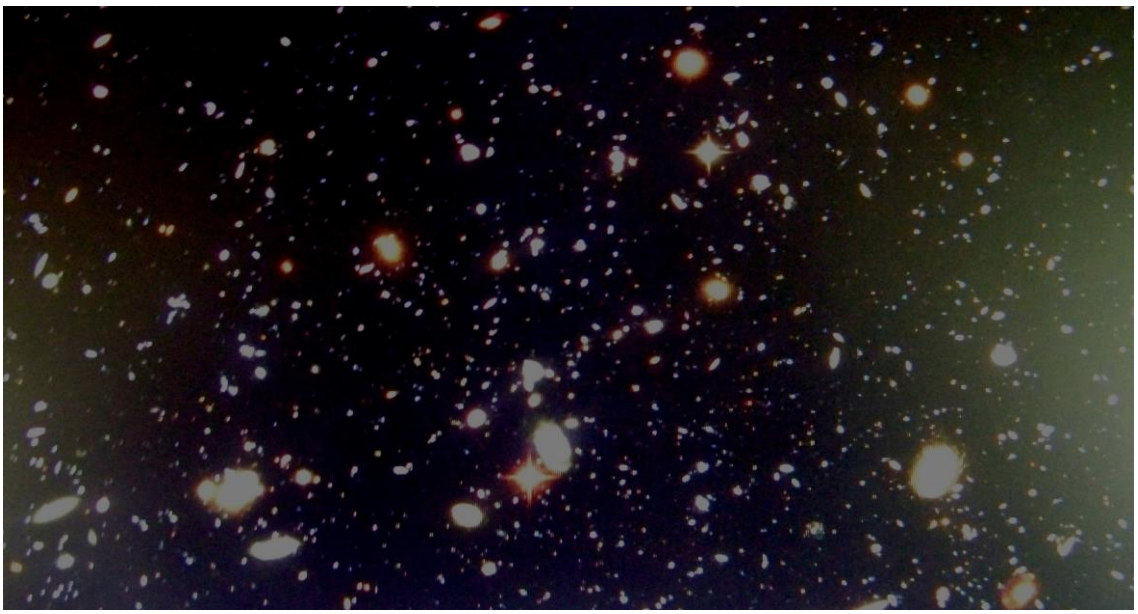
Johannes Kotschy

Musikalische Harmonik im Kosmos

Vortrag beim Harmonik-Symposion Nürnberg, 23.-24.04.2016, Harmonik-Zentrum Deutschland



Vorbemerkung: Wenn wir Musik mit Astronomie miteinander in Verbindung bringen wollen, so ist dies keineswegs ein völlig neues Bemühen: Schon im Altertum standen Musik und Astronomie als Wissenschaft gleichwertig nebeneinander und zählten im Quadrivium der Naturwissenschaften zu den sieben „klassischen" Wissenschaften. Die naturwissenschaftliche Perspektive ist auch mit Sicherheit das verbindende Element in der Gegenwart und wird es auch in Zukunft sein – zu lange hat man Musik einzig und allein als Kunst verstanden und als Produkt des menschlichen Geistes verehrt, als Werk des musikalischen Genius überhöht und mit göttlichen Weihen versehen – und nicht etwa auch als etwas von der Natur Gegebenes betrachtet, das schlicht und einfach den Gesetzen der Natur, der Physik und der Mathematik folgt. Die Kunst, und das sind neben vielen Kriterien vor allem auch Phantasie, Gestaltungswille und Ausdruck von Empfindungen, dient ihr dazu, um sie auf eine höhere, wenn wir so wollen, geistige Stufe zu stellen.

Die Harmonik ist das Bindeglied zwischen Musik und Naturwissenschaft. Unter „Harmonik" verstehen die Musiker das Zusammenklingen, die „Harmonie" - und haben daraus „Harmonielehren" als Gebrauchsanweisungen für den Umgang mit Musik erstellt, Begriffe wie „Sonanz" (Konsonanz und Dissonanz) und „Harmonik" (Disharmonik) mit einbezogen und die Harmonik für sich gepachtet.
Doch „Harmonik" ist ein Begriff, der sich nicht allein auf Musik bezieht, sondern auf alle Bereiche des menschlichen Lebens wie der Wissenschaften ebenso, sofern sie sich ohne Bezugsgrößen (wie Maße und Gewicht etc.) als abstrakte, aber konkrete Verhältnisse darstellen lassen, beispielsweise als Zahlenverhältnisse oder als Zahlen selbst. Ein musikalisches Intervall zum Beispiel ist das Verhältnis der Frequenzen (Anzahl der Schwingungen pro Zeiteinheit) zweier Töne zueinander, ist also eine Verhältniszahl (Quotient) - nichts anderes ist das Verhältnis der Umlaufzeiten zweier ein Zentralgestirn umkreisender Trabanten.

Eine kleine Auswahl aus der Unendlichkeit

Wenn wir uns den nächtlichen Sternenhimmel betrachten, sind wir überwältigt von der Schönheit der strahlenden Sterne und der schwarzen Tiefe des Weltalls. Wir orientieren uns an den bekannten Sternbildern, am großen Wagen (oder großen Bären), am „W" der Kassiopeia, am Wintergestirn des Orion, das jetzt nur noch in den Abendstunden am westlichen Frühlingshimmels steht, an einzelnen Sternen, wie dem hell bläulich strahlenden Sirius, dem Hundsstern oder dem „roten Riesen" Beteigeuze im Orion.

Es sind ein paar Handvoll Sterne, die wir zu Sternbildern oder Tierkreisbildern formen - geformt haben, schon von Anbeginn der Menschheitsgeschichte an. Wir haben sie mit Geschichten und Mystik verbunden und sie zu Kalenderrechnung und Navigation benutzt, lange bevor wir sie als Gestirne, als eigenständige Sonnen erkannt haben. Mit dem freien Auge kann man einige tausend Sterne erkennen, und wenn die Nacht klar ist, auch ein paar Nebel wie die Magellanwolke am südlichen Sternhimmel oder den Andromeda-Nebel, unsere Nachbargalaxie am nördlichen Sternhimmel. Aber es ist eine begrenzte Anzahl.

Mit Fernrohren und Teleskopen haben wir uns den sichtbaren Kosmos erschlossen, und mit jeder Vergrößerung nimmt die Zahl der sichtbaren Sterne zu; wir erkennen, dass es nur Sterne aus unserem galaktischen Nahbereich sind, die wir sehen, in der Milchstraße nur die Sterne eines von uns aus sichtbaren Seitenarms der Galaxis, und müssen erkennen, dass unsere Sicht auf das Weltall selbst mit im Weltraum stationierten Teleskopen wie dem Hubble-Teleskop doch nur recht begrenzt ist. Wir sehen Milliarden von weiteren Galaxien in unterschiedlichen Entwicklungsstufen und wissen, dass jede einzelne Galaxie eine ähnliche ungeheure Vielzahl an Sternen und Sternsystemen aufweist.

In der Musik verhält es sich ähnlich. Es gibt eine unendliche Vielzahl an Tönen. Doch wir benutzen nur einen kleinen Teil davon.
Dieser ist einmal begrenzt durch den Hörbereich. Wie bei sehr guten Lautsprechern bewegt er sich in einem Bereich von ca. 16 bis 25.000 Hertz.
Was bedeutet das? – Es ist die Anzahl von Schwingungen pro Sekunde.
Das ist die Anzahl von akustischen Schwingungen, einer Hin- und Herbewegung von Teilchen in einer Schallwelle in Richtung ihrer Fortpflanzung. Die Schallwelle bewegt sich vorwärts, vom Schallerzeuger zum Schallempfänger, zu unserem Ohr beispielsweise, oder zu einem Mikrophon. Und dazu braucht sie Teilchen, die zum Schwingen angeregt werden. Beim Musikhören ist das Übertragungs-Medium meistens die Luft, die in ihr enthaltenen Gas-Moleküle und auch Wasser- je nach Luftfeuchtigkeit, und die Schallwelle bewegt sich in ihr mit einer Fortpflanzungsgeschwindigkeit von etwa 343m/sek. – in dichter, wasserhaltiger Atmosphäre etwas schneller.

Wenn ich in die Hände klatsche, einmal pro Sekunde, so entsteht ein Geräusch, das sich als Schallwelle mit einem Amplitudenmaximum bei 1 Hertz im Raum ausbreitet. Es ist eine Folge von Impulsen, von Schallwellenpaketen unterschiedlichster Frequenzen, ein Geräusch eben. Wollte man dies als eine „Welle" bezeichnen, so hätte sie eine Frequenz von 1 Hertz und eine Wellenlänge von 343m.
Klatsche ich in der gleichen Zeit zweimal, dreimal, viermal in gleichmäßigen Abstanden in die Hände, erhöht sich die Impulsfolge auf das Doppelte, Dreifache, Vierfache, und die Wellenpakete verdichten sich, die zugeordnete Frequenz erhöht sich entsprechend , und die daraus berechneten Wellenlängen nehmen entsprechend ab – um die Hälfte, auf ein Drittel, auf ein Viertel - doch es entsteht daraus noch kein hörbarer Ton.

Ein hörbarer, sehr tiefer Ton entsteht erst dann, wenn mehr als 16 Impulse pro Sekunde erfolgen. Bei tiefen Saiten auf dem Klavier und dem Kontrabass können wir diese Töne nicht nur hören, sondern auch sehen und fühlen: hier hat der tiefste Ton am Klavier eine Frequenz von 27 Hertz (also 27 Impulsfolgen, bzw. Schwingungen pro Sekunde) und am Kontrabass eine Frequenz von 41 Hertz. Die entsprechenden Schallwellen sind 12,5m, bzw. 8m lang.
Diese können wir hören, aber noch nicht sehr gut einordnen. Gut unterscheiden können wir dagegen die Tonhöhen in einem Bereich, der dem Frequenz- bzw. Wellenlängenbereich der menschlichen Stimme entspricht: Von den tiefen Basstönen (3 - 4m) bis zu höheren Tenor- u. Soprantönen (30cm), und mit den Obertönen bis zu den höchsten Tönen am Klavier (10cm). *)

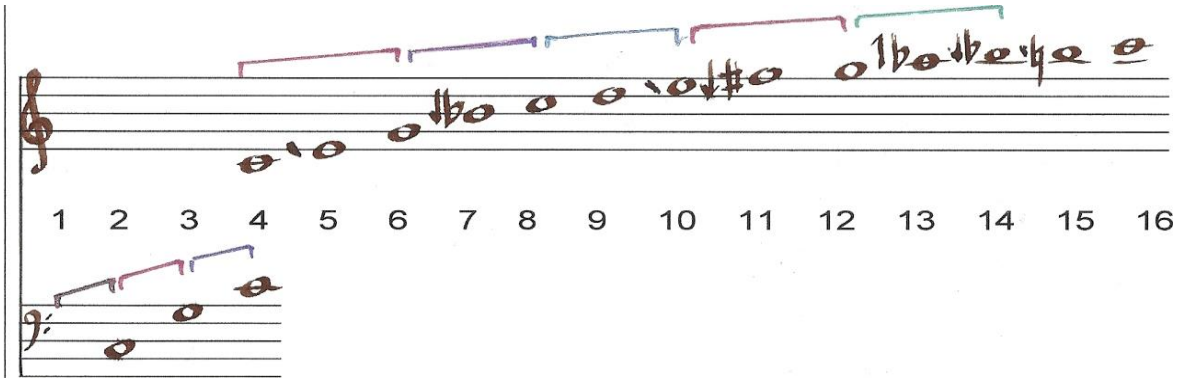
Oktaven in 2^n Hz		Frequenz	Wellenlänge	
-1		0,5 Hz	686 m	
0		1 Hz	343 m	
1		2 Hz	171,5m	
2		4 Hz	86 m	
3		8 Hz	43 m	Infraschall
	Orgel			
4		16 Hz	21,4 m	tiefste Frequenz, die als Ton empfunden wird
		27,5 Hz	12,5 m	tiefster Ton am Klavier (A)
5	32F	32 Hz	10,2 m	
		41 Hz	8,3 m	tiefster Ton am Kontrabass
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

*) Eigenartiger, wunderbarer Weise entsprechen die halben Wellenlängen der gut hörbaren Töne den Verhältnissen der menschlichen Körpergröße: Körperlänge = tiefe Töne, Kopfgröße = hohe Töne, Ohrläppchen = höchste Töne, Ohröffnung: Obertöne)

Wie mit den Sternbildern haben wir uns aber nur eine kleine Schar von Tönen aus dem Kosmos der Töne ausgesucht, an welchen wir uns orientieren. Wir verfügen am Klavier über einen Tonraum von 7 Oktaven, in welchen insgesamt 12 Tonstufen wiederkehren, aus welchen wir jeweils 7 für unsere Tonleitern auswählen. Dies ist unser abendländisches, europäisches Tonsystem.
Und dieses beruht auf rein physikalischen Obertonreihen – und zwar nur auf den ersten 6 Tönen dieser unendlichen Folge von Tönen, die man auch Natur- oder Partialtonreihen nennt. Sie beginnt mit ihrem Grundton (1.Ton, Ton Nr.1), und auf ihn folgen –in immer kleinerem Abstand – seine Obertöne. Im Folgenden sind sie bis zum 16.Ton aufgeführt, sie

erstreckt sich aber weiter ins Unendliche. Ihre Töne untereinander bilden unendlich viele Intervalle.

Naturtonreihe auf C

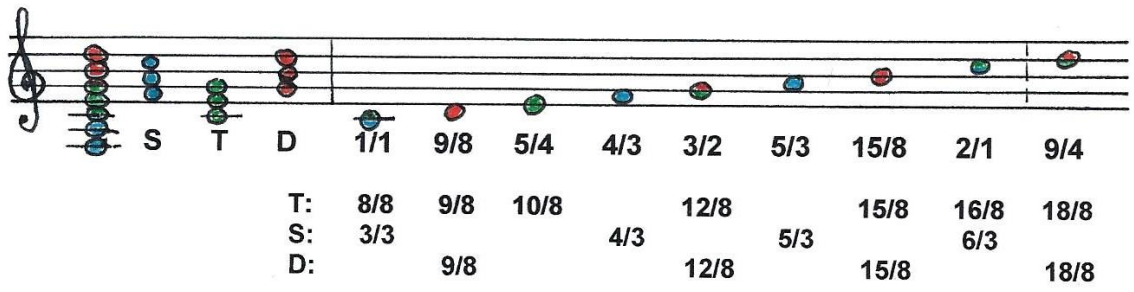


Die Naturtonreihe baut sich auf einem Grundton mit der Frequenz f_0 auf.
Ihre Töne sind ganzzahlige Vielfache dieser Grundfrequenz.
Ihre Intervalle beruhen auf ganzzahligen Proportionen. [1])
Je kleiner diese Proportionszahlen sind, desto größer ist ihre Konsonanz. [2])

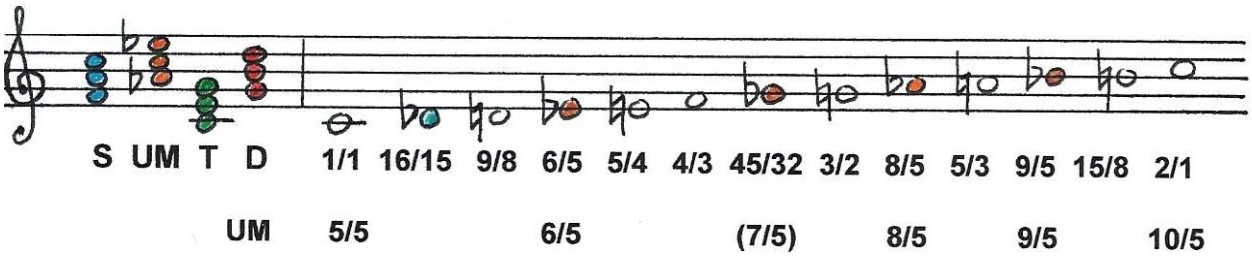
[1]) Diese Proportionen sind im Gesamten im Lambdoma*) enthalten
[2]) Das Erkennen der konsonanten Intervalle im Gehirn beruht auf dem Vergleich der zeitlichen Periodenlängen durch Neuronen (= Frequenz verhältnisse, Proportionen)
*) Lambdoma: Darstellung aller Zahlenproportionen (m/n) zwischen 1 und Unendlich (m/n > 1) und zwischen 0 und 1 (m/n < 1); m,n sind ganze rationale Zahlen.

Jene Intervalle mit der größtmöglichen Konsonanz befinden sich am Anfang der Naturtonreihe: die Oktave 2:1, die Quinte 3:2, die Quarte 4:3, die große Terz 5:4 und die kleine Terz 6:5, gebildet aus den ersten 6 Tönen. (Das pythagoräische System ließ nur die Zahlen 1-4 zu (Tetraktys).)
Diese 6 Töne (mit ihren Oktav-Verdopplungen) bilden den Dur-Dreiklang.
Folgerichtig hatte bereits *Jean-Philippe Rameau* in seinem *„Traité de l'Harmonique Reduite à ses Principes naturels",* veröffentlicht im Jahr 1722, die Naturtonreihe als das Grundprinzip der Harmoniebildung erkannt, was ihm seinerzeit das Ansehen eines „Newton der Musik" einbrachte, während seine Ansichten sogar heute noch von manchen Vertretern der bürgerlichen Musikwissenschaft heftigst abgelehnt werden.

Die Dur-Dreiklänge der Tonika (T) ,ihrer Unterquint (Subdominante S) und ihrer Oberquint (Dominante D) bilden unsere Dur-Tonleiter (Beispiel A).



Fügt man noch den Dreiklang der Unterterz (Mediante M) hinzu, ergibt sich (ergänzt durch die Unterquint der Unterterz) eine 12-stufige chromatische Tonleiter (Beispiel B).



Aus den Zahlenfolgen erkennt man, dass die Primzahlen 7, 11 und 13 umgangen werden.*) Sie kommen bei Verwendung der Zahlen 1-6 natürlich noch nicht vor. Doch für den Vergleich musikalischer Proportionen mit den Zahlenverhältnissen im Kosmos sind sie unumgänglich.

*) An Stelle der ungünstigen Proportion 45/32 (Tritonus – „Diabolus in Musica“) könnte das wohlklingende Intervall 7/5 stehen. Intervallproportionen, die diese Primzahl und alle weiteren enthalten, nennt man ekmelische Intervalle. (ek melos = außerhalb des Melos)

Harmonie des Weltalls?

Schon seit Jahrtausenden hat man Versucht, die Harmonie der Sphären, des Himmels und der Gestirne mit Musik in Verbindung zu bringen. Und weil Musik auf einmal festgefahrenen Tonskalen besteht, wird auch heute noch ausschließlich die gebräuchliche, auf 12 gleichen Halbtonstufen beruhende abendländische Tonskala zu astronomischen Beobachtungen und Berechnungen herangezogen.
Während astronomische Berechnungen äußerst exakt sind, sind die musikalischen Vergleichswerte dagegen höchst ungenau. Deswegen werden im Folgenden zur genaueren Darstellung der harmonikalen Verhältnisse im Weltraum die Intervalle der Naturtonreihe mit einbezogen. Im Grunde können alle Proportionen mit ganzen Zahlen herangezogen werden, also unendlich viele, wie es auch den Verhältnissen im Kosmos entspricht. Handelt es sich aber um Verhältnisse kleiner ganzer Zahlen, dann kann man tatsächlich von einer Harmonik im Kosmos sprechen.

Die Harmonie der Welt

Apokryphen:
„Gott hat die Welt geordnet nach Maß, Zahl und Gewicht“

Marin Mersenne (1588-1648) *„Traité de l'Harmonie universelle“* –
„In der ganzen Arithmetik gibt es nichts Nützlicheres als die Zahlenverhältnisse der Musik, sie ist der bezaubernde Teil der Mathematik.“

Johannes Kepler (1571-1630)
„Die Geometrie ist einzig und ewig, ein Widerschein aus dem Geiste Gottes“

Es gibt eine Verbindung zwischen
Geometrie,
Kosmologie,
Astrologie,
musikalischer Harmonik.
= musica universalis
der Klang der Sphären

Paul Hindemith: Die Harmonie der Welt, Oper (1954), Symphonie (1957)
„Die drei Sätze der Symphonie sind konzertmäßig verarbeitete Musikstücke aus einer Oper. Diese handelt vom Leben und Wirken Johannes Keplers, der ihn fördernden oder hindernden Zeitgenossen und der Suche nach der Harmonie, die unzweifelhaft das Universum regiert.“(Paul Hindemith)
Gustav Holst: Die Planeten (1917)

Diese Verbindung von astronomischer Forschung und Musik zu finden hatten schon die Pythagoräer vor mehr als 2000 Jahren und in der Neuzeit Johannes Kepler (1571-1630, „Harmonices Mundi“) versucht, und auch in der Musik gab es Annäherungsversuche, beispielsweise durch Paul Hindemith (Kepler-Oper „Die Harmonie der Welt“, 1954 und Gustav Holst („Die Planeten“, 1917).

Ebenfalls einen Versuch, das Universum hörbar zu machen, hat in den 80er Jahren Hans Cousto (kurz: “Cousto“) mit seiner „kosmischen Oktave“ **) unternommen. Dazu verwendete er die so genannte „Sonifikation“, bei der die Umlaufzeiten der Planeten in hörbare Töne umgerechnet werden. Der Vorgang ist einfach: die Zeit, die ein Planet für einen Umlauf benötigt, wird mit einer akustischen Grundschwingung gleichgesetzt, die man nur so lange oktavieren muss, bis ein hörbarer Ton entsteht.

**) Cousto: „Die kosmische Oktave – Der Weg zum universellen Einklang“. Synthesis-Verlag, Essen, 1984

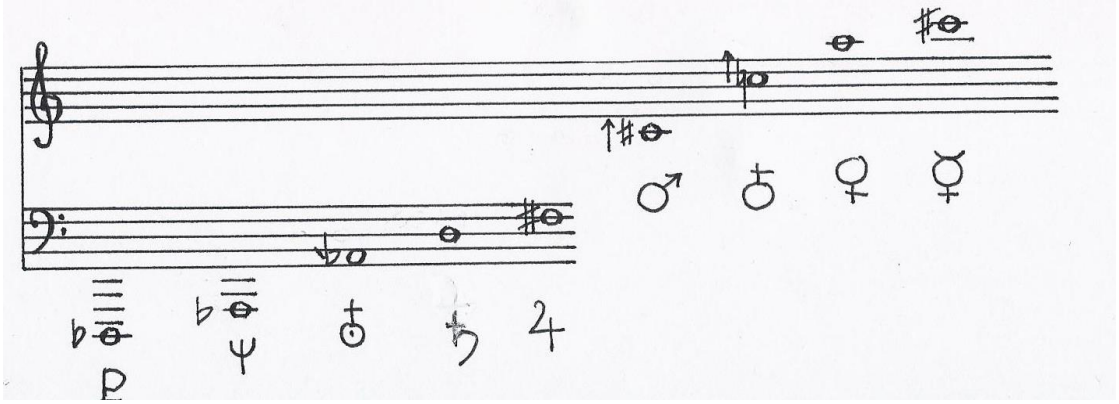
Doch die Ergebnisse sind ernüchternd: Der kosmische Klang ist keineswegs harmonisch. Würde die man die Planeten unseres Sonnensystems im Zusammenklang hören, so wäre das kosmische Konzert sehr langweilig und würde sehr verstimmt klingen, weil einige „Planetentöne“ recht nah beieinander liegen. Und auch die anderen Töne, die zur Intervallbildung herangezogen werden könnten, bilden nur wenig schön klingende Intervalle.

Sonifikation nach Hans Cousto, berechnet aus den oktavierten Umlaufzeiten

	bezogen auf einen Grundton 1/1, 0 Cent			bezogen auf die Erde 1/1, 0 Cent		
	Cent	Proportion	Ton	Cent	Proportion	Ton
			imaginärer Grundton C			
Merkur	117,5	15/14	C#	64,5	27/26	C≠
Venus	80,4	5/3	A	841	13/8	A^b
Erde	52,9	33/32	C≠	0	1/1	C
Mars	153,3	23/21 (11/10)	C#≠	106,3	17/16	C#
Jupiter	571	89/64 (45/32)	F#	518	27/20	F
Saturn	196,3	28/25	D	143,3	25/23	C#≠
Uranus	781,9	11/7	A^b	729	32/21	G
Neptun	815,7	8/5	A^b	762,7	14/9	G≠
Pluto	105	17/16	C#	52,0	33/32	C≠

Anm.:Tonhöhen (in Cent) und in Proportionszahlen, Gesamtumfang: 2 Oktaven + Quarte (2874 C), Gesamtintervallverhältnis: 34799/14336

Eine große Enttäuschung: Insgesamt ergibt sich nur eine planetarische Kakophonie aus missgestimmten Tönen.



Allerdings: Resonanzen im Bereich der Töne C und As deuten sich an. Sind etwa Oktaven bevorzugte Intervalle im Reich der Planeten?

Bahn-Resonanzen im Sonnensystem

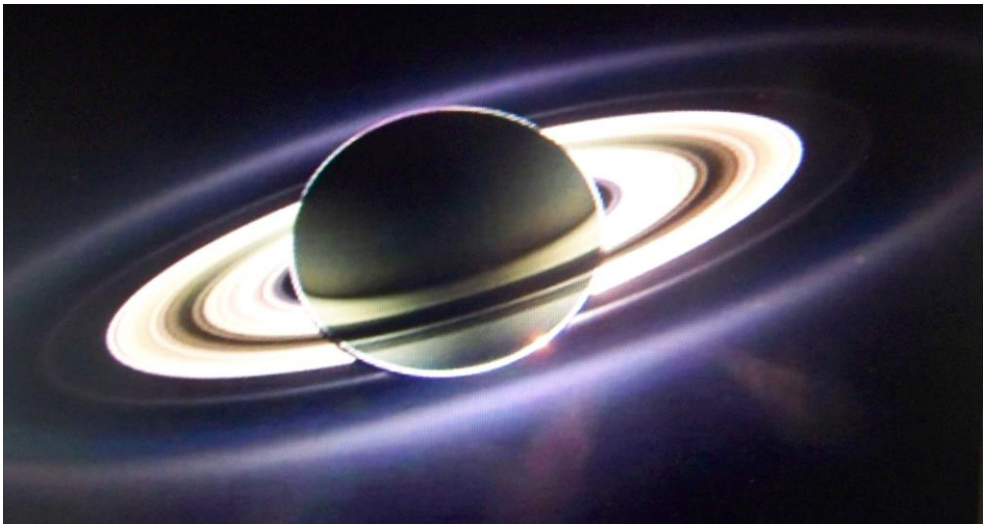
Es ist also die Frage, ob die Umlaufzeiten der Planeten sich im Laufe der Entwicklung des Solarsystems aneinander anpassen würden und so zu wirklichen harmonischen Verhältnissen finden könnten. Gegenwärtig ist lediglich der „Zusammenklang" von Erde und Venus als harmonische zu betrachten (13/8) – und das 13/8- Intervall (eine „große" kleine Sexte) ist in unserem herkömmlichen Tonsystem gar nicht enthalten.

Die großen Jupitermonde, v.l.: Io, Europa, Ganymed und Kallisto. Auf Jupiter: der „rote Fleck"

Einen Fall von perfekter Harmonie in diesem Sinn gibt es in unserem Sonnensystem aber doch: Drei der vier großen Jupitermonde Ganymed, Io, Europa und Kallisto bewegen sich in fast reinen Oktav-Verhältnissen 4:2:1 um den Planeten.

		Abstand v. Jupiter (km)	Umlaufzeit Tage)	Verhältniszahl d.Umlaufzeiten
Jupiter-	Io	421 700	1,769	1
mond	Europa	671 000	3,551	2, 007 (1)
	Ganymed	1070 400	7.115	4,022 (2,003)
	Kallisto	1882 700	16,689	

Der Zusammenklang von Oktaven ist nicht besonders aufregend, stellt aber die größtmögliche harmonische Intervallbeziehung dar. Hat etwa im Orbit des Jupiter damit eine Entwicklung ihren Abschluss gefunden, die sich auch im ganzen Planetensystem abspielt?
Auf diese Frage kann es vorläufig keine Antwort geben. Vielleicht, weil sie gegenüber der wissenschaftlichen Forschung noch nicht gestellt worden ist. Und weil diese Entwicklung, sofern sie wirklich stattfindet, Äonen braucht, um der Forschung sinnvolle Ergebnisse zu liefern.



Saturn mit seinen Ringen. Die größeren Monde wie Dione, Thetys und Enceladus befinden sich außerhalb. Man erkennt sehr deutlich die Cassini-Teilung (dunkel), an derer inneren Seite sich kaum Partikel befinden und das All durchscheint (Huygens Gap). Die Scheibe umgibt der F-Ring und weiter außen die G- und E-Ringe. Foto: Voyager)
Ähnliche Ringsysteme finden sich auch bei den anderen Gas-Planeten Jupiter, Uranus und Neptun. Als Ringsystem wird auch der Asteroidengürtel mit seinen Klein- und Kleinstplaneten bezeichnet. Auch der Kuiper-Gürtel am Rande des Sonnensystems, auf dessen innerer Seite die Kleinplaneten Pluto und Charon kreisen, stellt ein Ringsystem dar, das ebenfalls wie das Ringsystem um den Saturn durch Spalten (z.B. Pluto-Gap) gegliedert ist.

Eine mögliche Antwort könnten die Ringe des Saturns geben. Es sind kleinste Partikel, die in diversen Abständen um den Planeten kreisen und eine scheibenartige Struktur bilden, die durch Lücken auffallend gegliedert ist. So spricht man von Ringen verschiedener Breite (D-, C-, B-, A- und F-Ring, weiter außen noch G- und E-Ring (und der Phoebe-Ring). *)
Die Bahngeschwindigkeiten nehmen von innen nach außen kontinuierlich ab, wie es auch im Planetensystem der Fall ist:

Saturnringe

	Abstand v. Saturn (km)	Umlaufzeit Stunden	Bahngeschwindigkeit
Innere Kante D-Ring:	67.000	4,91	23,8 km/sek
Innere Kante C-Ring:	73.200	5,61	22,77 km/sek
Innere Kante B-Ring:	92.200	7,93	20,3 km/sek
Huygens-Gap	117.500	11,41	17,68 km/sek
Mitte d. Cassini-Teilung:	119.000	11,75	17,71 km/sek *)
Äußere Kante A-Ring:	135.200	14,14	16,69 km/sek

*) Der Phoebe-Ring umgibt in großem Abstand das gesamte Saturn-System

Eine Ausnahme bildet die Cassini-Teilung. In dieser gut sichtbaren Lücke zwischen B- und A-Ring befinden sich im Verhältnis zu den Ringen nur wenige Partikel, hier ist die Bahngeschwindigkeit kleiner als sie dem Abstand zum Planeten rechnerisch sein sollte.*) Also spielt auch bei den Ringen die Gravitation, die Wechselwirkung zwischen den Massen eine Rolle. Mit ihrer weit größeren Masse wirken die Saturnmonde besonders stark auf die Verteilung der Partikel in den Ringen ein. Hier ist es vor allem der Mond Mimas, der dafür sorgt, dass die Cassini-Lücke zwischen Ring A und B und die näher am Planeten gelegene Lücke zwischen Ring B und C weitgehend leer bleibt. Durch seine periodisch wiederkehrende Gravitationseinwirkung, bedingt durch seine Umlaufbahn, treten Resonanzen sowohl mit den Partikeln der Ringe als auch mit den benachbarten Monden auf. Diese Resonanz bewirkt, dass sich die Umlaufzeiten im Verhältnis kleiner ganzer Zahlen stabilisieren.

*) s.Tabelle oben

	Abstand v. Saturn (km)	Umlaufzeit Stunden	Bahngeschwindigkeit
Lücke C-B	92.200	7,93	20,3 km/sek
Huygens-Gap	117.500	11,41	17.68 km/sek
Prometheus (F-Ring)	139.380	14,7	16,54 km/sek
Pandora	141.700	15,08	16,83 km/sek
Aegaeon (G-Ring)	167.500	19,39	15,05 km/sek
Mimas	185.250	22,6	14,32 km/sek
Methone	194.400	24,2	14,02 km/sek
Anthe	197.600	24,9	13,85 km/sek
Enceladus	237.948	32,88	12,64 km/sek
Thetys	294.620	45,3	11,35 km/sek
Dione	377.420	65,7	10,03 km/sek

Proportionen der Umläufe mit Mimas:

2/1: Thetys/Mimas, Mimas/ Huygens Gap (- 1/12 Ton) *)
3/1: Mimas/ Lücke C-B (10/7), Dione/Mimas (16/11)
3/2: Mimas/Pandora, Enceladus/Mimas (16/11)
7/6: Mimas/Aegaeon
11/10: Anthe/Mimas
15/14: Methone/Mimas

andere Proportionen:

2/1: Dione/Enceladus
3/1: Thetys/Pandora
4/1: Thetys/C-B-Lücke
5/4: Methone/Aegaeon
7/6: Thetys/Prometheus
9/7: Aegaeon/Pandora
12/11: Enceladus/Pandora, Anthe/Huygens-Gap
15/8: Thetys/Methone

*) Die in Klammern angegebenen Werte entsprechen den tatsächlichen Umlaufdaten. Die Proportionen 16/11 und 10/7 nähern sich zwar der Quinte an, sind aber noch immer einen 3/4-Ton von ihr entfernt.

Hier ist das harmonische Prinzip – die Bevorzugung von Proportionen aus kleinen ganzen Zahlen – zumindest, was unser Sonnensystem betrifft, wohl am stärksten ausgeprägt.

Theoretisch müsste dieses Prinzip auch auf das gesamte Planetensystem übertragbar sein, wenn wir die Planeten als Monde und sowohl den Asteroidengürtel als auch den Kuiper-Gürtel als Ringe um unser Zentralgestirn betrachten. Die Oortsche Wolke am Rande unseres Sonnensystems würde sogar dem weit vom Saturn entfernten Phoebe-Ring entsprechen. Und tatsächlich gibt es Zusammenhänge.

	Abstand v.d. Sonne (Mio. km)	Umlaufszeit (Tage)	Bahngeschwindigkeit km/sek
Merkur	57,9	87,9	47,87
Venus	108,2	224,7	35,02
Erde	149,6	365,26	29,78
Mars	227,4	686,98	24,13
Ceres (Ast.gürtel)	414,1	1.680,0	17,93
Jupiter	778,3	4.332,6	13,06
Saturn	1.427,6	10.759,2	9,65
Uranus	2.871,1	30.688,5	6,80
Neptun	4.498,2	60.182,3	5,44
Pluto (Kuiper-Gürtel)	5.906,8	90.544,2	4,74

Wie bei den Saturnmonden nimmt mit der Entfernung vom Zentralgestirn die Bahn-geschwindigkeit ab, und entsprechend vergrößern sich die Umlaufzeiten. Die Umlaufzeiten ergeben, wie aus Coustos Bemühungen ersichtlich, wenig harmonische Zusammenhänge, aber

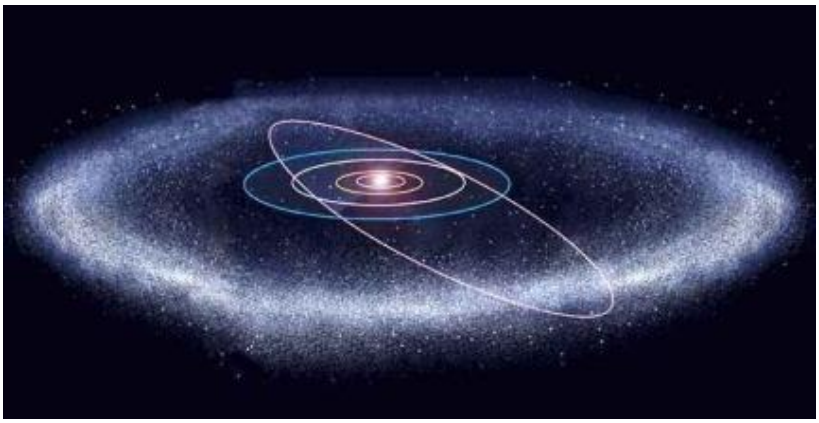
weisen darauf hin, dass durch Gravitationswirkung Resonanzen vorhanden sein müssen, denn es findet eine Annäherung der Werte statt. Die Gasplaneten zeigen diese Tendenz deutlich:

Saturn/ Jupiter → 5:2
Uranus/ Saturn → 3:1
Neptun/ Uranus → 2:1
Pluto, Charon/ Neptun → 3:2

Auch die Bahngeschwindigkeiten lassen eine Annäherung erkennen, selbst wenn der musikalische Zusammenklang auf Grund der Verstimmungen reichlich „schräg" ist.

Bahngeschwindigkeiten im Zusammenklang (Bezugston Erde = C)

Jenseits des Neptun befinden sich die Zwergplaneten Pluto und Charon am Rand des Kuipergürtels mit 100.000 Objekten (KBO= Kuiper-Belt Objects), wie Zwergplaneten, Planetoide und Kometen, die auf ihrer elyptischen Bahn um die Sonne periodisch bei uns sichtbar werden. Der Halleysche Komet gehört zu ihnen. Der am weitesten entfernte Zwergplanet ist Eris, der sogar noch etwas größer ist als Pluto. Er ist allerdings so weit entfernt, dass seine Umlaufzeit über 800 Jahre beträgt. (im Vergleich Pluto: 248 Jahre)



Sonnensystem mit Kuiper-Gürtel
- mit den Umlaufbahnen (von innen nach außen) von Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun und der Elypse des Kometen Halley. Die Zwergplaneten Pluto und Charon befinden sich am inneren Rand des Kuiper-Gürtels.

Der Ring aus Zwergplaneten, Gestein- und Eisbrocken ähnelt auf Entfernung den Saturnringen. Auch hier gibt es Lücken, die erste davon dürfte das Gravitationsfeld von Pluto und Charon verursacht haben, denn sie haben, so klein sie sind, ihrerseits „Monde" aus den umher fliegenden Objekten aus dem nahe liegenden Teil des Kuiper-Rings eingefangen. Die zweite Lücke, die den eher dichten Kuiper-Gürtel von seinem spärlicher besiedelten Teil, der „Scattered Disk" (SD) – weil er von oben her durch ungleichmäßige Verteilung wie ein in Stücke zerbrochener Teller aussehen muss – trennt, dürfte immer noch auf die Gravitation von Neptun und der mit ihr verbundenen Resonanz der Umlaufzeiten benachbarter SD-

Objekte in diesem Bereich zurückzuführen sein. Hinsichtlich der Umlaufszeit wurden ebenfalls Bahn-Resonanzen festgestellt:

	Abstand v.d. Sonne (Mio. km) -	Astronomische Einheiten
Neptun	4.498,2	30 AE
Pluto (Kuiper-Gürtel)	5.906,8	39,5 AE
Pluto-Lücke	5.984 - 6.133	40-41 AE
Lücke vor SD-Gürtel	7.180 – 7.330	48-49 AE
Kuiper-Gürtel, Mitte	8.078	ca. 54 AE
Eris	10.126,1	67,7 AE
Oortsche Wolke	45 Mi – 13 Bio.	300 – 100.000 AE (1,52 Lj)
SD = Scattered Disk, Teil des Kuiper-Gürtels		Astronomische Einheit = 149.597871 Mio. km

Pluto/ Neptun 3:2
Kuipergürtel/Neptun 2:1

In Resonanz scheinen sich auch die Abstände gebildet haben:
Pluto (Rand des Kuiper-G.) /Neptun: 4/3
Lücke SD-Gürtel/Pluto-G / Neptun: 8/5
Eris / Neptun: 9/4

Eine besondere Harmonie: Die Titius-Bodesche Reihe

Johann Daniel Titius (1729–1796)

Johann Elert Bode (1747–1826)

Eine andere harmonische Beziehung geht auf eine astronomische Formel zurück, die vor 250 Jahren von diesen beiden Herren eher zufällig entdeckt wurde. Der Wittenberger Physiker Johann Daniel Titius fand sie bei einer Übersetzung eines Buchs von Charles Bonnet („Contemplation de la Nature“) und sein Hamburger Kollege Johan Elert Bode veröffentlichte sie 1772 in seiner „Anleitung zur Kenntnis des gestirnten Himmels“. Nach ihnen ist die Titius-Bodesche Reihe bekannt, nach der die Abstände der Planeten berechnet werden können.

$4 \quad 7 \quad 10 \quad 16 \quad 28 \quad 52 \quad 100 \quad 196 \quad 388 \ldots$

$= 4 + (3 \quad 6 \quad 12 \quad 24 \quad 48 \quad 96 \quad 192 \quad 384 \ldots)$

$= 4 + 3(1 \quad 2 \quad 4 \quad 8 \quad 16 \quad 32 \quad 64 \quad 128 \ldots)$

$= 4 + 3(2^0 \; 2^1 \quad 2^2 \quad 2^3 \quad 2^4 \quad 2^5 \quad 2^6 \quad 2^7 \ldots)$

$4 + 3.2^{-\infty} = 4 + 0 = 4$

$\rightarrow R_n = 4 + 3 \times 2^n$ für $n = -\infty, 0, 1, 2 \ldots$

Dieser Reihe entsprechen tatsächlich die Abstände der meisten Planeten in unserem Sonnensystem. Ein Zufallstreffer? – Kritiker meinen, dass man aus jeder Zahlenreihe mit ausgeklügelten Umrechnungen eine Formel herleiten kann - und ausgeklügelt ist die Formel tatsächlich, indem Titius und Bode in der Reihe der Potenzzahlen der 0 nicht die -1 voran-setzen, sondern -∞. Doch ihre Berechnungen stimmen überraschend genau mit der Wirklichkeit überein:

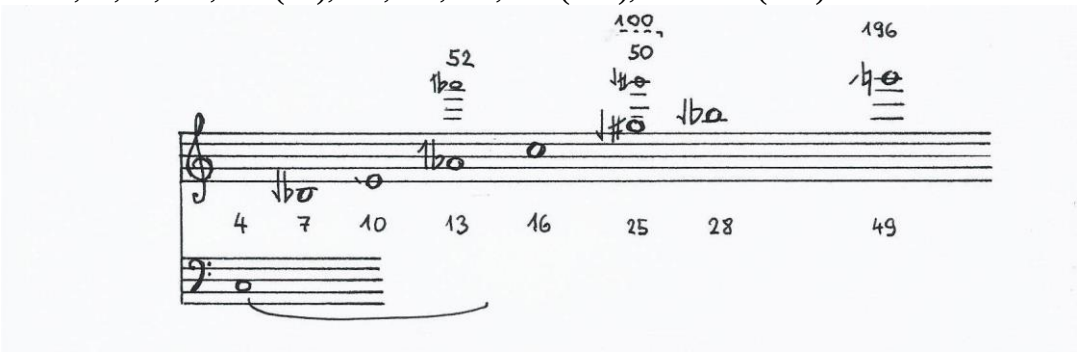
Abstand der Planeten von der Sonne im Erdabstand = 1 (1 AE, astronomische Einheit)

	Tatsächlicher Abstand	nach Titus-Bode	Zahl	Abweichung	Entdeckungsjahr
Merkur	0,39	0,4	4	+2,56%	
Venus	0,72	0,7	7	-2,78%	
Erde	1,0	1,0	10	-	
Mars	1,52	1,6	16	+5,26%	
Ceres (Ast.)	2,77	2,8	28	+1,08%	
Jupiter	5,2	5,2	52	0,0%	
Saturn	9,54	10	100	+4,82%	
Uranus	19,19	19,6	196	+2,14%	1781
(Neptun)	30,06	(29,2)	(292)	+ 2,94%	1846
Pluto	39,48	38,8	388	-1,72%	1930
Eris, Kl.pl.	67,7	77,2	772	(+14%)	

Zahlenfolge: 4 7 10 16 28 52 100 196 388 772 1540 …. → $R_n = 4 + 3 \times 2^n$

Berühmtheit erlangte die Formel als William Herschel im Jahr 1781, 9 Jahre nach der Veröffentlichung, den Planeten Uranus entdeckte, der sich nur mit 2% Abweichung auf der von Titius und Bode berechneten Entfernung von der Sonne befand. Und 160 Jahre später bestätigte sich mit der Entdeckung des Kleinplaneten Pluto (inzwischen zum Zwergplaneten am Rande des Kuiper-Gürtels degradiert) die Titius-Bode-Reihe erneut. Bedingt passt sogar der Neptun in die Reihe, wenn man die arithmetische Mitte der Zahlen für Uranus und Pluto zur Berechnung heranzieht.
Aber auch musikalisch gibt die Titius-Bode-Reihe einen Sinn:
Ihre Zahlen sind durch Okatvierung rückführbar auf eine arithmetische Folge von Obertönen auf ihren Grundton 1 („Ekmelische Reihe“):

1, 4, 7, 10, 13 (52), 16, 19, 22, 25 (100), 28 ...49 (196)



Noch überraschender war die Feststellung, dass die Titius-Bode-Reihe nicht nur in unserem Sonnensystem überraschend genaue Planetenabstände ergibt. An der Australian National University in Canberra haben Forscher festgestellt, dass diese Reihe auch in Exo-Planeten-Systemen Gültigkeit hat – von 27 untersuchten Systemen stimmen 22 mit 96%iger Genauigkeit mit der Titius-Bode-Reihe überein. Auf Grund dieser Reihe konnten Voraussagen getroffen werden, wo in diesen Systemen noch Planeten zu erwarten seien, und in mehreren Fällen sind diese Exo-Planeten schon entdeckt worden, genau an den bezeichneten Stellen.

Damit haben wir unser Sonnensystem wirklich verlassen und wenden uns dem gesamten Universum zu, um der Frage nachzugehen, ob auch im universalen Raum Übereinstimmung mit der Harmonik der Musik gefunden werden können.

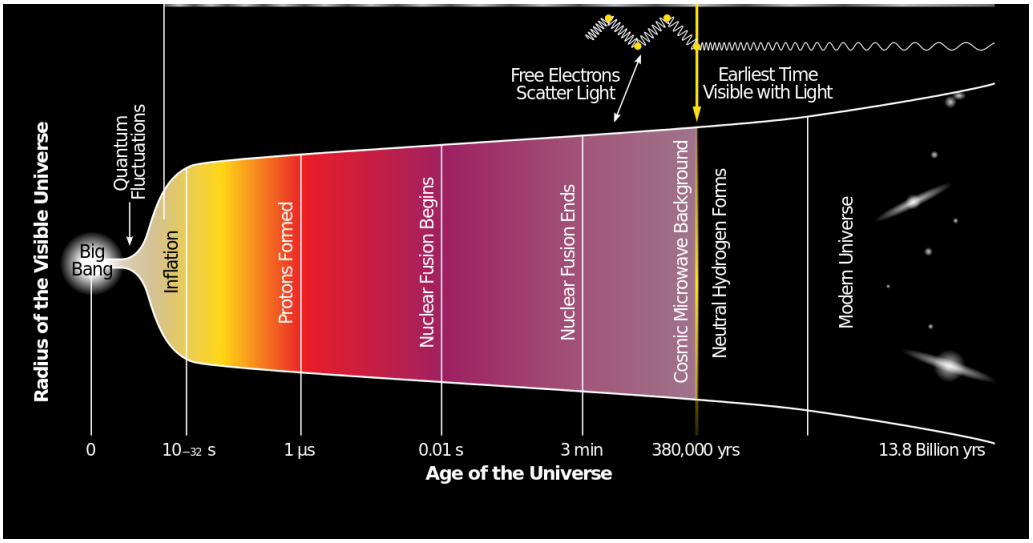
Wie es war im Anfang: Wie klang der Urknall?

Vorbemerkung: Die „Urknall-Theorie“ wurde in den 40er Jahren von dem belgischen Physikler und Geistlichen Georges Lemaître entwickelt, der den Umkehrschluss aus dem sich ständig ausdehnenden Universum gezogen hatte, dass es einmal auf einen einzigen Punkt konzentriert gewesen sein musste und deshalb explosionsartig auseinander riss. Sein britischer Kollege Fred Hoyle, der zunächst darauf beharrte, dass der Weltraum „ewig“ sei, meinte in einem Interview spöttisch, dass alle Materie des Universums wohl in einem „Big Bang“ erschaffen worden sei… Was wohl annähernd zutrifft.

Wie hat sich dieser „Big Bang“ wohl angehört?
Diese Frage ist tatsächlich schon in der Wissenschaft erörtert worden.
Wie mag er sich angehört haben, hätte es schon einen Hörer (Beobachter) gegeben?
War das ein Geräusch wie das Händeklatschen vorhin, nur erheblich lauter?

Wir erinnern uns: Schallwellen werden von schwingenden Teilchen erzeugt, und damit sie schwingen, müssen sie sich im Raum bewegen können. Das war im Moment des Urknalls sicher nicht der Fall, als es noch keine Teilchen gab und der Raum sich zunächst aufblähte.

-



Entwicklung des Universums

Es ist unglaublich, wie das geschah: Innerhalb geringster Zeiteinheiten, die wir uns überhaupt vorstellen können, entstand aus einer physikalischen Singularität die ganze Welt mit ihrer gesamten Materie und Energie. Zunächst nur in Energieform , wurden aus einem chaotischen Zustand plötzlich durch eine Brechung der Symmetrie Materie und Energie, wodurch ein falsches Vakuum entstand, das alles auseinander riss. Dies hatte sich zwischen 10^{-35} und 10^{-33} Sekunden abgespielt, nach dieser „Inflationsphase“ entstanden die ersten Teilchen und die Entwicklung nahm ihren Lauf.

0 - 10^{-43} sek.	Planck-Ära; Beginn der Zeit
10^{-43} sek.	Singularität mit kleinster Raumeinheit (10^{-35} m) und größter Masse (10^{94}g)
10^{-42} sek.-10^{-36}sek:	GUT-Ära; GUT-Kraft, Quanten-Vakuum, (Naturgesetze außer Kraft)
10^{-36} sek.	Symmetriebrechung; Kernkräfte, Falsches Vakuum, Gravitation
10^{-35} sek.-10^{-33}sek:	Inflationsphase
10^{-33} sek.-10^{-30}sek:	„dunkles Zeitalter“, normales Vakuum
10^{-30} sek.-10^{-09}sek:	Licht-Ära; Kernteilchen, Photonen, elektromagnetische Kraft, Plasma
ab 10^{-6}sek.:	Protonen entstehen
ab 10^{-2}sek.:	Kernfusion setzt ein
3 sek.	Ende der Kernfusion, Expansion
bis 380.000 Jhr.:	Weltraum wird durchsichtig, Rekombinationsphase
378 000 Jhr.:	CMB, Beginn der Reionisation
ab 550 000 Jhr.:	Abschluss der Reionisation, erste Sterne, Galaxienbildung

GUT = Grand Unified Theory CMB = Cosmic Microwave Background
Rekombinationsphase: Ladungsausgleich durch Atom- und Molekülbildung

Mit der Symmetriebrechung und der folgenden Inflation, der Aufblähung eines Nichtraumes zum Raum (von Fußballgröße) in einer Geschwindigkeit, die wahrscheinlich höher war als die Lichtgeschwindigkeit (Naturgesetze waren noch außer Kraft*))dürfte wohl der dramatischste Augenblick geschehen sein, der dem Universum die größte Erschütterung gegeben haben könnte.
Die nun entstehenden Kernteilchen und Kerne können von ihr betroffen gewesen sein.
Wie kann man sich das vorstellen?

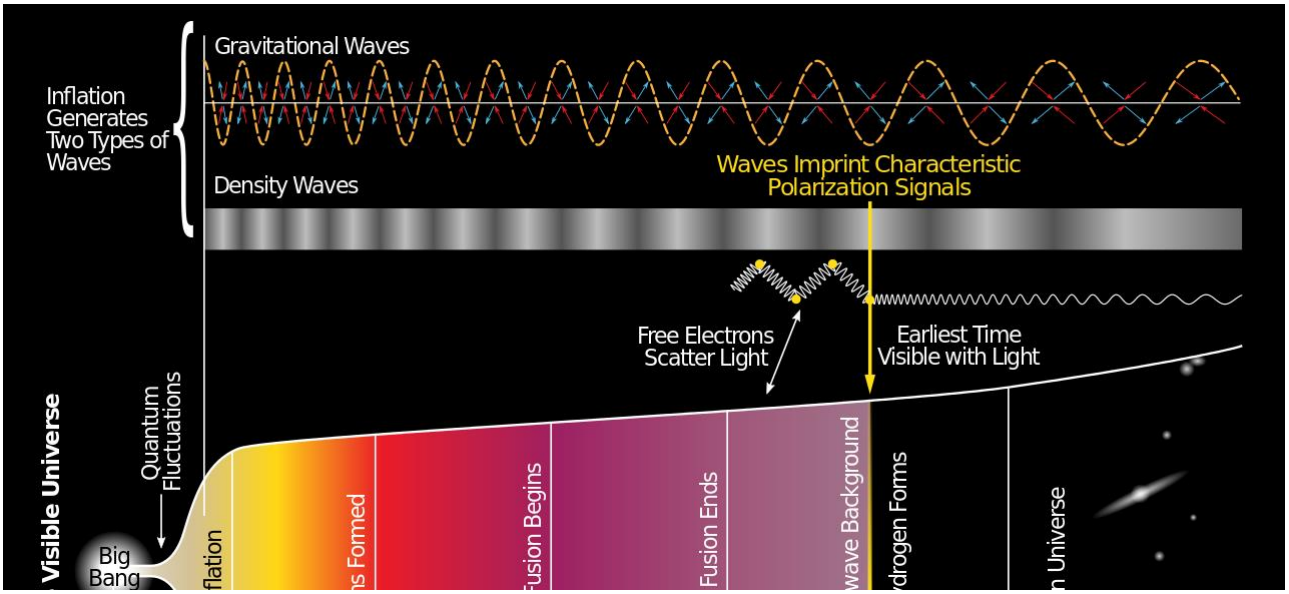
*) Vermutlich durch Zeitdehnung konnte sich der Raum mit konstanter Lichtgeschwindigkeit ausdehnen. Man könnte sagen, der sich ausdehnende Raum habe auch die Zeit mitgerissen. Damit bleibt das Verhältnis von Raum und Zeit gleich und die Lichtgeschwindigkeit unverändert.

Damit sich Schall ausbreiten kann, braucht er ein Medium. Für uns, im Normalfall, ist das Medium die Luft, eine Mischung aus Gasen, einer feinen Verteilung von Molekülen von Stickstoff, Sauerstoff, Kohlendioxyd, Wasser (als Wasserdampf) und ein paar anderen. Ihre Abstände sind so klein, dass sie, einmal zum Schwingen angeregt, ihre Nachbarn zum Mitschwingen bringen. Es entsteht eine Folge von Verdichtung und Verdünnung, die sich im Raum ausbreitet, und dies ist die Schallwelle.
Je näher sich die Teilchen einander befinden, desto schneller kann sich die Schallwelle ausbreiten. In Gasen braucht sie mehr Zeit als in Flüssigkeiten, in Flüssigkeiten meist mehr als in Feststoffen. In Luft, bei etwa 20^0 beträgt die Schallgeschwindigkeit 343 m/sek.

Vergleich der Schallgeschwindigkeiten /Medium (Bild 3)

Luft:	343 m/sek	
Wasser (100^0)	477 m/sek	
Helium	981 m/sek	
Wasserstoff	1280 m/sek	
Wasser	1484 m/sek	(bei 0 Grad: 1407)
Eis	3250 m/sek	
Marmor	6150 m/sek	
Diamant	18 000 m/sek	
Quark/Gluonen-Plasma	173 000 000 m/sek	

Die Schallgeschwindigkeit hängt, wie aus der Tabelle ersichtlich, nicht vom spezifischen Gewicht ab, sondern von der Teilchendichte. Die größte Teilchendichte der auf der Erde vorkommenden Mineralien hat vor allem der aus reinem Kohlenstoff bestehende Diamant. Wie groß die Teilchendichte im Ur-Universum gewesen sein muss, kann man im Vergleich mit der (hypothetischen) Schallgeschwindigkeit im Plasma aus Kernteilchen messen. Die Schallgeschwindigkeit wäre größer gewesen als die halbe Lichtgeschwindigkeit!



Die Dichte-Wellen (Folge von Verdichtung und Verdünnung der Raum-Materie) waren während der Inflationsphase extrem kurz (höchste Frequenzbereiche) und wurden mit dem sich ausdehnenden Universum rasch länger. Heute haben sie bereits eine extreme Wellenlänge erreicht, wie die am 11.2.2016 nachgewiesene Gravitationswelle, die sich gleichmäßig mit der Dichtewelle entwickelt hat, erkennen lässt.

Theoretisch wäre der Urknall zu hören gewesen, und dessen Nachhall in dem Plasma, in welchem nun Kernfusionen stattfanden und anschließend ständige Photon-Elektron-Wechselwirkungen. Doch mit dem expandierenden und deshalb allmählich abkühlenden Universum entfernten sich die Teilchen, die vor allem aus Wasserstoffkernen und Heliumkernen bestanden, voneinander und stabilisierten sich durch das Einfangen von Elektronen in ihre Elektron-Orbitals. Ihre durchschnittlichen Abstände waren schon nach kurzer Zeit der Expansion so groß, dass sie nicht mehr in Resonanz treten konnten; am Ende der Rekombinationsphase nach 380 000 Jahren betrugen die Abstände bereits bis zu 10 000 Lichtjahre, das All war leer geworden, und entsprechend still.

Man kann sagen, der Urknall war nur eine ganz kurze Zeit zu hören gewesen. Und dann muss es ein Glissando von höchsten Tönen bis hinunter zu den tiefsten Tönen gewesen sein, um dann ganz zu verschwinden. Denn je mehr das Universum auseinander gezogen wurde, desto mehr nahm seine Teilchendichte ab und entsprechend auch die Schallgeschwindigkeit und damit die Tonhöhe. - Das Absteigen der Tonhöhe nach unten lässt sich mit dem Doppler-Effekt erklären: Der Ton einer Sirene auf einem heranfahrenden Auto (Schallgeschwindigkeit und Geschwindigkeit des addieren sich) ist höher als auf einem sich entfernenden Auto (die Schallgeschwindigkeit wird durch die Geschwindigkeit des Fahrzeugs verringert).

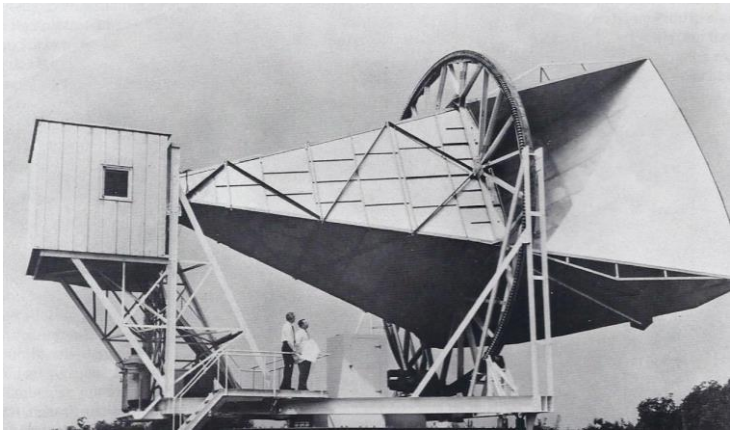
War der Urknall ein Knall im akustischen Sinn? Diese Frage wird sich nie beantworten lassen, denn gehört haben kann ihn niemand. Es gab keinen Beobachter im Sinne Einsteins. Doch sein Nachklingen ist noch immer da.

Die kosmische Hintergrundstrahlung und die Obertöne

Dieses Nachklingen, nicht nur hörbar im „weißen Rauschen" der kosmischen Hintergrundstrahlung, sondern mittlerweile auch sichtbar durch die Auswertungen der Messungen der COBE-, WMAP- und Planck-Raumsonden, ist ein schon seit seiner Entdeckung vor nunmehr 50 Jahren ein Faszinosum in der Geschichte der Astronomie.

Zu Beginn der 60er Jahre richteten die Radioastronomen Arno Penzias und Robert Wilson ihre 15m-Horn-Antenne der Bell-Laboratories in Holmdel, New Jersey auf die Milchstraße und hörten ein gleichmäßiges Rauschen. Doch nicht nur dort, sondern überall am Himmel das gleiche, eintönige Rauschen, das sie sich nicht erklären konnten.

Penzias und Wilson versuchten, die Ursache herauszufinden und vermuteten sie in Störungen durch Radiostrahlung in Bereich der Städte (New York, New Jersey), im Bereich der Stromleitungen und am Gerät (der Antenne) selbst, nicht einmal die Tauben, die sich gern im Horn der Antenne aufhielten und der Taubendreck waren die Ursache des „weißen" Rauschens. Die gemessenen Werte blieben stets gleich: Intensität 0,4 dB; Wellenlänge 5-10 cm.



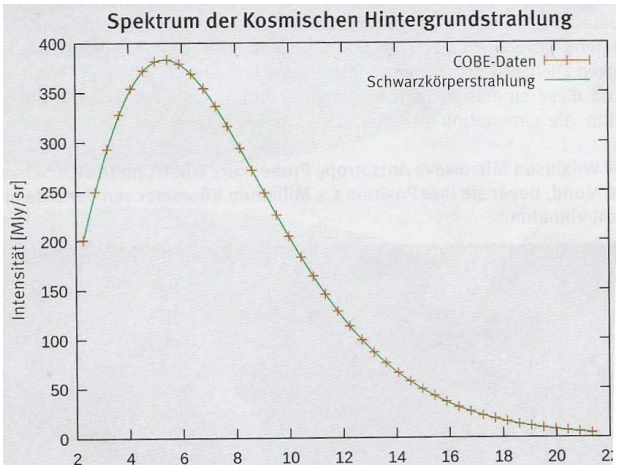
Hornantenne, Holmdel 1961

Im benachbarten Princeton (New Jersey) vermuteten die Physiker Robert Dicke und James Peebles, dass es im Weltraum eine Hintergrundstrahlung gibt, die physikalisch einer Schwarzkörperstrahlung bei einer Temperatur von 10^0K (-263^0C) entspricht. Mit ihren Kollegen Wilson und Penzias errechneten sie 1964 eine Hintergrundstrahlung in einem Wellenlängenbereich von λ= 3 -21cm und eine Temperatur von 4^0Kelvin.

Die Wellenlängen dieser Hintergrundstrahlung sind natürlich nicht mit den Wellenlängen des Schalls zu vergleichen. Denn die Weglänge, die eine Schallwelle in 1 Sekunde zurücklegt, ist um den Faktor 1.000 000 (1 Million = 10^6) kleiner als die Weglänge einer elektro-

magnetischen Welle. Entsprechend hoch sind die Frequenzen der elektromagnetischen Wellen um ein Vielfaches (Faktor 10^8) höher: die kosmische Hintergrundstrahlung bewegt sich zwischen 1,4 und 15 GHz.
Die Energie dieser Strahlung erzeugt Wärme, und die kann gemessen werden wie an einem physikalisch schwarzen Körper: Dieser reflektiert kein Licht und keine Strahlung, er absorbiert sie und erwärmt sich entsprechend. Weil aus dem Weltraumhintergrund kein Licht zurückkommt, verhält er sich wie ein ideal schwarzer Körper. Das vermuteten die Physiker Wilson, Penzias, Peebles und Dicke.

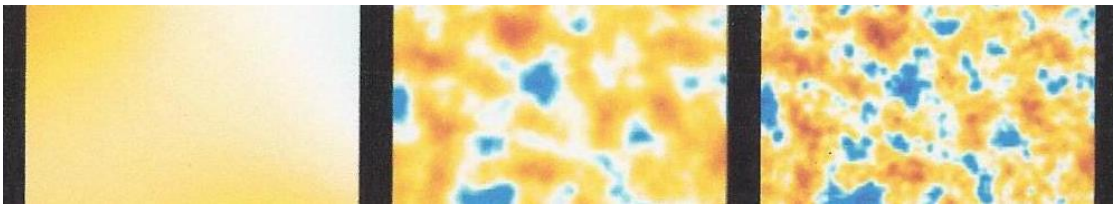
Es dauerte jedoch ein Vierteljahrhundert, bis die Hintergrundstrahlung mit Satelliten tatsächlich vermessen werden konnte. Bereits 9 Minuten nach ihrem Start im Jahr 1989 bestätigten die ersten Meldungen der COBE-Sonde (Cosmic Background Explorer), dass die Hintergrundstrahlung exakt der Schwarzkörperstrahlung entspricht:



Spektrum der kosmischen Hintergrundstrahlung

Weiters bestätigte sie deren Wellenlängen (2-22cm) und die Temperatur der Hintergrundstrahlung mit exakt $2{,}728^0$K (+- 0,002). Damit ließ sich auch der optische Abstand messen: 13,7 Mrd. Lichtjahre. Dies ist der Weg, den die ersten Photonen im Weltall seit dem Urknall zurückgelegt hatten, der Urknall musste demnach 13,7 Mrd. Jahre zurückliegen. Und noch etwas deutete die Auswertung der Messdaten an: die Wärmeverteilung im Hintergrund war nicht gleich, wie man bei einem idealen Schwarzkörper annehmen sollte (Isotropie) sondern um Bruchteile von ^{0}K unterschiedlich (Anisotropie). Die COBE-Sonde zeichnete ein Wärmebild auf, das verschwommene Farbänderungen in einigen Bereichen des Hintergrundes aufwies.
Dieses Ergebnis, veröffentlicht 1992, war geradezu sensationell (zumindest im Kreis der Astrophysiker). Denn diese nachgewiesene Anisotropie des kosmischen Hintergrunds legte den Schluss nahe, dass es im entstehenden Universum tatsächlich Dichteschwankungen gegeben hatte (die einer Schallwelle glichen), die als Folge unterschiedliche Temperaturbereiche im Hintergrund abbildeten: wo Verdichtungen waren, z.B. in den Galaxien, wurden energiereiche Photonen ausgesandt, die im Hintergrund wärmere Zonen zeichneten, und wo sie das dunkle All durchquerten, waren sie entsprechend energieärmer und der Abbildungsbereich kälter.
Es waren nur Bruchteile von ^{0}K, die den Unterschied ausmachten. Die COBE-Sonde hatte eine Messgenauigkeit von 1/5 ^{0}K.
Diesen Farbschwankungen musste nachgegangen werden. Im September 2001 wurde die nächste Sonde gestartet, sie erreichte die ihr bestimmte Position am 1.Oktober 2001 in 1,5 Mio. km Abstand von der Erde. Die WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropc Probe) hatte bereits eine 1000-fach höhere Messgenauigkeit, ihr Auflösungsvermögen betrug 20µK (1/100 000 Grad). Entsprechend strukturiert zeigt sich das Bild der Messergebnisse der WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropic Probe). Die 2001 in den Weltraum geschossene Sonde hatte, wie ihr Name sagt, die Aufgabe, die Anisotropien im kosmischen Hintergrund zu messen.

COBE WMAP Planck

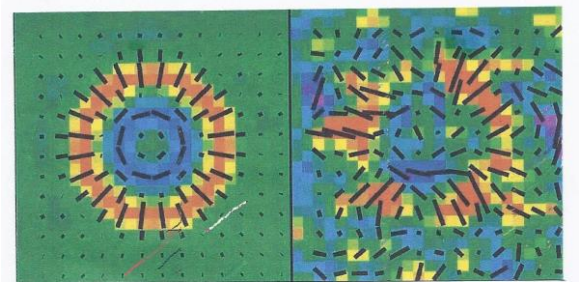


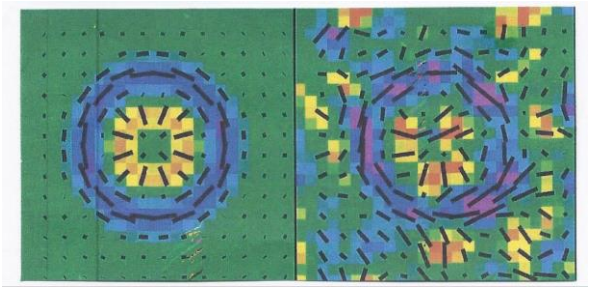
*Vergleich der Auflösung von COBE, WMAP und Planck ***)*

Das Wärmebild der WMAP-Sonde zeigt schon sehr viel genauere Wärmezonen auf, ihre Farbempfindlichkeit ist wesentlich erhöht, und so sieht man gelbe und rote Farben in den Bereichen, in denen die Temperatur höher ist, und blaue und tiefblaue Farbe den kälteren Bereichen. Hier fällt ein Band mit besonders stark erhöhten Temperaturen auf (rot), dem gegenüber ein Band mit niedrigen Temperaturen (alles im Bereich von Bruchteilen von ^{0}K).
Von der am 14.05.2009 gestarteten Planck-Sonde der ESA erhoffte man sich mehr darüber zu erfahren.

	COBE Cosmic Background Explorer	WMAP Wilkinson Microwave Anisotropic Probe	Planck (ESA)
Start	1989	Sept.2001	14.05.2009
Aufgabe	CMB-Messung	Anisotropie	genauere Anisotropie Polarisation
Stationierung	Erd-Orbit	1,5 Mio. km	1,5 Mio. km
Messgenauigkeit	>0,2^{0}K	20µK	0,2µK
Ergebnisse:	Bestätigung der CMB-Schwarzkörperstrahlung Anisotropie	Kartierung der Anisotropen	Kartierung „kalter Fleck“ B-Polarisationsmuster
U-Zeitpunkt vor	13,7 Mrd. Jahren	13,77 Mrd. Jahren	13,799 Mrd. Jahre

Und tatsächlich: Die Planck-Sonde lieferte bis 2013 nicht nur noch 100-fach genauere Messergebnisse, sondern nahm auch die Polarisationsmuster der vom Hintergrund ausgehenden Mikrowellenstrahlung auf. Diese Muster, die auch auf der BICEPS2-Station auf dem Südpol in Bereichen des südlichen Sternenhimmels festgestellt wurden, legen den Schluss nahe, dass bereits Quantenfluktuationen in der Frühphase der Raum-Entstehung die Struktur des Weltraums beeinflusst haben.
Diese Polarisationsmuster entstehen dadurch, dass die Schwingungsebenen der elektromagnetischen Wellen zu einer Wärmequelle hin gerichtet sind, während sie bei kälteren Zonen senkrecht dazu stehen. Die simulierten Bilder der Polarisationsmuster kommen den tatsächlich aufgenommenen Bildern sehr nahe:

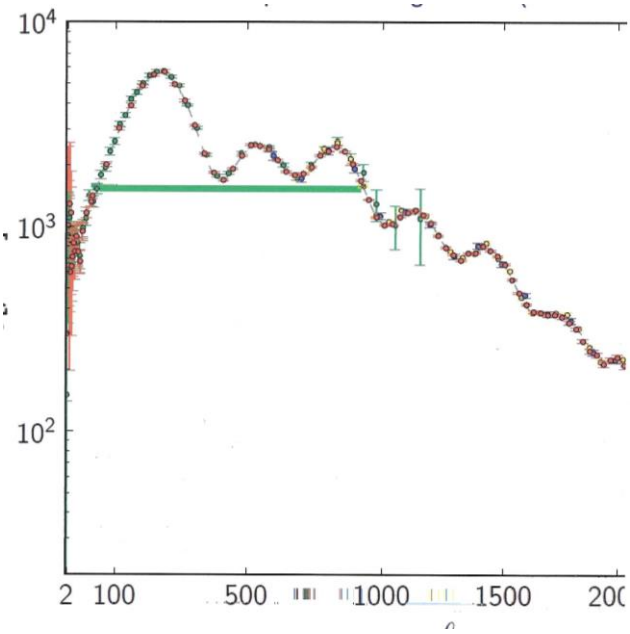




*Jeweils links: Simulationsmuster, rechts: Planck ***)*

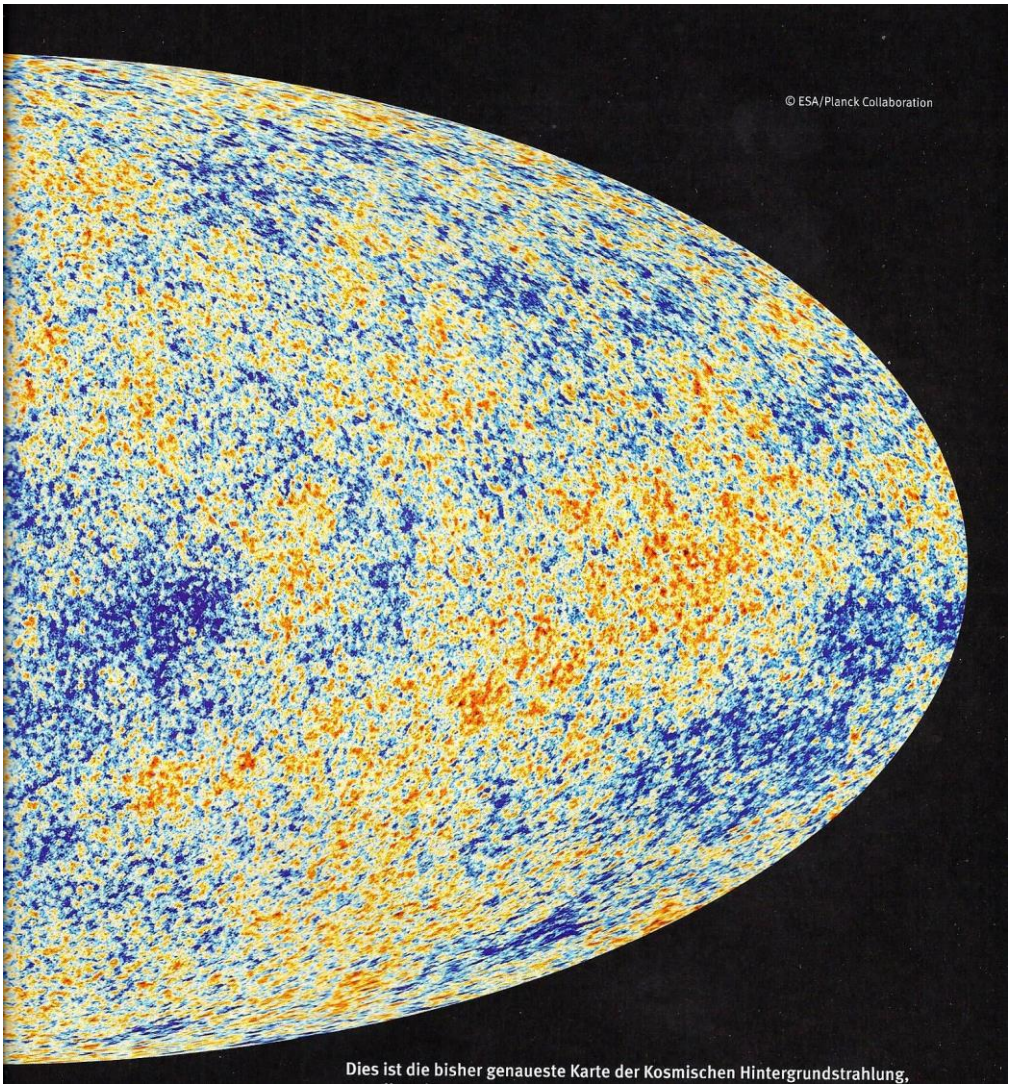
Die noch genauere Differenzierung der Temperaturabweichungen bei Planck brachte ein weiteres erstaunliches Ergebnis: Die Verteilung der wärmeren und dunkleren Flecken ist in

großen Teilen des Hintergrunds sehr gleichmäßig – auf rot/gelb folgt grün/blau. Das Abbild des Weltraum-Hintergrunds erscheint wie ein grobkörniges Raster aus hellen und dunklen Farben. Dieses flächige Muster kann man deutlicher machen, wenn man es in einer Linie durchfährt: Die Aufzeichnung der Temperaturunterschiede ergibt dann ein Bild einer Schwingungskurve, die beim Abfallen weitere Maxima in gleichen Abständen aufweist.
Das gleiche Bild ergibt sich bei der Darstellung eines Tons mit seinen Oberschwingungen.



Die x-Koordinate gibt den Winkelbereich an, geteilt durch die Zahl L. Für L=1 ist der Winkel 180^0, für L=2 ist er 90^0. Für L=100 ist der Winkel nur noch $1{,}8^0$, bei L=1000 nur noch 10,8 Bogenminuten. Die Winkelverkleinerung wird gestreckt - in dem gleichen Maß, in dem das Maß einer Oktave gestreckt wird, um die Obertöne in gleichen Abständen darzustellen.
Die y-Koordinate zeigt die Temperaturunterschiede der wärmeren und kälteren im Winkelmaß durchfahrenen Zonen in μK^2 (Mikro-Kelvin zum Quadrat), um die geringen Temperaturunterschiede zu verdeutlichen.

Um die geringen Unterschiede im Temperaturbereich deutlicher zu machen, wurden die gemessenen Temperaturen in µK (Mikro-Kelvin) quadriert (y-Koordinate), die Winkelmaße auf der x-Koordinate dagegen wurden gestreckt: Die Zahlen für L=Länge bedeuten, dass der Winkel von 180^0 durch L geteilt wurde (S. Beschreibung). Das entspricht der Verdoppelung der Oktavenlänge bei der Darstellung der Obertöne – die Obertöne erscheinen dann im gleichen räumlichen Abstand.



*Planck-Sonde: kosmischer Hintergrund, halber Horizont ***)*

Gelbe und rote Muster zeigen wärmere Zonen an, hell- und dunkelblaue Muster kältere Zonen in einem Universum, wie es 380.000 Jahre nach dem Urknall existiert haben muss. Die „anisotropen" , also in der Temperatur gering unterschiedlichen Zonen entstanden je nachdem, ob energiereichere Photonen aus gerade entstandenen Galaxien oder energieärmere Photonen den damaligen Raum durchquert und am Hintergrund des Weltalls ihre Wärmespuren abgebildet hatten. Wir blicken hier auf eine Zeit zurück, die 13,8 Milliarden Jahre zurückliegt.
Deutlich zu sehen ist auf der unteren Hälfte ein Gürtel mit einer Anhäufung wärmerer Zonen (rot, gelb), denen sich unterhalb eine Häufung kälterer Zonen (hell- u. dunkelblau) anschließt. Am unteren Rand ist der so genannte „kalte Fleck" zu sehen.
(Entnommen aus „Bild der Wissenschaft Spezial", Ausgabe 02/2014)

Die Abbildung solcher Muster lässt darauf schließen, dass es in der Phase von 10^{-30} sek. bis zur 1.Sekunde nach dem Urknall im Plasma Fluktuationen in der Folge von Verdichtungen und Verdünnungen der Teilchen und des Plasmas gegeben hat, die sich in der Verteilung der sich entwickelnden Galaxien stabilisiert hat und nach 378.000 Jahren zu einer Abbildung im Weltraumhintergrund geführt hat, wie wir sie jetzt durch die Auswertungen der Ergebnisse der Planck-Sonde zu sehen bekommen. Es ist nicht abwegig zu behaupten, dass das gleiche Bild auch die Quanten-Fluktuation darstellt, wie sie noch vor der Inflationsphase stattgefunden hat: zu Beginn der allerersten Sekunde unseres Universums.

Unser Universum – Teil eines Multiversiums?

Mit Absicht ist es so formuliert: unseres Universums. Denn die Entstehungsgeschichte unseres Universums lässt zu, dass es unzählige Universen gibt, dass es sie gegeben hat und

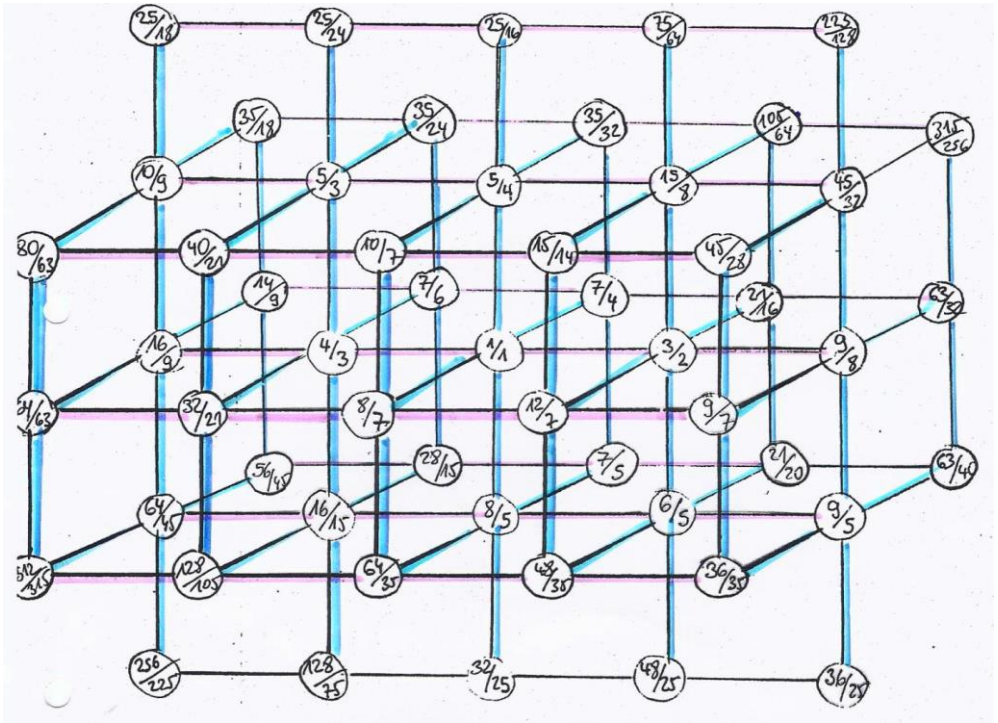
immer wieder neue Universen entstehen, vielleicht gerade in diesem Augenblick. Sie können ganz anders geartet sein, auch ihre Vielfalt ist unendlich groß. Doch unser Universum ist einzigartig: es ist eines von 10^{500} Möglichkeiten und das einzige, in dem w i r leben.

Warum das so ist, darauf soll jetzt nicht mehr eingegangen werden, auch nicht auf die vielen Theorien, die zur Kosmologie in der Diskussion sind.
Was ich zum Ausdruck bringen wollte, ist die Analogie zwischen Kosmos und Musik, die sich selbst im Urzustand, in der allerersten Phase der Entstehung unseres Universums gezeigt hat. Vielleicht kann es sogar die Musik sein, die Erkenntnisse zur Frage nach der Existenz anderer Universen einbringen kann!

Dazu dient das Modell der Naturton-Systeme. Die Tonhöhen in der Naturtonreihe sind nichts anderes als ganzzahlige Vielfache der Schwingung ihres Grundtons: die Zahlenreihe geht von 1 (Grundton) bis Unendlich. Jeder Ton dieser Reihe könnte der Grundton einer neuen Naturtonreihe sein – doch 2,4,8 usw. sind nur Oktavierungen des Grundtons und setzen die gleiche Reihe nur in eine höhere Lage. Als Tonzahlen für neue Naturtonreihen kommen letzten Endes nur die Primzahlen in Frage. Das hat sich in der Musikgeschichte schon mit den „Tonverwandtschaften“ angedeutet:

3 = Quinte → Dominante (und Subdominante)
5 = große Terz → Obermediante (und Untermediante)

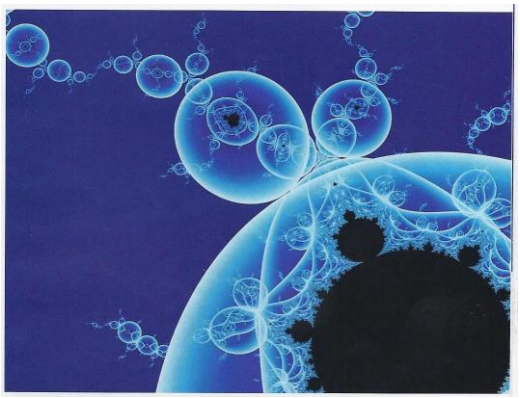
Folgerichtig käme jetzt die 7, die Naturseptim, die bisher in der abendländischen Musik ausgeklammert worden ist. Oberseptim und Unterseptim-Tonskalen aber geben zusammen mit den schon bekannten Dominanten und Medianten ein dreidimensionales Geflecht aus Tonverwandtschaften, das sich en den Raumkoordinaten ins Unendliche fortsetzt.



3-dimensionales Tonnetz aus Quinten, Terzen und Naturseptimen

Die Tonskalen des 11. Naturtons müssten aber bereits mit einer vierten Koordinate dargestellt werden, und damit endet unser räumliches Vorstellungsvermögen: wir sind in der vierten Dimension angelangt.

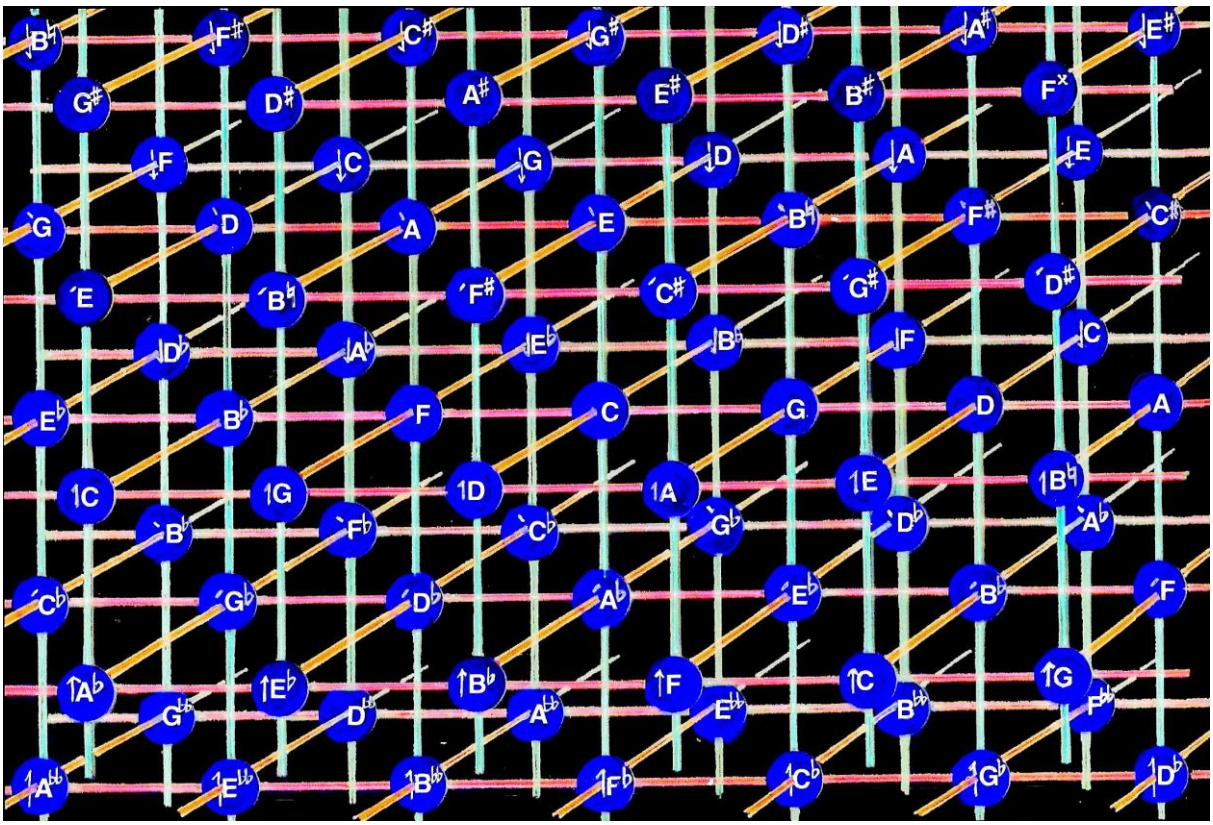
Und jede neue Primzahl eröffnet eine neue Dimension.
Und da es unendlich viele Primzahlen gibt, gibt es auch unendlich viele Dimensionen.
Analog dazu wahrscheinlich auch ebenso viele Universen.



*Fraktale als Blasen-Universen ***)*

***) Bilder aus „Bild der Wissenschaft Spezial“, Ausgabe 02/2014

Wir bleiben bescheiden in unserer dritten Dimension und lassen das Bild einer dreidimensionalen Darstellung der Tonbeziehungen (nur ein kleiner Ausschnitt davon) auf uns wirken.



3-dimensionales Tonsystem:
x-Koordinate (waagrecht): Quintverwandtschaften; y-Koordinate (senkrecht): Terz-Verwandtschaften; z-Koordinate (Raumkoordinate): Naturseptim-Verwandtschaften. Tonverwandtschaften des 11. Naturtons und weiterer Primzahl-Verwandtschaften benötigten weitere Raumkoordinaten.