# Die Berechnung des Sonnentones

## oder
## Vom Gravitationsradius der Sonne
## und von schwarzen Löchern

### Inhaltsübersicht

## Vorwort

Der vorliegende Text wurde bereits in der Broschüre „*Farbton – Tonfarbe und die Kosmische Oktave*“ (Mainz 1982) auf S. 10 ff. veröffentlicht, einzig der Abschnitt „*Umlaufsfrequenz oder Gravitationsfrequenz*“ ist neu. Der Text entspricht weitgehend der Originalfassung, jedoch wurde die Nummerierung der Gleichungen geändert. Zudem wurde der Begriff „*Gravitationslänge*“ durch den Begriff „*Gravitationsradius*“ ersetzt. Diese Änderung habe ich aufgrund einer Anregung von Norbert Böhm aus Brandenburg vorgenommen, dem ich hier für seine Kritik und Inspirationen herzlich danke.

Der „*Gravitationsradius*“ wurde bisher auch von Physikern als „*Gravitationslänge*“ bezeichnet. Auch ich habe in der Broschüre „*Farbton – Tonfarbe und die Kosmische Oktave; Teil II*“ (Mainz 1982) wie auch in dem Buch „*Die Kosmische Oktave – der Weg zum universellen Einklang*“ (Essen 1984) wie auch in dem Buch „*Die Oktave – das Urgesetz der Harmonie*“ (Berlin 1987) den Begriff Gravitationslänge verwendet. Dieser Begriff ist jedoch im Lichte der Quantenphysik irreführend. Eine Länge ist in der Tradition der Quantentheorie immer eine Wellenlänge.

Berlin, im März 2008

Hans Cousto

# 1 Das III Keplersche Gesetz und die Gravitation

Johannes Kepler entdeckte die grundlegenden geometrischen Zusammenhänge der Himmelsmechanik. Er formulierte die drei Gesetze der Planetenbewegungen. Das erste Gesetz, das Kepler entdeckte, lautet: Die Planeten bewegen sich auf Ellipsen in deren einem Brennpunkt die Sonne steht. Das zweite Gesetz besagt, daß die Verbindungslinie Sonne-Planet, auch „*Fahrstrahl*“ oder „*Radiusverktor*“ genannt, in gleichen Zeitabschnitten gleiche Flächen überstreicht. Das dritte Gesetz besagt, daß die Quadrate der Umlaufszeiten der Planeten sich wie die Kuben (dritte Potenz) ihrer mittleren Entfernungen von der Sonne verhalten. Es sei die Umlaufszeit eines Planeten ($T_1$) und diejenige eines anderen Planeten ($T_2$) und die mittleren Entfernungen entsprechend ($a_1$) und ($a_2$), dann gilt:

$$P = (T_1)^2 \cdot (a_1)^{-3} = (T_2)^2 \cdot (a_2)^{-3} \qquad \text{Gleichung 1.1}$$

wobei P ein konstanter Wert ist. Isaac Newton stellte jedoch fest, daß dies nicht genau stimmte und daß man die Massen der Planeten ebenfalls in der Rechnung berücksichtigen müßte. Es ist erstaunlich, daß Kepler dieselbe in seinem dritten Planetengesetz nicht miteinbezogen hatte, denn er entwickelte in seiner „*Astronomia nova*“, die bereits 1609 erschien, den Gedanken einer wechselseitigen Anzeihung zwischen Erde und Mond und nahm an, daß die Anziehung des Mondes auf die Wassermassen der Ozeane die Gezeiten verursache. Die Idee der Anziehung der Himmelskörper übertrag er im „*Grundriß der Kopernikanischen Astronomie*“ im Jahre 1620 auf das gesamte Sonnensystem mit der Sonne als Kraftzentrum der Planetenbewegung. Er vermutete eine Abnahme dieser Kraft mit dem Quadrat des Abstandes von der Sonne. Diese Vermutung war richtig; Kepler formulierte so etwa ein halbes Jahrhundert vor Newton das $1/r^2$-Gesetz, das Gesetz der Anziehungskraft. Diese Vorstellung gab Kepler aus unbekannten Gründen wieder auf.

Aufgrund des zweiten Planetengesetzes von Kepler lieferte Isaac Newton den Beweis, daß die Planetenbewegung in einer Ellipse unter Einhaltung des Flächensatzes zum $1/r^2$-Gesetz der Gravitation führt, und daß umgekehrt diesem Abstandsgesetz im allgemeinen Falle als Bahnkurve ein Kegelschnitt (die Ellipse ist ein Kegelschnitt) mit der Zentralmasse im Brennpunkt entspricht. Die Anziehungskraft zweier Massen beträgt:

$$K = G \cdot (m_1) \cdot (m_2) \cdot (r)^{-2} \qquad \text{Gleichung 1.2}$$

wobei $m_1$ und $m_2$ die sich anziehenden Massen sind, r der Abstand der Schwerpunkte der Massen und G die Gravitationskonstante ist.

$G = 6{,}67428 \cdot 10^{-8}\ cm^3 \cdot g^{-1} \cdot s^{-2}$

Das dritte Keplersche Gesetz mit Berücksichtigung der Newtonsche Gravitationstheorie lautet dann:

$$P = (M + m_1) \cdot (T_1)^2 \cdot (a_1)^{-3} = (M + m_2) \cdot (T_2)^2 \cdot (a_2)^{-3} \qquad \text{Gleichung 1.3}$$

wobei $T_1$ die Umlaufszeit des einen Planeten, $a_1$ seine mittlere Entfernung von der Sonne und $m_1$ seine Masse ist; entsprechend $T_2$, $a_2$ und $m_2$ die Werte des anderen Planeten bedeuten. M ist die Masse der Sonne.

In astronomischen Jahrbüchern wird zumeist nicht mehr die Umlaufszeit der Planeten angegeben, sondern die mittlere tägliche Bewegung n. Die Umrechnung von Umlaufszeit T in mittlere tägliche Bewegung n lautet:

$$n = T^{-1} \cdot 360^\circ \qquad \text{Gleichung 1.4}$$

beziehungsweise:

$T = n^{-1} \cdot 360^\circ$ Gleichung 1.5

Das dritte Keplersche Gesetz lautet ausgedrückt mit der mittleren täglichen Bewegung unter Einbeziehung der Gravitationskraft, durch Einsetzen von Gleichung 1.4 in Gleichung 1.3 und Umformung, fogendermaßen:

$a^3 \cdot n^2 = k^2 \cdot (1 + m)$ Gleichung 1.6

wobei a der mittlere Abstand des Planeten von der Sonne bedeutet, in Astronomischen Einheiten (AE) gemessen, n die mittlere tägliche Bewegung in Bogengrad pro Tag ist, m die Masse des Planeten in Sonnenmasseneinheiten und k eine Konstante, die sogenannte Gauß'sche Gravitationskonstante, die von der internationalen Astronomenvereinigung (IAU – system of astronomical constants) in Bogengrad mit 0,985 607 668 6 angegeben wird.

Gauß'sche Gravitationskonstante = 0,985 607 668 6° = 3.548,187 606 965 1".

In der untenstehenden Tabelle sind in der ersten Zahlenspalte die mittleren Abstände der Planeten Merkur bis Saturn aufgelistet, der Wert von a ist in Astronomischen Einheiten angegeben. Die Planeten Merkur bis Saturn sind diejenigen, die zu Keplers Zeiten bekannt waren und die man mit dem Auge (ohne Fernrohr) sehen kann. In der zweiten Zahlenspalte steht die mittlere tägliche Bewegung n in Bogengrad (pro Tag), in der dritten Zahlenspalte sind die Massen der Planeten in Sonnenmassen angegeben. In der vierten Zahlenspalte steht der Wert von $a^3 \cdot n^2$ und in der fünften Zahlenspalte der Wert von k (in Bogengrad).

| | **Abstand von der Sonne im Astronom. E.** | **Mittlere tägl. Bewegung in Bogengrad** | **Massen der Planeten in Sonnenmassen** | **Wert von** | **Wert von** |
|---|---|---|---|---|---|
| **Planet** | **a** | **n** | **m** | $a^3 \cdot n^2$ | **k** |
| Merkur | 0,38710 | 4,09234 | $1{,}59 \cdot 10^{-7}$ | 0,9714 | 0,9856 |
| Venus | 0,72333 | 1,60213 | $2{,}45 \cdot 10^{-6}$ | 0,9714 | 0,9856 |
| Erde | 1,00000 | 0,98561 | $3{,}00 \cdot 10^{-6}$ | 0,9714 | 0,9856 |
| Mars | 1,52369 | 0,52403 | $3{,}22 \cdot 10^{-7}$ | 0,9714 | 0,9856 |
| Jupiter | 5,20398 | 0,08306 | $9{,}56 \cdot 10^{-4}$ | 0,9723 | 0,9856 |
| Saturn | 9,57515 | 0,03327 | $2{,}86 \cdot 10^{-4}$ | 0,9717 | 0,9856 |

Es zeigt sich, daß der Ausdruck in der vierten Zahlenspalte nicht konstant ist, sondern bei Jupiter und Saturn vom Mittelwert abweicht. Dies rührt von der relativ großen Masse dieser beiden Planeten her. Da der Wer von $a^3 \cdot n^2 = k^2 \cdot (1 + m)$ ist, muß $a^3 \cdot n^2$ noch durch 1 + m dividiert werden, um zu einem konstanten Wert zu gelangen. Der Wert von $k^2$ respektive von k ist dann konstant. Dieser Wert von k wird auch, wie schon erwähnt, Gauß'sche Gravitationskonstante genannt.

Die mittlere Bahngeschwindigkeit der Planeten v wird errechnet nach der Formel:

$$v = 2 \cdot \pi \cdot a \cdot T^{-1} \ \ AE \cdot d^{-1} \qquad \text{Gleichung 1.7}$$

wobei $AE \cdot d^{-1}$ Astronomische Einheiten pro Tag bedeutet. Mit der mittleren täglichen Bewegung ausgedrückt, durch Einsetzen von Gleichung 1.5 in Gleichung 1.7, lautet die Gleichung dann:

$$v = 2 \cdot \pi \cdot a \cdot n \cdot (360^{\circ})^{-1} \ \ AE \cdot d^{-1} \qquad \text{Gleichung 1.8}$$

$$v = \pi \cdot a \cdot n \cdot (180^{\circ})^{-1} \ \ AE \cdot d^{-1} \qquad \text{Gleichung 1.9}$$

Multipliziert man diesen Wert mit der Anzahl Kilometer, die eine Astronomische Einheit ausmachen ($1{,}495\,978\,70 \cdot 10^8$), erhält man die Bahngeschwindigkeit in Kilometern pro Tag, dividiert man dann diesen Wert durch die Anzahl der Sekunden eines mittleren Sonnentages (Kalendertages), deren Zahl 86.400 ist, erhält man die Bahngeschwindigkeit in $km \cdot s^{-1}$ (ließ: *Kilometer mal Sekunden hoch minus Eins* oder einfach *Kilometer pro Sekunde*). Der Umrechnungsfaktor von $AE \cdot d^{-1}$ in $km \cdot s^{-1}$ ist somit:

$$1{,}495\,978\,70 \cdot 10^8 \cdot 86.400^{-1} = 1.731{,}4568 \qquad \text{Gleichung 1.10}$$

Zum Beispiel ist für die Venus a = 0,723 33 AE und n = 1,062 13 Bogengrad pro Tag. Diese Werte in Gleichung 1.9 eingesetzt führen zu folgendem Resultat:

$$0{,}723\,33 \ AE \cdot 1{,}602\,13^{\circ} \cdot 1 \cdot d^{-1} \cdot \pi \cdot (180^{\circ})^{-1}$$

$$= 0{,}020\,226 \ \ AE \cdot d^{-1}$$

und weiter ist:

$$= 0{,}020\,226 \ \ AE \cdot d^{-1} \cdot 1.731{,}4568 = 35{,}021 \ km \cdot s^{-1}$$

Die Venus legt durchschnittlich 35,021 Kilometer pro Sekunde zurück. Ein so errechneter Wert bezieht sich auf die Sonne und hat nur relativ zur Sonne seine Gültigkeit. Die Keplerschen Gesetze, wie alle Bahnelemente der Planeten haben nur ihre Gültigkeit für ein System, indem die Sonne als fester Ausgangspunkt betrachtet wird. Für einen Beobachter innerhalb des Sonnensystems ist das auch vernünftig, denn scheinbar kreisen die Planeten alle um die Sonne. Für einen Beobachter außerhalb des Sonnensystems sieht das jedoch ganz anders aus, da die Sonne im Vergleich zu den Fixsternen eine Raumbewegung vollführt. Aus der interstellaren Sicht gleichen die Planetenbahnen eher einer Korkenzieher- oder Schraubenbewegung.

## 2 Klassische astronomische Berechnung des Sonnentons

Für die Berechnung von Planetenbahnen sind die Lage der Himmelskörper zueinander sowie ihre Massen von Bedeutung. Die Ausdehnung eines Himmelskörpers ist für die Himmelsmechanik ohne belang, in der Rechnung wird eigentlich nur die Lage respektive die Bewegung der Schwerpunkte der Himmelskörper berücksichtigt. Die Größe und somit auch das spezifische Gewicht (Dichte) hat keinen Einfluß auf die Bewegungsenergie und die gegenseitige Anziehung. Im Physikerjargon spricht man darum auch von der Kinematik der Massenpunkte.

Man stelle sich nun in einem Gedankenexperiment die Sonne sowie die Planeten punktförmig vor. Je dichter ein Planet bei der Sonne ist, desto größer wird seine Bahngeschwindigkeit. Die mittlere Bahngeschwindigkeit des Merkurs zum Beispiel, der sonnennächste Planet, ist etwa zehnmal so groß wie diejenige des Pluto, dem sonnenfernsten Planeten (1982 war Pluto noch ein Planet, heute wird er als Kleinplanet klassifiziert). Da die mittlere Entfernung des Merkurs etwa 100 mal kleiner ist wie diejenige des Plutos, ist die mittlere tägliche Bewegung (in Bogengrad) des Merkurs etwa 1.000 mal so groß wie diejenige des Plutos.

Man denke sich nun einen punktförmigen Planeten, der mit Lichtgeschwindigkeit um die punktförmige Sonne kreist (genau genommen beinahe mit Lichtgeschwindigkeit, doch die Planetengeschwindigkeit soll nur geringfügig kleiner sein als die Lichtgeschwindigkeit). Weiter soll der gedachte Planet eine sehr geringe Masse haben, so daß dieselbe gegenüber der Sonnenmasse vernachlässigt werden kann. Wie im vorigen Kapitel ( Das III Keplersche Gesetz und die Gravitation) gezeigt wurde, gelten folgende Beziehungen:

$v = \pi \cdot a \cdot n \cdot (180^o)^{-1} \quad AE \cdot d^{-1}$ Gleichung 1.9

und:

$a^3 \cdot n^2 = k^2 \cdot (1 + m)$ Gleichung 1.6

Bekannt sind folgende Stücke in diesen beiden Gleichungen:

Lichtgeschwindigkeit $v = 2{,}997\,925 \cdot 10^{10}$ cm $\cdot$ $s^{-1}$

Gauß'sche Gravitationskonstante = $0{,}985\,607\,668\,6^{\circ}$

$\pi = 3{,}141\,592\,654$ ...

und m, das vernachlässigbar klein ist. Gesucht sind a, die mittlere Entfernung von der Sonne, sowie n, die mittlere tägliche Bewegung. Gleichung 1.9 nach n aufgelöst, ergibt:

$n = v \cdot 180^o \cdot \pi^{-1} \cdot a^{-1}$ Gleichung 2.1

Gleichung 2.1 in Gleichung 1.6 eingesetzt mit m ~ 0 ergibt:

$a^3 \cdot v^2 \cdot (180^o)^2 \cdot \pi^{-2} \cdot a^{-2} = k^2$ Gleichung 2.2

$a \cdot a^2 \cdot v^2 \cdot (180^o)^2 \cdot \pi^{-2} \cdot a^{-2} = k^2$

In dieser Gleichung kürzt man $a^2$ und löst nach a auf:

$a = v^{-2} \cdot (180^o)^{-2} \cdot \pi^2 \cdot k^2$ Gleichung 2.3

Beim Einsetzen der Zahlenwerte in dieser Gleichung muß beachtet werden, daß die Einheiten übereinstimmen; v wird in Astronomischen Einheiten pro Tag angegeben, da n die mittlere tägliche Bewegung ist und die Konstante k für ein Maß in Astronomische Einheiten gegeben ist.

Deshalb wird die Maßzahl der Lichtgeschwindigkeit

$2{,}997\,925 \cdot 10^{10}$

durch die Maßzahl der Astronomischen Einheit in cm

$1{,}495\,978\,7 \cdot 10^{13}$

geteilt und hernach mit 86.400 (Zahl der Sekunden des Tages) multipliziert:

$v = 2{,}997\,925 \cdot 10^{10}\ cm \cdot s^{-1}$

$v = 2{,}003\,989 \cdot 10^{-3}\ AE \cdot s^{-1}$

$v = 173{,}144\,7 \cdot AE \cdot d^{-1}$

Die Zahlenwerte mit übereinstimmenden Einheiten werden nun in Gleichung 2.3 eingesetzt

$a = 0{,}985\,607\,668\,6^2 \cdot \pi^2 \cdot (173{,}144\,7 \cdot AE \cdot d^{-1})^{-2} \cdot (180^o)^{-2}$ Gleichung 2.3

$a = 9{,}870\,626\,8 \cdot 10^{-9}\ AE$ Gleichung 2.3a

$a = 1.476{,}6246\ m \sim 1{,}477 \cdot 10^5\ cm$ Gleichung 2.3b

Gemäß Gleichung 1.6 gilt folgende Beziehung:

$n^2 = k^2 \cdot a^{-3}$ Gleichung 1.6a

und somit:

$n = k \cdot a^{-1{,}5}$ Gleichung 1.6b

Setzt man nun die Werte für k und a (aus Gleichung 2.3a) in Gleichung 1.6b ein, so ergibt das eine mittlere tägliche Bewegung von:

$n = 0{,}985\,607\,668\,6 \cdot (9{,}870\,626\,8 \cdot 10^{-9}\ AE)^{-1{,}5}$

$n = 1{,}005\,048\,5 \cdot 10^{12}$

Das entspricht einer Umlaufszeit T von:

$T = n^{-1} \cdot 360^o$

$T = 3{,}581\,916\,5 \cdot 10^{-10}$ Tagen

$T = 3{,}094\,775\,9 \cdot 10^{-5}$ Sekunden

beziehungsweise der Umlaufsfrequenz f von:

$f = T^{-1}$

$f = 32.312{,}52\ s^{-1}$

Es zeigt sich hier, daß ein in einem Gedankenexperiment vorgestellten punktförmigen Planeten um eine punktförmige Sonne ein Mindestabstand von etwa 1,5 km für beide Punkte gegeben ist. Dies gilt zumindest für unser Sonnensystem beziehungsweise für jede Sonne mit der Masse unserer Sonne. Dieser Mindestabstand wird in der Physik und in der Astronomie als Gravitationsradius ($R_0$)[1] bezeichnet. Die hier aufgeführte Berechnungsmethode ist nicht die allgemein übliche, die im folgenden Abschnitt besprochen werden soll; sie ist dafür aber ohne Kenntnis der Relativitätstheorie herleitbar und die verwendeten physikalischen Voraussetzungen sind leicht für jedermann nachprüfbar – auch ohne Studium der Physik oder der Astronomie an einer Hochschule.

Der gedachte Planet würde die punktförmige Sonne etwa 32.000 mal pro Sekunde umrunden ($f = 32.312{,}52\ s^{-1}$). Diese Frequenz liegt im Ultraschallbereich. Die erste Unteroktave liegt mit 16.156,26 Hz bereits im oberen Hörbereich des Menschen. Die folgende Tabelle zeigt die Originalfrequenz im Ultraschallbereich und die Unteroktaven im Hörbereich an.

| **Bereich** | **Frequenz** | **Tonstufe** |
|---|---:|---:|
| Originalton (Prime) | 32.312,52 Hz | --- |
| 1. Unteroktave | 16.156,26 Hz | h''''' |
| 2. Unteroktave | 8.078,13 Hz | h'''' |
| 3. Unteroktave | 4.039,06 Hz | h''' |
| 4. Unteroktave | 2.019,53 Hz | h''' |
| 5. Unteroktave | 1.009,77 Hz | h'' |
| 6. Unteroktave | 504,88 Hz | h' |
| 7. Unteroktave | 252,44 Hz | h |
| 8. Unteroktave | 126,22 Hz | H |
| 9. Unteroktave | 63,11 Hz | $\underline{H}$ |
| 10. Unteroktave | 31,56 Hz | $\underline{\underline{H}}$ |

1 Der hier definierte Gravitationsradius wurde bisher auch von Physikern als Gravitationslänge bezeichnet. Auch in der Broschüre „*Farbton – Tonfarbe und die Kosmische Oktave; Teil II*“ (Mainz 1982) wie auch in dem Buch „*Die Kosmische Oktave – der Weg zum universellen Einklang*“ (Essen 1984) wie auch in dem Buch „*Die Oktave – das Urgesetz der Harmonie*“ (Berlin 1987) wurde vom Autoren Hans Cousto der Begriff Gravitationslänge verwendet. Dieser Begriff ist jedoch im Lichte der Quantenphysik irreführend. Eine Länge ist in der Tradition der Quantentheorie immer eine Wellenlänge.

Vergl. hierzu: Norbert Böhm: Die Suche nach der Einheit – Moderne Physik im Kontext der Philosophie, Magisterarbeit der Philosophie an der Universität Potsdam, Brandenburg 2007, Fn. 39, S. 32

# 3 Moderne physikalische Berechnung des Sonnentons

Albert Einstein, der die Relativitätstheorie entwickelte, kam auf die folgende, inzwischen auch vielen Laien bekannte Gleichung:

$$E = m \cdot c^2 \qquad \text{Gleichung 3.1}$$

Dies besagt, daß die Energie E gleich dem Produkt aus der Masse m und dem Quadrat der Lichtgeschwindigkeit c ist. Es liegt nun beispielsweise nahe, die Länge zu ermitteln, wenn man die Gravitationseinergie gleich m $\cdot c^2$ setzt:

$$G \cdot m^2 \cdot (R_0)^{-1} = m \cdot c^2 \qquad \text{Gleichung 3.2}$$

$$R_0 = G \cdot m \cdot c^{-2} \qquad \text{Gleichung 3.3}$$

wobei $G = 6{,}67428 \cdot 10^{-8}\ cm^3 \cdot g^{-1} \cdot s^{-2}$ die Gravitationskonstante, m die Masse des Körpers, in unserem Fall die Masse der Sonne, $m = 1{,}9891 \cdot 10^{33}$ g und $c = 2{,}997\,925 \cdot 10^{10}\ cm \cdot s^{-1}$ ist. $R_0$ ist der gesuchte Gravitationsradius der Sonne. Durch einfaches Einsetzen der Zahlenwerte in Gleichung 3.3 erhält man:

$$R_0 = 6{,}67428 \cdot 10^{-8}\ cm^3 \cdot g^{-1} \cdot s^{-2} \cdot 1{,}9891 \cdot 10^{33}\ g \ \cdot (2{,}997\,925 \cdot 10^{10}\ cm \cdot s^{-1})^{-2} \qquad \text{Gleichung 3.3a}$$

$$R_0 = 1{,}476\,996 \cdot 10^5\ cm \sim 1{,}477 \cdot 10^5\ cm$$

Man sieht sofort, daß dieser Wert mit dem zuvor ausgerechneten Wert für a für den Planetenabstand im Gedankenexperiment übereinstimmt. Daß die Zahlenwerte ab der fünften Stelle voneinander abweichen, liegt daran, daß die Maßzahl von der Sonnenmasse sowie der Gravitationskonstante nur auf vier Stellen genau mit Sicherheit bekannt sind. Aus der allgemeinen Relativitätstheorie folgt, daß der Gravitationsradius $R_0$ eine fundamentale Bedeutung hat. Es stellt sich nämlich heraus, daß Lichtsignale (Photonen) nicht aus den Oberflächen von Körpern austreten können, deren Radius R kleiner oder gleich des Gravitationsradius $R_0$ ist. Daher kann ein solcher Köper nicht leuchten und bleibt daher unsichtbar. Mit anderen Worten ausgedrückt, es handelt sich hier um Körper, deren Dichte so groß ist, daß an der Oberfläche die Anziehungskraft einen so hohen Wert erreicht, daß selbst Photonen immer in den Körper zurückfallen und den Körper niemals verlassen können. Ein solcher Köper absorbiert jedes auf ihn zukommendes Lichtsignal und strahlt selbst kein Lichtsignal aus. Darum nennt man solche Köper schwarze Löcher.

## Umlaufsfrequenz oder Gravitationsfrequenz

Die Gravitationsfrequenz gibt die Anzahl der Kreisumläufe eines Lichtquants auf dem Gravitationskreis (Lichtkreis) eines schwarzen Loches in der Sekunde an.[2] Die Gravitationsfrequenz f ist in unserem Fall der original Sonnenton. Unter Nutzung des Gravitationsradius $R_0$ gilt die Gleichung:

$$f = c \cdot (R_0 \cdot 2 \cdot \pi)^{-1} \qquad \text{Gleichung 3.4}$$

$$f = 2{,}997\,925 \cdot 10^{10}\ cm \cdot s^{-1} \cdot (1{,}476\,996 \cdot 10^5\ cm \cdot 2 \cdot \pi)^{-1} = 32.304\ Hz$$

2 Definition gemäß: Norbert Böhm: Die Suche nach der Einheit – Moderne Physik im Kontext der Philosophie, Magisterarbeit der Philosophie an der Universität Potsdam, Brandenburg 2007, S. 32

Unter Nutzung der Masse der Sonne m gilt die Gleichung:

$$f = c^3 \cdot (G \cdot m \cdot 2 \cdot \pi)^{-1} \qquad \text{Gleichung 3.5}$$

$$f = (2{,}997\,925 \cdot 10^{10})^3\ cm^3 \cdot s^{-3} \cdot (6{,}67428 \cdot 10^{-8}\ cm^3 \cdot g^{-1} \cdot s^{-2} \cdot 1{,}9891 \cdot 10^{33}\ g \cdot 2 \cdot \pi)^{-1}$$

$$f = 32.301\ Hz$$

Aufgrund des nicht genauen Bekanntseins der Masse der Sonne ergeben die Berechnungen des Sonnentons auf Basis des Gravitationsradius $R_0$ der Sonne respektive der Masse der Sonne m leicht kleinere Werte als bei der klassischen Berechnung auf Basis der Gauß'schen Gravitationskonstante. Die in den Hörbereich hinunter oktavierten Frequenzen sind jedoch von so geringem Unterschied, so daß die Unterschiede mit dem Ohr kaum bis gar nicht wahrnehmbar sind. In der sechsten Unteroktave führt die klassische Rechnung zu einem Wert von 504,88 Hz, die moderne physikalische Rechnung zu einem Wert von 504,70 Hz, in der siebten Unteroktave liegen die Werte bei 252,44 Hz respektive bei 252,35 Hz, in der achten Unteroktave bei 126,22 Hz respektive 126,18 Hz.

# 4 Stimmtabelle für elektronische Musikinstrumente

## Sonnenton

| | Oktave | Hertz |
|---|---|---|
| | 0 | 32.312,52 |

| Echo-, Hall- und Loopzeiten in Millisekunden | | Tonfrequenz |
|---|---|---|
| | -1 | 16.156,26 |
| | -2 | 8.078,13 |
| | -3 | 4.039,06 |
| | -4 | 2.019,53 |
| 0,99 | -5 | 1.009,77 |
| 1,98 | -6 | 504,88 |
| 3,96 | -7 | 252,44 |
| 7,92 | -8 | 126,22 |
| 15,85 | -9 | 63,11 |
| 31,69 | -10 | 31,56 |
| 63,38 | -11 | 15,78 |

**Microtune Data**

Tonname = h
Kammerton = 449,80 Hz
Differenz zu 440 Hz = 38,13 Cent

| | |
|---|---|
| Microtune (+/- 64): | 24 |
| Pitch (64 = 0); Range I +/- 64: | 88 |
| Pitch (64 = 0); Range I/ +/- 32: | 76 |
| Pitchbend (+/- 8.192); Range 1 | 3.124 |
| Pitch (8.192 → +/- 0); Range 1 | 11.315 |
| Pitch (8.192 → +/- 0); Range 2 | 9.753 |
| Pitch (8.192 → +/- 0); Range 8 | 8.581 |

| | | Frequenz | Tempo (bpm) | Pendellänge in cm |
|---|---|---|---|---|
| 126,76 | -12 | 7,89 | 473,32 | 0,4 |
| 253,52 | -13 | 3,94 | 236,66 | 1,6 |
| 507,05 | -14 | 1,97 | 118,33 | 6,4 |
| 1.014,10 | -15 | 0,99 | 59,17 | 25,6 |
| 2.028,19 | -16 | 0,49 | 29,58 | 102,4 |
| 4.056,38 | -17 | 0,24 | 14,79 | 409,6 |
| 8.112,77 | -18 | 0,12 | 7,40 | |
| 16.225,54 | -19 | 0,06 | 3,70 | |

| Farbe | | Farbfrequenz | Wellenlänge |
|---|---|---|---|
| Gelbgrün | +34 | $5{,}551 \cdot 10^{14}$ Hz | 540 nm |

Der Tonname bezieht sich auf ein a' mit 440 Hz

| | |
|---|---|
| Kammerton | = das dem Sonnenton entsprechende gleichmäßig schwebende a' |
| Centwert | = Abweichung des Kammertones von 440 Hz (Ein Halbton der gleichmäßig schwebenden Stimmung umfaßt genau 100 Cent.) |
| Microtune | = 64 Einheiten entsprechen 100 Cent (1 Halbton) |
| Pitch | = Pitchwheel; bei Range I entspricht eine Drehung vom Mittelstand nach ganz oben oder ganz unten jeweils einem Halbton (64 Einheiten), bei Range II einem Ganzton (Halbton = 32 Einheiten) |
| bpm | = beats per minute (Schläge pro Minute) |
| nm | = Nanometer |