

computer jazz and electronic sound music

Udo matthias 07621 9537376

mobil: 017621-605276

http://www.udomatthias.com

https://www.facebook.com/udo.matthias.3

info@udomatthias.com

Erwin [Schrödinger](#) - [Hermann Weyl](#) und Curtis [Roads](#)

If it feels good, it must be in time!!

und die Obertöne einer schwingenden Saite und einer Membran..!?

Ich liebe die didaktische Reduktion, weil viele Menschen dazu neigen, etwas Komplexes so zu beschreiben, wie das wissenschaftliche Arbeiten es verlangt. D.h. aber nicht, dass ich alles einfacher als Einfach mache. Ich empfinde für viele Menschen eine volle Hochachtung im theoretischen Bereich, wie im Anwendungsbereich. Insofern habe ich schon immer ein Autoritätsproblem.



Curtis Roads

ist ein **Pionier auf dem Gebiet der Computer- und Elektronischen Musik**, der sich unter anderem mit der **Mikrotonalen Komposition** und der **Granularsynthese** beschäftigt hat. Die Granularsynthese ist eine **Methode zur Klangerzeugung**, bei der **Sounds in kleine Stücke** zerlegt werden, die als **"Grains"** oder Körner bezeichnet werden. Diese **Grains können dann auf verschiedene Weisen manipuliert und neu zusammengesetzt werden**, **um komplexe und oft sehr einzigartige Klanglandschaften** zu erzeugen.

Die **Verbindung zwischen Erwin Schrödinger und Curtis Roads ist weniger direkt und mehr konzeptionell**. **Schrödinger**, bekannt durch seine Arbeit in der **Quantenmechanik**, beschäftigte sich mit den **fundamentalen Gesetzen**, die das **Verhalten von Teilchen auf der mikroskopischen Ebene bestimmen**. Während **Schrödinger's Forschung sich auf physikalische Phänomene konzentrierte**, **überträgt Curtis Roads ähnliche Konzepte auf den Bereich der Klangschröpfung**.

Die Idee, dass komplexe Systeme aus kleineren, einfacheren Einheiten zusammengesetzt werden können – sei es in der Quantenphysik durch Teilchen oder in der Musik durch Klangkörner –, ist ein **grundlegendes Prinzip, das sowohl in der Wissenschaft als auch in der Kunst Anwendung findet**. Die **Granularsynthese kann als eine Art akustische Quantenmechanik betrachtet werden**, bei der die "Grains" den grundlegenden Bausteinen entsprechen, aus denen komplexe Klangstrukturen aufgebaut sind.

Curtis Roads nutzt diese Methode, um durch die Manipulation dieser akustischen "Quanten" neue Musikformen und Klangtexturen zu erforschen, ähnlich wie Schrödinger die Quantenmechanik nutzte, um das Universum auf subatomarer Ebene zu verstehen. Die Parallelen zwischen den beiden Feldern – obwohl in ganz unterschiedlichen Disziplinen angesiedelt – unterstreichen die universelle Bedeutung des **Konzepts, dass komplexe Phänomene oft aus der Interaktion einfacherer Elemente** entstehen.

Die „**Schroedingergleichung**“ bildet heute die **Grundlage für die Erklärung der Struktur der Materie**. Die Eigenschaften von Atomen, Molekülen, Flüssigkeiten und Festkörpern berechnet man heute mit der Schroedingergleichung. Die Beschreibung einer Elektronenwelle in der Umgebung des Atomkerns ist nicht einfach zu behandeln. Die Wellenlänge verändert sich da ja von Punkt zu Punkt. Deshalb musste Schroedinger selbst den **Mathematiker Hermann Weyl** zu Hilfe bitten.

Ein anderer Weg zum Verständnis des Atoms ist aber die **Verwendung einer Analogie**. Wenn man sie findet. Wie brauchen eine Analogie, die uns die wesentlichen Eigenschaften der stehenden Elektronenwelle im Atom anschaulich macht.

Auch in der Akustik tauen stehende Wellen auf, wenn das Ausbreitungsgebiet beschränkt ist.

- ⇒ **Schwingende Saite und schwingende Membran, einer Trommel oder bei Lautsprecher**. S.a. Messtechnik. Mit deren Ergebnisse, welche wir auf Elektronenwellen übertragen, wird das Problem ziemlich einfach.

computer jazz and electronic sound music

Udo matthias 07621 9537376

mobil: 017621-605276

<http://www.udomatthias.com>

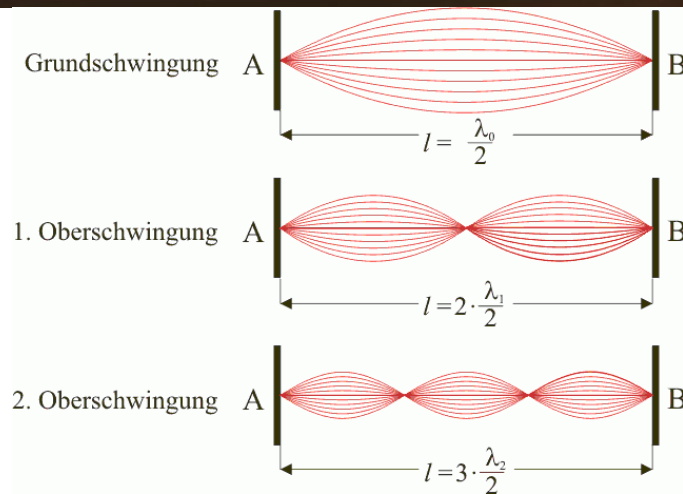
<https://www.facebook.com/udo.matthias.3>

info@udomatthias.com

<https://www.youtube.com/watch?v=Jf0k3XSsRxQ&t=12s>

If it feels good, it must be in time!!

Stehende Welle mit Gummischnur



2

Bei den Saiteninstrumenten wird eine gespannte Saite durch Zupfen, Streichen oder durch den Schlag eines kleinen Hammers (z.B. Klavier) zu Schwingungen angeregt. **Dabei können recht komplexe Schwingungsformen auftreten, die deutlich von den sinusförmigen stehenden Wellen wie wir sie am Gummiseil oben beobachtet haben, abweichen.**



Die schwingende Saitenlänge nach Instrument zusammengefasst:

Violine: 32,5 cm - 32,8 cm

Viola: 37 cm - 38 cm

Cello: 69 cm - 70 cm

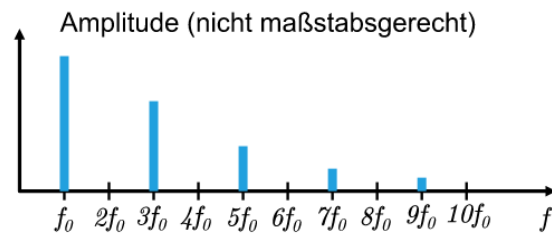
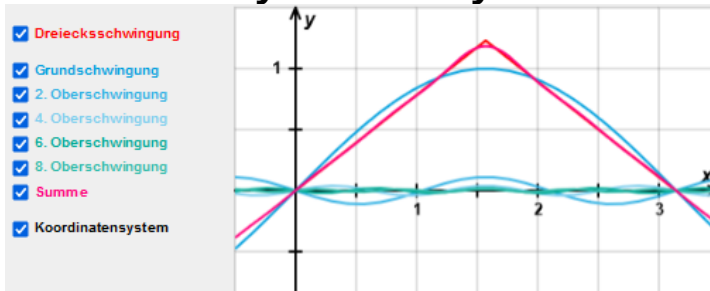
3/4 Bass: 103 cm - 106 cm

4/4 Bass: 106 cm - 110 cm

Zupft man eine Saite in ihrer Mitte an, so schwingt die Saite als Ganzes nicht sinusförmig. Vielmehr erinnert die **Schwingungsform an ein Dreieck bzw. an eine Rampe.**

Fourier Analyse oder Synthese

If it feels good, it must be in time!!



Frequenzspektrum

Modell des differentiellen Saitenelements

$$dx \gg du$$

$$\rightarrow ds = \sqrt{dx^2 + du^2} \approx dx$$

Differentielle Masse :

$$dm = \rho ds \approx \rho dx$$

Trägheitskraft :

$$F_T = \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \rho dx$$

Spannkraft : Ψ

$$F_2 = \Psi \cdot \sin(\alpha - d\alpha)$$

$$F_2 \approx \Psi \cdot (\alpha - d\alpha)$$

du

Resultierende der Spannkraften :

$$F_R = F_1 - F_2 \approx \Psi d\alpha = \Psi \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} dx$$

Spannkraft : Ψ

dx

Steigungsdreieck :

$$\tan(\alpha) = \frac{\partial u}{\partial x} \approx \alpha$$

$$d\alpha = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} dx$$

Flächeninhalt des Saitenquerschnitts :

$$A = \pi \left(\frac{D}{2} \right)^2$$

Materialdichte : ρ

Saitendurchmesser : D

Transversales Kräftegleichgewicht :

$$F_T = \rho A \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \Psi \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = F_R$$

Wellengleichung :

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \frac{1}{c^2} \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \quad c = \frac{2}{D} \sqrt{\frac{\Psi}{\pi \rho}}$$

Die Ausbreitungsgeschwindigkeit c (m/s) **der entlang der Saitenlänge hin- und rücklaufenden Welle** (nicht zu verwechseln mit der Schnelle v , mit der die Saite an einem Punkt quer schwingt) bestimmt sich aus:

Quelle: Wiki oder jedes Physikbuch

Zugspannung (Pa = kg · m⁻¹ · s⁻²) (sigma)

Materialdichte (kg/Kubikmeter) (rho)

$$c = \sqrt{\frac{\sigma}{\rho}}$$



computer jazz and electronic sound music

Udo matthias 07621 9537376

mobil: 017621-605276

<http://www.udomatthias.com>

<https://www.facebook.com/udo.matthias.3>

info@udomatthias.com

Die Ausbreitungsgeschwindigkeit c einer Welle steht in Zusammenhang mit

If it feels good, it must be in time!!

$$c = \frac{\lambda}{\tau} = \lambda f$$

- Wellenlänge λ (lambda)
- Schwingungsperiode τ (tau) bzw.
- Frequenz f :



Mit der Saitenlänge L entsteht eine Grundschiwingung, bei der die – einzigen zwei – Schwingungsknoten an den Enden der Saite liegen, die Wellenlänge ist somit die doppelte

Saitenlänge ($\lambda = 2L$) Für die Frequenz f gilt:

$$f = \frac{c}{2L} = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{\Psi}{\pi \rho}}$$

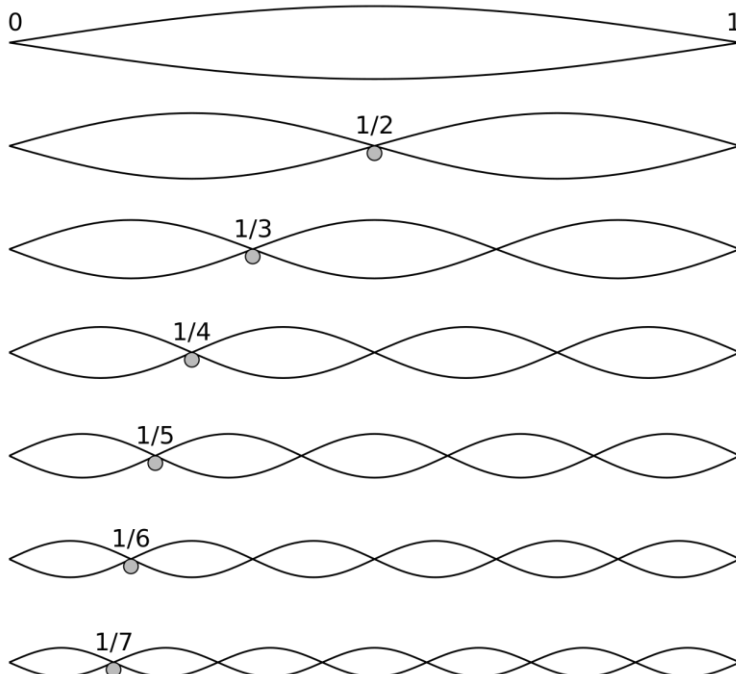
Wenn man an Stelle der Materialdichte den Massebelag μ (kg pro m) zu Grunde legt, erhält man für

f :

$$f = \frac{1}{L} \sqrt{\frac{\Psi}{4\mu}}$$

Das ist Grundlagen Physik und für jeden verständlich.

4



Die Eigenschwingungen einer Saite sind stehende Wellen, die in einem begrenzten Gebiet existieren. In der Akustik bezeichnet man die Grundschiwingung $n=1$ mit f_0 , während sie hier f_1 heißt.

$f_1 = c/2L$ entspricht dem Grundton der Saite. Die Obertöne $f_2, f_3, \dots$ haben entsprechen höhere Frequenzen. $f_2 = 2 \cdot f_0$, etc.

computer jazz and electronic sound music

Udo matthias 07621 9537376

mobil: 017621-605276

<http://www.udomatthias.com>

<https://www.facebook.com/udo.matthias.3>

info@udomatthias.com

Wenn wir zum Atom übergehen, so müssen wir zunächst den wesentlichen Unterschied zur Saite betonen. Bei der Saite schwingen tatsächlich Materieteilchen auf und ab. Im Atom aber schwingen die Elektronen nicht auf und ab.

If it feels good, it must be in time!!



Vielmehr gibt die stehende Elektronenwelle die Wahrscheinlichkeit an, Elektronen an bestimmten Stellen im Raum vorzufinden.

Die Wahrscheinlichkeit hängt nicht von der Zeit ab und bewirkt die Stabilität und Unveränderlichkeit der Atome.

Also: → Die Analogie zwischen Saite und Atom besteht darin, dass sowohl bei der Saite, als auch beim Atom nur bestimmte Wellenlängen und Eigenfrequenzen möglich sind.

In der Quantentheorie hängen Energie und Frequenz gemäß $E=h \cdot f$. Das Planck'sche Wirkungsquantum hat den Wert: $h=6,626 \cdot 10^{-34} \text{Js}$ und damit die Dimension einer Wirkung (also Energie mal Zeit).

Die Eigenfrequenzen der stehenden Wellen bedeutet daher auch Energiewerte. Dem Auftreten bestimmter Eigenschwingungen in der Akustik entspricht das Auftreten bestimmter Energiestufen im Atom.

Der Grundton der Saite hat die niedrigste Eigenfrequenz. Ihm entspricht der Grundzustand des Atoms, welcher die tiefste Energie aufweist. Die verschiedenen Obertöne der Saite weisen höhere Frequenzen auf. Nach $E= h \cdot f$ entsprechen ihnen die verschiedenen angeregten Zustände des Atoms, also im Bohrschen Atommodell → die Bahnen mit höherer Energie.

5

Die Energiestufen erweisen sich damit als uralte Idee.

Sie entsprechen dem Auftreten von harmonischen Grundtönen und Obertönen in der Musik, deren Frequenzen in einfachen Zahlenverhältnissen stehen.

→ Diese Zahlenverhältnisse entsprechen den Quantenzahlen der Mikrophysik.

→ **Arnold Sommerfeld**, der Begründer einer der bedeutendsten physikalischen Schulen in Deutschland, hat diesen Zusammenhang im Vorwort zu seinem Hauptwerk „**Atombau und Spektrallinien**“ folgendermaßen beschrieben.

Was wir heutzutage aus der Sprache der Spektren heraushören, ist eine wirkliche Sphärenmusik des Atoms, ein Zusammenhängen ganzzahliger Verhältnisse, eine bei aller Mannigfaltigkeit zunehmende Ordnung und Harmonie. Für alle Zeiten wird die Theorie der Spektrallinien den Namen Bohrs tragen. Aber noch ein anderer Name wird dauernd mit ihr verknüpft sein, der Name Plancks.

Alle ganzzahligen Gesetze der Spektrallinien der Atomistik fließen letzten Endes aus der Quantentheorie.

Sie ist das geheimnisvolle Organon (Mehrstimmigkeit in der frühen abendländischen Musik), auf dem die Natur die Spektralmusik spielt und nach dessen Rhythmus sie den Bau der Atome und der Kette regelt.

→ Ich denke jetzt ist die Arbeit von Curtis Roads und Anderen an der Reihe.

→ bitte wenden

computer jazz and electronic sound music

Udo matthias 07621 9537376

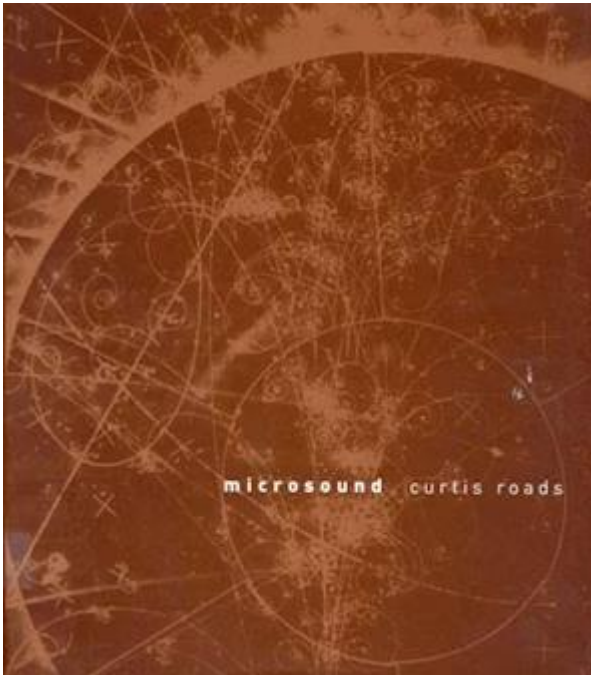
mobil: 017621-605276

<http://www.udomatthias.com>

<https://www.facebook.com/udo.matthias.3>

info@udomatthias.com

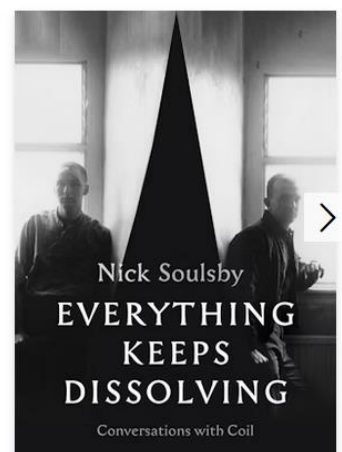
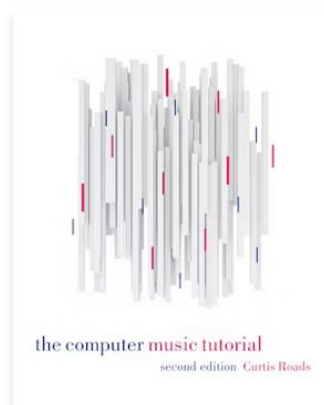
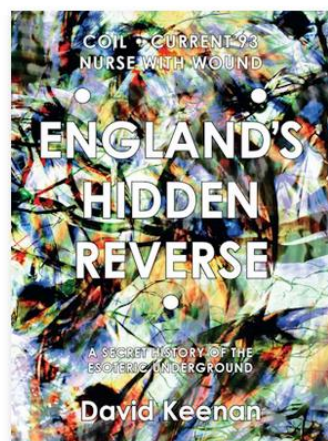
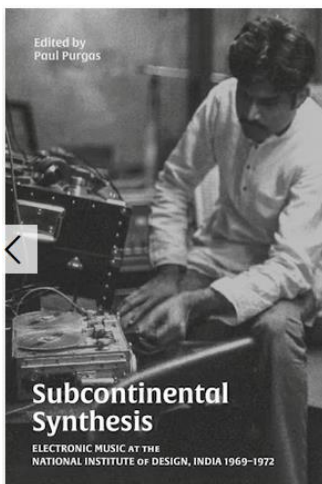
If it feels good, it must be in time!!



→ **Einschub:**

Unterhalb der Ebene der Musiknote liegt das Reich des Mikroklangs, also der Klangpartikel mit einer **Dauer von weniger als einer Zehntelsekunde**. Jüngste **technologische Fortschritte** ermöglichen es uns, diese Klangpunkte zu untersuchen und zu manipulieren und die **traditionellen Bausteine der Musik** – Noten und ihre Intervalle – in einem **flüssigeren und geschmeidigeren Medium** aufzulösen. Die Empfindungen von Punkt, Puls (Reihe von Punkten), Linie (Ton) und Oberfläche (Textur) treten mit **zunehmender Partikeldichte auf**. Klänge verschmelzen, verflüchtigen sich und mutieren zu anderen Klängen. → **Seit den 1950er Jahren nutzen Komponisten Theorien des Mikroklangs in der Computermusik**. Zu den angesehenen Praktikern zählen Karlheinz Stockhausen und Iannis Xenakis. Angesichts des zunehmenden Interesses an Computer- und elektronischer Musik erkunden heute viele **junge Komponisten und Entwickler von Softwaresynthesen deren Vorteile**. Sie deckt alle Aspekte der **Komposition mit Klangpartikeln** ab und **Microsound** bietet **Kompositionstheorie**, historische Berichte, technische Übersichten, **akustische Experimente**, Beschreibungen musikalischer Werke und **ästhetische Reflexionen**.

6



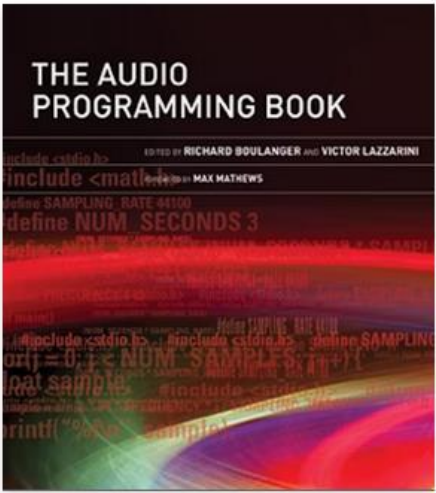
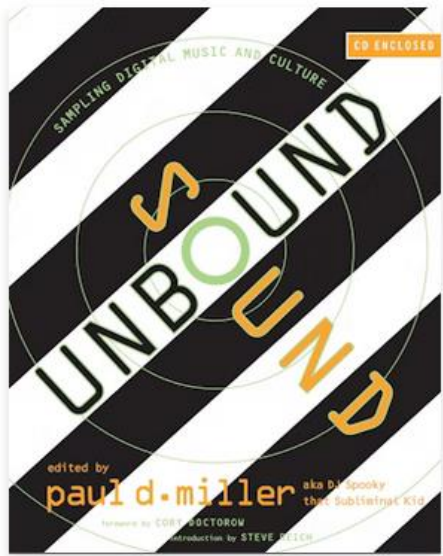
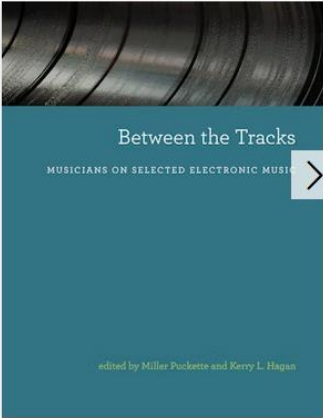
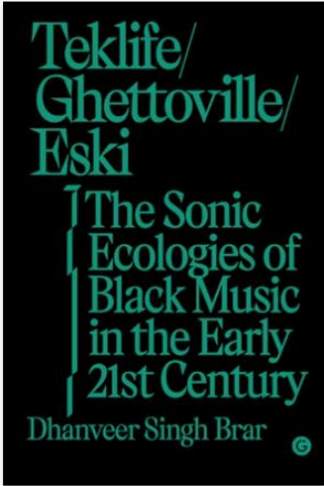
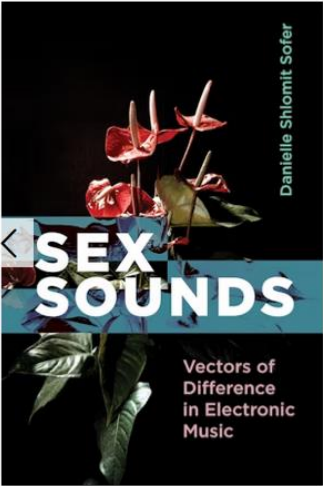
computer jazz and electronic sound music

Udo matthias 07621 9537376

mobil: 017621-605276

<http://www.udomatthias.com>

<https://www.facebook.com/udo.matthias.3>



computer jazz and electronic sound music

Udo matthias 07621 9537376

mobil: 017621-605276

<http://www.udomatthias.com>

<https://www.facebook.com/udo.matthias.3>

info@udomatthias.com

If it feels good, it must be in time!!

Weiter mit Atomen und Membranen

Die schwingende Saite gibt wesentliche Eigenschaften der Elektronenbahn im **Bohrschen Modell** recht gut wieder. **Wie diese Bahnen ist aber auch die Saite nur eine eindimensionale Linie.**



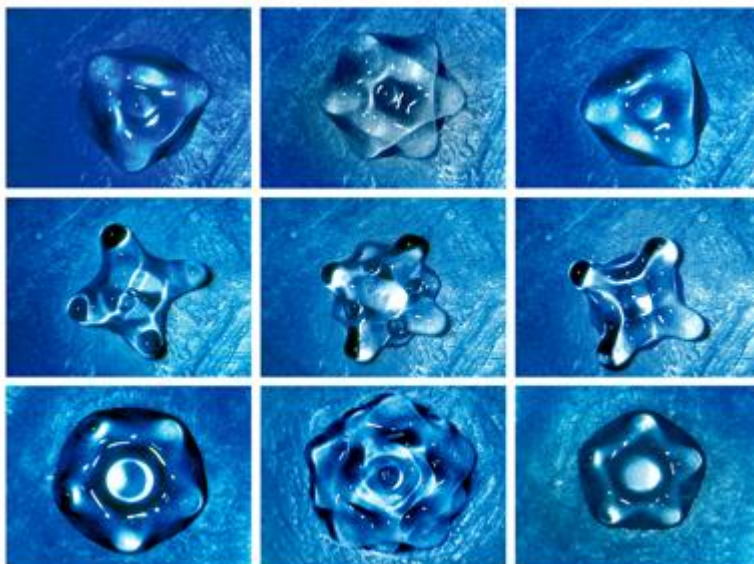
Die Elektronenbahne können wir uns aber nicht als dünne Linien vorstellen, sie müssen zumindest einige de-Broglie-Wellenlängen „stark“ sein.

Die **Aufenthaltswahrscheinlichkeit des Elektrons wird stets durch eine Welle beschrieben**, die einen größeren Bereich um den Atomkern erfüllt.

Diese Elektronenwelle erfüllt ein ausgedehntes Gebiet rund um den Atomkern.

→ die schwingende Saite reicht nicht mehr für die Beschreibung aus.

Wir brauchen ein schwingendes dreidimensionales Gebilde für unsere Betrachtung.



rechts: Wassertropfen Eigenschwingungen, im Satelliten gemacht.

Hier kann man auch auf weniger wissenschaftliches verweisen, denke ich.

<https://www.sein.de/schwingung-und-schoepfung-interview-mit-alexander-lauterwasser/>

Wobei es doch Untersuchungen gibt, die das Wachstum von Pflanzen unter dem Einfluss verschiedener Musik untersuchen. Dabei haben sich immer sehr harmonische, geordnete Musiken wie Haydn, Mozart oder Bach...

und **Ravi Shankar** haben sie auch schon genommen ...

computer jazz and electronic sound music

Udo matthias 07621 9537376

mobil: 017621-605276

<http://www.udomatthias.com>

<https://www.facebook.com/udo.matthias.3>

info@udomatthias.com

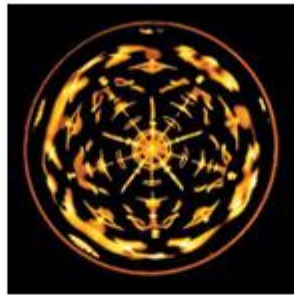
... als sehr förderlich erwiesen. Ich weiß allerdings nicht, inwiefern diese Forschung im akademischen Bereich angekommen ist, oder ob es sich dabei immer noch um eine Grenzwissenschaft handelt.

If it feels good, it must be in time!!



→ Weiter s. Hydrodynamik

Muster: Die in der Natur auftretenden Winkel folgen aus der Geometrie der Orbitale.



<https://www.youtube.com/watch?v=Qf0t4qIVWF4>

Die Quantentheorie erklärt auch das Periodensystem der Elemente. Nach Pauli kann jedes Orbital eines Atoms nur zwei Elektronen aufnehmen.

computer jazz and electronic sound music

Udo matthias 07621 9537376

mobil: 017621-605276

<http://www.udomatthias.com>

<https://www.facebook.com/udo.matthias.3>

info@udomatthias.com

If it feels good, it must be in time!!

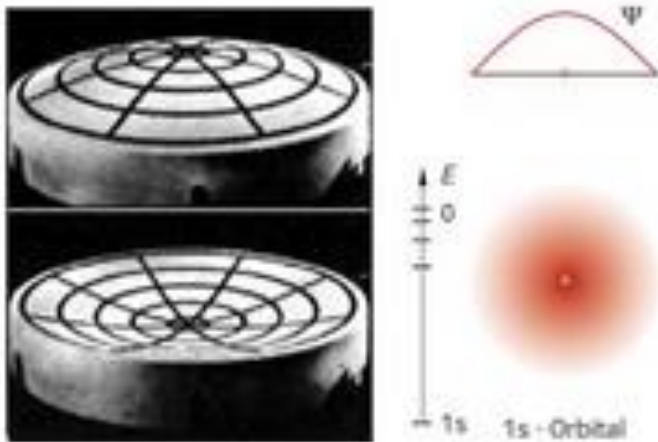


Membran schwingend



Lautsprecher Membran

Der Grundzustand (Zustand niedrigster Energie) des Elektrons entspricht der Grundschiwingung (geringster Frequenz!) der Membran. Sie weist keine Knotenlinien auf und ihre Amplitude ist in der Mitte am größten.



10

Das Quadrat der Amplitude gibt die Aufenthaltswahrscheinlichkeit des Elektrons an, **wobei wir uns eine Dimension hinzuzudenken haben und von der kreisförmigen Membran zur Kugel übergehen müssen.** Den Bereich hoher Aufenthaltswahrscheinlichkeit des Elektrons (er ist nicht scharf begrenzt) bezeichnet man als Orbital.

Diesem Zustand entspricht im Bohrschen Atommodell die Quantenzahl $n=1$. **Die Aufenthaltswahrscheinlichkeit des Elektrons unterscheidet sich wesentlich von den Vorhersagen der Bohrschen Theorie.**

Das Elektron ist mit größter Wahrscheinlichkeit in der Umgebung des Atomkerns zu finden, da die Welle dort ihre maximale Amplitude aufweist. **Auch die exakte Berechnung der Elektronenwelle mit Hilfe der Schrödingergleichung führt zu diesem Ergebnis.**

Die Schrödingergleichung ist, wie oben schon erwähnt, weniger für uns Normalbürger interessant.

computer jazz and electronic sound music

Udo matthias 07621 9537376

mobil: 017621-605276

<http://www.udomatthias.com>

<https://www.facebook.com/udo.matthias.3>

info@udomatthias.com

Schwingende Membranen spielen unter anderem in der Akustik eine Rolle:

If it feels good, it must be in time!!

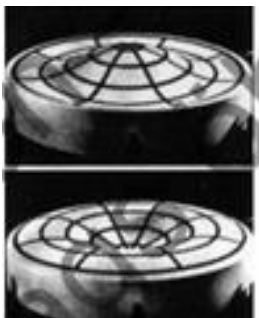


- Schallwandler
 - zur Umwandlung mechanischer Schallenergie in elektrische Energie (Mikrofon)
 - Wandlung elektrischer Energie in Schallenergie (Lautsprecher, Kopfhörer)
- im Ohr (Trommelfell)
- bei vielen Musikinstrumenten, z. B. Membranophon, Trommel, Pauke, Banjo, Becken, im weiteren Sinne auch bei der Zimbel.

Zur Physik des Drumsets s. extra Schrift auf meiner Seite: <https://afrigal.online>

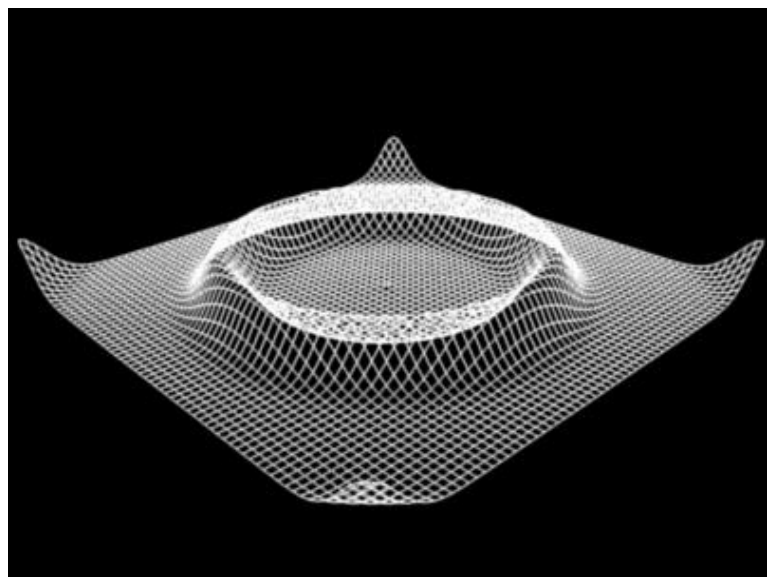
<https://afrigal.online/wp-content/uploads/2021/10/Didaktik-Physik.pdf>

Steigern wir die Frequenz des Lautsprechers, so treten Oberschwingungen der Membran mit kreisförmigen Knotenlinien auf. Sie sind analog zu den angeregten Zuständen $n=2,3,\dots$ des Atoms. Die erhöhten Frequenzen der Membranschwingung entsprechen nach $E=h \cdot f$ erhöhter Energie des Elektrons im Atom.

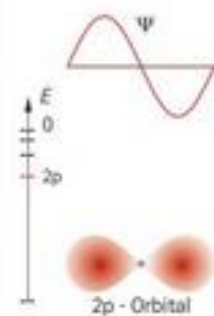


Die erste angeregte

Schwingung der Membran entspricht dem 2s-Orbital. Es weist eine Knotenlinie auf.



11



2p - Orbital

Die **asymmetrische Eigenschwingung der Membran** weist ebenfalls eine Knotenlinie auf. Die entsprechende Eigenschwingung des Elektrons gehört zum 2p-Orbital. Die Energie von Elektronen im 2p-Orbital ist ungefähr die gleiche wie im 2s-Orbital und stimmt beim Wasserstoffatom sogar genau überein.

w.s. Internet

computer jazz and electronic sound music

Udo matthias 07621 9537376

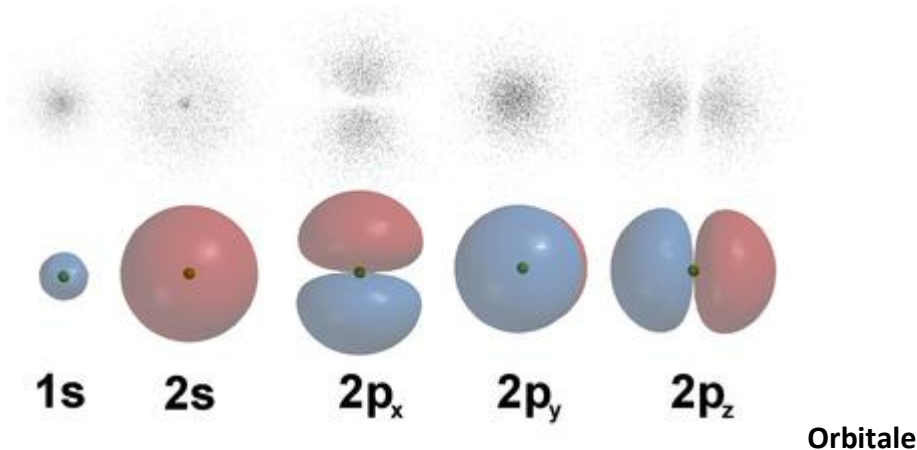
mobil: 017621-605276

<http://www.udomatthias.com>

<https://www.facebook.com/udo.matthias.3>

info@udomatthias.com

If it feels good, it must be in time!!



Ein **Atomorbital** ist in den [quantenmechanischen](#) Modellen der [Atome](#) die räumliche [Wellenfunktion](#) eines einzelnen [Elektrons](#) in einem [quantenmechanischen Zustand](#), meist in einem stationären Zustand. Sein

[Formelzeichen](#) ist meist ψ (kleines [Phi](#)) oder Ψ (kleines [Psi](#)). Das [Betragsquadrat](#) als [Dichtefunktion](#) wird interpretiert als die räumliche Verteilung der [Aufenthaltswahrscheinlichkeit](#), mit der

das Elektron am Ort r gefunden werden kann ([Bornsche Wahrscheinlichkeitsinterpretation](#) der Quantenmechanik). Zusammen mit der Angabe, ob der [Spin](#) zu einer festen Achse oder zum [Bahndrehimpuls](#) des Elektrons parallel oder antiparallel ausgerichtet ist, beschreibt ein Orbital den Elektronenzustand vollständig.

12

Quellen:

- Internet
- Wiki
- Sexl
- Versch.
- Messtechnik E&H
- Forschungslabor