

Musikalische Akustik  
Instrumentenkunde  
Neue Musiktechnologien

ein Scriptum  
von  
Wolfgang Martin Stroh

Das Scriptum wird zum Druckkostenpreis abgegeben.

Alle Rechte etc. bei Wolfgang Martin Stroh, iii-twickenstudio oldenburg 2008  
**[www.uni-oldenburg.de/musik-for](http://www.uni-oldenburg.de/musik-for) und [www.twickenstudio.de](http://www.twickenstudio.de)**

# Inhalt

Inhalt.....	3
Vorwort .....	5
Kapitel 1: Musikalische Akustik .....	7
Kapitel 2: Schallintensität und Lautstärke .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
2.1. Schallintensität .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
2.2. Dezibel .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
2.3. Phon.....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
2.4. Lautstärke, Ohr und Schwerhörigkeit.....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
Kapitel 3: Schwingung und Tonhöhe .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
3.1. Schwingungen allgemein.....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
3.2. Tonhöhe und Frequenz .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
3.3. Schwebungen .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
3.4. Die Tonhöhenunterscheidungsfähigkeit des Ohrs .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
3.5. Hörtheorien .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
3.6. Der Verdeckungseffekt.....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
Kapitel 4: Analog und digital.....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
4.1 . Analoge Speicherung von Musik .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
4.2. Digitalisierung akustischer Schwingungen .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
4.3. Logistik digitaler Speicherung.....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
4.4. Technik digitaler Speicherung .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
Kapitel 5: Schwingungserzeugung durch Saiten.....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
5.1. Allgemeines zur Instrumentenkunde .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
5.2. Eigenschaften der Saite als Schwingungserzeuger.....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
5.3. Im Innern der „Black Box“ Saite .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
5.4 Funktionen des Instrumentenkopus bei Saiteninstrumenten	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
Kapitel 6: Fourieranalyse und der Klangcharakter von Musikinstrumenten .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
6.1. Flageolett und Teiltöne .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
6.2. Der Satz von Fourier, Obertöne und Spektrum.....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
6.3. Klangfarbe und Klangcharakter .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
6.4. Formanttheorie .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
Kapitel 7: Schwingungserzeugung durch Lufsäulen .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>

7.1. Grundlegendes zu Schallwellen.....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
7.2. Eigenschaften von Luftsäulen als Schwingungserzeuger .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
7.3. Im Innern der „Black Box“ Luftsäule .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
7.4. Funktion des Instrumentenkorpus und spieltechnische Eigentümlichkeiten von Luftinstrumenten .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
Kapitel 8: Tonsysteme .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
8.1. Abendländische Tonsysteme: aus der Obertonreihe abgeleitet.....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
8.2. Temperierte Tonsysteme .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
8.3. Außereuropäische Tonsysteme.....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
8.4. Kosmische Tonsysteme .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
Kapitel 9 Zwei- und dreidimensionale Schwingungserzeuger.....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
9.1 Eine Membran als Schwingungserzeuger.....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
9.2 Dreidimensionale Schwingungserzeuger (Festkörperinstrumente).....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
9.3. Die menschliche Stimme als Schwingungserzeuger.....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
Kapitel 10: Elektronische Musikinstrumente .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
10.1. Vorformen des Synthesizers.....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
10.2. Analoge Synthesizer .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
10. 3. Digitale Synthesizer .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
Kapitel 11: Der Computer als Musikinstrument.....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
11.1. MIDI und die Synthesizer-Computerverbindung.....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
11.2. Zusammenspiel MIDI- und Audio-Daten .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
11.3. Effektgeräte - elektronische Musik in Raum und Zeit .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
11.4. Das Heimstudio als Musikinstrument .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
11.5. Oldenburger Projekte elektronischer Livemusik.....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
Anhang .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
Lehr- und Nachschlagewerke .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
Frequenztafel der 12-temperierten Skala .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>

## Vorwort

*Definition:* Das vorliegende Scriptum ist ein Begleitpapier zu meinen Kursen „Musikalische Akustik, Instrumentenkunde und Neue Musiktechnologien“, die im Stil einer experimentalphysikalischen Vorlesung angelegt sind: In der Lehrveranstaltung selbst werden Experimente vor- und durchgeführt sowie akustische Demonstrationen dargeboten. Die dabei erläuterten theoretischen Gesichtspunkte sowie der nackte Wissensstoff sind im Scriptum versammelt und sollten nachgearbeitet werden.

*Neubearbeitung 2008:* Einige Experimente sind im Laufe der vergangenen Jahre durch Computeranimationen ersetzt worden, einige sind aber so geblieben, wie es sich für eine Instrumentenkunde gehört: Anfassen, Ausprobieren, Experimentieren und Nachdenken. Dennoch gab es in den vergangenen Jahren eine immer größer werdende Nachfrage nach der „digitalen“ Dokumentation der Musikbeispiele (mp3), Abbildungen (ppt, jpg) und Spezial-Software (exe). Ich habe auf diese Nachfrage bislang mit einer CD-ROM reagiert, die mehr oder minder den einschlägigen Ordnerinhalt meines Laptops widerspiegelte. Die Zeit für eine multimediale Lernumgebung, in der alle Materialien und der vorliegende Text integriert und interaktiv bedienbar sind, ist jetzt gekommen. Aus Erfahrung weiß ich aber, dass sowohl ein Live-Kursbesuch als auch ein Papier-Scriptum, in das man zeichnen und das man im Bus lesen kann, nicht ohne Qualitätseinbußen ersetzt werden können.

*Inhalt:* Wie die Lehrveranstaltung so ist auch das vorliegende Scriptum für den Musikstudiengang an der Universität Oldenburg zugeschnitten. Die Inhalte des Scriptums sind so ausgewählt, dass sie als Grundlage der Oldenburger *Medienmusikpraxis*, des Studienschwerpunkts *Musik und Medien* sowie der *Musiken der Welt* zu gebrauchen sind. Das bedeutet, dass sich der Text an MusikerInnen wendet und nicht an bildungsbürgerliche Laien, Szene-Freaks oder Ingenieure. Es wird versucht, den Blick auf das aktuelle Musikleben zu richten und dabei die Musik der Welt mit einzubeziehen. Es wird die LeserIn auch nicht wie es bei professioneller Musiksoftware heute noch immer üblich ist für musiktheoretisch dumm verkauft. Und schließlich wird der technisch-mathematische Aufwand so zurück genommen, dass das gerade noch Notwendige ohne die unter MusikerInnen verbreitete Mathematik-Aura-Bildung übrig bleibt.

*Besonderheiten:* Gegenüber den derzeit auf dem Markt befindlichen Akustik-Lehrbüchern dürfte eine Besonderheit des vorliegenden Scriptums sein, dass es von Anfang an die Probleme neuer Musiktechnologien so berücksichtigt, wie sie sich modernen MusikerInnen stellen. Eine weitere Besonderheit, die sich aus meinen Lehrerfahrungen ergeben hat, ist eine relativ starke Einbeziehung hörpsychologischer Gesichtspunkte. Ferner ist die didaktisch und nicht systematisch begründete Anordnung der Kapitel ungewöhnlich. Und schließlich wird nicht verschwiegen, dass ich nicht nur Musikwissenschaftler sondern auch experimenteller Musiker bin. Erstmals berichte ich in dieser Neubearbeitung explizit über eigene künstlerisch-wissenschaftliche Projekte.

*Hoffnung:* Das hochschuldidaktische Konzept hinter Kurs & Scriptum soll MusikstudentInnen zu einer neugierigen, experimentierfreudigen und kritischen Einstellung dem naturwissenschaftlichen Denken und Argumentieren sowie den neuen Musiktechnologien gegenüber befähigen. Das Konzept ist als aufklärerisches gegen das gerichtet, was Hanns Eisler die „Dummheit in der Musik“ nannte. Die am weitesten verbreitete Musik- Dummheit erwächst aus einer Mischung von Wissen aus Dritter Hand („amerikanische Wissenschaftler haben bewiesen, dass...“) und Mystizismus („Musik macht alles: sozial, intelligent, friedfertig...“). Solcherart Dummheit sagt das vorliegende Scriptum den Kampf an.





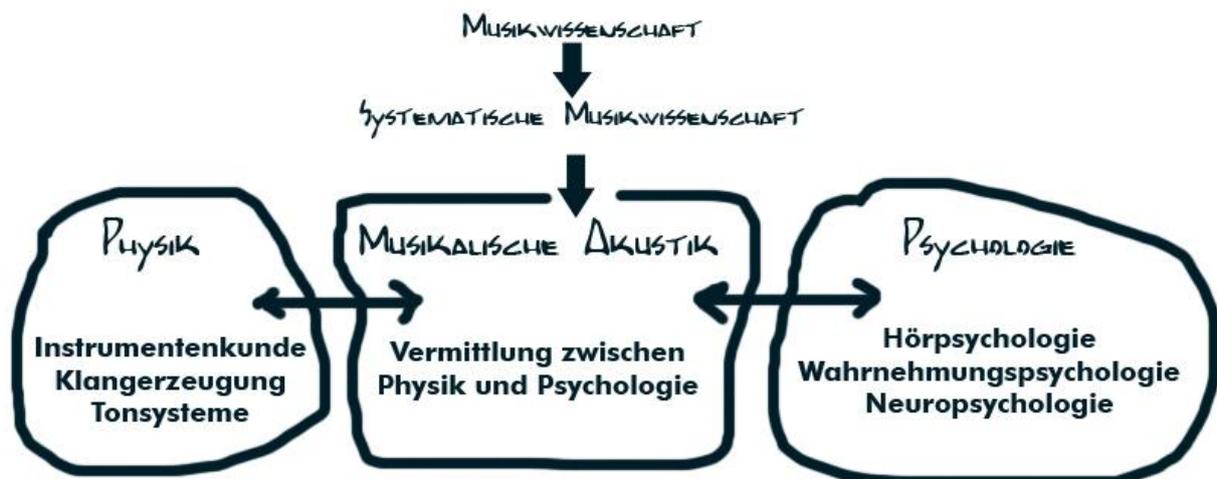
Joachim Ernst Berendt schrieb: „Amerikanische Wissenschaftler haben Planetenumlaufbahnen in einen Synthesizer gespeist...“ und Peter Schleuning hat dies Phänomen kommentiert. Was haben diese Amerikaner wohl wirklich gemacht?

## Kapitel 1: Musikalische Akustik

In den Oldenburger Musikstudiengängen gibt es die vier Studienbereiche

- Musikpraxis
- Musiktheorie
- Musikwissenschaft
- Musikvermittlung

und die Musikalische Akustik kommt hier als Teil der Musikwissenschaft, nicht der Musiktheorie vor. Diese Positionierung ist systembedingt und nicht nur ein Ergebnis von Nachlässigkeit. Musikalische Akustik hat, sobald der Akzent auf Instrumentenkunde und Neuen Technologien liegt, Züge einer Handwerkslehre, in der mit der Emphase von Objektivität gesagt wird „so ist es“ und „nur wenn Du so handelst, wirst Du erfolgreich sein können“. Liegt der Akzent auf Tonsystemen, so reicht die Musikalische Akustik weit in ideologieträchtige Legitimationsprobleme musikalischer Praxis hinein, die nur mit kritischen musikwissenschaftlichen Methoden durchschaut werden können. (Und dasselbe gilt dann auch für die Musiktheorie im Sinne der Elementaren Musiklehre.) Interessiert allerdings das „Musikalische“ an der Akustik, so ist die Disziplin Musikalische Akustik so zu lokalisieren, wie es das folgende Schaubild zeigt:



Nach dieser Auffassung, der das vorliegende Scriptum im wesentlichen folgt, vermittelt Musikalische Akustik zwischen der Physik, die „objektive“ Sachverhalte registriert und mathematisch beschreibt, und der Psychologie, die Empfindungen und deren Entstehung untersucht. Es kann diesem Schema folgend die zentrale Fragestellung der Musikalischen Akustik so formuliert werden:

**„Welche physikalisch beschreibbare (objektive) Ursache hat welche psychologische (subjektive) Wirkung?“**

oder mit den klassischen Worten der Sinnespsychologie:

**„Welcher Reiz löst welche Empfindung aus?“**

Die Idealvorstellung der Musikalischen Akustik ist somit die, dass man auf der objektiven Seite physikalische Größen vermessen und mittels mathematischer Formeln bestimmte physikalische

Vorgänge - z.B. die Bewegung eines Doppelrohrblattes einer Oboe - beschreiben und sodann auf der subjektiven Seite irgendwelche Empfindungen definieren, vermessen („skalieren“) und mit den objektiven Größen und Vorgängen in kausale Beziehung setzen kann.

Dass dies hier zugegebenermaßen etwas kompliziert ausgedrückte Phänomen durchaus den Alltag von MusikerInnen bestimmt, kann man bereits an der Terminologie feststellen. Da sagt jemand „die Tonhöhe des Kammertons hat 440 Hz“. Diese Aussage wirkt im Alltag verständlich und ist praktikabel. Sie ist aber keineswegs korrekt, denn nicht die Tonhöhe (= subjektive Seite), sondern die Schwingung, die die Tonhöhenempfindung auslöst, „hat“ eine Frequenz (= objektive Seite). Frequenz ist ein Begriff aus der Physik, eine definierbare und messbare Größe. Tonhöhe ist ein musikalisches oder psychologisches Phänomen, über dessen Vorhandensein man sich ja auch streiten kann (zum Beispiel bei einem Gong oder einer Bass Drum). „Messbar“ wird die Tonhöhe nur, wenn zuvor durch Instrumentenbau oder die musikalische Praxis ein Tonsystem festgelegt worden ist - was aber nicht immer der Fall zu sein braucht. Richtig wird der Satz übrigens, wenn man sagt : „Die Frequenz des Kammertons beträgt 440 Hz“ - dies ist eine physikalische Aussage über ein musikalisches Phänomen, wobei das musikalische Phänomen „Kammerton“ den hörpsychologischen Aspekte „Ton(höhe)“ und den soziologischen Aspekt „Kammer“ (= internationale Normierung der Tonhöhe durch Frequenzangabe) enthält.

In der folgenden Tabelle sind einige Begriffe aufgeführt und den jeweiligen Disziplinen bzw. Betrachtungsweisen zugeordnet:

Physik	MUSIKALISCHE AKUSTIK	PSYCHOLOGIE
Frequenz	Tonhöhe	hoch/tief in der Wahrnehmung
Saitenlängenverhältnis	Intervall	Kosonanz/Dissonanz
Schwingung	Ton	Musik, Melodie, Harmonie
Spektrum	Klangfarbe	scharf, voll, grell, dumpf usf. als Empfindungs-Metaphern

Durch akustische Reize ausgelöste musikalische Empfindungen stehen nicht ein für alle Male fest, sie werden vielmehr in einer Musikkultur herausgebildet. Das gilt nicht nur für Empfindungsqualitäten wie „traurig“ oder „fröhlich“, „aktivierend“ oder „beruhigend“, sondern auch für das System der musikalischen Basis-Parameter. Begriffe wie Tonhöhe, Intervall, Melodie, Harmonie, Rhythmus, Lautstärke, Klangfarbe usw. werden ja nicht in allen Kulturen verwendet. Sie bezeichnen in der einen Kultur Parameter, die eine andere gar nicht kennt. Freilich kann eine musikalische Empfindung sich nur im Rahmen von objektiven Bedingungen herausbilden. Und solche Bedingungen sind sowohl durch die physikalische „Natur“ des Klingenden, als auch durch biologische Eigenschaften des Gehörs festgelegt. Ob es so etwas wie „Archetypen“ in der Musik gibt, ist derzeit in der Musikwissenschaft stark umstritten. Vorgeschlagen für solche Archetypen im Sinne von Urformen musikalischen Seins *aller* Menschen wurden Rhythmus und Klang (als Ausformungen von Energie in der Zeit), aber auch Skalen, die Pentatonik und Diatonik genannt.

Die im vorliegenden Scriptum ausgebreitete Musikalische Akustik ist weitgehend eine Reflexion der mitteleuropäisch-abendländischen Musikpraxis. Daher wird recht genau untersucht, wie Instrumente Tonhöhen hervorbringen und einen Klangcharakter entwickeln oder wie Musik elektronisch konserviert und verarbeitet werden kann. Bedenkt man, dass weltweit Musik dazu eingesetzt wird,

verändertes Bewußtsein zu schaffen oder Menschen eine Erfahrung von Transzendenz zu vermitteln, so fragt man sich zu Recht, warum sich die Akustik und Instrumentenkunde nicht mit den bewusstseinsverändernden Kräften monotoner Rhythmen oder der besonderen Wirkung einer Trommel beschäftigt, deren Fell von einem Tier stammt, das bei Vollmond erlegt worden ist. Die Antwort auf diese Frage muss lauten: Die Musikalische Akustik beschäftigt sich mit solchen Fragen nicht, weil sie die Paradigmen der abendländischen naturwissenschaftlichen Aufklärung voraussetzt, für die es keine messbare Bedeutung für einen Rhythmus haben kann, in welcher Mondphase ein Trommel-Fell gewonnen worden ist. Theoretisch, so würde zugestanden werden, kann es zwar einen Zusammenhang zwischen den Lebenskräften eines Tieres bei Vollmond, der chemischen Zusammensetzung des Fells, dem Trommelklang und der bewusstseinsverändernden Wirkung geben. Praktisch ist dieser Zusammenhang aber vernachlässigbar klein gegenüber den anderen Parametern Tondauer, Lautstärke usw. Zudem ist er enorm schwer messbar.

Letztendlich ist die Musikalische Akustik eine Disziplin, die solche Fragen bearbeitet, die leicht zu beantworten sind. Die musikbezogene Phänomene untersucht, die möglichst gut messbar sind. Die Fragestellungen vernachlässigt, die unserem Musikverständnis fremd sind. Die so tut, als ob die Situation (z.B. der Stand des Mondes), in der ein Ding hergestellt wird, für die späteren Eigenschaften des Dings keine Bedeutung hätte. - Das ist nicht schlimm! Aber es ist wichtig, dies zu wissen.



Schamanenzeremonie (3. Jtsd. v. Chr.) :

Wo ist der Schaman, wo sein trommelspielender Gehilfe?  
Was bedeuten die kleinen schwarzen Kreise, was die Tiere,  
was die Menschen, was die "Sonne"?

