

## Musikalische Grenzerfahrungen durch Midifiles? Hörpsychologische Experimente im Musikunterricht

von Wolfgang Martin Stroh

Eine durch den postmodernen Konstruktivismus wieder aktuell gewordene These erfahrungsbezogenen Musik-Lernens besagt, daß Musik nur das „ist“, was die SchülerInnen handelnd aus oder mit dem akustischen Material machen. MusiklehrerInnen „inszenieren“ danach die Bedingungen, unter denen SchülerInnen sich ihre Musik „konstruieren“. Die Musikpädagogik kann diese These einerseits als Ausgangspunkt von musikdidaktischen Settings wählen. Andererseits kann sie den Vorgang des „Konstruierens“ von Musik auch als Wahrnehmungsproblem thematisieren. Hiervon soll im folgenden die Rede sein.

Die Leitfragen unserer Experimente lauten: Wie „macht“ ein Mensch aus akustischem Material Musik? Wie groß sind die Handlungsspielräume bei derartigem Tun, wo liegen die Grenzen? - Um diese Grenzen zu bestimmen, müssen „Grenzerfahrungen“ im Musikunterricht inszeniert und zur Diskussion gestellt werden. Midifiles sind Mittel zur Inszenierung musikalischer Grenzerfahrungen. Midifiles ermöglichen es, hörpsychologische Grenzen auf eine kontrollierte, meßbare und sogar reizvoll spannende Weise zu erkunden. Die Experimente, die im folgenden dargestellt werden, wurden bis vor wenigen Jahren nur in Forschungseinrichtungen reproduziert. Heute sind sie „allgemein zugänglich“, und es ist erstaunlich, wie schnell ein einfacher Multimedia-PC dabei an aktuellste Forschungsprobleme heranführen kann. Für etwas Fortgeschrittene in Musikcomputerdingen und für viele SchülerInnen steckt hier ein großes Motivationspotential.

### Experiment 1: Gestaltwahrnehmung und virtuelle Mehrstimmigkeit

GM-Norm  
Quatisierung  
Pitchbend  
(Achteltöne)

Zur Einführung in die erste Grenzerfahrung spielen wir eine Passage aus Bachs C-Dur-Sonate für Violine Solo (CD-Track 1). Die SchülerInnen sollen sagen, wieviele Instrumente musizieren. Die meisten sind überrascht zu erfahren, daß hier eine Geige einstimmig spielt. „Virtuelle Mehrstimmigkeit“, sagt die LehrerIn, „ein beliebter Trick in der Barockmusik, aber auch in Techno weit verbreitet“. Die SchülerInnen rätseln, wie das funktioniert: Macht der Geiger diesen Effekt durch seine besondere Spielweise? *Muß* man zweistimmig hören oder kann man auch einstimmig hören, kann man „umschalten“ zwischen zwei Hörweisen nach dem Prinzip der optischen „Kippfiguren“?



Abbildung 1: Bach, Sonate 3 für Violine Solo in C-Dur, letzter Satz (Ausschnitt)

Die erste Frage wird dadurch beantwortet, daß die Original-Passage als quantisiertes Midifile abgespielt wird (BACH.MID oder BACH.ARR). Nun sind alle Töne gleich lang und gleich laut. Der Effekt

der virtuellen Zweistimmigkeit tritt immer noch auf. Es handelt sich also nicht um einen Zaubertrick des Geigers (Nathan Milstein), sondern um eine besondere Aktivität unseres Gehörs.



Abbildung 2: Zwei Motive, zwei Hörweisen -Experiment 1

Um die zweite Frage zu beantworten wird Experiment 1 durchgeführt. Das Midifile DEMO1.ARR bzw. DEMO1.MID wird vorgespielt. Alle SchülerInnen hören bei großen Intervallen zwei deutlich getrennt voneinander ablaufende Stimmen, während bei kleineren

Intervallen ein „Galopp-Rhythmus“, eine Gestalt, gehört wird. In EXP1a.ARR bzw. EXP1a.MID werden jeweils 8 derartige Figuren hintereinander gespielt. Auf einem Blatt sollen die SchülerInnen notieren, ob sie eine rhythmische „Gestalt“ oder zwei getrennte Stimmen hören. Die Intervallgröße variiert bei diesem Experiment zufallsbedingt. -*Ergebnis*: Bei einer Intervallgröße zwischen 12 und 8 Halbtönen überwiegt die zweistimmige Hörweise, bei Intervallen, die kleiner als 4 Halbtöne sind, wird eine einheitliche „Gestalt“ gehört, dazwischen streuen die Angaben der SchülerInnen stark. In diesem Zwischenbereich, so läßt sich durch andere Versuchsanordnungen nachweisen, kann der Mensch zwischen zwei Hörweisen wechseln, während ein willkürliches Wechseln außerhalb dieses Bereiches nicht möglich ist.

In einem weiteren Experiment (EXP1b.ARR bzw. EXP1b.MID) wird das Beispiel von DEMO1 wiederholt. Die SchülerInnen sollen angeben, wann ihre Wahrnehmung von der einen zur anderen Hörweise umschlägt. - *Ergebnis*: Unser Gehör ist konservativ, es versucht stets, die alte Hörweise so lange wie möglich beizubehalten. Beim Übergang von großen zu kleinen Intervallen hört man also länger Zweistimmigkeit, während beim Übergang von kleinen zu großen Intervallen der Einsatz der Zweistimmigkeit verzögert ist.

*Diskussion*: Das Experiment bietet Anlaß darüber nachzudenken, was der Mensch eigentlich tut, wenn er hört. Die „Konstruktion“ von Musik, die der Konstruktivismus fordert, hat offensichtlich Grenzen in gewissen hörpsychologischen Unfähigkeiten unseres Gehörs. Wir können, was zeitlich hintereinander kommt, nur dann als hintereinander kommend erkennen, wenn das Intervall nicht zu groß ist. Bei zu großen (Tonhöhen-)Unterschieden setzt die zeitliche Integrationsfähigkeit des Gehörs aus.

## Erläuterung zu „Pitchbend“

Die General Midi-Norm sieht vor, daß jeder Soundmodul die Fähigkeit besitzen soll, zwischen zwei temperierten Töne noch mindestens 32 temperierte Mini-Töne einschieben zu können. Das „Pitchbend-Rad“ fährt entlang plus/minus zwei Halbtönen diese Mini-Intervalle so ab, daß die HörerInnen

Pitchbend	absolut	Prozent	Halbton	Cent	440Hz*PB
0	1,0000	0,000	0,000	0,0	440,000
1	1,0018	0,181	0,0313	3,1	440,795
2	1,0036	0,362	0,0625	6,3	441,591
3	1,0054	0,543	0,0938	9,4	442,389
4	1,0072	0,725	0,1250	12,5	443,188
5	1,0090	0,907	0,1563	15,6	443,989
6	1,01081	1,089	0,1875	18,8	444,791
7	1,0127	1,272	0,2188	21,9	445,595
8	1,0145	1,455	0,2500	25,0	446,399
16	1,0293	2,930	0,5000	50,0	452,893

meinen, ein glissando zu hören. In den Experimenten 1-4 verwenden wir Pitchbend zur Erzeugung von Mikrointervallen. Die nebenstehende Tabelle zeigt die musikalische Bedeutung der Pitchbendwerte 0 bis 8 sowie 16. In Experiment 1 haben wir einen Halbtonschritt in vier Achtelöne unterteilt, das sind 25 Cent oder 8 Pitch-Bend-Schritte. Die Eingabe solcher Pitchbendwert erfolgte von Hand im sog. „List-Editor“ von „Cube“ (Abbildung 3).

Startposition	Länge	Wert1	Wert2	Wert3	Status	Kan.	7	2	3	4	28
0027.01.000	=====	0	63	===	Pitch Bend	1					
0027.01.001	94	A2	80	0	Note	1					
0027.01.097	94	A3	80	0	Note	1					
0027.01.193	94	A2	80	0	Note	1					
0027.02.000	=====	0	55	===	Pitch Bend	1					
0027.02.001	94	A2	80	0	Note	1					
0027.02.096	=====	0	63	===	Pitch Bend	1					
0027.02.097	94	A3	80	0	Note	1					
0027.02.192	=====	0	55	===	Pitch Bend	1					
0027.02.193	94	A2	80	0	Note	1					
0027.03.000	=====	0	47	===	Pitch Bend	1					
0027.03.001	94	A2	80	0	Note	1					
0027.03.096	=====	0	63	===	Pitch Bend	1					
0027.03.097	94	A3	80	0	Note	1					
0027.03.192	=====	0	47	===	Pitch Bend	1					
0027.03.193	94	A2	80	0	Note	1					
0027.04.000	=====	0	39	===	Pitch Bend	1					
0027.04.001	94	A2	80	0	Note	1					
0027.04.096	=====	0	63	===	Pitch Bend	1					
0027.04.097	94	A3	80	0	Note	1					
0027.04.192	=====	0	39	===	Pitch Bend	1					
0027.04.193	94	A2	80	0	Note	1					

Abbildung 3: Die zeitliche Plazierung von Note-ON und Pitchbend im "List-Editor" von "Cubase" für ein Motiv des Experiments 1

Die Pitchbends sind gemäß GM-Norm von 0 bis 127 durchnummeriert, wobei 63 dem Mittelwert (der Nullstellung des Pitchbend-Rades) entspricht. Der Wert 31 ist ein Halbton tiefer, 95 ein Halbton höher, da der Gesamtumfang des Rades ein Ganzton ist („Pitchbend Range 2“). In *Abbildung 3* sehen wir, wie das eingestrichene A (mit der Bezeichnung A3) stets mit Pitchbendwert „63“ versehen, d.h. nicht verstimmt ist. Die Töne der kleinen Oktave (mit der Bezeichnung A2) hingegen werden von Motiv zu Motiv von 63 auf 55, 47, 39 umgestimmt. Dies bedeutet eine Abnahme der Tonhöhe um jeweils einen Achtelton.

## Experiment 2: Die Hörbarkeit von Mikrintervallen und nicht-temperierte Stimmungen

Es hat schon manchen überrascht, daß das zwölftönig-temperierte System so erfolgreich ist, obgleich es von den HörerInnen ein „Zurechthören“ (modern „Konstruktionstätigkeit“) erfordert. Und das auf Kosten unserer Fähigkeit, kompliziertere Tonsysteme zu singen, zu hören und - möglicherweise - zu verstehen. Wir werden mit diesen Gewohnheiten konfrontiert, wenn in einem Musikstück zwei oder mehr Tonsysteme zugleich erklingen, beispielsweise beim bikulturellen deutschen Türk-Rap (u.a. auf der jüngsten CD der Berliner Rapperin Aziza-A) oder bei Weltmusik. Eberhard Schoener läßt in „Trance Mission“ (CD-Track 2) eine auf Gamelaninstrumenten gespielte Melodie zwölftönig-temperiert beantworten. Die Gamelan-Stimmung wird von

**GM-Standard  
Program-Change  
Pitchbend  
(„Gamelan“ +  
Mikrintervalle)**

JavanerInnen als Klangfarbe, von uns als Ton(höhen)system gehört. In Experiment 2a wird überprüft, ob und wie die Fähigkeit, dies javanische Tonsystem vom temperierten hörend zu unterscheiden, von der Klangfarbe abhängig ist.

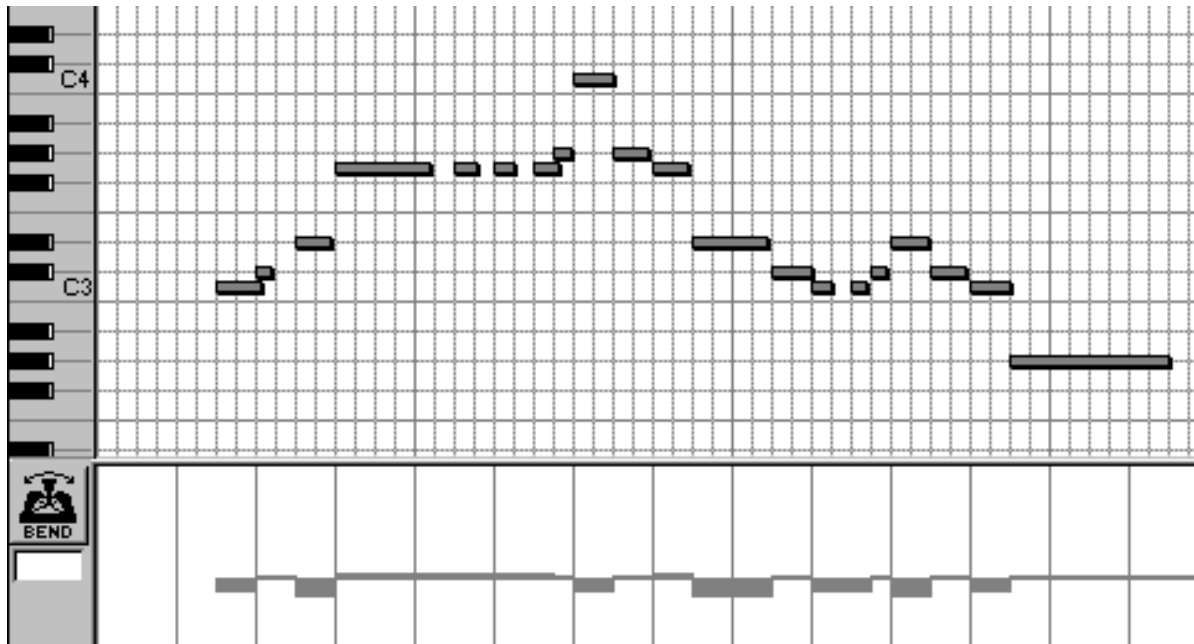


Abbildung 4: Das Gamelan-Motiv im "Key-Editor" von "Cubase", der unter „Bend“ qualitativ die Verstimmung zeigt

EXP2a.ARR bzw. EXP2a.MID enthält 24 Mal das Motiv von Eberhard Schoener, 12 Mal in Gamelan-, 12 Mal in temperierter Stimmung. Die SchülerInnen sollen notieren, ob sie das Motiv „Original“ (Gamelan) oder temperiert hören. - *Ergebnis*: Bei den Klangfarben „Marimba“, „Whistle“ und „Choir“ werden die beiden Stimmungen nicht voneinander unterschieden (Fehlerquote ca. 50%), bei „Piano“, „Synthesizer“ und „Harmonica“ werden die Stimmungen gut erkannt (Fehlerquoten unter 15%).

Nach diesem ethnologischen Vor-Experiment kann die „absolute“ Fähigkeit der SchülerInnen, zwei unterschiedliche Tonhöhen als unterschiedlich zu erkennen, getestet werden. Das Experiment EXP2b.ARR bzw. EXP2b.MID heißt „JND“ („just noticeable difference“). Hier werden zwei Töne mittels Pitchbend nur noch um 64tel-Töne gegeneinander verstimmt. Die SchülerInnen sollen sagen, ob der zweite von zwei hintereinander erklingenden Tönen höher oder tiefer als der erste ist. Die Fehlerquoten geben Auskunft darüber, ob das Mini-Intervall sicher erkannt oder die Richtung nur erraten wird. Die Tonpaare sind im Midifile mit einer Zahl gekennzeichnet, die die Größe und Richtung des Intervalls erkennen läßt. - *Ergebnis*: Die Erkennbarkeitsgrenze (JND) liegt für Sinustöne bei ca. 4 Pitchbends (also einem Achtelton bzw. 0,725%) und für Rechtecktöne bei 3 Pitchbends. Das bedeutet, daß 1 und 2 Pitchbend-Schritte nicht mehr erkannt werden können, weshalb auch die Bewegung eines Pitchbend-Rades ein „kontinuierliches“ glissando zu sein scheint. Die digitale Auflösung des Gehörs liegt in der Tonhöhenlage um 440 Hz bei 8 Schritten pro Halbton.

*Diskussion*: Die Tonhöhenunterscheidungsfähigkeit kann bekanntlich trainiert werden. Sie ist auch Inhalt vieler kommerzieller „Musikalitätstests“. Das Gehör setzt eine „objektive“ Untergrenze, die weniger verwunderlich ist als die Tatsache, daß diese Grenze so tief liegt, d.h. daß das Ohr eine so feine Tonhöhen-Auflösung besitzt. Wie kann die 3,5 cm lange Basilarmembran all' diese kleinen Stufen unterscheiden? Die Antwort auf diese Frage ist bis heute Inhalt hörpsychologischer Forschung, denn trivial ist die ganze Angelegenheit nicht.

### Experiment 3: Hemisphärenmusik und binauraler Schwebungen

GS-Standard  
Panorama  
Pitchbend (für  
Schwebungen)

Es ist heute viel von „linkem und rechtem Gehirn“, von Braintechnologie und der Steuerung der Gehirnwellen durch Musik und Lichtblitze, beispielsweise in einer Diskothek, die Rede. Beim Musikhören können zwei Effekte eintreten: Einerseits kann das

Gehirn, indem monotone akustische Signale zugeführt werden, sich auf das Timing dieser Monotonie einstellen, zum Beispiel auf 8 Hz bei Sechzehnteln im Tempo MM = 120. Dies wäre die „Induktion von Alpha-Wellen“. Andererseits können die üblicherweise unterschiedlich „schwingenden“ Gehirnhälften synchronisiert werden, ein Zustand, der heute von braintechnologisch argumentierender Musikpsychologie besonders geschätzt wird. Dieser Zustand kann induziert werden, indem das linke und rechte Ohr systematisch mit aufeinander abgestimmten Reizen versorgt wird.

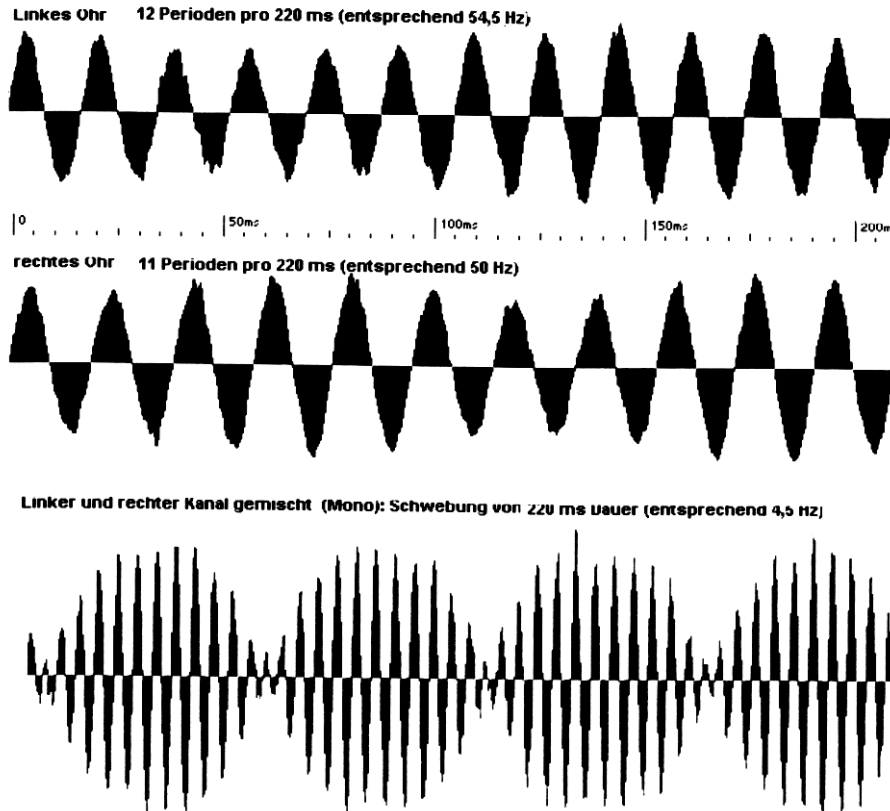


Abbildung 5 Schwingungsbild einer HemiSync-Musik. Oben die beiden Stereospuren einzeln, darunter die Überlagerung derselben bei Mono-Darbietung.

nen Schwingungsbild (Abbildung 5) erkennt man, daß das Signal links mit 54,5 und rechts mit 50 Hz gesendet wird. Schaltet man auf „Mono“ um (CD-Track 4), so hört bzw. sieht man „klassische Schwebungen“. Beide Abbildungen sind Darstellungen der Hörbeispiele in einem „WAV-Editor“ unter windows entnommen.

Der „klassische“ Schwebungseffekt wird mit Midifile HONKY.ARR bzw. HONKY.MID demonstriert. „Für Elise“ wird von zwei Klavieren gleichzeitig wiedergegeben. Eines der Klaviere wird mittels Pitchbend gegenüber dem anderen verstimmt. Deutlich ist zu hören, wie der Honky-Tonky-Effekt je nach Verstimmung größer oder kleiner wird. Im Wirtshaus entsteht „Honky-Tonky“ dadurch, daß die zwei oder drei gleichgestimmten Saiten eines Klaviers gegeneinander verstimmt sind. Dadurch entstehen Schwebungen. „Cubase“ bietet die Möglichkeit, die Stärke des Honky-Tonky-Effekts systematisch zu variieren. Das Midifile enthält drei Spuren: Spur 1 und 2 sind dieselbe Klavierstimme, werden aber auf getrennten Midikanälen abgespielt. Spur 3 enthält nur die Pitchbend-Daten, die auf Midikanal 2, also eines der beiden Klaviere, wirken.

EXP3.ARR bzw. EXP3.MID enthält das eigentliche Experiment zur binauralen Schwebung. Hier wird ein Sinuston auf zwei getrennten Midikanälen gesendet und mittels „Panorama“ können diese Kanäle getrennt, d.h. stereophon dargeboten werden. Die Panorama-Regelung kann kontinuierlich vergrößert werden. Dadurch kann eine monaurale Darbietung in eine binaurale übergehen. Die Schwebungen, die bei monauraler Darbietung sehr gut als Amplitudenmodulation zu hören sind, verschwinden allmählich und werden durch die bereits erwähnte Rotation ersetzt. Je nach Frequenz der miteinander schwebenden Töne ist die Schwebung bei 1, 2, 3 usw. Pitchbends unterschiedlich schnell. Bei 440 Hz entsprechen 1 Pitchbend einer Rotation mit 0,8 Hz, 2 Pitchbend 1,6 Hz usw.

Solch eine Beschallung ist mittels stereophoner Tricks durch Midifiles möglich. Der hierbei genutzte Effekt heißt „binaurale Schwebungen“. Zwei Töne unterschiedlicher Frequenz werden auf je eines der beiden Ohren gesendet. Ist der Tonhöhenunterschied der beiden Töne gering (entsprechend 1 bis 10 Hz), so hört man nicht zwei unterschiedliche Töne, sondern einen im Innern des Kopfes rotierenden Mittelton.

Auf CD-Track 3 ist eine Passage aus einer im Handel erhältlichen „Hemi-Sync“-Musik mit der Bezeichnung „Ultra-Meditation“ eingespielt. Im stereophonen

*Diskussion:* Monoaurale Schwebungen sind (aufgrund des Additionstheorems der Trigonometrie) objektiv „in der Luft“ vorhanden. Sie setzen voraus, daß zwei Schwingungen sich physikalisch überlagern. Wie aber können die Nervenimpulse, die aufgrund der stereophonen Darbietung in den beiden Innenohren entstehen, sich einander „schwebend“ überlagern? Es handelt sich hier ja um statistisch schwankende elektro-chemische Salven, nicht um kontinuierliche, konstante Schwingungen? Wahrscheinlich liegt auch hier wieder eine hinterhältige Täuschung vor, die dem Konstruktivismus arg zu schaffen macht. Das Gehirn meint nämlich, bei binaural verstimmt Tönen einen einzigen Ton mit sich ändernder Phase zu hören. Und das hat das Gehör als „Rotation einer Schallquelle“ wahrzunehmen gelernt...

## Experiment 4: Konsonanz und Dissonanz

GS-Standard  
Panorama  
Mainvolume  
Pitchbend  
(Obertondetektor)

Mit den durch Experiment 1 bis 3 zur Verfügung stehenden Midi-Hilfsmittel kann ein klassisches Problem der abendländischen Musiktheorie hörend und experimentierend diskutiert werden: Was ist bzw. warum gibt es Konsonanz und Dissonanz? Die Antworten auf diese Frage lassen sich in zwei Gruppen einteilen: in philosophisch mathematische und in psychologische. Philosophisch-mathematische Antworten nehmen auf die Natur des Tones, auf ganzzahlige Schwingungsverhältnisse und Obertöne Bezug. Die psychologischen sprechen von kulturellen Lerneffekten, von Verschmelzung oder Ähnlichkeit. Die meisten Musiktheoretiker von Pythagoras bis Schönberg und Hindemith vertreten die philosophisch-mathematische Richtung. Musikethnologen tendieren zu psychologischen Antworten, sofern sie die Frage überhaupt als Problem anerkennen. - Im folgenden sollen drei Midifiles vorgestellt werden, die anlässlich einer Diskussion dieser Thematik eingesetzt werden können.

MOZART.ARR bzw. MOZART.MID enthält den langsamen Satz der Klaviersonata KV 330 von Mozart. Auf einem „Soundcanvas“ bzw. entsprechender Roland-Soundcard abgespielt erklingt hier jene Kirnberger-Stimmung, in der das Stück mutmaßlich von Mozart gespielt und gehört worden ist. Der Charakter des f-Moll-Mittelteils ist durch die charakteristische Kirnberger-Verstimmung geprägt und kann auf temperierten Klavieren nicht mehr hörend nachvollzogen werden. (F-Moll klang bei Kirnberger tatsächlich anders als beispielsweise a-Moll!) Das schwer realisierbare Midifile ist vollständig als CD-Track 5 eingespielt.

Die Tatsache, daß jeder musikalisch brauchbare Ton mittels seiner Obertonstruktur die „harmonikale Hierarchie“ von Oktav-Quint-Quart-große Terz-kleineTerz- ... - Ganz- und Halbton ständig mit sich herumträgt, ist für die philosophisch-mathematische Argumentation von zentraler Bedeutung. DEMO4.ARR bzw. DEMO4.MID enthält ein sehr eindrucksvolles Experiment, wie die Obertöne eines Tons herausgehört und wie die Abweichungen der temperierten von einer reinen (Oberton-)Stimmung hörend - ohne jegliches Meßgerät! - bestimmt werden können. Die Konstruktionsidee des Midifiles ist folgende: Der zu untersuchende obertonhaltige Ton erklingt als Dauerton (Spur 1). Diesem Ton wird ein Sinuston überlagert (Spur 2), dessen Tonhöhe in der Nähe eines Obertons des Dauertons liegt. Hat der Sinuston eine Frequenz, die sich von der eines Obertons nur wenig unterscheidet, so hört man deutlich Schwebungen. Um den Effekt „mit und ohne“ Schwebung genauer zu erkennen, wird durch „Main-Volume“-Regelung (Spur 4) der Sinuston langsam eingeblendet. Die Frequenz der Schwebungen kann man in der Regel zählend, gegebenenfalls mithilfe einer Stoppuhr, bestimmen.

Tabelle zu DEMO4: der Dauerton ist das kleine a (220 Hz) mit Obertönen  $a'$ ,  $e''$ ,  $cis^3$ ,  $e^3$  usw.

Oberton Nr.	Tonbez.	Frequenz rein	Frequenz temperiert	Schwebung
1	a	220	220	0
2	$a'$	440	440	0
3	$e''$	660	659,2	0,8
4	$a''$	880	880	0
5	$cis^3$	1100	1108,7	8,7
6	$e^3$	1320	1318,5	1,5

In Experiment 4 wird erkundet, inwieweit das Erkennen (reiner) Intervalle bei binauraler Darbietung schwieriger als bei monauraler Darbietung ist. Das Midifile EXP4.ARR bzw. EXP4.MID ist folgendermaßen aufgebaut:

Versuchs-	1	2	3	4	5	6
-----------	---	---	---	---	---	---

reihe						
Darbietung	mono	mono	mono	stereo	stereo	stereo
Intervalle	Oktav/Quint	Quart/ Tritonus	Durdreiklang /überm. Dreiklang	Oktav/Quint	Quart/ Tritonus	Durdreiklang/ überm. Dreiklang
Klangfarbe	Sinus/Piano	Sinus/Piano	Sinus/Piano	Sinus/Piano	Sinus/Piano	Sinus/Piano

In jeder Reihe sollen die SchülerInnen angeben, ob sie „Oktav oder Quinte“, „Quarte oder Tritonus“ bzw. „Dur- oder übermäßigen Dreiklang“ hören. In der Auswertung werden die Fehler als Maß für die „Schwierigkeit“, Intervalle voneinander zu unterscheiden oder überhaupt zu erkennen, genommen. (Empirisch gesicherte *Ergebnisse* zu diesem Experiment gibt es noch nicht.)

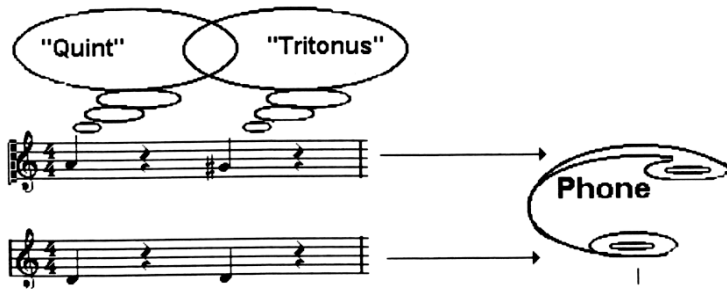


Abbildung 6: Schematische Darstellung des binauralen Intervallhörens

so spricht dies für die psychologische Konsonanztheorie.

*Diskussion:* Das Erkennen monaural dargebotener Intervalle kann auf physikalische Oberton- und Schwebungseffekte zurückgreifen und diese - unbewußt - „auswerten“. Beim binauralen Intervallhören muß das Gehirn durch einen musikalischen „Denkakt“ die Intervalleart bestimmen. Ist die Fehlerquote beim monauralen Hören signifikant geringer als beim binauralen, so wird die philosophisch-mathematische Konsonanztheorie bestätigt, tritt kein Unterschied der Fehlerquoten auf,

## Experiment 5: Verdeckungseffekte

Warum hören wir eine Sängerin, während ein ganzes Opernorchester spielt, wo doch die Lautstärke der Sängerin kleiner als die des Orchesters ist („Formant-Effekt“)? Warum können wir in einem Gewirr gleich lauter Stimmen, das heraushören, was uns interessiert („Cocktailparty-Effekt“)? Warum kann auf einer Minidisk digital gespeicherte Musik ohne hörbaren Qualitätsverlust auf 25% „reduziert“ werden („Datenreduktion“)? - Die Antworten auf all' diese Fragen liefert der Verdeckungseffekt. Zwei gleichzeitig erklingende akustische Signale können einander „verdecken“ oder aber getrennt wahrgenommen werden. Die näheren Umstände sollen in drei Experimenten untersucht werden.

Auf CD-Track 6 und 7 ist dasselbe Musikstück einmal in CD-Qualität, das andere Mal auf 25% datenreduziert in Minidisk-Qualität eingespielt. Es gibt keinen hörbaren Qualitätsunterschied. Die vorliegende Reduktion besteht, verkürzt gesagt, darin, daß überall dort, wo ein (Gitarren-)Ton einen anderen überdecken würde, der verdeckte Ton weggelassen wird. Hierbei kommt ein „objektiver“ und ein „subjektiver“ Verdeckungseffekt zum Tragen, die einzeln experimentell untersucht werden können.

**GS-Standard  
NRPN's (Filter-  
effekte)  
Mainvolume**

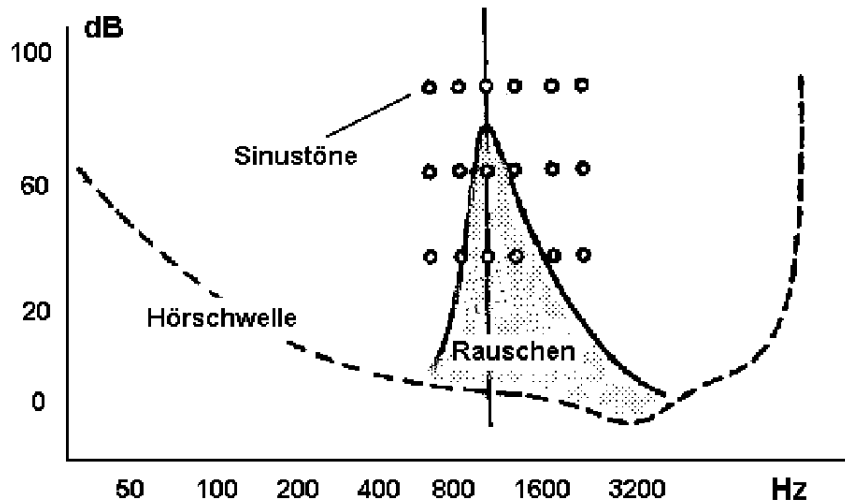


Abbildung 7: Grafische Darstellung der unterschiedlichen Verdeckung von Sinustönen durch Bandpaßrauschen

das diesen Verdeckungseffekt auch bei gleichzeitigem Erklingen von zwei Sinustönen zeigt. Die Lautstärke des verdeckten (hohen) Tons wird variiert: er „verschwindet“ bei kleiner und „taucht auf“ bei größerer Lautstärke. In einem Hörexperiment können die SchülerInnen angeben, wann sie den hohen Ton hören, wann nicht. - *Ergebnis:* Der Effekt ist recht deutlich inter-subjektiv, d.h. die Angaben der SchülerInnen schwanken nicht sehr stark.



Abbildung 8: Notenbeispiel zu Experiment 5a

In EXP5b.ARR bzw. EXP5b.MID alternieren ein Sinuston und ein „OrchesterHit“ (GM-Sound 56) im Achteltempo. Ist der Sinuston laut, so hört man, wie sich Sinus und Orchester abwechseln. Ist der Sinuston leiser, so scheint er ein Dauerton zu sein. Der während des OrchesterHits nicht erklingende Sinuston wird „ergänzt“. Das Gehirn weiß ja nicht, ob der OrchesterHit einen Sinuston gerade verdeckt oder ob dieser Ton gar nicht vorhanden ist. „In dubio pro reo“, sagt das Gehirn und meldet „Ton erklingt“, obwohl dies nicht der Fall ist. - Das Midifile EXP5c.ARR bzw. EXP5c.MID enthält drei Mal eine größere Passage „für Elise“. Zunächst das Original allein, dann zusammen mit dem OrchesterHit (als „Off-Beat“) und schließlich in einer durchlöchernten Version (Abbildung 9), bei der die HörerInnen die fehlenden Töne ergänzen.



Abbildung 9: Grafische Darstellung des Effekts von Experiment 5c

*Diskussion:* Eine Sängerin kann dann ein lauterer Orchester übertönen, wenn sie in ihrer Stimme „Formantbereiche“ ausgebildet hat, die im Orchesterklang nicht vorkommen. Sie singt dann wie der Sinuston in DEMO5 über das „farbig Rauschen“ des Orchesters hinweg. Da das Gehirn, wie in EXP5b gezeigt, den Verdeckungseffekt kennt und erwartet, kann es mit akustischen Ereignissen recht eigenwillig - im Sinne des radikalen Konstruktivismus - umgehen. So kann es auf einer Party sich auf das Gerede im Hintergrund konzentrieren, während die Augen des Partygastes freundlich auf einen ganz anderen Gesprächspartner gerichtet sind.

DEMO5.ARR bzw. DEMO5.MID zeigt den „objektiven“ Verdeckungseffekt. Ein Bandpaßrauschen verdeckt Sinustöne gleich bleibender Lautstärke in unterschiedlichem Maße (Abbildung 7). Die Verdeckung ist von der Tonhöhe des Sinustons abhängig: liegt die Frequenz des Sinustons außerhalb derjenigen des Rauschens, so ist der Sinuston eher hörbar. In DEMO5 „verschwindet“ der gleichlaute Sinuston und taucht wieder aus dem Rauschen auf...

EXP5a.ARR bzw. EXP5a.MID ist ein Midifile,



## Experiment 6: Der Klangcharakter von Musikinstrumenten

<b>GS-Standard Program-Change NRPN's (Einschwingzeit)</b>
---

Die Klänge einer Soundcard entstehen aus einer Kombination von digital gespeicherten Naturklängen mit künstlich erzeugten Schwingungen. Bei den meisten Sounds wird der Einschwingvorgang als „Sample“ dem jeweils simulierten Instrument entnommen, während der stationäre Klang künstlich erzeugt wird. Diese Konstruktion spart Speicherplatz und Geld - und beruht auf dem hörpsychologischen Effekt, daß für das Wiedererkennen eines Musikinstruments der (kurze) Einschwingvorgang wichtiger als das Spektrum des stationären Klanges ist. Die weit verbreitete Aussage „das Obertonspektrum bestimmt den Klangcharakter eines Musikinstruments“ ist also ganz erheblich irreführend. CD-Track 8 enthält Ausschnitte aus Walter Carlos' „Switched On Bach“, wo das 4. Brandenburgische Konzert mit elektronischen „Instrumenten“ gespielt wird, denen die „natürlichen“ Einschwingvorgänge fehlen, was aufgrund des eintretenden Verfremdungseffekts der LP zum Erfolg verholfen hat!

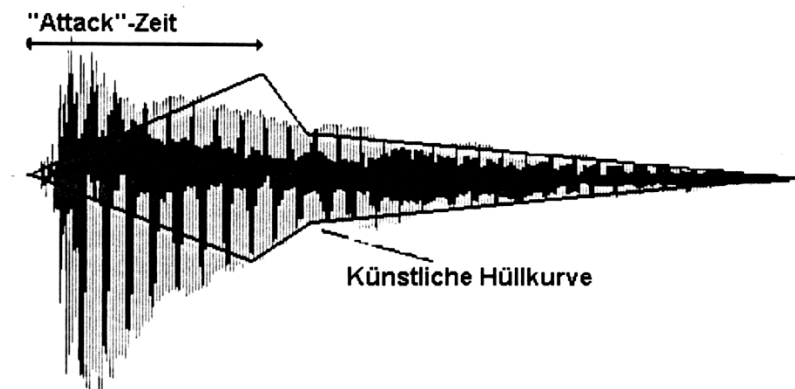


Abbildung 10: Ein Klavierklang und die ihn beschneidende Hüllkurve der Soundcard (bei midiststeuerbarer Attack-Zeit)

Wer eine Soundcard in GS-Norm besitzt, kann den „Attack“ der Hüllkurve über Midi beeinflussen. Einem Sound kann durch eine Verlängerung der Attack-Zeit der Einschwingvorgang fast ganz abgeschnitten werden. DEMO6.ARR bzw. DEMO6.MID enthält die Klaviersonate von Experiment 4 als Midifile und eine weitere Spur, auf der sich Daten befinden, die eine kontinuierliche Veränderung der „Attack“-Zeit zur Folge haben. Deutlich hört man, wie aus einem Klavier-

klang (mit kurzem „Attack“ bzw. vollständigem Einschwingvorgang) ein Streicherklang wird, wenn der Einschwingvorgang weitgehend fehlt. - Es sei den geneigten Leserinnen und Lesern überlassen, sich mit dem Wissen, das sie sich in den Experimenten 1 bis 5 angeeignet haben, nun ein eigenes Experiment als Midifile zu komponieren, in dem mehrerer Instrumentalklänge mit und ohne Einschwingvorgang den SchülerInnen dargeboten werden und dieselbe erraten müssen, um welches Instrument es sich jeweils handelt. Die Unterschiede der Fehlerquoten zwischen „mit und ohne Einschwingvorgang“ gibt dann Auskunft darüber, wie wichtig der Einschwingvorgang für das Erkennen eines Musikinstrumentes ist.

## Schlußbemerkung

Seit gut 10 Jahren setze ich in der Musiklehrerausbildung Midifiles nicht nur dazu ein, Musikstücke (nach-)zumachen, sondern auch um mittels Midi in Grenzbereiche der musikalischen Erfahrung vorzustoßen. Dies kann „musikalisch“ im Sinne experimenteller elektronischer Musik geschehen, zur Zeit am spektakulärsten in verschiedenen Richtungen von Techno. Dies kann aber auch in musikwissenschaftlichen Exkursen geschehen, die grundsätzliche Probleme des Verstehens und Wahrnehmens ausgehend von Hörexperimenten thematisieren. Nach allen meinen Erfahrungen sind junge Menschen von den hier exemplarisch vorgeführten Effekten ziemlich fasziniert und oft haben sich aus derartigen Experimenten auch Ideen zu Midi-Kompositionen entwickelt. Besonders überrascht bin ich immer wieder, wie viel Spaß das Durchführen, empirische Auswerten und die Diskussion der Ergebnisse der Experimente selbst macht. Mit relativ einfachen Mittel führt die Diskussion mitten hinein in aktuelle Forschungsfragen, nicht nur der Hörpsychologie und Neuen Technologien, sondern auch der Ästhetik und Philosophie. Kurzum, ich kann diesen „Mißbrauch“ der Institution Midifile für musikalische Grenzerfahrungen nur wärmstens empfehlen!

## Technische Hinweise und Problembehebung

1. Allgemein: Die Midifiles liegen als Standard-Midifiles (Endung „mid“) und als Cubase-Arrangements (Endung „arr“) vor. Die Standard Midifiles können von jedem Midifile-Player abgespielt werden, also auf PC auch vom Multimedia-Player von windows 3.1 oder 95, oder von einem Hardware-Player, auf Atari, Mac. Die Cubase-Arrangements können von jedem Cubase-Programm, das „arr“ versteht, abgespielt werden. Für Atari sind dazu von der CD-ROM auf einem PC Kopien auf DOS-formatierte DD-Disketten mit 7,4 MB Speicherplatz herzustellen. Einige PC-Cubase-Demo-Versionen können kein „arr“ laden (sondern nur „all“-Songs). Für diese Programme müssen die Standard Midifiles mit „mid“-Endung verwendet und „importiert“ werden. Bei den meisten Experimenten ist es sehr nützlich, die von mir angefertigte Beschriftung der Patterns einer Spur sehen zu können. Sollten diese Beschriftungen beim Midifile-Import verloren gehen (was „eigentlich“ nicht sein darf), so müsste man auf ein anderes Midirecording-Programm umsteigen oder aus der Analyse der Patterns selbst (im Noten- oder Key-Editor) die Beschriftung rekonstruieren - etwas müheselig!

2. Soundcard/Soundmodul - Hinweise auf ein paar typische Probleme: Ob die Midifiles „richtige“ Experimente erzeugen, hängt (1) von der Soundcard bzw. vom externen Soundmodul und (b) von den Einstellungen des abspielenden Programms ab. Die Soundcard bzw. der Soundmodul sollten je nach Angabe beim Experiment GM- oder GS-Standard haben. Hat eine Karte nach Herstellerangaben „GS“, so kann sein, daß man diesen Modus (oft im Midi-Mixer, der der Karte als software beigegeben ist) erst „anschalten“ muß. Die in einem Experiment verwendeten Mididaten werden nur dann vom Programm an die Karte bzw. den Midi-Ausgang des Computers gesendet, wenn alle „Optionen“ des Programms so geschaltet sind, daß die Programmausgänge „offen“ sind: schalten Sie also in „Midi-Einstellungen“ alles weg, was den Datenfluß behindern und beeinflussen kann, zum Beispiel „Midi Filter“ oder „Reset bei Spurwechsel“ und dergleichen.

3. Test-Midifile: Das Midifile „test.mid“ bzw. „test.arr“ enthält hintereinander alle Midi-Effekte, die die vorliegenden Experimente erfordern. Hörend können Sie abchecken, ob alles „richtig“ eingestellt ist:

	Was zu hören sein sollte:	Was dabei geprüft wird:	Abhilfe?
1	Ein Klavier- und ein Xylophonerton erklingt	Program Change in GM	Ist Program Change abgeschaltet. Liegt GM vor?
2	Ein reiner Sinuston erklingt	GS-Program Change vorhanden	Ist GS eingeschaltet?
3	Ein repetierter Klavierton macht ein crescendo	Main Volume funktioniert	Werden Controllerdaten gefiltert? Liegt GM vor?
4	Ein repetierter Klavierton wandert von links nach rechts	Panorama funktioniert	ebenso
5	Ein repetierter Klavierton geht allmählich in einen Streicherton über	In GS werden NRPN's gesendet, hier „attack“	Liegt GS vor? Midifilter für Controllerdaten überprüfen.
6	Rauschen ist als Dauerklang hörbar und verändert die Klangfarbe	In GS werden NRPN's gesendet, hier Filterfrequenz	ebenso
7	Ein Klavierton erklingt in der 3. bis 5. Oktav	Ist der Tonumfang groß genug?	Sind „Range“-Begrenzungen eingeschaltet?
8	Die Töne C-Cis-D erklingen	Ist Pitchbend Range 2 eingestellt (Default-Stellung)?	GM-Reset ausführen.
9	Ein Klavierton schreitet in 32 Schritten von C nach Cis	Funktioniert Pitchbend?	GM-Reset ausführen. Midifilter überprüfen.

4. Notbremse/Praxistip: Wer sich für die Experimente interessiert, die Midifiles in der Schule aber einfach nicht optimal zum Laufen bringt, der kann sich zu Hause oder bei Bekannten von dem jeweiligen Experiment einfach eine Musikkassette überspielen und diese im Unterricht verwenden. Ich gehe bei Gastvorträgen oder bei Vorführungen in mir unbekannter Umgebung grundsätzlich so vor - auf Nummer sicher, streßfrei auf das Wesentliche konzentriert.

## Übersicht über die Beispiele auf CD-ROM und Audio-CD

	<b>CD-ROM</b>		<b>CD-Audio</b>
	<b>ARR</b>	<b>MID</b>	
<i>Test</i>			
Test sämtlicher „Sonderfunktionen“ und Einstellungen	Test	Test	
<i>Gestaltwahrnehmung</i>			
1 Bachsonate als Midifile und im Original (WAV)	Bach	Bach	Track 1
Experiment 1: Demo zum späteren Experiment	Demo1	Demo1	
Experiment 1a: zufallsbedingte Darbietung der Gestalten	Exp1a	Exp1a	
Experiment 1b: kontinuierliche Darbietung der Gestalten	Exp1b	Exp1b	
<i>Gerade nicht hörbare Tonhöhenunterschiede</i>			
2 Darbietungen einer Gamelan-Melodie			Track 2
Experiment 2a: Gamelanstimmung erkennen in Abhängigkeit von der Klangfarbe	Exp2a	Exp2a	
Experiment 2b: JND, gerade noch hörbare Tonhöhenunterschiede (bei zwei Klangfarben)	Exp2b	Exp2b	
<i>Hemisphärenmusik</i>			
3 HemiSync-Musik stereo und mono			Track 3+4
Demonstration 3: Honky-Tonky-Effekt durch kontinuierlich veränderbare Verstimmung	Honky	Honky	
Experiment 3: Monaurale und binaurale Schwebungen	Exp3	Exp3	
<i>Konsonanz/Dissonanz</i>			
4 Mozarts Sonate KV 330, 2. Satz, in Kirnberger-Stimmung			Track 5
Demonstration 4: Feststellen von Obertönen durch Schwebungen, Hören der Abweichung der temperierten von der reinen Stimmung	Demo4	Demo4	
Experiment 4: Intervallerkennen in monauraler und binauraler Darbietung	Exp4	Exp4	
<i>Verdeckungseffekt</i>			
5 Minidisk und Datenreduktion			Track 6+7
Demonstration 5: Farbiges Rauschen verdeckt gewisse Sinustöne			
Experiment 5a: Verdeckung von zwei Sinustönen im Oktavabstand	Exp5a	Exp5a	
Experiment 5b: Ergänzung fehlender Töne durch das Gehirn bei vermuteter Verdeckung	Exp5b	Exp5b	
Experiment 5c: Anwendung von 5b auf „Für Elise“	Exp5c	Exp5c	
<i>Klangcharakter von Musikinstrumenten</i>			Track 8
Demonstration 6: Abschneiden des Einschwingvorganges durch Attack-Variation	Demo6	Demo6	