

Klanganalyse mit Scope

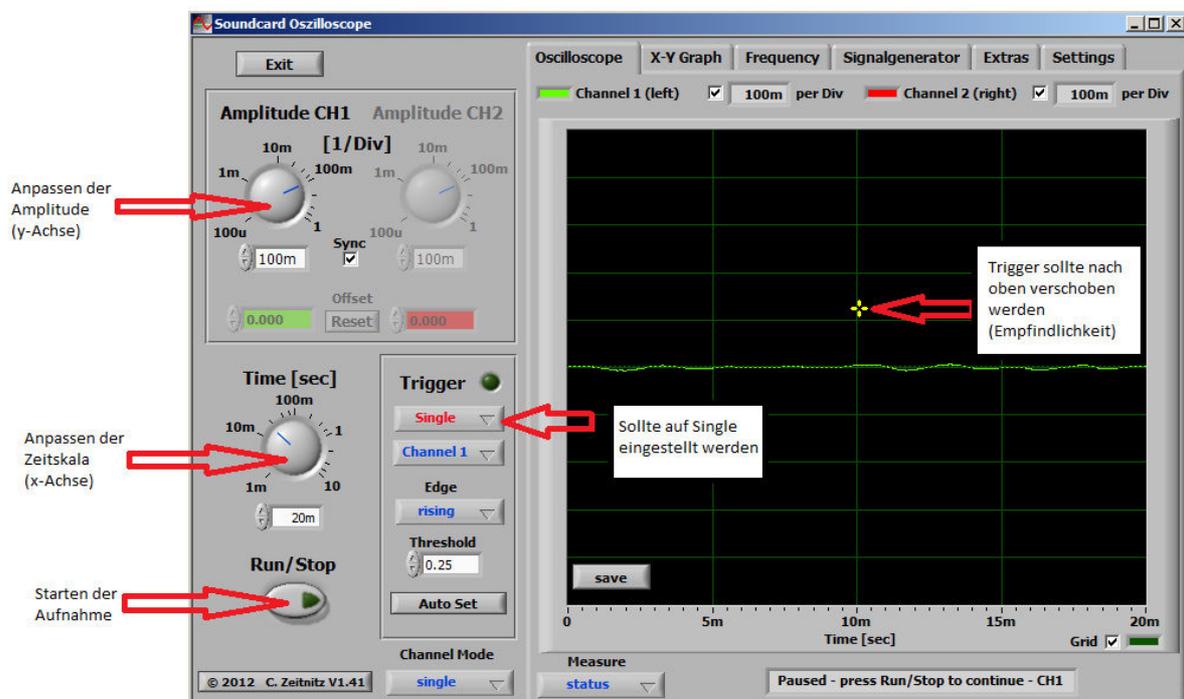
Kursarbeit von W. Kleider und T. Dahmen

Die Klanganalyse kann sowohl in der Mittel- als auch in der Oberstufe im Unterricht behandelt werden. In der Mittelstufe sollte jedoch die Analyse der Spektren nur qualitativ vorgenommen werden. Für die Klanganalyse eignet sich das Programm „Scope“ besonders gut, da es die Frequenzen (im Gegensatz zu Audacity) recht genau misst (440Hz statt 452Hz bei Stimmgabel mit 440Hz). Mit Scope kann sowohl das Frequenzspektrum aufgenommen werden als auch die Schwingung selber.

Das Ziel einer solchen Klanganalyse ist es, dass die Schüler lernen, ...

- wie Frequenz und Amplitude mit dem wahrnehmbaren Ton zusammenhängen
- wie die Klangfarbe verschiedener Instrumente zustande kommt
- wie Klänge technisch nachgeahmt werden (z.B. Synthesizer, E-Piano, ...)

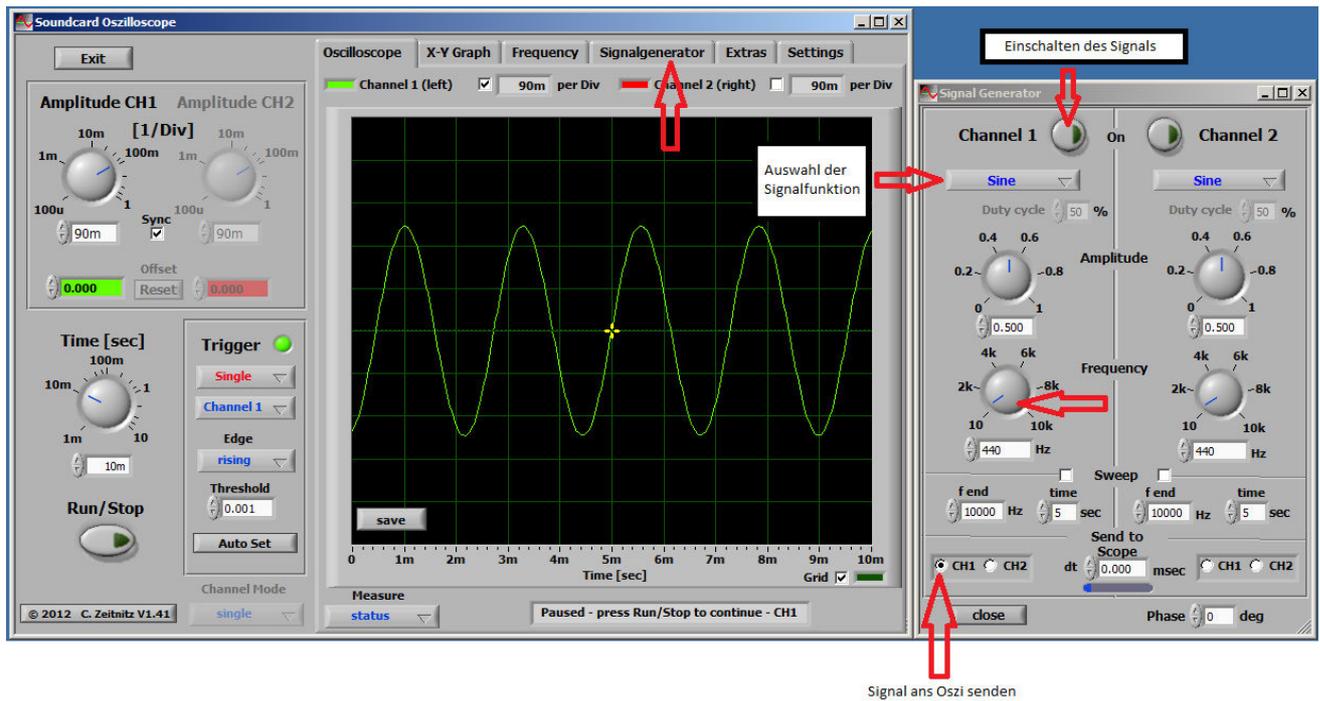
Aufnahme einer Schwingung



Für die Aufnahme der Schwingungen sollte beim Trigger in den „Single Shot“-Modus gewechselt und das Triggerniveau (das gelbe Kreuz) wegen des Umgebungslärms ausreichend nach oben gesetzt werden.

Nach der Aufnahme kann durch Drehen der Räder für Amplitude und Zeitskala das angezeigte Bild angemessen eingestellt werden.

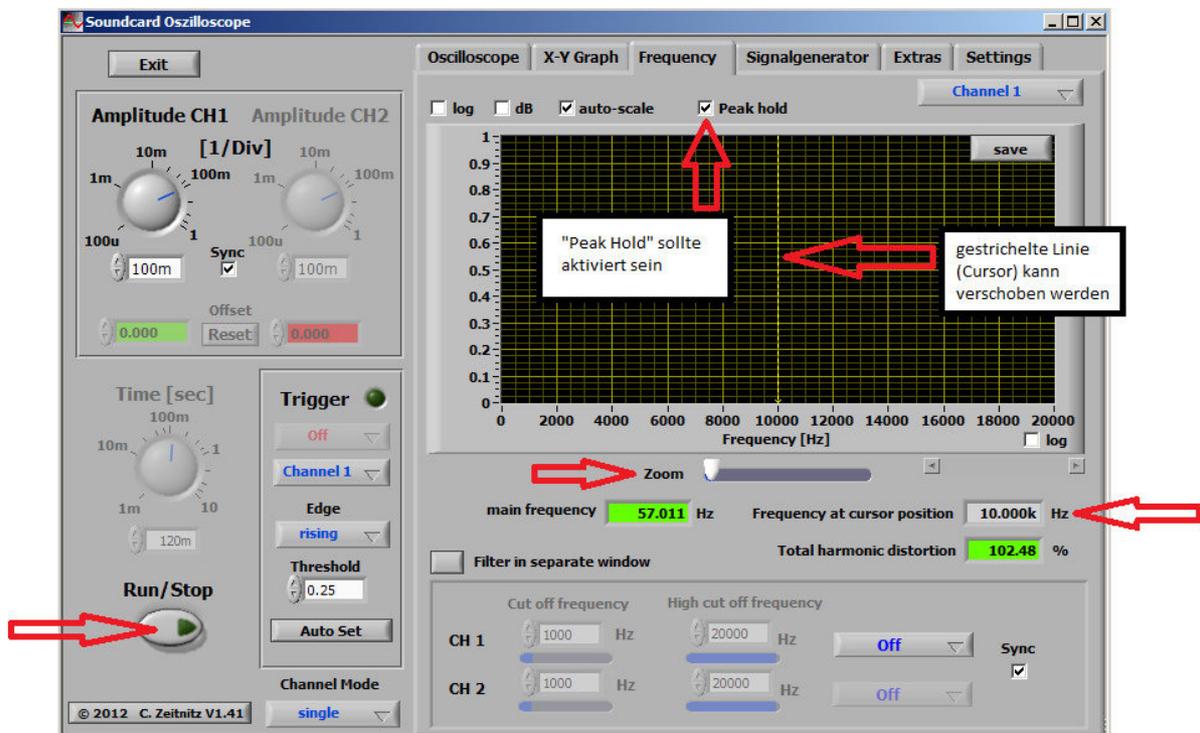
Tonerzeugung mit dem Signalgenerator



Für die Erzeugung eines Sinussignals muss zunächst der Signalgenerator geöffnet werden (Tab „Signalgenerator“, dann „in eigenem Fenster anzeigen“). Damit das erzeugte Signal auch im Oszi angezeigt wird, sollte im Signalgenerator „CH1“ ausgewählt werden. Die Frequenz und die Signalfunktion können über die jeweiligen Schaltflächen eingestellt werden.

Zur Aufnahme wird dann erst am Einschalter (im Signalgenerator) das Signal erzeugt und dann mit „Run/Stop“ die Messung gestartet. Vorm Ausschalten des Signals muss die Messung aber mit „Run/Stop“ angehalten werden!

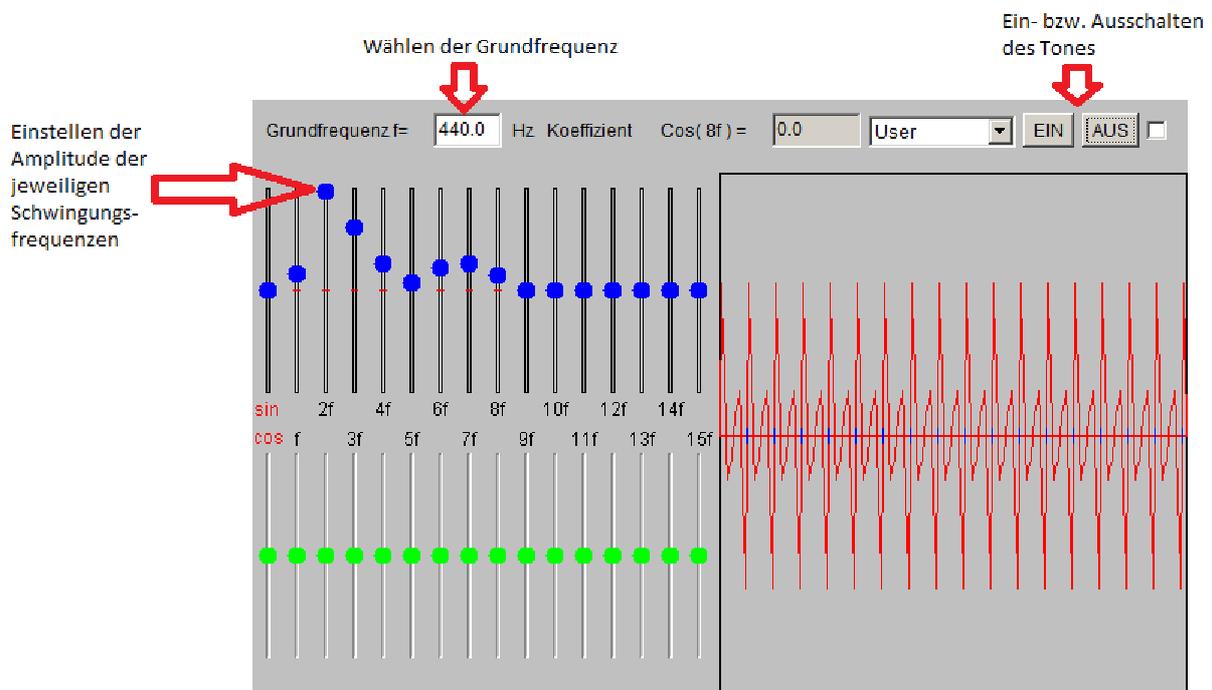
Frequenzanalyse



Vor jeder neuen Aufnahme muss das Frequenzspektrum „geleert“ werden. Dazu kurz „Peak hold“ deaktivieren und gleich wieder aktivieren.

Die Messung erfolgt bei Registrieren eines Sounds automatisch, wenn „Run/Stop“ aktiviert ist. Damit das Instrumentenspektrum aufgenommen wird, nicht aber andere Geräusche (z.B. Stimmen, Instrumente im Hintergrund, ...), sollte die Messung nach jeder Aufnahme mit „Run/Stop“ angehalten werden. In das Ergebnis kann hineingezoomt und das Bild nach rechts bzw. links verschoben werden, dadurch werden die Peaks deutlicher abzulesen. Die einzelnen Peaks werden zum Ablesen mit dem gelb gestrichelten Cursor angewählt (ans Zoomen denken!), im entsprechenden Feld ist dann ihre Frequenz abzulesen.

Fourier-Synthese mit Applet



Das Fourier-Applet (<http://www.physiktreff.de/material/fourier/fourier.htm>) ist recht intuitiv. Eine genaue Anleitung findet sich auf der angegebenen Internetseite. Für jede Frequenz kann auch die Phase eingestellt werden durch unterschiedliche Amplituden des Cos und Sin Anteils (Im Beispiel sind nur die sin Amplituden ungleich Null, d.h. alle Phasen sind gleich).

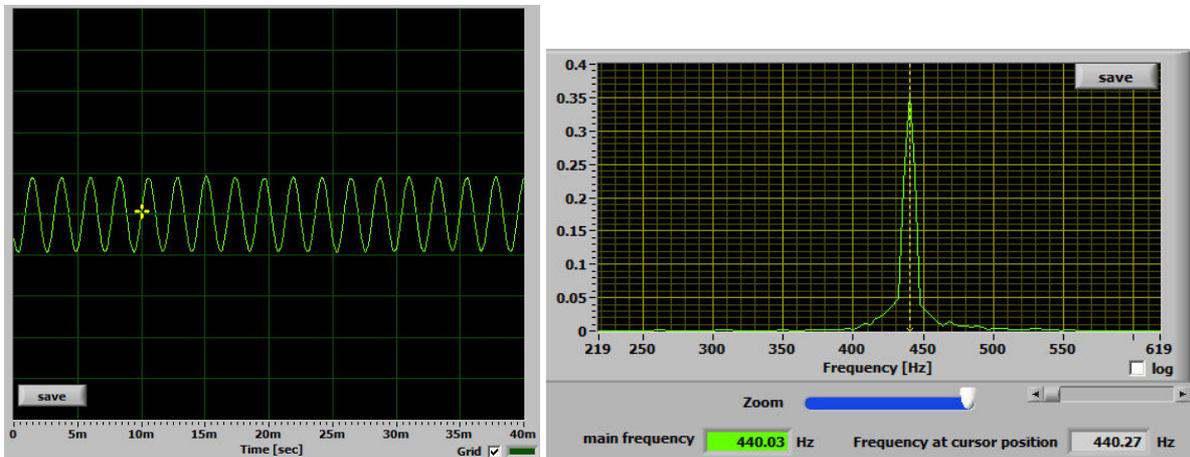
Die vorher notierten Frequenzen sind als Vielfache der Grundfrequenz mit den blauen und grünen Reglern einzustellen. Dabei entspricht der zweite (!) Regler der Grundfrequenz; der erste Regler kann zum Regulieren der Gesamtlautstärke genutzt werden.

Hierbei ist auch darauf zu achten, dass das Frequenzspektrum unterschiedliche Phasen haben kann. Diese sind aus der Frequenzanalyse mit Scope allerdings nicht abzulesen.

Die Fourier-Synthese muss als Begriff nicht genannt werden: Ein einfacher Vergleich mit einem Synthesizer ist für die Schüler leicht nachzuvollziehen, insbesondere, wenn sie sich selbst etwas in der Tontechnik auskennen.

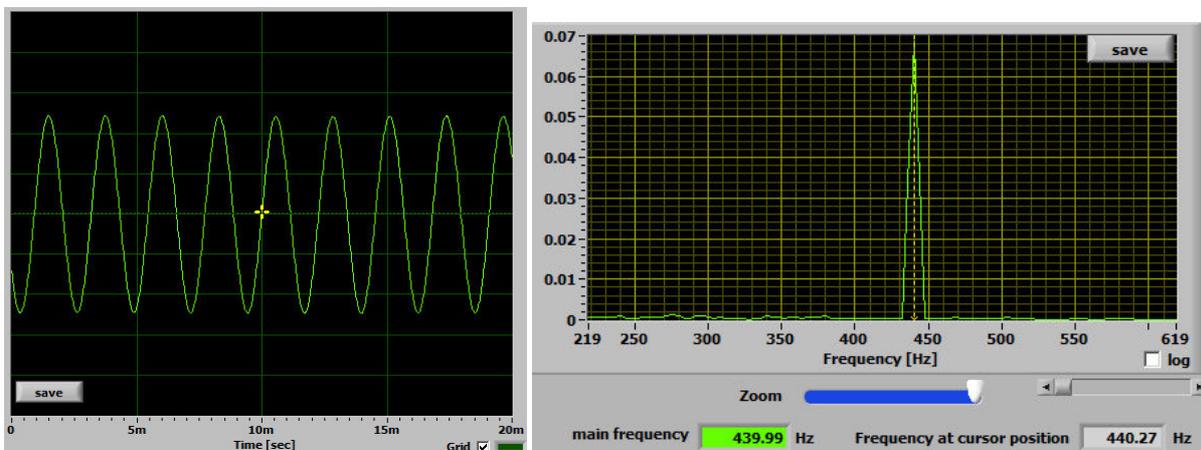
Beispiele

1. Stimmgabel (Kammerton a' 440 Hz)



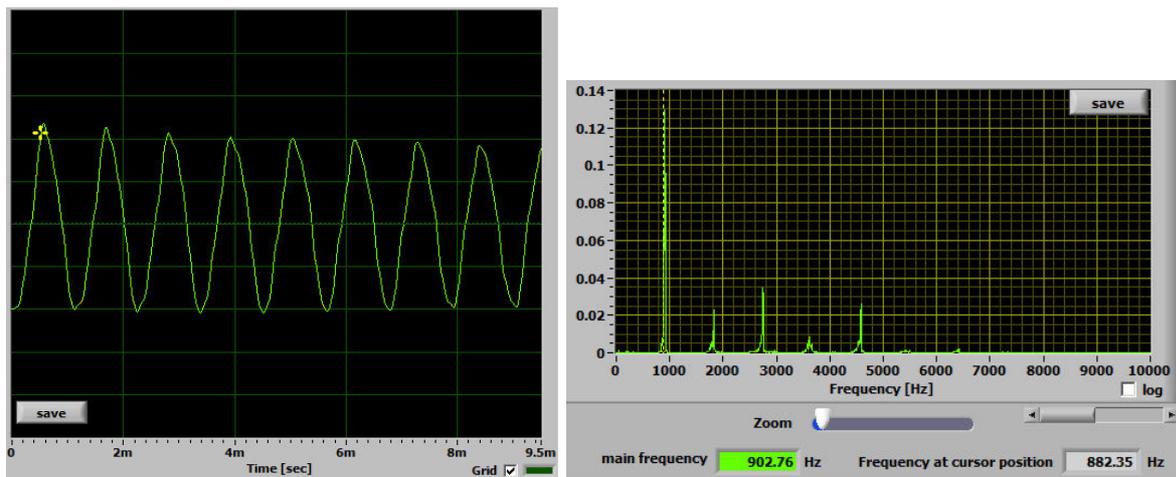
Die verwendete Stimmgabel weist eine harmonische Schwingung mit einer Frequenz von 440 Hz auf. Die Frequenzanalyse zeigt nur einen sehr großen Peak (bei 440 Hz).

2. Frequenzgenerator 440 Hz

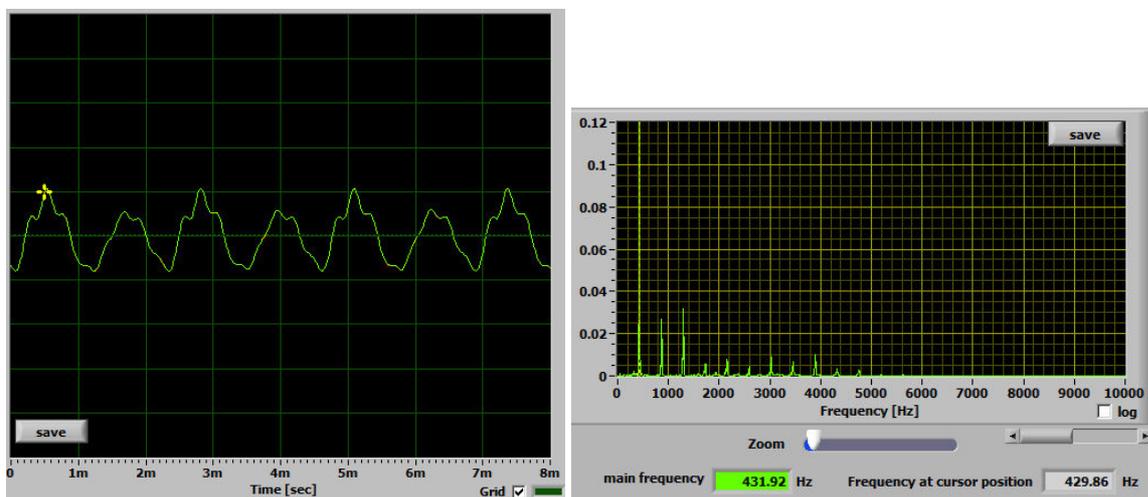


Das mit dem Tongenerator erzeugte Sinussignal zeigt einen deutlich schmaleren Peak.

3. Blockflöte (Ton a'')



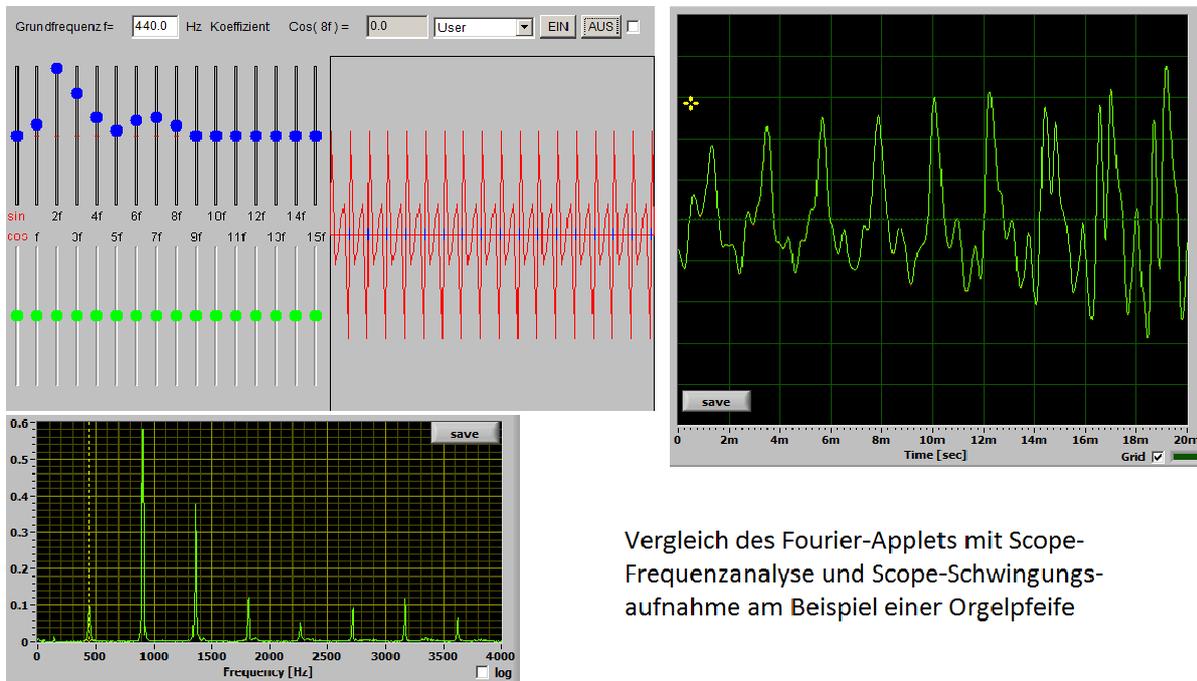
4. Alt-Blockflöte (Ton a')



Hier ist sehr schön die Überlagerung der verschiedenen Obertöne mit der Grundfrequenz sichtbar.

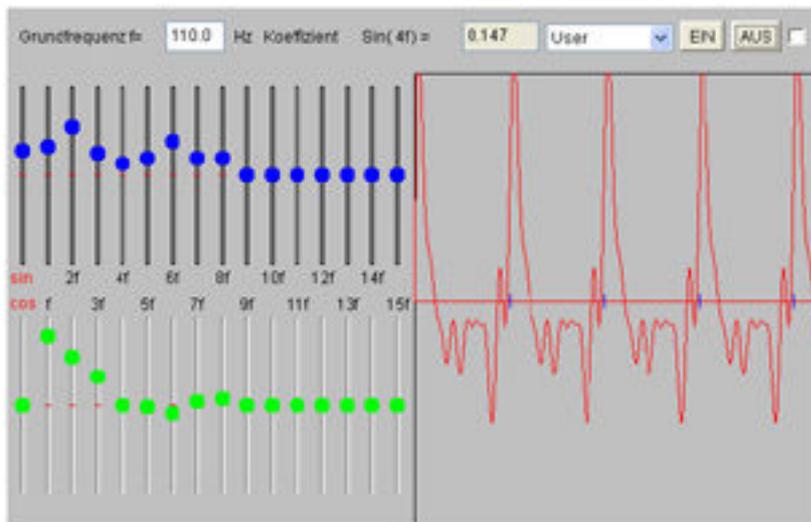
5. Orgelpfeife (Ton a')

Nach Ablesen der Frequenzen aus dem Frequenzspektrum wurde hier der Klang der Orgelpfeife mit dem Fourier-Applet nachgeahmt.



Vergleich des Fourier-Applets mit Scope-Frequenzanalyse und Scope-Schwingungsaufnahme am Beispiel einer Orgelpfeife

Weil bei der oben abgebildeten Fouriersynthese die unterschiedlichen Phasen der Obertöne nicht berücksichtigt wurden (aus Scope nicht erkennbar!), stimmen die Schwingungsabbildungen nicht überein. Auch der Klang ähnelt dem Originalklang wenig.



Bei obiger Synthese wurde durch Probieren versucht, der gemessenen Wave-Form näher zu kommen, was natürlich nicht perfekt gelingt. Immerhin sieht man, dass der Grundton große Amplituden aber in Gegenphase enthält und auch die hohe Gesamtamplitude des ersten Obertons enthält sowohl große sin- als auch cos -Anteile. Die Klangfarbe liegt jetzt erheblich näher am Klang der Orgelpfeife.

Anwendbarkeit in Mittel- und Oberstufe

Die Analyse von Klängen kann bereits in der Mittelstufe eingesetzt werden. Jedoch sollte eine genaue Untersuchung der Frequenzspektren für die Oberstufe aufgespart werden, da erst hier das nötige Vorwissen vorhanden ist.

Es empfiehlt sich natürlich, ein Aufgabenblatt zur Erarbeitung und Ergebnissicherung zu erstellen. Es ist außerdem möglich, viele Aspekte aus der Musik einzubauen (beispielsweise Schwebung beim Stimmen einer Gitarre, Oberton-Spieltechnik (Gitarre: Flageolles)); auch stehende Wellen können veranschaulicht werden (Beispiel: geschlossenes Ende bei der Klarinette).

Wenn keine Instrumente vorhanden sind, können auch mit aus dem Internet heruntergeladenen Tondateien Analysen durchgeführt werden.

Ein möglicher Unterrichtsverlauf hierfür könnte folgendermaßen aussehen:

Mittelstufe:

Als Demonstration durch den Lehrer werden mit Hilfe von Scope der Klang einer Stimmgabel aufgenommen und ein entsprechender Ton mit Scope erzeugt. Dabei kann man insbesondere musikalische Schüler mit einbeziehen, die die Stimmgabel und den Kammerton benennen und ihre Funktion in der Musik erklären können.

An dieser Stelle können auch die Begriffe Frequenz und Periode(ndauer) wiederholt und veranschaulicht werden. Mit der Frequenzanalyse kann dann ohne eine größere Erklärung die auf die Stimmgabel aufgedruckte Frequenz überprüft werden.

Wenn zur Tonerzeugung mit dem Signalgenerator übergegangen wird, ist es sehr empfehlenswert, dass die Schüler in ihren Kleingruppen (2-3 Schüler pro PC) mit Kopfhörern arbeiten. Als Arbeitsauftrag wäre hier vorstellbar, dass die Schüler Amplitude und Frequenz variieren und sich notieren, welche Auswirkung ihre Änderungen auf den erzeugten Ton haben. Für die schnelleren Schüler kann zur Binnendifferenzierung auch noch angeboten werden, dass sie mit anderen Signalfunktionen herumspielen und diese erkunden.

Wichtig: Damit die Schüler ihre Aufgaben erledigen können, sollte für alle Schritte eine Anleitung vorliegen, in die auch die Arbeitsaufträge eingearbeitet werden können.

Im nächsten Schritt können dann Instrumente mit einbezogen werden. Am besten wäre es, wenn möglichst viele Schüler eigene Instrumente mitbringen, für die Schüler, die kein Instrument haben, sollten aber z.B. aus der Musiksammlung einige Instrumente ausgeliehen und zur Verfügung gestellt werden. Auf den Instrumenten soll jeweils der gleiche Ton (die gleiche Frequenz) wie mit der Stimmgabel gespielt werden, damit die Ergebnisse vergleichbar sind.

Zuerst wird nur der Klang verglichen (ohne Messung!), später dann mit dem Oszi der Ton aufgenommen und mit der Schwingung der Stimmgabel verglichen. Die Schüler sollen hier feststellen, woher der unterschiedliche Klang stammt (vereinfacht), das Ergebnis wird im Plenum

besprochen. Zur Vertiefung oder auf Nachfrage kann der Lehrer das Frequenzspektrum zeigen und grob erklären, genauer soll dies jedoch erst in der Oberstufe besprochen werden.

Oberstufe:

Die Stimmgabel könnte als Wiederholung der Kenntnisse aus der Mittelstufe dienen: Welche Schwingungsart liegt vor, welchen Einfluss haben Frequenz und Amplitude auf den wahrnehmbaren Ton, ...; starke Schüler könnten schon die harmonische Schwingungsgleichung mathematisch formulieren und die Begriffe Amplitude und Frequenz sowie deren Auswirkung auf den erzeugten Klang erklären. Als Übergang zur Klanganalyse kann der Lehrer zusammen mit ein oder zwei Schülern dann beispielhaft ein Instrument aufnehmen, die Schüler sollen dann die aufgezeichnete Schwingung mit der Schwingung der Stimmgabel vergleichen.

In Kleingruppen können die Schüler dann wieder verschiedene Instrumente selbst aufnehmen und jeweils zusätzlich eine Frequenzanalyse durchführen (dabei sollten die Frequenzen der ersten paar Peaks notiert werden, da sie im Anschluss für die Fourier-Synthese benötigt werden, welche auch von den Schülern durchgeführt wird). Hierbei sollen die Schüler auch den Zusammenhang zwischen Grundton und den Obertönen (Vielfache des Grundtons, vgl. Fourier-Applet mit $2f$, $3f$, ...) feststellen.

Nachdem die Frequenzspektren der Instrumente aufgenommen wurden, kann das vorher genannte Fourier-Applet genutzt werden, um die Klangfarbe der Instrumente nachzuahmen. Die Schüler sollen auch den Klang mit dem des Originalinstruments vergleichen und nach möglichen Begründungen für die Unterschiede suchen.

Das Beispiel der Orgelpfeife zeigt außerdem ein sehr interessantes physiologisches Phänomen: Obwohl im Frequenzspektrum, das durch Scope gemessen wurde, die Gesamtlautstärke des ersten Obertons erheblich größer als die des Grundtons ist, nimmt unser Ohr den Grundton (440 Hz) wahr. Die Tonwahrnehmung ist also nicht nur von der Physik bestimmt, sondern ganz erheblich durch die Verarbeitung der im Innenohr gemessenen Frequenzspektren durch das Gehirn. Hierzu gibt es sehr schöne Untersuchungen. Sie zeigen zum Beispiel auch, dass geschulte Ohren von Profimusikern Töne u.U. anders wahrnehmen als Laien.