

DiTON

Ein Computerprogramm zur Erstellung von Akustik--Experimenten für den Unterricht

Zulassungsarbeit zur Ersten Staatsprüfung
für das Lehramt an Gymnasien
von Uwe Gleiß

Betreuer: Prof. Dr. W. Schneider

Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg
Didaktik der Physik
September 1996

Diese Datei enthält in Auszügen die, teilweise umgeschriebene, oben genannte Zulassungsarbeit. Dabei wurde der Schwerpunkt auf die Beschreibung des Programms gelegt, während Abschnitte zur Begründung des Programmaufbaus sowie zu didaktischen Hintergründen weggelassen wurden. Auf diese Weise sollten Zeit zum Herunterladen und Lesen verkürzt werden.

1 Einleitung

Das Programmpaket DiTON ist gedacht als Erweiterung für das Repertoire der schulischen Akustik-Experimente. Zum einen soll es als Ergänzung zu bereits vorhandenen Schulexperimenten dienen, um die damit veranschaulichten Sachverhalte transparenter zu machen oder einfach nur neu aufzubereiten. Zum anderen soll mit ihm eine Reihe von Versuchen möglich gemacht werden, die mit den Mitteln einer Physik-Sammlung nur schwierig oder überhaupt nicht zu verwirklichen sind.

Wo werden solche Experimente benötigt?

Experimente aus dem Bereich der Akustik tauchen nicht nur im entsprechenden Additum der 11.Klasse auf, sondern spielen auch an anderen Stellen des Lehrplans eine Rolle. So können grundlegende Phänomene aus dem Bereich der Wellenlehre mit Hilfe von Schallwellen veranschaulicht werden. Hierzu zählen Interferenzerscheinungen (z.B. Schwebung, Auslöschung und Verstärkung beim Doppelspaltversuch), Aussagen über Wellenausbreitung (z.B. Geschwindigkeit, Beugung) oder als konkretes Beispiel der Doppler--Effekt.

Aber Experimente mit Schall spielen nicht nur in der Physik eine Rolle.

Für viele akustische Phänomene kann es hilfreich sein, die Funktionsweise des menschlichen Gehörs besser zu verstehen, womit sich ein fließender Übergang zur Physiologie des Ohres und damit zur Biologie ergibt. Geht man mehr auf verschiedene Klangfarben und das Empfinden von Harmonien zwischen verschiedenen Klängen ein, so nähert man sich dem Fachgebiet der Musik.

Durch Kombination der Physik mit einem dieser beiden Fächer ergeben sich also Möglichkeiten für fächerübergreifenden Unterricht. Im Falle der Zusammenarbeit mit der Biologie könnte man beispielsweise auf die Funktionsweise des Ohrs als Frequenzanalysator eingehen oder Experimente zu Sinnestäuschungen des Gehörs vorführen und erklären.

Zusammen mit dem Fach Musik wäre eine Einführung in die Technik der elektronischen Musikinstrumente denkbar oder eine genauere Untersuchung von Harmonien und Tonleitern.

Eine Möglichkeit, um solche und andere Experimente für den Unterricht bereitzustellen, ist die Verwendung eines Computers mit einer sogenannten Soundkarte. Diese besteht grob betrachtet aus

einem Analog-Digital- sowie einem Digital-Analog-Wandler. Über den A-D-Wandler können akustische Signale in Folgen von Zahlenwerten umgewandelt und abgespeichert werden, womit sie zu einem späteren Zeitpunkt wieder über den D-A-Wandler abspielbar sind.

Diese Tatsache allein bietet allerdings noch keine neuen Möglichkeiten, außer dass die einzelnen Klangereignisse schneller angesteuert werden können als beispielsweise mit einem Kassettenrekorder. Ein Computer mit Soundkarte kann jedoch weitaus mehr als nur eine Wellenform wiederzugeben:

- Die gespeicherten Informationen können grafisch dargestellt werden, wodurch es möglich wird, den Verlauf einer Schwingung genauer zu untersuchen.
- Durch verschiedene Berechnungsmethoden kann die Wellenform analysiert oder verändert werden (z.B. Spektralanalyse, Anwendung von Frequenzfiltern oder Änderung der Lautstärke).
- Es besteht die Möglichkeit, völlig neue Wellenformen zu berechnen, anstatt sie aufzunehmen. So können auch Klangereignisse erzeugt werden, die mit konventionellen Methoden nicht herstellbar sind.

Die neue Idee an DiTON ist nun, anstelle vieler kleiner Einzelprogramme, die jeweils nur ein Experiment ermöglichen, ein sinnvoll strukturiertes Programmsystem zu entwickeln. Dieses versucht die notwendigen Werkzeuge zur Verfügung zu stellen, um immer wieder neue Experimente aus dem Bereich der Akustik zusammensetzen zu können.

2 Installation des Programmpakets

Systemanforderungen

Das gesamte Programmpaket ist in Microsoft Visual-Basic 3.0 geschrieben und deshalb in einigen Bereichen relativ langsam. Damit DiTON mit einer akzeptablen Geschwindigkeit arbeitet und seine Möglichkeiten voll genutzt werden können, empfiehlt sich die folgende Rechnerausstattung:

- 486er Prozessor mit 66 MHz oder 100 MHz
- 8 bit oder 16 bit Soundkarte mit Mono- und Stereo-Ausgabe
- Grafikanzeige mit mehr als 256 Farben gleichzeitig
- 10-20 MB Festplattenspeicher für zu erstellende Wellenformdateien
- Windows 3.1\™ oder höher bzw. Windows-NT\™ oder Windows 95\™

Installationsvorgang

Legen Sie die DiTON-Installationsdiskette1 in das entsprechende Laufwerk ein. Starten Sie Windows und führen Sie die Datei SETUP.EXE aus. Nach einiger Zeit erscheint das Fenster des Setup-Programms.

In einer Textzeile schlägt das Setup-Programm den Pfad C:\DITON\ als Stammverzeichnis für die DiTON-Programmteile und Unterverzeichnisse vor. Dieser Pfad kann nach den Wünschen des Benutzers geändert werden. Unter diesem Textfeld befinden sich drei Auswahlfelder, mit denen bestimmt wird, welche Dateien installiert werden sollen. Teile, die zunächst nicht kopiert wurden, können später durch erneuten Aufruf des Setup-Programms nachträglich installiert werden:

- DiTON-Programme: Dies sind die Programmdateien DEVELOP.EXE, VIEWER.EXE und DITON.INI.
- Visual-Basic Dateien: Da DiTON in Visual Basic geschrieben wurde, benötigt es einige Dateien des zugehörigen Programmpaketes, um gestartet werden zu können. Nur falls auf Ihrem Computer bereits MS Visual Basic 3.0 installiert ist kann diese Option abgeschaltet werden, um etwas Speicherplatz zu sparen.
- Beispiele: Mit den Programmen befinden sich einige fertige Experimente sowie diverse Übungsbeispiele zum Kennenlernen von DiTON auf den Installationsdisketten. Hier kann entschieden werden, ob diese mitinstalliert werden sollen oder nicht.

Durch Druck auf den entsprechenden Knopf wird die Installation gestartet.

Alle ausgewählten Daten werden in das DiTON--Stammverzeichnis bzw. in seine Unterverzeichnisse kopiert. (Wenn Sie also später DiTON wieder aus Ihrem System entfernen wollen, dann brauchen Sie nur dieses Verzeichnis zu löschen.) Das Setup--Programm erzeugt eine neue Programmgruppe, erstellt die notwendigen Icons zum Start der beiden DiTON-Hauptteile und meldet den Abschluss der Installation.

Für Entdecker auf eigene Faust:

Für diejenigen Leser, die sich nur ungern mit langen Bedienungsanleitungen beschäftigen hier einige kurze Hinweise. Die meisten Teile des Entwicklungsprogramms besitzen eine Informationszeile, in der bei Berechnungen der momentane Arbeitszustand (in schwarz) angezeigt wird. Außerhalb dieser Berechnungszeiten wird hier (in blau) ein Hinweis auf die Funktionsweise des Bedienelementes angezeigt, über dem sich gerade der Mauszeiger befindet.

Zu nahezu allen Knöpfen, Anzeigen etc. kann durch einen Rechtsklick mit der Maus ein kleines Fenster aufgerufen werden, in dem die Funktionsweise kurz erläutert wird. Diese sogenannte „Erste-Hilfe“ ist nicht als Lernprogramm, sondern als Gedächtnisstütze für den Benutzer gedacht. Trotzdem dürfte sie für ein erstes Kennenlernen auf eigene Faust recht hilfreich sein.

3 Aufbau von DiTON

Zunächst wird in diesem Kapitel die Struktur des Programmpaketes erläutert. Im Anschluss daran werden die Einzelteile von DiTON kurz vorgestellt.

In beiden Abschnitten wird dabei vor allem auf die Forderungen an das Programm eingegangen, die der Idee von DiTON und seinen Einzelteilen zugrunde liegen.

Auf diese Weise soll dem Leser ein grober Überblick über die Aufgaben der einzelnen Programme gegeben werden. Eine detaillierte Beschreibung der Funktions- und Bedienweise folgt im nächsten Kapitel.

Begriffserklärung:

Der Verlauf eines akustischen Signals kann auf verschiedene Weise dargestellt werden: Als zeitabhängige Funktion, die die Schwingung eines Teilchens innerhalb der Schallwelle beschreibt oder als zeit- und ortsabhängige Funktion der Welle selbst; als eine Reihe von digitalisierten Werten oder als die zugehörige Datei im Computer; als Sinneswahrnehmung des Ohrs.

Innerhalb dieser Arbeit wird auf diese unterschiedlichen Beschreibungsarten bzw. auf das akustische Signal selbst meist mit dem Begriff Wellenform Bezug genommen. Im Falle der zugehörigen Datenstruktur oder Datei werden auch die Bezeichnungen Sample und Wellenformdatei benutzt

Struktur des Programmpaketes

Die Hauptforderung an das Programm ist die einer möglichst hohen Flexibilität in Hinsicht auf die Verschiedenartigkeit der erstellbaren Experimente. Aus diesem Grund besteht das Projekt DiTON nicht aus einer Vielzahl kleiner Programme, die alle nur genau einen Versuch zeigen. Vielmehr wurden Werkzeuge programmiert, mit denen immer wieder neue Experimente erstellt bzw. alte abgeändert und neuen Bedürfnissen angepasst werden können.

Ähnlich wie ein „herkömmliches“ Experiment für den Unterricht zuerst aufgebaut werden muss ist es auch bei DiTON notwendig eine Experimentvorführung vorzubereiten und zu testen, bevor sie dem Schüler gezeigt werden kann.

Deshalb besteht das Programm DiTON aus zwei Hauptteilen, einem Entwicklungsprogramm, mit dem vor dem Unterricht die notwendigen Wellenformen berechnet und zu einem Experiment zusammengefügt werden, sowie einem Vorführprogramm, mit dem das Ergebnis dieser Arbeit dann im Unterricht gezeigt wird.

Der Entwicklungsteil gliedert sich wiederum in mehrere Komponenten, von denen einige für die Erstellung neuer bzw. für die Bearbeitung bereits vorhandener Wellenformen zuständig sind. Zu den Methoden dieser Programme gehören z.B. Synthese eines Klangs durch Eingabe seiner Obertonstruktur, Frequenzmodulation und Bearbeitung mit Frequenzfiltern.

Sind alle für eine Experimentvorführung benötigten Wellenformen und Texte erzeugt, so können diese mit einem Zeitplan, der alle Daten zum Ablauf des Experiments enthält, zusammengefügt und abgespeichert werden.

Der zweite Teil von DiTON, das Vorführprogramm, verwendet diese Informationen, um damit eine bildschirmfüllende Vorführung demonstrieren zu können. Die erforderlichen Grafiken und Klangereignisse könnten prinzipiell auch mit dem Entwicklungsprogramm gezeigt werden, jedoch würde hier die Vielzahl an Programmteilen und Bedienelementen zu stark vom Wesentlichen ablenken.

Komponenten des Programmpaketes

Vorführprogramm

Dies ist der Teil von DiTON, den der Schüler normalerweise zu sehen bekommt. Hieraus, und aus dem Anspruch, eine möglichst große Anzahl an Experimenten darstellbar zu machen, ergeben sich verschiedene Anforderungen an das Programm:

Unabhängig davon, ob das Programm mit Hilfe eines großen Monitors, einem Beamer oder mit einem Overhead-Display vorgeführt wird, muss die Oberfläche aus wenigen, möglichst klar gegliederten Teilen bestehen. Außerdem sollte die Anzahl an Bedienelementen gering gehalten werden, um nicht vom Wesentlichen abzulenken.

Aus diesem Grund nimmt das Vorführprogramm immer den gesamten Bildschirm ein. Zum einen wird dadurch der zur Verfügung stehende Platz vollständig genutzt und zum anderen wird der Windows-Bildschirm abgedeckt, wodurch der Schüler nicht durch andere Teile der

Arbeitsoberfläche abgelenkt werden kann. In Windows 9x ist es sinnvoll, die Taskleiste ebenfalls zu verstecken, um noch mehr Überblick zu schaffen.

Um die Anzahl der Bedienelemente einzuschränken, werden die meisten notwendigen Einstellungen für eine Experimentvorführung schon im Entwicklungsteil von DiTON vorgenommen. Das Vorführprogramm beschränkt sich ausschließlich auf das Abspielen von Wellenformen und auf die Darstellung von Informationen in grafischer Form; Möglichkeiten zur Bearbeitung (z.B. von Wellenformen) wurden bewusst weggelassen.

Im folgenden wird die Struktur eines Experimentes von DiTON kurz vorgestellt:

Ein Experiment besteht aus bis zu zehn sogenannten Schritten, die der Lehrer während der Vorführung nacheinander abrufen kann. In jedem dieser Schritte können bis zu fünf Wellenformen zum Abspielen auf Knopfdruck sowie maximal vier Grafikfenster zur Anzeige von verschiedenen Informationen zur Verfügung stehen.

Wieviele dieser Möglichkeiten genutzt werden, ist von Experiment zu Experiment unterschiedlich und hängt nicht unerheblich vom Ersteller der Vorführung ab (die Meinungen gehen eben doch oft auseinander).

Entwicklungsprogramm

Wie oben schon erwähnt, besteht der Entwicklungsteil aus mehreren Komponenten. Anstatt diese als eigenständige Programme zur Verfügung zu stellen, wurden sie alle in einem Hauptprogramm integriert.

Im folgenden werden nun die einzelnen Programmteile kurz vorgestellt:

Programmteile für das Berechnen neuer Wellenformen

Additive Synthese

Ein Klang enthält nicht nur die sogenannte Grundschiwingung (sonst würde er wie ein reiner Sinuston klingen), sondern auch je nach Klangfarbe unterschiedlich stark ausgeprägte Oberschwingungen bzw. Obertöne, deren Frequenzen ganzzahlige Vielfache der Frequenz der Grundschiwingung sind. Viele Eigenschaften eines Klangereignisses lassen sich an Hand seiner Obertonstruktur erläutern. Um nun Wellenformen mit einem möglichst reinen Obertonspektrum zu erhalten, wurde dieser Programmteil geschrieben.

Das Grundprinzip ist die Addition mehrerer Schwingungen verschiedener Frequenzen und Amplituden. Dieses Prinzip tauchte früher auch als Methode der Klangerzeugung in verschiedenen Synthesizern auf; daher auch der Name Additive Synthese für das Programm. Die im Programm wählbaren Frequenzen sind dabei die ersten hundert ganzzahligen Vielfachen einer Basisfrequenz; ihre Amplituden können vom Benutzer eingestellt werden. Dies geschieht durch das Zeichnen des Frequenzspektrums mit der Maus.

Die Informationen aus diesem Spektrum werden dann zusammen mit den Daten aus einem, ebenfalls vom Benutzer gezeichneten Phasenspektrum in eine Wellenform umgerechnet und abgespeichert.

Tonfolgen

Es gibt eine Reihe von Eigenschaften des Gehörs und vor allem des Empfindens für Harmonie und Musik, die sich nicht mit Hilfe eines einzelnen Klangs erklären lassen. Hierfür benötigt man Folgen

von Tönen, die Möglichkeit der kontinuierlichen Frequenzänderung eines Klangs und gleichzeitig abspielbare Tonkombinationen.

Diese und noch einige weitere Möglichkeiten wurden im Tonfolgenprogramm von DiTON verwirklicht: In einem Koordinatensystem mit einer Zeit- und einer Frequenzachse werden an den gewünschten Stellen Klangereignisse eingetragen. Für jedes dieser Klangereignisse können Dauer, Tonhöhenverlauf und Schwingungsform angegeben werden.

Frequenzmodulation

Der dritte Programmteil für die Erstellung von Wellenformen wurde im Hinblick auf die Erklärung der Funktionsweise elektronischer Musikinstrumente erstellt. Da unterschiedliche Syntheseverfahren mindestens so zahlreich sind wie die Firmennamen in diesem Bereich der Elektronik, wurde nur eines der häufigsten herausgegriffen und programmiert. (Mehr oder weniger indirekt können mit DiTON allerdings auch die klassischen Verfahren der additiven- (s.o.) und der subtraktiven Synthese (mit Hilfe des Filterprogramms s.u.) erklärt werden.)

Im Übrigen besitzen die meisten Soundkarten in Computern zur Musikwiedergabe einen kleinen FM-Synthesizer.

Programmteile für die Bearbeitung vorhandener Wellenformen

Analyse und Filter

Die Hauptaufgabe dieses Programmteils ist das Hervorheben bzw. Entfernen einzelner Eigenschaften oder Teile einer Wellenform. Hierzu bietet es zunächst die Möglichkeit, sowohl eine Wellenform als auch ihr Frequenzspektrum anzuzeigen und nach Wunsch auszudrucken, um eventuell als Unterrichtsmaterial Verwendung zu finden.

Vor allem bei digitalisierten (aufgenommenen) Wellenformen ergibt sich im Gegensatz zu berechneten oft das Problem, dass das Sample mehr enthält als für die Vorführung wichtig ist. Im Programmteil für Analyse und Filter können Teile einer Wellenform wie auf einem Schneidepult entfernt werden, so dass nur das gewünschte übrigbleibt.

Auch eine Bearbeitung über das Frequenzspektrum ist möglich. Mit einem frei programmierbaren Filter können bestimmte Frequenzen in ihrer Amplitude abgesenkt oder sogar vollständig gelöscht werden.

Zu den oben genannten Methoden kommen noch verschiedene Möglichkeiten der Lautstärkebearbeitung sowie die Veränderung der Abspielgeschwindigkeit oder der Abspielrichtung einer Wellenform.

Konvertierung

Alle bisher aufgezählten Programmteile des Entwicklungsteils erstellen und bearbeiten grundsätzlich nur 8-bit Mono-Samples. (In allen Versuchen, die in der Entwicklungsphase von DiTON erstellt wurden, erwies sich eine Auflösung von 8 bit als vollkommen ausreichend. Aus diesem Grund und um Speicherplatz sowie Nerven des Programmierers zu sparen wurde die Möglichkeit, 16-bit Samples zu erstellen und zu bearbeiten, nicht in das Programm integriert.)

Für einige Experimente sind allerdings Stereowellensformen notwendig. Auch kann es hilfreich sein, zwei Wellenformen zu einer zusammenzumischen, um sie gleichzeitig abspielen zu können.

Der Programmteil für die Konvertierung von Wellenformen übernimmt genau diese Aufgaben. Zusätzlich kann er auch aus einem Stereo-Sample rechte und linke Seite entnehmen und als einzelne Wellenformen speichern. Dies ist notwendig, wenn die Einzelteile eines solchen Samples einer nachträglichen Bearbeitung mit DiTON unterzogen werden sollen.

Programmteil für die Erstellung von Dokumentationstexten

In einer fertigen Experimentvorführung können in den vier Grafikfenstern verschiedene Informationen angezeigt werden. Eine Darstellungsart ist dabei die Anzeige von erläuternden Texten. Diese bestehen aus drei Teilen:

Um diese kurzen Erläuterungen im passenden Format schreiben zu können, wurde dem Entwicklungsteil ein einfacher Texteditor hinzugefügt.

Programmteil für die Verknüpfung der Einzelteile zu einem Experiment

Der letzte Schritt auf dem Weg zu einem vorführreifen Experiment ist die Erstellung des Zeitplans, nach dem Wellenformen und grafische Informationen in den einzelnen Experimentsschritten verwendet und angezeigt werden sollen.

Im zugehörigen Programm existiert für jeden Experimentsschritt eine eigene Bildschirmseite, in der eingestellt werden kann, welche Wellenformen den Abspielknöpfen zugeordnet werden bzw. was für Informationen in den einzelnen Fenstern anzuzeigen sind.

Programmteile zur Unterstützung des Benutzers

Notizen

Beim Entwickeln eines Experiments kann es vorkommen, dass der Benutzer sich Ideen oder Informationen kurz notieren möchte, um sie später bzw. in einem anderen Programmteil wieder zu verwenden. Um ihm dabei behilflich zu sein, enthält das Entwicklungsprogramm einen Notizblock, in dem beliebige Informationen während der Arbeit an Texten und Wellenformen eingetragen werden können. Zusätzlich besitzen einige Programmteile die Möglichkeit, ihre Einstellungen in einen kurzen Text zu verwandeln, der dann direkt in eines der drei Notizfelder kopiert werden kann, wodurch lästige Abschreibearbeit entfällt.

DiTON Erste-Hilfe

Um einem Anwender, nachdem er sich einmal mit der Bedienung von DiTON vertraut gemacht hat, ständiges Nachschlagen und Suchen zu ersparen, musste das gesamte Programmprojekt eine Hilfsfunktion erhalten.

Die Lösung des Problems wurde in „DiTON Erste -Hilfe“ (die „Zweite--Hilfe“ liegt in Form der Tutorials von Kapitel 4 vor) verwirklicht: Ein einfacher Druck auf die rechte Maustaste ruft ein kleines Hilfenfenster zu dem Bedienelement auf, über dem sich gerade der Mauszeiger befindet.

Auf diese Weise erhält der Benutzer schnell und unkompliziert an nahezu jeder Stelle in den einzelnen Programmteilen eine kurze Erklärung, die ihm den Zweck und die Funktionsweise eines Bedienelements wieder in Erinnerung ruft

4 Bedienung und Funktionsweise von DiTON

Dieses Kapitel gliedert sich in einzelne Abschnitte, die der Beschreibung des Demonstrationsprogramms und der einzelnen Teile des Entwicklungsprogramms gewidmet sind.

Jeder dieser Abschnitte beginnt mit einem Tutorial, in dem der Leser in die Bedienung des entsprechenden Programms eingewiesen wird (dabei wird vorausgesetzt, dass er mit den grundlegenden Begriffen der Windows-Bedienung vertraut ist). Danach folgt meist ein Abschnitt: Verwendungsmöglichkeiten des Programms: Hier werden kurze Beispiele gegeben, für welche Art von Experimenten das Programm genutzt werden kann. Diese sind als Anregungen zu verstehen und erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

4.1 Vorführprogramm

Vorbemerkung:

Im Gegensatz zum Entwicklungsprogramm ist der Vorführteil von DiTON sehr anpassungsfähig im Bezug auf Bildschirmauflösung und Anzahl der darstellbaren Farben. Durch die Optionen (s.u.) kann sowohl für ein Overhead-Display mit Graustufen und VGA-Auflösung als auch für eine hochauflösende Farbdarstellung auf einem großen Monitor oder mit Hilfe eines Beamers eine passende Einstellung gefunden werden.

Tutorial

Haben Sie nach Start des Programms bitte ein wenig Geduld, während verschiedene Wertetabellen berechnet werden (dies sind vor allem Werte für die Fouriertransformation (genaueres in der Beschreibung zum Entwicklungsprogramm)).

Sind diese Berechnungen abgeschlossen, so erscheint bildschirmfüllend das Hauptfenster des Vorführprogramms.

Am oberen Rand befindet sich eine schmale Bedienleiste, während der große Anzeigebereich darunter im Moment noch bis auf ein kleines Fenster leer ist, da kein Experiment geladen wurde. Lesen Sie den Text in diesem Hilfefenster und schalten Sie es dann aus, indem Sie irgendwo auf dem Text die linke Maustaste drücken. Durch einen Rechtsklick auf ein Bedienelement öffnet sich in nahezu allen Fällen wieder dieses Hilfefenster mit einem kurzen Informationstext. Probieren Sie dies z.B. beim Knopf ENDE einmal aus.

Am rechten Rand befinden sich die Knöpfe v und OP; der erste verkleinert das Vorführfenster zu einem Symbol, während der zweite ein Fenster aufruft, in dem die Optionen wie Farbe und Schriftgröße eingestellt werden können (genaueres gegen Ende dieses Tutorials).

Drücken Sie nun auf den Knopf LADEN, wodurch ein Dateiauswahlfenster geöffnet wird. Wählen sie die Datei VIEWTUT.DTN und drücken Sie auf OK. Das Experiment wird geladen und die Bedienleiste verändert sich an mehreren Stellen.

Neben dem Knopf zum Beenden des Programms steht nun der Name des momentan geladenen Experiments. Darunter befindet sich eine Schrittanzeige mit zwei Zahlen: die rechte (in diesem Fall 5) gibt an, aus wievielen Einzelschritten das Experiment insgesamt besteht; die linke Zahl steht für den momentan angezeigten Schritt.

Ein Stück weiter rechts, unter dem Wort Wellenformen sind fünf neue Knöpfe erschienen. Jedem ist eine Wellenform zugeordnet, die durch Knopfdruck abgespielt wird. Die Belegung und Anzahl der

Abspielknöpfe ist von Experimentschritt zu Experimentschritt unterschiedlich. Um zu erfahren, welche Wellenform welchem Knopf zugewiesen wurde, befragen Sie die erste Hilfe.

Um den nächsten Schritt anzuzeigen, drücken Sie nun auf den Pfeil nach oben neben der Schrittanzeige.

In der unteren Hälfte des bisher langweilig grauen Bereiches erscheint ein neues Fenster, in dem ein Ausschnitt aus einer Wellenform dargestellt ist (dabei ist eine Schwingungsperiode hervorgehoben gezeichnet). Diese Wellenform kann mit Hilfe von Knopf 1 abgespielt werden.

Bewegen Sie den Mauszeiger über das Wellenformfenster und beobachten Sie dabei die Anzeige neben dem Wort Maus} in der Bedienleiste. An dieser Stelle kann die Position des Mauszeigers abgelesen werden, wodurch es möglich wird, z.B. die Dauer einer Schwingungsperiode zu vermessen.

Um diesen Zeitraum genauer bestimmen zu können wäre es gut, einen Teil des angezeigten Bereiches vergrößert zu betrachten. Links oberhalb des Wellenformfensters stehen die Informationen zum momentan angezeigten Ausschnitt. Um nun einen Teil dieses Bereiches vergrößert darzustellen, klicken Sie im Wellenformfenster den Anfangspunkt des gewünschten Abschnittes an und halten die linke Maustaste gedrückt, während sie den Mauszeiger verschieben. Ein Teil der Wellenform wird dadurch markiert. Sobald Sie die Maustaste loslassen, wird dieser Bereich vergrößert dargestellt (beachten Sie die Ausschnittsanzeige links oberhalb des Fensters).

Mit den Knöpfen < und > wird der angezeigte Ausschnitt nach links bzw. rechts (um eine Fensterbreite) verschoben, wodurch man sich, ohne die Vergrößerung zu ändern, durch die Wellenform bewegen kann. Dabei kann man sehen, wie die Amplitude der Schwingung mit der Zeit abnimmt.

Mit dem Knopf KOMPLETT wird die gesamte Wellenform im Fenster darunter dargestellt. Deutlich ist jetzt der Amplitudenverlauf (die Hüllkurve) der Wellenform zu erkennen, wohingegen die einzelnen Schwingungen nicht mehr aufgelöst werden. Um diese erneut erkennen zu können, muss wieder ein Teil der Wellenform herausvergrößert werden (probieren Sie's).

Das Vorführprogramm kann nicht nur den Wellenformverlauf, sondern auch Spektren eines Klangereignisses darstellen. Um Beispiele für Frequenzspektren zu sehen, schalten Sie weiter auf Schritt 3.

Haben Sie Geduld, bis die Spektren berechnet wurden. Nach Abschluss der Berechnungen sehen Sie im Anzeigebereich zwei Fenster, von denen zunächst auf das obere eingegangen werden soll:

Zu sehen ist ein Diagramm, in dem die X-Achse der Frequenz und die Y-Achse der relativen Amplitude entspricht. Linien unterschiedlicher Höhe geben an, ob und wie stark die Schwingung der entsprechenden Frequenz in der hier analysierten Wellenform (die mit Abspielknopf 1 angehört werden kann) enthalten ist. Ein Teil des Spektrums ist rot gezeichnet. Eine solche Hervorhebung kann beim Zusammenfügen des Experiments (ebenso wie für Wellenformen) vom Ersteller programmiert werden, um die Aufmerksamkeit auf eine bestimmte Eigenschaft zu lenken.

Auch hier wird die Position des Mauszeigers angezeigt, sobald er sich über dem Spektrenfenster befindet. Die relative Amplitude wird dabei in Prozent der höchsten im Spektrum auftretenden Linie angegeben.

Und wie auch beim Wellenformfenster gibt es hier eine Anzeige links oberhalb des Fensters, in der eingetragen ist, welcher Teil des Spektrums gerade sichtbar ist. Dieser kann durch Ziehen des Mauszeigers innerhalb des Spektrenfensters bzw. durch Benutzung des Knopfes KOMPLETT in gleicher Weise wie beim Wellenformfenster verändert werden.

Widmen wir uns nun dem unteren Fenster, in dem ein Mehrfachspektrum zu sehen ist; es wurden zehn Berechnungen zu verschiedenen Zeitpunkten durchgeführt und die Ergebnisse hintereinander aufgetragen, wobei die Zeit von vorne nach hinten verläuft. Auf diese Weise kann man sehen, wie sich das Obertonverhalten des Klangereignisses (Abspielknopf 2) mit der Zeit verändert.

Die Anzeige links oberhalb des Fensters ist der beim Einzelspektrum sehr ähnlich: Neu ist nur der Schalter PERSP, mit dem die perspektivische Darstellung im Fenster darunter ein- und ausgeschaltet werden kann. Bei Darstellung ohne Perspektive liegen die Linien zu gleichen Frequenzen direkt voreinander, wodurch eine Frequenzverschiebung im Verlauf eines Klangereignisses besser erkennbar wird.

Schalten Sie nun weiter zu Schritt 4. Die Frequenzspektren werden durch ein Fenster mit Text ersetzt. In solchen Textbereichen können je nach Art des vorgeführten Experiments verschiedene Informationen oder Fragestellungen enthalten sein. Beim Erstellen einer Vorführung kann festgelegt werden, ob ein Text beim ersten Aufruf eines Schrittes sichtbar sein soll oder nicht. So kann z.B. der Klasse ein bestimmter Sachverhalt an einem Diagramm erklärt und der entscheidende Merksatz erst am Schluss eingeblendet werden. Das Ein- und Ausschalten eines Textes geschieht durch Klick auf die Überschrift desselben.

Wechseln Sie nun bitte zu Schritt 5 des vorliegenden Experiments. Der Anzeigebereich wird mit vier Fenstern, die alle unterschiedliche Informationen beinhalten, gefüllt. Im rechten oberen Fenster ist eine Grafik zu sehen, die auf den ersten Blick dem Frequenzspektrum links davon ähnelt. Es handelt sich hierbei tatsächlich um ein Spektrum, jedoch sind hier nicht die relativen Amplituden der einzelnen Schwingungen, sondern die relativen Phasen gegen die Frequenz aufgetragen. Die Möglichkeit, ein solches Spektrum zu berechnen, wurde nur der Vollständigkeit halber hier erwähnt; sie findet nur in einigen wenigen Experimenten zur Physiologie des Gehörs eine Verwendung.

Veränderungen am dargestellten Ausschnitt werden wie beim Einzelspektrum (s.o.) durchgeführt.

Betrachten Sie nun die Fenster auf der linken Seite genauer, so fällt Ihnen vielleicht auf, dass die Bedienelemente fehlen. Auch die Wahl eines neuen Ausschnittes durch Klicken und Ziehen der Maus ist nicht möglich. Dies liegt daran, dass diese Option für beide Fenster vom Ersteller des Experiments abgeschaltet wurde. Dieses Abschalten ist sinnvoll, wenn z.B. ein Experiment erstellt wurde, bei dem der Schüler selbst mit DiTON arbeiten und nur einen bestimmten Teil einer Wellenform oder eines Spektrums untersuchen soll.

Betrachtet man die Anzeige der Mauszeigerposition bei der Bewegung des Zeigers in den einzelnen Fenstern, so stellt man fest, dass bei der Bewegung durch das Wellenformfenster keine Position angezeigt wird. Auch diese Option kann vom Schreiber des Experimentes ausgeschaltet werden.

Eventuell sind Sie schon die ganze Zeit mit den Darstellungsfarben der Spektrenfenster oder mit den Schriftgrößen im Textfenster nicht zufrieden. Um diese zu ändern drücken Sie auf den Knopf OP, worauf das Optionsfenster erscheint.

Angenommen Sie wollen die Hintergrundfarbe für die Darstellung von Frequenzspektren verändern, dann drücken Sie auf den Knopf HINTERGRUND neben dem stilisierten Frequenzspektrum. Es erscheint ein Dialogfenster, in dem Sie die gewünschte Farbe einstellen und übernehmen können. Verändern Sie so nach und nach die einzelnen Darstellungsfarben Ihren Wünschen entsprechend (in den stilisierten Beispielfensterchen kann das Ergebnis abgeschätzt werden). INFOS bezieht sich auf die Anzeigen für Mauszeigerposition und die Ausschnittanzeigen der einzelnen Fenster.

Unten links im Optionsfenster befindet sich ein Bedienfeld für die Einstellung der Schriftgrößen in Textfenstern. Mit den linken drei Auswahlschaltern können die einzelnen Textteile ausgewählt und

mit den rechten die entsprechende gewünschte Schriftgröße eingestellt werden (zugegebener Maßen etwas umständlich).

Mit OK werden die Einstellungen übernommen und das Optionsfenster geschlossen. Die Änderung dieser Werte wird meist erst beim Wechsel zu einem anderen Experimentschritt sichtbar (schalten Sie notfalls auf Schritt 4 und wieder zurück auf Schritt 5).

Durch Druck auf die Knöpfe **SPEICHERN** und **LADEN** können die momentanen Einstellungen gespeichert, bzw. bereits gesicherte Werte geladen werden.

Wenn Sie jetzt neugierig geworden sind, wie denn nun eine Experimentvorführung für den Unterricht konkret aussehen könnte, dann laden Sie doch einmal eines der Beispielexperimente und sehen Sie es sich an. Eine genauere Beschreibung dieser Experimente finden Sie in Kapitel 5.

4.2 Entwicklungsprogramm

Tutorial

Starten Sie das Programm und haben Sie bitte etwas Geduld. Solange sich das Bildfenster zu DiTON in der Bildschirmmitte befindet, ist das Programm damit beschäftigt, Wertetabellen zu erstellen, die für spätere Berechnungen benötigt werden.

Sobald dieser Vorgang abgeschlossen ist, erscheint am oberen Bildschirmrand eine Bedienleiste.

Bewegen Sie den Mauszeiger über die einzelnen Bildknöpfe, um in der Informationszeile rechts angezeigt zu bekommen, welches der Teilprogramme mit dem entsprechenden Knopf aufgerufen wird. Mit diesen Knöpfen können Sie auch die einzelnen Programme in den Vordergrund holen, wenn sie hinter anderen Fenstern verschwunden sind.

Über der Textzeile befinden sich der Knopf **INFO** zum Aufruf eines Fensters, das Informationen über Programmierer etc. enthält, und der Knopf **ENDE** mit dem das DiTON-Entwicklungsprogramm verlassen wird. Sind in einem oder mehreren Programmteilen Änderungen noch nicht gespeichert worden, so wird Sie DiTON darauf aufmerksam machen, bevor das Programm endgültig geschlossen wird.

Hierzu sei Ihnen noch mitgeteilt, dass die Daten aller Teilprogramme nicht verloren gehen, wenn deren Fenster geschlossen werden. Erst wenn das Hauptprogramm (die Bedienleiste) beendet wird, werden alle Daten aus dem Speicher gelöscht (Eine kleine Ausnahme bildet hier das Bearbeitungs- und Filterprogramm, mehr dazu im entsprechenden Abschnitt).

Die nun folgenden Abschnitte zu den einzelnen Programmteilen können weitestgehend in beliebiger Reihenfolge gelesen werden. Fangen Sie also da an, wo die Neugier am größten ist.

4.3 Programmteil für Additive Synthese

Tutorial

Den größten Bereich der Programmoberfläche nehmen zwei große Fenster mit eingezeichneten Koordinatensystemen ein. In ihnen können die Amplituden (im oberen dunkelgrünen Fenster) bzw. die Phasen (im unteren dunkelblauen Fenster) von hundert verschiedenen Schwingungen eingegeben werden. Die Frequenzen dieser Schwingungen sind die ersten hundert Vielfachen einer wählbaren Basisfrequenz.

Die Einstellungen für Amplitude und Phase einer Schwingung liegen in den Fenstern direkt übereinander und werden durch unterschiedlich hohe Linien angezeigt. Bewegen Sie zunächst den Mauszeiger auf dem oberen Fenster und beobachten Sie dabei die Anzeige zwischen den beiden Eingabebereichen. Während die Maus bewegt wird, ändert sich die Frequenzanzeige, die Anzeigen für Amplitude und Phase bleiben jedoch auf 0. Dies liegt daran, dass hier nicht die Position der Maus, sondern die momentan eingestellten Werte für Amplitude und Phase angezeigt werden, die zur Schwingung dieser Frequenz gehören.

Drücken Sie jetzt die linke Maustaste, während Sie den Mauszeiger langsam über das Fenster bewegen. Es erscheinen eine bzw. mehrere gelbe Linien und die Anzeige für die Amplitude nimmt positive Werte an. Die Linie, deren Werte zwischen den Fenstern angezeigt wird, ist dabei zur besseren Orientierung rot hervorgehoben.

Um einzelne Linien bequemer bearbeiten zu können gibt es die Möglichkeit, entweder Frequenz oder Amplitude „festzuhalten“: Halten Sie die SHIFT-Taste gedrückt und bewegen Sie die Maus im oberen Fenster bei gedrückter linker Taste in verschiedene Richtungen; probieren Sie das gleiche bei gedrückter STRG-Taste. Im ersten Fall wird trotz Mausbewegung nach links und rechts keine andere Linie gewählt, im zweiten Fall wird die Amplitude für alle Linien, über die sich der Mauszeiger bewegt, auf den selben Wert gesetzt.

Die Einstellung der Phasen wird auf die gleiche Weise vorgenommen wie die der Amplituden bis auf die Tatsache, dass die einstellbaren Werte bei den Amplituden zwischen 0% und 100% bzw. bei den Phasen zwischen -180° und 180° liegen. üben Sie das Eintragen verschiedener Werte ein wenig, bevor Sie weiterlesen!

Es soll nun ein Klang erzeugt werden, der zwei Schwingungen mit den Frequenzen 880 Hz und 1760 Hz enthält. Zunächst müssen hierfür die Eintragungen, die Sie bei Ihren Übungen gemacht haben, gelöscht werden. Im oberen Teil des Fensters befindet sich das Bedienfeld. In etwa in der Mitte desselben befinden sich unter Werte löschen} die Knöpfe AMPLITUDEN und Phasen. Drücken Sie nacheinander auf jeden der beiden, wodurch alle Einträge für Amplituden bzw. Phasen gelöscht werden.

Links oberhalb dieser Knöpfe befindet sich ein Auswahlfeld, in dem die Basisfrequenz eingestellt werden kann. Im Moment ist hier 10 (Hz) ausgewählt. Da eine Schwingung mit einer Frequenz über $100 \cdot 10 \text{ Hz} = 1000 \text{ Hz}$ in der zu erstellenden Wellenform enthalten sein soll, muss diese Grundfrequenz geändert werden. Drücken Sie hierzu auf den Pfeil neben der 10 und anschließend auf 80, um 80 Hz als Basisfrequenz einzustellen. Anschließend tragen Sie eine Linie mit Höhe 100% bei 880 Hz ein.

Bevor Sie die zweite Schwingung hinzufügen, können Sie sich die Wellenform zunächst graphisch anzeigen lassen, indem Sie den Knopf ZEICHNEN in der Bedienleiste rechts oben drücken. Es öffnet sich ein neues Fenster, in dem die Wellenform gezeichnet wird. Die Breite dieses Fensters entspricht einer Periode der Basisschwingung (in diesem Fall also $1:80\text{Hz} = 0,0125\text{s}$). Schließen Sie das Fenster wieder mit dem entsprechenden Knopf.

Um diese Wellenform hören zu können, muss zuerst die entsprechende Datei berechnet werden. Der Pfad und Name dafür steht in Gelb auf Schwarz im oberen Texteingabefeld der Bedienleiste und endet im Moment mit WAV\TEST.WAV. Der vordere Teil ist das DiTON-Stammverzeichnis. Um diesen Pfad bzw. den Dateinamen zu ändern gibt es zwei Methoden: direkte Eingabe im Textfeld oder Auswahl von Pfad und Dateiname in einem Dialogfenster, dass mit dem Knopf rechts von diesem Textfeld aufgerufen wird.

Im Moment sollten Sie den Dateinamen so belassen wie er ist, damit sich nicht verschiedenste Übungsdateien auf Ihrer Festplatte ansammeln. (Die Datei TEST.WAV) ist zum üben und Experimentieren gedacht und kann, falls schon vorhanden, überschrieben werden.)

Drücken Sie nun auf den Knopf SPEICHERN oberhalb des Dateipfades, um die Wellenformdatei zu erzeugen. Nach relativ kurzer Zeit, wenn der Mauszeiger wieder als Pfeil dargestellt wird, können Sie auf ABSPIELEN drücken, um sich das Ergebnis Ihrer Arbeit anzuhören.

Es kann sein, dass Ihnen der Ton zu kurz oder zu lang war; ist dies der Fall, so ändern sie den Eintrag im Textfeld unterhalb des Dateipfades und drücken anschließend auf die RETURN-Taste. Die Länge der zu erstellenden Wellenform wird hier in Vielfachen der Dauer einer Periode der Basisschwingung angegeben; deren Frequenz ist im Moment auf 80 Hz eingestellt, also entspricht z.B. die Zahl 80 im Textfeld einer Dauer von einer Sekunde. Diese der eingegebenen Zahl entsprechende Zeit wird rechts davon angezeigt, sobald die RETURN--Taste gedrückt wurde. Falls Sie diese Zeitdauer geändert haben, überschreiben Sie die Datei durch erneuten Druck auf SPEICHERN und hören Sie sich das Ergebnis an.

Tragen Sie jetzt für die Schwingung mit 1760 Hz eine Amplitude von 50% ein. Betrachten Sie den Verlauf der Wellenform, überschreiben Sie die Datei TEST.WAV erneut und hören Sie sich das Ergebnis an

Ändern Sie nun die Phase der Schwingung mit 1760 Hz auf ungefähr 90° und lassen Sie sich die Wellenform anzeigen.

Drücken Sie nun auf den Knopf ANHÄNGEN. Die zu erzeugende Wellenform wird nicht wie beim normalen Abspeichern über die alte Datei geschrieben, sondern an deren Ende angehängt, so dass nun beim Abspielen die beiden Wellenformen nacheinander zu hören sind.

Vielleicht wundern Sie sich jetzt, warum Sie zwischen den beiden Teilen keinen Unterschied erkennen können. Die Tatsache, dass das Gehör die Phasenlage der Einzelschwingungen eines Klangs nicht wahrnimmt, ist auch als zweites Ohm'sches Gesetz bekannt. Auf eine genauere Erklärung wird an dieser Stelle bewusst verzichtet, da hierfür ein längerer Exkurs über die Physiologie des menschlichen Gehörs notwendig wäre.}. Die Demonstration dieses Effektes ist der Hauptgrund für die Möglichkeit, in diesem Programmteil Phasen eingeben zu können.

Die eingestellten Spektrendaten können zur späteren Wiederverwendung abgespeichert werden. Im Menü des Programms befinden sich alle hierfür notwendigen Optionen. Um Missverständnisse zu vermeiden: mit diesen Optionen werden nur die Spektrendaten geladen bzw. gespeichert. Ein „Spektrum“ im hier verwendeten Sinne bezieht sich auf einen Datensatz bestehend aus je hundert Werten für Amplituden und Phasen, sowie einem kurzen Beschreibungstext von maximal 40 Zeichen. Dieser kann in der gelben Textzeile im linken unteren Eck des Bedienfeldes eingegeben werden.

Die zu diesen Daten gehörende Wellenform wird mit Hilfe der bereits beschriebenen Knöpfe SPEICHERN oder ANHÄNGEN erzeugt und gespeichert. Speichern Sie nun die Spektrendaten mit Hilfe des Menüpunktes Speichern als ... mit dem Namen TEST ab (an den Namen wird automatisch die Kennung .DT2 angehängt, die die Datei als einen Datensatz für das Programm zur Additiven Synthese kennzeichnet).

Um sich während der Arbeit andere Spektrendaten ansehen zu können, müssen Sie nicht abspeichern, da dieser Programmteil gleichzeitig bis zu fünf verschiedene Datensätze im Speicher behalten kann. Das momentan sichtbare Spektrum lässt sich mit der Auswahlliste links oben im Bedienfeld einstellen.

Schalten Sie dort z.B. auf 2, so verschwindet das vorher eingegebene Spektrum und die gelbe Beschreibungszeile ist leer. Laden Sie in diesen zweiten Speicherplatz mit Hilfe der Option Laden} aus dem Programmmenü das Spektrum RECHTECK.DT2}. Schalten Sie nun zurück zum ersten Spektrum -- die von Ihnen eingegebenen Daten erscheinen wieder.

Zuletzt sollen die angezeigten Daten ausgedruckt werden. Wählen Sie hierzu einfach den Menüpunkt Drucken} aus und haben Sie etwas Geduld, während DiTON die Daten für die Ausgabe auf Ihrem Windows-Standarddrucker vorbereitet. Es werden auf eine Seite übereinander das Amplituden- und das Phasenspektrum sowie die Wellenformanzeige ausgegeben.

Verwendungsmöglichkeiten des Programms

Die Eigenschaft Klangfarbe könnte an Hand von Spektren verschiedener Klänge der gleichen musikalischen Tonhöhe, gespielt auf verschiedenen Instrumenten, dem Schüler mit physikalischen Begriffen erklärt werden.

Nun enthalten Spektren realer Instrumente selten nur die Frequenzen von Grundton und Obertönen. Solche synthetischen Klänge lassen sich mit diesem Programmteil erzeugen und an ihnen die grundlegenden Begriffe erklären. Danach kann dann zu den Spektren bei natürlicher Instrumente übergegangen und auf die neu hinzukommenden Anteile (Rauschen, schnell abfallende bzw. anders veränderliche Schwingungen etc.) eingegangen werden. In diesem Zusammenhang kann auch erklärt werden, warum elektronische Musikinstrumente oft „kalt“ und „leblo“ klingen im Vergleich zu klassischen Instrumenten.

Durch mehrere Experimente kann dem Schüler verdeutlicht werden, was die Eigenschaft Tonhöhe, die sein Gehör einem Klang zuordnet, physikalisch betrachtet ist und wie er sie aus einem Frequenzspektrum ermitteln kann. So ändert sich z.B. durch Weglassen der Grundschwingung eines Klangs zwar seine Klangfarbe, nicht aber die Tonhöhe, die man ihm zuordnet

Vor allem in älteren Synthesizern findet man das Prinzip der additiven Synthese wieder. Dieses Programm könnte also auch genutzt werden, um das grundlegende Prinzip eines solchen Musikinstrumentes zu erklären. Die weiter unten beschriebenen Programmteile für Filter und Frequenzmodulation können verwendet werden, um im Anschluss daran auch andere Prinzipien der elektronischen Klangerzeugung vorzustellen

4.4 Programmteil für Tonfolgen

Tutorial

Den Hauptteil des Fensters nimmt eine große hellgraue Fläche mit einem groben Raster aus Orientierungslinien ein. Hier wird ein Teil eines Zeit-Frequenz-Koordinatensystems angezeigt, in das verschiedene Klangereignisse eingetragen werden können. Welcher Ausschnitt gerade dargestellt wird, kann an den Achsenbeschriftungen links und unterhalb des hellgrauen Bereichs abgelesen werden.

Sowohl der Frequenz- wie auch der Zeitausschnitt lassen sich mit einem Rollbalken rechts bzw. oberhalb der Tonrolle einstellen. Der Vergrößerungsfaktor in Y-Richtung lässt sich mit den Knöpfen + und - erhöhen bzw. erniedrigen.

Im Folgenden sollen die einzelnen Bearbeitungsmodi erklärt werden, die im linken Teil des Bedienfeldes eingestellt werden können. Im Augenblick ist das Programm im Modus Neu, d.h. es können neue Klangereignisse in die Tonrolle eingetragen werden. Bewegen Sie zunächst den

Mauszeiger über den hellgrauen Bereich und beobachten Sie die Textfelder rechts der Auswahlknöpfe für den Bearbeitungsmodus. Hier wird die Position des Mauszeigers angezeigt.

Es soll nun ein Ton mit Frequenz 440 Hz eingetragen werden, der zur Zeit $t=0s$ beginnt. (Der zeitlich erste Klang in einer mit diesem Programm erstellten Wellenform sollte immer den Startpunkt $0s$ haben. Die Gründe hierzu werden später erklärt.). Bewegen Sie dazu den Mauszeiger ungefähr an die entsprechende Position und drücken Sie die linke Maustaste (eventuell müssen Sie dazu erst den angezeigten Ausschnitt wieder verändern, indem Sie die Rollbalken nach ganz links bzw. unten schieben und die Vergrößerung der Frequenzachse passend wählen).

Es erscheint ein Fenster, in dem alle Daten für das Klangereignis eingegeben werden können: In den ersten beiden Zeilen trägt das Programm automatisch die Position des Mauszeigers ein; sollten Sie jedoch die gewünschte Stelle nicht genau getroffen haben, so können Sie die Einstellungen jetzt in den entsprechenden Textfeldern korrigieren. Tragen Sie bei Dauer etwas mehr ein (z.B. 250ms), damit die Wellenform nicht zu kurz wird, und schließen Sie das Fenster mit dem OK.

Auf der Tonrolle sehen Sie nun einen Schwarzen Punkt mit einer grünen Linie. Der Punkt ist die Stelle, auf die in anderen Bearbeitungsmodi geklickt werden muss, um das zugehörige Klangereignis zu bearbeiten (neudeutsch: Hotspot) oder zu löschen. Die Linie symbolisiert Dauer und Frequenzverlauf sowie die Schwingungsform des Klangs.

Bevor jedoch auf diese unterschiedlichen Einstellungsmöglichkeiten eingegangen wird, soll kurz beschrieben werden, wie eine Wellenformdatei erzeugt werden kann: In der Bedienleiste rechts oben befindet sich ein Textfeld mit dem Pfad für die zu bearbeitende Datei. Dieser kann entweder durch Direkteingabe oder in einem Dateialog, der mit dem Knopf rechts von dieser Textzeile aufgerufen wird, geändert werden. Im Moment ist hier die Datei TEST.WAV eingestellt. Um durch Ihre Übungen nicht ihre Festplatte mit unnötigen Dateien zu füllen, sollten Sie diese Einstellung beibehalten.

Durch Druck auf SPEICHERN wird die Wellenform neu geschrieben, während sie mit ANHÄNGEN an die angegebene Datei angeknüpft wird. Nach der Berechnung kann das Ergebnis durch Druck auf ABSPIELEN angehört werden.

Schalten Sie jetzt den Modus um auf BEARBEITEN und klicken Sie dann auf den schwarzen Anfangspunkt des Klangereignisses. Es erscheint wieder das Fenster mit den Klangeinstellungen, das jetzt genauer erklärt werden soll: In den ersten beiden Textzeilen können die Startwerte wie bereits beschrieben eingestellt werden. Sie können die Startfrequenz dabei sowohl als Zahlenwert wie auch als Musiknote eingeben. Die einzelnen Noten werden dabei durch den entsprechenden Buchstaben (C, D, E, F, G, A, H) gefolgt von einer Zahl, die die Oktave angibt, repräsentiert. So entspricht z.B. das eingestrichene A (440Hz) der Bezeichnung A1, während die zu A0 und A-1 gehörenden Noten eine bzw. zwei Oktaven tiefer liegen. Die noch fehlenden Halbtöne werden durch ein # bzw. durch ein b zwischen Tonbuchstabe und Oktavennummer gekennzeichnet (z.B. F#2). DiTON wählt die zu den Noten gehörenden Frequenzen nach der gleichmäßig temperierten chromatischen Tonleiter aus, d.h. das Frequenzverhältnis zwischen zwei benachbarten Halbtönen ist immer die 12. Wurzel aus 2. Es besteht also wie auf einer Klaviertastatur z.B. kein Unterschied zwischen F# und Gb. für das zweigestrichene Fis oder Hb1 für das eingestrichene B. Ein abschließendes Betätigen der RETURN-Taste sorgt dafür, dass die entsprechende Frequenz berechnet und angezeigt wird.

Der Wert neben AMPLITUDE dient der Lautstärkesteuerung. Er hat allerdings nur eine Wirkung, wenn mehrere Klangereignisse eingegeben werden, da er lediglich deren Amplituden relativ zueinander steuert.

Links unten im Einstellungsfenster befinden sich zwei Gruppen von Auswahlknöpfen; in der oberen kann der Tonhöhenverlauf des Klangereignisses gewählt werden, wobei die folgenden Typen angeboten werden:

- Konstant: Die Frequenz ändert sich nicht (Voreinstellung).
- Linear: Die Frequenz des Klangs ändert sich während seiner Dauer linear um einen bestimmten Wert (dieser darf auch negativ sein), der in einem zusätzlichen Textfeld eingegeben werden kann.
- Exponentiell: Auch hier kann eine Frequenzdifferenz eingegeben werden; allerdings bleibt in diesem Fall die Änderungsrate nicht konstant. Dieser Frequenzverlauf ist dem menschlichen Gehör besser angepasst, da dieses die Tonhöhe logarithmisch wahrnimmt. Durch einen exponentiellen Verlauf bewegt sich die Tonhöhe mit gleichbleibender „Geschwindigkeit“ durch eine Notenskala.
- Schwingung: In diesem Fall folgt die Frequenz dem Verlauf einer Sinusschwingung, wobei sowohl Amplitude, sowie Frequenz dieser Sinusschwingung eingegeben werden können.

Die Änderungen werden durch Druck auf OK übernommen.

Bevor Sie mit dem Lesen fortfahren, probieren Sie ruhig einmal verschiedene Einstellungen aus, beachten Sie die Änderung der grafischen Darstellung des Klangs und schreiben Sie die Wellenformdatei neu, um sich das akustische Ergebnis anzuhören.

Die zweite Gruppe von Auswahlknöpfen dient der Einstellung der Schwingungsform. Auf der Tonrolle werden verschiedene Schwingungsformen durch unterschiedliche Farben gekennzeichnet: grün für Sinus, gelb für Dreieck, blau für Rechteck, rot für Sägezahn und schwarz für Rauschen. Eine entsprechende Farblegende kann mit dem Knopf LEGENDE im Hauptfenster links der Tonrolle ein- und ausgeblendet werden. Experimentieren Sie auch mit diesen Einstellungen herum und hören Sie sich die verschiedenen Schwingungsformen einmal an.

Rechts oben im Einstellungsfenster befindet sich die Anzeige für die Nummer des momentan zu bearbeitenden Klangereignisses. Diese kann entweder durch Direkteingabe oder durch Blättern mit den Pfeiltasten geändert werden. Hierbei muss bemerkt werden, dass ein Wechsel zu einer anderen Nummer den selben Effekt hat wie das Drücken von OK (die Einstellungen für den angezeigten Klang werden übernommen).

Daraus ergibt sich eine zweite Möglichkeit, neue Klänge einzugeben. Schalten Sie mit dem Pfeil nach oben weiter auf Klang Nummer 2 und geben Sie diesem die gleichen Werte für Beginn (0 ms), Frequenz (440 Hz) und Dauer (250 ms), jedoch einen anderen Frequenzverlauf als dem Ersten. Nach Schließen des Fensters mit OK sehen Sie nun zwei unterschiedliche Kurven und können sich das Ergebnis nach erneutem Überschreiben der Wellenformdatei anhören.

Vor allem, wenn man eine größere Anzahl von Klangereignissen für die Erzeugung einer Wellenform eingeben muss, ist es praktisch, diese Einstellungen abspeichern zu können. Im Menü des Programms für Tonfolgen gibt es hierfür die notwendigen Einträge.

Es muss klar unterschieden werden zwischen einer Wellenformdatei und der Datei mit den Daten der Klangereignisse (sie erhält die Endung .DT3). Erstere enthält alle Daten für das Abspielen einer Wellenform, während Letztere lediglich Positionen und Einstellungen für die Klangereignisse beinhaltet, die für die Berechnung einer Wellenformdatei benötigt werden.

Zum Abschluss noch die Beschreibung der verbliebenen Bearbeitungsmodi VERSCHIEBEN und LÖSCHEN. Beim Verschieben wird durch einen Linksklick auf den Anfangspunkt eines Klangs dieser aufgenommen und kann dann mit der Maus bewegt und durch einen zweiten Linksklick an anderer Stelle abgelegt werden. Mit einem Rechtsklick während dieser Bewegung wird der Klang an die alte Position zurückversetzt.

Im Modus LÖSCHEN kann ein Klangereignis durch einen Linksklick auf seinen Anfangspunkt gelöscht werden. Wenn Sie alle Klangereignisse auf einmal löschen wollen, dann benutzen Sie hierzu den Knopf ALLES.

Verwendungsmöglichkeiten des Programms

Verschiedene Versuche, mit denen Eigenschaften des menschlichen Gehörs erklärt werden können, lassen sich relativ einfach mit dem Programmteil für Tonfolgen zusammensetzen. Es könnte z.B. untersucht werden, wie groß der Frequenzabstand zwischen zwei aufeinanderfolgenden Tönen sein muss, damit sie ein Zuhörer als unterschiedlich erkennt. Im Anschluss daran wären Versuche mit zwei gleichzeitig abgespielten Tönen unterschiedlicher Frequenz denkbar, bei denen ähnliche Untersuchungen durchgeführt werden.

Anhand dieser Versuche und mit Experimenten zur Lautstärkeempfindlichkeit des Ohrs könnte dem Schüler klar gemacht werden, wie leistungsfähig dieses Sinnesorgan im Vergleich zu künstlichen Messgeräten ist

Ähnlich den optischen Täuschungen gibt es auch einige Experimente, mit denen das Ohr hinter Licht (oder besser: hinter den Schall) geführt werden kann. Eine Möglichkeit sind z.B. Differenztöne: Kombiniert man zwei Töne mit unterschiedlichen Frequenzen und hoher Intensität, so werden vom Gehör zusätzliche Töne wahrgenommen, die aber nicht in der Gesamtschwingung enthalten sind. Der am deutlichsten hörbare zusätzliche Ton ist dabei der sogenannte quadratische Differenzton mit der Frequenz $f_2 - f_1$.

Dieses Phänomen wird z.B. von Orgelbauern benutzt, um durch Kombination von zwei hohen Pfeifen den Höreindruck eines tiefen Tons zu erzeugen. Auf diese Weise kann bei mangelnden Platz eine Basspfeife eingespart werden

Für den Musikunterricht könnten Klangexperimente erstellt werden, mit denen beispielsweise verschiedene Klavierstimmungen vorgeführt werden könnten. In ähnlicher Weise könnte auf den Unterschied zwischen harmonischer und chromatischer Tonleiter eingegangen werden.

Es können relativ einfach Wellenformen berechnet werden, die verschiedene Akkorde enthalten, welche nur aus Klängen mit Sinusschwingungen zusammengesetzt sind. Diese könnten dann zur Einführung in Theorien zu Konsonanz und Dissonanz genutzt werden (ob man diese nun für vernünftig hält, oder nicht).

Nachdem der Dopplereffekt physikalisch wie mathematisch erklärt wurde, könnte hierzu ein Experiment in Zusammenarbeit mit Schülern erstellt werden, in dem eine nach der Theorie berechnete Wellenform und der Höreindruck, den eine bewegte Schallquelle verursacht, verglichen werden.

4.5 Programmteil für Frequenzmodulation

Tutorial

Starten Sie das Programm; das Fenster besteht aus einer Bedienleiste in der oberen Hälfte und einem Darstellungsfenster für die Wellenform darunter. Zunächst sollen das Darstellungsfenster und seine Einstellungsmöglichkeiten erklärt werden:

In ihm wird die Wellenform, die das Ergebnis der Frequenzmodulation ist, grafisch dargestellt. Rechts oben in der Bedienleiste befinden sich drei orange Textfelder. Im ersten (unter Start) kann die Zeit in Sekunden eingegeben werden, die dem linken Rand des Darstellungsfensters entspricht. Mit den Pfeiltasten rechts davon wird der dargestellte Ausschnitt um eine Fensterbreite nach links bzw. rechts verschoben. Die Zeit, die einer Fensterbreite entspricht wird, im nächsten Textfeld mit dem Vergrößerungsfaktor für die Zeitachse eingestellt. Bei einem Faktor von 1 entspricht die Breite des Fensters einer Sekunde. Da die Vergrößerung im Moment auf 100 eingestellt ist, entspricht sie (und damit die Zeit, um die nach links oder rechts geblättert wird) im Moment einer hundertstel Sekunde. Stellen Sie in den beiden beschriebenen Textfeldern einmal verschiedene Werte ein, um sich mit deren Wirkung etwas vertraut zu machen. Neue Eingaben werden erst dann für die Zeichnung berücksichtigt, wenn die RETURN-Taste gedrückt wird.

Da das Programm nicht den genauen Kurvenverlauf, sondern nur Werte zu diskreten Zeitpunkten berechnet und diese durch Linien verbindet, kann die Darstellung in manchen Fällen fehlerhaft werden. Die im Augenblick dargestellte Wellenform ist eine reine Sinusschwingung mit 100 Hz und konstanter Amplitude. Geben Sie nun für die Vergrößerung der Zeitachse den Wert 0,33 ein. Die Wellenform scheint plötzlich keine konstante Amplitude mehr zu besitzen, obwohl an den Einstellungen der Schwingung selbst nichts geändert wurde. Dieser Fehler kann ausgeglichen werden, indem die Anzahl der Zeitpunkte, für die Werte berechnet werden erhöht wird. Dies geschieht durch Eingabe einer größeren Zahl im Textfeld unter Berechnungsdichte. Höhere Werte machen die Darstellung zwar genauer, aber auch langsamer, weswegen diese Zahl nur falls notwendig erhöht werden sollte. Es sind an dieser Stelle auch Werte <1 erlaubt, um die Zeichengeschwindigkeit zu verbessern.

Um Tipparbeit zu sparen, können mit den Pfeilkнопfen rechts der Textfelder für Vergrößerung und Berechnungsdichte die entsprechenden Werte verdoppelt bzw. halbiert werden.

Wählen Sie nun im Menü des Programms den Punkt NEU, um alle Einstellungen zurückzusetzen.

Mit den Textfeldern in der linken Hälfte der Bedienleiste können die Werte von insgesamt vier Oszillatoren gesteuert werden. Dabei wird die Frequenz von Modulator 2 durch die Schwingung von Modulator 3 moduliert. Die resultierende Schwingung wird verwendet, um den 1. Modulator zu beeinflussen und das Resultat wiederum zur Modulation des Trägeroszillators benutzt. Die entstehende Schwingung des Trägers wird schließlich zur Berechnung der Wellenformdatei verwendet. Dieses Prinzip der Klangerzeugung wird bei elektronischen Musikinstrumenten benutzt, um mit wenigen Parametern eine große Fülle an Schwingungsformen zu erzeugen.

Geben Sie nun im Textfeld für die Frequenz des Trägers 220 Hz gefolgt von RETURN ein. Um die so definierte Wellenform hören zu können, muss zunächst die zugehörige Datei erzeugt werden. Die hierfür erforderlichen Elemente befinden sich rechts unten in der Bedienleiste: In einer Textzeile stehen Pfad und Name der zu erstellenden Datei. Diese können durch Aufruf eines Dateidialoges mit dem unbeschrifteten Knopf rechts des Textfeldes oder durch Direkteingabe verändert werden. Im Moment sollten Sie die Einstellung allerdings beibehalten. Durch Druck auf SPEICHERN wird die Datei erzeugt. Danach kann das Ergebnis mit Hilfe von ABSPIELEN angehört werden. Mit dem Knopf ANHÄNGEN schließlich wird die berechnete Wellenform an eine bereits existierende Datei angehängt werden.

Die Länge der zu erzeugenden bzw. anzuhängenden Wellenform kann in Vielfachen einer Sekunde im Textfeld unter dem Dateipfad eingegeben werden. Jetzt soll die Frequenz des Trägers durch eine langsame Schwingung (1 Hz) stark moduliert werden (210Hz nach oben und unten). Stellen Sie zunächst für die Darstellung im Wellenformfenster eine Vergrößerung von 2 und eine Berechnungsdichte von mindestens 8 ein. Danach geben Sie für Modulator 1 eine Frequenz von 1

Hz und eine Amplitude von 210 Hz ein (diese Amplitude heißt auch Modulationstiefe, weil sie angibt, um wieviel Hz die Frequenz des Trägers maximal geändert wird) und drücken RETURN.

Im Darstellungsfenster ist deutlich zu sehen, wie sich die Frequenz des Trägers mit der Zeit verändert. Um das Ergebnis auch zu hören, schreiben Sie die Wellenformdatei neu und benutzen Sie danach den Knopf ABSPIELEN.

Damit die momentanen Einstellungen nicht verlorengehen wählen Sie im Menu den Punkt Speichern als ..., um sowohl die Einstellungen für die vier Oszillatoren als auch die Darstellungsparameter in einer kleinen Datei zu sichern. Geben Sie dabei als Name TEST ein; DiTON hängt automatisch die Kennung .DT1} an, die die Datei als einen Datensatz für diesen Programmteil kennzeichnet.

Ein weiterer Menüpunkt ist Drucken. Durch dessen Auswahl werden auf dem in Windows eingestellten Standarddrucker der momentan gewählte Ausschnitt aus der Wellenform des Trägers und die Einstellungen des Programms ausgegeben.

Der eigentliche Zweck des Programms für Frequenzmodulation ist die Erstellung neuer Schwingungsformen. Diese entstehen, wenn die Frequenz von Modulator und Träger die gleiche Größenordnung haben. Setzen Sie mit dem Menüpunkt NEU alle Einstellungen zurück und geben Sie dann für den Träger 440 Hz bzw. für den ersten Modulator eine Frequenz von ebenfalls 440 Hz und eine Modulationstiefe (Amplitude) von z.B. 200 Hz ein und drücken Sie abschließend auf RETURN.

Die Schwingung ist nicht mehr sinusförmig und die entsprechende Wellenform klingt auch anders (zuerst neu abspeichern, dann anhören). Ändern Sie nun die Frequenz von Modulator 1 auf z.B. 520 Hz, so ändert sich auch die Schwingungsform. Spielen Sie ruhig etwas mit den Werten dieses Oszillators herum und schauen Sie, was passiert.

Es ist möglich, eine Modulationstiefe einzustellen, die größer ist als die Frequenz des Trägers. Dies ist zwar eigentlich nicht sinnvoll (die Frequenz des Trägers nimmt dabei negative Werte an), jedoch mathematisch durchführbar. Es mag Anwendungsgebiete hierfür geben, weswegen eine solche Einstellung nicht vom Programm verhindert wird.

Die Schwingungsform kann noch „interessanter“ gemacht werden, indem nun Modulator 1 seinerseits moduliert wird. Zunächst soll nur der Kurvenverlauf des ersten Modulators betrachtet werden. Neben den Textfeldern befinden sich Schalter, mit denen das Zeichnen der Kurven zu den einzelnen Oszillatoren ein- und ausgeschaltet werden kann. Schalten Sie nun diese Option für den Träger aus und für Modulator 1 an. Die grüne Kurve verschwindet und wird durch eine hellblaue ersetzt (hierbei sei bemerkt, dass alle Kurven immer so dargestellt werden, dass sie die volle Höhe des Darstellungsfensters gerade ausnutzen).

Setzen Sie für den zweiten Modulator die Frequenz auf z.B. 3000 Hz und die Amplitude auf 500 Hz, sowie für Modulator 1 wieder auf 520 Hz und etwa 200 Hz. Die Form der dargestellten Kurve ändert sich. Um nun zu sehen, wie sich diese nicht mehr sinusförmige Kurve als Modulator auswirkt, schalten Sie das Zeichnen für die Trägerkurve wieder ein. Vergleichen Sie deren Verlauf jetzt mit dem Verlauf ohne den zweiten Modulator (indem Sie seine Amplitude wieder auf Null setzen).

Beziehen Sie als nächstes auch noch den dritten Modulator mit in Ihre Experimente ein und spielen Sie ruhig ausgiebig mit den Einstellungen herum, um etwas Gefühl für deren Wirkung zu bekommen.

Für Experimente im Bereich der Musik kann es sinnvoll sein, als Frequenzen für die einzelnen Operatoren die Frequenzen verschiedener Musiknoten eingeben zu können. Anstatt diese mühsam

zu berechnen, können Sie sich diese Arbeit von DiTON abnehmen lassen; lesen Sie hierzu bitte den entsprechenden Teil aus dem Tutorial des Tonfolgenprogramms.

Neben den Schaltern für das Zeichnen der einzelnen Kurven befindet sich der Knopf KOPIE. Ein Druck darauf wandelt alle Einstellungen des Programms in einen kleinen Text um. In den DiTON Notizen kann dieser Text dann mit Hilfe einer der Knöpfe -> in das zugehörige Textfeld kopiert werden (siehe auch die Beschreibung des Programmteils für Notizen).

Verwendungsmöglichkeiten des Programms

Auch heute noch ist das Prinzip der mehrstufigen Frequenzmodulation (FM) recht häufig in digitalen Musikinstrumenten wiederzufinden. Speziell die Synthesizer der Firma YAMAHA (DX-7, DX-7II und heute SY-99) beinhalten oft diese Art der Klangerzeugung. Die heute gängigen Soundkarten verfügen meist neben einem Teil zum Abspielen und Aufnehmen von Wellenformen ebenfalls über einen kleinen FM--Synthesizer, der vor allem bei Spielen für die Erzeugung der Hintergrundmusik genutzt wird. Von dieser Tatsache ausgehend könnten mit diesem Programm eine Reihe von Wellenformen erstellt werden, an Hand derer dieses Syntheseverfahren in seinen Grundzügen erklärt werden könnte.

Programmteil für Analyse und Filter

Tutorial

Starten Sie das Programm durch Klick auf den entsprechenden Knopf in der Bedienleiste des Entwicklungsprogramms.

Ohne eine Wellenform können auch keine Bearbeitungsfunktionen angewandt oder erklärt werden; also ist der erste Schritt das Laden einer entsprechenden Datei. Links oben in der Bedienleiste befindet sich ein Textfeld, in dem angezeigt wird, welche Wellenformdatei gerade bearbeitet wird. Im Moment steht hier noch „Keine Daten geladen“. Darunter befinden sich die Knöpfe LADEN und SPEICHERN, mit denen eine Wellenform geladen bzw. die Änderungen nach der Bearbeitung abgespeichert werden können. Drücken Sie nun auf LADEN und wählen Sie die Datei HALLO.WAV aus. In der Textzeile steht nun der entsprechende Pfad und Dateiname. Sie können sich die Wellenform anhören, indem Sie auf ABSPIELEN rechts unterhalb dieses Dateipfades drücken (zum Knopf darunter kommen wir später).

Sicher ist Ihnen bereits aufgefallen, dass das hellgrüne Fenster unterhalb der Bedienleiste sein Aussehen verändert hat. Dies ist das sogenannte Wellenformfenster, da hier der zeitliche Verlauf des Samples dargestellt wird. Links unterhalb dieses Fensters stehen die Randdaten des momentan dargestellten Ausschnittes der Wellenform. An dieser Stelle kann abgelesen werden, welche Zeit dem linken bzw. rechten Rand des Wellenformfensters entspricht. Da die Datei gerade erst geladen wurde, sind dies die Zeitpunkte 0 ms und der Endzeitpunkt des Samples (in diesem Fall 414,51 ms).

Bewegen Sie nun den Mauszeiger über das Wellenformfenster; es werden darunter ständig die Mauszeigerkoordinaten angezeigt. Um nun einen Teil der Wellenform vergrößert darzustellen, drücken Sie an beliebiger Stelle im Wellenformfenster die linke Maustaste und ziehen den Mauszeiger bei gedrückter Taste über das Fenster. Der überstrichene Bereich wird hervorgehoben und beim Loslassen der Maustaste so vergrößert. Wiederholen Sie diesen Prozess wenn Sie noch mehr Details erkennen wollen.

Mit den Knöpfen < und > kann der momentan angezeigte Ausschnitt nach links oder rechts verschoben werden; seine Länge bleibt dabei gleich. Beobachten Sie dabei die Ausschnittsanzeige links unterhalb des Fensters. Drücken Sie nun einmal auf den Knopf **BLOCK ABSPIELEN** im Bedienfeld. Es wird nur der momentan angezeigte Teil der Wellenform abgespielt. (Für die Ausführung dieser Funktion erstellt DiTON eine temporäre Datei, haben Sie also eventuell etwas Geduld.) Mit **ABSPIELEN** dagegen wird immer die vollständige Wellenform wiedergegeben.

Um diese auch wieder vollständig angezeigt zu bekommen, drücken Sie auf den Knopf **KOMPLETT**.

Wenn Sie auf **DRUCKEN** drücken, wird der Inhalt des Wellenformfensters mit einem Koordinatensystem versehen auf dem für Windows eingestellten Standarddrucker ausgegeben. Solche Ausdrücke könnten im einen oder anderen Fall im Unterricht Verwendung als Teil eines Arbeitsblattes finden.

Unter dem Darstellungsbereich für die Wellenform befindet sich ein weiteres, hellblaues Fenster, das zur Anzeige von Frequenzspektren dient. Hier entspricht die X-Achse der Frequenz und die Y-Achse der relativen Amplitude der einzelnen Schwingungen. Damit an dieser Stelle etwas zu sehen ist, muss zunächst ein Spektrum berechnet werden. Unter den Abspielknöpfen befinden sich unter **Frequenzanalyse** zwei weitere Knöpfe, mit denen die Berechnung von Spektren gestartet werden kann. Drücken Sie nun auf **EINFACH** und haben Sie etwas Geduld; das Programm berechnet ein Frequenzspektrum für den Zeitpunkt, der dem linken Rand des Wellenformfensters entspricht. Dies ist nur die halbe Wahrheit! Für eine Frequenzanalyse ist immer ein Zeitabschnitt notwendig. Dieser besteht hier aus 4096 Werten und beginnt mit dem rechten Rand des Wellenformfensters.

Nach einiger Zeit wird das berechnete Spektrum in Form von senkrechten, dunkelblauen Linien angezeigt. Jede dieser Linien entspricht einer Schwingung mit einer bestimmten Frequenz und relativen Amplitude. Wird der Mauszeiger über dieses Fenster bewegt, so werden seine momentanen Koordinaten darunter angezeigt. Die Amplitudenposition wird dabei in Prozent der höchsten im Spektrum vorkommenden Linie angegeben. Versuchen Sie nun einige Linien zu vermessen; um möglichst genaue Werte zu erhalten, sollten Sie den Bereich, der Sie interessiert, herausvergrößern. Dies geschieht auf die gleiche Weise wie im Wellenformfenster durch Ziehen der Maus bei gedrückter linker Taste. Damit wieder das ganze Spektrum zu sehen ist, drücken Sie auf **KOMPLETT** rechts unterhalb des Fensters.

Um auch kleinere Linien noch erkennen und vermessen zu können, ist es möglich, im Textfeld neben **Vergr.-Y** einen Faktor >1 einzugeben, wobei erst nach Drücken der **RETURN**-Taste das Spektrum neu gezeichnet wird. Eine andere Art, im Spektrenfenster für mehr Übersicht zu sorgen, ist das Ausschalten des Wellenformfensters. Drücken Sie hierzu auf den Schalter unter „Fenster an/aus“ in der linken Hälfte der Bedienleiste. Das Wellenformfenster verschwindet und die freiwerdende Fläche wird benutzt, um das Spektrenfenster größer darzustellen. Mit **DRUCKEN** kann der momentan angezeigte Teil des Spektrums schließlich auf ihrem Drucker ausgegeben werden.

Schalten Sie nun das Wellenformfenster mit dem entsprechenden Schalter wieder an. Links von diesem Schalter befinden sich zwei weitere, mit denen das Zeichnen von Linien in den beiden Fenstern gesteuert wird. Standardmäßig werden die einzelnen Punkte einer Wellenform durch Linien verbunden bzw. in einem Spektrum senkrechte Linien gezeichnet. Durch das Abschalten dieser Optionen erreicht man im ersten Fall, dass nur noch die einzelnen Abtastpunkte eingezeichnet werden (um dies erkennen zu können müssen Sie eventuell erst noch einen kleinen Teil der Wellenform herausvergrößern). Im zweiten Fall werden nur noch die Spitzen der Linien eingezeichnet, was allerdings nur in seltenen Fällen sinnvoll ist. Das Abschalten der Option **Linien**

macht für das Spektrenfenster meist nur dann Sinn, wenn dort gerade ein Mehrfachspektrum dargestellt wird.

Ein solches Spektrum soll im folgenden berechnet werden. Sorgen Sie zunächst dafür, dass im Wellenformfenster die komplette Wellenform zu sehen ist und benutzen Sie dann den Knopf ZEHNFACH unterhalb des Knopfes für die oben schon beschriebene Einfachanalyse. Das Programm unterteilt die Wellenform nun zunächst in zehn gleich grosse Zeitabschnitte und führt dann zu Beginn jedes dieser Abschnitte eine Frequenzanalyse durch. Dieser Vorgang nimmt auch mit einem schnellen Rechner etwas Zeit in Anspruch (beobachten Sie die Informationszeile links unten in der Bedienleiste).

Die so erhaltenen zehn Spektren werden im Spektrenfenster voreinander aufgetragen, so dass in dem nun dreidimensionalen Koordinatensystem die Zeit von vorne nach hinten und Frequenz bzw. relative Amplitude wie oben beschrieben verlaufen. Auch hier kann wie bei einem Einzelspektrum ein Ausschnitt vergrößert dargestellt bzw. der Vergrößerungsfaktor für die Linienhöhen eingegeben werden (stellen Sie hier zunächst wieder 1 ein, falls dies nicht schon der Fall ist).

Anhand eines solchen Spektrums kann man den zeitlichen Amplitudenverlauf der einzelnen Schwingungen zu verschiedenen Frequenzen verfolgen. Bei der momentan eingestellten perspektivischen Darstellung ist jedoch nur schwer zu erkennen, welche Linien in den einzelnen Spektren zueinander gehören. Unterhalb des Spektrenfensters ist hierfür ein neuer Schalter aufgetaucht, mit dessen Hilfe die perspektivische Verschiebung der Einzelspektren ein- und ausgeschaltet werden kann. Probieren Sie dies einmal durch Druck auf PERSP. aus.

Neben diesem Schalter befindet sich ein weiterer, der dafür sorgt, dass die zu einer Frequenz gehörenden Amplitudenwerte aus den zehn Spektren addiert und in einem Einzelspektrum dargestellt werden. So kann ansatzweise untersucht werden, wie stark die Schwingungen zu verschiedenen Frequenzen im zeitlichen Mittel in einem Klangereignis enthalten sind. Die Anzeige für die Mauszeigerposition ist im Falle eines Zehnfachspektrums deaktiviert. Schalten Sie nun den Summschalter wieder aus und betrachten Sie das Spektrum sowohl mit ein- wie auch mit ausgeschalteter Option für das Zeichnen von Linien. Im ersten Fall werden die Balken des Spektrums ausgefüllt und im zweiten nicht. Während dies bei der Bildschirmdarstellung eine Frage des Geschmacks ist, sorgt das Abschalten vor dem Ausdrucken für bessere Übersicht und spart nebenbei auch Druckerfarbe. Machen Sie ruhig einmal einen Probeausdruck und betrachten Sie das Ergebnis. Das Spektrum wird zur besseren Übersicht in diesem Fall seitenfüllend gedruckt und mit zusätzlichen Informationen über die Zeitpunkte der Analysen versehen.

Falls Sie mit dem Ergebnis nicht ganz zufrieden sind, versuchen Sie es mit einer anderen Vergrößerung in Y-Richtung. Im folgenden sollen verschiedene Änderungen an der Wellenform vorgenommen werden. Alle hierfür benötigten Bedienelemente befinden sich in der rechten Hälfte der Bedienleiste. (Diese Veränderungen werden nicht an der Originaldatei, sondern an einer Arbeitskopie durchgeführt. Sie brauchen also keine Angst haben, Fehler zu machen, da das Sample jederzeit wieder neu geladen werden kann.)

Ganz oben steht in einem Textfeld die Samplingfrequenz der Wellenform (im Moment 22050 Hz). Sie gibt an, wie schnell die gespeicherten Werte ausgelesen werden. Geben Sie hier nun 11025 Hz ein. Die Schrift wird grün, was darauf hinweisen soll, dass die Änderung im Sample noch nicht vorgenommen wurde. Um dies zu tun, drücken Sie bitte auf ÄNDERN. Hören Sie sich nun das gesamte Sample einmal an. Das Ergebnis klingt wie eine zu langsam abgespielte Schallplatte (das „Hallo“ liegt nun eine Oktave tiefer). Indem Sie für die Samplingfrequenz Werte deutlich über 22050 Hz eingeben können Sie recht schnell den aufgenommenen Sprecher in Mickey Mouse verwandeln. Probieren Sie ruhig verschiedene Werte aus, bevor Sie weiterlesen.

Sorgen Sie als nächstes dafür, dass nur ein Teil der Wellenform angezeigt wird. Dieser Teil soll jetzt leiser abgespielt werden als der Rest. Neben dem Knopf SENKEN befindet sich ein Textfeld, in dem Sie angeben können, auf welchen Prozentsatz ihres Momentanwertes die Amplitude der Schwingung im gerade angezeigten Bereich gesetzt werden soll. Durch Druck auf SENKEN wird die Änderung vorgenommen. Hören Sie sich das Ergebnis an und spielen Sie ruhig mit verschiedenen Werten und Ausschnitten der Wellenform herum. Sie könnten z.B. versuchen das „a“ aus „Hallo“ stumm zu schalten, indem Sie zunächst den entsprechenden Ausschnitt suchen (mit Hilfe von BLOCK ABSPIELEN) und dann dort die Amplitude auf Null setzen.

Mit dem Knopf SPIEGELN wird der momentan angezeigte Bereich zeitlich umgekehrt und damit beim Abspielen rückwärts wiedergegeben. Probieren Sie dies einmal mit der gesamten Wellenform aus. Das Ergebnis klingt wie eine rückwärts abgespielte Schallplatte.

Laden Sie nun die Datei UEB01.WAV, betrachten Sie die Wellenform und hören Sie sich diese an. Es fällt Ihnen sicher einiges auf, was daran zu verbessern wäre: Es wird nicht der zur Verfügung stehende Dynamikbereich ausgenutzt (die Wellenform ist leiser, als sie sein müsste); das Sample enthält viel unnötigen Leerraum und der Akkord (C-Dur) beginnt und endet sehr plötzlich.

Als erstes soll nun die Amplitude der Wellenform optimiert werden. Da nur der mittlere Teil mit dem Akkord interessant ist und um Rechenzeit zu sparen, sollten Sie zunächst nur diesen Teil der Wellenform herausvergrößern. Anschließend drücken Sie auf den Knopf OPTIMIEREN. In zwei aufeinander folgenden Rechengängen bestimmt das Programm nun zunächst den notwendigen Faktor, mit dem alle Werte des dargestellten Bereichs multipliziert werden müssen, um den Dynamikbereich voll auszunutzen und nimmt im zweiten Schritt die Änderungen vor.

Neben der einheitlichen Verkleinerung der Amplitude im angezeigten Bereich besitzt das Programm auch die Möglichkeit, für die Amplitude einen linearen Verlauf zu erzeugen. Es soll jetzt dafür gesorgt werden, dass der Akkord nicht so abrupt beginnt und endet. Vergrößern Sie den Anfang des Akkordes heraus, (ca. 80 ms Zeitdauer) stellen Sie neben VERLAUF im linken Textfeld 0% und im rechten 100% ein und drücken Sie diesen Knopf. Nachdem Sie sich das Zwischenergebnis angehört haben, sorgen Sie dafür, dass im Wellenformfenster in etwa die letzten 80 ms des Akkordes zu sehen sind, und wiederholen Sie die Prozedur, stellen Sie jedoch in diesem Fall einen Verlauf von 100% bis 0% ein, da hier aus- und nicht eingeblendet werden soll.

Im nächsten Schritt sollen die unnötigen Teile aus dem Sample entfernt werden. Sorgen Sie dafür, dass der Teil vor dem Akkord, in dem nichts geschieht, im Wellenformfenster zu sehen ist. Durch Druck auf LÖSCHEN wird dieser aus der Wellenformdatei entfernt und anschließend die gesamte verbleibende Wellenform angezeigt. Das Löschen des angezeigten Bereichs ist eine von zwei Methoden, um ein Sample zurechtzuschneiden; bei der anderen wird alles außer dem angezeigten Stück entfernt, so dass die Wellenformdatei danach nur noch aus diesem besteht. Lassen Sie sich, um dies auszuprobieren, nur den Teil der Wellenform anzeigen, in dem sich der Akkord befindet, und drücken Sie dann auf SCHNEIDEN. Hören Sie sich das gesamte Sample an und speichern Sie es, wenn Sie wollen, unter neuem Namen ab, indem Sie auf SPEICHERN unter dem Wellenformpfad drücken und im erscheinenden Dialogfenster den gewünschten Namen (z.B. TEST.WAV) eingeben.

Das zu erwartende Endprodukt ihrer Arbeit können Sie mit der Datei UEB02.WAV vergleichen, die dem Endergebnis entspricht.

Der Programmteil für Analyse und Filter berechnet Frequenzspektren mit Hilfe einer Fouriertransformation. Indem nun das so erhaltene Spektrum bearbeitet und anschließend wieder in eine Wellenform zurücktransformiert wird, können auf rechnerischem Wege Frequenzfilter verwirklicht werden.

Drücken Sie nun auf den Knopf BEARBEITEN, um das Fenster für die Bearbeitung der Filterkurve zu öffnen (mit dem gleichen Knopf wird es auch wieder geschlossen). Den Hauptteil nimmt ein braunes Fenster mit einer gelben Linie am oberen Rand ein. Diese stellt die Durchlasskurve des Filters dar und ist im Moment so eingestellt, dass alle Frequenzen den Filter unverändert passieren. Wenn Sie nun die Maus über diesen Bereich bewegen, wird links unterhalb der Filterkurve deren Position angezeigt. Die X-Achse entspricht wie in einem Spektrum der Frequenz, die Y-Achse der Durchlässigkeit in Prozent. Indem Sie an verschiedenen Stellen des braunen Fensters klicken oder indem Sie bei gedrückter linker Maustaste den Zeiger verschieben, können Sie nun von Hand die Kurve zeichnen.

Von der gesamten Kurve wird im Moment nur ein kleiner Ausschnitt angezeigt, der aber mit dem Rollbalken unter dem Kurvenfenster verschoben werden kann. Um den gesamten Kurvenverlauf zu betrachten, betätigen Sie den Schalter KOMPLETT. Zur besseren Hervorhebung des Verlaufs wird der Bereich unter der Kurve bei der Komplettdarstellung ausgemalt; eine Bearbeitung ist in diesem Modus nicht möglich. Der Frequenzbereich der Filterkurve entspricht immer dem Frequenzbereich, den ein Spektrum zur momentan geladenen Wellenform benötigen würde. Dieser reicht von 0Hz bis zur halben Samplingfrequenz (im Moment also 10240 Hz).

Da die Eingabe der einzelnen Werte mit Hilfe der Maus über größere Bereiche recht mühsam und zeitraubend ist, besitzt das Programm eine Funktion, die Ihnen diese Arbeit abnimmt. Durch einen Druck auf SCHNELLEINGABE verändert sich die Bedienleiste des Filterfensters und die Anzeige wird automatisch auf komplett geschaltet. Links befinden sich drei Textfelder, von denen im ersten der einzutragende Prozentwert und in den anderen beiden die Grenzen des Frequenzbereiches, in den dieser Wert eingetragen werden soll, stehen. Tragen Sie im rechten Textfeld 20000 Hz ein und drücken Sie auf EINTRAGEN. Dadurch werden die vorher mit der Maus gemachten Eintragungen wieder zurückgenommen.

Schalten Sie nun das Fenster mit der Filterkurve zunächst durch Druck auf SCHLIEßEN wieder aus.

Machen Sie nun eine einfache Frequenzanalyse der Wellenform und betrachten Sie das Spektrum. Vergrößern Sie dessen erforderlichen Teil; im Bereich zwischen 150Hz und 450Hz sehen Sie im wesentlichen drei hohe Linien. Es sollen nun aus der Wellenform alle Schwingungen gelöscht werden, die nicht zu diesen drei Linien gehören. Rufen Sie hierzu das Fenster für die Filterbearbeitung auf und geben Sie für den Bereich von 450 Hz bis 10240 Hz mit Hilfe der Schnelleingabe 0% ein. Schließen Sie das Fenster und starten Sie die Bearbeitung der Wellenform mit dem eingestellten Filter durch Druck auf ANWENDEN und haben Sie etwas Geduld, während das Programm rechnet.

Hören Sie sich nach Abschluss der Berechnung das Ergebnis an und machen Sie eine erneute Frequenzanalyse. Das Spektrum enthält nur noch die drei gewünschten Linien und das Sample klingt dumpfer (weil die Obertöne fehlen). Wenn Sie wollen, können Sie die Wellenform besser hörbar machen, indem Sie eine Amplitudenoptimierung durchführen.

Vielleicht ist Ihnen beim Anhören ein leises, rythmisches Knacken aufgefallen. Dies rührt daher, dass das Sample für die Bearbeitung in einzelne Analyseabschnitte unterteilt wird, an deren Grenzen sich oft kleine Ungenauigkeiten ergeben, die dann als Knacken hörbar sind. In manchen Fällen kann man diese Stellen als deutliche Sprünge in der Darstellung der Wellenform erkennen. Indem Sie einen kleinen Bereich (1-10 ms) um diese Stelle herum herausvergrößern und dann auf GLÄTTEN drücken, können Sie diesen Effekt in den meisten Fällen vermindern.

Zuletzt soll noch eine andere Art von Frequenzfilter vorgestellt werden, der sogenannte Schwellenfilter. Hierbei werden nicht wie oben die Amplituden der Schwingungen zu verschiedenen Frequenzen nach einem bestimmten Schema abgesenkt. Vielmehr werden all die Schwingungen

gelöscht, deren Amplitude unter einem bestimmten Schwellenwert liegt. Diese Schwelle kann in einem Textfeld neben SCHWELLENFILTER in Prozent der höchsten im Spektrum auftretenden Linie eingegeben werden. Durch Druck auf diesen Knopf wird der Schwellenfilter im angezeigten Bereich auf die Wellenform angewandt. So kann z.B. Untergrundrauschen herausgefiltert werden oder bei höheren Einstellungen die Wellenform stark verfremdet werden.

Laden Sie z.B. noch einmal die Datei HALLO.WAV und probieren Sie diesen Filter einmal mit verschiedenen Einstellungen aus; machen Sie jeweils vorher und nachher Frequenzanalysen um zu sehen, was sich ändert.

Verwendungsmöglichkeiten des Programms

Neben der Möglichkeit, mit diesem Programmteil berechnete sowie aufgenommene Wellenformen weiter für eine Unterrichtsvorführung zu bearbeiten, könnte dieser Programmteil eventuell auch genutzt werden, um den Begriff des Spektrums im Unterricht einzuführen. In diesem Fall erscheint es sinnvoll, einmal nicht das Vorführprogramm, sondern direkt diesen Teil des Entwicklungsprogramms zu nutzen, um gemeinsam mit den Schülern experimentieren zu können.

Änderungen am Frequenzspektrum eines Klangs können Dank der Fähigkeit des menschlichen Ohres zur Frequenzanalyse direkt wahrnehmbar gemacht werden.

Ähnliches ist im Bereich der Optik nur noch schwer und im Bereich der Atom- und Kernphysik garnicht mehr möglich. Gerade zur Optik lassen sich viele Analogien finden. Zum Beispiel könnte weißes Rauschen mit weißem Licht verglichen und anschließend in beiden Fällen näher auf die Wirkung von Filtern eingegangen werden. Eventuell ist es hierbei möglich, dem Schüler klar zu machen, wie eine einzelne, wenn auch komplexe Welle aus vielen einzelnen Schwingungen zusammengesetzt ist.

Bleibt man im Bereich der Akustik, so kann veranschaulicht werden, wie man einen musikalischen Klang von einem Geräusch sowohl an Hand ihrer Wellenformen als auch ihrer Spektren unterscheiden kann.

In einem Exkurs könnte man auf die Methode der subtraktiven Klangsynthese eingehen, die vor allem in älteren Synthesizern Verwendung fand. Hierbei wurde durch die Verwendung von Frequenzfiltern ein sehr obertonreicher Klang oder ein Rauschen nach den Wünschen des Musikers „geformt“, bis sich die angestrebte Klangfarbe ergab.

Im Zusammenhang mit dem Informatikunterricht könnte dieser Teil von DiTON verwendet werden, um auf die grundlegenden Prinzipien der Sprach- und Klangerkennung einzugehen. Ein einfaches Beispiel hierzu wäre die Frequenzanalyse des Klimprens verschiedener Münzen auf der gleichen Unterlage. Diese können durch Vermessen der höchsten Linien in den jeweiligen Spektren klar unterschieden werden.

Vor allem aber bietet sich mit diesem Programmteil die Möglichkeit, privat oder in Zusammenarbeit mit Schülern verschiedenste akustische Phänomene etwas genauer unter die Lupe zu nehmen und dabei die Lust am Experimentieren und Forschen sowie die Fähigkeit zur Beobachtung und Beschreibung zu fördern

4.7 Programmteil für Konvertierung

Tutorial

Oben in diesem Fenster befinden sich drei Knöpfe, mit denen die Konvertierungsart ausgewählt werden kann. Drücken Sie auf den rechten der drei, da zuerst das Mischen von zwei Mono-Wellenformen zu einer einzelnen gezeigt werden soll. Jedes der drei Rechtecke auf dem Knopf symbolisiert eine der drei, an der Konvertierung beteiligten Wellenformen. Nun müssen die Dateipfade der einzelnen Samples eingegeben werden: Unter den Auswahlknöpfen befinden sich hierfür drei Textfelder, die in den gleichen Farben unterlegt sind wie die Rechtecke auf dem gedrückten Knopf. Die Dateipfade können entweder direkt oder in einem Dateidialog eingegeben werden, der mit Hilfe des jeweiligen kleinen Knopfes rechts von dem entsprechenden Textfeld aufgerufen wird.

Wählen Sie mit Hilfe dieses Dateidialogs als zu mischende Dateien UEB03.WAV und UEB04.WAV aus. Mit den Knöpfen 1 und 2 können diese Wellenformen abgespielt werden. Es handelt sich dabei um zwei Töne unterschiedlicher Frequenz und Dauer.

Nun muss noch angegeben werden, wie die neue Datei heißen soll, in der das Ergebnis der Klangmischung gespeichert werden soll. Geben Sie hierfür den gleichen Pfad wie für die beiden obigen Dateien gefolgt von dem Namen TEST.WAV ein. Starten Sie anschließend die Konvertierung durch Druck auf KONVERTIERUNG. Nach etwas Rechenzeit können Sie sich das Ergebnis mit Hilfe des Knopfes 3 anhören.

Drücken Sie nun auf den linken der drei Auswahlknöpfe für den Konvertierungsmodus. In diesem Fall werden die beiden ersten Wellenformen zu einer Stereo-Wellenform zusammengesetzt, so dass die eine Wellenform nur auf dem linken und die andere nur auf dem rechten Kanal zu hören ist.

Der noch zu erklärende Konvertierungsmodus ist gedacht, um den linken und den rechten Teil eines Stereo-Samples in zwei separaten Dateien abzuspeichern. Die so entstandenen Mono-Wellenformen sind dann für die Bearbeitung mit DiTON zugänglich.

Wählen Sie als Stereo-Wellenform (gelb unterlegter Dateipfad) die Datei UEB05.WAV aus und hören Sie sich diese an. Geben Sie nun für die beiden zu erzeugenden Dateien TEST.WAV und TEST2.WAV mit dem Pfad des Unterverzeichnisses WAV\ im DiTON--Stammverzeichnis an und starten Sie die Konvertierung. Anschließend können Sie sich die einzelnen Teile der Stereo-Wellenform mit Hilfe der Abspielknöpfe anhören.

Hinweis: Wie alle Teile des gesamten Programmpaketes kann auch dieser nur 8-bit Samples verarbeiten. Wenn Sie 16 bit Samples bearbeiten oder verwenden wollen, so sollten Sie diese z.B. mit Hilfe des Klangrekorders von Windows zuerst auf 8 bit umrechnen!

Verwendungsmöglichkeiten des Programms

Der Hauptzweck dieses Programmteils liegt darin, durch das Mischen zweier Wellenformen diese gleichzeitig abspielbar zu machen. Experimente, die das Richtungshören erklären sollen, wären ohne die Möglichkeit, Stereo-Wellenformen zu erzeugen, natürlich nicht denkbar. Mit DiTON könnten künstlich Wellenformen berechnet werden, bei denen die Signale für das rechte und das linke Ohr um einen wohldefinierten Zeitraum auseinanderliegen. Mit Hilfe eines Kopfhörers könnte einem Schüler die Funktionsweise seines Richtungshörens, sowie die Technik, wie ein räumlicher Höreindruck mit nur zwei Lautsprechern geschaffen werden kann, erklärt werden.

4.8 Programmteil für Texterstellung

Tutorial

In der linken Hälfte befinden sich drei verschiedenfarbig unterlegte Textfelder. Wie bereits im Tutorial zum Vorführprogramm erwähnt, besteht eine Textdokumentation in DiTON aus drei Teilen: der Überschrift, dem eigentlichen Dokumentationstext und einer Fußnote für eventuelle Bemerkungen. In den genannten drei Textfeldern können diese Teile nun einzeln eingegeben werden. Im Fenster daneben ist zur Kontrolle immer zu sehen, wie das Ergebnis in etwa mit den Standardeinstellungen des Vorführprogramms aussehen würde.

Im Menü des Texteditors finden Sie alle notwendigen Optionen für das Laden, Abspeichern und Drucken von Texten. Laden Sie z.B. die Datei TUT.DTX.

Soweit eine solche Datei nicht schon mit den anderen Dateien eines Experimentes (siehe hierzu unten) in einem eigenen Verzeichnis verpackt wurde, sollte sie sich im DiTON Unterverzeichnis DATA befinden. und drucken diese einmal aus, um das Ergebnis zu sehen. Ein solcher Ausdruck dient eher zur Kontrolle als zur direkten Benutzung z.B. auf einem Arbeitsblatt. Für den letzteren Fall ist es besser, die Texte aus diesem Programmteil zu kopieren und in einem Textverarbeitungsprogramm einzufügen.

4.9 Programmteil für Experimentverknüpfung

Tutorial

Bevor Sie diesen Programmteil starten, sollten Sie sich das Tutorial zum Vorführprogramm und die darin vorgestellte Experimentvorführung VIEWTUT.DTN angesehen haben. Im Folgenden sollen Sie genau dieses Experiment mit Hilfe des Programms für Experimentverknüpfung aus seinen Einzelteilen zusammensetzen.

Auch über die Analyse und Anzeigefähigkeiten des Programmteils für Analyse und Filter sowie über die Notizen von DiTON sollten Sie sich zumindest grob informieren, bevor Sie hier weiterlesen.

In einer Datei vom Typ DTN stehen alle Informationen, die dem Vorführprogramm mitteilen, wann welche Fenster in welcher Größe anzuzeigen sind und welche Abspielknöpfe mit welchen Wellenformdateien verbunden sind. In der DTN}-Datei stehen nur die Namen, nicht aber die Pfade der benötigten Dateien. Je nachdem, von wo das Experiment geladen wurde, sucht DiTON diese unter verschiedenen Pfaden: Wurde die Experimentdatei wie standardmäßig vorgegeben aus dem DiTON-Unterverzeichnis \EXP geladen, dann sucht DiTON die Wellenformdateien (Endung WAV) im Unterverzeichnis WAV und Textdateien (Endung DTX) im Unterverzeichnis DATA. Wurde die DTN-Datei jedoch aus irgendeinem anderen Verzeichnis geladen (z.B. von einer Diskette oder aus einem Unterverzeichnis von EXP), so sucht DiTON auch alle zugehörigen Text- und Wellenformdateien in diesem Verzeichnis.

Starten Sie nun den Programmteil für Experimentverknüpfung. Die Gesamtzahl an Schritten, aus denen das Experiment bestehen soll steht im Fenster rechts oben. Erhöhen Sie diese mit Hilfe der Pfeiltasten auf fünf. Auf der linken Seite neben SCHRITT steht die Nummer des Schrittes, der momentan bearbeitet werden kann. Darunter befindet sich der Bereich, in dem einzustellen ist, was in den einzelnen Fenstern dargestellt werden soll; der Eintrag NIL in den Textfeldern bedeutet dabei, dass das Fenster vollkommen leer bleibt.

Rechts der Textfelder kann für jedes Fenster separat seine Größe mit einer Reihe von Auswahlschaltern eingestellt werden. Probieren Sie hier ruhig einmal die verschiedenen Einstellungen aus. Dabei wird Ihnen in einem kleinen Modell des Vorführprogrammfensters rechts unten angezeigt, wie dessen Anzeigebereich durch die vier Fenster aufgeteilt wird.

In dem zu erstellenden Experiment sollen im ersten Schritt nur die Knöpfe zum Abspielen der Wellenformen erklärt werden und deshalb die Fenster unsichtbar bleiben. Wählen Sie für alle vier die Option AUS.

Rechts vom Bereich für die Fenstereinstellungen befindet sich ein weiterer mit fünf grünen Textfeldern, in denen Sie eingeben können, welche Wellenformdatei durch Druck auf den entsprechenden Knopf im Vorführprogramm abgespielt werden soll. Die Eingabe des Dateinamens erfolgt durch Aufruf eines Dialogfensters mit dem Knopf rechts des entsprechenden Textfeldes. Wählen Sie für die fünf Knöpfe die Dateien TUT01.WAV bis TUT05.WAV aus.

Sowohl die Einstellungen für die Fenster als auch die für die Wellenformknöpfe können jeweils mit dem Knopf EINTRÄGE LÖSCHEN unter dem entsprechenden Bereich wieder auf ihre Standardwerte zurückgesetzt werden.

Wenn Sie wollen, können Sie Ihre bisherige Arbeit mit Hilfe des Menüpunktes SPEICHERN ALS... unter dem Namen TEST.DTN speichern, das Vorführprogramm starten und sich dort einmal den ersten Schritt dieses Experiments ansehen. Er sollte genauso ausschauen wie der aus dem Experiment VIEWTUT.DTN.

Kehren Sie nun zum Entwicklungsprogramm zurück und schalten Sie mit der Pfeiltaste neben der Anzeige für den zu bearbeitenden Schritt auf 2. In diesem Schritt soll gezeigt werden, wie ein Wellenformfenster aussieht und in seine Bedienung eingeführt werden. Es wird also ein Fenster benötigt, in dem die Wellenform dargestellt wird. Schalten Sie alle Fenster bis auf das zweite aus und wählen Sie für dieses die Einstellung WAAGRECHT. Danach drücken Sie auf den Knopf neben dem hellblauen Textfeld für Fenster 2, wodurch Sie einen Dateidialog aufrufen, in dem die zur Anzeige gewünschte Datei gewählt werden kann. Geben Sie hier die Datei TUT04.WAV an.

Mit DARSTELLUNGSPARAMETER rufen Sie ein Fenster auf, in dem die Darstellungsparameter für Fenster 2 eingestellt werden können. Schließen Sie dieses zunächst wieder mit dem entsprechenden Knopf rechts oben in diesem Fenster. Die für die Einstellungen notwendigen Daten beschaffen Sie sich am besten mit dem Programm für Analyse und Filter auf die folgende Weise: Starten Sie zuerst die DiTON-Notizen und danach den Analyseteil. Dort laden Sie zunächst die Datei TUT04.WAV und sorgen dafür, dass im Wellenformfenster nur einige Perioden der Schwingung zu sehen sind. Wenn Sie mit dem Ausschnitt zufrieden sind, dann drücken Sie auf DATEN KOPIEREN neben den Knöpfen für die Frequenzanalyse. Wechseln Sie nun wieder zum Verknüpfungsprogramm, öffnen Sie dort das Fenster für die Darstellungsparameter von Fenster 2 und benutzen Sie dort den Knopf EINFÜGEN am unteren Rand. Dadurch werden die Darstellungsdaten vom Analyseprogramm in die entsprechenden Textfelder kopiert. Was jetzt noch fehlt sind die Daten für den Teil der Wellenform, der im Vorführprogramm hervorgehoben gezeichnet werden soll. Gehen Sie hierzu zurück ins Analyseprogramm und vergrößern Sie dort aus dem momentan angezeigten Bereich möglichst genau eine Periode heraus. Drücken Sie dann wieder auf DATEN KOPIEREN und kopieren Sie diesmal die Daten durch Druck auf einen der -> Knöpfe in die DiTON-Notizen. Danach wechseln Sie zum Verknüpfungsprogramm zurück und tragen dort in den Textfeldern neben HERVORHEBUNG die Zeitdaten ein, die nun im Notizblock neben „Wellenformfenster“ stehen.

Achtung: Das Verknüpfungsprogramm überprüft nicht, ob die Angaben für den darzustellenden bzw. den hervorzuhebenden Bereich sinnvoll sind. Schon deshalb sollten Sie ein fertiges Experiment erst mit dem Vorführprogramm testen, bevor Sie es im Unterricht zeigen.

Unter den Textfeldern befinden sich mehrere Schalter, um verschiedene Optionen an- oder auszuschalten. Diese Optionen haben die folgenden Bedeutungen (da diese für Wellenformen und Spektren ähnlich sind, werden hier gleich beide Fälle beschrieben):

- Linien zeichnen: Dieser Schalter entspricht den Schaltern für das Zeichnen von Linien im Analyseprogramm. Ist er aktiviert, so werden die einzelnen Punkte der Wellenform durch Linien verbunden bzw. bei Darstellung eines einfachen Spektrums senkrechte Linien statt nur Punkte gezeichnet. Bei einem Mehrfachspektrum steuert dieser Schalter, ob dieses ausgemalt wird oder nicht.
- Koordinatenachsen zeichnen: Ist diese Option aktiviert, so wird in die Darstellung von Wellenform bzw. Spektrum jeweils die horizontale Nulllinie eingezeichnet.
- Änderung der Einstellung ...: Nur wenn dieser Schalter aktiviert ist, kann der dargestellte Ausschnitt aus Wellenform oder Spektrum während der Vorführung verändert werden wie im Analyseprogramm.
- Mauszeigerposition ...: Bei manchen Experimenten sollen Teile einer Wellenform oder eines Spektrums vermessen werden. Wenn diese Option aktiviert ist, wird im Vorführprogramm die Position der Maus bei Bewegung über diese Fenster in der Bedienleiste angezeigt.

Aktivieren Sie in diesem Fall alle vier Optionen (die erste wurde eventuell schon beim Einfügen der Daten angeschaltet, falls sie auch im Analyseprogramm aktiviert war). Schließen Sie das Parameterfenster und tragen Sie für Abspielknopf 1 ebenfalls die Datei TUT04.WAV ein, damit das, was angezeigt wird, auch hörbar gemacht werden kann. Schalten Sie anschließend weiter zu Schritt 3.

In diesem sollen Einfach- und Zehnfachspektrum vorgestellt werden. Schalten Sie Fenster 3 und 4 aus, sowie die Fenster 1 und 2 auf WAAGRECHT. Legen Sie auf Abspielknopf #1 die Wellenform TUT01.WAV und auf Knopf #2 TUT05.WAV.

Für die Einstellungen von Fenster 1 wechseln Sie wieder zum Analyseprogramm, laden dort die Datei TUT01.WAV und machen hiervon eine einfache Frequenzanalyse. Wählen Sie einen interessanten Teil des Spektrums aus (z.B. zwischen ca. 200 Hz und ca. 2000 Hz) und drücken Sie auf DATEN KOPIEREN, um die Einstellungen zu kopieren. Kehren Sie danach zum Verknüpfungsprogramm zurück und tragen Sie für Fenster 1 ebenfalls die Datei TUT01.WAV ein.

Wechseln Sie anschließend in die Darstellungsparameter und schalten mit Hilfe der Auswahlshalter am oberen Rand die gewünschte Darstellung auf FREQUENZSPEKTRUM.

Die Bedeutung einiger Bedienelemente ändert sich jetzt: Die Angaben zu Wellenform teilen dem Programm mit, an welcher Stelle die Frequenzanalyse durchgeführt werden soll, während durch die Textfelder hinter Frequenz und Hervorhebung bestimmt wird, welcher Teil des Spektrums angezeigt und welcher hervorgehoben gezeichnet wird. Die Y-Vergrößerung entspricht dem gleichnamigen Wert aus dem Analyseprogramm. Tragen Sie nun die kopierten Werte durch Druck auf in die entsprechenden Schalter und Textfelder ein. Auch hier sollen die vier bereits oben beschriebenen Schalter aktiviert sein, während der Schalter MEHRFACHSPEKTRUM aus bleibt, da in diesem Fenster nur ein Einfachspektrum zu sehen sein soll.

Es fehlen nun noch die Daten für den hervorgehoben zu zeichnenden Bereich. Bestimmen Sie hierfür die Randdaten eines kleinen Bereichs um eine der drei höchsten Linien mit Hilfe des Analyseprogramms und tragen Sie diese in den entsprechenden Textfeldern im Verknüpfungsprogramm ein.

Nachdem Sie das Parameterfenster geschlossen haben, tragen Sie für Fenster 2 die Datei TUT05.WAV ein und wechseln abermals zum Analyseprogramm. Erstellen Sie dort ein Zehnfachspektrum von dieser Datei und suchen Sie sich einen interessanten Ausschnitt aus, dessen Daten Sie auf die bekannte Weise kopieren. Im Parameterfenster für Fenster 2 schalten Sie ebenfalls auf Frequenzspektrum und tragen die Daten mit EINFÜGEN ein. Die Option für Mehrfachspektrum wird automatisch angeschaltet und die beiden Schalter für Perspektive und Summendarstellung

erscheinen, während der Schalter für die Anzeige der Mauszeigerposition verschwindet (da die Koordinatenanzeige bei dreidimensionaler Darstellung nicht möglich ist). Die Optionen für Achsen und Änderungen sollten aktiviert sein, während das Zeichnen von Linien je nachdem, welche Darstellungsart Ihnen mehr liegt, an- oder abgeschaltet werden kann.

Schalten Sie nun weiter zu Schritt 4, in dem ein Fenster mit Dokumentationstext angezeigt werden soll. Verwenden Sie hierfür Fenster 1 in senkrechter Form und schalten Sie die anderen drei Fenster ab. Als anzuzeigende Datei stellen Sie für dieses Fenster TUT01.DTX ein (befindet sich im DiTON-Unterverzeichnis DATA). Rufen Sie nun das Fenster für die Darstellungsparameter auf. Da es sich in diesem Fall um eine DiTON-Textdatei handelt, wird der entsprechende Text zur Kontrolle angezeigt. Die einzige Einstellung, die vorgenommen werden kann, ist die, ob der Text beim ersten Aufruf dieses Experimentschrittes sichtbar sein soll oder nicht. Für diesen Fall schalten Sie bitte den Schalter links unten auf „ein“.

Im fünften Schritt des Experimentes soll hauptsächlich in die Einstellung der Optionen eingeführt werden. Dafür ist es notwendig, dass alle Darstellungsmöglichkeiten des Vorführprogramms gleichzeitig zu sehen sind. Hierzu soll in Fenster 1 ein Frequenzspektrum und in Fenster 2 ein Ausschnitt aus der Wellenform TUT01.WAV angezeigt werden. Nehmen Sie die entsprechenden Einstellungen vor (welche Ausschnitte Sie dabei anzeigen lassen, können Sie selbst wählen).

In Fenster 3 soll ein Phasenspektrum angezeigt werden, um auch dies dem Benutzer vorzustellen. Alle Einstellungen hierfür entsprechen denen beim Frequenzspektrum bis auf die Tatsache, dass bei den Auswahlaltern oben im Parameterfenster natürlich PHASENSPEKTRUM angeklickt werden muss. Tragen Sie für dieses Fenster die gleichen Ausschnittsdaten wie für das Frequenzspektrum ein.

Im vierten Fenster soll wieder der Text TUT01.DTX von Anfang an sichtbar sein.

Speichern Sie nun das fertige Experiment ab und vergleichen Sie es mit dem Original VIEWTUT.DTN bzw. überprüfen Sie, ob man mit ihm das Tutorial zum Vorführprogramm durchführen kann. Jetzt können Sie sich ruhig einmal daran machen, ein kleines eigenes Experiment (am besten mit bereits vorhandenen Dateien) zusammenzusetzen. Dabei ist wichtig, dass Sie sich vorher überlegen, was und wie Sie es darstellen wollen.

Hat man erst einmal ein Experiment fertiggestellt, so kann es sein, dass man dieses an einen Kollegen weitergeben oder mit allen notwendigen Dateien in ein Unterverzeichnis kopieren möchte, um mehr Überblick in den DiTON--Verzeichnissen zu behalten. Zu diesem Zweck wurde im Verknüpfungsprogramm eine Hilfsfunktion integriert, die Ihnen die notwendigen Arbeitsschritte größtenteils abnimmt. Wählen Sie hierfür den Punkt DATEIEN ZUSAMMENSTELLEN aus dem Menü des Programms.

DiTON stellt automatisch fest, welche Dateien im momentan bearbeiteten Experiment verwendet werden und erstellt davon eine Liste. Existiert bereits eine zugehörige DTN-Datei, so wird deren Name im oberen Textfeld angezeigt

Darunter kann der Dateipfad angegeben werden, in den die gewünschten Dateien kopiert werden sollen. Wiederum darunter steht, wieviele Dateien kopiert werden müssen und wieviel Speicherplatz diese insgesamt benötigen. Mit START wird der Kopiervorgang gestartet, während mit VERLASSEN dieses Fenster wieder geschlossen wird (hätten Sie nicht gedacht gell).

Falls Sie nicht alle Typen von Dateien, die zum Experiment gehören, kopieren möchten, so können Sie dies mit den drei entsprechenden Schaltern auf der rechten Seite steuern (dabei wird jedesmal Dateianzahl und Speicherbedarf neu berechnet).

Wenn Sie wollen, dass die Dateien aus ihren ursprünglichen Verzeichnissen beim Kopieren gelöscht werden, dann aktivieren Sie den entsprechenden Schalter. Seien Sie dabei allerdings vorsichtig, den eventuell werden manche dieser Dateien nicht nur von einem Experiment verwendet. Durch das

Löschen kann es passieren, dass eine dieser Dateien beim Ausführen eines anderen Experiments nicht geladen werden kann, da DiTON sie nicht im erwarteten Verzeichnis findet.

Mit LISTE KOPIEREN schließlich können Sie die Liste der Dateien kopieren, um Sie mit Hilfe eines der -> Knöpfe in die Notizen einzutragen.