

Digitalisierung von Vokalen

Kategorie	Digitalisierung, 9. Klasse
Thema (Unterthema)	Digitalisierung am Beispiel von gesprochenen Vokalen (inklusive örtliche und zeitliche Auflösung)
Autor	Michael Ulex, Freie Waldorfschule Minden
Geeignete Klassenstufe	9
Dauer	5 Doppelstunden
Pädagogische Ziele	Erkenntnis über den Unterschied zwischen analoger und digitaler Informationsverarbeitung
Kurzbeschreibung	Es werden die Wellenformen von Vokalen zunächst beobachtet, dann analog gezeichnet und schließlich in Lautstärke- und Zeit-Richtung digitalisiert. Dabei wird die Auswirkung der Reduktion der Auflösung beobachtet und anschaulich verstanden.
Vorkenntnisse	Vorher sollte im Physikunterricht der 9. Klasse die Funktion eines Mikrofons bekannt gemacht worden sein
Hilfsmittel	Mikrofon, ggf. Verstärker, Oszilloskop, Verbindungskabel. U-Kern mit Spule, Spiralfedern, Stativmaterial.
Involvierbare Fächer	Mathematik. Die Reihe passt in die Physik und in IT.
Zusätzliche Dateien	TondigitalisierungV4.ods (mit einigen Tabellen)
Hinweis	Blau formatierte Texte sind mögliche Ergänzungen.

Ausführliche Beschreibung

SchülerInnen singen die Vokale A, E, O, U und I in ein Mikrofon. Die dabei entstehenden Kurven werden auf dem Oszilloskop gezeigt und auf Papier abgezeichnet. Zunächst wird die Kurve zeitlich, dann örtlich digitalisiert. Es wird erarbeitet, dass bei geringer Auflösung Töne zunächst verfälscht wiedergegeben werden und schließlich auch die Tonhöhe nicht mehr dem Original entspricht. Mögliche Ergänzungen sind die analoge Addition von Sinuskurven unterschiedlicher Periodendauer und Maximalamplitude, wie zeichnet man eine Sinuskurve, Bestimmung der minimalen Abtastfrequenz z. B. bei einer Audio-CD.

1 Vorbereitung des Unterrichtsmaterials

Für den 1. Versuch (Klangkurve) benötigte Geräte

Benötigt wird ein Mikrofon mit Verstärker, ein Oszilloskop (kann ruhig ein altes, analoges Gerät sein) sowie Kabel für die Verbindung der Geräte. Falls der Monitor des Oszilloskops sehr klein ist, kann eine Vergrößerung, z. B. durch Kamera und Beamer, hilfreich sein.

Wenn man statt eines Mikrofons einen Lautsprecher, z. B. aus einem Telefon, nimmt, erspart man sich den Verstärker. [Warum ein Lautsprecher auch als Mikrofon verwendet werden kann, kann als Ergänzung thematisiert werden.](#)

Vorbereitung des 1. Versuchs

Vorab, erfahrungsgemäß besser mehrere Tage vorher, sollte der Versuch ausprobiert werden. Es ist schwierig, die richtige Lautstärke beim Singen des Vokals zu treffen. Auch die Einstellung des Triggers (manuelle Schwellentriggierung) des Oszilloskops erfordert Fingerspitzengefühl und Übung.

Für den 2. Versuch (A/D-Wandler) benötigte Geräte

Neben Stativmaterial werden zwei Spiralfedern, zwei unterschiedlich schwere Gewichte aus Metall (z. B. $\frac{1}{2}$ und 1 kg aus dem Lehrmittelversand der [Forschungsstelle](#) in Kassel), ein U-Kern mit darauf passender Spule, eine stufenlos regelbare Stromquelle, ein großes (möglichst analoges) Volt- oder Ampèremeter und Kabel zum Verbinden benötigt.

Vorbereitung des 2. Versuchs

Der U-Kern wird mit der Öffnung nach oben auf den Tisch gestellt, die Spule auf einen der beiden Schenkel geschoben. Spule, Stromquelle und Messgerät werden in Reihe geschaltet. Die Gewichte werden an je eine Spiralfeder gehängt, diese sind so an einer Stativstange befestigt, dass die Gewichte frei über den beiden Schenkeln des U-Kerns hängen.

Wird der Strom vergrößert, so wird das Magnetfeld stärker, bis einer der beiden Gewichte nach unten bewegt wird und auf dem U-Kern festgehalten wird (z. B. bei $I_1 = 2 \text{ A}$). Die Federn werden nun so eingestellt, dass das eine Gewicht bei genau der doppelten Stromstärke des anderen Gewichtes (z. B. $I_2 = 4 \text{ A}$) auf den U-Kern gezogen wird. Das kann durch Verkürzen der Feder oder durch das höhere Aufhängen der Feder erreicht werden.

Vorlagen

Es sind genügend Kopien von den Vorlagen auf Din A4 bereit zu halten (siehe Anlagen). Benötigt wird pro SchülerIn eine Kopie plus ein paar Exemplare für Fehlversuche. **Man kann auch aus pädagogischen Gründen bewusst keine Zusatzexemplare bereit halten.**

Unterrichtsraum

Erfahrungsgemäß ist der Physikraum geeignet, theoretisch kann aber jeder beliebige Klassenraum verwendet werden, sofern Strom zur Verfügung steht.

2 Erster Versuch (Klangkurve)

Versuchsdurchführung

EinE SchülerIn, möglichst jemand mit Erfahrung im Singen und Mut, das vor der Klasse zu zeigen, singt die Töne O, A, E, I und U in das Mikrophon. Die Zeitabtaustung wird so eingestellt, dass auf dem Bildschirm eine komplette Periode zu sehen ist. Da wir im Weiteren nur die Formen von A und I verwenden, werden auch nur diese beiden Kurven gezeigt:

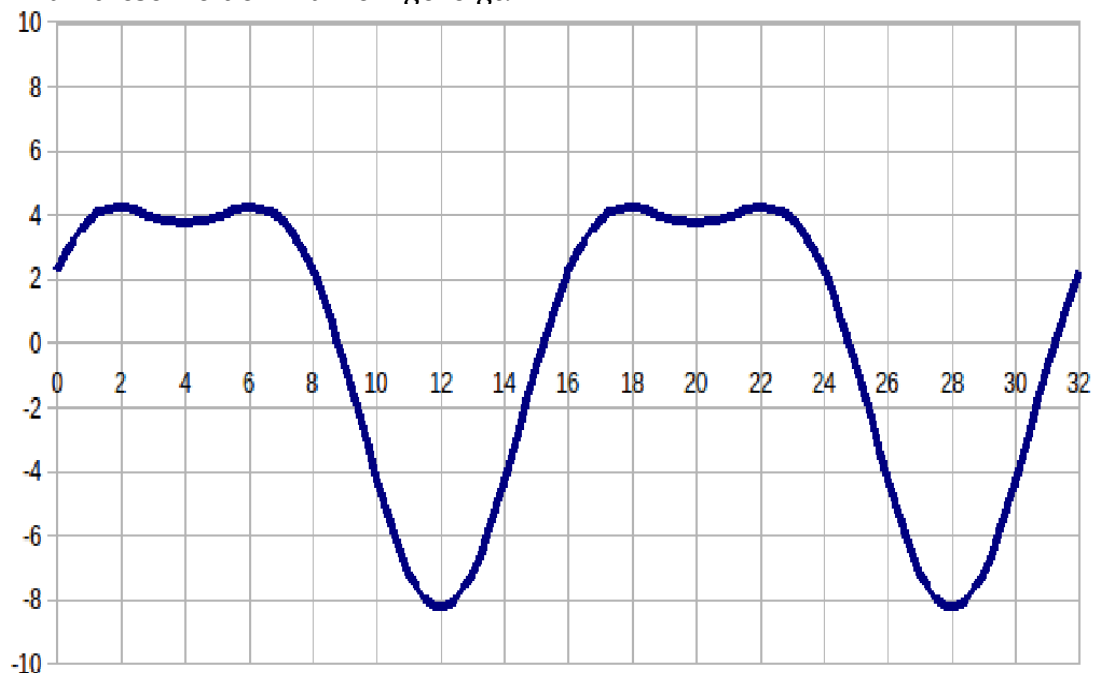


Abbildung 1: Kurve des Tons A



Abbildung 2: Kurve des Tons I

Beide Kurven werden von den Jugendlichen freihand abgezeichnet. Dies kann sowohl auf einem Vordruck als auch ohne Raster – nur mit t- und A-Achse – geschehen.

Die gezeigten Kurven erscheinen oft in dieser Form, aber nicht immer. Sollte ein Vokal eine andere Form haben, sollen die Jugendlichen diese zeichnen. Die folgenden Aufgaben müssen dann durch die Lehrkraft angepasst werden.

Auswertung

Zunächst wird gezeigt, dass sowohl A als auch I aus der Überlagerung von je zwei Kurven entstehen (siehe Datei ÜberlagerteFrequenzen.ods). Es kann die Aufgabe gestellt werden, die Addition zweier Sinus-Kurven von Hand zu addieren. Dies vertieft das Verständnis für die Kurven. (Datei: VordruckAdditionAnalog.odt) Ebenfalls kann das Zeichnen von Sinuskurven geübt werden. Dabei gilt, dass auf der t-Achse nach einem Drittel der Strecke bis zum Maximum die Hälfte der Höhe A erreicht wurde ($\sin 30^\circ = \frac{1}{2}$). Rechts vom Maximum ist die Hälfte bis zum Achsenschnittpunkt nach zwei Dritteln der Strecke auf der t-Achse erreicht. Des Weiteren ist die Kurve rechts und links vom Maximum sehr flach. Jugendliche lernen so Sinus-Kurven rasch freihand zu zeichnen.

Es folgt als Auswertung, dass jeder Vokal eine andere Form hat. Erfahrene Ton-techniker können an der Kurve erkennen, welche Vokale gesprochen wurden.

3 Zweiter Versuch (A/D-Wandler)

Versuchsdurchführung

Der Versuch wird wie oben geschildert vorab aufgebaut. Der Strom wird langsam erhöht, die Jugendlichen sollen auf das Messgerät schauen. Nachdem das erste Gewicht heruntergefahren ist, wird der angezeigte Wert des Messgerätes an der Tafel notiert. Gleiches passiert nachdem das zweite Gewicht unten angekommen ist. Der Versuch funktioniert nur mit steigendem Strom. Soll der Versuch wiederholt werden, so muss der Strom wieder auf Null gedreht werden und das Schwingen der Gewichte unterbrochen werden.

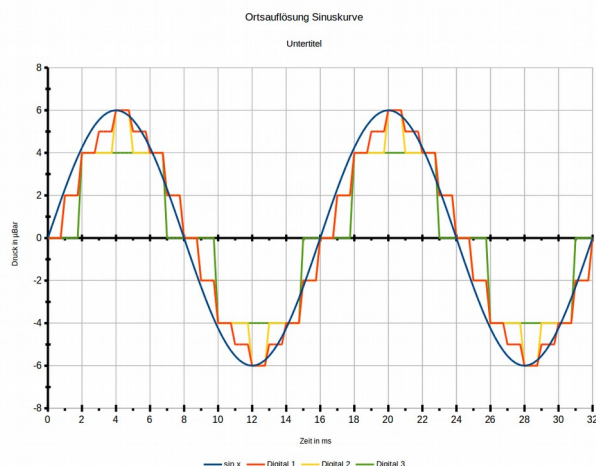
Auswertung

Eine gründliche Auswertung ist notwendig, damit das Prinzip des A/D-Wandlers von allen Jugendlichen verstanden wurde. Dafür können z. B. zwei Jugendliche bei einer erneuten Vorführung den Graphen an der Tafel anzeichnen. Der Strom wird in einer regelmäßigen Geschwindigkeit erhöht. In den einen Grafen wird kontinuierlich die Größe des Stroms eingetragen, in den anderen nur der Strom anhand der Information, wie der Zustand der Gewichte ist. Es zeigt sich, dass nur die Information, ob $I > I_1$ oder ob $I > I_2$ aus dem zweiten Graphen herauszulesen ist.

Letztlich muss den Jugendlichen klar sein, dass Digitalisierung bedeutet, dass weniger Informationen als bei analogen Messungen übertragen werden. Hier kann bei Nachfragen darauf hingewiesen werden, dass die Nachrichtenvermittlung leichter und billiger wird, wenn man nicht alles an Informationen überträgt, sondern nur das Notwendige. Ein Beispiel sind die Abkürzungen bei der elektronischen Übertragung von Nachrichten (lol, :-), etc.). Hier ist es gut, wenn die Lehrenden auf dem aktuellen Stand der Jugendsprache sind. Wenn nicht, kann man die Jugendlichen direkt fragen.

4 Digitalisierung der Amplitude

Der Versuch A/D-Wandler hat eine örtliche Digitalisierung gezeigt. Um diesen nachzuvollziehen, wird eine Sinus-Kurve im Vordruck (VordruckDigitalisierung.odt) in einer Farbe gezeichnet, anschließend wird im selben Diagramm in einer anderen Farbe das gleiche Signal digitalisiert. Im nebenstehenden Beispiel gibt es Auflösungen von 1, 2 und 4 μBar .



Zunächst ist eine Auflösung von 1 μBar (= 1 Kästchen) zu empfehlen, die niedrigeren Auflösung können in dem unteren Diagramm gezeichnet werden.

5 Digitalisierung der Zeit

Die zeitliche Digitalisierung wird ohne Versuch eingeführt. Genau, wie bei der örtlichen Auflösung ist die beobachtende Person zwischen den Linien blind und taub, d. h., die Linie wird bei einer zeitlichen Auflösung von 1 ms (= 1 Kästchen) bis zur nächsten senkrechten Rasterlinie gerade nach rechts durchgezogen. Anschließend wird die Digitalisierungs-Linie senkrecht hoch gezogen. Man kann nach der örtlichen Auflösung zunächst die zeitliche Digitalisierung ohne örtliche Digitalisierung durchführen. Das ist aber zunächst nicht zu empfehlen, da es einen Teil der Jugendlichen überfordert und auch nicht zielführend ist. Aufgrund der örtlichen Digitalisierung wird die Linie aber nicht bis zum Wert A der Kurve hochgezogen, sondern nur bis zur Rasterlinie unter der Kurve (bei einer örtlichen Auflösung von einem Kästchen). Dieser Schritt ist für viele Jugendliche schwer zu begreifen und erfordert besondere Sorgfalt der Lehrkraft. Zudem ist zu beachten, dass bei negativen Amplituden die Linien oberhalb des echten Wertes enden.

Nach der Einführung der Digitalisierung von Ort und Zeit ist der Phantasie der Lehrkraft keine Grenze mehr gesetzt – wenn man mal von der Maximalzahl der Unterrichtsstunden absieht. Die weiteren Kapitel befassen sich mit Themen, die erfolgreich erprobt wurden.

6 Geringe örtliche Auflösung

Eine geringe örtliche Auflösung führt dazu, dass Signale verzerrt werden. Nehmen wir den Ton I vom Beginn der Unterrichtsreihe und verringern die örtliche Auflösung auf 2 μBar , so verschwinden die kleinen Schwingungen. Als Aufgabe können die Jugendlichen in der oberen Tabelle einen reinen Sinus digitalisieren und in der unteren Tabelle den Ton I. Wenn beide Kurven die gleiche Grundfrequenz und -amplitude haben, ist zwischen den digitalisierten Kurven fast kein Unterschied mehr zu sehen – aus dem Ton I ist ein Ton O geworden.

7 Geringe zeitliche Auflösung

Eine geringe zeitliche Auflösung führt ebenfalls zu einem Verzerren der Signale. Zusätzlich werden hohe Frequenzen unterdrückt. Um das zu erkennen, sollen die Jugendlichen eine Sinus-Kurve mit $T = 16\text{ ms}$ bei je einer Abtastrate von $t_A = 4\text{ ms}$ bzw. 12 ms digitalisieren. Bei der hohen Abtastrate wird die Frequenz beibehalten, bei der niedrigen ändert sich die Tonhöhe.

