

Rolling Sounds

<Auto> Georgios Georgoulakis

<Auto> Astrinos Tsoutsoudakis



<Info>

<Schlagwörter> Grundlagenwissenschaft, Datenerfassung, Kreisbewegung, Schallwellen, Geometrie, Trigonometrie

<Unterrichtsfächer> Physik, Mathematik, Informatik

<Altersgruppe> 14–17 Jahre

<Hardware> Arduino Mikrocontroller^[1] oder ähnliches Gerät (entsprechende Treiber bereits installiert), Mikrofon, Summer mit hoher Ausgangsleistung, Bohrmaschine mit Grundplatte, Material für den Versuchsaufbau aus Holz

<Programmiersprache> Snap4Arduino^[2]

<Programmierniveau> mittel

<Zusammenfassung>

Diese fächerübergreifende Unterrichtseinheit kombiniert Physik mit Informatik und kann in beiden Unterrichtsfächern eingesetzt werden. Mit zwei unterschiedlichen Methoden werden hier die Bahngeschwindigkeit der Rotation sowie weitere physikalische Größen bei der gleichmäßigen Kreisbewegung bestimmt.

Anhand der ersten Methode wird ermittelt, wie oft das Signal eines Infrarot-Distanzsensors durch einen kleinen Metallstreifen unterbrochen wird, der auf einer sich drehenden Scheibe befestigt ist, wodurch die Periodendauer gemessen wird. Mit der zweiten Methode wird die Dopplerverschiebung einer Tonquelle, die sich auf der Scheibe befindet, untersucht.

<Vorstellung des Konzepts>


Die experimentelle Untersuchung von physikalischen Größen (Periode T , Frequenz f , lineare Geschwindigkeit v und Winkelgeschwindigkeit ω) einer regelmäßigen Kreisbewegung basiert auf dem Wissen, das in Griechenland in der Oberstufe (Altersgruppe: 14–17 Jahre) vermittelt wird und auch in den Lehrplänen anderer europäischer Länder für die Sekundarstufe zu finden ist. Dies umfasst auch das Kennenlernen des Dopplereffekts. Frequenz und Höhe der Winkelgeschwindigkeit und der Bahngeschwindigkeit werden mit den folgenden bekannten Formeln ermittelt:

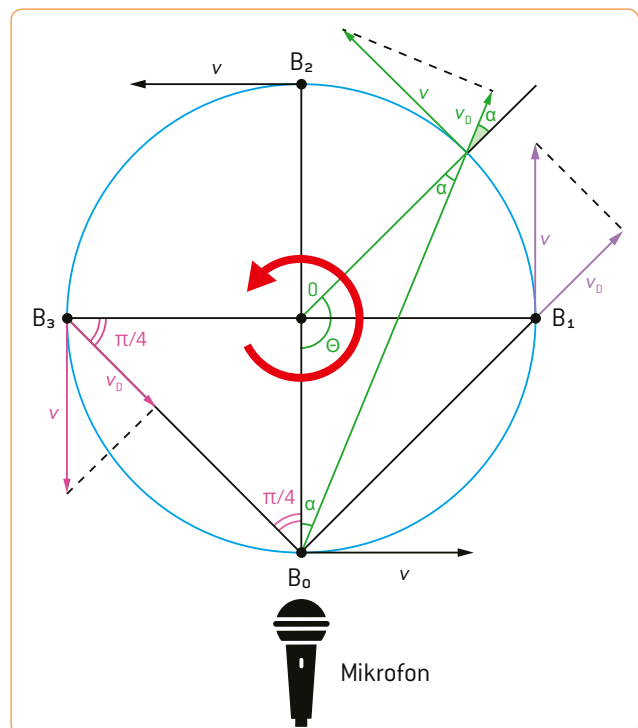
$$f = \frac{1}{T}, \quad \omega = \frac{2\pi}{T} \quad \text{und} \quad v = \frac{2\pi r}{T}$$

T wird mithilfe der internen Uhr des Mikroprozessors bestimmt, d. h. die Zeit zwischen der Erfassung der einzelnen Signale. Der Radius r steht für die Distanz zwischen dem Metallstreifen – oder dem Summer – und dem Scheibenmittelpunkt.


<Experiment zum Dopplereffekt>

Der Dopplereffekt ist die Veränderung der Frequenz oder Wellenlänge einer Welle, wenn sich die Quelle relativ zum Beobachter bewegt. Ein bekanntes Beispiel aus dem Alltag ist das Phänomen der sich ändernden Sirenentonhöhe eines fahrenden Krankenwagens. Wenn sich der Krankenwagen nähert, ist der wahrgenommene Ton höher als der eigentlich emittierte Ton; wenn sich der Krankenwagen entfernt, ist der Ton tiefer. Nur gerade in dem Moment, in dem der Krankenwagen am Beobachter vorbeifährt, entspricht der wahrgenommene Ton dem gesendeten.

In unserem Experiment benutzen wir einen Summer auf einer Drehscheibe als Tonquelle und ein statisches Mikrofon als Beobachter (siehe  1).



 1: Schema des Experiments

Wenn sich die Scheibe gegen den Uhrzeigersinn dreht ( 1), erhöht sich die Geschwindigkeitskomponente parallel zur Kreisbahn, die den Punkt B_0 mit dem Punkt B_1 , wo sich der Summer befindet, verbindet, von null auf ein Maximum bei B_1 , und nimmt in der Folge am Punkt B_2 wieder auf null ab. Diese Geschwindigkeitskomponente ist die eigentliche relevante Geschwindigkeit für den Dopplereffekt. Von Punkt B_2 bis B_3 erhöht sich die Geschwindigkeitskomponente, die jetzt für die Annäherungsgeschwindigkeit steht, von null auf ein Maximum bei Punkt B_3 und nimmt dann wieder bei Punkt B_0 auf null ab.

Indem wir die Dopplerverschiebungsformel für eine bewegte Quelle bei B_3 verwenden und der Beobachter dabei stillsteht, können wir die Bahngeschwindigkeit leicht berechnen. Die

Bahngeschwindigkeit bleibt konstant senkrecht zum Kreisradius, und der Winkel von $\frac{\pi}{4}$ ergibt sich aus den geometrischen Eigenschaften des gebildeten rechtwinkligen und gleichschenkligen Dreiecks B_3OB_0 .

$$f = f_0 \cdot \left(\frac{v_s}{v_s - v_D} \right) \Rightarrow f = \frac{f_0 \cdot v_s}{v_s - v_D} \Rightarrow f \cdot v_s - f \cdot v_D = f_0 \cdot v_s$$

$$\Rightarrow f \cdot v_D = (f - f_0) \cdot v_s \Rightarrow v \cdot \cos\left(\frac{\pi}{4}\right) = \left(\frac{f - f_0}{f}\right) v_s$$

$$\Rightarrow v = \left(\frac{f - f_0}{f}\right) \frac{v_s}{\cos\left(\frac{\pi}{4}\right)}$$

- f : gemessene Frequenz
- f_0 : emittierte Frequenz
- v : Bahngeschwindigkeit
- v_s : Schallgeschwindigkeit
- v_D : für den Dopplereffekt wirksame Geschwindigkeit

Da die Umsetzung der schnellen Fourier-Transformation (Fast Fourier Transform, FFT) für die Extraktion des Frequenzinhalts eines produzierten Tons die Kenntnisse und Fähigkeiten der Schülerinnen und Schüler weit übersteigt, erstellt eine freie Toneditiersoftware wie Audacity^[3] eine geeignete Textdatei mit allen erforderlichen Daten.

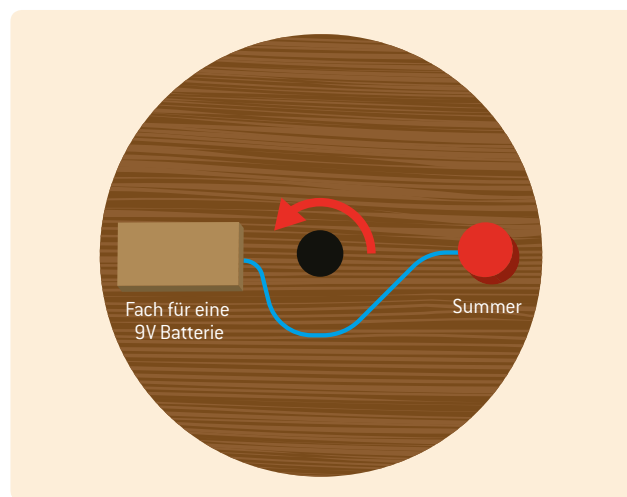
<Zusätzliches Material>

Eine weitere Methode, bei der ein Staudruck-Rohrsystem und ein Differenzdrucksensor verwendet werden, wurde aus Gründen der Vereinfachung absichtlich nicht in diese Unterrichtseinheit miteinbezogen, jedoch sind alle Angaben dazu online

verfügbar.^[4] Das Online-Material enthält eine detaillierte Beschreibung des Versuchsaufbaus, alternative Konstruktionsmöglichkeiten sowie eine theoretische Dokumentation und eine schrittweise Analyse der verwendeten Verfahren.

<Praktische Umsetzung>

Bezüglich der physikalischen Aspekte der Unterrichtseinheit messen die Schülerinnen und Schüler die physikalischen Größen der Kreisbewegung bei unterschiedlichen Radien und erforschen den Dopplereffekt. Zuerst planen und konstruieren sie jedoch einen grundlegenden Versuchsaufbau.



© 3: Die Scheibe von oben betrachtet

<Der Versuchsaufbau>

Die Schülerinnen und Schüler konstruieren einen Versuchsaufbau mit einer Holzscheibe, die von einer Bohrmaschine an-



© 2: Grundlegender Versuchsaufbau

getrieben wird. Ein von einer 9V-Batterie betriebener Sumner ist auf der Scheibe befestigt. Außerhalb angebracht, jedoch in unmittelbarer Entfernung, sendet ein Infrarot-Distanzsensor dem Mikrocontroller bei jeder vollen Rotation ein Signal, während ein preisgünstiges Mikrofon den erzeugten Ton aufnimmt. Die Dopplerverschiebung sollte idealerweise bei der gewählten Rotationsgeschwindigkeit hörbar, jedoch aus Sicherheitsgründen niedrig sein. (☉ 2 und 3)

Um alle erforderlichen Parameter zu erfassen und die berechneten Werte zu erhalten, wurde eine ansprechende, schülerfreundliche Benutzeroberfläche entwickelt (☉ 4).



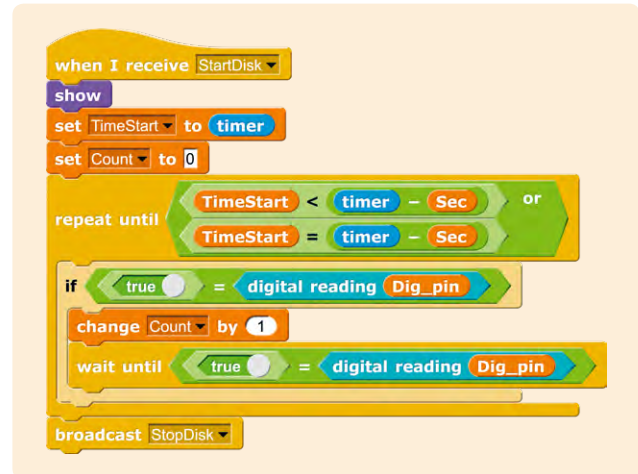
☉ 4: Die Benutzeroberfläche für das Experiment

Die Schülerinnen und Schüler benötigen Grundprogrammierkenntnisse und eine gewisse Erfahrung mit blockbasierten Programmiersprachen (wie Scratch oder Snap!). Der Hauptgrund, warum wir eine Vorlage zur Erstellung des Programms anbieten, ist, dass der Schwerpunkt auf den Zielen der Unterrichtseinheit liegen soll und nicht auf der Benutzeroberfläche und der grafischen Ausgestaltung des Programms.

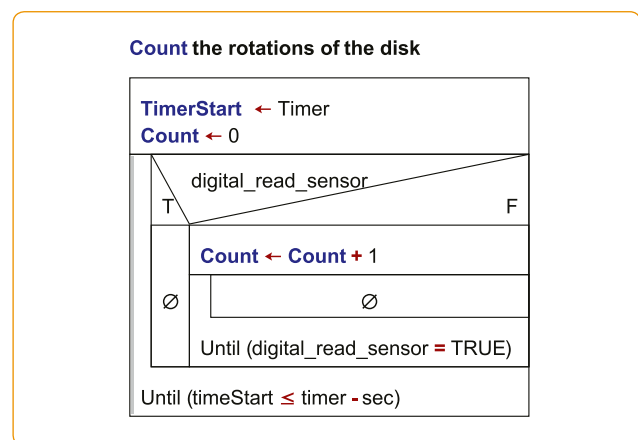
Deshalb stellen wir die Basisvorlage im xml-Format in Snap!^[5] und ein Aufgabenblatt zur Verfügung, das die grundlegenden Anweisungen zur Vorlage enthält und beschreibt, was wir von den Schülerinnen und Schülern erwarten. Sowohl die Vorlage als auch die Aufgaben sind online verfügbar.^[4]

Die Schülerinnen und Schüler überprüfen und validieren die erhobenen Daten, kommunizieren mit den externen Geräten, erhalten und verarbeiten Sensordaten und schreiben einen einfachen seriellen Suchalgorithmus.

Für die Lehrkraft steht als Referenz auch das fertige Programm online zur Verfügung.^[4] ☉ 5 zeigt als Beispiel einen Screenshot der Snap4Arduino Programmierumgebung^[2]. Das entsprechende Nassi-Shneiderman-Diagramm ist in ☉ 6 dargestellt.



☉ 5: Berechnung der Rotationsperiode

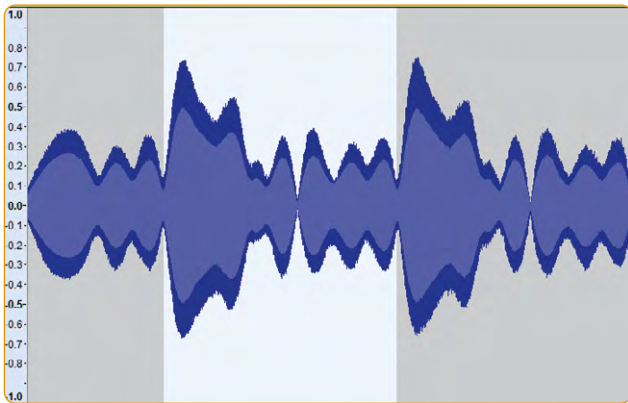


☉ 6: Nassi-Shneiderman-Diagramm für die Periode

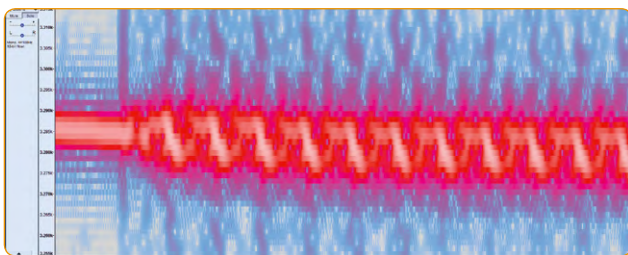
Wie bereits erwähnt, nutzen wir eine freie Toneditorssoftware wie Audacity^[3] zur Extraktion des Frequenzinhalts des produzierten Tons. Die Software liefert eine geeignete Textdatei mit allen erforderlichen Daten und die Schülerinnen und Schüler lernen, wie ein Tonsignal mithilfe einer spezialisierten Software verarbeitet werden kann.

Der Signalimport und die wichtigsten Verarbeitungsschritte sind in den ☉ 7–9 dargestellt, während ☉ 10 einen Teil des abschließenden Datenexports zeigt. Um eine vertiefte Analyse zu vermeiden und den Schülerinnen und Schülern ein besseres Verständnis zu ermöglichen, muss hier eine grobe Annahme getroffen werden. Die gelb markierte Frequenz, welche die höchste Lautstärke aufweist, ist die Frequenz des stillstehenden Summers oder diejenige, die an den Punkten B_0 und B_2 gemessen wird, während die blauen und grünen Werte die Werte darstellen, die zwischen unseren primären Frequenzverschiebungen als nächstgelegene Spitzen liegen (☉ 10). Das vorgeschlagene Programm sucht jedoch nur die grünen Werte. Für eine größere Genauigkeit kann es aber auf einfache Weise so modifiziert werden, dass es beide Werte findet. Um die Suche zu beschleunigen, ist es möglich den Datenbereich

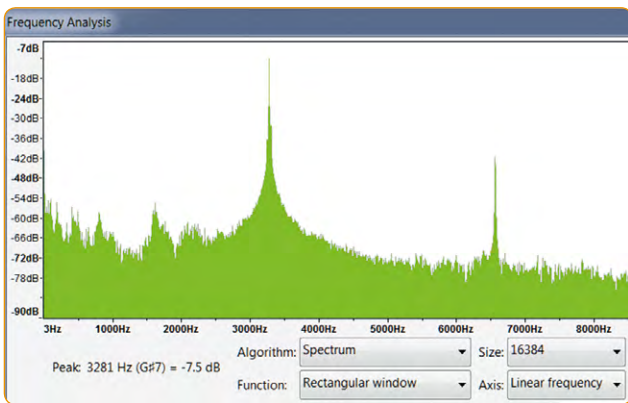
auch auf nur 50–100 Werte oberhalb und unterhalb der Frequenz beim Höchstwert zu begrenzen.



7: Aufgenommene Schallwellenform

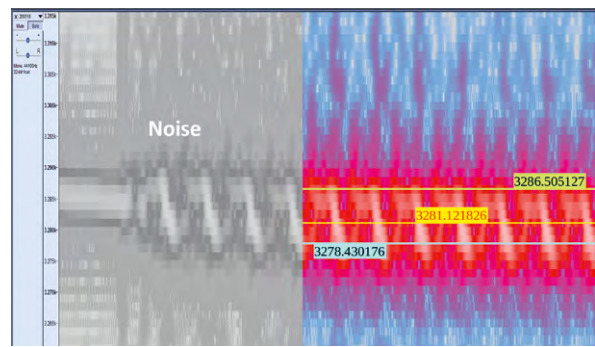


8: Spektrogramm mit Dopplerverschiebung



9: Frequenzanalyse durch schnelle Fourier-Transformation

Frequenz [Hz]	Level [dB]
3273.046875	-27.597595
3275.738525	-22.331339
3278.430176	-12.437067
3281.121826	-7.5547090
3283.813477	-10.041918
3286.505127	-9.7750780
3289.196777	-16.848948
3291.888428	-26.916197



10: Exportierte Daten

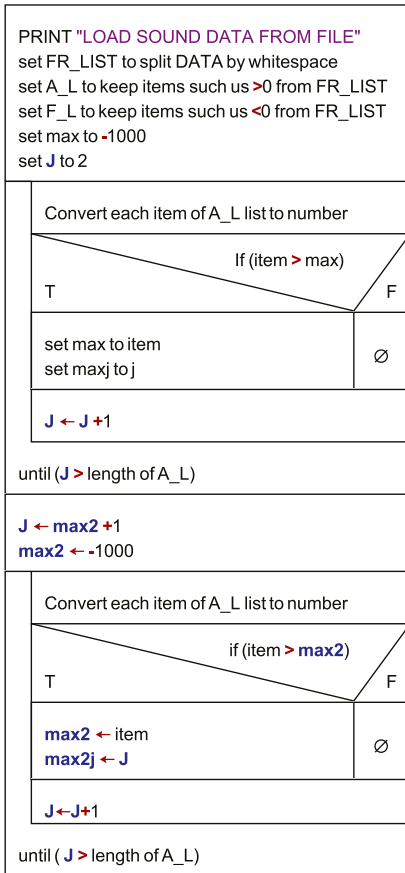
Die Verarbeitung der Tonspektrumsdaten ist in 11–12 dargestellt. Detaillierte Informationen, z. B. über die verwendeten Variablen, sind online verfügbar.^[4]

```

when I am clicked
  say Don't forget to Right click string and load data for 2 secs
  set FR_LIST to split String by whitespace
  set F_L to keep items such that > 0 from FR_LIST
  set A_L to keep items such that < 0 from FR_LIST
  set max to -1000
  set j to 2
  repeat until j > length of A_L
    set Id_num to join
      item 1 of split item j of A_L by
      item 2 of split item j of A_L by
    if Id_num > max
      set max to Id_num
      set maxj to j
    change j by 1
  set j to maxj + 1
  set max2 to -1000
  repeat until j > length of A_L
    set Id_num to join
      item 1 of split item j of A_L by
      item 2 of split item j of A_L by
    if Id_num > max2
      set max2 to Id_num
      set max2j to j
    change j by 1
  
```

11: Der Dopplerverschiebungsteil des Experiments^[4]

Sound Data Processing



© 12: Nassi-Shneidermann-Diagramm für Tondatenverarbeitung

<Algorithmus für andere Sprachen>

Mit der Basisvorlage kann das Programm auf einfache Weise in eine andere Programmiersprache übertragen werden, da es eine Basisbibliothek für die Kommunikation mit dem Mikrocontroller gibt. Somit ist die Wahl des Mikrocontrollers für das Projekt nicht von Bedeutung.

<Fazit>

Ein preisgünstiges Projekt, das leicht aufzubauen und durchzuführen und hoffentlich für die Schülerinnen und Schüler interessant und anregend ist.

<Kooperationsmöglichkeiten>

Der Austausch von Unterrichtsideen und die Umsetzung innovativer Unterrichtsansätze ist der Hauptzweck von Science on Stage. Das gemeinsame Unterrichten mit Ilia Mestvirishvili und David Shapakidze, einem großartigen Partnerteam aus Georgien, könnte bezüglich Entfernung und Zeitplanung eine Herausforderung werden, war aber schon ein großer Gewinn für die Entwicklung neuer Techniken. Auch wenn uns Erfahrung im Unterrichten von Schülerinnen und Schülern mit besonderen Bedürfnissen fehlt, wäre es durchaus lohnend und begrün-

denswert, dieses Projekt so anzupassen, dass es für alle Schülerinnen und Schüler zugänglich ist.

<Quellen und Hinweise>

- [1] www.arduino.cc
 - [2] <http://snap4arduino.rocks>
 - [3] www.audacityteam.org
 - [4] Sämtliches Zusatzmaterial ist erhältlich auf www.science-on-stage.de/coding-materialien.
 - [5] <https://snap.berkeley.edu>
- ↳ www.physicsclassroom.com/mmedia/circmot/ucm.cfm
 ↳ <https://education.pasco.com/epub/PhysicsNGSS/BookInd-904.html>
 ↳ <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Sound/dopp.html>
 ↳ http://newton.phys.uaic.ro/data/pdf/Doppler_experiment.pdf
 ↳ <https://manual.audacityteam.org/man/tutorials.html>
 [alle Dezember 2018]

<Impressum>

<Entnommen aus>

Coding im MINT-Unterricht
www.science-on-stage.de/coding

<Herausgeber>

Science on Stage Deutschland e.V.
Am Borsigturm 15
13507 Berlin

<Revision und Übersetzung>

Translation-Probst AG

<Gestaltung>

WEBERSUPIRAN.berlin

<Illustration>

Rupert Tacke, Tricom Kommunikation und Verlag GmbH

<Text- und Bildnachweise>

Die Autorinnen und Autoren haben die Bildrechte für die Verwendung in dieser Publikation nach bestem Wissen geprüft und sind für den Inhalt ihrer Texte verantwortlich.

<Bestellungen>

www.science-on-stage.de
info@science-on-stage.de

<ISBN PDF-Fassung>

978-3-942524-60-5

Diese Publikation ist lizenziert unter einer Creative Commons Namensnennung - Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0 International Lizenz:
<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>.



1. Auflage 2019

© Science on Stage Deutschland e.V.

Ein Projekt von



Hauptförderer von
Science on Stage Deutschland



Science on Stage Deutschland - The European Network for Science Teachers

... ist ein Netzwerk von Lehrkräften für Lehrkräfte aller Schularten, die Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften und Technik (MINT) unterrichten.
... bietet eine Plattform für den europaweiten Austausch anregender Ideen und Konzepte für den Unterricht.
... sorgt dafür, dass MINT im schulischen und öffentlichen Rampenlicht steht.

Science on Stage Deutschland e.V. wird maßgeblich gefördert von think ING., der Initiative für den Ingenieurwachstum des Arbeitgeberverbandes GESAMTMETALL.

Machen Sie mit!

www.science-on-stage.de

www.facebook.com/scienceonstagedeutschland

www.twitter.com/SonS_D

Bleiben Sie informiert!

www.science-on-stage.de/newsletter

Mit freundlicher Unterstützung von

