

Dieses Dokument wurde im Rahmen des Erasmus+ -Projekts
"Developing Digital Physics Laboratory Work for Distance Learning"
(DigiPhysLab) erstellt. Mehr Infos: www.jyu.fi/digiphyslab

Digitale Signalverarbeitung

Lehrendenversion

30.1.2023



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



Dieses Werk ist lizenziert unter einer [Creative Commons Namensnennung-
Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0 International Lizenz](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

Digitale Signalverarbeitung – Lehrendenversion

Überblick über das Experiment

- Thema: Mechanik, Schwingungen, diskrete Fouriertransformationen, digitale Signalverarbeitung
- Zielgruppe: Physikstudierende und Lehramtsstudierende für Physik. Geeignet für Studierende, die mit komplexen Zahlen vertraut sind und Erfahrung mit Laborarbeit haben. Programmierkenntnisse sind nicht erforderlich.
- Zeitrahmen: 4 Stunden für die Grundaufgabe mit detaillierterer Berichterstattung als Hausaufgabe.
- Es wird empfohlen, einzeln oder zu zweit zu arbeiten, damit beide Studierenden die Beispiele im Notizbuch auf ihrem eigenen Bildschirm verfolgen und durcharbeiten können.

Die diskrete Fourier-Transformation und der FFT-Algorithmus bilden die Grundlage für eine Vielzahl von Anwendungen. In dieser Experimentieraufgabe erforschen die Studierenden auf einer grundlegenden und intuitiven Ebene, was die Fourier-Transformation tut und wie sie auf gesammelte Daten angewendet werden kann, um die Frequenz oder Frequenzen in einem periodischen Signal zu finden.

Benötigte Ausrüstung

- Smartphone-Beschleunigungssensor
- Computer mit Internetzugang zum Bearbeiten und Ausführen des Python-Notebooks

Abgesehen von der Beschaffung der aufgeführten Geräte erfordert dieses Experiment wenig Vorbereitung im Vorfeld. Den Studierenden wird empfohlen, die kostenlose Smartphone-App *Phyphox* bereits vor der Sitzung herunterzuladen, wenn das Labor in Präsenz durchgeführt wird.

Kurzanleitung zur App *Phyphox*

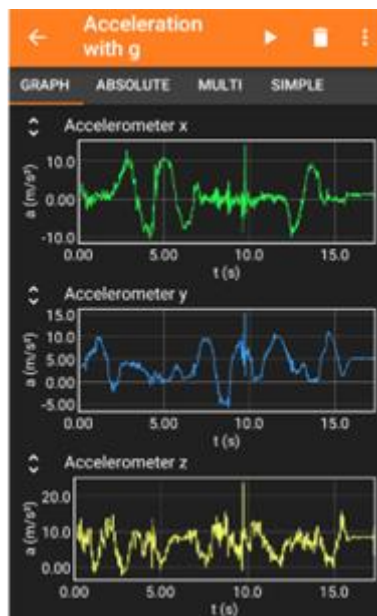


Abbildung 1: Beispielsansicht einer Beschleunigungsmessung in der App *Phyphox*.

Für dieses Experiment muss man die Beschleunigung messen, um die Frequenz einer Vibration oder eines anderen periodischen Signals zu bestimmen. In Abbildung 1 zeigen wir das Tool *Beschleunigung* in *Phyphox*. Standardmäßig erhalten die Studierenden keine Schritt-für-Schritt-Anleitung zur Verwendung der App, sondern sie sollten nach Informationen suchen und in der App selbst experimentieren, um herauszufinden, wie sie die benötigte Messung durchführen können. Entscheidend ist, dass jede Achse im Beschleunigungssensor einer Richtung auf dem Smartphone zugeordnet und diese bei Messungen berücksichtigt wird.

Beachten Sie, dass es in *Phyphox* zwei Tools zur Beschleunigungsmessung gibt: *Beschleunigung mit g* und *Beschleunigung (ohne g)* (linearer Beschleunigungssensor). Diese haben typischerweise einen wichtigen Unterschied zwischen ihnen: Der lineare Beschleunigungssensor hat eine niedrigere Abtastfrequenz als *Beschleunigung mit g* (z. B. 200 Hz vs. 400 Hz). Wenn die höhere Abtastfrequenz benötigt wird, sollte die *Beschleunigung mit g* verwendet werden.

Um Daten aus *Phyphox* zu exportieren, klickt man auf die drei Punkte in der oberen rechten Ecke der App und wählt „Daten exportieren“, um aus verschiedenen Dateiformaten für den Export zu wählen.

Beispiel mit Kommentaren und Vorschlägen

In seiner Grundform ist das Experiment recht offen und den Studierenden bleibt noch viel Entscheidungsfreiheit. Im Folgenden werden wir mögliche Richtungen skizzieren, die das Experiment einschlagen kann, und einige häufige Probleme, mit denen die Studierenden in unseren Pilotläufen konfrontiert waren.

Die Notebook-Beispiele

In Abbildung 2 zeigen wir ein Beispiel für eine seltsam aussehende Sinusfunktion. Es sieht wild aus, bis man den sehr kleinen Multiplikator auf der y-Achse erkennt.

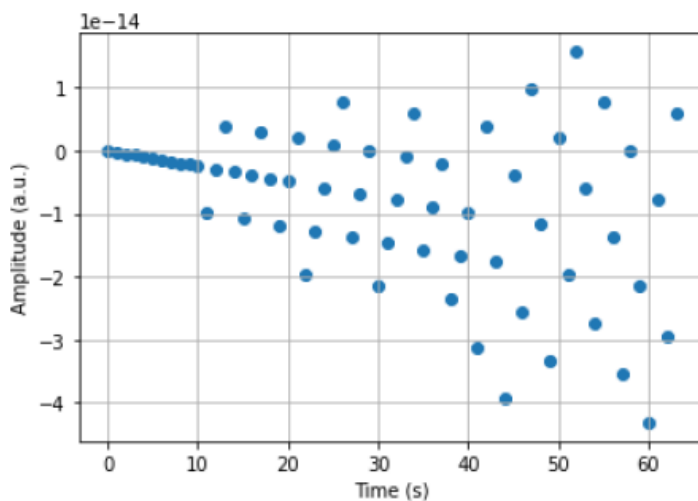


Abbildung 2: Eine seltsame Sinusfunktion, die durch eine bequem gewählte Stichprobe erzeugt wird.

Abbildung 3.

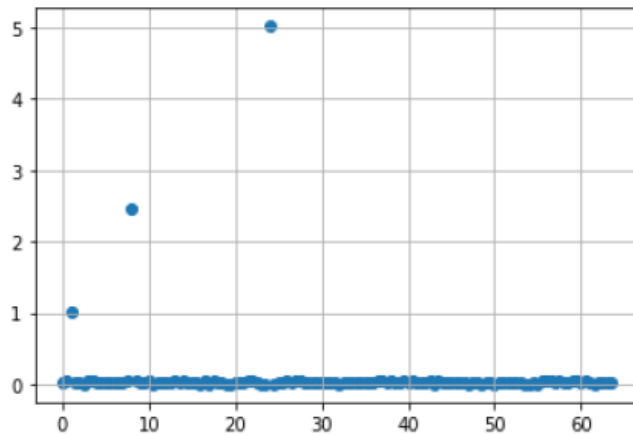


Abbildung 3: Fourier-Transformation eines Signals, das aus Sinuskomponenten mit Frequenzen von etwa 1, 8 und 24 Hz besteht.

Hier findet kein Aliasing statt, aber wenn der/die Studierende eine hohe Frequenz hinzufügt, wird er oder sie einen Peak bei einer Frequenz erhalten, die in dem Signal eigentlich gar nicht vorhanden ist. Das Hinzufügen einer 80-Hz-Komponente Abbildung 4 wird bei etwa 48 Hz angezeigt.

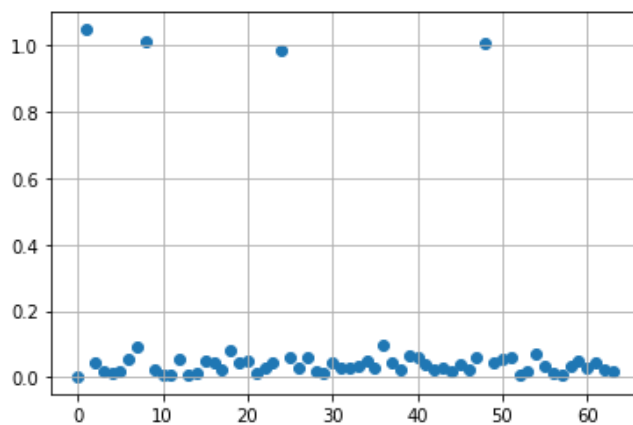


Abbildung 4: Amplitudenspektrum eines ähnlichen Signals wie in Abbildung 3, jedoch mit einer zusätzlichen 80-Hz-Komponente, die aufgrund von Aliasing bei 48 Hz angezeigt wird.

Planung des Experiments

Hier müssen die Studierenden ein paar Dinge beachten:

- Welche Komponente der Beschleunigung sollten sie verwenden?
 - Um herauszufinden, wie die Beschleunigungssensordaten protokolliert werden, sind einige Tests erforderlich. In *Phyphox* erhält man die x-, y- und z-Komponenten der Beschleunigung, und diese basieren auf einem festen Koordinatensystem auf dem Telefon. Die Studierenden müssen bei den Messungen über die Ausrichtung des Telefons nachdenken und auch darüber, in welcher dieser Komponenten das zu untersuchende periodische Signal am sichtbarsten ist.
- Wie lange die Messung ausgeführt werden soll. Wie viele Daten benötigt man? Gibt es eine Möglichkeit für eine wiederholte Messung?

- Sie müssen ein Signal auswählen, das sie interessiert. Es gibt Beispiele im Aufgabendokument, aber die Studierenden werden ermutigt, ihr eigenes Ziel zu entwickeln.
- Wie schätzt man die Messunsicherheit?

Eine kurze Anmerkung zur Messung der Herzfrequenz über die in den Aufgabenanweisungen angegebene Methode: Es ist möglich, aber die Interpretation der Fourier-Transformationsdaten ist möglicherweise nicht so klar wie in den anderen Fällen. Das resultierende Spektrum könnte in etwa wie in Abbildung 5. Hier besteht das Signal aus vielen Komponenten mit kleinen Amplituden. Der niedrigste Peak liegt bei der tatsächlichen Herzfrequenz und die anderen Peaks sind ein Vielfaches davon.

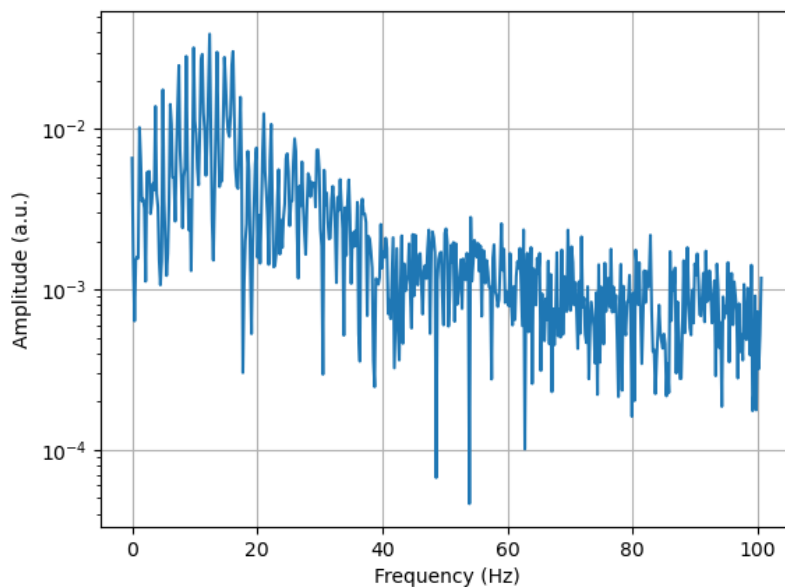


Abbildung 5: Amplitudenspektrum eines Herzschlagsignals, gemessen durch Halten eines Telefons an die Brust.

Testen der Ausrüstung

Um herauszufinden, wie der Beschleunigungssensor funktioniert, sind einige Tests erforderlich. Es ist ratsam, einige Tests durchzuführen, um sich mit dem digitalen Werkzeug vertraut zu machen und sicherzustellen, dass man weiß, welche Achse auf dem Telefon in welche Richtung zeigt.

Datensammlung

Ein Student in einem Pilotprojekt beschloss, Vibrationen in einem Desktop-Computer zu messen. Der Computer wurde auf einem Gestell unter einem Tisch montiert und das Gestell konnte so als eine Art Pendel verwendet werden, um auch eine Niederfrequenz-Komponente des schwingenden Computers zu sehen. Sie stellten das Telefon auf das Gestell mit dem Computer, so dass die Vibrationen in der x-Komponente der Beschleunigungssensordaten am sichtbarsten waren.

Datendarstellung und -analyse

Die Daten und das Frequenzspektrum sind in Abbildung 6 (Achsenbeschriftungen fehlen: links die x-Komponente der Beschleunigung als Funktion der Zeit, rechts das Frequenzspektrum in Hz).

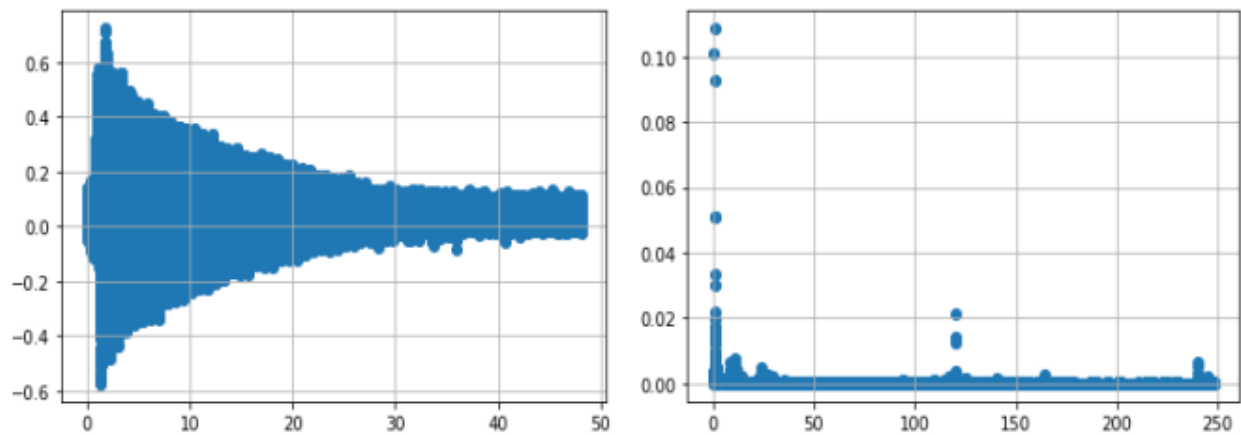


Abbildung 6 Links: Die Beschleunigung, die von einem Telefon gemessen wird, das auf einem Computer auf einem schwingenden Computergestell platziert ist. Rechts: Das resultierende Amplitudenspektrum.

Es wurden Peaks um 1 Hz, 10 Hz, 25 Hz und 120 Hz identifiziert. Die niedrigste Frequenz wurde dem Schwingen des Gestells zugeschrieben. Es gab eine Hypothese, dass die größte Vibration vom Lüfter des Computers kommt, aber dies kann im Grunde nur die Peaks um 10 Hz und 25 Hz erklären. Die Recherche zeigte, dass 120 Hz eine typische Frequenz einer HDD-Festplatte ist, und der im Experiment verwendete Computer hatte eine solche Festplatte verbaut. Daher wurde der klare Peak bei 120 Hz der Festplatte des Computers zugeschrieben.

Eine gründlichere Analyse könnte durchgeführt werden, indem ein Gauß-Fit für die Peaks verwendet wird, um auch eine Schätzung der Peakbreite und der Unsicherheit zu erhalten. Dozenten können entscheiden, ob sie sich auf die Methode konzentrieren oder tiefer in die Analyse einsteigen möchten.

Bericht

Wir haben einen prägnanten *computational essay* als Beispiel für einen Bericht verwendet, den die Studierenden aus diesem Experiment erstellen können. Es ist wichtig, dass die Dozenten den Studierenden ihre eigenen Kriterien dafür geben, was von ihnen in dieser Bewertung erwartet wird.

Mögliche Änderungen

- Wenn die Zeit für die Berichterstellung begrenzt ist, können Sie sich dafür entscheiden, am Ende des Experiments eine Diskussion über die wichtigsten Punkte der Bewertung zu führen.
- Wenn mehr Zeit für die Aufgabe zur Verfügung steht, kann man weitere Beispiele und Aspekte der digitalen Signalverarbeitung einbeziehen, zum Beispiel die Verwendung von Fensterfunktionen.