

Übungsblatt: Das Schuhpendel – Von der Handymessung zum Bayesschen Fit

DSA Roßleben – Kurs 5.1

Szenario: Oh nein! Ein diabolisches Unwetter apokalyptischen Ausmaßes hat alle Zollstöcke, Lineale und Maßbänder in Roßleben zerstört! :(Du hast nur dein Handy, etwas Schnur und deine Schuhe (und einen Laptop mit Python darauf) und musst *dringend* für die faire Austragung des Papierfliegerwettbewerbs die Höhe des Balkons im Innenhof messen. Wenn du doch nur eine gute Idee hättest, wie du mithilfe von *etwas Physik und Statistik* die Höhe messen könntest, ohne ein Maßband zu benutzen...

Teil A: Experiment und Rohdaten

Aufgabe 1

Aufbau und Datenaufnahme (kein Computer nötig).

- Installiere eine Sensor-App auf deinem Smartphone, die die Beschleunigung (*g-Force*, in Einheiten von g) mit Zeitstempel aufzeichnet und als CSV-Datei exportieren kann (z. B. eine „Physics Toolbox“-App – sie ist kostenlos).
- Baue ein Pendel: Verpacke dein Handy sicher (z. B. in einer Socke oder deinem Schuh) und befestige es an einer möglichst langen Schnur (Treppenhaus, Ast, Balkon – je länger, desto langsamer und einfacher zu vermessen ist die Schwingung).
- Starte die Aufnahme, lenke das Pendel um einen moderaten Winkel aus und lass es los. Lass es mindestens 15–20 Sekunden frei schwingen, bevor du die Aufnahme stoppst. Frage eine umstehende Person, ein Video von dir dabei zu machen, damit du die Hände frei hast und später in deinem Labortagebuch noch alle Details deines Versuchs rekonstruieren kannst (und Simon und Carlo etwas zu Lachen haben).
- Exportiere die Messung als CSV-Datei und übertrage sie auf deinen Laptop.

Aufgabe 2

Rohdaten einlesen und Kanal identifizieren.

- Lade deine CSV-Datei mit `np.loadtxt(dateiname, delimiter=",", skiprows=1)` (die erste Zeile enthält meist nur die Spaltennamen). Typischerweise stehen die Spalten für Zeit t (in Sekunden) und die drei Beschleunigungskomponenten a_x, a_y, a_z (in Einheiten von g).
- Plotte alle drei Komponenten gegen die Zeit (drei Teilplots übereinander, geteilte x -Achse).
- Identifiziere: (i) welche Achse eine saubere, regelmäßige Schwingung zeigt (das hängt davon ab, wie du das Handy an der Schnur ausgerichtet hast), und (ii) ein Zeitfenster $[t_{\text{start}}, t_{\text{end}}]$, das die Auslenk- und Stopp-Bewegung beim Anfassen des Handys ausschließt und nur das freie Schwingen enthält.

- Zentriere die Daten in diesem Fenster (ziehe den Mittelwert ab), damit die Schwingung um 0 oszilliert.

Teil B: Ein erster, naiver Blick

Aufgabe 3

Cosinus von Hand anpassen.

- Definiere ein einfaches Modell $a(t) = A \cos(\omega t + \psi_0)$ und plote es zusammen mit deinen zentrierten Daten $a_z(t)$ aus Aufgabe 2.
- *Probiere von Hand* verschiedene Werte für A , ω und ψ_0 aus, bis die Kurve die Schwingung deiner Daten – insbesondere die *Periode* – gut trifft.
- Argumentiere, warum die Pendelfrequenz aufgrund von Dimensionsanalyse $\propto \sqrt{g/L}$ sein muss. Nimm an, dass diese Kreisfrequenz ω direkt die Pendelfrequenz ist, also $\omega = \sqrt{g/L}$. Bestimme damit, unter der Annahme $g = 9.81 \text{ m/s}^2$, die Pendellänge L .
- Vergleiche das Ergebnis mit der $\pi \times$ Daumen-geschätzten Höhe, in der du die Schnur hast halten lassen. Passt das?

Teil C: Was misst das Handy wirklich?

Aufgabe 4

Der Widerspruch aus Aufgabe 3 – und seine Auflösung.

Für kleine Auslenkungen schwingt ein Pendel gemäß $\varphi(t) = \varphi_0 \cos(\omega t)$ mit $\omega = \sqrt{g/L}$ (die Auslenkung φ ist der Winkel der Schnur zur Vertikalen). Das Handy misst aber nicht direkt den Winkel φ , sondern die Beschleunigung entlang seiner eigenen Achsen – und die hängt über die Projektion der Schwerkraft bzw. die Zentripetalbeschleunigung von $\varphi(t)$ in *zweiter Ordnung* ab, z. B. über $\cos \varphi \approx 1 - \varphi^2/2$.