

Mechanische Schwingungen: Fahrbahnexperimente

Nils Wüchner, Seminar Esslingen, Johannes-Kepler-Gymnasium Stuttgart

wuechner@seminar-esslingen.de

CC-BY-NC-SA

1. Dezember 2024



Speziell gefertigte 3D gedruckte Fahrbahnen ermöglichen die experimentelle Darstellung von harmonischen und nicht hamronischen Schwingungen im Dynamikunterricht der gymnasialen Oberstufe. Einfache Erweiterungen liefern sogar Anwendungsoptionen im Bereich Energieerhaltung der Mittelstufe.

1 Einführung

Im Dynamikunterricht der Oberstufe werden klassische schwingungsfähige Systeme wie Feder-Masse- oder Faden-Masse-Oszillatoren behandelt. Vertiefungen umfassen oft Auftriebs- oder U-Rohr-Oszillatoren mit Flüssigkeiten. Der Fokus liegt dabei auf harmonischen Schwingungen, die analytisch lösbar sind. Ergänzend können speziell designte Fahrbahnen genutzt werden, um Analogien und Gegenbeispiele darzustellen. Im Folgenden werden eine Analogie zum Fadenpendel sowie eine anharmonisch Schwingung beschrieben.

2 Design-Idee

Harmonische Schwingungen, die durch eine trigonometrische Funktion beschrieben werden können, zeichnen sich durch eine zur Auslenkung proportionale Rückstellkraft aus:

$$F_{\text{Rück}} \sim -s(t).$$

Die Periodendauer hängt von Systemgrößen wie der Fadenlänge oder der Federkonstanten ab. Feder-Masse-Oszillatoren erlauben so z. B. den Aufbau von Pendeln mit definierten Periodendauern.

Analog können Kugeln auf Fahrbahnen mit geeignetem Krümmungsradius näherungsweise harmonische Schwingungen ausführen. Als Gegenbeispiele dienen Fahrbahnen, bei denen die Rückstellkraft nicht proportional zur Auslenkung ist, wie etwa bei V-förmigen Profilen. Hier entspricht die Rückstellkraft der konstanten Hangabtriebskraft $F_H = F_G \sin(\alpha)$. Für lineare Hangbereiche gelten die Bewegungsgleichungen der gleichmäßig beschleunigten Bewegung.

3 Umsetzung und Ergebnisse

Die 3D-gedruckten Fahrbahnen sind 40 cm breit und einige Zentimeter hoch. Sie werden in zwei Teilen gedruckt, sodass handelsübliche Drucker mit 20×20 cm ausreichend sind. Die Profilhälften werden mit einer

dünnen Holzplatte und acht kleinen Schrauben verbunden. Die Holzplatte sollte vorab mithilfe einer Wasserwaage nivelliert werden.

Als Oszillatoren dienen handelsübliche Billardkugeln, wobei sich Vollkugeln für die Videoanalyse mit Apps wie Viana besonders bewährt haben.

3.1 Harmonisches Analogon zum Fadenpendel

Ein Sekundenpendel ($T = 2 \text{ s}$) erfordert eine Fadenlänge von $l \approx 0,9936 \text{ m}$. Eine Fahrbahn mit einem entsprechenden Radius ergibt eine leicht abweichende Periodendauer von ca. 2,15 s. Die Schwingung ist harmonisch und gedämpft.

Mit dem Videoanalyse-Programm Viana wurden in Abbildung 1 Weg-Zeit- und Geschwindigkeits-Zeit-Diagramme erstellt. Das Weg-Zeit-Diagramm zeigt eine Cosinus-Funktion, während das Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm eine gespiegelte Sinus-Funktion darstellt.

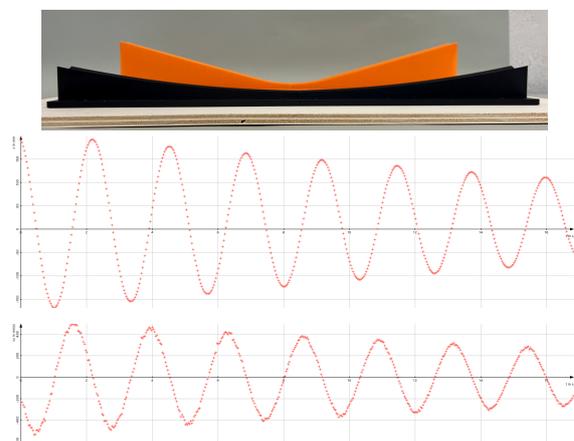


Abbildung 1: 2 s-Bahn

3.2 V-Profil

Die konstante Rückstellkraft des V-Profiles (Abbildung 2) erzeugt eine gleichmäßige Beschleunigung. Das Weg-Zeit-Diagramm ist parabelförmig, das Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm linear, und die Beschleunigung ist abschnittsweise konstant.

gungen erfahrbar zu machen, und bieten flexible Einsatzmöglichkeiten durch individuelles Design.

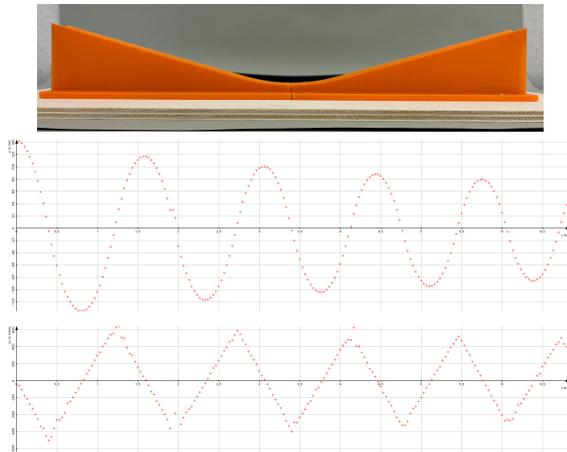


Abbildung 2: V-Profil

3.3 Galilei-Profil

Das Galilei-Profil (Abbildung 3) besteht aus zwei schiefen Ebenen mit gleichem Ausgangsniveau und einem Längenverhältnis von 3:1. Lernende finden es oft kontraintuitiv, dass eine Kugel auf der gegenüberliegenden Seite dieselbe Höhe erreicht, sodass gegen Präkonzepte z.B. zur Energie experimentiert werden kann.

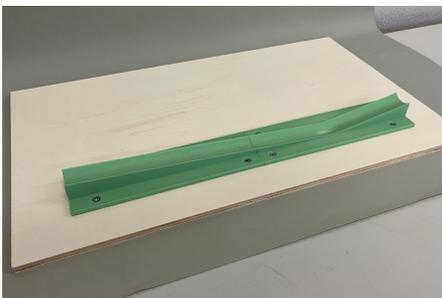


Abbildung 3: Galilei-Profil

3.4 Umsetzung im Unterricht

Die Fahrbahnen lassen sich individuell in den Unterricht integrieren. Die 2 s-Bahn kann zur Lernzielkontrolle im Kontext von Fadenpendeln verwendet werden. Das V-Profil bietet sich nach der Betrachtung harmonischer Schwingungen als anschauliches Gegenbeispiel an.

Das Galilei-Profil eignet sich zur Einführung, als Lernzielkontrolle oder zur Veranschaulichung der Energieerhaltung. Es bietet die Möglichkeit, Präkonzepte zu ermitteln, Energieumwandlung zu analysieren und Bilanzierungen zu üben.

4 Zusammenfassung

3D-gedruckte Fahrbahnen eröffnen neue Perspektiven im Dynamikunterricht der Oberstufe. Sie ermöglichen es, harmonische und anharmonische Schwin-