

Das chaotische Magnetpendel

Erfahrungen aus dem Unterricht

Von Jens Wilbers, Nils Bucker, Michael Komorek, Reinders Duit und Helga Stadler

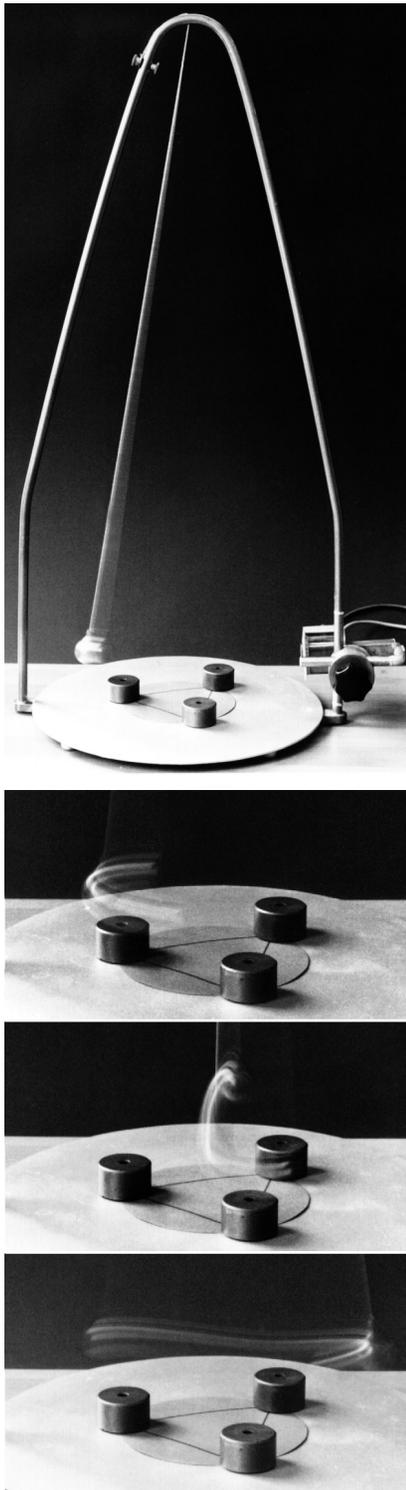


Abb. 1: Magnetpendel in Bewegung

Das Magnetpendel nimmt in der Reihe von Experimenten, die chaotisches Verhalten demonstrieren, eine Sonderstellung ein: Sein Aufbau ist auch für jüngere Schülerinnen und Schüler durchschaubar und sein Verhalten überrascht und fasziniert die meisten von ihnen. Obwohl Schülerinnen und Schüler die Bewegungen des Pendels mit eigenen Worten und mit physikalischen Begriffen beschreiben können, fällt ihnen die genaue Erklärung des Verhaltens oft schwer. Dennoch sind sie angeregt, über den Zusammenhang von Gesetzmäßigkeit und Vorhersagbarkeit nachzudenken und Konsequenzen für ihr Weltbild zu diskutieren.

In diesem Artikel soll es vor allem um Erfahrungen mit dem Einsatz des Pendels im Unterricht gehen (für andere Aspekte s. a. [1]–[5]). Der Ablauf eines Unterrichtsgangs für die Sekundarstufe I ist im **Kasten 1** auf S. 17 beschrieben. Dieser Unterricht stellt gleichzeitig ein Modul im Unterrichtskonzept zum Thema „Chaos und Struktur“ für Grundkurse in der Sekundarstufe II dar (s. dazu S. 12–14).

Erprobungen und Ergebnisse

Der Unterricht wurde mehrmals in 10. Klassen in Kiel und Wien erprobt [6]. Gegenstand von Untersuchungen war u. a., wie die Lernenden mit ihrer sozialen und materialen Lernumgebung wechselwirken ([7]–[8]). In der Wiener Erprobung stand die Entwicklung von Determinismusvorstellungen im Vordergrund [4]. Zentrale Ergebnisse unserer Studien betreffen folgende Bereiche:

- *Einsatz in Klasse 10:* Die meisten Schülerinnen und Schüler haben verstanden, dass chaotische Systeme zwar deterministischen Gesetzen gehorchen, aber nur eingeschränkt vorhersagbar sind, und dass Labilitäten der Systeme dafür verantwortlich

KLASSE/SCHULFORM:	10; Sek. II/Gymnasium
ZEITUMFANG:	4–8 Unterrichtsstunden (je nachdem, ob das Simulationsprogramm „MagPen“ eingesetzt wurde oder nicht)
THEMA:	chaotisches System; starke/schwache Kausalität
METHODEN:	Gruppen- und Partnerarbeit bei Schülerversuchen und Computersimulationen; Lernen an Stationen
WEITERE MATERIALIEN:	zu den Einzugsgebieten der Magnete s. http://www.schule.slueck.de/projekte/Magnetpendel.php

sind (vgl. [6]–[7]). Daneben konnten in Klasse 10 auch Begriffe wie „starke/schwache Kausalität“ oder „chaotisches System“ vermittelt werden. Allerdings hatten einige Schüler bis zum Ende des Unterrichts Schwierigkeiten, die Mikroprozesse im Bereich der labilen Gleichgewichte darzustellen. Wie sich Ungenauigkeiten beim Start oder Störungen im Detail auswirken, haben deshalb nicht alle Schüler in der beabsichtigten Weise verstanden. Erwähnt sei, dass viele der Mädchen aktiver waren als im üblichen Physikunterricht.

- *Nutzung von Analogien:* Die Nutzung von Analogien (und von Analogmodellen wie der Chaosschüssel) ist ein komplexer Prozess. Er beansprucht mehr Zeit als erwartet und kann Lernende in die Irre führen. Beispielsweise interpretieren einige Schüler den Schmetterling in der Berggratanalogie (s. **Abb. 2**) nicht als Symbol für kleine Störungen, sondern als Windanzeiger [5]. Die Entschlüsselung des vermeintlich Bekannten und das Verstehen des Unbekannten (des Magnetpendels) müssen Hand in Hand gehen und benötigen häufige Perspektivwechsel ([8]–[9]). Trotz dieser Probleme hat der Einsatz von Analogien zu positiven Effekten geführt; so haben

Magnetpendel

Das Magnetpendel zeigt eine unregelmäßige Bewegung. Ist der Ausgang der einzelnen Pendeldurchgänge vorhersagbar? Bearbeitet dazu folgende Fragen und Aufgaben in Vierer-Gruppen:

▼ AUFGABEN

- Sind die Ergebnisse der einzelnen Pendeldurchgänge zufällig oder gibt es eine Regelmäßigkeit? Führt eine nicht zu kleine Anzahl von Pendelvorgängen durch und fertigt eine Strichliste der Magnete an, bei denen das Pendel stehen bleibt.
- Kommt ihr zu dem Ergebnis, dass die Reihenfolge der Magnete, über denen die Kugel zum Stehen kommt, nicht vorhersagbar ist? Dann untersucht, warum das so ist:
 - Verschafft euch Klarheit über die Kraftverhältnisse, die beim Magnetpendel herrschen. Legt dazu ein Blatt Papier unter die Magnete, haltet die Kugel am Faden zwischen zwei Fingern und notiert auf dem Papier, in welche Richtung die Kugel gezogen wird. Wie sieht am Schluss das „Kräftebild“ aus?
 - Um die Kraftfelder zu verdeutlichen, legt eine Folie auf die Magnete und streut Eisenpulver darauf. Welches Feldlinienbild entsteht? Präsentiert das Ergebnis auf dem Projektor.
- Klärt jetzt die Frage:

Warum sind die Bewegung der Pendelkugel und der „Zielmagnet“ nicht vorhersagbar, obwohl die wirkenden Kräfte und die wichtigen Gesetzmäßigkeiten im Prinzip bekannt sind?

 Überlegt dabei:
 - Wie wichtig ist es, dass der Start exakt wiederholt werden kann, d. h., dass die Position der Kugel beim Start exakt gleich ist? (Versucht, mithilfe einer mechanischen oder elektrischen Startvorrichtung möglichst exakt vom gleichen Punkt aus zu starten.)
 - Welche Bedeutung haben Störungen während der Bewegung für die Vorhersagbarkeit von Bewegung und Zielmagnet?
 - Inwiefern haben auch sehr kleine Störungen eine Bedeutung?
 - Inwieweit kann man kleine Störungen (und natürlich auch große) ausschalten?
 Nutzt für eure Erklärungen die „Chaosschüssel“ und die Abbildungen eines Berggrates und eines Walls.
- Formuliert eure Untersuchungsergebnisse auf einer Folie (evtl. mit Skizze) und präsentiert sie der Klasse.

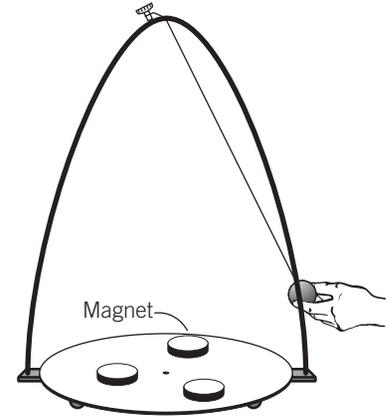


Abb. 1: Magnetpendel