

Aus "Auf und Ab" mach „Hin und Her“

Parametrische Anregung im Freihandversuch.

H. Joachim Schlichting

Das Phänomen

Auf einer Volkshochschulveranstaltung zum Thema Freihandversuche fragte ich die Teilnehmer eines Kurses, ob es möglich sei, ein Fadenpendel durch rhythmisches Verkürzen des Fadens (gemäß Abb. 1) in eine Hin- und Her- Schwingung zu versetzen. Nach kurzer Überlegung meinte einer der Teilnehmer, das könne nur einer: Münchhausen. Denn das sei genauso möglich oder unmöglich, wie sich selbst am Schopfe aus dem Sumpf zu ziehen.

Eine bessere Motivation für den folgenden Freihandversuch konnte ich gar nicht erwarten. Ich legte das Fadenpendel (längere Schnur mit Stahlkugel) über einen an der Decke angebrachten Haken. Dann ruckte ich etwas am Faden, um auf diese Weise eine Anfangsauslenkung zu erzielen. Schließlich begann ich abwechselnd an der Schnur zu ziehen und sie wieder loszulassen. Die Zuschauer konnten miterleben, wie das Pendel durch derartiges rhythmisches Ziehen am Faden zunächst sehr langsam, dann aber deutlich zunehmend zu sehr großen Amplituden aufgeschaukelt wurde.

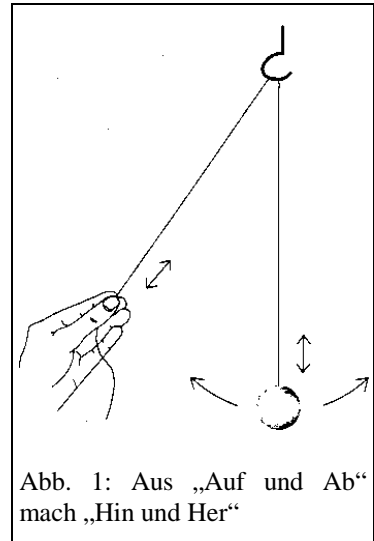


Abb. 1: Aus „Auf und Ab“ mach „Hin und Her“

Der Trick

Der Trick besteht natürlich in der Art und Weise, wie an der Schnur gezogen wird. Er ist einfach, bedarf aber einiger Übung. Im Prinzip muß man dann an der Schnur ziehen, wenn das Pendel den tiefsten Punkt durchläuft, und sie an den Umkehrpunkten wieder loslassen, so daß sich die ursprüngliche Pendellänge wieder einstellt.

Am Anfang, wenn die Auslenkungen noch klein sind, ist es schwierig, den günstigsten Zeitpunkt zum Ziehen bzw. Loslassen (Pumpen) zu treffen. Außerdem wird man es kaum schaffen, jede sich bietende günstige Gelegenheit zum Pumpen (pro Schwingungsperiode zwei) auszunutzen. Da es darauf ankommt, seinen Rhythmus zu finden, sollte man vielleicht nur jede zweite oder dritte Pumpmöglichkeit ausnutzen und sich darauf konzentrieren, den günstigsten Zeitpunkt möglichst präzise zu treffen. Da die Schwingungsdauer eines Pendels mit der Pendellänge zunimmt, kann man die Reaktionszeiten dadurch verlängern, daß man ein möglichst langes Fadenpendel benutzt. Mit zunehmender Auslenkung wird es dann immer einfacher, im richtigen Moment zu reagieren. Wenn die Auslenkung hinreichend groß ist, kann es schließlich sogar gelingen, beide günstigen Pumpzeitpunkte pro Periode auszunutzen. Dann erreicht das Pendel sehr schnell die gewünschte Maximalauslenkung.

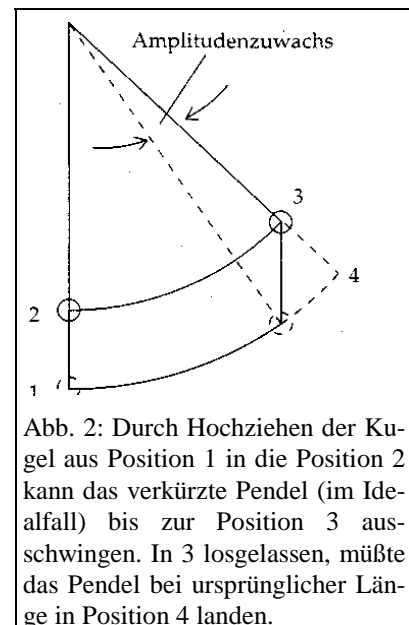


Abb. 2: Durch Hochziehen der Kugel aus Position 1 in die Position 2 kann das verkürzte Pendel (im Idealfall) bis zur Position 3 ausschlagen. In 3 losgelassen, müßte das Pendel bei ursprünglicher Länge in Position 4 landen.

Erklärung

Beim Schwingen bewegt sich die am Faden hängende Kugel nicht nur hin und her. Sie wird auch vom tiefsten Punkt aus bis zum Umkehrpunkt angehoben, bis die gesamte Bewegungsenergie in Höhenenergie umgewandelt ist. Da ein weiterer Anstieg unmöglich ist, kommt es zur Bewegungsumkehr. Die Kugel wird wieder auf

den tiefsten Punkt zu beschleunigt, indem sie entsprechend an Höhe verliert. Im tiefsten Punkt hat sich alle Höhenenergie in Bewegungsenergie verwandelt. Die Geschwindigkeit ist maximal und treibt die Kugel aufgrund der Trägheit übers Ziel hinaus, so daß sie erneut Höhe gewinnt, dadurch langsamer wird, abermals umkehrt usw.

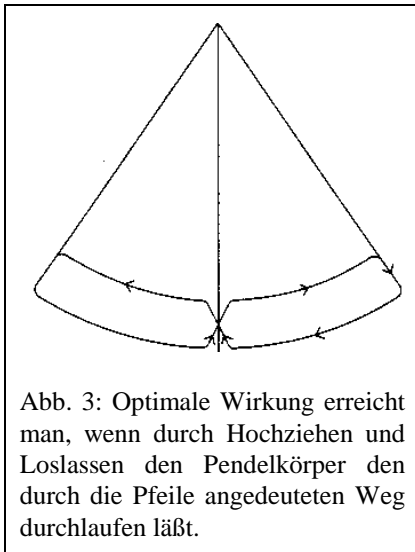


Abb. 3: Optimale Wirkung erreicht man, wenn durch Hochziehen und Loslassen den Pendelkörper den durch die Pfeile angedeuteten Weg durchlaufen läßt.

Durch Verkürzen des Seils hebt man die Kugel bereits ein Stück an. Deshalb kann die Kugel dieser Hubhilfe entsprechend höher steigen und vor allem weiter ausschlagen (Abb. 2). Läßt man nun die Kugel im Umkehrpunkt wieder auf die ursprüngliche Pendellänge sinken, so bleibt die vergrößerte Amplitude weitgehend erhalten. Der Kreisprozeß: Verkürzen des Pendels im tiefsten Punkt und Verlängern des Pendels im Umkehrpunkt hat also eine Amplitudenvergrößerung zur Folge. Dieser Vorgang kann natürlich beliebig oft wiederholt und zur oben beschriebenen Aufschaukelung der Schwingung genutzt werden (Abb. 3).

Die Aufschaukelung der Schwingung geht auf sichtbare Weise mit einer Erhöhung der Energie des Pendels einher. Es stellt sich daher die Frage, woher die Energie kommt. Jemand, der ein Pendel durch den obigen Pumpvorgang in Gang setzt, wird die Antwort insbesondere dann geradezu spüren, wenn die Kugel schwer ist: Die Energie stammt aus den Armmuskeln.

Man wird einwenden, daß die durch den Hub der Kugel investierte Energie durch das anschließende Absinken der Kugel wieder freigegeben wird. Das ist aber deshalb nicht der Fall, weil beim Hub nicht nur die Gewichtskraft überwunden werden muß sondern zusätzlich die Zentripetalkraft, mit der die Kugel auf der Kreisbahn gehalten (also ständig von der Geraden abgelenkt) wird, erhöht werden muß. Demgegenüber wird bei der im Umkehrpunkt zum Stillstand kommenden Kugel nur die potentielle Energie wieder frei.

Anmerkungen zur Methodik

Mechanische Schwingungen gehören zum Lehrstoff der Sekundarstufe I. Soweit dieses aus den aktuellen Schulbüchern zu entnehmen ist, beschränkt man sich in der Regel - wohl wegen der einfachen Formeln- auf lineare Schwingungen. Im Alltag begegnen den Schülern aber vorwiegend nichtlineare Schwingungen und Probleme, die mit den linearen Gesetzmäßigkeiten nicht erfaßt werden können. Zwar werden in den Schulbüchern zuweilen alltägliche Schwingungsprobleme, z.B. die Schaukel, angesprochen, ihre Funktionsweise wird aber meist nicht erarbeitet. Der vorliegende Freihandversuch stellt meines Erachtens eine Möglichkeit dar, den üblichen Stoff durch ein typisches Alltagsproblem zu ergänzen: Wie bringe ich eine Schaukel in Gang? Die praktische Antwort auf diese Frage kennen die Schüler bereits. Wohl ein jeder von ihnen vermag eine Schaukel in Gang zu setzen und womöglich zu sehr großen Amplituden auszulenken, ohne das Gefühl zu haben, eine Münchhausen- Unmöglichkeit zu vollbringen. Sollte es da nicht gelingen, den Schülern zumindest eine Ahnung davon zu vermitteln, wie der Physiker diese Schaukelaktivitäten beschreibt.

Die Botschaft des vorliegenden Freihandversuchs ist: Eine Schaukel kann durch Heben und Senken des Schwerpunkts (Pumpen) in Gang gesetzt werden. Dies wird weitgehend realisiert durch die Technik des phasenrichtigen Aufrichtens und Hinhockens (z.B. bei einer Schiffschaukel auf dem Jahrmarkt). Aber selbst die weit verbreitete Technik, eine Schaukel im Sitzen durch abwechselndes "Ausfahren" und "Einziehen" der Beine anzutreiben, macht noch zu einem erheblichen Teil vom Heben und Senken des Schwerpunkts und damit von dem im Freihandversuch dargestellten Mechanismus Gebrauch. Dieser kann daher durchaus als großes Modell für die Schaukel dienen.

Wenn diese Beziehung zwischen Fadenpendel und Schaukel hergestellt werden soll, dann ist es wichtig, mit den Schülern zu erarbeiten, daß die auf der Schaukel ausgeführten Bewegungen einem Heben und Senken des Schwerpunktes des Systems darstellen und dem Heben und Senken der Kugel entsprechen.

Zu Demonstrationszwecken ist es vorteilhaft, ein möglichst großes Fadenpendel (langes Seil, schwere Kugel) zu benutzen. Dazu genügt es, das Seil beispielsweise über einen Haken in der Decke des Klassenraums laufen zu lassen. Noch besser wäre es freilich, wenn das Seil über eine Rolle liefe. Damit könnte aber bereits der Rahmen eines Freihandversuchs überschritten werden. Jedenfalls funktionieren nach einiger Übung auch kleine Fadenpendel, die man beispielsweise nur über eine Stuhllehne laufen läßt.

Die Schüler sollten unbedingt aufgefordert werden, sich selbst ein Fadenpendel herzustellen und den Versuch selbst durchzuführen. Allein das Erfolgserlebnis, durch abwechselndes Ziehen und Loslassen ein mit einem schweren Körper versehenes Seil in Schwingung zu versetzen, rechtfertigt meines Erachtens die Einbeziehung dieses Versuchs in den Unterricht. Denn leider trifft auch heute noch zu, was Miller [2] schon vor Jahren beklagte: "Nicht ein einziges Mal hat der Schüler ein Gefühl für die schöne und spannende Bewegung eines Pendelkörpers am Seil bekommen! In der Tat werden viele von ihnen sterben, ohne das je gesehen zu haben".

Literatur

[1] Miller, J.S.: Wichtige Punkte im Unterricht der Physik. In: OECD(Hrsg.): Physikunterricht heute. Frankfurt 1967, S.61.