

Perlenkette

Oliver Stiz und Alexander Züger • MNG Rämibühl • Frühjahr 2015

Bekannt unter dem englischen Begriff «chain fountain» oder «string of beads» stellt dieses Kettenphänomen Physikbegeisterte vor die Herausforderung, für dieses Problem Lösungsansätze zu formulieren. Nach durchgeführtem Experiment und genauer Analyse der Bewegung haben wir selbst insgesamt drei Theorieansätze verfasst welche das Auftreten des Phänomens verdeutlichen.

Modell der Impulsänderung

Gemäss dem Aktionsprinzip der Newtonschen Axiome ist die auf einen Körper wirkende resultierende Kraft gleich der Impulsänderung des Körpers pro Zeiteinheit. Die Kraft, welche sich aus dieser Bewegung ergibt, ist eine Art "Kick", welcher der Gewichtskraft entgegenwirkt und dadurch dieses spezielle Phänomen ermöglicht.

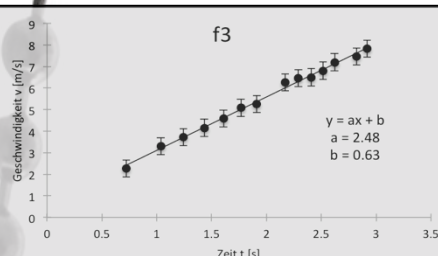
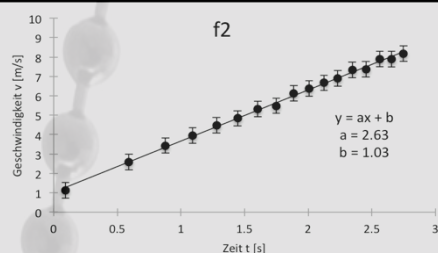
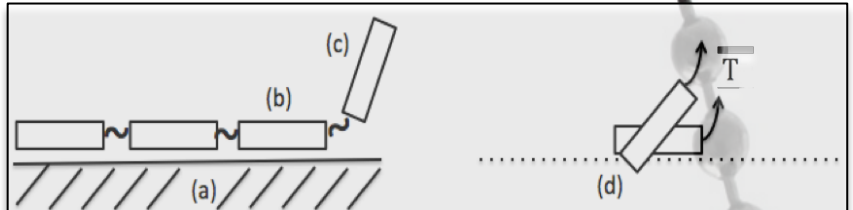
Modell der Kettenstruktur

Bei diesem Modell stellt man sich die Kette als eine Verbindung von kurzen Stäbchen vor (Abbildung 1): Das ruhende Stäbchen (b) wird vom vorausgehenden Stück (c) in Bewegung versetzt und beginnt sich zu drehen. Dabei würde sich das Glied jedoch unter die Unterlage (d) bewegen, was durch die Normalkraft der Unterlage verhindert wird. Die Unterlage drückt die Kette nach oben (eine Art „Kick“) und ist Ursache für die bogenartige Bewegung.

Modell der Zugkräfte

Dieser Modell beschreibt die Bewegung mittels Zugkräften und einer Zentripetalkraft im gekrümmten Bereich der Kette. Man stellt dabei allerdings fest, dass Zugkräfte, Zentripetalkraft und Gewichtskraft nicht die einzigen wirkenden Kräfte sein können. Bei der Aufwärtsbewegung muss eine weitere Kraft entgegen der Erdbeschleunigung wirken. Eine mögliche Kraft könnte der Kick der Unterlage aus dem Modell der Kettenstruktur sein.

Abbildung 1: Grossaufnahme der ruhenden Kette auf der Unterlage (a). (b) sei das ruhende und (c) das bereits in Bewegung gesetzte Kettenglied. T ist die Zugkraft der vorangehenden Kette welche für die Drehung bei (d) verantwortlich ist.



Aus den Hochgeschwindigkeitsaufnahmen der Versuche geht hervor, dass zwischen der Becherhöhe bzw. der potenziellen Energie der Kette und der Höhe des Kettenbogens ein direkter Zusammenhang besteht, wie im Modell der Zugkräfte beschrieben. Die Geschwindigkeitsentwicklung der Kette verläuft linear, jedoch nicht mit Fallbeschleunigung g wie beim angenommenen Freien Fall. Da $v'(t)=a(t)$ folgt dass die Beschleunigung der Kette $a \approx 2.65 \text{ m/s}^2$ beträgt. Die aus dem Modell der Impulsänderung hervorgegangene Formel für die momentane Geschwindigkeit v passt nicht mit den Messungen überein, hingegen beschreibt diese Formel eher die durchschnittliche Geschwindigkeit der Kette.

Abbildung 2 und 3: Kettengeschwindigkeit in Abhängigkeit der Zeit.

Wir haben für diese Bewegung verschiedene Modelle und Lösungsansätze formuliert, welche neben dem Verlauf der Kette auch die Struktur und wirkende Kraftkomponenten betreffen. Für die durchschnittliche Geschwindigkeit der Kette konnten wir eine Formel formulieren, welche von unseren Zeitlupenaufnahmen überprüft werden konnten.