

Spielwiese

Tanzende Puppen und rasende Bürsten

H. JOACHIM SCHLICHTING

Ein auf Borsten stehender Pappbecher oder eine einfache Kleiderbürste werden zu tanzenden und umherrasenden Spielzeugen, wenn man sie geschickt anregt. Ursache ist ein physikalischer Vorgang, der in der Natur und auch in technischen Anwendungen zum Tragen kommt.

Es ist nur eine ganz primitive Puppe, gezeichnet auf einer Papierrolle und bunt ausgemalt (Abbildung 1 links). Und dennoch tanzt sie zu den Klängen von Musik, dreht sich nach Rhythmus und Lautstärke [1]. Dem Geheimnis auf die Spur kommt man, wenn man das Papierkleid lüftet. Tatsächlich kommt gar nicht viel zum Vorschein,

lediglich ein ordinärer Pappbecher, dessen Rand mit Borsten gesäumt ist. Das sind die Tanzbeinchen (Abbildung 1 rechts).

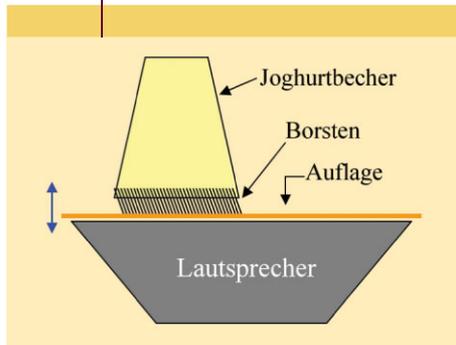
Wir haben es hier mit dem seltenen Fall einer Tänzerin zu tun, die nicht nur die akustische Information, sondern auch die akustische Energie der Musik zu nutzen weiß. Denn die Unterlage, auf der sie tanzt, wird von einem Lautsprecher im Rhythmus der Musik zum Vibrieren gebracht (Abbildung 2). Dieses Auf und Ab macht dem Püppchen eine Beine, was bei der Anzahl schon was heißen will.

Stellt sich die Frage, wie aus einer vertikalen Schwingung des Lautsprechers eine horizontale Drehbewegung hervorgeht. Schauen wir uns die Konstruktion etwas näher an. Die als Beinchen fungierenden Borsten werden in einem etwas von der Vertikalen abweichenden Winkel rund um die Öffnung des Bechers angebracht. Zur Fixierung ge-



Abb. 1 Ein selbst gebasteltes Tanzpüppchen (links) verbirgt unter ihrem Kleid einen Pappbecher auf Borsten (rechts).

ABB. 2 | ANTRIEB



Prinzip der tanzenden Puppe auf einer Lautsprechermembran.

geschlossenen Anordnung zu einer winzigen Drehung. Die Borstenspitzen bleiben dabei relativ zum Boden in Ruhe.

Mit dieser Rumpfdrehung wird gewissermaßen der erste Tanzschritt eingeleitet. Lässt man nämlich den etwas heruntergedrückten Becher wieder los, so schnellen die durchgebogenen Borsten blitzartig in die gestreckte Ausgangslage zurück und heben den Becher an. Dadurch wird einerseits die Belastung und damit die Reibung zwischen Borsten und Unterlage kurzfristig reduziert. Andererseits reagiert der Becher aufgrund seiner im Vergleich zu den Borsten großen Masse träge. Deshalb dreht sich der Becher dabei nicht wieder in die ursprüngliche Position zurück. Bevor er nämlich etwas von dem rücktreibenden Drehmoment der sich entspannenden Borsten „merkt“, sind die Borstenspitzen längst in eine der Drehung entsprechende neue Position geglitten.

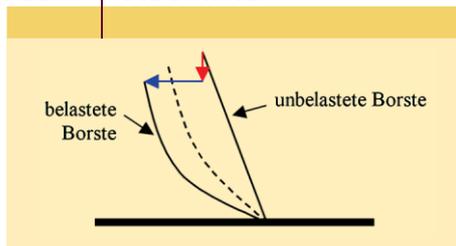
Nach dieser Aufwärtsbewegung sinkt der Becher wieder ab. Dadurch nimmt auch die Belastung der Borsten wieder zu, die sich infolgedessen abermals durchbiegen. Es kommt zu einer Drehung des Puppenrumpfes, wodurch der Bewegungszyklus des nächsten Tanzschrittes eingeleitet wird.

Unter dem Einfluss der Musik geht alles wie von selbst: Die schwingende Unterlage zwingt den Becher in eine permanente Auf- und Abbewegung.

Die damit verbundene periodische Verbiegung der Borsten vermittelt einen ständigen Wechsel zwischen Haften und Gleiten, der zu einer schrittweisen Drehung der Tanzpuppe führt. Dieser Slip-and-stick-Mechanismus liegt zahlreichen Phänomenen sich selbst organisierender Bewegungsvorgänge zugrunde.

Da Musik als ein deterministisch-chaotisches Phänomen angesehen werden kann [1], stellt unser Tanzpüppchen eine Vorrichtung dar, die aus einem regellosen Auf und Ab eine fortschreitende und damit geordnete Bewegung erzeugt. Kurzum: Hier geht auf tänzerische Weise Ordnung aus Chaos hervor.

ABB. 3 | DIE BORSTE



Das Verhalten einer Borste bei Belastung.

nügt ein einfaches Klebeband. Drückt man ein wenig auf den so präparierten Becher, so verbiegen sich die elastischen Borsten (roter Pfeil in Abbildung 3) und bauen eine Rückstellkraft auf, die sie in ihre ursprüngliche Lage zurückzubringen versucht.

Mit dem Verbiegen der Borsten geht eine leichte Bewegung des Puppenrumpfes entgegengesetzt zur Neigung der Borsten einher (blauer Pfeil in Abbildung 3). Diese führt aufgrund ihrer kreisförmig ge-

Die Bewegungsmöglichkeiten der Puppe sind vielfältig. Ob es überhaupt zur Drehung kommt und wie groß die Drehgeschwindigkeit in diesem Fall ist, wird von zahlreichen Variablen bestimmt, wie der Beschaffenheit der Borsten (dünne, dicke, flexible, starre). Auch die Art und Weise, wie sie am Rand des Bechers angebracht sind, insbesondere wie weit sie über den Rand der Becheröffnung hinausgehen und unter welchem Winkel sie orientiert sind, bietet zahlreiche Variationsmöglichkeiten. Darüber hinaus lässt sich die Belastung der Borsten durch Anbringen einer passenden Zusatzmasse gezielt variieren.

Da Musik ein Gemisch aus Schwingungen unterschiedlicher Frequenzen und Amplituden darstellt, hat auch die Wahl des Musikstücks und die Variation der Lautstärke Einfluss auf die Bewegungen der Puppe. Diese Abhängigkeit kann man an den Tanzfiguren erkennen, die sich aus Wechseln zwischen langsamen und schnellen Drehungen zusammensetzen. Die Koordination zwischen Musik und Tanzfigur macht wie beim richtigen Tanz den eigentlichen Reiz des Phänomens aus.

Die Drehrichtung des Tanzpüppchens wird durch den mit der Schrägstellung der Borsten gegebenen Symmetriebruch erreicht. Aber selbst wenn man sich um eine Ausrichtung der Borsten nicht kümmert oder sich sogar bemüht, alle Borsten senkrecht anzubringen, kann man fast immer die Puppe zum Tanzen bringen, wenn auch vielleicht erst bei großer Lautstärke. In diesem Fall wird die Symmetrie durch kleinste zufällige Unregelmäßigkeiten in der Stellung der Borsten gebrochen. Dies führt infolge des auflastenden Puppenrumpfes zu einer Vorzugsrichtung.

Die rasende Bürste

Wegen der Sensitivität eines senkrecht ausgerichteten Borstenkollektivs ist es möglich, selbst eine Kleiderbürste nach demselben Prinzip in Bewegung zu versetzen. Zwar erweist sich unter normalen Bedingungen der Antrieb durch Musik aufgrund des hohen Gewichts als zu schwach. Bringt man jedoch einen Schwingungserreger direkt auf der Bürste an, so kann man diese auf einer beliebigen Unterlage in Bewegung versetzen. Der Schwingungserreger sorgt durch seine Masse zum einen dafür, die Borsten in der einen oder anderen Richtung zu verbiegen, und zum anderen für die zum Antrieb des Systems notwendige Auf- und Abbewegung.

Ein solcher Schwingungserreger lässt sich auf einfache Weise durch einen kleinen Spielzeugmotor realisieren, den man gemeinsam mit der Batterie auf der Bürste anbringt. Es genügt, die Motorachse mit einer leicht exzentrisch angebrachten Zusatzmasse zu versehen (Abbildung 4), um die Bürste zum Mitschwingen (Impulserhaltung) und als direkte Folge davon zum Rasen zu bringen. Eine alternative Energieversorgung bestünde darin, dem Motor die Energie durch eine elektrische Zuleitung zuzuführen und die Bürste wie einen Hund an die Leine zu nehmen.

Der fortschreitenden Bewegung der Bürste liegen dieselben physikalischen Prinzipien zugrunde wie dem Tanz-

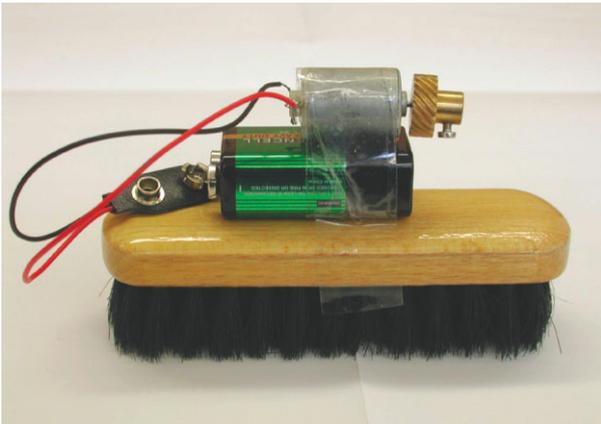


Abb. 4 Eine Bürste wird durch die Schwingungen eines Elektromotors zum rasenden Spielzeug.

püppchen. Mit einer passenden Justierung des Antriebsaggregats auf der Bürste kann man den Bewegungstyp bestimmen: eine Kreisbewegung mit mehr oder weniger großem Radius oder eine Translationsbewegung.

Wandernde Teppiche und kriechende Schlangen

Auch wenn der Selbstzweck dieser Spielzeuge im Vordergrund steht, liegt die Frage nach „ernsthafteren“ Anwendungen und Realisierungen in der Natur nahe. Ein an die rasende Bürste erinnerndes Phänomen, beobachtet man bei kleinen Teppichen und Läufern, die ihrerseits auf einem Teppichboden aufliegen [2]. Durch häufiges Betreten bewegt sich der Läufer entgegen der Vorzugsrichtung der Teppichhaare weiter. Der Grund: Wegen der Belastung knicken die Haare des Läufers ein, wodurch er wie der Rumpf des Tanzpüppchens ein Stück verschoben wird. Lässt die Belastung nach, schnellen die Haare in die Ausgangslage zurück. Aus Trägheit kann der deplatzierte Läufer dieser Bewegung nicht folgen und bleibt in der neuen Lage liegen. Vielfältiger Gebrauch führt zu einem allmählichen Verrutschen des Teppichs, begleitet durch typische Aufwellungen.

Bei der Kriechbewegung einiger Schlangen kommt das Slip-and-Stick-Prinzip zum Tragen. In der Slip-Phase stellen die Schlangen ihre Bauchschuppen nacheinander auf, wodurch der Körper etwas angehoben wird. In der anschließenden Stick-Phase winkelt die Schlange ihre Schuppen leicht an und bewegt sich ein Stück nach vorn. Dann werden die Bauchschuppen wieder aufgestellt und der Zyklus beginnt erneut.

Im Rahmen der Strukturbionik untersucht man eine technische Nutzung dieses Prinzips. So entwickelten französische Wissenschaftler eine der Schlangenhaut ähnelnde Folie, die auf Langlaufski angeheftet wird. Sie sorgt dafür, dass der Skiläufer ungebremst vorwärts gleiten, aber nicht zurückrutschen kann [3].

Grundsätzlich kann man also sagen, dass die geschilderten Bewegungen durch einen schwingungsgesteuerten

Wechsel zwischen Haft- und Gleitreibung zwischen Teilen eines beweglichen Systems und einem festen Untergrund zustande kommen. Dieser Slip-and-stick-Mechanismus führt dazu, dass die reibenden Teile des Systems einen Kreisprozess durchlaufen, in dem sie durch Gleitreibung immer wieder in die Ausgangslage zurückgeführt werden, um durch Haftreibung einen Vortrieb des Systems zu bewirken. Kurzum: Das System stottert, aber es macht sich verständlich.

*

Die Anregung zur Konstruktion des Tanzpüppchens verdanke ich Xingkai Luo.

Zusammenfassung

Bringt man am Rand eines Pappbechers biegsame Borsten an und stellt ihn mit den Borsten auf eine vibrierende Unterlage, so beginnt der Becher zu tanzen. Ursache hierfür sind die elastischen Borsten, welche die vertikalen Schwingungen der Unterlage in eine horizontale Bewegung des Bechers umwandeln. Der hierbei auftretende Slip-and-stick-Mechanismus spielt auch in der Natur und in technischen Anwendungen eine Rolle.

Stichworte

Spielwiese, Tanzpuppe, Bürste, Schwingungen, Slip-and-stick-Mechanismus.

Literatur und Internet

- [1] A. Piotrowski, V. Nordmeier, H. J. Schlichting, Musikalisches Rauschen, in: Bruhn, J. (Hrsg.), Didaktik der Physik, Vorträge der DPG-Frühjahrstagung, Hamburg 1994, S. 355.
- [2] H. J. Press, Geheimnisse des Alltags, Ravensburger Buchverlag, 1997, S. 30.
- [3] www.onlinebroking.at/Architektur/bionik.html

Der Autor



Hans Joachim Schlichting hat gemeinsam mit Christian Ucke die Rubrik Spielwiese begründet und schreibt hierfür seit vielen Jahren.

Anschrift

Prof. Dr. H. Joachim Schlichting,
Universität Münster, Institut für Didaktik der Physik
Wilhelm-Klemm-Straße 10, 48149 Münster.
schlichting@uni-muenster.de