

Vom Zündholz zur zündenden Idee

Freihandversuche mit Streichhölzern und deren Schachteln

H. Joachim Schlichting Institut für Didaktik der Physik WWU Münster

Die Anschauung ist das Fundament aller Erkenntnis.

Johann Friedrich Pestalozzi

Zündholz- oder Streichholzschatzeln und ihr Inhalt, die Zünd- oder Streichhölzer, gehören zu den selbstverständlichen Gegenständen des täglichen Lebens. Dass sie nicht nur zum Feuer machen geeignet sind, sondern beispielsweise zum Basteln und zum Spielen, weiß nicht nur jedes Kind. Auch Erwachsene erliegen immer wieder dem kreativen Potential dieser miniaturisierten Bausteine. Es ist als ob die für die kulturelle Entwicklung der Menschheit entscheidende Idee, die die ursprünglich aufwendige Angelegenheit des Feueranzündens zu einem kinderleichten "Freihandexperiment" machte, Ableger in Gestalt einer kaum noch zu überschauende Vielfalt von Legespielen, Puzzles [1] und ingeniösen Konstruktionen mit physikalischem Hintergrund erhalten habe. Aber auch die Verpackung der Hölzer, die Schachteln, haben sich in zahlreichen Varianten als Bausteine, Behälter u.ä. für Freihandversuche bewährt. Aus der Fülle der Beispiele der "abwegigen" Verwendung von Streichhölzern und ihren Schachteln seien im folgenden einige physikalisch interessante Versuche herausgegriffen. Dabei wurde die Auswahl nach dem Gesichtspunkt getroffen, einen möglichst repräsentativen Überblick über die verschiedensten Verwendungsmöglichkeiten zu geben.

Schachtelbögen

Mit Streichholzschatzeln lassen sich leicht Bogenkonstruktionen herstellen, wie sie in alten Bauwerken häufig vorzufinden sind. Solche Bögen lassen sich mit Streichholzschatzeln leicht herstellen. Der Einfachheit halber klebt man eine Anzahl Streichholzschatzeln auf einen Klebebandstreifen und biegt ihn z.B. mit Hilfe einer

Schablone aus Styropor zu einem Bogen. Um den Abstand zwischen den Schachteln zu fixieren, klebt man entweder ein zweites Klebeband von außen über die Schachteln oder man schiebt geeignete Abstandhalter (z.B. einzelne oder zusammengeklebte Streichhölzer) in die Zwischenräume (Bild 1). Die Alternative ohne Klebeband ist natürlich noch eindrucks voller. Man passt in die Zwischenräume zwischen den Schachteln winkelige Abstandhalter ein, die man leicht aus Schachtelhüllen herstellen kann.

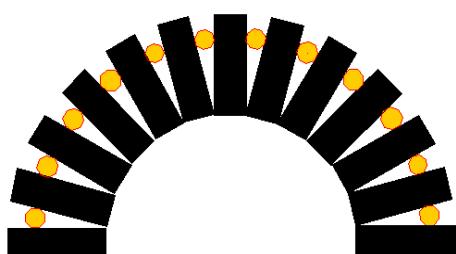


Bild 1: Bogen aus Streichholzschatzeln von der Seite gesehen.

Die Stabilität eines solchen Bogens ruft immer wieder Erstaunen hervor. Beeindruckend ist insbesondere, dass unter Belastung die Stabilität eher noch zunimmt, weil die einzelnen Bausteine immer stärker aneinandergepreßt werden und die Härte des Materials einer weiteren Annäherung widersteht. Eine schöne Erklärung für die Stabilität solcher Bögen stammt von Heinrich von Kleist: "Warum, dachte ich, sinkt wohl das Gewölbe nicht ein, da es doch keine Stütze hat? Es steht, antwortete ich, weil alle Steine auf einmal einstürzen wollen" [2].

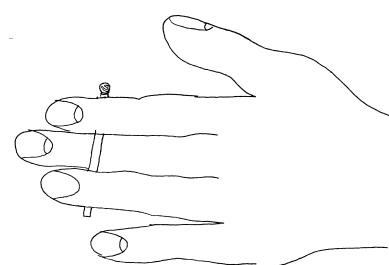


Bild 2: Der Hebelarm ist zu klein, so dass die Fingerkraft nicht ausreicht, das Streichholz zu zerbrechen.

Auf Biegen und Brechen

Streichhölzer sind leicht zerbrechlich. Deshalb erscheint die Frage abwegig, ob man mit der Kraft der Finger ein Streichholz zerbrechen kann. Versucht man aber die Bruchstücke eines zerbrochenen Streichholzes abermals zu zerbrechen usw., so kommt man schnell an eine Grenze. Wenn der Streichholzrest nur noch wenige Millimeter lang ist, tut man sich schwer, ihn noch-

mals zu zerbrechen. Da man davon ausgehen kann, dass die Brechkraft, die nötig ist, um Holz einer bestimmten Holzart zu zerbrechen nur vom Querschnitt abhängt, zeigt sich hier, dass wir beim Zerbrechen des Streichholzes Gebrauch machen von der Goldenen Regel der Mechanik. Die Anstrengung, den kleinen Streichholzrest zu zerbrechen ist geeignet, uns bewusst zu machen, dass selbst in den unscheinbarsten alltäglichen Verrichtungen physikalische Prinzipien zur Anwendung kommen.

Um die Bedeutung der Hebelwirkung bei der Entfaltung von Kräften spielerisch vor Augen zu führen, gibt es eine weitere interessante Variante zu diesem Versuch. Ein Streichholz wird wie in Bild 2 möglichst weit vorn zwischen drei Finger geklemmt. Die Aufgabe besteht darin, bei völlig gerader Ausrichtung der Finger und ohne die

Hand aufzustützen, das Holz zu zerbrechen. Warum muß man hilflos mit ansehen, dass trotz größter Anstrengung, die Finger versagen? Die Antwort lautet ähnlich wie im ersten Versuch: Die Hebelwirkung der ausgerichteten Finger ist zu gering, um trotz äußerster Muskelanspannung das Streichholz zu zerbrechen.

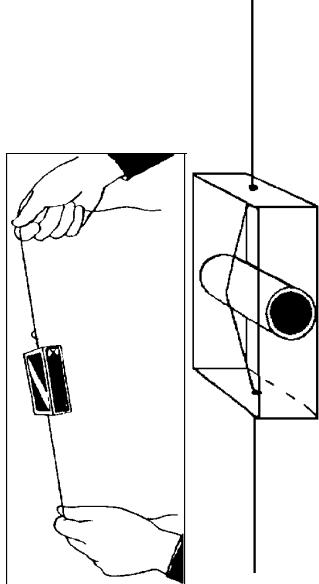


Bild 3: Durch Regelung der Spannung des Fadens lässt sich ein Wechsel zwischen Haften und Gleiten der Schachtel erreichen (links). Blick ins Innere der Schachtel (rechts).

Gehorsame Schachtel

Eine an einem Faden hinab gleitende Streichholzschachtel wird auf Kommando wahlweise langsamer, oder es bleibt sogar plötzlich stehen (Bild 3, links). Wenn man den Wechsel zwischen Spannung und leichter Entspannung des Fadens so vorsichtig ausführt, dass er nicht auffällt, haben die Schülerinnen und Schüler kaum eine Chance, den inneren Mechanismus zu durchschauen. Sie erwarten nur, dass er der Merkwürdigkeit dieses Verhaltens entsprechend kompliziert sein müsse [3]. Um so erstaunter sind sie, wenn ihnen die geöffnete Black Box schließlich nur eine Filzstifttaube offenbart, durch die der Faden ein wenig gekrümmmt wird (Bild 3, rechts).

Diese Nichtlinearität hat es offenbar in sich: Die Reibungskraft an einem gekrümmten Seil oder Faden kann durch verhältnismäßig geringe Zugkräfte unverhältnismäßig stark (exponentiell) gesteigert werden. Dieses Verhalten findet sich in zahlreichen Alltagssituationen wieder. Man denke nur an das Festmachen eines Schiffes an einem Poller. Ein einziger Mann vermag mit seinen Muskelkräften ein ganzes Schiff mit Hilfe eines (je nach Größe des Schiffes) ein- oder einige Male um den Poller geschlungenen Seils zu halten. Aber auch die Haltbarkeit von Knoten und die Erfahrung, dass sich ein mit der Leine fortrennender Hund an einem Pfahl verheddert, zeigen die starke Variation von Seilreibungskräften mit der Krümmung.

Variation von Seilreibungskräften mit der Krümmung.

Leicht und sensibel

Streichhölzer sind aufgrund ihrer Winzigkeit sensible Indikatoren für Bewegungen im Wasser, die man ansonsten nicht wahrnimmt.

Zucker-Zauber

Hängt man einen Zuckerwürfel über eine Wasseroberfläche, so dass er etwas eintaucht und bringt ein Streichholz in seine Nähe, so wird das Streichholz von dem sich langsam auflösenden Zuckerwürfel angezogen. Die durch die Lösung des Zuckers entstehende Zuckerlösung hat eine größere Dichte als reines Wasser und sinkt nach unten. Dadurch entsteht in der Nähe des Zuckerwürfels eine Wasserzirkulation, denn die absinkende schwere Lösung zieht aus dem näheren Umkreis leichtes Wasser nach sich, das wiederum durch das von der absinkenden Lösung verdrängte Wasser ersetzt wird. Von der damit verbundenen Strömung wird das Streichholz mitgenommen und gegen den Zuckerwürfel gedrückt.

Weg vom "Zauberstab"

Neben solchen anziehenden Bewegungen von Streichhölzern kann man auch abstoßende beobachten, wenn die mit schwimmenden Streichhölzern versehene Wasseroberfläche in der Mitte mit einem "Zauberstab" berührt wird. Die Streichhölzer streben eilig zum Rand des (möglichst großen) Gefäßes. Der Zauberstab ist ein beliebiger Stab, der an der Spitze - unsichtbar für den Beobachter - mit etwas Seife versehen wurde.

Durch die sich im Wasser auflösende Seife entsteht eine Lauge, die sich auf dem Wasser ausbreitet und die Wasseroberfläche ersetzt. Dabei schiebt die Lauge die verschwindende Wasser“haut“ und mit ihr die darauf schwimmenden Streichhölzer vor sich her. Warum kommt es zur Ersetzung der Wasserteilchen durch Seifenlaugenteilchen auf der Oberfläche? Während Wasserteilchen im Innern einer Flüssigkeit ohne größeren Energieaufwand gegeneinander verschoben werden können, muss relativ viel Energie aufgewandt werden, um ein Teilchen vom innen zur Vergrößerung der Oberfläche nach außen zu transportieren. Da jedes sich selbst überlassene System dazu tendiert, unter Dissipation (Entwertung) von Energie ins thermodynamische Gleichgewicht überzugehen, nutzen Flüssigkeiten jede Gelegenheit, ihre Oberfläche so klein wie möglich zu machen. Deswegen nimmt ein kleiner Wassertropfen Kugelform an. Im vorliegenden Fall kann die Oberflächenenergie auf andere Weise dissipiert werden. Da für die Bildung einer Seifenlaugenhaut weniger Oberflächenenergie nötig ist, kommt im vorliegenden Fall dem thermodynamischen Gleichgewicht auch dadurch näher, dass es die Wasseroberfläche durch eine Seifenlaugenoberfläche ersetzt. Letztlich ist also die Tendenz zur Dissipation von Energie (Entropiesatz) als Antrieb für unsere Streichhölzer verantwortlich zu machen (siehe z.B. [4]). Normalerweise spricht man von der Minimierung der Oberflächenenergie, ohne sich klarzumachen, dass es sich dabei um eine spezielle Umschreibung des Entropiesatzes handelt.

Strukturbildende Hölzer

Legt man Streichhölzer kreuz und quer auf eine (leicht bewegte) Wasserfläche, so bilden mehrere Streichhölzer zusammen floßartige Aggregate. Interessant ist die Tatsache, dass es trotz der ungerichteten Bewegung des Wassers zu einer weitgehend parallelen Anlagerung der Streichhölzer aneinander kommt.

Worauf beruht diese Tendenz zur Strukturbildung? Jedes Streichholz taucht aufgrund seiner Schwere etwas in das Wasser ein und deformiert die hautartige Oberfläche des Wassers. Diese Deformation kann man leicht erkennen, wenn man das ganze beleuchtet und die Schatten auf dem Wassergrund betrachtet. Sie sind von einem hellen

Rand umgeben, die auf den Sammellinseneffekt der eingedellten Wasseroberfläche zurückzuführen ist. Durch die Deformation wird die Oberfläche entsprechend vergrößert. Gerät nun ein anderes Streichholz zufällig in den Deformationsbereich, so bildet sich eine gemeinsame Grenze zwischen beiden Hölzern aus. Diese Grenze und damit die deformierte Fläche beider Streichhölzer kann wesentlich verkleinert werden, wenn die Streichhölzer sich parallel aneinander schmiegen. Die Verkleinerung der deformierten Fläche bedeutet eine Verkleinerung der Wasseroberfläche insgesamt. Dadurch wird Oberflächenenergie dissipiert. Der "Antrieb" für diese Aggregation beruht also wiederum auf der Energiedissipation (Prinzip der Energieentwertung), die in diesem Fall die Zunahme der äußeren Ordnung bewirkt [4].

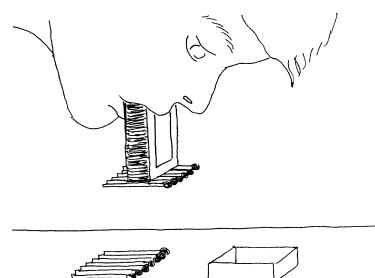


Bild 4: Die Luft strömt durch die Zwischenräume nicht so schnell nach, so dass ein Unterdruck entsteht.

Heben mit Unterdruck

Wie kann man eine parallele Anordnung von Streichhölzern auf einmal in die bereitstehende Schublade der Schachtel befördern? Indem man die leere Hülse über die Streichhölzer hält und sie durch Einsaugen von Luft dazu bringt, an der Hülse zu haften (Bild 4).

Durch das Einsaugen der Luft entsteht ein Unterdruck innerhalb der Hülse im Vergleich zum äußeren Luftdruck, weil aufgrund der Abdeckung der Öffnung durch die Hölzer die Luft nur verzögert durch die undichten Stellen zwischen den Streichhölzern nachströmen kann. Durch den höheren äußeren Luftdruck werden die Streichhölzer daher gegen die Öffnung gedrückt. Ist die Kraft auf die Streichhölzer größer als ihre eigene Schwerkraft, so bleiben sie an der Schachtelhülle haften.

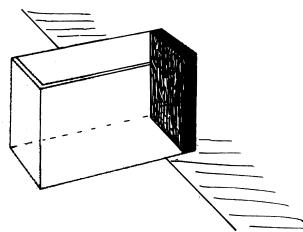


Bild 5: Was man normalerweise nicht sieht: eine bleierne Platte im Innern der Schachtel fixiert.

Kleinere Versuche

Streichholzkreisel

Eine Perle aus Holz oder anderem Material kann im Handumdrehen zu einem gut laufenden Kreisel gemacht werden, wenn man ein Streichholz in das Loch der Perle einpaßt und ihn anspitzt. Man wird erstaunt sein, wie gut dieser winzige Kreisel funktioniert.

Schwebende Schachtel

Eine Schachtel kann leicht die Funktion einer Black Box übernehmen (siehe auch vorige Seite, Versuch "Gehorsame Schachtel"). Wenn man eine Streichholzschachtel wie in Bild 5 über dem Abgrund schweben sieht, so ist man auf den ersten Blick erstaunt, weil dieser Anblick der Alltagserfahrung widerspricht. Erst auf den zweiten Blick, der jedoch eher nach innen gerichtet ist, können vielleicht auch Schülerinnen und Schüler darauf kommen, dass die Schachtel präpariert wurde. Bild 5 zeigt, dass durch Anbringen z. B. einer Platte aus Metall der Schwerpunkt der Schachtel derart zu der einen Seite verschoben wurde, dass er trotz des weiten Überhangs noch auf der Tischkante bleibt.

Getäuschter Gewichtssinn

Eine Streichholzschachtel wird mit möglichst schwerem Material (z.B. Blei, Eisen) so gefüllt, dass es fest mit der Schachtel verbunden ist. Jetzt fordert man einen Partner auf, die schwere Schachtel anzuheben und sich das Gewicht zu merken. Man bittet ihn, den Versuch mit zwei übereinandergestellten Schachteln zu wiederholen, wobei man die schwere Schachtel auf eine leere leichte Schachtel gelegt hat. Die meisten Probanden geben an, dass sich die einzelne Schachtel deutlich schwerer anfühlt als beide zusammen, obwohl sie natürlich "wissen", dass das nicht sein kann. Dieser Konflikt lässt sich noch steigern, indem man die leichte Schachtel ebenfalls füllt, z.B. mit Streichhölzern. Es ist interessant festzustellen, bei welchem Masseverhältnis keine eindeutige Entscheidung mehr gefunden werden kann.

Dieser Versuch zeigt, dass sich auch der Tastsinn täuschen lässt. Offenbar fließt bei der Beurteilung des Gewichts auch die Größe des gefühlten Gegenstandes mit ein und zwar in der Weise, dass größere Gegenstände leichter als gleich schwere kleinere "angesehen" werden. Es ist fast so, als würde zu einem gewissen Anteil die Dichte des Gegenstandes in die Urteilsfindung einbezogen.

Literatur

- [1] Delft, Pieter van; Botermans, Jack: Denkspiele der Welt. München: Hugendubel 1977, S. 49ff
- [2] Kleist, Heinrich von: Brief an Wilhelmine von Zenge 16./18.11.1800
- [3] Die Aussagen beziehen sich auf einen 1992 gemeinsam mit Studierenden durchgeführten Unterrichtsversuch in einer 5. Klasse der Orientierungsstufe
- [4] Schlichting, H. Joachim: Energieentwertung- ein qualitativer Zugang zur Irreversibilität erscheint in PdN.

(13,9; 9,3)