

Kräfte im Großformat: Mechanik in der 7. Klasse

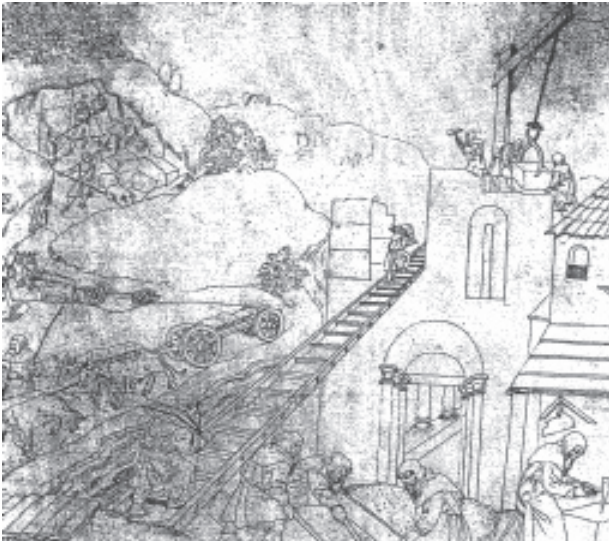
Adolf Fischer

Praktische Mechanik: Die »einfachen« Maschinen

An der Waldorfschule lernen die Schüler in der 7. Klasse im Physikunterricht zum ersten Mal die Mechanik kennen. Einen großen Bereich nehmen darin die »einfachen Maschinen« ein. Es sind damit die verschiedenen Vorrichtungen mit schiefen Ebenen, Hebeln, Gelenken, Rädern, Rollen und Seilen gemeint, mit denen die Menschen sich schon seit langer Zeit die Arbeit erleichtert hatten: Waage, Balken, Brechstange, Wellrad (Ziehbrunnen), Keil, Schraube. Vor allem die Bauberufe (Maurer, Steinmetz, Zimmermann), Bergleute und das Militär wandten diese mechanischen Prinzipien seit dem Altertum an und verbesserten sie laufend, um damit die Wirkung der menschlichen Kraft zu steigern.

Der Bau einer gotischen Kathedrale oder einer Barockkuppel war nur möglich durch die Erfindung der dafür nötigen Arbeitsgeräte wie Kran, Flaschenzug, Winde, Wellrad, Hebel, selbsttragende Steinzange (»Wolf«), Keil. Werkstein-Blöcke mit zehn Zentnern Gewicht, Gewölbehöhen¹ von 40 Metern und Türme² über 100 Höhenmeter hinaus waren in der Gotik durchaus üblich. Nur mit diesen in langer Erfahrung entwickelten und tradierten »Maschinen« konnte der menschliche Gestaltungswille sich gegen die Gesetze der Schwerkraft durchsetzen!

Der damalige Wissensstand eines »freien Maurers« überragte den der gewöhnlichen



*Abb. 1:
Mittelalterliche Baustelle
(Kloster Schönau)³*

*Hebel (im Steinbruch),
Rad (Steintransport),
schiefe Ebene (Rampe
mit Tritten), Kran mit
Seil (Rolle verdeckt) und
Steinzange (selbstschlie-
ßender Doppelhebel)*

Bauarbeiter gewaltig und lässt sich nur mit dem eines heutigen Architekten oder Bauingenieurs vergleichen. Er war Künstler, Handwerker und dazu ein Techniker mit profunden, praxis-orientierten physikalischen Kenntnissen.

Vorgefertigte Versuche?

Für den Unterricht in den Schulen stellen die Physikgeräte-Hersteller die passenden Modelle bereit, die perfekt für genaue Messungen vorbereitet sind. Das Aussehen des Gerätes zeigt bereits den Verwendungszweck, und die physikalischen Gesetzmäßigkeiten sind schon vor dem eigenen Versuch offenkundig.

Die eigene Suche der Schüler mit dem langen Weg von der Erfahrung zum Gesetz kann damit rationell abgekürzt oder ganz übersprungen werden. Das ermöglicht effektiven Unterricht und mehr Stoff in kürzerer Zeit – doch die Erlebnisse bleiben blass oder ganz aus; die Schüler können sich mit dem Stoff nicht verbinden!

Für das einfache Hebelgesetz ist dies z.B. ein 50 Zentimeter langer Aluminiumstab, leicht und dennoch stabil; er ist fast reibungsfrei gelagert, so dass er beinahe schon auf einen Lufthauch reagiert. In präzise gleichmäßigen Abständen sind die Haken montiert, an denen die dazu passenden Gewichte (im Gramm- bis 100-Gramm-Bereich) angehängt werden. Mit bewundernswerter Genauigkeit lässt sich damit das Hebelgesetz scheinbar messend »beweisen«.

Doch einer unbefangenen Beobachtung fällt sofort auf, dass das Hebelgesetz dem Gerät vorausging und sich in der Bauform spiegelt. Weil das Erkenntnisziel bereits in der Anordnung immanent ist, bleibt die Bestätigung durch den Versuch eigentlich nur noch eine Illustration! Der »Fortschritt« zum Lehrfilm oder zur perfekten Computer-Simulation ist dann der nächste, aber konsequente Schritt, mit dem man sich von der Wirklichkeit der Welt weiter entfernt.

Selber probieren!

Lernen heißt, sich mit der Sache innerlich verbinden. Das setzt neugieriges Probieren voraus, an dem sich das Interesse entzündet: »Ich möchte wissen, wie und warum das funktioniert!« Die Mechanik eignet sich für diese Methode ganz besonders, weil alle Dinge äußerlich erkennbar und darstellbar sind.

Auch wenn Kräfte selber nicht sichtbar sind, so kann man sie dennoch spüren und erleben, vor allem, wenn man sie selber einsetzt. Zwar kann man sie nicht genau messen, aber man erfährt sie dafür am oder im eigenen Leib. Kraftaufwand spüren, Bewegung kontrollieren, Gleichgewicht halten: Dies alles geht nur über das eigene elementare Sinneserlebnis (Körperempfindung, Tastsinn, Wahrnehmung der eigenen Bewegung, Gleichgewichtssinn⁴).

Nach einer solchen Einstimmung kann man sich dann zunehmend von der eigenen Wahrnehmung entfernen, indem man einfache Vorrichtungen aus der Alltagswelt benutzt (Brett, Balken, Unterlage, Aufhängung). Man wendet sich immer objektiver der Außenwelt zu.

Abwägen

Will man also zwei Gewichte vergleichen, so wägt man diese zunächst »freihändig« gegeneinander ab, man nimmt sie in je eine Hand und pendelt die Arme beidseitig nach außen, um das äußere Gewicht als eigene Kraft zu spüren.

Unser Sprachgebrauch knüpft an dieses Erlebnis mit dem Ausdruck »innerlich abwägen« an und wendet dabei das Bild des äußeren Vorgangs auf seelische Erlebnisse und innere Empfindungen an. Sogar das Wort »inter-esse« ist damit ins Bild gesetzt: Es heißt wörtlich »zwischen« und »sein« und meint, dass man genau dann Interesse hat, wenn man sich selbst dazwischen stellt. Die Wechselwirkung der beiden äußeren Dinge geht dann durch uns hindurch, und wir können sie dadurch innerlich wahrnehmen und an ihr teilhaben, wir können uns für sie interessieren!



Abb. 2: Freihändiges Abwägen

Die Beurteilung »schwerer oder leichter« gründet sich also auf elementare Erlebnisse, auf keinen Fall aber auf den bloßen Augenschein. Der Schritt in die Objektivität soll nun das Gleichgewicht äußerlich prüfbar machen. Dies leistet ein Waagebalken.

Die Balkenwaage

In der Klasse bildeten wir Arbeitsgruppen, in denen die Schüler jeweils eine funktionsfähige Waage bauen sollten – mit einfachsten Mitteln! Wir besprachen gruppenweise einzelne Versuchsschritte und Bau-Ideen oder diskutierten sie vor der ganzen Klasse. Das Gespräch öffnete den Blick für Vor- und Nachteile und führte oft zum nächsten Verbesserungsvorschlag. Elementare physikalische Grundprobleme wurden so von Schülern selbst entdeckt, mit einfachen Worten charakterisiert und durch Konstruktionsideen »überlistet«. Die Schüler stellten schrittweise höhere Anforderungen an eine Waage:

- eine gute Waage muss sich leicht drehen;
- sie soll schon auf geringe Ungleichgewichte reagieren;
- der Waagebalken muss genau symmetrisch sein: seine beiden Seiten sind gleich lang und gleich schwer;
- er muss von sich aus in die Gleichgewichtslage zurückpendeln;
- die Angriffspunkte der beiden Lasten müssen genau gleich weit vom Aufhängepunkt entfernt sein, sonst sind sie nicht »gleichberechtigt«.

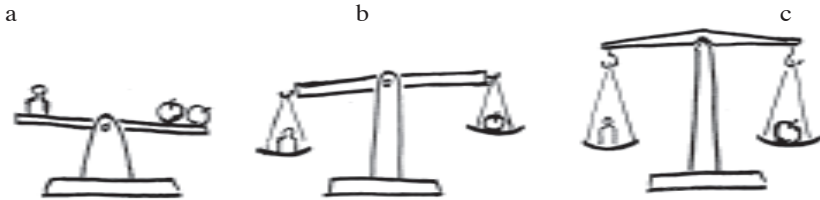
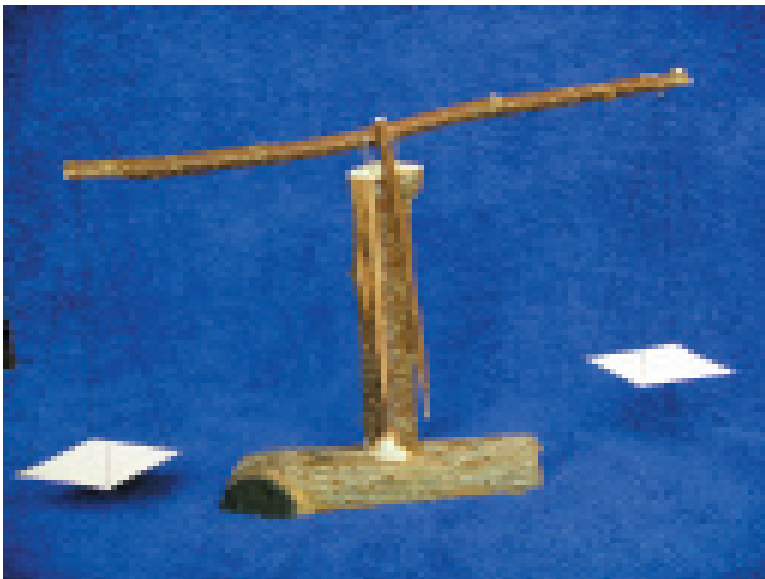


Abb. 3: Drei Modelle von Waagen. a »Wippe«: nicht geeignet; b »Balken«: geeignet; c »echte« Waage

Während des Baus traten aber weitere Mängel auf, deswegen wurden die Anforderungen noch verschärft:

- bei einem kleinen Ungleichgewicht einer Seite darf der Waagebalken nicht zuviel ausschlagen;
- wenn die Waage sich neigt, muss die sich neigende Seite zunehmend benachteiligt werden, damit die Waage nicht überkippt;
- man sollte aus dem Neigungswinkel auf das Übergewicht schließen können.

Nach etlichen Fehlschlägen entdeckten die Schüler, mit welchen Verbesserungen sich die Empfindlichkeit der Waage steigern lässt. Mit ergänzenden Tipps ihres Lehrers entstand schließlich ein wahres »Meisterstück« aus Haselnussstäben und fünf Nägeln: Die abgebildete Waage reagiert auf ein Ungleichgewicht von zwei Milligramm mit drei Millimeter Zeigerausschlag!



Waage im Eigenbau: Primitiv, aber präzise

Das Hebelgesetz

Im Vergleich zur Waage (mit gleich langen Armen) bietet ein Hebel mit verschiedenen langen Armen eine unübersichtliche Fülle von Möglichkeiten. Benutzt man die eingangs erwähnte fertig vorbereitete Vorrichtung und die genormten Gewichte,⁵ so entfällt das eigene Nachdenken fast gänzlich, weil das Bild vor Augen völlig überzeugend das eigene Urteil ersetzt.

Eigene Suche, bei der auch Fehleinschätzungen durch Probieren ausgeschlossen werden, zeigt erst, wie mühsam es ist, selber bis zu klaren Begriffen vorzustoßen. Wenn der Schüler danach den wesentlichen Kern des Gesetzes mit eigenen Worten umschreibt, hört man noch im Formulieren, wie er um die Erkenntnis gerungen hat.

Am »einarmigen« Hebel helfen zwei zusammen!

Den Freiraum zwischen zwei entfernt stehenden Tischen überbrückten wir mit einem langen, stabilen Brett. An den Enden hatten wir es beidseitig unterlegt, damit die Auflagepunkte klar definiert waren.

Nun setzte sich ein Schüler etwa mittig auf das Brett, und dieses reagierte sofort auf die Belastung: Es bog sich durch! Bereits vor der eigentlichen Untersuchung war die wichtige Erkenntnis gewonnen: Ein Hebelarm gibt nach! – und zwar so lange, bis er die nötige Spannkraft zum Tragen aufgebracht hat.



Abb. 4: Ein Balken biegt sich immer unter Last

Als nächsten Schritt ließen wir zwei Schüler das Brett beidseitig hochheben. Wir waren uns rasch einig über die nötige Kraft: Beide spürten ähnlich viel, nämlich etwa die Hälfte der Gewichtssumme von Brett und darauf sitzendem Schüler (unsere »Last«). Ließen wir die »Last« hin- und herrutschen, veränderte sich der Anteil der beiden »Träger«, doch ihre Summe an Kraftaufwand musste immer noch dem Gesamtgewicht entsprechen. Jeder Träger erkannte aus eigenem Spüren, dass bei einer größer Entfernung von der Last diese deutlich günstiger zu tragen war als bei einer kürzeren.

Schließlich ersetzten wir einen »Träger«, indem wir dessen Brettseite wieder auf den Tisch auflegten. Saß unsere »Last« direkt über dem Tisch, so spürte der weit entfernte

»Träger« fast kein Gewicht, saß die Last dagegen dicht bei ihm selbst, so musste er beinahe das ganze Gewicht tragen!

Worin liegt also das Geheimnis des Hebels, dass er uns eine noch so große Last beliebig leicht anheben lässt (sofern der Hebelarm genügend lang gewählt wird)? Wer trägt denn die große Last wirklich, wenn wir nur ganz wenig dazu beitragen? Es ist eben der Auflagepunkt, der uns das Gewicht abnimmt!

Stellt man nun eine einfache Personenwaage unter das eine Ende des Brettes, sieht man dies deutlich. Je weiter die »Last« vom eigentlichen »Träger« wegrutscht, um so leichter hat es dieser. Und genau um diese Erleichterung nimmt das auf der Waage lastende Gewicht zu (die Last wurde ja auch zu ihr hin verschoben). Der Hebel verzaubert also keine schweren Lasten zu leichteren, er verteilt die Last nur verschieden.

Dass dabei das andere Ende unverhältnismäßig große Lasten abnimmt, spüren wir natürlich nicht, oft vergessen wir es sogar. Erst wenn dieser Auflagepunkt am anderen Ende der Last nicht gewachsen ist, bemerken wir die Auswirkungen; doch dann ist es meist schon zu spät.

Wenn wir am schweren Klavier eine Seite anheben wollen, um endlich den Parkett-Fußboden mit Untersetzern vor den harten Rollen zu schützen, findet sich im Haus bestimmt auch ein dafür geeigneter Hebel, um das schwere Gewicht zu überwinden. Angesetzt und hochgewuchtet! – Kaum sind die Rollen unterlegt, darf wieder abgelassen werden. Doch wie sieht nun der Boden aus?

Unser krafterleichternder Hebel war offenbar echt »be-eindruckend«: An der Stelle, wo wir ihn aufliegen hatten, ist das schöne Parkett heftig und irreparabel eingedrückt. Wer hat also das schwere Klavier wirklich getragen? Es war genau dieser Punkt, der die zu hebende Last weitgehend alleine übernommen hatte, und das war dem Holzboden zu viel!

Am »zweiarmigen« Hebel trifft es einen!

Die vom Spielplatz her bekannte Wippe konnten wir nachahmen, indem wir unser Brett in der Mitte unterlegten. Aus der bisherigen Lebenserfahrung war uns allen klar, wie bei unterschiedlich schweren »Besetzungen« das Gleichgewicht erreicht wird: Der Schwe-

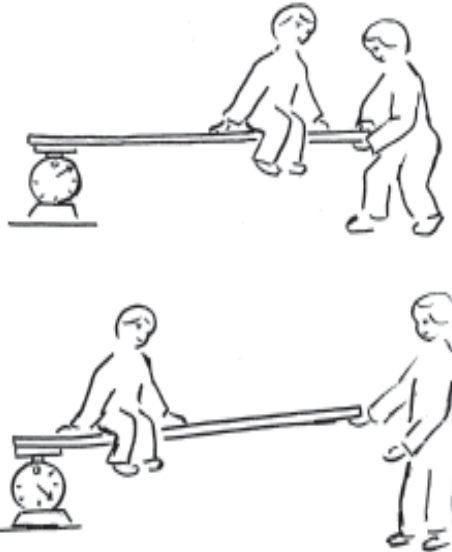


Abb. 5 / 6: Schwer – leicht am Hebel

rere muss näher zur Mitte, in Richtung Drehpunkt, der Leichtere möglichst weiter weg. Die Wirkung des größeren Gewichtes wird also gemindert durch kleineren Abstand, das kleinere Gewicht erhält Hilfe durch den größeren Abstand. Die Längenveränderung kann zwar die Gewichte nicht verändern, wohl aber ihre Wirksamkeit.

Und erst wenn wir dieses Zusammenwirken von Abstand und Gewicht (=Kraft) mit unserem Gleichgewichtssinn oder gar dem Kraftaufwand des eigenen Leibes erlebt haben, ist der Übergang zum physikalischen Gesetz möglich. Nach anschaulichen Beschreibungen können wir den mathematischen Begriff »Drehmoment« prägen; dieser beschreibt die gemeinsame Wirkung von Kraft und Abstand als Produkt der beiden. Jede am Hebel angreifende Kraft versucht diesen in ihre Richtung zu drehen. Die Drehwirkung einer jeden Kraft wird mit ihrem Drehmoment M (als Produkt von wirksamem Hebelarm und angreifender Kraft) bestimmt. Bei nur zwei (gegenseitig) wirkenden Kräften ergibt sich das bekannte Hebelgesetz: $Kraft \times Kraftarm = Last \times Lastarm$. Für die Gleichungslehre ist das Ausbalancieren mehrerer Hebel interessanter: Gleichgewicht am Hebel stellt sich ein, wenn die Summe aller linksdrehenden Momente gleich groß ist wie die der rechtsdrehenden.

Diese bisher auf den gesunden Menschenverstand gründende Beurteilung des Gleichgewichtes gerinnt zur abstrakten Formel, zur mathematischen Gleichung. Das exakte mechanische Gleichgewicht des Hebelversuches kann als willkommener Einstieg zur Gleichungslehre genutzt werden. Darüber hinaus ist das Hebelgesetz eines der wenigen wirklich guten Beispiele für die Produktform einer Proportion.

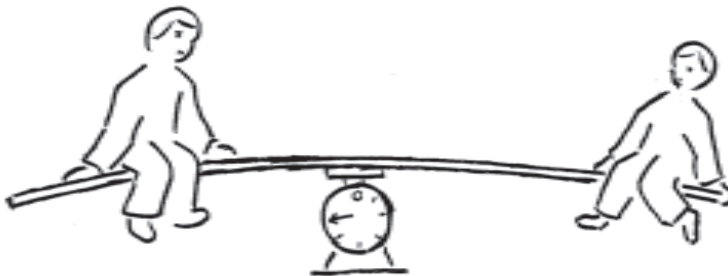


Abb. 7: Zweiarmiger Hebel (Wippe)

Mit etwas Geschick und Gespür balancieren sich also die Gewichte aus, und die beiden Schaukelnden schweben scheinbar schwerelos. Wem gaben sie ihr Gewicht ab? Natürlich wollte niemand mit seiner Hand testen, welcher Druck zwischen dem Brett und der geduldigen Unterlage herrscht. Wir nahmen lieber wieder unsere Waage als Vermittler dazwischen. Unbestechlich zeigte sie uns an, wer die ganze Schwere übernommen hatte. Der Auflagepunkt in der Brettmitte, also das Gelenk unserer Wippe trug alleine das gesamte Gewicht der beiden Schüler und die des Brettes dazu!

Ganz ähnlich geht es allen Werkzeugen, die uns mittels geeigneter Hebelanordnung

die Arbeit erleichtern. Drückt man die beiden Griffe der Beißzange so fest zusammen, dass die Schneiden der Zange einen Draht durchtrennen, so erfährt das Gelenk nicht nur den Druck unserer Hände, sondern zusätzlich den mehrfach größeren Widerstand des Drahtes. Der Drehpunkt eines jeden Hebels hat also immer die größte Kraft (nämlich die Summe aus aufgebrachtener Kraft und erreichter Wirkung!) zu ertragen.

Mit Seil geht es leichter

Mit einem Seil können wir viel bequemer tragen oder ziehen. Es erlaubt uns einen günstigen Stand und überträgt unsere Zugkraft dennoch in der gewünschten Richtung. Ein Rucksack, der an zwei Gurten von unseren Schultern getragen wird, trägt sich viel leichter als eine gleich schwere Tasche an der Hand. Arm und Hand spüren in sich den Zug, mit dem sie das Gewicht der Tasche halten müssen.

Bei einem schweren Korb können sich zwei Personen das Gewicht halbieren, wenn sie beide am Henkel anfassen. Bequemer geht es, wenn der Korb mit zwei Gurten getragen wird, den sich die beiden Tragewilligen über die Schulter legen.

Jeder Gurt überträgt mit seiner Zugspannung etwa das halbe Gewicht direkt auf die Schultern, wenn beide Personen ähnlich groß sind und möglichst mit gleichen Schritten gehen. Trifft das nicht zu, so wird es einen der beiden Träger schwerer treffen, weil sich das Gewicht nicht gleich verteilen lässt.

Geteilte Last – halbe Last

Zur gerechteren Verteilung der Last nehmen wir statt der beiden Gurte ein durchgehendes Seil, führen es unter dem Henkel durch und schlingen die beiden Enden über die Schultern. Bei ungleicher Belastung wird nun der Henkel auf dem Seil etwas nachrutschen und für Ausgleich sorgen.

Ganz gerecht wird es erst, wenn sich der Henkel »spielend leicht«, also fast reibungsfrei am Seil einpendeln kann. Das könnte eine kleine Seilrolle am Henkel für uns übernehmen.

Nun kann einer unserer beiden Träger sein Seilstück etwas anheben, ohne deswegen mehr Gewicht zu bekommen. Lediglich der Korb wird dabei ein wenig angehoben. Die Rolle sorgt dafür, dass dabei das andere Seilende nicht locker lässt. Das sieht fast so aus, wie wenn der Nachbar auch am Seil gezogen hätte! Doch der machte eigentlich gar nichts, außer dass er geduldig das halbe Gewicht auf seiner Schulter ertrug.



Abb. 8: Zu zweit tragen mit einem Seil

Mit Seil und Rolle



Abb. 9: Hochziehen mit Seil, die Last hängt an einer Seilrolle

Jetzt stellen wir unsere beiden »Träger« etwas höher, z.B. auf den Tisch. Der schwere Korb steht tief unter ihnen auf dem Boden und soll nun hoch gehoben werden. Zieht jetzt einer der beiden stärker, so wird er zwar etwas mehr »arbeiten«, aber dennoch nie mehr als das halbe Gewicht als Kraft aufbringen. Selbst wenn der vermeintliche Mitarbeiter auf der anderen Seite gar nicht mehr ziehen mag, sondern das Seil ruhig über seiner Schulter hält, verbleibt diesem dennoch die andere Gewichtshälfte.

Einen Unterschied, ob wirklich zwei ziehen oder einer von ihnen mogelt, merkt man also nicht an der nötigen Kraft, wohl aber an der Bewegung des Korbes. Ziehen nämlich beide gleichmäßig, so steigt der

Korb mit genau derselben Geschwindigkeit nach oben, mit der auf beiden Seiten das Seil angezogen wird. Zieht jedoch nur einer, so steigt der Korb nur halb so schnell. Unser Arbeiter muss sein Seilende doppelt so hoch heraufziehen, wie er als Erfolg beim Korb beobachten kann.

Wo kommt das doppelt so lange Seil plötzlich her? Es ist der Anteil unseres Faulenzers mit dabei, denn der Korb kam beim Emporsteigen ja auch näher zu ihm. Doch die Verkürzung seines Seilendes hat er ruhig zuschauend über die Rolle zu seinem Nachbarn hinüber laufen und zusätzlich von diesem hochziehen lassen!

Wir können also getrost das Seilende des faulenzenden Kameraden an einen Haken in der Decke hängen. Die korbtragende Rolle hängt an zwei Seilenden, die beide mit dem jeweils halben Gewicht belastet sind. Zieht man nun ein Seilende um 2 Meter in die Höhe, so steigt der Korb zwar nur um 1 Meter; dafür genügt als Zugkraft aber das halbe Gewicht!

Der Flaschenzug

Manchmal ist es viel bequemer, wenn man zum Ziehen unten auf dem sicheren Boden stehen bleiben kann. Dann sorgt man eben dafür, dass nicht nur das »feste« Seilende am Deckenhaken hängt, sondern das »lose« Ende dort oben über eine sicher aufgehängte Rolle⁶ läuft, damit es wieder zu mir herunterreicht.

Damit haben wir das Prinzip eines Flaschenzuges in seiner einfachsten Ausführung angewendet (und vielleicht auch verstanden)!

Im Physiksaal haben wir einen kräftigen Deckenhaken. An diesem konnten wir im Unterricht unsere Rollen aufhängen. Leider hatten wir nur zwei »echte« Seilrollen mit guter Seilrille und leichtgängigen Lagern. Damit konnte ein Schüler leicht einen anderen

hochziehen – wie wenn dieser nur halb so schwer wäre!

Stünden uns noch weitere Rollen zur Verfügung, könnte unser Seil mehrmals zwischen »losen« Rollen am Korb und »festen« an der Decke hin- und herlaufen, bis uns ein Ende zum Ziehen erreicht. Das Gewicht teilt sich dann entsprechend der Anzahl der Verbindungen (Zahl der »tragenden« Seilstücke zwischen den Rollen oben und unten) auf, und nur diesen Bruchteil müsste man als Zugkraft aufbringen. Der Flaschenzug aus der Physik-Sammlung war zwar perfekt mit 6 Rollen ausgestattet, doch bei der Belastungsprobe mit nur 50 kg Gewicht klemmten Seil und Rollen sich gegenseitig fest.

Unsere beiden vorhandenen, guten Rollen konnten wir durch einen zufälligen Fund im Haus durch eine weitere Rolle ergänzen, doch die fehlende vierte war nicht aufzutreiben. Könnte man auch aus 3 Rollen einen Flaschenzug bauen? Gesehen hatten wir das noch nirgends! Die Lösung war ungewöhnlich, aber einfach.

Mit dem Flaschenzug auf der Monatsfeier

Als wir uns entschlossen, unsere Versuche auf einer Monatsfeier vorzuführen, baute uns Herr Schmid, unser zuverlässiger Hausmeister, zwei Halterungen, mit denen wir die großen Bretter – unsere Hebel – balancieren und aufhängen konnten. Auf der Bühne hatten wir für diesen Versuch erstmals ausreichend Höhe zur Verfügung. Mit dem Dreier-Flaschenzug (mit dem wir also nur ein Drittel des Gewichtes spürten) zogen wir das erste Brett hoch. Allerdings stand es an einer Seite doppelt so weit über als an der anderen. Auf diese Weise sah man deutlich die beiden verschieden langen Arme unseres Hebels. Auf das kurze

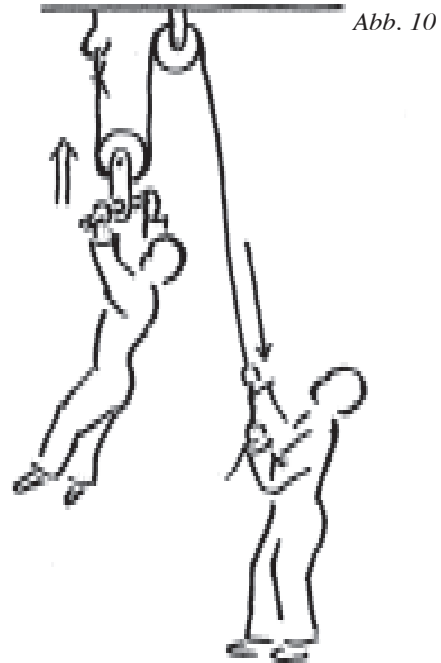


Abb. 10

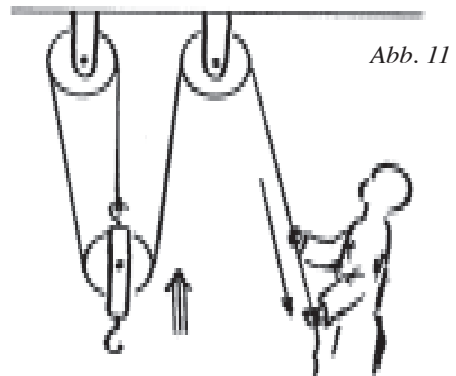


Abb. 11

Abb. 10: Einfacher Flaschenzug: Es genügt die halbe Kraft

Abb. 11: Unser »Dreier-Flaschenzug«: Es genügt ein Drittel der Kraft!

Ende setzte sich eine Schülerin, eine zweite konnte am langen Hebelarm bequem – nur mit einer Hand! – das Gleichgewicht dazu halten.

Jetzt wurde es spannend: Am kurzen Ende hängten wir eine zweite Halterung samt Brett ein, damit dort zwei Schülerinnen schaukeln konnten. Auf das lange Ende setzte sich eine dritte Schülerin. Der Flaschenzug, an dem alles frei hing, ächzte bedenklich, wir zogen schon zu dritt und hatten das Seil sicherheitshalber um ein Bodenbrett geschlungen. Mit Sorge hörten wir das Hauptbrett knarren und sahen, wie es sich immer stärker durchbog. Endlich schwebten beide Balken und die drei Schülerinnen frei: ein Flaschenzug mit vier kräftigen Jungen am »Zug«, zwei sachte schaukelnde Balken mit der »Last« von drei Mädchen, scheinbar alles gewichtslos, frei schwebend, schwankend, drehend wie ein Mobile im Lufthauch!

Doch gewichtslos war das Ganze sicher nicht, das haben die Jungen am Seil trotz Flaschenzug-Übersetzung in ihren Armmuskeln und Handflächen deutlich gespürt. Der zen-

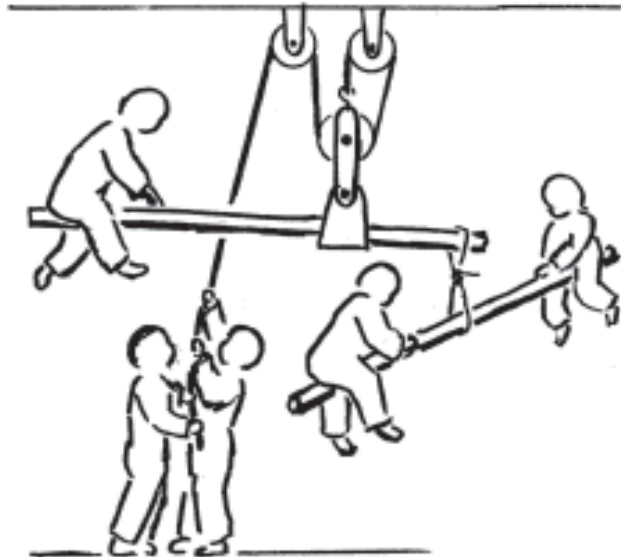


Abb. 12: »Schwebe«-Balken. Physikalische Großexperimente auf der Monatsfeier

trale Aufhängepunkt des Haupthebels trug immerhin 2 Balken (je 25 kg), 2 Halterungen (je 15 kg) und 3 Schülerinnen (je 45 kg); zusammen mit der schweren Rolle und den nötigen Eisenhaken ergaben sich wohl an die 4 1/2 Zentner, und 1/3 davon, also 1 1/2 Zentner, musste am Seilende gesichert und gehalten werden! Aber alles ging gut, kein Seil ist gerissen, kein Balken brach, kein Schüler stürzte ab – und das waghalsige Experiment einer riesigen »Balkenwaage« wurde auch vom Publikum gebührend bewundert!



Die 7. Klasse auf der Monatsfeier (Foto Heigl)

Anmerkungen

- 1 Die höchste versuchte gotische Wölbung mit 48 Metern Scheitelhöhe stürzte 1284 in Beauvais (Nordfrankreich) ein, ebenso der dortige 152 Meter hohe Turm.
- 2 Das Straßburger Münster hatte mit 142 Metern den höchsten Turm (1365) bis ins 19. Jahrhundert – als Köln und Ulm fertig gestellt wurden.
- 3 Aus: Dietrich Conrad: Kirchenbau im Mittelalter. Bauplanung und Bauausführung, Leipzig 1990, S. 115; Original im Germanischen Nationalmuseum Nürnberg
- 4 Diese vier Bereiche der Sinneswahrnehmung werden in Rudolf Steiners Sinneslehre auch die »unteren Sinne« genannt, weil sie viel stärker als etwa Hören oder Sehen an die Wahrnehmung des eigenen Leibes und der Willenskräfte gebunden sind.
- 5 Man hängt z.B. ein 200g-Gewicht an den 5. Haken und ein 100g-Gewicht an den 10. Haken auf der anderen Seite: Der Hebel ist im Gleichgewicht. Das 100g-Gewicht (am 10. Haken) ist halb so schwer wie das 200g-Gewicht (am 5. Haken) und benötigt deswegen den doppelten Abstand zum Drehpunkt. Die Abstände verhalten sich zueinander »umgekehrt« wie die Kräfte (Hebelgesetz).
- 6 Diese Rolle heißt deswegen »fest«, doch dreht sie sich natürlich bestens.

Zum Autor: Adolf Fischer, Jahrgang 1946, verheiratet, fünf Kinder; nach Feinmechanikerlehre Studium der Mathematik und Physik in Tübingen; Oberstufenlehrer an der Waldorfschule Ulm; Mitbegründer der Waldorfschule am Illerblick in Ulm als Klassenlehrer.