

Vom Tragen zum Tragwerk

Eine Einführung des Kraftbegriffs durch körperliche Erfahrungen

Von Franz Boczianowski

Die Mechanik ist für die Schülerinnen und Schüler kein einfaches Thema. Dies ist beim oberflächlichen Hinsehen überraschend, handelt es sich doch um alltägliche Sachverhalte wie das Bewegen und Heben von Gegenständen. Schaut man jedoch genauer hin, so zeigt sich, dass die newtonsche Mechanik nur schwer mit den Erfahrungen der Schülerinnen und Schüler in Einklang gebracht werden kann. So erscheint die Mechanik den Lernenden als künstlich und von ihrer eigenen Welt losgelöst. Die newtonsche Mechanik ist im hohen Maße abstrakt und eine idealisierte Sicht auf die Dinge. Die Reibung ist in ihrem Zusammenhang schwer zu fassen und muss deswegen im Unterricht „wegdiskutiert“ werden.

Dieser Artikel schlägt einen Zugang zur Mechanik über die Statik vor. Die Statik ist per Definition reibungsfrei. Messungen sind einfach und präzise. Gleichzeitig sind Kräfte deutlich als Zug und Druck wahrnehmbar. Mit diesen Erfahrungen lässt sich lebensnah in die Kinematik inklusive Reibungserscheinungen einsteigen. Beim Halten einer Getränkekiste sind Kräfte deutlich spürbar, ebenso beim Schieben eines Schrancks über den Boden. Erst im nächsten Schritt erfolgt durch die schrittweise Reduzierung der Reibung der Übergang zum „reibungsfreien Grenzfall“ der newtonschen Mechanik. (Einen phänomenorientierten Einstieg in die Mechanik über die Kinematik findet man unter [1].)

Befürworter der Dynamik als Einstiegsthema (s. z. B. [2]–[3]) führen Präkonzepte der Schülerinnen und Schüler an, die sich durch die Statik zu Fehlvorstellungen verfestigen könnten. Ein Beispiel ist, dass ein Kräftegleichgewicht einen Ruhezustand zur Folge habe (s. z. B. [4]). Solche Vorstellungen sind ernst zu nehmen. Aber gerade ein lebensnaher Unterricht macht es möglich, solche Prä-

konzepte aufzugreifen. Lebensweltliche Konzepte sind in speziellen Situationen tragfähig, aber eben nicht generalisierbar. Es ist die Überzeugung des Autors, dass die Entwicklung von lebensweltlichen zu physikalischen Vorstellungen mit einem lebensnahen Unterricht zu leisten ist.

Konzeption der Unterrichtsreihe

Der hier vorgestellte Unterricht versucht, einen phänomenorientierten Zugang zur Mechanik zu gestalten. Es wird darauf Wert gelegt, dass die Phänomene am Anfang stehen und Erklärungen vorerst zurückgehalten werden. So erhalten die Schülerinnen und Schüler die Möglichkeit, unvoreingenommen die Mechanik für sich zu entdecken.

Diese Kernidee wurde im hier vorgestellten Unterricht in verschiedener Hinsicht umgesetzt:

- Alle Experimente wurden in einen menschlichen Maßstab gesetzt. Beispielsweise werden anstelle von kleinen Wägestücken Feldsteine oder Getränkekisten verwendet. Sind die Kräfte spürbar, wird der menschliche Körper zum Messinstrument. Wenn sich Holzplatten biegen und Seile zerreißen, werden Kräfte sichtbar.
- Alle Experimente werden nahezu vollständig mit Alltagsgegenständen durchgeführt (z. B. Plastikbeutel, Sand). Auf miniaturisierte, undurchsichtige Experimentierapparaturen wird verzichtet. Die Aufbauten sollen klar und leicht zu verstehen sein.
- Die Untersuchung von Tragwerken wie Brücken, Kränen und Masten schafft eine Verbindung zur Lebenswelt der Jugendlichen. Im Unterricht werden reale, „authentische“ Probleme behandelt; so kann man die

KLASSE:	7./8. Klasse
SCHULFORM:	Haupt-, Real- und Gesamtschule, Gymnasium
ZEITUMFANG:	9 Unterrichtsstunden und Arbeit zu Hause (Tragen einer Getränkekiste: 1 UStd.; Lehrerexperimente: 1 DStd.; Schülerexperimente: mind. 1 DStd.; Knotenexperiment: 1 UStd., Brückenbau: 2 UStd. + Arbeit zu Hause; PC-Spiel: 1 UStd.; Gesamtkonzept: Schulhalbjahr)
THEMA:	Mechanik; Teilthema Statik
METHODEN:	Schüler- und Demonstrationsexperimente; Konstruktionswettbewerb
WEITERE MATERIALIEN:	http://didaktik.physik.hu-berlin.de/piko

Phänomene und Zusammenhänge im alltäglichen Leben wiederfinden.

- Zur Beschreibung der Phänomene, zuerst der Kraft, später der Geschwindigkeit, werden früh Pfeile eingeführt. Dies geschieht nicht im konventionellen Sinne über eine Zeichenvorschrift, vielmehr werden die Pfeile intuitiv, beschreibend als Symbole eingeführt (s. a. **Kasten 2**). Einer ersten, qualitativen folgt dann eine quantitative Beschreibung der Beobachtung des Experiments. Der Umgang mit Pfeilen vernetzt den gesamten Mechanikunterricht (Kraft, Ort, Geschwindigkeit, Beschleunigung) und geht darüber hinaus (z. B. in der Zeigeroptik; s. [5]). (Sind die Schülerinnen und Schüler mit Pfeilen bzw. Vektoren aus dem vorangegangenen Mathematik- oder Physikunterricht vertraut, sollten die bekannten Definitionen und Rechenvorschriften im Sinne eines aufbauenden, vernetzten Unterrichts verwendet werden.)

Das im Rahmen von „Physik im Kontext“ (s. S. 6 und 7–8) vom Berliner piko-Set¹⁾ entwickelte Unterrichtskonzept wurde in neun verschiedenen Klassen an

Schulen aller Schulformen unterrichtet (126 Schüler/-innen, sieben Lehrer/-innen). Im Schuljahr 2006/07 wird es von acht Lehrerinnen und Lehrern erneut unterrichtet.

Unterrichtsbausteine

Im Folgenden werden die ersten Stunden der entwickelten Unterrichtseinheit exemplarisch vorgestellt. In ausführlicher Form sind die Unterrichtsbausteine auf der Internetseite der Arbeitsgruppe Didaktik der Physik der Humboldt-Universität zu Berlin zu finden [i].²⁾

Tragen von Lasten

Thema der ersten Unterrichtsstunde ist das Tragen. Kraft soll spürbar gemacht werden. Pfeile werden auf lebensweltlichem Niveau eingeführt, um empfundene Kräfte mit Richtung und Betrag

darstellen zu können (s. **Abb. 1** sowie **3–4** und **6**).

Tragen einer Getränkekiste

An die Schülerinnen und Schüler geht der Auftrag, eine Getränkekiste „so einfach wie möglich“ zu halten. Die Lernenden wählen Kriterien, nach denen sie die unterschiedlichen Methoden bewerten. Die Vorschläge werden auf einer **Folie** dokumentiert und mit dem Projektor der ganzen Klasse gezeigt (s. Vorlage für die **Folie** auf S. 11). Die tragende Person wird mit der Getränkekiste skizziert und wahrgenommener Zug oder Druck symbolisch als Pfeil dargestellt. (Die Begriffe „Zug und Druck“ werden in dieser Unterrichtseinheit nicht im physikalischen Sinn verwendet, sondern um die Kraft nach ihrer Richtung zum wahrnehmenden Körper zu kategorisieren.)

Die Begriffe Kraft und Kraftpfeil werden noch nicht im physikalischen Sinn

definiert, sondern in der umgangssprachlichen Bedeutung gebraucht. Es geht hier um einen intuitiven, lebensnahen Einstieg. Die exakten, physikalischen Begriffe werden später entwickelt. Die Proportionalität zwischen Pfeillänge und Kraftbetrag sollte im Anschluss an das Experiment als einfachste Darstellungsform diskutiert werden. (Es wäre prinzipiell möglich, den Kraftbetrag durch die Pfeildicke oder Farbe zu kodieren. Es ist allerdings für die Schülerinnen und Schüler keine Hürde, die Pfeillänge als Darstellung des Betrages als praktikabel einzusehen.) Ähnlich sollte die Diskussion über den Angriffspunkt verlaufen. Im vorgestellten Unterricht wird der Angriffspunkt durch einen Punkt oder Kreis markiert, das kann auch an der Spitze des Pfeiles sein. Dies entspricht nicht der Konvention, hat aber den Vorteil, dass die Pfeile nicht beschriftet werden müssen, da jeder Pfeil auf dem zugehörigen

Tragwerke

▼ VERSUCH 1: Einknickende Säulen

Je ein Blatt Papier A4 (80-g-Papier) wird so aufgerollt, dass eine Säule von 4 bis 5 cm Durchmesser und 21 cm Höhe entsteht (Sicherung der Säule durch Büroklammern). Auf vier solcher Säulen wird nun eine feste Holzplatte gelegt. Schritt für Schritt wird die Holzplatte mit Steinen bzw. Wägestücken beladen (s. **Abb. 1**). Bei einer Last von mehreren Kilogramm stürzt die Konstruktion schlagartig ein.

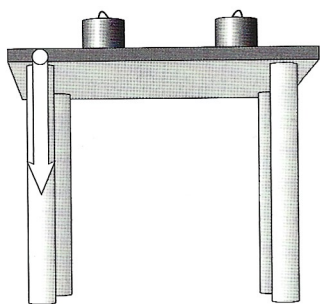


Abb. 1: Die Papierrollen sind gegen Belastungen von oben resistent. Querkräfte lassen die Säulen einknicken und somit die gesamte Konstruktion einbrechen

▼ VERSUCH 2: Reißendes Seil

An eine Paketkordel wird ein Beutel geknotet. Der Beutel wird mit Steinen gepackt, bis das Seil reißt.

▼ VERSUCH 3: Belasteter Träger

Auf vier Holzstützen wird eine dünne, flexible Holzplatte gelegt. Unter der Last der aufgelegten Steine verbiegt sich die Platte. Das Verbiegen ist die charakteristische Eigenschaft eines Trägers.

Mit einem Schaumstoffquader (Baumarkt: 40–60 cm × 20 cm × 12 cm) lässt sich die Situation genauer beobachten: Der obere Teil des Quaders wird zusammengedrückt, der untere auseinandergezogen (s. **Abb. 2**).

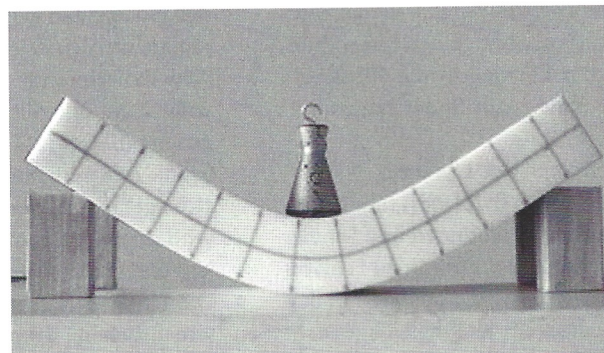
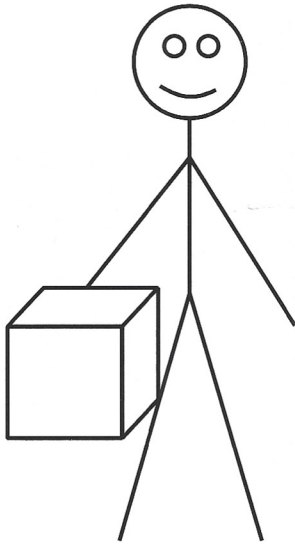


Abb. 2: Ein Träger verbiegt sich unter einer Last. Der obere Bereich des Trägers wird zusammengedrückt, der untere auseinandergezogen

1 Wie kann man eine Getränkekiste am besten halten?

▼ BEISPIEL



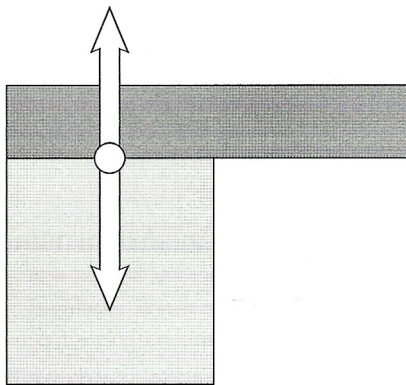


Abb. 3: Der betrachtete Angriffspunkt ist der Berührungspunkt von Stütze und Platte. Die Stütze erfährt Druck von oben. Die Platte erfährt Druck von unten

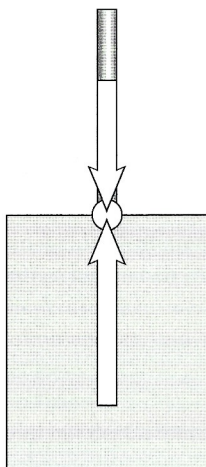


Abb. 4: Das Seil wird auseinandergezogen. Es erfährt Zug. Der Angriffspunkt ist an der Pfeilspitze. Der dem Seil zugehörige Pfeile zeigt nach unten, der dem Beutel zugehörige Pfeil nach oben

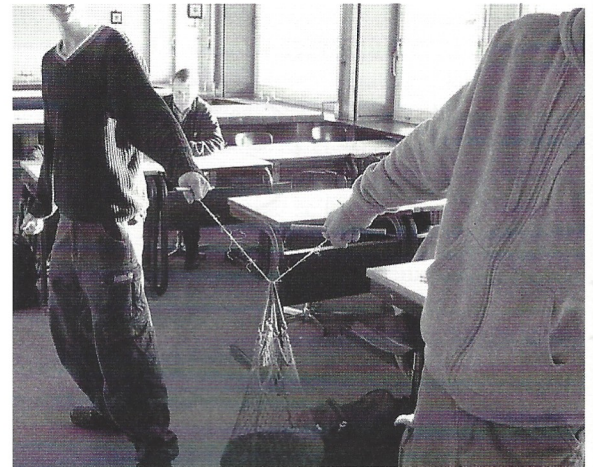


Abb. 5: Es entstehen unglaubliche Zugkräfte an den Seilenden, wenn man versucht, einen Findling auf die gezeigte Weise zu heben

Körper gezeichnet werden kann (Näheres zu den Regeln zur Notation s. u.).

Ergebnisse

Beim Experimentieren mit der Getränkekiste erschließen die Schülerinnen und Schüler, dass es am vorteilhaftesten ist, die Getränkekiste nah am Körper zu tragen. Der empfundene Zug oder Druck ist hier am geringsten. Im Internet lassen sich leicht Bilder zum Thema Tragen finden, zum Beispiel von Wasserträgerrinnen, die ihre Krüge auf dem Kopf transportieren (s. [ii]). Die Bilder lassen sich mit den Skizzen der Schülerinnen und Schüler vergleichen.

Erfahrungen

Es hat sich gezeigt, dass die Schülerinnen und Schüler mit Begeisterung am Unterricht teilnehmen. Beim Durchführen der Experimente und beim Einzeichnen der Pfeile gab es keine Probleme. Allerdings führen die Schülerinnen und Schüler manchmal das Experiment nicht statisch durch, sondern „mit Schwung“. In der an das Experiment anschließenden Diskussion ist jedoch Gelegenheit, solche Punkte zu besprechen.

Grundelemente von Tragwerken

Die folgende Doppelstunde hat die Grundelemente von Tragwerken zum Thema: Seile, Stützen und Träger. An-

hand dieser lassen sich auch komplizierte Fachwerkstrukturen wie Brücken, Masten und Kräne verstehen.

Lehrerexperimente

Drei Lehrerexperimente werden durchgeführt (s. **Kasten 1**). Beim ersten Experiment (s. **Versuch 1** und **Abb. 1** im **Kasten 1**) werden die zerdrückten Papierstützen von den Schülerinnen und Schülern untersucht. Es ist zu erkennen, dass die Stütze die senkrechte Belastung gut verträgt und durch seitliches Einknicken zerstört wird. In der anschließenden Diskussion wird das Szenario mit Pfeilen dargestellt. Wir verwenden folgende Regeln für die Pfeile:

- Der Angriffspunkt wird durch einen Punkt oder Kreis markiert.
- Der Pfeil wird in dem Körper gezeichnet, von dem die Kraft „wahrgenommen“ wird.

Bei der Stütze in **Abb. 3** befindet sich der Angriffspunkt beispielsweise am oberen Ende. Der zur Stütze gehörige Pfeil zeigt in die Mitte der Stütze. Die Stütze „spürt“ Druck von oben. Die Platte erfährt Druck von unten.³⁾

Die Auswertung des zweiten Experiments (s. **Versuch 2** im **Kasten 1**) verläuft ähnlich. Die Situation lässt sich entsprechend **Abbildung 4** mit Pfeilen beschreiben. Der dem Seil zugehörige Pfeil wird entlang des Seils gezeichnet, er zeigt

nach unten. Das Seil wird auseinandergezogen, es „nimmt Zug wahr“.

Im dritten Experiment (s. **Versuch 3** und **Abb. 2** im **Kasten 1**) wird der Träger untersucht. Der Träger wird sich in späteren Unterrichtsstunden als aus Seil und Stütze zusammengesetzt darstellen lassen.

Die Unterrichtserfahrungen sind sehr positiv. Die Experimente werden mit Spannung verfolgt. Der Zusammenbruch der Konstruktionen erfolgt später, als es die Schülerinnen und Schüler anfangs vermuten.

Kräfte in Seilkonstruktionen

Die Addition von Kräften (s. **Kasten 2**) wird im Unterricht phänomenorientiert eingeführt: Ein mehrere Kilogramm schwerer Stein soll von zwei Schülern mithilfe eines Seils gehoben werden, indem das Seil straff zwischen den beiden Schülern gespannt wird (s. **Abb. 5**). Es entstehen enorme Kräfte, es wird selbst den Kräftigsten der Klasse nur schwer gelingen, den Stein auf diese Weise auf einen Tisch zu heben.

Für die Schülerinnen und Schüler werden so die Kräfte deutlich, die in Seilkonstruktionen entstehen können, auch wenn die Masse des Steines unverändert ist. Um dieses Experiment genauer zu untersuchen, wird in offener Gruppenarbeit die Reißfestigkeit von

Addition von Kräften

Der hier vorgestellte Umgang mit Pfeilen unterscheidet sich von der herkömmlichen Einführung der Vektoraddition, ist aber in vielerlei Hinsicht klarer. Die herkömmliche Addition kann jedoch verwendet werden, wenn die Schülerinnen und Schüler bereits mit ihr vertraut sind.

- Dem Angriffspunkt wird ein sog. Kräfteplan zugeordnet. Innerhalb eines Plans ist der Pfeil parallel verschiebbar, denn Richtung und Betrag, die beiden Größen, die der Pfeil repräsentiert, bleiben erhalten. (Im konventionellen Sinn ist das nicht erlaubt, weil der Fußpunkt der Pfeile den Angriffspunkt markiert. Mit parallelen Hilfslinien muss die Resultierende konstruiert werden.) Im Kräfteplan lassen sich die Pfeile zu einem Polygonzug „zusammenschieben“, die Resultierende ist dann vom freien Fußpunkt bis zur freien Spitze zu zeichnen. Auf diese Weise lassen sich beliebig viele Pfeile problemlos addieren, was für den hier dargestellten Unterricht von großer Wichtigkeit ist. Die Addition von mehreren Pfeilen mittels Parallelgrammkonstruktion ist in hohem Maße unübersichtlich.
- Im hier vorgestellten Unterricht werden keine Kräftezerlegungen vorgenommen (s. a. [6]). Die Kraftpfeile sind klar den Objekten zugeordnet, die die Kraft erfahren. Eine Zerlegung nach „geeignet zu wählenden“ Richtungen wird umgangen. Mithilfe des Kräfteplans ist es

möglich, die Kräfte als Pfeile darzustellen und gleichzeitig mit diesen Pfeilen so zu rechnen, dass am Ende die ursprünglichen Pfeile immer noch leicht identifizierbar sind, weil sie sich nur in ihrer Lage, aber nicht in Ausrichtung oder Länge geändert haben (s. Abb. 6).

Betrachtet man in einem statischen Fachwerk einen beliebigen Punkt, so addieren sich dort alle Kräfte zu null. Mittels der beschriebenen zeichnerischen Vektoraddition lassen sich beliebige Fachwerk-Konstruktionen vollständig bestimmen. Die verwendete Methode der Vektoraddition wird nach dem Mathematiker und Statiker Cremona (1830–1903) Cremona-Plan (s. z. B. [iii]) genannt.

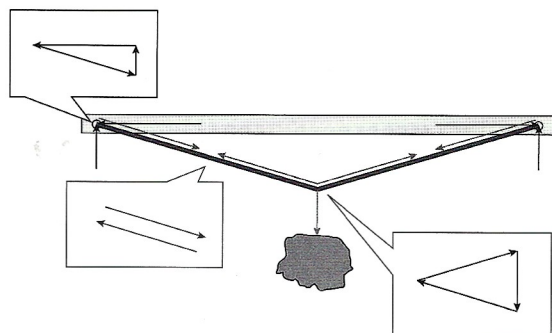


Abb. 6: Cremona-Plan an einer Konstruktion aus einer Stütze und einem Seil. Der Träger lässt sich in dieser Konstruktion erkennen

1 A GRUPPE 1: Messung der Reißfestigkeit bei variabler Masse

▼ MATERIAL

- Stativmaterial
- Nähseide
- 1 Plastiktüte
- Trichter
- Sand
- Waage (am Lehrertisch)
- Messbecher

▼ AUFGABEN

1. Baut den Versuch entsprechend der Skizze auf.
2. Füllt vorsichtig den Sand in die Tüte ein, nutzt dazu den Trichter.
3. Füllt den Sand so lange ein, bis der Faden reißt. Bestimmt die Masse des Sandes, der eingefüllt wurde.
4. Führt den Versuch noch weitere 4-mal durch und tragt jeweils die Werte in die Messwertetabelle ein.

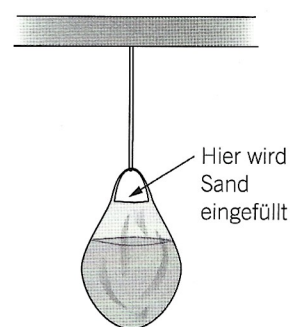
▼ MESSERGEBNISSE

$$m_1 = \text{---}; m_2 = \text{---}; m_3 = \text{---}; m_4 = \text{---}; m_5 = \text{---}$$

$$\text{Mittelwert: } m = \text{---}$$

Das Seil reißt bei _____

▼ SKIZZE



▼ PFEILDARSTELLUNG



1 B GRUPPE 2: Messung der Reißfestigkeit bei variablem Winkel

▼ MATERIAL

- 1 Maßstab
- Stativmaterial
- 100-g-Wägestück
- Nähseide
- Umwandlungsdiagramm

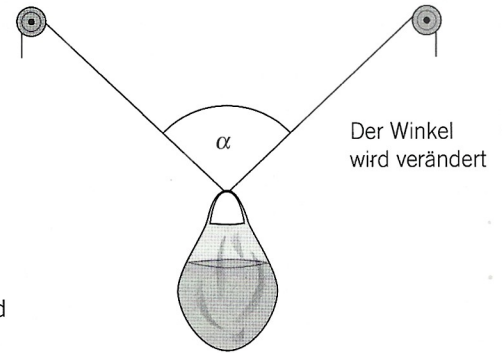
▼ AUFGABEN

1. Baut den Versuch entsprechend der Skizze auf.
2. Füllt vorsichtig Sand in die Tüte ein, nutzt dazu den Trichter.
3. Zieht nun die Tüte durch Ziehen an beiden Fäden hoch und misst die Winkel zwischen den beiden Fäden.
Bestimmt den Winkel, bei der der Faden reißt und anschließend die Masse des eingefüllten Sandes.
4. Führt den Versuch noch weitere 4-mal durch, jedes Mal mit einer anderen Menge Sand in der Tüte, und tragt jeweils die Werte in die Messwertetabelle ein.

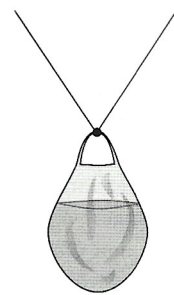
▼ MESSERGEBNISSE

benutzte Masse	Faden reißt bei Winkel
$m_1 = \underline{\hspace{2cm}}$	$\alpha_1 = \underline{\hspace{2cm}}$
$m_2 = \underline{\hspace{2cm}}$	$\alpha_2 = \underline{\hspace{2cm}}$
$m_3 = \underline{\hspace{2cm}}$	$\alpha_3 = \underline{\hspace{2cm}}$
$m_4 = \underline{\hspace{2cm}}$	$\alpha_4 = \underline{\hspace{2cm}}$

▼ SKIZZE



▼ PFEILDARSTELLUNG



1 C Gruppe 3: Messung der Reißfestigkeit bei festem Winkel und variabler Masse

▼ MATERIAL

- Stativmaterial
- 1 Maßstab
- 200-g-Wägestück
- Nähseide
- Umwandlungsdiagramm

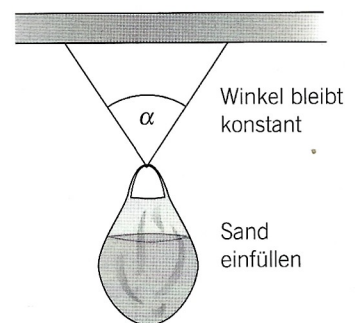
▼ AUFGABEN

1. Baut den Versuch entsprechend der Skizze auf.
2. Zieht nun die Tüte durch Ziehen an beiden Fäden etwas hoch und misst die Winkel zwischen den beiden Fäden.
3. Füllt vorsichtig Sand in die Tüte ein, nutzt dazu den Trichter.
4. Füllt den Sand so lange ein, bis der Faden reißt.
Bestimmt die Masse des Sandes, der eingefüllt wurde.
5. Führt den Versuch noch weitere 4-mal durch, jedes Mal mit einem anderen Winkel zwischen den Fäden, und tragt jeweils die Werte in die Messwertetabelle ein.

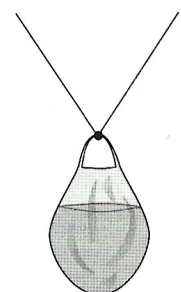
▼ MESSERGEBNISSE

Eingestellter Winkel	Faden reißt bei Masse
$\alpha_1 = \underline{\hspace{2cm}}$	$m_1 = \underline{\hspace{2cm}}$
$\alpha_2 = \underline{\hspace{2cm}}$	$m_2 = \underline{\hspace{2cm}}$
$\alpha_3 = \underline{\hspace{2cm}}$	$m_3 = \underline{\hspace{2cm}}$
$\alpha_4 = \underline{\hspace{2cm}}$	$m_4 = \underline{\hspace{2cm}}$

▼ SKIZZE



▼ PFEILDARSTELLUNG



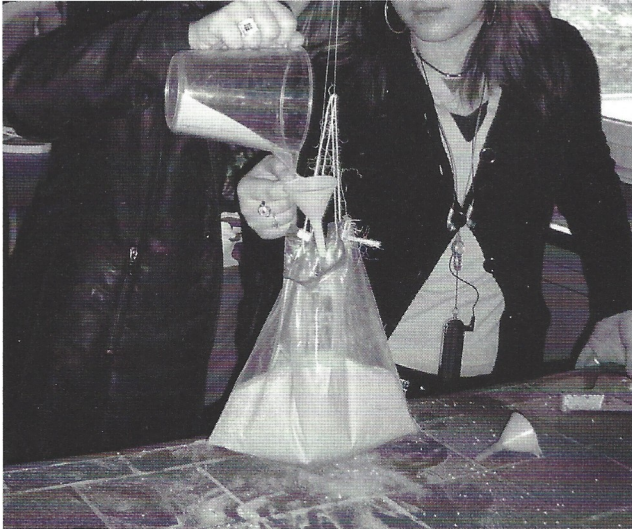


Abb. 7: Es werden für die Experimente Haushaltsgegenstände verwendet, hier sind es Plastikbeutel, Sand und Nähgarn

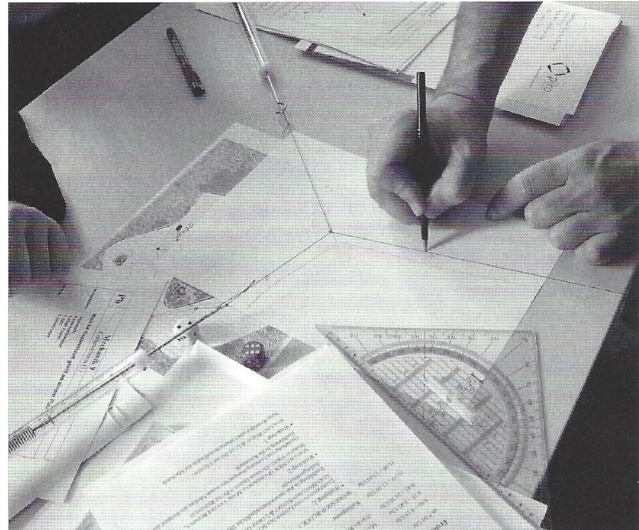


Abb. 8: Freihandversuch: Die Pfeillänge ergibt sich aus der angezeigten Kraft, die Richtung aus der Ausrichtung des Kraftmessers

Fäden in verschiedener Weise untersucht und damit ein quantitativer Kraftbegriff vorbereitet.

Reißversuche

Es werden Schülerexperimente in drei Gruppen durchgeführt. Es gibt verschiedene Aufgabenstellungen (s. **Arbeitsblatt 1**; weitere Aufgabenblätter finden sich im Internet [i]):

- Die Reißfestigkeit zweier Fäden (Nähseide) wird an einer Aufhängung untersucht, bei der beide Fäden parallel sind. Sie werden mit einem Beutel belastet, in den Sand gefüllt wird. Es wird notiert, bei welcher Belastung die Fäden reißen, und der Mittelwert ermittelt.
- Der Sandbeutel wird mit unterschiedlichen Mengen Sand gefüllt. Der Beutel wird dann durch Ziehen an den beiden Fäden hochgehoben. Es wird der Winkel bestimmt, bei dem die Fäden reißen (**Abb. 7**).
- Die dritte Gruppe untersucht die Situation mit verschiedenen Winkeln. In den Beutel wird Sand eingefüllt und bestimmt, bei welcher Belastung die Fäden bei den unterschiedlichen Winkeln reißen.

Die einzelnen Gruppen stellen ihre Messergebnisse anschließend der gesamten Klasse vor. Die Abhängigkeit zwischen Winkel und der maximalen Belastbarkeit wird diskutiert.

Knotenexperiment

Ein weiteres Schülerexperiment lässt erkennen, dass sich die Kräfte an einem Knoten im statischen Fall zu null addieren. Die Schülerinnen und Schüler

erarbeiten dies in Vierer- oder Fünfergruppen, wobei jeder mit einem Federkraftmesser an einem Schnurende zieht (s. **Abb. 8**). Die gemessenen Kräfte müssen die Schülerinnen und Schülern dann als Pfeile darstellen, wobei ein geeigneter Maßstab zu wählen ist und die Richtung berücksichtigt werden muss. Nun kommt die Addition von Kraftpfeilen durch das Polygonzugverfahren zum Einsatz. Nach der Addition aller gemessenen Kräfte ergibt sich die resultierende Kraft zu null. Weitere Übungen zur Darstellung von Kraft als Pfeil und zur Addition schließen sich an.

Mit Bezug auf den Einstiegsversuch (s. **Abb. 5**) wird die Frage gestellt, welche Kräfte in dem Seil wirken, wenn der Stein auf den Tisch gehoben wird. Es werden Vorschläge gesammelt, wie man sich den Transport des Steines vereinfachen könnte, wobei wie bisher zwei Personen, ein Seil und weitere Hilfsmittel genutzt werden sollen. Als eine Möglichkeit der Erleichterung wird eine Holzlatte als Querstange genutzt, in welche die Seilenden eingehängt werden können. Die Untersuchung der wirkenden Kräfte an den Enden der Holzlatte führt auf eine Diskussion der Frage, ob die Holzlatte eine Stütze oder ein Träger ist. Die Antwort kann mit einem überdimensionalen Kraftmesser (große Feder in einem durchsichtigen Plexiglasrohr mit zwei Holzstangen) überprüft werden (s. **Abb. 9**).

Brücken

Mithilfe des Cremona-Plans (s. **Kasten 2** und **Abb. 6**) lassen sich viele Alltagssituationen untersuchen. Insbesondere

Brücken bieten sich an, um einen Bezug zur Lebenswelt der Schülerinnen und Schüler zu schaffen.

Im Rahmen des durchgeführten Unterrichtes wurde ein Wettbewerb zum Bau von Brücken aus Nudeln ausgeschrieben (s. **Arbeitsblatt 2**).⁴⁾ Um Brückenkonstruktionen im Vorfeld testen zu können, bietet sich das kostenlose Computerspiel *Bridgebuilder* an [iv]. Es lassen sich hiermit verschiedene Brücken virtuell konstruieren und testen. Stark belastete Streben werden vom Programm farblich hervorgehoben. Auch mit Magnetbaukästen können Brückenkonstruktionen getestet werden (s. **Abb. 10**). Baukästen von hoher Qualität erhält man zum Beispiel hier [v].

Die Schülerinnen und Schüler haben mit großer Begeisterung an dem Wettbewerb teilgenommen (s. **Abb. 11**). Die besten Brücken konnten mehr als 10 kg Last tragen.

Ausblick

Der weitere Unterrichtsablauf gestaltet sich in folgender Weise: Flaschenzug und Hebel werden ebenfalls im Kontext von Halten und Tragen großer Lasten eingeführt. Anschließend wird die Bewegung von Lasten durch Ziehen und Drücken über den Boden behandelt und die Reibung thematisiert. Die schrittweise Reduzierung der Reibung durch glatte Unterlagen und Rollen ermöglicht den Übergang zur Dynamik (s. **Abb. 12**). Der vektorielle Charakter der Geschwindigkeit wird wie schon beim Kraftbegriff früh auf intuitive Weise eingeführt.

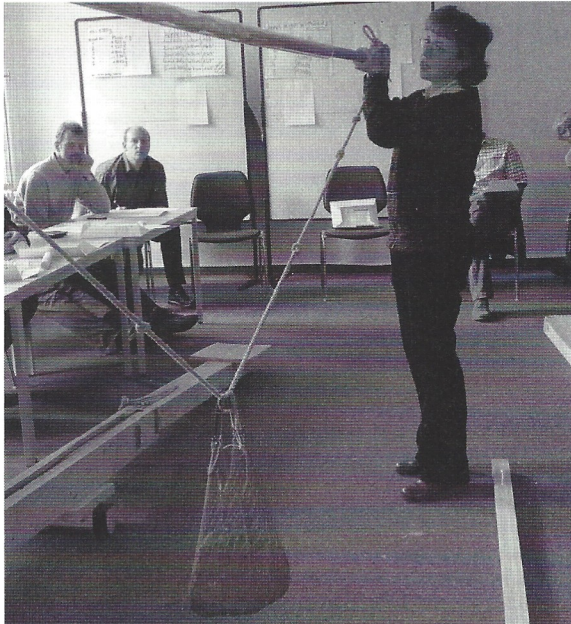


Abb. 9: Ein Träger lässt sich in ein Seil und eine Stütze zerlegen

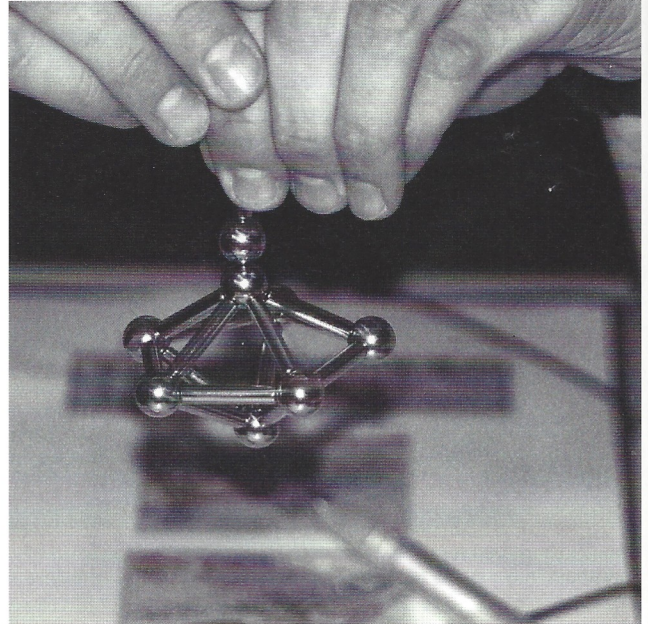


Abb. 10: Magnetstäbe und Stahlkugeln

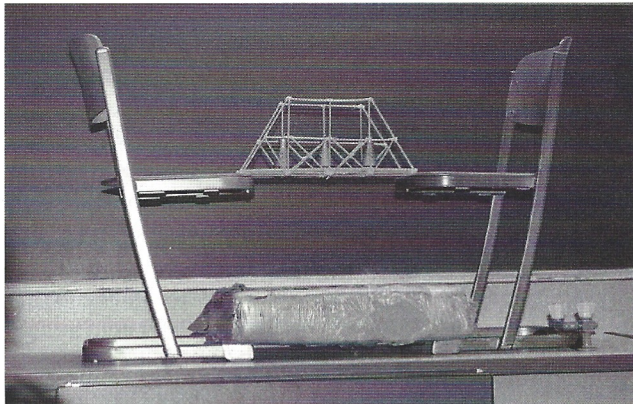


Abb. 11: Eine Brücke aus Maccaroni

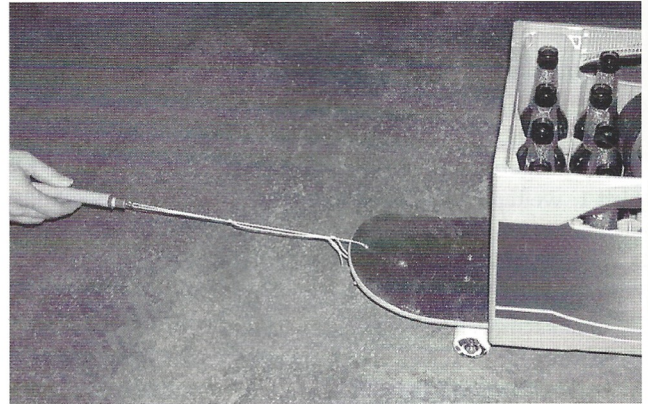


Abb. 12: Reduzierung der Reibung durch Rollen. Bei konstanter Kraft wird der Getränkekasten immer schneller

Anmerkungen

- 1) „Physik im Kontext“ ist ein vom BMBF über drei Jahre (2004–2006) finanziertes Projekt (s. S. 6). An der Abteilung Didaktik der Physik der Humboldt-Universität zu Berlin hat sich eine Gruppe von Lehrerinnen und Lehrern aller Schulformen gebildet. Die Gruppe hat sich zum Ziel gesetzt, das von den Schülerinnen und Schülern ungeliebte Thema der Mechanik zu überdenken und eine neue Unterrichtseinheit für die 7./8. Klassenstufe zu entwickeln. Das Team des Berliner Piko-Sets: Humboldt Universität: Franz Boczianowski, Lutz-Helmut Schön; Dreilinden Gymnasium: Gabriele Krüger, Dagmar Potratz; Gottfried-Keller-Gymnasium: Gunther Wapler, Christian Glagow; Humboldt Oberschule: Ando Ribbeck; Menzel Gymnasium: Peter Schulze; Theodor-Haubach-Schule: Petra Brostowski, Antje Dahlke, Peter König; Walter-Gropius-Schule: Gabriela Ernst, Andrea Kaiser, Ulrich Wieland, Detlef Skirke; John-Lennon-Schule: Helmke Schulze.
- 2) Die Internetseite wird entsprechend dem Arbeitsstand der Lehrergemeinschaft aktualisiert. Auch Termine für Fortbildungen zur Berliner Mechanik sind auf der Seite zu finden.
- 3) Die Objekte werden als passiv gesehen: Die Stütze wird zusammengedrückt. Ebenso ist es möglich, die Stütze aktiv zu sehen: Die Stütze „drückt“ nach oben, dann zeigen die Pfeile in

- die entgegengesetzte Richtung. Beide Wege sind gangbar, aber nicht gleichzeitig umsetzbar!
- 4) Als Material für den Brückenbau sind Maccaroni-Nudeln (röhrenförmige, lange Nudeln ähnlich wie Spaghetti, nur dicker) und eine Heißkleber-Pistole (ca. 5 €, Baumarkt oder Conrad Elektronikversand [www.conrad.de]) bereitzustellen.

Literatur

- [1] Theilmann, F.: Expedition in die Mechanik. Themen und Motive für erscheinungsorientierten Physikunterricht. Stuttgart: edition waldorf, Pädagogische Forschungsstelle beim Bund der Freien Waldorfschulen e. V., 2006.
- [2] Wodziniski, R.; Wiesner, H.: Einführung in die Mechanik über die Dynamik I. In: Physik in der Schule 32 (1994), S. 164–169.
- [3] Theis, W. R.: Nachhaltiger Physik-Unterricht am Beispiel der Einführung in die Mechanik. In: Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule 51 (2002), S. 17–23.
- [4] Wiesner, H.: Verbesserung des Lernerfolgs im Unterricht über die Mechanik. In: Physik in der Schule 32 (1994), S. 122–126.
- [5] Weber, T.; Schön, L.: Kumulatives Lernen mit dem Lichtwegkonzept. In: Brechel, Renate (Hrsg.): Zur Didaktik der Physik und Chemie: Probleme und Perspektiven. Jahrestagung der GDGP in Dortmund 2001. Alsbach: Leuchtturm-Verlag, 2001, 22, S. 351–353.

- [6] Wheeler, D.: Calculations with whole vectors: a really easy alternative to components. In: Physics Education 36 (2001), S. 406–409.

Internet

- [i] <http://didaktik.physik.hu-berlin.de/piko>
- [ii] z. B. Google Bildersuche, Suchbegriffe: „tragen“, „Wasser tragen“, „heben“, „richtig heben“; <http://images.google.com>
- [iii] <http://www.biw.fh-deggendorf.de/partsch/dipl/fachwerktraeger>
- [iv] www.bridgebuilder.de, www.bridgebuilder-game.com
- [v] www.supermagnete.de

Nudelbrücken-Wettbewerb

▼ REGELN

1. Du darfst eine 500-g-Packung Maccaroni verwenden!
2. Die Brücke muss eine Schlucht von 50 cm überspannen!
3. Die Brücke muss mindesten 10 cm breit sein, damit man Gewichte auflegen kann!
4. Zum Verbinden der Nudeln darf nur Heißkleber benutzt werden! Achtung heiß!
5. Die Nudeln dürfen nur an den Enden zusammengeklebt werden!

▼ BEWERTUNG

1. Masse der Brücke (20%)
2. Design (20%)
3. Präsentation (20%)
4. Belastbarkeit (40%)

Die ganze Klasse entscheidet!

