

Die Energie-Diät

Arbeit und Leistung von Mensch und Maschine – Lehrerinformationen

Teil 1 – Vorbereitung der Experimente

Die Schüler führen ein bis zwei einfache Experimente aus; bei zwei Experimenten wird im Stationenbetrieb gearbeitet. Nachfolgend sind insgesamt vier Experimente beschrieben – wählen Sie diejenigen aus, die Ihnen passend erscheinen. Da bei den Experimenten zum Sägen bzw. Bohren die Leistung nur indirekt ermittelt werden kann, wird empfohlen, wenigstens eines der beiden zuerst genannten Experimente (Gewicht-Heben bzw. Auto anschieben) mit einzusetzen.

Beachten Sie schon bei der Planung auch die fachlichen Anforderungen für die Auswertung der Experimente! Die Auswertung des Auto-Anschiebens erfordert physikalisches Wissen, das in Deutschland erst in Klasse 10 vermittelt wird; wenn Sie dieses – in der praktischen Durchführung sehr gut geeignete – Experiment mit einbeziehen, müssen Sie sich darauf einstellen, diese Grundlagen bei der Auswertung zumindest ansatzweise mit zu vermitteln.

Lernziel ist in allen Fällen, ein Maß für die eigene körperliche Leistungsfähigkeit zu finden.

Gut ausgestattete Bildungseinrichtungen, die über andere geeignete Ausrüstung verfügen, können das Lernziel auch damit erreichen. In Deutschland sind z.B. "Energiefahrräder" üblich, bei denen Schüler über eine Lichtmaschine / einen Dynamo elektrische Energie erzeugen und damit elektrische Geräte wie z.B. eine Glühlampe antreiben.

Die Aufgaben für die Schüler sind im Arbeitsbogen 350_3 beschrieben. Die Auswertung ist im Teil 2 dieser Lehrerinformationen beschrieben.

Bereiten Sie die Stationen so vor, wie hier beschrieben! Legen Sie an jede Station einen Arbeitsbogen für Schüler. Teilen Sie die Klasse ggf. in Kleingruppen ein, und lassen Sie die Gruppen die Stationen absolvieren.

Achten Sie darauf, dass Ihre Schüler die in dem Arbeitsbogen enthaltenen Sicherheitshinweise beachten und prüfen Sie, ob entsprechend der Situation vor Ort evtl. zusätzliche Sicherheitsmaßnahmen erforderlich sind.

Das Experiment bzw. die Experimente sollten in ca. 25 Minuten absolviert werden.

Gewicht-Heben

Arbeitsauftrag für die Schüler: Heben eines 10 kg-Gewichts mit fester Rolle bzw. Flaschenzug

Materialien:

- "feste Rolle" bzw. Flaschenzug mit geeigneter Befestigung
- geeigneter stabiler und frei zugänglicher Aufhängungspunkt in 2 – 5 m Höhe, z.B. an einer Schaukel oder einem Torbogen
- stabiles Seil von z.B. 8-10 m Länge (bei Flaschenzug evtl. längeres Seil notwendig)
- Gewicht von ca. 10 kg, z.B. Wassereimer voll Sand, Kanister voll Wasser oder Sack mit 2 -3 Medizinbällen
- Waage
- Stoppuhr
- Maßband

- kleine elektrische Seilwinde oder kräftige Bohrmaschine mit einer geeigneten stationären Verankerung und einer Achse zur Aufnahme des Seils
- Stromversorgung
- Amperemeter bzw. (besser:) Energiekostenmessgerät mit integriertem Amperemeter

Versuchsaufbau:

Die Rolle wird sicher aufgehängt; das Seil wird über die Rolle gelegt.

An einem Ende des Seiles wird das Gewicht befestigt.

Unter der Rolle wird eine Markierung angebracht; wenn der untere Teil des Gewichts diese Markierung erreicht, ist das Anheben des Gewichts beendet (ausreichend Abstand zur Rolle halten; der obere Teil des Gewichts soll nicht in die Rolle kommen).

Der Abstand zwischen dem Erdboden und der Markierung wird ausgemessen.

Mit Hilfe des Arbeitsbogens sollten die Schüler ihre eigene Leistungsfähigkeit weitgehend selber austesten.

Die Leistung der Maschine sollten Schüler und Lehrer gemeinsam untersuchen. Dazu wird die Seilwinde / Bohrmaschine fest verankert. Das Seil wird an der Seiltrommel / Achse befestigt. Die Maschine wird an das Stromnetz angeschlossen, dabei wird auch das Amperemeter / das Energiekostenmessgerät angeschlossen. Die Maschine wird gestartet. Wie auch bei den Schülern, wird die Zeit gemessen, die zum Hochziehen des Gewichts benötigt wird. Zudem wird an dem Messgerät die Stromstärke abgelesen. Anschließend wird das Gewicht auf geeignete Weise (z.B. mit dem "Rückwärtsgang") wieder abgelassen.

Auto-anschieben

Arbeitsauftrag für die Schüler: Auto-Anschieben bis zu einer bestimmten Maximalgeschwindigkeit

Materialien:

- Kraftfahrzeug (PKW) mit bekannter Masse und bekannter Leistung
- Fahrer mit bekannter Körpermasse
- geeignete Teststrecke: gut 50 m lang, verkehrsberuhigt, waagrecht, glatt (Asphalt bzw. Beton) und geradlinig
- Stoppuhr
- Maßband
- Kreide

Versuchsaufbau:

Auf der Teststrecke werden der Startpunkt und – 25 m weiter – der Zielpunkt durch Kreidestriche markiert.

Ein Schüler bekommt den Arbeitsbogen für Schüler zum Protokollieren. Der PKW wird am Startpunkt aufgestellt. Der Fahrer nimmt am Steuer Platz; er löst die Handbremse und nimmt den Gang raus. Ein Schüler mit Stoppuhr postiert sich am Zielpunkt. Drei Schüler nehmen hinter dem PKW Aufstellung.

Der Schüler mit Stoppuhr gibt das Zeichen zum Start und startet seine Stoppuhr. Daraufhin schieben die drei Schüler den PKW so kräftig wie möglich bis zum Zielpunkt. Wenn der PKW

am Zielpunkt angekommen ist, stoppt der dort stehende Schüler die Zeit. Die drei Schüler lassen den PKW los, dieser bremst allmählich ab.

Die Zeit wird protokolliert.

Der PKW fährt zurück zum Startpunkt, und drei weitere Schüler führen das Experiment durch.

Wenn alle beteiligten Schüler das Experiment absolviert haben, findet ein letzter Durchlauf statt. Dabei startet der Fahrer den Motor, tritt auf die Kupplung und legt bereits den ersten Gang ein. Der Schüler mit Stoppuhr gibt das Startzeichen. Der Fahrer fährt möglichst schnell die Strecke ab, möglichst ohne den Gang zu wechseln. Die Zeit wird gemessen und protokolliert.

Sägen

Arbeitsauftrag für die Schüler: Sägen: Zersägen eines Brettes mit Hand- bzw. Elektrosäge

Materialien:

- dickes Brett, z.B. 20 cm breit und 3-5 cm stark, mit glatten Kanten (Das Brett soll an allen Stellen die gleichen Maße haben)
- Werkbank oder andere geeignete robuste Auflage
- Handsäge, z.B. Fuchsschwanz oder Handbügelsäge
- kleine Elektrosäge, z.B. Stichsäge, Elektrofuchsschwanz oder ggf. auch Handkreissäge
- ggf. Schraubzwinge
- Schutzbrille, ggf. auch Handschuhe
- Stromversorgung
- Amperemeter bzw. (besser:) Energiekostenmessgerät mit integriertem Amperemeter
- Stoppuhr

Versuchsaufbau: Die Materialien werden bereitgestellt.

Bevor die Schüler mit dem Sägen beginnen, weisen Sie sie auf die Sicherheitsvorschriften hin und erklären Sie die Funktionsweise und Bedienung der Sägen. Nicht nur die Elektrosäge muss erläutert werden, sondern auch die Handsäge – es macht z.B. einen Unterschied, ob diese auf Druck oder auf Zug sägt.

Dann führen die Schüler das Experiment aus wie im Arbeitsbogen beschrieben.

Bohren

Arbeitsauftrag für die Schüler: Sägen: Bohren eines Brettes mit Handbohrer / Handbohrmaschine bzw. Elektrobohrmaschine

Materialien:

- dickes Brett, z.B. 3-5 cm stark (Das Brett soll an allen Stellen gleich stark sein)
- Werkbank oder andere geeignete robuste Auflage

- Handbohrer bzw. mechanische Handbohrmaschine sowie Bohrmaschine (jeweils mit ausreichend scharfen Bohrern mit dem gleichen Durchmesser)
- ggf. Schraubzwinge
- Schutzbrille, ggf. auch Handschuhe
- Stromversorgung
- Amperemeter bzw. (besser:) Energiekostenmessgerät mit integriertem Amperemeter
- Stoppuhr

Versuchsaufbau: Die Materialien werden bereitgestellt.

Bevor die Schüler mit dem Bohren beginnen, weisen Sie sie auf die Sicherheitsvorschriften hin und erklären Sie die Funktionsweise und Bedienung der Bohrer.

Dann führen die Schüler das Experiment aus wie im Arbeitsbogen beschrieben.

Teil 2 – Auswertung der einzelnen Experimente

Die Auswertung erfolgt im Klassenverband. Es sollen folgende Fragen geklärt werden:

- Welche Leistung erbringt ein Mensch (Kurzzeit-Höchstleistung, Dauerleistung)?
- Welche Leistung erbringen Maschinen, die wir alltäglich nutzen?

Lassen Sie die Schüler berichten, was sie bei den Experimenten beobachtet haben und welche Schlussfolgerungen sie ziehen.

Ermitteln Sie für jedes Experiment – soweit möglich – die Leistung der Schüler und die der Maschine.

Gewicht-Heben

Die **Schüler** verrichten Arbeit, in dem sie die potenzielle Energie des “Gewichts” erhöhen.
Es gilt $W = E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h$

Je schneller ein Schüler diese Arbeit verrichtet, umso höher ist seine Leistung.

Es gilt $P = W/t$

Für die von der Maschine verrichtete mechanische Arbeit gilt genau das gleiche.

Für die **Maschine** können zudem der “Energieverbrauch” sowie die Leistungsaufnahme ermittelt werden, wenn die Spannung des elektrischen Netzes eingesetzt und die Stromstärke gemessen wurde:

$$W = U \cdot I \cdot t$$

$$P = W/t = U \cdot I$$

Zudem kann der Quotient aus der abgegebenen / mechanischen Leistung und der aufgenommenen / elektrischen Leistung berechnet und somit Wirkungsgrad der Maschine ermittelt werden.

$$\eta = P_{\text{mech}}/P_{\text{el}} \cdot 100\%$$

Auto anschieben

Näherungsweise soll davon ausgegangen werden, dass das Auto sich ohne Reibungsverluste fortbewegt. Unter diesen Voraussetzungen wird die Arbeit der **Schüler** in die kinetische Energie des Autos transformiert:

$$W = E_{\text{kin}} = 0,5 * m * v^2 \quad (m = \text{Masse des Fahrzeugs} + \text{Masse des Fahrers})$$

Die gemeinsame Leistung der Schüler ergibt sich nach:

$$P_{\text{gesamt}} = W/t$$

Wenn drei Schüler gemeinsam angeschoben haben, ergibt sich die Leistung eines einzelnen Schülers demnach aus:

$$P_{\text{einzel}} = P_{\text{gesamt}} / 3$$

Um Arbeit und Leistung zu berechnen, wird nun noch die Geschwindigkeit des Autos am Zielpunkt benötigt. Diese kann am Tachometer abgelesen werden, was aber keine optimale Variante darstellt, dieses Verfahren recht ungenau ist. Sinnvoller ist daher, die Bewegung des Autos – in einer zweiten Näherung – als gleichmäßig beschleunigte Bewegung anzusehen. Dann gilt:

$$s = \frac{1}{2} a * t^2 \quad \text{bzw. umgestellt:} \quad a = 2 s / t^2$$

wobei s und t als Messwerte vorliegen.

Nun kann die Geschwindigkeit am Zielpunkt nach

$$v = a * t$$

ermittelt werden.

Zur Ermittlung der Leistung der **Maschine** wird genauso vorgegangen.

Die somit ermittelte Leistung kann mit der Leistungsangabe des Herstellers (Autopapiere) verglichen werden.

Sägen

Bei diesem Experiment können die Arbeit und die Leistung der Schüler nicht direkt ermittelt werden; Ausgangspunkt ist daher die **Maschine**.

Wenn die Spannung des elektrischen Netzes eingesetzt wird und die Stromstärke während des Sägens gemessen wurde, gilt:

$$W = U * I * t$$

$$P = W/t = U * I$$

Wenn nun ein **Schüler** das gleiche Brett an einer anderen Stelle (mit den gleichen Ausmaßen) durchsägt, verrichtet er die gleiche Arbeit wie die Maschine. Es gilt

$$W_{\text{Schüler}} = W_{\text{Maschine}}$$

Die Leistung des Schülers ergibt sich dann aus:

$$P = W/t$$

Bohren

Bei diesem Experiment können die Arbeit und die Leistung der Schüler nicht direkt ermittelt werden; Ausgangspunkt ist daher die **Maschine**.

Wenn die Spannung des elektrischen Netzes eingesetzt wird und die Stromstärke während des Bohrens gemessen wurde, gilt:

$$W = U \cdot I \cdot t$$

$$P = W/t = U \cdot I$$

Wenn nun ein **Schüler** das gleiche Brett an einer anderen Stelle (mit den gleichen Ausmaßen) durchbohrt, verrichtet er die gleiche Arbeit wie die Maschine. Es gilt

$$W_{\text{Schüler}} = W_{\text{Maschine}}$$

Die Leistung des Schülers ergibt sich dann aus:

$$P = W/t$$

Hinweis

Je nach dem Leistungsniveau der Schüler kann zu jedem Experiment noch eine Fehlerdiskussion durchgeführt werden. So ist z.B. die real erbrachte Leistung der Schüler beim Auto-Anschieben höher als der nach der oben stehenden Anleitung ermittelte Wert, denn die Schüler mussten zusätzlich auch die Rollreibung und den Luftwiderstand überwinden. - Für das Lernziel dieser Veranstaltung ist eine solche Fehlerdiskussion jedoch nicht zwingend erforderlich.

Teil 3 – Zusammenfassung

Ergebnis: Die vom Menschen erbrachte Dauerarbeitsleistung ist erstaunlich gering; sie liegt nur bei z.B. 100 W; nur kurzzeitig können auch höhere Leistungen erbracht werden.

Schon einfache Maschinen, die wir täglich nutzen, erbringen ein Vielfaches von der Leistung, zu der wir selber fähig sind.

Dazu einige Beispiele¹:

- menschliches Herz 1,5 W
- Mensch (Dauerleistung) 80W-100W
- Pferd (Dauerleistung) ca. 400 W
- Mensch (kurzzeitige sportliche Höchstleistung) 1,5 kW
- Bohrmaschine (mittlere) 530 W
- ICE (Antriebsleistung) 6 MW

Würdigen Sie diese Maschinen entsprechend!

Erarbeitet von Tilman Langner, Umweltbüro Nord e.V., www.umweltschulen.de
im Rahmen des Projekts INSPIRE, www.inspire-project.eu

1 nach http://www.uni-muenster.de/Physik.TD/elektrische_systeme.html