

# Projekte im Physikunterricht in den USA

## Erfahrungen und Beispiele

Bettina Gartner

SchülerInnen in den USA sind es gewohnt und erwarten, dass sie parallel zum Regelunterricht an mehreren naturwissenschaftlichen Projekten pro Jahr arbeiten. Während meiner Unterrichtstätigkeit an einer „high school“ in Berkeley, Kalifornien, führte ich drei große Physikprojekte durch. Die folgende Beschreibung der einzelnen Projekte ist bewusst detailliert. Am Ende dieses Beitrages befinden sich die englischen Projektbeschreibungen und Beurteilungsbögen, die ich meinen amerikanischen SchülerInnen aushändigte. Wer Lust hat, es selbst zu probieren, kann die Materialien gerne so wie sie sind oder abgewandelt verwenden. Übrigens ist es nicht notwendig, dass die Lehrperson die Aufgabenstellung vorher selbst bewältigt und die einzelnen Geräte baut. Ich habe das auch nicht gemacht. Die Lehrperson muß nicht den Eindruck vermitteln, die Lösung schon zu wissen. Vielmehr geht es darum, mit den SchülerInnen gemeinsam zu lernen. Da bei jedem der zu bauenden Geräte mehrere Variablen zusammenspielen, ist eine erfolgreiche Realisierung ohnehin auf verschiedene Arten möglich.

## Rahmenbedingungen

Folgende Aspekte stehen im Vordergrund:

- Physikalische Grundgesetze werden auf eine komplexe Problemstellung angewendet.
- Die SchülerInnen sollen am Physikunterricht Spaß haben („fun factor“).
- Die SchülerInnen formulieren ihre Fragen und suchen selbst nach Antworten („learning through scientific inquiry“).
- Durch Zuschauen und Mundpropaganda soll innerhalb der Schule für möglichst viele Anmeldungen zum Physikunterricht im darauf folgenden Jahr geworben werden, da Physik kein Pflichtfach ist.
- Es werden keine Plakate oder Wandtafeln produziert, die einer breiteren Öffentlichkeit bzw. den Eltern vorgestellt werden. Es geht nicht um Informationsvermittlung, sondern um Wissenserwerb und Wissensanwendung.
- Wer im Unterricht am meisten arbeitet und am meisten zum Thema spricht, lernt am meisten. In vielen Klassenräumen ist es die Lehrkraft, die am härtesten arbeitet und am meisten spricht. Daher ist es auch die Lehrkraft, die am meisten lernt. Dieses Verhältnis soll umgekehrt werden.

Zweiter Teil des in PLUS LUCIS 1-2/2005 begonnenen Beitrags von Mag. Bettina Gartner

## Praktische Umsetzung

In der Vorbesprechungseinheit erhalten die SchülerInnen jeweils eine schriftliche Projektbeschreibung mit der Zusammenfassung der Bedingungen sowie einen Beurteilungsbogen. Projektbeschreibung und Beurteilungsbogen können zusätzlich im Physiksaal zur freien Entnahme an einem bestimmten Platz aufgelegt werden. SchülerInnen, die in der Einführungsstunde nicht anwesend sind, können sich die Blätter in einer der folgenden Stunden selbst nehmen. Mit dem Beurteilungsbogen werden die Kriterien der Benotung und der Schlüssel für die Vergabe der Punkte bekannt gegeben. Meine SchülerInnen hatten immer die Möglichkeit, Zusatzpunkte zu erhalten, die der Wettmachung von verlorenen Punkten in anderen Kategorien dienen.

## A) Projekt Holzrennauto (Pinewood Derby Car)

**Themenbereiche:** Energieformen und Energieerhaltung, Kraft, Masse und Gewicht, kräftefreie Bewegung (Geschwindigkeit, Beschleunigung), Schiefe Ebene, Reibung, Aerodynamik.

**Materialien:** je SchülerIn eine Anfangsausstattung, die 2 Holzblöcke mit 2 Einkerbungen für die Achsen, 4 kleine Nägel als Radachsen und 4 Spielzeugräder beinhaltet; zusätzlich in der Schule: eine Rennbahn, ein Zeitmesssystem (evtl. Computerprogramm), eine genaue Waage.

**Beliebtheitsgrad** bei meinen amerikanischen SchülerInnen: hoch.

**Umsetzbarkeit** unter österreichischen Rahmenbedingungen (persönliche Beurteilung): aufwendige Vorbereitung (Rennbahn, Anfangsausstattung).

### Aufgabenstellung:

Die Aufgabe ist, ein Holzauto zu entwerfen und zu gestalten, das eine schiefe Ebene möglichst schnell hinabrollt. Als einzige Energiequelle ist die potentielle Energie des Autos am Beginn der Bahn zugelassen.

„Pinewood Derby Car“-Projekte werden häufig an verschiedenen amerikanischen Schulen durchgeführt und sind sehr populär. Ursprünglich ein Pfadfinderwettbewerb hat dieses Projekt seinen Siegeszug in die Schulen angetreten. Im Internet ist dazu viel Information abrufbar. Selbst Bücher sind darüber geschrieben worden. Nicht selten bauten schon die

Väter so ein Auto in der Schule und haben Spaß daran, nun ihren Sprösslingen dabei zu helfen.

### Projektablauf:

Die organisatorische Hauptschwierigkeit besteht darin, dass man eine große Rennbahn sowie einen guten Mechanismus, mit dessen Hilfe die Zeit gemessen werden kann, benötigt. Die Rennbahn und das Zeitmeßsystem können allerdings jedes Jahr wieder verwendet werden. In unserer Schule waren ursprünglich einfach an einem Ende hoch gelagerte Holzbretter verwendet worden, bis SchülerInnen sich ein Herz fassten und in den Sommerferien eine Rennbahn mit Spuren für die nachfolgenden Jahrgänge bastelten. Als Anfangsausstattung kaufen amerikanische SchülerInnen üblicherweise ein oder zwei so genannte "Boy Scouts Pinewood Derby Car Kits" im lokalen Pfadfindergeschäft. Diese "kits" sind auch im Internet zum Beispiel bei [www.maximum-velocity.com/kits.htm#PineCar](http://www.maximum-velocity.com/kits.htm#PineCar) (order 5421) oder [www.bennettsclothing.com/pinewood\\_derby\\_supplies.htm](http://www.bennettsclothing.com/pinewood_derby_supplies.htm) bestellbar. Die genannten Firmen liefern auch ins Ausland. Das "kit" enthält nichts anderes als einen Holzquader mit den Abmessungen 7.0 x 1.75 x 1.5 inches (1 in = 2.54 cm) und zwei Einkerbungen für die Radachsen in einem festen Abstand, vier dünne Nägel, die als Achsen für die Räder dienen und vier passende Spielzeugautoräder. Es lässt sich leicht selbst zusammenstellen. Aus Fairnessgründen ist es wichtig, dass alle SchülerInnen mit den gleichen Materialien beginnen.

Für dieses Projekt reichen drei bis vier Unterrichtsstunden. Eine Einheit dient der Vorbesprechung, eine dem Einsammeln und Verstauen der Autos und zwei Einheiten oder eine längere Einheit dem Autorennen in der Klasse. Gegebenenfalls kann das Autorennen auch am Nachmittag nach der Schule veranstaltet werden. Die Gesamtlaufzeit des Projektes sollte mindestens sechs Wochen betragen. Unterdessen läuft der Regelunterricht normal weiter inklusive von Hausübungen und Tests. Während des regulären Unterrichts kann immer wieder auf das laufende Projekt Bezug genommen werden, was die Themen viel interessanter macht.

Die Projektbeschreibung ("Pinewood Derby Car") am Ende dieses Artikels nimmt Bezug auf ein weiteres, hier nicht reproduziertes Blatt Papier ("views-page") mit drei vorgezeichneten Rechtecken, in welches die 1:1-Ansichten (Vorder- und Seitenansicht sowie Grundriss) des geplanten Autos zu zeichnen sind.

Laut Beurteilungsbogen ("Pinewood Grade Sheet") ist es möglich, auch dann ein „Sehr Gut“ zu bekommen, wenn man das Rennen nicht gewinnt, da der Wettbewerb nicht im Vordergrund stehen soll. Am meisten zählt die Beschreibung des physikalischen Wissens, dessen beabsichtigte Umsetzung und wie nahe das Auto an die zugelassene Höchstmasse herankommt. Aufgrund der Sonderpunkte ("special mention points") ist es theoretisch möglich, mehr als die maximale Anzahl von 54 Punkten, die für ein „Sehr Gut“ ausreichen, zu erhalten. Unphysikalisch freilich ist die Angabe der Masse in Unzen, aber meine amerikanischen SchülerInnen hatten für den Anfang ein besseres „Gefühl“ für diese Einheit (1 oz = 28,35g). Besser wäre es gewesen, sie

gleich an SI-Einheiten zu gewöhnen.

In der Vorbesprechung können innerhalb eines Frage-Antwort-Gespräch folgende Hinweise gegeben werden.

### a) Rennbahn:

Die Spurbreite, die Achsenhöhe und der Achsenabstand müssen eingehalten werden, da ansonsten das Auto auf der Bahn, wenn diese Spuren besitzt, stecken bleiben könnte. Die einzige Energiequelle der Autos ist ihre potentielle Energie am Beginn der Fahrt. Aufgrund von  $E_{pot} = mgh$  fährt das Auto am schnellsten, dessen Masse am nächsten den erlaubten 5 oz kommt. Folgende Tafelskizzen geben Informationen über die Rennbahn:

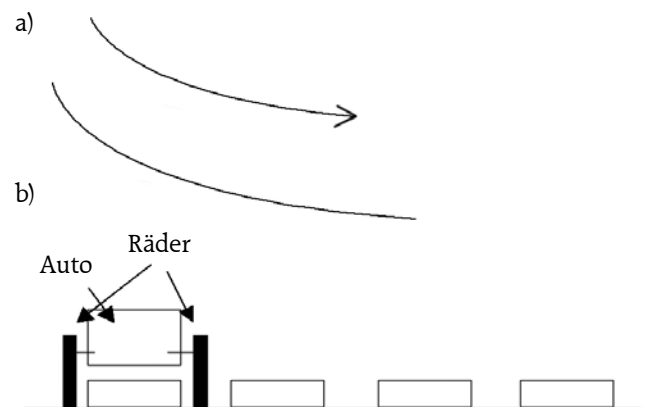


Abb. 1a Seitenansicht der Neigung der Fahrbahn  
1b Querschnitt der Rennbahn mit Aufriß eines Autos

In unserem Fall war die Rennbahn insgesamt elf Meter lang und am Startpunkt der Autos 1.2 Meter hoch. Die erste Hälfte der Rennbahn war ziemlich steil, die restlichen sechs Meter dienten dem flachen Auslauf. Am Start ragte auf jeder Spur der Rennbahn ein Nagel heraus, der das jeweilige Auto zurückhielt. Diese Nägel konnten durch rasches Ziehen an einer Schnur gleichzeitig in die Bahn versenkt werden. Die Autos durften daher vorne nicht zu spitz sein, damit sie in der Startposition gehalten werden konnten. Am Tag des Rennens treten jeweils vier Autos gleichzeitig an, und zwar zweimal hintereinander auf verschiedenen Spuren. Die beiden schnellsten Autos steigen jeweils in die nächste Runde auf bis am Ende nur mehr vier Autos und schließlich die beiden Klassenschnellsten gegeneinander antreten.

### b) Aerodynamik:

Der Luftwiderstand spielt – wenn überhaupt – vermutlich nur unter dem Auto eine nennenswerte Rolle, daher sollte dieses unten möglichst flach und glatt gemacht werden. Wer zur Verringerung des Luftwiderstandes an den Reifen Kotflügel bauen will, muss dazu einen zweiten Holzblock verwenden.

### c) Masse:

Die Grundbestandteile sollen vor Beginn der Umgestaltung gewogen werden. Achsennägel, Räder und Holzblock des gekauften "kits" wiegen etwa drei Unzen. Die Masse von fünf Unzen darf auf keinen Fall überschritten werden. Um die

Autos bezüglich der Übereinstimmung mit dem abgelieferten Design zu beurteilen, müssen sie ein bis zwei Wochen vor dem eigentlichen Rennen abgesammelt und in der Schule gelagert werden. Je nach Wetter kann sich die im Holz absorbierte Feuchtigkeit durchaus bemerkbar machen. Die Autos sollten deshalb bei der Einreichung etwas weniger wiegen. Die Autos werden am Tag des Wettrennens gewogen. Während des Wiegens dürfen noch Massestücke weggenommen oder hinzugefügt werden. Dies muss aber schnell erfolgen und ist daher praktisch nur mit Hilfe eines Klebebandes möglich.

#### **d) Reibung:**

Je geringer die Reibung, desto schneller wird das Auto. Man kann z.B. die Nagelköpfe, die die Reifen halten, etwas abschleifen. Es ist außerdem erlaubt, die Reifenbreite zu ändern, doch auch dabei ist Vorsicht geboten: wenn die Reifen zu schmal werden, bleiben sie möglicherweise nicht in der Spurrille. Hüpfte das Auto auf die nächste Spur, wird es disqualifiziert.

#### **e) Energiequelle:**

Nichts auf dem Auto darf sich bewegen außer mit dem Auto mit. Beispielsweise ist es nicht erlaubt, beim Start eine Art Rakete nach hinten abzuschießen und den Rückstoß zu nutzen. In einem solchen Fall würde das Fahrzeug disqualifiziert. Generell ist es nicht erlaubt, dass das Auto während der Fahrt Teile verliert.

Alle Arbeiten sind außerhalb des regulären Physikunterrichtes zu leisten. Die Autos müssen in einer Garage (Plastiksackerl) geparkt abgegeben werden. In den schriftlichen Beschreibungen müssen Gründe und Wege, das Auto schneller zu machen, beschrieben werden. Als Informationsquellen können sowohl Bücher als auch das Internet verwendet werden. Die Erstbeschreibung des Autos sollte bereits zwei Wochen nach der Vorbesprechung des Projektes eingereicht werden, um die SchülerInnen anzuregen, sich frühzeitig Gedanken zu machen und nicht bis zum Schluss zu warten. Die SchülerInnen sollen sich eine Kopie ihrer Erstbeschreibung anfertigen, da sie diese erst am Ende des Projektes zurückerhalten. Das finale Design bzw. die Begründung, warum sich seit dem Erstdesign nichts geändert hat, sollte zwei Tage vor dem Abgabetermin des Autos erbracht werden. Durch die Anforderung zweier schriftlicher Designs wird die Entwicklung und der Fortschritt der Arbeit (Gedankengänge, Einfluss neuer Informationen, Erkenntnisse durch die Arbeit am Auto) im Laufe der Projektdauer festgehalten. Beim ersten schriftlichen Design sollte im wesentlichen das Bemühen beurteilt werden. Zu jedem Thema (Gravitation, Energie- und Energieumwandlung, Aerodynamik, Reibung) sollte mindestens ein Absatz vorhanden sein. Weiters sollten die daraus abgeleiteten Folgerungen klar dargestellt werden: die Position der Gewichte, die Form des Autos und der Reifen, die Funktion der Schmierung – alles nach dem Motto: Teile mir die Geheimnisse Deines Designs mit. Ob die Physik und die gezogenen Schlussfolgerungen aus den physikalischen Grundlagen korrekt sind, sollte noch kaum eine Rolle spielen, wenn die Physik zu dem Zeitpunkt im regulären Unterricht noch nicht vollständig besprochen ist.

Das finale schriftliche Design muss jedoch dem tatsächlich abgegebenen Auto entsprechen, insbesondere die Zeichnungen. Eine Alternative zur Abfassung zweier Designs ist, die SchülerInnen ein Projektstagebuch schreiben zu lassen, worin sie jeden Gedanken bzw. jede Handlung bezüglich des Projektes Tag für Tag festhalten.

Am Tag der Rennen werden in allen teilnehmenden Klassen die jeweils beiden schnellsten Autos ermittelt. Am Nachmittag nach der Schule treten die beiden schnellsten Autos jeder Klasse gegeneinander an, womit der Gesamtsieger ermittelt wird. In der amerikanischen Schule wurde für dieses Unterfangen die Rennbahn in den Hof gestellt, so dass SchülerInnen aller Klassen und Jahrgänge dem Spektakel beiwohnen konnten. Viele jüngere SchülerInnen wurden durch dieses Erlebnis motiviert, sich für das kommende Schuljahr zum Physikunterricht wegen des zu erwartenden Spaßes anzumelden.

Von fleißigen SchülerInnen kann die Möglichkeit, Zusatzpunkte durch die Fertigstellung eines zweiten Autos zu erlangen, genutzt werden. Es ist dabei nicht verlangt, dass das zweite Auto auch fahrtüchtig ist. In der Regel wird das Zweitauto phantasievoll und reich dekoriert sein. Hier bietet sich eine Zusammenarbeit mit dem Werkunterricht oder mit Bildnerischer Erziehung an.

## **B) Projekt Mausefallenauto (Mousetrap Car)**

Themenbereiche: Energie und Energieerhaltung, Mechanik starrer Körper (einfache Maschinen: Wellrad, Hebelwirkung, Drehmoment, Gangschaltung – Übersetzungsfaktor), Reibung, Masse und Gewicht.

**Materialien:** je zwei identische Mausefallen pro SchülerIn.

**Umsetzbarkeit** unter österreichischen Rahmenbedingungen (persönliche Beurteilung): einfach, relativ wenig Aufwand für die Lehrperson. Im Gegensatz zu den anderen beiden Projekten müssen keine zusätzlichen Stunden in der Schule verbracht werden. Da sehr viel Information im Internet abrufbar ist, benötigen die SchülerInnen wenig Begleitung und Ratschlag.

**Beliebtheit** bei meinen amerikanischen SchülerInnen: mittelmäßig. Dies war für sie das schwierigste aller drei Projekte, was möglicherweise damit zu tun hatte, dass es das am strengsten beurteilte war.

#### **Aufgabenstellung:**

Die SchülerInnen bauen ein Vehikel um eine Mausefalle herum, das die potentielle Energie der Feder der aufgespannten Mausefalle in die kinetische Energie der linearen Bewegung des Vehikels umwandelt. In der Regel wird eine Schnur am Mausefallenhebel befestigt, die mit einer Radachse des Vehikels verbunden ist. Wenn der Hebelarm der Mausefalle entriegelt wird, zieht er an der Schnur, die sich dabei abwickelt, wodurch sich die Räder drehen (siehe Fig. 2).

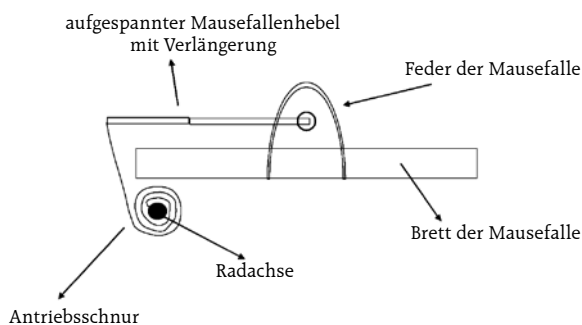


Abb. 2: Grundschaema des Mausefallengefährtes

Variablen sind die Masse der Materialien, Reibung und Länge der Schnur, das Ausmaß der Verlängerung des Hebelarms (Arm der Mausefalle), die Größe der Räder, das Verhältnis der Durchmesser von Vorder- und Hinterachse, Form und Durchmesser der Antriebsachse (eine Kegelform reproduziert z.B. bei richtiger Wicklung eine stufenlose Gangschaltung), das Verhältnis der Länge des Hebelarms der Mausefalle zur Achsendicke, der Abstand der Mausefalle von der Achse und die Reibung der Reifen.

In unserem Fall war das Ziel, dass das Vehikel so weit wie möglich fährt. Variationen dazu sind, dass das Gefährt möglichst genau z.B. zwölf Meter weit oder so schnell wie möglich fahren soll. "Mousetrap Car" ist ebenfalls ein verbreitetes "high school"-Physikprojekt. Es gibt viele mehr oder weniger brauchbare Internetseiten dazu. Eine der nützlichsten ist wohl <http://www.docfizzix.com/>.

Am Beginn des Projektes benötigt man ein bis zwei Unterrichtsstunden für die Vorbesprechung. Die SchülerInnen erhalten dabei die schriftliche Projektbeschreibung und ihren persönlichen Beurteilungsbogen (siehe Anhang). In der Vorbesprechung sollte mit Tafelskizzen (z.B. Fig. 2) bewusst sparsam umgegangen werden, um nicht den potentiellen Ideenreichtum einzuschränken.

Folgende Punkte können zur Sprache kommen:

- Die Mausefalle wird gewöhnlich an einer Plattform befestigt, wobei sie auch unterhalb dieser hängen kann.
- Eine mögliche Variation ist, dass sich das Mausefallengefährt selbst auf eine Rampe hebt, von welcher es dann herunter rollt.
- Das Gefährt muss die Mausefalle mit sich führen. Die Mausefalle darf nicht als Katapult verwendet werden.
- Es ist erlaubt, dass sich das Gerät mit Hilfe einer gespannten Feder von der Wand abstößt. Allerdings muss die Feder durch die Mausefalle gespannt werden. Das gilt auch für die Verwendung gedehnter Gummibänder. Sie dürfen nicht im Vorhinein gedehnt werden, sondern nur durch die Energie der Feder der Mausefalle.
- Bezüglich der zu verwendenden Materialien für das Gefährt gibt es keine Einschränkungen. Es dürfen auch fertige "Kiets" freier Wahl gekauft werden, jedoch werden hierfür sechs Meter von der zurückgelegten Wegstrecke abgezogen.
- Verlangt ist die Konstruktion eines Trigger-Mechanismus. Die gespannte Mausefallenspanne darf wegen der

Verletzungsgefahr nicht von Hand gelöst werden.

- Die Gefährte können nicht vorher am Ort, wo das Rennen stattfindet (z.B. im Turnsaal), ausprobiert werden.
- Der Kauf zweier gleicher Mausefallen wird nahe gelegt, um eine Falle zum Üben zu haben und zuletzt diese durch eine völlig neue zu ersetzen. Bei jeder Aufspannung der Feder verliert diese an Spannkraft.
- Je besser das Gefährt ist, desto fragiler ist es üblicherweise. Das Gefährt sollte mindestens 15 mal verwendbar sein.
- Sollte die Mausefalle am Tag des Wettbewerbes nach ihrer Fahrt in einer Richtung zurückrollen, bevor sie die gegenüberliegende Wand des Turnsaales erreicht hat, zählt nur der Abstand von der Startlinie zu dem Punkt, wo das Gefährt zuletzt stehen bleibt.

Einige Unterrichtsstunden vor dem Wettbewerb werden die Gefährte in von den SchülerInnen bereitgestellten Garagen (üblicherweise Schachteln) eingesammelt und in der Schule bis zum Rennen aufbewahrt. Während dieser Zeit werden die Konformität des tatsächlichen Vehikels mit der Beschreibung überprüft sowie die Erfüllung der Bedingungen beurteilt. Die finale Beurteilung kann erst nach dem Wettbewerb erfolgen, da der zurückgelegte Weg Teil der Note ist. Zudem erfolgt die Beurteilung „zurückgelegter Weg“ relativ zur besten Leistung aller teilnehmenden Klassen. Hier geht es also um echten Wettbewerb. Angeblich soll ein Rekord von ca. 120 Meter am Massachusetts Institute of Technology erzielt worden sein.

Von meinen Klassen legte das Siegerauto in der Schule einen Weg von  $t_d = 41.9$  Meter zurück. Laut Beurteilungsbogen (siehe "mouse trap grade sheet") erhielten daher alle Mausefallenautos, die zwischen 12 und 15.7 m zurückgelegt hatten, 36 Punkte für die erzielte Wegstrecke. Die 15.7 m ergeben sich aus  $12 + (41.9 - 12)/8 = 15.7$ ; 38 Punkte erhielten alle Gefährte, die zwischen 15.8 und 19.5 m zurückgelegt hatten usw. Im Nachhinein änderte ich die Beurteilung abweichend zu dem im Anhang gezeigten Beurteilungsbogen noch folgendermaßen, was von den SchülerInnen sehr begrüßt wurde: alle Vehikel, die weniger als zwölf Meter zurückgelegt hatten, erhielten anstatt der angekündigten null Punkte einen Punkt pro zurückgelegte 0.5 Meter. Zusätzlich erhielt jeder, der überhaupt ein Mausefallenauto gebaut und termingerecht abgegeben hatte, grundsätzlich zwölf Grundpunkte, auch wenn sich das Gefährt überhaupt nicht fortbewegt hatte. Damit wurde viel Frustration bei den SchülerInnen abgefangen. Künftig würde ich jedoch keine Punkte für das Zitieren von Internetseiten vergeben, da das für die SchülerInnen relativ wenig Aufwand, für die Lehrperson jedoch sehr mühsam und schwierig zu überprüfen ist. Eventuell könnte man verlangen, dass die verwendeten Internetseiten zitiert werden, um selbst am Stand der verfügbaren Information zu bleiben. Überdenkenswert ist, Schülerleistungen relativ zur besten Leistung (so genanntes und offenbar in den USA übliches "grading on the curve") und nicht absolut zu beurteilen. Die Schülerin mit dem zweiten Platz, teilte mir hinterher mit, sie sei überglücklich, nicht die Siegerin zu sein, da sich sonst die ganze Aggression der anderen gegen sie anstatt gegen den Siegerkameraden gewendet hätte.

## C) Projekt Motor

Das Motorprojekt ist zweifellos mein Lieblingsprojekt unter den drei Beschriebenen.

**Themenbereiche:** Elektrodynamik (Lorentzkraft, Elektromagnetismus, Gleichstrommotor).

**Grundausrüstung in der Schule:** Spannungsversorgung.

**Demonstrationsobjekte:** 3 Bretter, 3 rote Papierblätter, 3 grüne Papierblätter, Papierblätter anderer Farbe, langes Seil, langes, dickes Rohr, Schachteln, Eimer, Bürsten (z.B. Schuhbürsten), Klebeband.

**Materialien:** Den SchülerInnen werden keine Materialien zur Verfügung gestellt.

**Umsetzbarkeit** auf österreichische Verhältnisse (persönliche Beurteilung): einfach.

**Beliebtheitsgrad** bei meinen amerikanischen SchülerInnen: sehr hoch.

### Aufgabenstellung:

Aufgabe der SchülerInnen bei diesem Projekt ist der Bau eines unbelasteten Gleichstrommotors bestehend aus einer Spule, die sich in einem statischen Magnetfeld dreht und nicht angeworfen werden muss und daher einen Kommutator benötigt. Für Phase I des Projektes wird das statische Magnetfeld durch Permanentmagneten, die man im Heimwerkerladen bekommt, geliefert. Für Phase II müssen diese durch zwei Elektromagneten, die an der selben Spannungsversorgung wie die sich drehende Spule hängen, ersetzt werden. Alle Bedingungen sind der Projektbeschreibung "Motor Project" zu entnehmen. Ein Drehstrommotor (Kurzschlussläufer in einem sich ändernden Magnetfeld) ist nicht zugelassen. Die meisten Umsetzungen der Aufgabenstellung durch meine SchülerInnen entsprachen der Skizze in Abb. 3, wobei eine solche Skizze den SchülerInnen nicht zur Verfügung gestellt wurde.

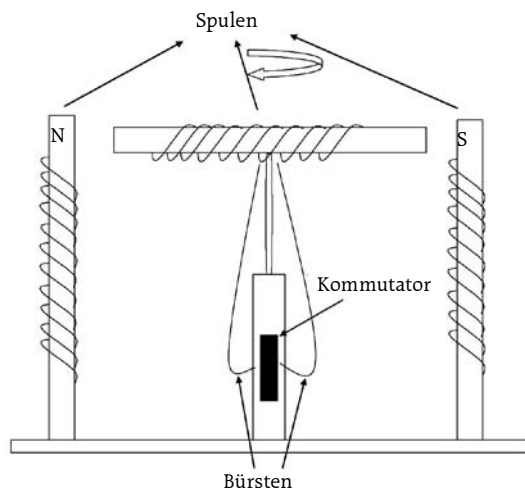


Abb. 3: Schematische Darstellung des Gleichstrommotors

### Projekttablauf:

In der Vorbesprechung wird mit symbolischen Materialien ein Motor vor den Augen der SchülerInnen gebaut. Die beiden statischen Magneten werden durch jeweils ein Brett, an dessen einem Ende ein rotes Blatt Papier mit der Aufschrift N für den Nordpol und an dessen anderem Ende ein grünes Blatt Papier mit der Aufschrift S für den Südpol mit einem Klebestreifen befestigt ist, repräsentiert. Das erlaubt ein schnelles Wechseln der Pole im Laufe einer Umdrehung des beweglichen Magneten, indem einfach die Papierblätter vertauscht werden. Die Batterie kann durch eine Schachtel mit der Aufschrift „+“ und „-“ dargestellt werden. An den Polen wird jeweils eine Schnur mit Klebeband befestigt. Alle Drähte werden durch Schnüre dargestellt. Der bewegliche Magnet wird durch ein langes, dickes Plastikrohr, um welches vor den SchülerInnen eine Schnur gewickelt wird, symbolisiert. Sobald der bewegliche Elektromagnet an eine Stromversorgung angeschlossen wird, vollzieht er zunächst nur eine Halbdrehung, dann muss sich seine Polung ändern. Wenn er sich weiterdreht, verwickeln sich die Kabel, die zur Stromversorgung führen. Es braucht daher einen Mechanismus, der die Verbindung zu den Polen der Batterie/Stromversorgung nach jeder Halbdrehung tauscht. Die SchülerInnen sind gefordert, Lösungen für dieses Problem zu entwickeln. Die Schnüre an der Batterie bei jeder Halbdrehung zu vertauschen ist kein gangbarer Weg. Die Lösung besteht darin, zwei Metallplättchen (z. B. aus Kupfer) am sich drehenden Ständer anzubringen (Kommutator), womit sich die Polung des beweglichen Magneten bei jeder Umdrehung zweimal ändert. Zusätzlich wird eine schleifende Verbindung der Drahtenden des Drehmagneten zu den Platten des Kommutators benötigt (Bürsten). Im Klassengespräch wird wahrscheinlich innerhalb weniger Minuten von den SchülerInnen das Prinzip eines Kommutators entwickelt. Die Bürsten werden durch tatsächliche Bürsten, die Halbringe durch zwei Papierblätter, die am Ständer des beweglichen Elektromagneten befestigt werden, symbolisiert.

Es ist empfehlenswert, während der Demonstration eine Videokamera statisch im Klassenzimmer aufzustellen und mitfilmen zu lassen. SchülerInnen, die an diesem Tag nicht anwesend sind und fragen, wie sie denn nun das Projekt machen sollen, kann damit ein fester Nachmittagstermin angeboten werden, um sich das Video anzusehen.

Während der Demonstration werden folgende Konzepte wiederholt bzw. entwickelt:

- Ein Elektromagnet kann ein- und ausgeschaltet werden, indem man ihn an eine Stromversorgung anschließt oder davon abhängt.
- Das Magnetfeld einer Spule ist umso stärker, je mehr Windungen sie bei gegebener Länge hat.
- Während des Windens der Spule können mehrere Schichten von Windungen übereinander gelegt werden, solange sich die Drehrichtung des Drahtes nicht ändert.
- Ein Elektromagnet wird stärker, wenn er einen Eisenkern hat.
- Der Elektromagnet, der sich drehen soll, muss so gelagert werden, dass er sich auch drehen kann.

- Die Polungen der beiden statischen Magnete müssen am jeweils gegenüberliegenden Ende gegengleich sein.
- Die Polung eines Elektromagneten kann getauscht werden, indem man die Anschlüsse an der Spannungsversorgung vertauscht.
- Je länger der Kontakt zwischen Bürsten und Kommutatorplättchen bei jeder Umdrehung ist, desto größer ist die benötigte Stromstärke des Motors.
- Eine Leistung von maximal zwölf Watt ist zugelassen, doch Ziel ist es, möglichst wenig Leistung zu brauchen. Tatsächlich sind ein bis zwei Watt realistisch. In Phase II werden alle drei Magneten von der selben Spannungsquelle versorgt und müssen mit der selben Leistung auskommen wie der einzelne Magnet von Phase I.
- Für Phase II ist die benötigte Stromstärke geringer, wenn alle Magneten in Serie an die Stromversorgung angeschlossen sind.
- Je symmetrischer der Drehmagnet ist, desto besser läuft er. Die Distanz beider Enden vom Drehpunkt sollte möglichst gleich sein (vgl. Mausefallenauto: das Verhältnis des Hebelarms zum Durchmesser der Räder und zum Durchmesser der Achse ist entscheidend). Auch die symmetrische Anordnung der Bürsten und des Kommutators ist bedeutend.
- Wenn der Motor zu viel Stromstärke benötigt, können die Isolierungen schmelzen. Zum Testen des Motors zu Hause sollte besser keine Autobatterie verwendet werden, da sie genug Leistung liefert, um Isolierungen aller möglichen Drähte durch zu schmelzen.
- Um die Magnetisierungsrichtung der Magneten zu bestimmen, ist es sinnvoll, sich einen kleinen Kompass zu besorgen. Zur Fehlersuche ist ein Kompass unabdingbar.
- Die Drähte müssen isoliert sein, ansonsten folgt der Strom nicht den Windungen, sondern geht dem kürzesten Weg folgend gerade darüber hinweg.

Die Hauptherausforderungen sind die Einhaltung des ersten Abgabetermins und des oberen Leistungslimits von zwölf Watt. Phase-I kann ausgelassen werden. Es kann auch nur ein Phase-II-Motor eingereicht werden. Der Beurteilungsbogen (siehe "Motor Grading Sheet") ist so angelegt, dass praktisch jeder, der einen Phase-II-Motor abgibt - unabhängig vom Einreichungstermin - die Bestnote erhält. Der Grund dafür liegt in den zusätzlichen Punkten, die für ei-

## Pinewood Derby Car Physics Project

The first of your physics projects is the design and construction of a Pinewood Derby car that rolls down an inclined track.

**This is an individual project, no team-work.**

The first part of this project is the actual design of your car. For this part of the assignment, you should submit a written summary of the following:

1. Design Philosophy: Using your understanding of acceleration of a car down a track due to gravity, the friction

of the wheels, and the aerodynamics of the car, explain in a paragraph or so why your car will roll the fastest down the track.

of the wheels, and the aerodynamics of the car, explain in a paragraph or so why your car will roll the fastest down the track.

of the wheels, and the aerodynamics of the car, explain in a paragraph or so why your car will roll the fastest down the track.

of the wheels, and the aerodynamics of the car, explain in a paragraph or so why your car will roll the fastest down the track.

1. Der Stromkreis ist nicht geschlossen oder beinhaltet nicht alle notwendigen Teile. Das kann einfach Stück für Stück mit Taschenlampenbirne und Batterie getestet werden.
2. Die beiden oberen Enden der festen Magnete haben die selbe Polung (z.B. Süd-Süd). Das ist mit einem kleinen Kompass einfach festzustellen.
3. Beide Enden des beweglichen Elektromagneten haben die selbe Polung. Der Grund ist oft, dass sich die Drehrichtung der Windungen des beweglichen Elektromagneten am Angelpunkt ändert.
4. Die Drähte der Elektromagnete sind zu dick, wodurch die Stromstärke zu groß und damit die Leistung zu hoch wird.
5. Die Magnete haben zu wenig Windungen.
6. Die Bürsten sind im falschen Winkel zu den festen Magneten angebracht, so dass der Motor nicht von selbst startet.
7. Am Angelpunkt des beweglichen Magneten ist die Reibung zu groß.

of the wheels, and the aerodynamics of the car, explain in a paragraph or so why your car will roll the fastest down the track.

2. How will you design your car so as to incorporate these concepts? Write a paragraph or so on this.
3. Draw three full-size views of your car on the next page. The car must fit inside the boxes drawn provided on the views-page. The view must include the location of any cavities in the car or of any weights added to the car.

of the wheels, and the aerodynamics of the car, explain in a paragraph or so why your car will roll the fastest down the track.

in the kit – no substitutions. You must use four wheels – no tricycle cars. You must retain the wheel spacing built into the kit – no changing the wheelbase or the spacing of the wheels. Your car body must come in front of the front wheels. Your car must weigh no more than 5 ounces.

You can buy two cars – one for parts or whatever. You can also submit two cars. Once again, you must start with an official Boy Scout Pinewood Derby kit - no substitutions. You may lubricate the car with graphite, but only before submitting the car – not on the day of the race.

The cars will be impounded on ..... You can turn them in on the following day, for a considerable deduction of points, but this is the very last day cars will be accepted. The car will be placed in a plastic bag "garage". No changes, and no lubrication, will be allowed once they are submitted.

The in-class races are planned to take place on .....  
 .....  
 Date: .....

<b>Pinewood Grade Sheet</b>	
Acceleration Due to Gravity ( $a_g$ )	
Student Name _____	_____
„first name“	„last name“
Period _____	
Original Description and Design	15 pts.
Final Description and Design	15 pts.
Design vs. Actual (or explanation for the difference)	5 pts.
Weight [oz]	0.0 = 0 0.5 = 1 1.0 = 2 1.5 = 3 2.0 = 4 2.5 = 5 3.0 = 6 3.5 = 7 4.0 = 8 4.5 = 9 5.0 = 10 pts.
Appearance:	Paint 1-2 pts. Shaping 1-3 pts. Finish (sanded) 1-2 pts. Weights concealed 13 pts.
Place – Bonus Points	4 pts. max. 1st in class: 2 pts 2nd in class: 1 pt. final race winner of a classes: 2 pts
Special Mention – Bonus Points	1. Looks like a ? 2. Extra careful detail work 3. Used more than one block for one car 4. Produced two Vehicles 5. Unique design philosophy (1 – 5 pts.)
	<b>TOTAL 59 pts.</b>

## Mousetrap propelled device project

The purpose of this project is to create a device that will propel itself across the High School gymnasium for a distance of at least twelve meters (12 m). The total source of energy for this propelled device shall be a single 180 degree rotation from the "snapper arm" of a standard mouse trap. This project challenges you to translate the movement of the spring arm into forward movement of the vehicle. You must purchase at least one of the standard mouse traps from the teacher and use it to propel your device. You are encouraged to purchase two.

A second purpose of this project is to encourage students to cover the maximum distance possible which will be rewarded based on the total distance covered by their project. Design originality is also valued. Students are encouraged to choose their own materials and create their own design criteria.

### Regulations:

- Energy from the mouse trap may be stored in the device and released over time to produce maximum impulse.
- The device must start with a tongue trigger. If the device successfully covers the length of the gym without using all of its stored energy, then the student may lift and turn the device by 180 degrees and allow it to return. In this case the total distance is the total forward progress in both directions.
- If your vehicle cannot go for at least 12 m on the first try, you may have a second try.
- The trap may not be structurally modified to increase the stored energy (everyone must have access to the same amount of energy). The use of stretched rubber bands to store energy is not allowed unless the stretching is provided by the trap. The same applies to the use of springs.
- Students are encouraged to use any and as many sources of mechanical advantage to improve the performance of their devices (i.e. levers, pulleys, gears, lubrication, neutral buoyancy, etc.)
- The path of the device generally needs to be a straight line. The distance covered is measured forward along its path perpendicular to the start line. Should the device reverse itself and return in the opposite direction (the rotation of the wheels changes to the opposite: clockwise to counter-clockwise or vice versa) this distance will be subtracted from the total. Slightly curved paths will be considered straight.
- Gravity may be used to propel the device only if the trap provides the energy to lift the device.
- The spring from the mousetrap cannot be heat treated and cannot be wound more than 180 degrees.
- In order for the distance covered by the device to be counted as "distance covered" the energy source must be transported by and with the device. Therefore, launching something from the mousetrap is illegal.
- All designs must deliver their push or pull:
  1. as a result of triggering the mouse trap (holding

- and releasing is not acceptable)
- 2. without addition of special starting surfaces (push of the floor or the wall), all vehicles must be self-starting
- 3. a snap in mid-air with no real push is not acceptable
- Once started, the vehicle may not be touched or otherwise influenced until it stops and the distance has been measured. Exception: turning it around at the end of the gym.
- Students purchasing kits must cover an additional distance of 6 meters (total 18 m). The kit has to be mentioned on the design submittal.
- The vehicle cannot, in any way, damage the floor.
- The design submittal should contain a written description of the device, a drawing and explain the physics ideas you try to implement. The written part must be typed. Simple print-outs of web-pages are not acceptable.
- Design conformity between the original submittal and the device executed is important. If the design is modified, a typed written rationale for the change is required.
- Design sources should be cited in a bibliography especially those in print whether they come from the internet or books and magazines. Don't cite search engines.

They do not count. Different pages of the same web-site count as one source.

- In order to receive full credit, all project deadlines must be met.
- There is no in-class time provided for working on the vehicles. Therefore, the devices must be completely finished before the physics class of the due date starts. If you still work on the device at the beginning or during that period, your vehicle may be considered as turned in late.
- The student is responsible for providing a portable garage for the vehicle.
- On the day of the competition no tools, equipment, tape, strings, glue or other material may be brought to the gym. Violations of this rule may result in the disqualification of the mouse trap device of the student.
- Instructors have the final say on the allowance of any vehicle.

**Timetable:**

**Design submittal:**

**Device inspection and impound**

**Launch and evaluation in Gym:**

Mouse Trap		Grade Sheet	
Student's name _____			
"first name"		"last name"	
Period _____	total score: _____ /80		
	criteria	points	comments
<u>largest displacement</u> (tot_d) achieved this year:			
displacement of your vehicle: _____ m	0 m to 11.99 m	0	
	12m to 12m + (tot_d -12)1/8 m	36	
	to 12m + (tot_d -12) 1/4 m	38	
to 12m + (tot_d -12) 3/8 m	40		
use of a kit: - 6 m => displacement: _____ m	to 12m + (tot_d -12) 1/2 m	42	
	to 12m + (tot_d -12) 5/8 m	44	
	to 12m + ((tot_d -12) 3/4 m	46	
additional meters (see below): _____ m	to tot_d meters	48	
		50	
<u>Design</u> (written part)	description of the device and how it is built (must be typed)	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	
	drawings from several views	1, 2, 3, 4, 5, 6	
	physics: mass, force, energy, impulse (must be typed)	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	
	conformity between submittal and device or typed rationale for the change	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	
<u>additional meters</u> (to be added to your achieved meters)		<b>meters:</b>	
	• unique design (not seen this year and the years before)	2	
	• vehicle comes back from wall by itself	1	
The gym is about 30 m long.	• web-sides cited : 5 different web-sites	0.33	
	10 different web-sites	0.66	
	15 different web-sites	1	
	for each unique web-side (no other student quotes it)	0.33	



## Motor Project

The purpose of this project is to develop a deeper practical understanding of how an electric motor operates and the electrical and mechanical principles and laws demonstrated by its operation.

The project has several stages to insure success.

- a) The first step that must be completed is a written description and drawing of the motor(s) you will build. If you build the two recommended stages [see b) and c)] you must submit a design for each phase.

The description must contain

- a list of the materials you will use
  - a description of how you will put the parts together
  - explanations of the physics principles and laws you will rely on to make the motor(s) work (once again: the physics behind it must be described and explained not just mentioned).
  - sketches of your motor from at least two views including the measures in meters or centimeters
- b) The second step is to create a motor where the armature moves inside a static magnetic field created by permanent magnets (Phase I motor).
- c) The third and final step is to build a motor with the armature moving inside a static magnetic field created by electromagnets (Phase II motor). All electromagnets of the motor have to be connected to the same power source.

### Regulations:

- This is an individual project, not a group-project.
- The written part must be machine-typed. Handwritten descriptions will not be accepted. It has to be turned in at the beginning of the class on the deadline date. Later work will not be accepted (exception: second day in class after an excused absence on the deadline).
- There is no in-class time provided for working on the project.
- The motor for the purpose of this project will be defined as a device in which the main shaft rotates in a static magnetic field. The rotating shaft will be called the armature and must be connected to a DC power source in order to fulfill the requirements. Induction Motors (a conductor rotates in a changing magnetic field) are not allowable.
- The external magnetic field in which the armature operates may be created using either permanent magnets (Phase I motor) or electromagnets (Phase II motor). The phase I motor can be skipped.
- The maximum amount of power that

can be used to sustain the operation of the motor is 12 watts. Neither stage may be operated continuously with the use of more than 12 watts of power nor started with more than 24 watts. The achievement of a minimum of 50 revolutions will be considered as "continuous operation". For the determination of the power the highest readings on the meters will be counted. If your device draws too much power, your next turn-in date is one week later.

- The use of a kit is not a possibility for this project. Kits are not permitted at all!
- You cannot complete this Physics course without turning in at least a working stage I motor which fulfills the above minimum requirements.
- Instructors have the final decision if the device fulfills the requirements and passes on the respective dates.

Timetable:

Explanation of the motor project by Instructor:

Hand-out with regulations:

Design submittal:

Deadline Phase I motor:

Deadline Phase II motor: Further turn-in times are every ..... day after school until ..... p.m.

Motor		Grading Sheet		
Student's name _____				
"first name" _____		"last name" _____		
Period _____	total score: _____ / 100			
	criteria	points	points achieved	comments
<b>A) design</b> (must be typed) deadline: April, 18 <sup>th</sup>	a) list of materials	1		
	b) assembling description	3		
	c) physics (magnetism, electromagnetism, Lorentz-force, circuits, resistance of wires, electric power, .....)	3		
	d) drawings	3		
	two phases built but only one design submitted	minus 3		
	<b>total:</b>	<b>10</b>	SUM:	
<b>B) motor phase I</b>	passes on April 24	74		
	passes on May 1	68		
	passes on May 8	64		
	passes on May 15	60		
	passes on May 22	54		
	additional points for reducing the amount of watts used (to be added)	+ 2 pts for each watt		
<b>C) motor phase II</b>	passes on April 24	100		
	passes on May 1	96		
	passes on May 8	92		
	passes on May 15	88		
	passes on May 22	84		
	additional points for reducing the amount of watts used (to be added)	+ 4 pts for each watt		
	<b>final points</b>			