

## Mechanik mit dem Mausefallenauto

### Inhalt

1.	Warum „Mechanik mit dem Mausefallenauto“?	2
2.	Struktur der Unterrichtsreihe	6
3.	Zur Konstruktion der Mausefallenautos	8
4.	Hinweise zur Organisation	9
5.	Ablauf der Unterrichtsreihe	10
6.	Wann soll ich auch das noch unterrichten?	12
7.	Kompetenzen	13
8.	Beschreibung der Forschungsstationen, Ziele, Kompetenzen	15
8.1	Reibung	15
8.2	Hookesches Gesetz	16
8.3	Hebel und Drehmoment	17
8.4	Geschwindigkeitsmessung	20
8.5	Energiebilanz: Spannenergie – Reibungsarbeit	20
9.	Bewertung	22
10.	Impressionen des Projekts am Leibniz	23

## 1. Warum „Mechanik mit dem Mausefallenauto“?

Bereits zum dritten Mal in Folge veranstaltet der „Lerntreff Physik“ der Bezirksregierung Düsseldorf das so genannte „Mausefallen-Rennen“ (bisher am Annette-von-Droste-Hülshoff-Gymnasium in Düsseldorf, ab 2011 am Gymnasium an der Wolfskuhle in Essen). An diesem überregionalen Wettbewerb nehmen mehrere Hundert Schülerinnen und Schüler unterschiedlicher Jahrgangsstufen teil und wetteifern darum wer das beste Mausefallenauto gebaut hat. Wer einmal an dieser Veranstaltung teilgenommen hat, wird von der großen Begeisterung berichten können, mit der die Schülerinnen und Schüler hier dabei sind.



Diese Begeisterung wollen wir mit dem hier vorgestellten Kontext für den Physikunterricht nutzbar machen. Dabei ist die Verbindung vom Mausefallen-Auto zum Physikunterricht gleich mehrfach als Motivation und sinnstiftenden Kontext zu nutzen:

- Einmal motiviert die im Unterricht stattfindende Bastelarbeit viele Schülerinnen und Schüler, die sich lieber handwerklich-praktisch als theoretisch betätigen. Auch – und gerade Mädchen – fühlen sich von dieser gestalterischen Aufgabe angesprochen und erstellen nicht selten liebevoll gestaltete Fahrzeuge.
- Der Wettbewerbscharakter des abschließenden Mausefallenrennens ist ein weiterer Ansporn. Hier muss es nicht unbedingt die jährliche überregionale Veranstaltung in Düsseldorf sein, deren Kapazitäten bei noch weiter wachsendem Zuspruch vermutlich

bald erschöpft wären; motivierend genug ist sicher schon ein klasseninterner Wettkampf, besser sicherlich eine klassenübergreifende Veranstaltung, vielleicht sogar mit allen Klassen der Jahrgangsstufe.

- Die zentrale Absicht aber ist natürlich, physikalische Inhalte (konzeptbezogene Kompetenzen) in einem für die Lernenden einsichtigen Kontext zu vermitteln. Die Konstruktionsaufgabe ein Mausefallenauto zu bauen (nähere Einzelheiten im Kapitel 2) erfordert unterschiedliche Kenntnisse aus dem Bereich der Mechanik, weshalb dieser Kontext entwickelt wurde für die Jahrgangsstufe 8, in der der Kernlehrplan Physik die Behandlung des Sachbereichs Mechanik vorsieht.

Zentrale Idee dieses Kontexts ist es, die praktische Bastelarbeit mit dem Lernen physikalischer Inhalte so zu verknüpfen, dass die Schülerinnen und Schüler nicht das „Physiklernen“ als notwendiges Übel im Zusammenhang mit der Bastelarbeit „hinnehmen“, sondern dass sie erfahren, dass sie die physikalischen Erkenntnisse nutzbringend für ein besseres Ergebnis ihrer Konstruktionsaufgabe einsetzen können.

Aus diesem Grund besteht die Unterrichtsreihe aus den beiden Hauptelementen „Fertigung“ und „physikalische Forschung“, wobei letztere ihre Fragestellungen aus konkreten Problemen der „Fertigung“ beziehen und ihre Ergebnisse möglichst nutzbringend wieder in die „Fertigung“ einfließen lassen soll.

## 2. Struktur der Unterrichtsreihe

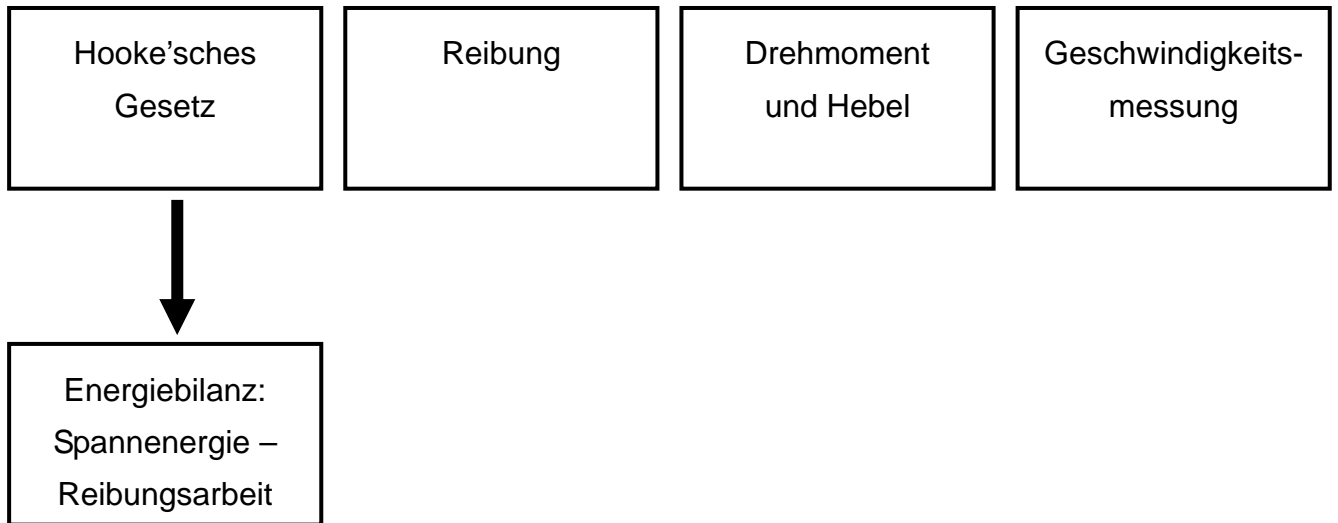
Für die gesamte Unterrichtsreihe ist ein Zeitraum von etwa 6 Wochen (12 Doppelstunden) vorgesehen. In dieser Zeit müssen die Mausefallen-Fahrzeuge gebaut und mindestens die obligatorischen vier der fünf „Forschungsstationen“ bearbeitet werden. Die Arbeit während der gesamten Zeit erfolgt in gleichbleibenden Gruppen oder auch als Partnerarbeit. Zwar sollte sich die Motivation zur physikalischen Forschung aus Fragestellungen und Problemen bei der „Fertigung“ ergeben, aber um doch zu verhindern, dass sich einzelne Arbeitsgruppen ausschließlich auf die Bastelarbeit konzentrieren und die physikalischen Experimente zum Schluss in Zeitnot absolvieren, ist es sinnvoll, Vorgaben für die Bearbeitung der „Forschungsstationen“ zu setzen. Die folgende, relativ offene Vorgabe hat sich bewährt: „Nach der Hälfte der Gesamtzeit (also nach 3 Wochen) muss die Hälfte der obligatorischen Forschungsstationen (also 2) bearbeitet sein.“. Andere Reglementierungen sind natürlich denkbar. Umgekehrt soll es nicht verboten sein, wenn einzelne Gruppen alle Forschungsstationen „auf Vorrat“ bearbeiten und sich erst danach an die Fertigung machen.

Aus der Konstruktion des Mausefallenautos ergibt sich eine Reihe von physikalischen Fragestellungen:

- Das Wettbewerbsziel eine möglichst große Strecke zurückzulegen, erfordert eine Minimierung von Reibungskräften z.B. in den Achslagern, andererseits aber auch die Berücksichtigung von Haftreibung der Räder auf dem Untergrund, damit die Räder keinen Schlupf haben. Das Thema „Reibung“ ist also ein wichtiger Punkt für die Konstruktion.
- Durch den Antrieb mit der Mausefalle stellt sich die Frage nach der von der Feder ausgeübten Kraft. Da die Kraft im Verlauf der 180°-Bewegung des Bügels nicht konstant ist, liegt es nahe, die Kraft in Abhängigkeit von der Federdehnung zu untersuchen. (Untersuchung auch zum Hooke'schen Gesetz)
- Die Kraftumsetzung vom Mausefallenbügel auf die Antriebsachse erfordert einen Hebel oder ein Getriebe. Untersuchungen zum Thema „Hebel und Drehmoment“ sollten hier weitere Erkenntnisse liefern.
- Das Thema „Geschwindigkeit“ steht zwar nicht im Zentrum des Wettbewerbs, doch ist es durch die ablaufende Bewegung des Fahrzeugs so naheliegend, dass auf die Bearbeitung einer Station „Geschwindigkeitsmessung“ nicht verzichtet werden sollte.
- Bei der Verwendung eines Hebels als Kraftwandler spannt sich der Zugfaden zur Drehachse nicht immer senkrecht zum Hebel. Insofern wäre auch das Thema „Zerlegung von Kräften“ hilfreich. Da die entsprechenden Inhalte aber vom Kernlehrplan nicht gefordert werden und auch um die gesamte Reihe nicht zu überfrachten, wurde auf eine entsprechende Station verzichtet.

- Abschließend sollte der Antrieb des Fahrzeugs durch die Mausefalle als Energiewandlung von Spannenergie in Wärmeenergie durch Reibungsarbeit begriffen werden. Da einerseits die Rollreibung des Fahrzeugs gemessen werden soll, andererseits auch die in der Feder gespeicherte Spannenergie zumindest grob bestimmt wird, ist eine Abschätzung der theoretisch möglichen Fahrstrecke des Mausefallenautos durchführbar. Dies ist nach der Bearbeitung der Station „Hookesches Gesetz“ möglich.

Insgesamt ergibt sich damit folgende Struktur für die angebotenen Forschungsstationen:



### 3. Zur Konstruktion des Mausefallen-Autos

Welches Mausefallen-Auto das Beste ist, hängt natürlich von dem formulierten Wettkampfziel ab. Geläufig sind zwei verschiedene Zielformulierungen:

- Das Fahrzeug soll eine möglichst große Geschwindigkeit erreichen.
- Das Fahrzeug soll eine möglichst große Strecke zurücklegen.

Beide Ziele lassen sich kaum mit derselben Fahrzeugkonstruktion erreichen, weshalb man sich für ein Ziel entscheiden sollte. Bei den bisherigen Mausefallen-Rennen des Physiktreffs in Düsseldorf wird das Kriterium der „größten Strecke“ verwendet. Die zurückgelegte Strecke ist relativ einfach und eindeutig zu ermitteln – die Siegerfahrzeuge der letzten Jahre schafften Strecken von über 40 m. Eine Geschwindigkeitsmessung erfordert mehr Aufwand, eine genaue Zeitmessung und weitere Vereinbarungen über die Messstrecke. Aus diesem Grund wird auch in dem vorliegenden Entwurf gefordert, dass das Fahrzeug eine möglichst große Strecke zurücklegen soll.

Da der Begriff der Geschwindigkeit aber mit einem bewegten Fahrzeug so eng verknüpft ist, soll dieser Aspekt – wenn auch nur als Nebenaspekt – in einer der „Forschungsstationen“ berücksichtigt werden.

Andere Schwerpunktsetzungen sind hier natürlich denkbar und würden dabei einzelne Elemente der Unterrichtsreihe verändern, die Grundidee aber beibehalten.

Für beide möglichen Zielsetzungen sind die einzuhaltenden Randbedingungen dieselben: Konstruiert werden soll ein Fahrzeug, das ausschließlich von dem sich schließenden Drahtbügel einer handelsüblichen Mausefalle angetrieben wird. Die Mausefalle muss Teil des Fahrzeugs sein. Die Mausefallen (keine Rattenfallen!) können einheitlich vorgegeben oder von den Schülerinnen und Schülern im Handel gekauft werden. Eventuelle Qualitätsunterschiede werden dabei toleriert und haben sich bisher nicht als wettbewerbsverzerrend herausgestellt. Unter Umständen könnten auch in einer der „Forschungsstationen“ gewonnene Erkenntnisse dazu dienen, möglichst geeignete Mausefallen auszusuchen.

Das Mausefallenauto wird also nach aller bisherigen Erfahrung über Räder verfügen müssen – Schlitten-, Luftkissen- oder andere Konstruktionen sind kaum denkbar, gleichwohl wären sie zulässig.

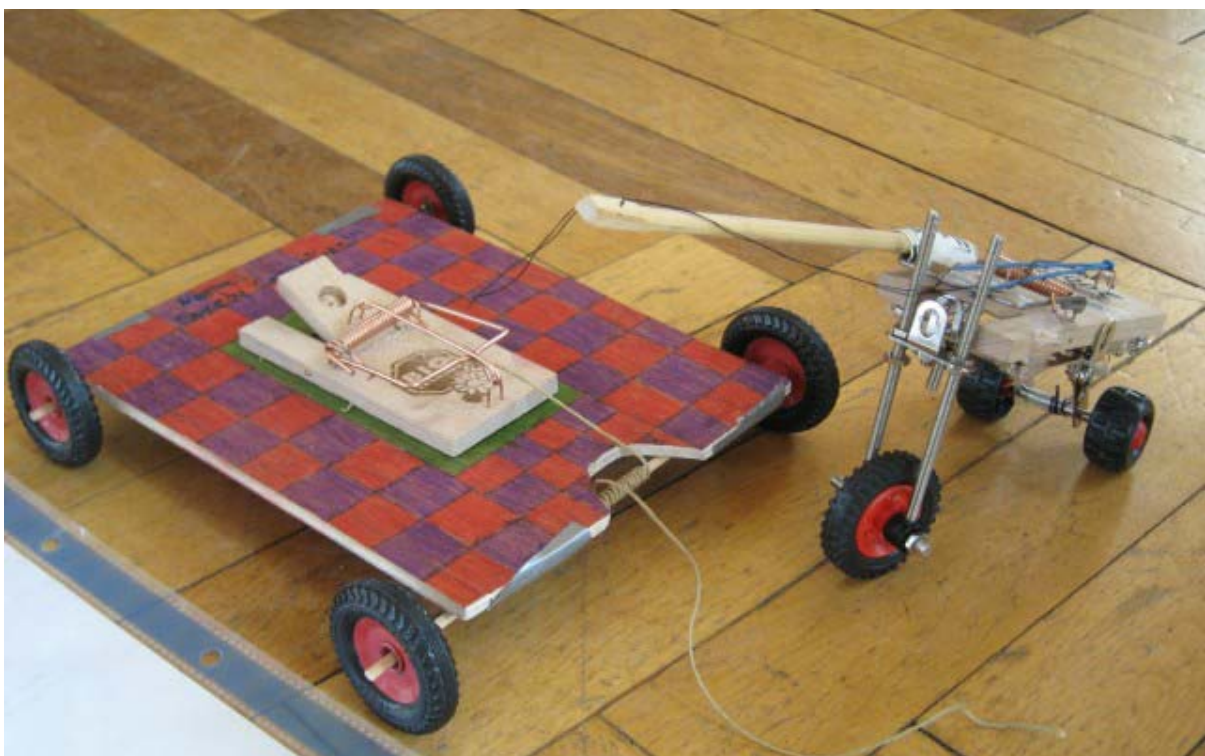
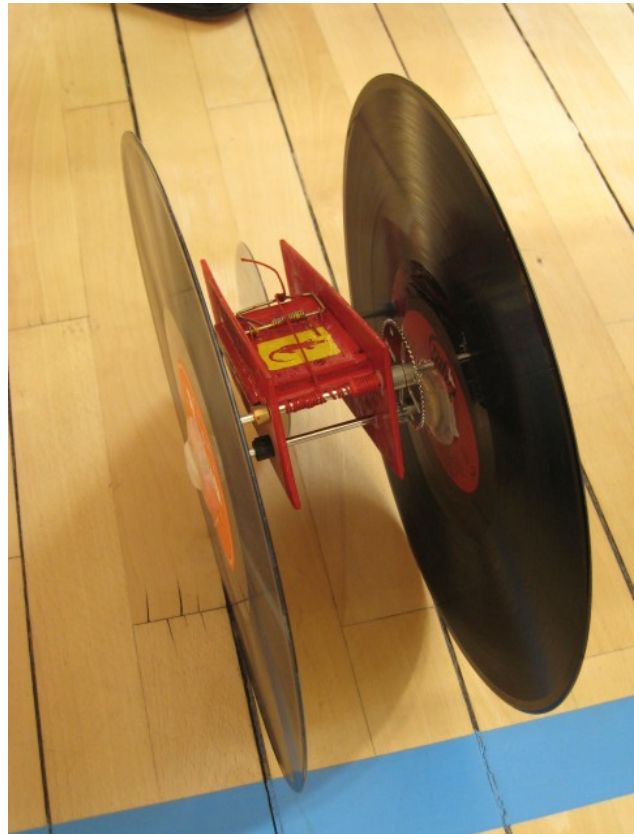
Üblich und gleichermaßen erfolgreich sind einachsige (zweirädrige) und zweiachsige (drei- oder vierrädrige) Konstruktionen.



Als Räder werden oft ausgediente CDs oder Schallplatten verwendet – auch hier sind beliebige andere Materialien und Gegenstände denkbar.

Eine Hauptaufgabe der Konstruktion besteht somit darin, die von der gespannten Mausefalle bereitgestellte Energie möglichst effektiv auf eine Antriebsachse zu übertragen. In den meisten Fällen wird dieses Problem durch eine Hebelkonstruktion am Mausefallenbügel und einen auf der Achse aufgewickelten Zugfaden gelöst. Aber auch Zahnradkonstruktionen oder andere Getriebe sind denkbar und zulässig.

Auch für die Gesamtkonstruktion gibt es keine Beschränkungen: von ausgedienten Getränkepackungen, Holz, Styropor über Bauteile von Metallbaukästen oder Lego-Technik bis hin zu Kohlefaserkonstruktionen ist alles erlaubt. Da die „Fertigung“ nicht zwingend nur in der Schule stattfindet sondern auch in Heimarbeit weiter gebastelt werden darf, muss wohl toleriert werden, wenn hier und da ein Elternteil oder größere Geschwister mitbasteln.



#### 4. Hinweise zur Organisation

Natürlich wäre es optimal, wenn man einen Werkraum in der Schule nutzen oder zumindest einen anderen Raum für die Dauer der Unterrichtsreihe als Werkstatt reservieren könnte. In den meisten Fällen wird dieser Luxus jedoch nicht möglich sein. Auch bei unserer Erprobung der Unterrichtsreihe mussten wir uns mit dem (einzigen) Physik-Schülerübungsraum begnügen, der natürlich zwischendurch auch von anderen Lerngruppen genutzt wurde. Zumindest erleichtert eine Unterrichtsblockung in Doppelstunden die Durchführung der Arbeiten.

Wenn ca. 30 Schülerinnen und Schüler ihre Bastelarbeiten im Physikübungsraum durchführen, ist für die fünf „Forschungsstationen“ dort kaum mehr Platz. Deshalb werden diese in den angrenzenden Vorbereitungs- und Sammlungsräumen aufgebaut. Eine Betreuung und Beaufsichtigung ist dann auch durch eine einzige Lehrperson möglich.

Werkzeuge können und sollen die Schülerinnen und Schüler von zuhause mitbringen. Aus Sicherheitsgründen haben wir das Mitbringen von Messern und die Verwendung von Sekundenklebern verboten. Wir haben die besseren Erfahrungen damit gemacht, wenn die Schülerinnen und Schüler ihr Werkzeug grundsätzlich selbst mitbringen und sich nicht darauf verlassen, dass die Schule alles bereitstellt.



Eine gewisse Grundausrüstung von Werkzeug kann die Schule im Idealfall vorhalten, um von Fall zu Fall auszuhelfen. So sollten z.B. Teppichmesser, Klebepistolen und vielleicht auch



eine Bohrmaschine oder ein Akkuschauber zur Verfügung stehen. Die Ausleihe von Schulwerkzeug während des Unterrichts quittieren die Schüler auf einer Ausleihliste.

Zum Schutz des Mobiliars bei Säge-, Schneid- und Klebearbeiten wurden leichte Schutzplatten aus Hartfasermaterial beschafft, die auf einige der Schülerübungstische aufgelegt und auch schnell wieder abgeräumt werden können.

Da die Mausefallenautos in Partnerarbeit oder Dreiergruppen gebaut werden, entstehen in jeder Klasse 10 – 15 Fahrzeuge. Wenn das Projekt in einer ganzen Jahrgangsstufe (in unserem Fall 5 Parallelklassen) durchgeführt wird, ist eine große Anzahl von Fahrzeugen aufzubewahren, da die Schüler ihre Modelle nicht immer mit nach hause nehmen. Eine Aufbewahrung in den Klassenräumen ist zwar möglich, aber auch anfällig. Wir haben deshalb einige große, stapelbare Plastikkisten (Euroboxen) gekauft, in denen sich die Fahrzeuge klassenweise platzsparend in den Physikräumen lagern lassen.

## **5. Ablauf der Unterrichtsreihe**

### **Einstieg und Motivation**

Als Einstieg bietet es sich an, Filme von fahrenden Mausefallenautos zu präsentieren. Im Internet lassen sich leicht diverse Videos finden anhand derer die Funktionsweise der Autos deutlich werden kann. Ein Video ist im Anhang zu finden. Es folgt nun die Formulierung des Wettkampfziels. Damit die Schülerinnen und Schüler nicht mit völlig falschen Vorstellungen in die kommende Unterrichtseinheit gehen, ist es sicherlich sinnvoll, schon an dieser Stelle einen Überblick über die Unterrichtsstruktur der nächsten Stunden zu geben.

### **Erste Ideen zur Konstruktion**

Die Schülerinnen und Schüler sollen in der Folgestunde die benötigten Materialien und Werkzeuge selbst mitbringen. Dazu müssen sich die Kleingruppen selbständig organisieren und Absprachen treffen. Daher ist es sinnvoll, den Schülerinnen und Schülern noch in der ersten Stunde die Zeit zu geben, sich erste Ideen zur Konstruktion ihres Mausefallenautos zu notieren und eine Materialliste zu erstellen.

### **Recherche, Materialbeschaffung (zu Hause)**

Natürlich dürfen sich die Schülerinnen und Schüler auch zu Hause mit den Mausefallenautos beschäftigen. Im Internet lassen sich zu diesem Thema sogar detaillierte Bauanleitungen finden. Daher erhalten die Schülerinnen und Schüler die Hausaufgabe, sich im Internet weiter zu informieren und sich die benötigten Materialien zu beschaffen.

### **Dokumentation in Form einer Mappe**

Die Ergebnisse der Partner- bzw. Gruppenarbeit wird von jeder Gruppe in einer separat angefertigten Mappe festgehalten. Diese Mappe wird am Ende der Reihe eingesammelt und bewertet. Dadurch soll sichergestellt werden, dass die Schülerinnen und Schüler auch die Forschungsstationen ernsthaft bearbeiten. Des Weiteren bietet die Mappe eine gute Bewertungsgrundlage. Folgende Bestandteile könnten für die Mappe verlangt werden:

- Deckblatt: Steckbrief des Autos (ähnlich wie beim Autoquartett: Foto und Name des Autos, Name der Konstrukteure, technische Daten wie z.B. maximale Fahrtstrecke, Geschwindigkeit, Masse, Rollreibungskraft)
- Konstruktionszeichnung
- Materialliste
- Protokolle zur Bearbeitung der Forschungsstationen (Arbeitsblätter)

### **Wettbewerb Mausefallenrennen**

Der Wettbewerb Mausefallenrennen schließt die Unterrichtseinheit ab. Dieser Wettbewerb kann sowohl Klassenintern als auch Klassenübergreifend erfolgen. Schließen sich mehrere

Klassen zusammen, muss jedoch ein ausreichend großer Raum gefunden werden. Von Vorteil wäre es sicherlich, wenn die Aula oder die Sporthalle zur Verfügung stehen würde. Zu beachten ist jedoch, dass die veränderten Bodenbedingungen deutlichen Einfluss auf die Fahreigenschaften der Mausefallenautos haben können. Bei gut austarierten Autos kann das im schlimmsten Fall sogar dazu führen, dass sie gar nicht mehr fahren.

## 6. Wann soll ich auch das noch unterrichten?

Der Zeitplan für den Physikunterricht in der Sekundarstufe I ist voll – da liegt die Frage nahe, woher die Zeit für derartige „Extraprojekte“ kommen soll. Die Unterrichtsreihe ist bereits mehrfach erprobt worden. Dabei hat sich herausgestellt, dass sie in der Regel 12, in einigen Fällen 14 Unterrichtsstunden (6 – 7 Wochen) benötigt. In dieser Zeit werden die Inhalte „Reibung“, „Hebel“ und „Hookesches Gesetz“ exemplarisch behandelt. Es ist nicht geplant, diese Inhalte an anderer Stelle des Physikunterrichts erneut aufzugreifen.

Weiterhin wird der bereits vorher eingeführte Geschwindigkeitsbegriff angewandt und vertieft. Nicht zuletzt werden Aspekte zur Energieerhaltung und zur Energieumwandlung angesprochen, was sicherlich im weiteren Unterricht noch mehrfach geschehen muss. Die wesentliche Bastelarbeit an den Mausefallenautos nimmt etwa die Hälfte der gesamten Zeit in Anspruch. Die Fahrzeuge werden meist nicht nur in der Schule sondern auch in Heimarbeit weiter gebaut.

Ein Vergleich mit demselben Lernpensum im herkömmlichen Unterricht zeigt, dass der Kontext „Mausefallenauto“ keine zusätzliche Unterrichtszeit erfordert! Nicht zu unterschätzen ist der Motivationsgewinn durch die praktische Aufgabenstellung und den Wettbewerbscharakter, ein Motivationsgewinn, der auch noch den Unterricht im weiteren Verlauf beflügeln wird!

## 7. Kompetenzen

### Prozessbezogene Kompetenzen

Die geförderten prozessbezogenen Kompetenzen lassen sich nur in Ausnahmefällen konkreten Tätigkeiten oder einzelnen Forschungsstationen beziehungsweise dem Erstellen der Arbeitsmappe eindeutig zuordnen. Deshalb werden diese prozessbezogenen Kompetenzen hier für die gesamte Unterrichtsreihe aufgeführt.

#### **Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung:**

*Schülerinnen und Schüler...*

- *beobachten und beschreiben physikalische Phänomene und Vorgänge und unterscheiden dabei Beobachtung und Erklärung.*
- *erkennen und entwickeln Fragestellungen, die mit Hilfe physikalischer und anderer Kenntnisse und Untersuchungen zu beantworten sind.*
- *führen qualitative und einfache quantitative Experimente und Untersuchungen durch, protokollieren diese, verallgemeinern und abstrahieren Ergebnisse ihrer Tätigkeit und idealisieren gefundene Messdaten.*
- *recherchieren in unterschiedlichen Quellen (Print- und elektronische Medien) und werten die Daten, Untersuchungsmethoden und Informationen kritisch aus.*
- *stellen Hypothesen auf, planen geeignete Untersuchungen und Experimente zur Überprüfung, führen sie unter Beachtung von Sicherheits- und Umweltaspekten durch und werten sie unter Rückbezug auf die Hypothesen aus.*
- *interpretieren Daten, Trends, Strukturen und Beziehungen, wenden einfache Formen der Mathematisierung auf sie an, erklären diese, ziehen geeignete Schlussfolgerungen und stellen einfache Theorien auf.*
- *stellen Zusammenhänge zwischen physikalischen Sachverhalten und Alltagserscheinungen her, grenzen Alltagsbegriffe von Fachbegriffen ab und transferieren dabei ihr erworbenes Wissen.*

#### **Kompetenzbereich Kommunikation:**

*Schülerinnen und Schüler...*

- *tauschen sich über physikalische Erkenntnisse und deren Anwendungen unter angemessener Verwendung der Fachsprache und fachtypischer Darstellungen aus.*
- *kommunizieren ihre Standpunkte physikalisch korrekt und vertreten sie begründet sowie adressatengerecht.*



- *beschreiben den Aufbau einfacher technischer Geräte und deren Wirkungsweise.*

**Kompetenzbereich Bewertung:**

*Schülerinnen und Schüler...*

- *binden physikalische Sachverhalte in Problemzusammenhänge ein, entwickeln Lösungsstrategien und wenden diese nach Möglichkeit an.*
- *nutzen physikalische Modelle und Modellvorstellungen zur Beurteilung und Bewertung naturwissenschaftlicher Fragestellungen und Zusammenhänge.*

**Konzeptbezogene Kompetenzen**

Kompetenzen zum Basiskonzept „System“ werden während der gesamten Unterrichtsreihe – sowohl während der „Fertigung“ als auch bei den „Forschungsstationen“ gefördert, indem Schülerinnen und Schüler das Zusammenwirken der verschiedenen Elemente ihres Mausefallenautos planen, verstehen und gezielt gestalten. Hier wird besonders die folgende konzeptbezogene Kompetenz angestrebt:

- *Die Schülerinnen und Schüler können mithilfe des Systemkonzepts auch auf formalem Niveau Beobachtungen und Phänomene erklären sowie Vorgänge beschreiben, sodass sie den Aufbau von Systemen beschreiben und die Funktionsweise ihrer Komponenten erklären. [...]*

Weitere konzeptbezogene Kompetenzen sind den einzelnen Forschungsstationen zugeordnet.

## 8. Beschreibung der Forschungsstationen, Ziele, Kompetenzen

### 8.1. Reibung

In dieser Station sollen die Einflüsse von Material, Masse und Reibungsart auf die Reibungskraft experimentell untersucht werden. Ziel dieser Untersuchung ist, Materialien zu finden, die für den Bau des Mausefallenautos besonders geeignet sind.

Basis der Experimente bilden unterschiedlich beschichtete Holzklötzchen annähernd gleicher Masse, sowie zwei Kraftmesser und mehrere Holzröllchen.

Die Holzklötzchen werden mit den beschichteten Seiten über den Tisch gezogen, um Hinweise zu den Reibungskoeffizienten zu finden. Auf eine formelmäßige Darstellung und die Thematisierung des Begriffs Reibungskoeffizient wird allerdings verzichtet.

Anschließend stapelt man nach und nach die Klötzchen übereinander und zieht sie jeweils über den Tisch, um den Einfluss der Masse auf die Reibungskraft zu untersuchen.

Zum Abschluss werden noch die Unterschiede der Haft-, Gleit- und Rollreibungskräfte untersucht.

Die Ergebnisse der Experimente sollen nach Möglichkeit in den Bau des Autos einfließen. Hiefür müssen die Schülerinnen und Schüler die Komponenten des Autos analysieren: Bei welchen Bauteilen spielt der Reibungskoeffizient eine Rolle? Bei welchen Bauteilen ist in erster Linie auf die Masse zu achten? Trotz aller Experimente ist natürlich auch darauf zu achten, dass die Materialien gut zu verarbeiten sind.



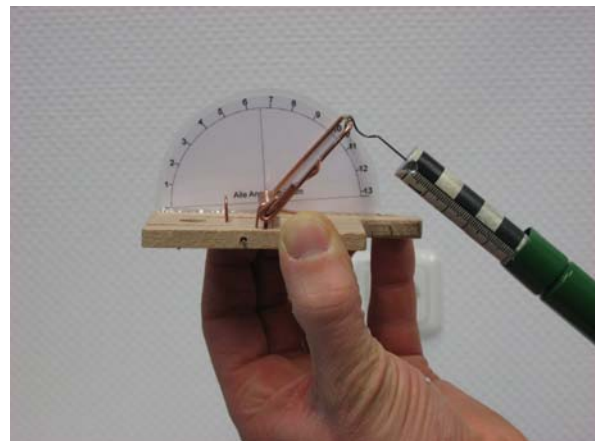
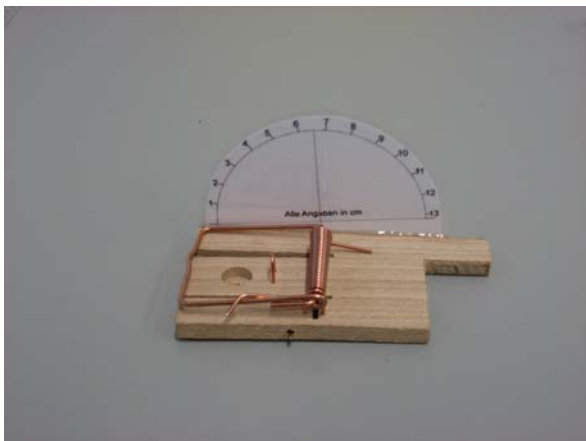
Kompetenzen: M3, S6, W7

## 8.2. Hookesches Gesetz

Basismaterialien dieser Station bilden zwei Standardfedern mit unterschiedlichen Federkonstanten und eine Mausefalle, die mit einer Bogenmaßskala ausgestattet wurde. Mit einem Kraftmesser – je nach Art der in der Physiksammlung vorhandenen Federn könnten auch mehrere unterschiedlich bemessene Kraftmesser nötig sein – wird die benötigte Kraft für unterschiedliche Auslenkungen der Federn bestimmt und in eine vorbereitete Tabelle und ein vorbereitetes Koordinatensystem eingetragen.



Dadurch wird die Proportionalität von Auslenkung und benötigter Kraft in allen drei Fällen (auch bei der Mausefalle) deutlich. Bei der Präparation der Mausefalle empfiehlt es sich, in die Bodenplatte der Mausefalle ein Loch zu sägen, um Platz für den Kraftmesser zu schaffen.



Ein Lückentext hilft zusätzlich dabei, die physikalischen Zusammenhänge von Auslenkung, Kraft und Federkonstante zu verdeutlichen und zu sichern und das Hookesche Gesetz in seiner formalen Schreibweise kennen zu lernen.

Am Ende sollen die Schülerinnen und Schüler in der Lage sein zu erklären, warum das Auto stehen bleiben könnte, obwohl die Mausefalle noch nicht vollständig zugeschnappt ist.

Damit erreichen die Schülerinnen und Schüler bei dem Basiskonzept Wechselwirkungen das Kompetenzniveau der Stufe II:

Die Schülerinnen und Schüler können mithilfe des Wechselwirkungskonzepts auch auf formalem Niveau Beobachtungen und Phänomene erklären sowie Vorgänge beschreiben und Ergebnisse vorhersagen, sodass sie Bewegungsänderungen oder Verformungen von Körpern auf das Wirken von Kräften zurückführen.

### 8.3. Hebel und Drehmoment

In dieser Station soll der Einfluss der Größenverhältnisse des Mausefallenautos auf die zu erreichende Weite untersucht werden. Die gesamte Station bezieht sich auf ein Design mit Hebel. Eine mögliche Zahnradkonstruktion findet hier keine Berücksichtigung.

Die physikalische Situation: Im optimalen Grenzfall wird die gesamte Spannenergie quasistatisch in Reibungsarbeit umgewandelt. Das soll heißen, dass im idealen Grenzfall der Faden genau das nötige Drehmoment auf die angetriebene Achse ausübt, um das Drehmoment, das durch die Reibungskräfte hervorgerufen wird, auszugleichen. Um dem Idealfall nahezukommen, müssen die Reibungskraft, der Radius des angetriebenen Rades, der Radius der angetriebenen Achse und die Länge des Hebels im richtigen Verhältnis zueinander stehen. In dieser Station soll exemplarisch an einem vorgefertigten Mausefallenauto ein gutes Verhältnis gefunden werden. Im Verlauf dieser Station sollen die Schülerinnen und Schüler das Hebelgesetz kennenlernen und für ihre eigene Konstruktion in einer Überschlagsrechnung nutzen.

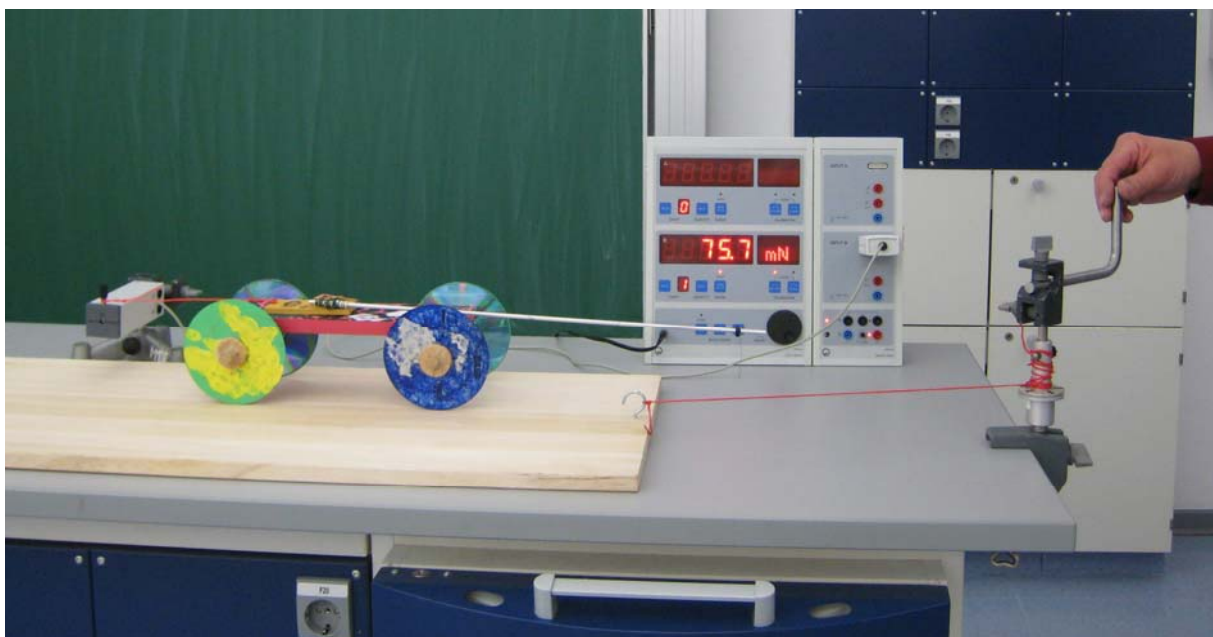
#### Struktur der Station:

In der Station sollen die Schüler über eine Folge von Experimenten zu einem günstigen Abmessungsverhältnis gelangen.

#### Experiment 1: Reibung

Dieses Experiment ist ein Vorexperiment und würde thematisch auch zur Reibungsstation passen. Es ließe sich auch in eine eigene Station ausgliedern.

Es soll festgestellt werden, welche Reibungskräfte überwunden werden müssen, damit das Auto gleichmäßig fährt. Bei den typischen Schülerautos liegt die Reibung im Bereich 100 mN und kann durch gleichmäßiges Ziehen mit einem Kraftmesser großenordnungsmäßig bestimmt werden.



Die zu messenden Kräfte liegen bei gut gebauten Autos in einer Größenordnung von 10 bis 30 mN, sind also nicht so leicht zu messen. Hier kann man den Versuchsaufbau so variieren, dass eine Unterlage unter dem Auto weggezogen wird, während das Auto durch den Kraftmesser festgehalten wird. Im optimalen Fall wählt man für die Unterlage das Bodenmaterial. Bewährt hat sich der elektronische Kraftmesser von Leybold aus der Cassy-Reihe, der wohl aber nicht in vielen Sammlungen vorhanden sein dürfte (siehe Bild). Wie eine praktikable Anordnung mit Federkraftmessern bei sehr kleinen Kräften aussieht, probieren wir gerade noch aus.

Die Kraftanzeige schwankt deutlich, so dass die Schüler einen geeigneten Mittelwert finden müssen.

Kompetenzen: EG1, EG2, EG4, KO1, W9

### **Experiment 2: Vergleich mit dem Anfahren auf einem Fahrrad**

Dieses Experiment soll die physikalischen Verhältnisse durch den Vergleich mit einer ähnlichen, den Schülern sehr bekannten Situation verdeutlichen. Die Schüler sollen aus dem Stand mit dem Fahrrad anfahren. Zum Antrieb dürfen sie nur eine Viertelpedal-Umdrehung machen. Durch systematisches Probieren und Messen sollen sie den Gang bestimmen, bei dem sie die größte Weite erreichen. In diesem Experiment wird als Energie die Lageenergie der Körpermasse genutzt. Die Schüler dürfen nicht zusätzlich am Lenker ziehen, da sonst keine einheitliche Kraft während der Experimente ausgeübt wird. Wünschenswert wäre ein Fahrrad mit Ketenschaltung, bei dem am Pedal mehrere Ritzel zur Verfügung stehen. Die Schüler sollen herausbekommen, dass der größtmögliche Gang, in dem sich gerade noch anfahren lässt, die größte Strecke bringt. Dabei dürfen die Gruppenmitglieder helfen, das Gleichgewicht zu halten.

In einem zweiten Schritt sollen die Schüler die Gemeinsamkeiten und Unterschiede zur Situation am Mausefallenauto erkennen und auf einem AB aufführen.

Das Experiment könnte auch als Hausaufgabe aufgegeben werden, um die Unterrichtsstunde zu entlasten.

Kompetenzen: EG1, EG3, EG4, EG8, EG11, KO1, KO4, KO5, KO8, E1, E2, E4, E5, E6, E8, W7, W9

### **Experiment 3:**

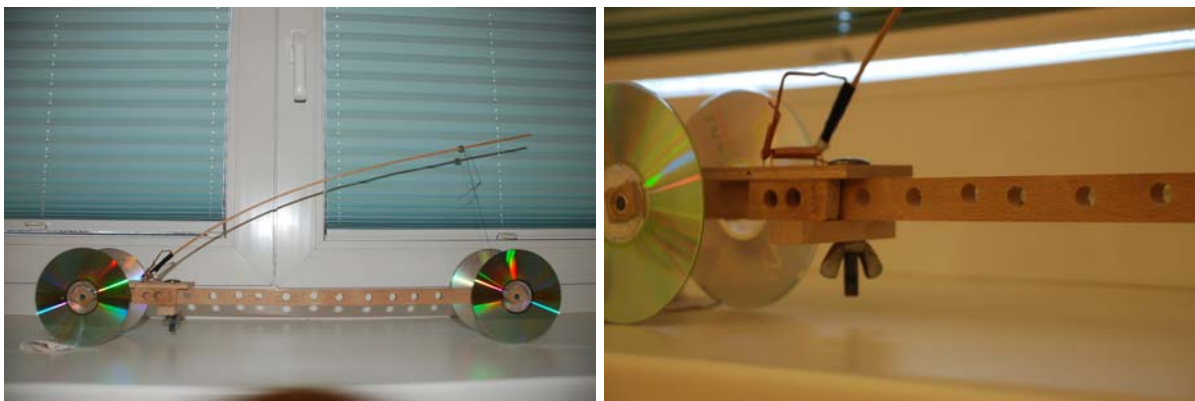
In diesen Experimenten sollen an zur Verfügung gestellten Autos die optimalen Abmessungen gefunden werden. Daher erfordert sie einige Vorbereitung, da diese Autos gebaut werden müssen.

Um einen reibungslosen Ablauf an den Stationen zu gewährleisten, sollten bei einer Klassengröße von 30 Schülern drei bis vier Autos bereit stehen. Leider kann die angetriebene Achse nicht variiert werden, sondern als Parameter bleiben nur der Abstand zwischen Mausefallenachse und angetriebener Achse, sowie die Hebellänge übrig. Bei den Mausefallenautos, die



zur Verfügung gestellt werden, sollten diese beiden Parameter leicht zu variieren sein, ohne die restlichen Parameter des Autos, wie Masse, etc. zu verändern. Die Autos sollen natürlich möglichst robust sein, aber nicht übertrieben perfekt, um die Schüler nicht zu frustrieren. Beim größtmöglichen Hebel und Abstand, sollte Auto nicht anfahren, während bei den kleinsten Abmessungen der Hebel mit Geschwindigkeit zurück schnappen sollte.

Es hat sich bewährt, für den Körper des Autos einen Holzleiste zu wählen, die man aus Gewichtsgründen noch durchlöchern kann. Die Mausefalle versteht man dann an der Unterseite mit zwei gleich breiten Leisten, so dass sie mit Hilfe einer Flügelmutter einfach an jeder beliebigen Stelle auf der Holzleiste des Autos befestigt werden kann. Als Räder bieten sich CDs an, die auch von den Schülern häufig gewählt werden. Der Einbau von einfachen Kugellagern empfiehlt sich, da das Auto ansonsten nur sehr kleine Abmessungen fahren kann. Die Gesamtabmessungen hängen von dem Durchmesser der Radachse ab. Wählt man Achse mit einem Zentimeter Durchmesser, sollte das Auto etwa einen halben Meter lang sein. Wählt man größere Achsendurchmesser, muss das Auto entsprechend länger werden. Durch systematisches Probieren sollen die Schüler die optimalen Abmessungen herausfinden.



Kompetenzen: EG1, EG4, EG8, EG9, KO 1, KO3, W7, W8, W9

#### **Experimente 4 und 5: Die Hebelgesetze**

Hier sollen die Schüler das Hebelgesetz anhand von zwei Experimenten finden.

Das erste Experiment entspricht der Situation am Hebel. Das zweite Experiment der Situation an der angetriebenen Achse. Anschließend sollen sie durch eine Überslagsrechnung eine günstige Hebellänge für ihr eigenes Auto berechnen. Experiment 4 lässt sich ohne Probleme in mehrfacher Ausführung bereitstellen, Experiment 5 wird man wohl nur in einfacher Ausführung aufbauen kann. Das ist aber unproblematisch, weil die Durchführung sehr rasch vonstatten geht. Die Rechnung im Anschluss soll einen Hinweis auf günstige Abmessungen an dem eigenen Auto liefern.

An dieser Stelle wird nicht darauf eingegangen, dass einerseits das Drehmoment, welches die gespannte Feder auf die Mausefalle auswirkt, linear mit dem Winkel abnimmt und andererseits das Drehmoment, das der Faden auf die Mausefalle ausübt, ebenfalls mit dem Winkel variiert und zwar mit  $1/\cos(\alpha/2)$ , wobei  $\alpha$  den Winkel des Hebels bezeichnet. Für eine genaue-

re Betrachtung, siehe auch die Anlage. Genau genommen müsste den Schülern also auffallen, dass sie gar nicht die Kraft des Hebels messen können, da diese ja variiert. Sie müssen also überlegen, welche Position hier sinnvoll ist. Durch das Experiment 4 wird den Schülern nahe gelegt, die Kraft in senkrechter Position des Hebels (das entspricht  $\alpha = \pi/2$ ) im rechten Winkel zum Hebel zu messen. Also würde erst die Kraft  $F_{\text{Faden}}/\cos(\pi/4)$  das Drehmoment der Feder ausgleichen. Der Faktor  $1/\cos(\pi/4) \approx 1,41$  ist also nicht allzu weit von 1 entfernt und sichert andererseits, dass das Drehmoment des Fadens über den gesamten Winkelbereich nicht größer wird, als das Drehmoment der Feder. Starke Schüler haben hier die Möglichkeit weiter zu experimentieren und die genauere Abhängigkeit der Kraft vom Winkel zu untersuchen, wobei eine genaue Beschreibung die mathematischen Kenntnisse in der Stufe 8 weit überschreitet.

Kompetenzen: EG1, EG2, EG4, EG5, EG8, EG9, KO1, KO3, KO5, W7, W8, W9, W11

#### 8.4. Geschwindigkeitsmessung

Die Station „Geschwindigkeitsmessung“ soll den Schülern ein weiteres Kriterium für die Leistungsfähigkeit ihrer Mausefallenautos nahebringen. Die Erfahrung hat gezeigt, dass Mausefallenautos, welche nicht besonders weit fahren (also das Hauptkriterium des Wettbewerbs nicht erfüllen), durchaus sehr hohe Geschwindigkeiten erreichen können. So ist gewährleistet, dass auch Gruppen weiterhin motiviert bleiben, deren Gefährt keine hohe Reichweite erzielt.

Das Thema Geschwindigkeit ist laut Kernlehrplan obligatorisch und sollte im Vorfeld der Reihe so weit behandelt worden sein, dass die selbständige Messung und Berechnung der Geschwindigkeit im Mausefallenexperiment zur Festigung des Gelernten dienen kann.

Die Messung der Geschwindigkeit des Mausefallenautos erfolgt mittels einer Zeitmessung per Stoppuhr auf einer mit Klebeband markierten Strecke, die der halben maximalen Reichweite des Autos entspricht (aber mindestens 2 m, damit eine sinnvolle Zeitmessung noch möglich ist). Es sollen fünf Zeiten aufgenommen werden (möglichst parallel mittels mehrerer Stoppuhren, welche von verschiedenen Gruppenmitgliedern bedient werden), da neben der Übung experimenteller Kompetenzen auch die Mittelwertbildung von Messwerten eingeführt wird, um den Schülern zu verdeutlichen, dass Messwerte grundsätzlich schwanken. Ferner wird diesbezüglich die Spannweite als einfach zu bestimmendes Fehlermaß eingeführt.

Kompetenzen: EG4, EG5, EG9, KO3, W8

#### 8.5. Energiebilanz: Spannenergie – Reibungsarbeit

In dieser Station sollen die Schüler eine quantitative Energiebilanz aufstellen zwischen der Spannenergie der Feder und der Reibungsarbeit, die während der Fahrt des Autos geleistet wird. Durch diesen Vergleich sollen sie berechnen, wie weit ihr Auto maximal fahren kann. Die relevante Formel  $\Delta E = F \cdot \Delta s$  wird als Zitat aus dem Schulbuch vorgegeben. Hier lassen sich natürlich auch Formulierungen aus anderen Schulbüchern benutzen, eventuell kann man das AB auch dahingehend ändern, dass nur auf das Buch oder einen andere Quelle verwiesen wird. Zunächst soll einfach in diese Formel eingesetzt werden, wobei für die Kraft der in der Station 4 bestimmte Wert der Reibungskraft benutzt werden soll. Das Ausfüllen der Tabelle

soll zum einen an den Gebrauch der Formel gewöhnen und liefert zudem die Möglichkeit bei der anschließenden Bilanzierung eine ungefähr passende Weite aus der Tabelle rauszusuchen, ohne die Formel nach  $\Delta s$  umstellen zu müssen. Bei der Berechnung der Spannenergie tritt das Problem auf, dass die Kraft nicht konstant ist. Durch eine Beispielrechnung soll den Schülern ein Verfahren an die Hand gegeben werden, mit dem sie mit dieser Schwierigkeit umgehen können. Da dieser Teil der Energiebilanz deutlich schwieriger ist, wurde er an die zweite Stelle gestellt. Die Messwerte für die Kräfte sollen die Schüler aus der Station Hookesches Gesetz übernehmen.

Kompetenzen: EG2, EG5 EG9, KO1, KO4, KO5, EG11, E1, E2, E4, E5, E6, E8

## **9. Bewertung**

Der Bau des Mausefallenautos geschieht in Partner- bzw. Gruppenarbeit. Dementsprechend sollte diese bei der Bewertung auch entsprechend durch die Zuhilfenahme bekannter Kriterien (Zügiges Arbeiten, Vorhandensein der Materialien, Beachtung der Arbeitsanweisungen, Zusammenarbeit innerhalb der Gruppe, usw.) berücksichtigt werden. Darüber hinaus sollten die Führung des Teamheftes, die Bearbeitung der einzelnen Stationen und die erreichte Wegstrecke des Mausefallenautos als Qualitätsmerkmal in die Bewertung maßgeblich einfließen. Natürlich kann dieses Spektrum nach Belieben angepasst werden, z.B. könnte auch das schönste Mausefallenauto gekürt werden.

## 10. Impressionen des Projekts am Leibniz



Es wird konstruiert...



...justiert...





**...diskutiert...**



**...und optimiert!**