

## Bungee-Car



Klassenstufe	Oberthemen	Unterthemen	Anforderungs-niveau	Durchführungs-niveau	Vorlauf Vorbereitung Durchführung
SI	Mechanik	Energieerhaltung	●●	■ ■	- 0 - 15 Min 45 Min

## Lehrziele

- die Schüler prüfen das Konzept der Energieumwandlung an einem konkreten Beispiel (Spannenergie in kinetische Energie) (fachlicher Inhalt)
- die Schüler führen die Geschwindigkeitsmessung mit einer Lichtschranke und dem Messinterface Xplorer GLX durch (technische Kompetenz)
- die Schüler berechnen Spann- und kinetische Energien (Methodenkompetenz)
- die Schüler erschließen Zusammenhänge zwischen Messgrößen (Methodenkompetenz)

## Einführung

Im Kanon der mechanischen Energieformen findet man immer auch die Spannenergie, da sie sich experimentell sehr leicht zu realisieren ist. Hierdurch ergeben sich zahlreiche Möglichkeiten für Energieumwandlungen, insbesondere in kinetische Energie. In diesem Experiment wird die Spannenergie einer Feder in kinetische Energie eines Experimentierwagens umgewandelt. Sowohl die Dehnung der Feder als auch die kinetische Energie des Wagens sind experimentell gut zugänglich, so dass in diesem Versuch das Konzept der Energieumwandlung eingesetzt und geprüft werden kann. Die Anleitung setzt dabei voraus, dass die Formeln für kinetische und Spannenergie bereits eingeführt sind. Ebenso gut könnte man mit dem experimentellen Aufbau auch die Formel für die Spannenergie ermitteln. Dann sollte man aber 90 min dafür veranschlagen und muss natürlich das Schülerblatt für die Auswertung entsprechend anpassen. Das Handbuch kann dagegen weitestgehend so verbleiben (bis auf die Einleitung).

Durch Verwendung einer Lichtschranke lässt sich die Geschwindigkeit sehr genau messen, die Bestimmung der Federdehnung erfolgt mit Lineal oder Messschieber. Das Schülerinterface Xplorer GLX wird dabei lediglich als Timer zur Geschwindigkeitsmessung eingesetzt (Modus Digitalanzeige), die weitere Auswertung erfolgt per Hand auf dem Arbeitsblatt. Deshalb eignet sich das Experiment gut für die Einführung in das Arbeiten mit dem GLX.

## Notwendiges Material

### Aufbau mit Pasco-Fahrbahn:

Fahrbahn  
Experimentierwagen  
Unterbrecherfahne (Blende)  
Halterung für Lichtschranke  
Feder (hier 3 N/m)  
Faden

Xplorer GLX  
Digitaladapter  
Lichtschranke

### Aufbau ohne Pasco-Fahrbahn:

Stativmaterial  
Brettchen  
Experimentierwagen  
Unterbrecherfahne (Blende)  
Feder (hier 3 N/m)  
Faden  
Maßstab  
Messschieber oder Geodreieck

Xplorer GLX  
Digitaladapter  
Lichtschranke

## Didaktische und methodische Hinweise

Im Anhang finden sich ein Handbuch sowie ein Schülerarbeitsblatt.

Das Handbuch ist als Lehrsaalexemplar gedacht und sollte jeder Arbeitsgruppe in einem Schnellhefter oder Ordner zur Verfügung stehen, es führt die Schüler step-by-step durch den Versuch und erläutert insbesondere sehr ausführlich die Bedienung des Xplorer GLX. Das Schülerarbeitsblatt enthält eine Kurzfassung von Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung (zur häuslichen Wiederholung) sowie Fragen zur Auswertung der Versuchsergebnisse. Das Handbuch kann leicht durch Einfügen eines geeigneten Fotos mit dem konkret verwendeten Experimentiermaterial angepasst werden, die schematische Darstellung auf dem Schülerarbeitsblatt sollte eigentlich immer passen. Gegebenenfalls kann man hier auch den Text ändern.

## GLX 7: Bungee-Car

Die Schüler stellen zunächst die Fahrbahn (ein Brettchen mit seitlichen Führungsleisten genügt) auf und positionieren eine Lichtschranke zur Geschwindigkeitsmessung. Hier sollte sichergestellt werden, dass der Wagen die Lichtschranke problemlos passieren kann und der Lichtstrahl dabei zuverlässig unterbrochen wird. Der Wagen wird im Experiment durch die gespannte Feder beschleunigt. Die Position der Lichtschranke ergibt sich logischerweise aus der Position des Wagens in dem Moment, in dem die Feder vollständig entspannt ist (das geht auch aus dem Handbuch hervor). Durchläuft der Wagen die Lichtschranke zu früh, so existiert noch Spannenergie in der Feder. Ist die Messstelle dagegen zu spät angeordnet, so hat der Wagen durch Reibung schon wieder Energie verloren (das hängt natürlich sehr vom eingesetzten Material ab). Besonders leicht und zuverlässig klappt der Versuch mit der Pasco-Fahrbahn, darauf bezieht sich auch die Anleitung im Handbuch. Für anderes Experimentiermaterial muss man hier natürlich die Anleitung anpassen.

Die Messung der Breite der Unterbrecherfahne kann mit Messschieber oder Geodreieck erfolgen, eine Abweichung beeinflusst hier das Messergebnis deutlich. Die Federhärte kann mitgeteilt oder in einem kleinen Vorversuch bestimmt werden (vielleicht ist sie für die eingesetzte Feder auch schon von einem früheren Versuch, z.B. „Hooke'sches Gesetz“ bekannt).

Der Wagen wird nun zunächst nach hinten gezogen, wobei die Feder gespannt wird. Es ist gar nicht so leicht, die Dehnung der waagrecht eingebauten Feder exakt zu bestimmen, da die Länge im ungespannten Zustand gerade bei weichen Federn mit einer relativ großen Unschärfe behaftet ist (wenn man den Versuch ausprobiert, versteht man, wie's gemeint ist). Alternativ könnte man die Feder senkrecht einbauen, was dann aber den Aufbau komplizierter macht.

Dann lässt man die Feder los und die gespannte Feder beschleunigt den Wagen.



Wenn der Wagen die Lichtschranke passiert, erscheint sofort die Verdunkelungszeit der Lichtschranke und die Geschwindigkeit, die das GLX auf Basis der eingegebenen Breite der Unterbrecherfahne berechnet hat. Wenn das zu automatisch ist, der kann natürlich nur die Verdunkelungszeit anzeigen lassen und die Geschwindigkeit selbst ausrechnen. Die Anzahl der dargestellten Dezimalstellen kann man im Untermenü *Darstellung der Daten*, das man durch Invertieren des jeweiligen Datenfeldes erreicht, anpassen. In der Anleitung wurde auf diesen Hinweis der Einfachheit halber bewusst verzichtet.

Das Experiment wird für verschiedene Dehnungen wiederholt. Die Start/Stop-Taste braucht zwischen den einzelnen Messungen nicht betätigt werden, die Lichtschranke ist nach jeder einzelnen Messung wieder scharf. Deshalb muss der Wagen bei der Zurückführung an der

Lichtschanke vorbei geführt werden, da er sonst beim Zurückfahren eine zweite Messung auslöst. Nach der letzten Messung wird der Aufnahmemodus beendet (alternativ kann man natürlich nach jedem einzelnen Versuch die Aufzeichnung stoppen, die letzte Messung verbleibt in der Anzeige).

Nach Durchführung der Messungen berechnen die Schüler die auftretenden Spann- und kinetischen Energien und vergleichen diese miteinander. Theoretisch sollte die kinetische Energie gleich oder kleiner als die Spannenergie zu Beginn sein. Allerdings können durch Messabweichungen (insbesondere bei der Federdehnung) die gemessenen kinetischen Energien auch etwas größer ausfallen als die zugehörigen Spannenergien.

Nach dem Vergleich der Energien bietet das Schülerblatt auch noch Fragen, die auf das Verständnis der Formeln und des Energieumwandlungskonzeptes abzielen.

## **Hinweis zum Zeitbedarf**

Die Anleitung ist für einen Ersteinsatz von GLX und Lichtschanke konzipiert. Wenn die Zeitmessung mit Lichtschanke und GLX bereits von einem früheren GLX-Versuch (z.B. „Pendel – Abnahme der Schwingung“ oder „Schiefe Ebene – Energieumwandlung“) bekannt ist, geht der Arbeit natürlich leichter von statten, gleiches gilt für die Bedienung des GLX mit Lichtschanke.

Je nach Betreuungssituation (Gruppengröße), experimenteller Erfahrung der Schüler und Experimentiermaterial sollte der Versuch in 45 min eigentlich gut zu schaffen sein. Die Auswertung wurde so konzipiert, dass an Hand des Schülerarbeitsblattes ein Teil davon auch zu Hause durchgeführt werden kann. Die Besprechung und Ergebnissicherung erfolgt in diesem Fall in der folgenden Unterrichtsstunde.

## **Erweiterung**

Falls mehr Zeit zum Experimentieren zur Verfügung steht, kann das Experiment natürlich erweitert werden, z. B. durch Veränderung der Masse des Wagens. Bei höherer Masse ergeben sich geringere Geschwindigkeiten, da die jeweils eingesetzte Spannenergie ja gleich bleibt. Auch die experimentelle Bestimmung der Härte der verwendeten Feder bietet sich an.

Das Experiment lässt sich natürlich ebenso dazu verwenden, die Formel für die Spannenergie herzuleiten (bei bekannter Formel für die kinetische Energie). Dann muss man das Arbeitsblatt neu strukturieren und die Einführung im Handbuch anpassen. Das Experiment wird dadurch allerdings erheblich umfangreicher, so dass 90 min zu veranschlagen sind.

## **Arbeitsblatt (-blätter)**

- Handbuch für den Experimentierraum (4 Seiten farbig, ein Exemplar pro Gruppe)
- Schülerarbeitsblatt (1 Seite s/w, zum Kopieren für jeden Schüler)

**Aufgabe:**

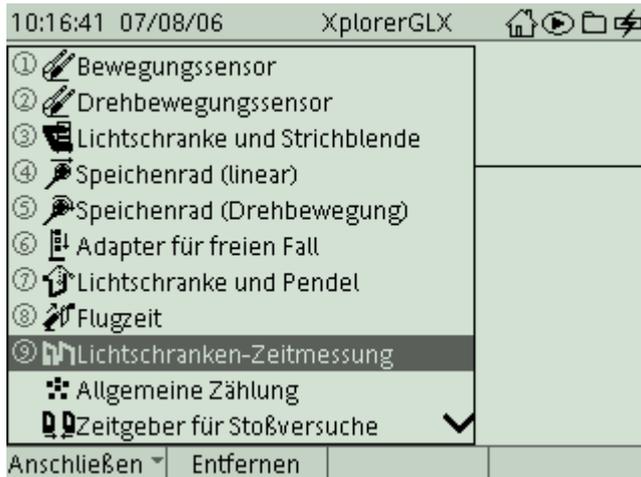
Im Experiment beschleunigen wir einen Wagen mit Hilfe einer gespannten Feder. Die Umwandlung von Spannenergie in kinetische Energie bietet uns Gelegenheit, unsere Formeln für diese Energien auf die Probe zu stellen.

**Versuchsaufbau:**

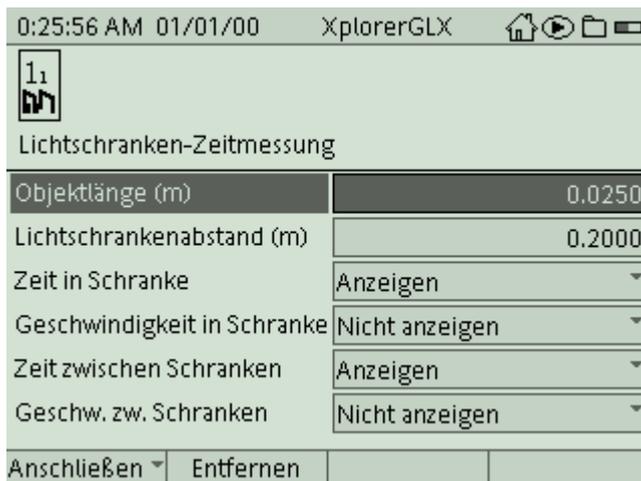
1. Befestige die dünne Feder an der Oberseite des linken Endstoppers.
2. Verbinde den Wagen über der kurzen Schnur mit der Feder (oberen Befestigungspunkt am Wagen verwenden).
3. Führe die Lichtschrankenhalterung in das seitliche Profil der Fahrbahn ein und positioniere damit die Lichtschranke (kleine Halteschraube verwenden) etwa bei der Marke 50 cm. Der Wagen darf die Lichtschranke im Versuch erst passieren, **nachdem die Feder vollständig entspannt ist**.
4. Stecke die Unterbrecherfahne auf den Wagen und justiere die Höhe der Lichtschranke so, dass der Lichtstrahl auf die untere Stufe trifft. Die rote LED auf der Lichtschranke zeigt Dir an, wann der Strahl unterbrochen ist.
5. Positioniere den Endstopper mit Feder so, dass das Ende der ungespannten Feder bei einer Hauptmarke liegt (z.B. 10 cm oder 20 cm). Du solltest nun die Feder um bis zu 40 cm dehnen können, indem Du den Wagen nach rechts ziehst (**nicht loslassen!**).

**Versuchsdurchführung (Bedienung des GLX):**

1. Schließe den Netzadapter am GLX an oder schalte ihn mit  ein.
2. Schließe die Lichtschranke mit dem Adapterkabel an den Digitaladapter an.
3. Stecke den Digitaladapter vorsichtig (**ohne zu verkanten**) am GLX ein. Dabei öffnet automatisch folgendes Auswahlmenü:



4. Wähle mit  oder Zifferntasten (Nummerierung kann abweichen) den Messmodus **Lichtschranken-Zeitmessung**. In diesem Modus messen wir die Zeit und die Geschwindigkeit des Wagens beim Durchgang durch die Lichtschranke. Nach Auswahl mit  erscheint folgender Dialog:



5. Miss die Breite der mittleren Stufe an der Unterbrecherfahne und überprüfe, ob dies dem voreingestellten Wert für die Objektlänge entspricht. Falls Du den Wert korrigieren musst, dann aktiviere das Feld Objektlänge mit  und gib die Breite der Unterbrecherfahne ein (Achtung: die Maßangabe erfolgt in der Einheit **m**). Damit kann der GLX aus der Durchgangszeit die Geschwindigkeit berechnen. Aktiviere das Feld Geschwindigkeit in Schranke und deaktiviere das Feld Zeit zwischen Schranken jeweils mit . (Das Feld Lichtschrankenabstand sowie die beiden unteren Felder werden nur benötigt, wenn zwischen zwei Lichtschranken gemessen wird).  
Wechsle in das Hauptmenü mit  und wähle mit den Cursortasten und  den

Darstellungsmodus . Es erscheint folgende Anzeige:



6. Im unteren Feld wollen wir die Geschwindigkeit anzeigen lassen. Drücke , das Feld **Zeit in Schranke** wird aktiviert. Wechsle mit  in das untere Feld und bestätige mit . In dem Fenster, das sich dann öffnet, wählst Du **Geschwindigkeit in Schranke** aus.



7. Ziehe den Wagen so weit nach links, dass die Feder um 3 cm gedehnt ist (Du kannst diese Dehnung mit dem Zeiger auf dem Maßstab vorgeben). Drücke  und lasse den Wagen los, fang ihn aber wieder auf, sobald er die Lichtschranke passiert hat. Im Display des GLX siehst Du sowohl die Zeit, für die die Fahne den Lichtstrahl unterbrochen hat, als auch die Geschwindigkeit, die sich daraus ergibt.



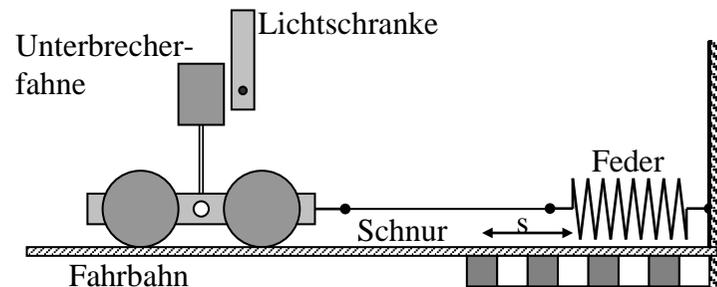
8. Du kannst diese Messung auch wiederholen, die Lichtschranke ist immer noch scharf. Notiere den Messwert für die Geschwindigkeit in die Tabelle auf Deinem Arbeitsblatt.
9. Führe die Messung für größere Dehnungen durch (siehe Tabelle auf dem Arbeitsblatt) und beende schließlich die Messungen mit .
10. Angaben zur Auswertung Deiner Messungen findest Du auf Deinem Arbeitsblatt.

**Aufgabe:**

Im Experiment beschleunigen wir einen Wagen mit Hilfe einer gespannten Feder. Die **Umwandlung von Spannenergie in kinetische Energie** bietet uns Gelegenheit, unsere Formeln für diese Energien auf die Probe zu stellen.

**Hinweis:**

Bei diesem Versuch lässt sich an der Güte Deiner Messwerte sehr gut erkennen, wie sorgfältig Du gearbeitet hast.

**Aufbau und Durchführung:**

Eine ausführliche Anleitung findest Du im „Experimentierhandbuch Explorer GLX“ unter der Nummer 7.

1. Befestige die dünne Feder am Endstopper und verbinde sie über die Schnur mit dem Wagen.
2. Justiere die Lichtschranke so über der Fahrbahn, dass sich die Unterbrecherfahne des Wagens kurz vor der Lichtschranke befindet, wenn die Feder noch nicht gespannt ist. Wir messen so die Geschwindigkeit des Wagens in dem Moment, in dem sich die Feder vollständig entspannt hat.
3. Dehne die Feder um 10 cm, indem Du den Wagen nach links ziehst. Dann lässt Du den Wagen los und registrierst mit Lichtschranke und Messinterface die Geschwindigkeit, die der Wagen durch die Feder erhalten hat.
4. Wiederhole den Versuch für größere Dehnungen der Feder.
5. Bestimme zuletzt die Masse des Wagens (mit Fahne) mit einer Waage.

**Messwerte:**

s in m	0	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30
v in m/s							
E <sub>Sp</sub> in mJ							
E <sub>kin</sub> in mJ							

$$m_{\text{Wagen}} = \dots\dots\dots \text{ g}$$

**Auswertung:**

1. Berechne aus der Dehnung und der Federhärte jeweils die Spannenergie  $E_{\text{Sp}}$  (die Federhärte beträgt 3,0 N/m für die verwendete Feder). Beachte: Der Eintrag in die Tabelle erfolgt gleich mit der Einheit mJ.
2. Berechne aus der Geschwindigkeit und der Masse des Wagens jeweils die kinetische Energie  $E_{\text{kin}}$  und vergleiche sie mit der Spannenergie.

**Ergebnis:**

Die kinetische Energie ist stets ..... wie die Spannenergie.

Die doppelte Dehnung führt zur ..... Geschwindigkeit.

**Fragen zum Versuch:**

1. Was würde sich bei deinen Werten für  $v$ ,  $E_{\text{Sp}}$  und  $E_{\text{kin}}$  ändern, wenn Du eine Feder mit einer viermal so großen Federhärte verwenden würdest.
  - o alle Werte wären viermal so groß
  - o  $v$  wäre wie vorher,  $E_{\text{Sp}}$  und  $E_{\text{kin}}$  wären doppelt so groß
  - o  $v$  wäre doppelt so groß,  $E_{\text{Sp}}$  wäre viermal so groß,  $E_{\text{kin}}$  wäre viermal so groß
2. Warum liefert die doppelte Dehnung  $s$  nur die doppelte Geschwindigkeit  $v$ , obwohl die Dehnung doch quadratisch in die Spannenergie eingeht?
  - o die Reibung verhindert eine Vervielfachung der Geschwindigkeit
  - o die doppelte Dehnung führt zur vierfachen Spannenergie, also auch zur vierfachen kinetischen Energie, zu dieser gehört aber nur die doppelte Geschwindigkeit
3. Überlege: Warum kann der Versuch als Bestätigung der Formel

$$E_{\text{Sp}} = \frac{1}{2} D \cdot s^2 \text{ für die Spannenergie angesehen werden?}$$