

# Mit Crash-Experimenten zum dynamischen Kraftbegriff

## Verkehrssicherheit als Kontext für die Mechanik

Von Thorsten Bell

KLASSE:	9./10. Klasse
SCHULFORM:	Realschule/Gesamtschule/ Gymnasim
ZEITUMFANG:	10–12 Unterrichtsstunden
THEMA:	Mechanik, Teilthema: Dynamik, Kraftstöße
METHODEN:	forschendes Lernen; Lernen an Stationen, Gruppenarbeit
WEITERE MATERIALIEN:	<a href="http://www.physik-im-kontext.de">http://www.physik-im-kontext.de</a> (dort: Materialien → Handreichungen → Kraftmessung mit dem Dehnungsmessstreifen)

Der Mechanikunterricht steht bekanntermaßen in der Gefahr, dass Schülerinnen und Schüler ihn als lebensfern und trocken empfinden. Um diesem Missstand abzuhelfen, wurde unter anderem der Kontext des Straßenverkehrs vorgeschlagen ([1], [2]). Kinder und Jugendliche bewegen sich täglich im Verkehr, er birgt faszinierende Aspekte, aber auch Gefahren.

Messungen an Fahrzeugen wie Autos oder Fahrrädern eignen sich für den Ein-

stieg in die Kinematik (s. z.B. UP 83). Aber auch die Dynamik kann durch Beispiele aus dem Straßenverkehr an Relevanz gewinnen. Bei Beschleunigungs- und Abbremsvorgängen, also auch bei Unfällen, wirken kurzzeitige, veränderliche, bisweilen sehr große Kräfte auf Fahrzeuge und Verkehrsteilnehmer. Messungen mit geeigneten Sensoren [3] können schnell variierende Kräfte erfassen und die Lernenden bei der Bildung eines dynamischen Kraftbegriffs unterstützen. Kraft kann durch solche Messungen leichter als momentane, schnell veränderliche Wechselwirkungsgröße verstanden und von der Erhaltungsgröße Energie unterschieden werden.

### UNTERRICHT 1

## Lernziele

In der Unterrichtseinheit werden Ziele auf verschiedenen Ebenen verfolgt, neben Lernzielen in Bezug auf physikalische Konzepte auch solche im Kontext Verkehrssicherheit und Verkehrserziehung. Die Schülerinnen und Schüler lernen in einem alltagsrelevanten Kontext, um Phänomene des Alltags besser zu verstehen. Sie sollen kennenlernen, welche schweren Folgen Unfälle schon bei relativ geringer Geschwindigkeit haben können und welche Maßnahmen der passiven und aktiven Sicherheit helfen, das Schlimmste zu verhindern. Darüber hinaus bietet die Einheit Möglichkeiten, das naturwissenschaftliche Denken und Arbeiten von Schülerinnen und Schülern zu fördern. Verschiedene Aktivitäten, die zum forschenden Lernen hinführen, werden geübt, nämlich

- das Entwickeln und Überdenken eigener Fragestellungen und Vermutungen,
- das experimentelle Prüfen von Hypothesen,
- das Entwickeln eines Messgeräts,
- das systematische Durchführen, Dokumentieren und Darstellen von Messungen,
- das Recherchieren von Informationen,
- die Präsentation und kritische Reflexion von Ergebnissen.

Auch das Modellieren kommt nicht zu kurz: Zum einen bauen die Schülerinnen und Schüler an **Station 5** ein Modellexperiment auf und sollen die Aussagekraft und die Grenzen des Modells diskutieren. Zum anderen kann auch der Bau einer Knautschzone in **Baustein 4** als handwerkliche Modellbildung aufgefasst werden; schriftliche Begründungen stellen den Bezug zur theoretischen Ebene her.

Die Einheit kann somit auch gut eingesetzt werden, um in den vier Kompetenzbereichen der Bildungsstandards Fortschritte anzustreben (Standards wurden ausführlich behandelt im vorangegangenen Themenheft dieser Zeitschrift [6]). Neben dem *Fachwissen* kommt es auf verschiedene Methoden der *Erkenntnisgewinnung* an, während der Gruppenarbeit und beim Präsentieren und Diskutieren auf *Kommunikation* und *Bewertung der gewonnenen Ergebnisse*.

## Sicherheit im Straßenverkehr: der Unterricht im Überblick

Im Rahmen des Projekts „Physik im Kontext“ (s. S. 6 und 7–8) hat eine Schleswig-Holsteiner Lehrergemeinschaft<sup>1)</sup> eine Unterrichtseinheit zum Thema „Sicherheit im Straßenverkehr“ für die 9. Klasse entwickelt und mehrmals erprobt. Im Kontext von Unfallforschung, Crashtests und Sicherheitsmaßnahmen werden Zusammenstöße untersucht, zeitabhängige Kräfte und Kraftstöße in Abhängigkeit verschiedener Parameter gemessen. Die Einheit beinhaltet verschiedene Elemente des forschenden Lernens, z. B. das Formulieren von Vermutungen, das selbstständige Experimentieren an Stationen, das Recherchieren von Sachinformationen sowie das Präsentieren der Ergebnisse (s. a. Lernziele in **Kasten 1**).

Die Unterrichtseinheit eignet sich, um das Lehrplanthema „Mechanik im Dienste der Verkehrssicherheit“ (z. B. Realschule und Gymnasium in Schleswig-Holstein) in Klasse 9 zu behandeln

und einen Beitrag zu der von den Schu-  
len geforderten Verkehrserziehung zu  
leisten. Der von uns erprobte Unterricht  
besteht aus den folgenden fünf Baustei-  
nen (vgl. [3]):

### **Baustein 1: Einstieg in den Kontext**

Zwar dürfen Neuntklässler in der Regel  
noch nicht normale PKW und Motor-  
räder lenken. Dennoch haben die The-  
men Mobilität, schnelle Fahrzeuge und  
Sicherheit im Straßenverkehr sehr viel  
Faszination. Ein möglicher Einstieg im  
Kontext der Verkehrssicherheit kann  
daher anhand der Führerscheinklasse S  
und der damit verbundenen Diskussion  
erfolgen (s. **Kasten 2**). Dabei werden si-  
cherlich Jungen häufiger als Mädchen  
durch technische Aspekte und das Fahr-  
erlebnis angesprochen, Mädchen wer-  
den sich stärker für Sicherheitsaspekte  
und Verletzungsrisiken für den menschi-  
chen Körper interessieren. Unfallberichte  
dürften beide Gruppen ansprechen. Im

Unterricht kann auf vielfältige Quellen  
im Internet, z. B. auf dort zur Verfügung  
gestellte Sicherheitsberichte und Video-  
filme von Crashtests zurückgegriffen  
werden (s. **Kasten 2**).

Verschiedene Einstiege sind auch al-  
ternativ oder ergänzend dazu möglich,  
wie aus der Zusammenstellung von Vor-  
schlägen im **Kasten 3** hervorgeht.

Beim Zusammentragen von Ergebnis-  
sen und Berichten können Vorstellungen  
der Lernenden in Bezug auf physikali-  
sche Sachverhalte festgestellt und ggf.  
bereits weiterentwickelt werden. Auch  
sollten die Jugendlichen Gelegenheit  
erhalten, eigene Interessen und Fragen  
zum Thema zu äußern. Eine anschauli-  
che und interessante Einführung in den  
Kontext trägt – so die Erfahrung der  
Erprobung (s. S. 29) – wesentlich dazu  
bei, dass Schülerinnen und Schüler neu  
gelernte physikalische Inhalte gut auf  
den Kontext übertragen können. Dazu  
werden sie nach der Einführung immer  
wieder angeregt.

### **Baustein 2: Experimentelle Lernstationen**

Schülerinnen und Schüler führen in  
Gruppen an **Stationen** (s. u.) Crashtests  
mit kleinen Wagen durch (**Abb. 2**). Sie  
beobachten und messen die Auswir-  
kungen von Zusammenstößen sowie  
den Einfluss verschiedener Parameter  
(Details s. u.). Jede Station schließt die  
Aufgabe ein, das Beobachtete wieder in  
den Kontext des realen Straßenverkehrs  
zu übertragen.

### **Baustein 3: Knautschzonen-Wettbewerb**

Die Schülergruppen sollen, ausgehend  
von dem in Baustein 2 an den Stationen  
erworbenen Wissen, mit beliebigen Ma-  
terialien eine möglichst gute Knautsch-  
zone für einen kleinen Schienenwagen  
bauen und ihre Konstruktion schriftlich  
begründen. Die beste Konstruktion  
wird durch eine Messung mit einem  
Dehnungsmessstreifen <sup>2)</sup> bestimmt (s.  
Schülermodell in **Abb. 3**).

## **Führerschein Klasse S**

Vor einiger Zeit sind in Deutschland neue Möglichkeiten der Ver-  
kehrsteilnahme für junge Leute eröffnet worden: Im Februar 2005  
ist auf Betreiben der EU-Kommission im Rahmen der EU-weiten  
Vereinheitlichung der Fahrerlizenzen der Klasse-S-Führerschein  
eingeführt worden, mit dem man bereits ab 16 Jahren Leicht-  
autos (Micro-Cars) sowie drei- oder vierrädrige Kleinkrafträder  
(Trikes bzw. Quads) fahren darf. Diese Fahrzeuge dürfen bis zu  
50 Kubikzentimeter Hubraum haben, erreichen eine Höchstge-  
schwindigkeit von 45 km/h und wiegen leer maximal 350 kg. Es  
handelt sich um einen nicht gerade billigen Spaß: Für den Erwerb  
des Führerscheins sind ca. 700 bis 900 € zu veranschlagen, ein  
Quad ist ab 1500 € zu haben, ein Leichtmobil kostet zwischen  
8000 und 12000 €. Dennoch dürfte der Erwerb eines Führer-  
scheins der Klasse S viele Jugendliche reizen.

Schon seit Bekanntwerden des neuen Führerscheins wurde auch  
eine Diskussion über Sicherheitsaspekte geführt: Zunächst war  
für Quad-Fahrer noch nicht einmal eine Helmpflicht vorgesehen  
(inzwischen eingeführt). Quads sind des Weiteren für ihre un-  
günstigen Fahreigenschaften in Kurven bekannt (Kippgefahr); bei  
heftigen Zusammenstößen fliegt der Quad-Fahrer vom Gefährt.  
Leichtauto-Fahrer haben es zum Teil kaum besser. Ein Ende 2004  
vom ADAC durchgeführter und im Internet veröffentlichter  
Crashtest (s. **Links**) führte zu erschreckenden Ergebnissen: Bei  
einem versetzten Frontalzusammenstoß mit einem Kleinwagen  
bei 40 km/h offenbarte sich ein erhebliches Verletzungsrisiko für

die Insassen des Leichtautos. Doch hängt der Ausgang solcher  
Crashtests deutlich von der Qualität des Leichtautos ab. Hier ist  
bei einer Massenobergrenze von 350 kg besonderes Geschick  
der Ingenieure gefragt.

### **Links**

Andrea Reischies: Sicherheit im Straßenverkehr: Leichtmobile  
und Quads. Artikel vom 23.03.05 auf der Webseite zur Sendung  
„Planet Wissen“.

- <http://www.planet-wissen.de/pw> und suchen nach „Quads“  
Miniautos: Verhängnisvolle Kombination. Online-Artikel auf  
der Seite des WDR.

- [http://www.wdr.de/themen/verkehr/strasse01/leichtkraftfahrzeuge/  
index.jhtml?rubrikenstyle=verkehr](http://www.wdr.de/themen/verkehr/strasse01/leichtkraftfahrzeuge/index.jhtml?rubrikenstyle=verkehr)

ADAC warnt vor Leichtmobilen. Online-Artikel auf der Seite  
des WDR (sowie WDR-Videofilme dort).

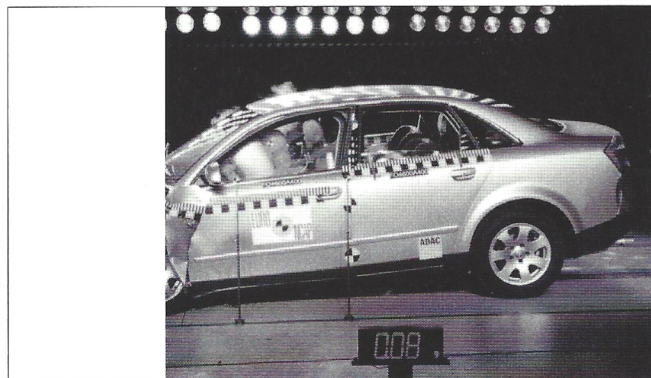
- [http://www.wdr.de/themen/verkehr/strasse01/crashtest\\_leicht  
mobile/index.jhtml?rubrikenstyle=verkehr&rubrikenstyle=verkehr](http://www.wdr.de/themen/verkehr/strasse01/crashtest_leichtmobile/index.jhtml?rubrikenstyle=verkehr&rubrikenstyle=verkehr)  
Ganz klein gegen klein. Leichtmobil gegen Kleinwagen. Webseite  
des ADAC mit Crashtestbericht und Videofilm.

- [http://www.adac.de/Tests/Crash\\_Tests/gkgk/default.asp?Component  
ID=101479&SourcePageID=8645%230](http://www.adac.de/Tests/Crash_Tests/gkgk/default.asp?ComponentID=101479&SourcePageID=8645%230)

(Stand: 9.3.07)

## Einstiege zum Thema „Verkehrssicherheit“

- Die Schülerinnen und Schüler erhalten eine Abbildung eines Crashtestfahrzeugs, wobei die zusammengedrückte Front verdeckt ist (**Abb. 1**). Sie haben den Auftrag, die Front zeichnerisch in alter Form und Größe wiederherzustellen. Hierbei können die Lernenden bewusst wahrnehmen, welche starke Verformung durch einen Zusammenstoß entsteht.
- Die Lernenden recherchieren im Internet zu den Themen Quads, Leichtautos, Sicherheit, Verletzungsrisiken (s. a. **Kasten 2**).
- Die Klasse schaut Videofilme von Crashtests (z. B. von der Webseite des ADAC → Tests → Crashtests) an und liest Medienberichte (z. B. von Planet Wissen oder vom WDR zur Einführung der neuen Führerscheinklasse S; s. a. **Kasten 2**).
- Die Schülerinnen und Schüler suchen Crashtestberichte zu den Wagentypen, die in der eigenen Familie oder von Bekannten gefahren werden (abrufbar auf der ADAC-Webseite); Verletzungsrisiken können im Detail (dargestellt nach Körperregionen) recherchiert werden.
- Schülerinnen und Schüler berichten über Unfallereignisse in der eigenen Familie oder im Bekanntenkreis. Dieser Einstieg ist selbstverständlich mit erhöhter Sensibilität durchzuführen.



**Abb. 1:** Die Lernenden ergänzen das Crashfahrzeug zu alter Form und Größe

### Baustein 4: Recherche

Im Internet und in gedruckten Veröffentlichungen suchen die Schülerinnen und Schüler Informationen, wie sich PKW-Unfälle in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit und der Unfallart auf Fahrzeug und Insassen auswirken (Informationen findet man z. B. auf der ADAC-Webseite) und welche Sicherheitsmaßnahmen sowohl bei der Bauweise der Fahrzeuge als auch der Fahrweise zu ergreifen sind.

### Baustein 5: Präsentation und Reflexion

Die Schülergruppen stellen die Erkenntnisse vor, die sie durch die experimentellen Stationen, den Knautschzonen-Wettbewerb und die Recherche gewonnen haben, und diskutieren sie. Ein Schwerpunkt soll hierbei auf angemessenem Verhalten im Straßenverkehr liegen, begründet durch physikalische Sachverhalte und Ergebnisse der Crashforschung.

### Lernstationen mit Crashtests

Im zweiten Baustein der Unterrichtseinheit führen Schülergruppen an fünf **Stationen** (s. **Arbeitsblätter 1–5**) selbstständig Crashexperimente im kleinen Maßstab durch.

Die Crashes werden erzeugt, indem ein kleiner Wagen eine geneigte Schiene hinunter gegen ein Hindernis fährt; der Detailaufbau und die Zielsetzung variieren von Station zu Station. Die Schülerinnen und Schüler sollen die Versuche aus vorgegebenen Materialien aufbauen und durchführen, wobei **Arbeitsblätter** den Auftrag formulieren und Hilfestellung geben. Die Aufträge sind so formuliert, dass den Gruppen Raum bleibt, eigene Versuchsideen auszuprobieren.

Jedes Arbeitsblatt weist die Lernenden darauf hin, ein Protokoll anzufertigen, das den Namen der Station, eigene Fragen und Vermutungen, eine beschriftete Skizze des Versuchsaufbaus, die Messergebnisse in Tabellenform und eventuell als Diagramm, eine Ergebnisformulierung zur Station sowie eine Darstellung des Bezugs zum realen Straßenverkehr enthält. Darüber hinaus sollte die Lehrkraft die Gruppen auf das Formulieren von Fragen und Vermutungen vor experimentellen Schritten und auf das Überdenken und Neuformulieren von Vermutungen vor weiteren Schritten hinweisen.

Die Lehrkraft berät und unterstützt die Schülerinnen und Schüler bei der Durchführung. Des Weiteren wurden insgesamt gut 20 **Hilfe-Kärtchen** entwickelt, die von der Lehrkraft bei Bedarf ausgegeben werden können. Ein Beispiel ist in **Abbildung 4** wiedergegeben, der Rest auf S. 27 abgedruckt (Hilfe-Kärt-

chen als Lernhilfe werden in [4] ausführlich thematisiert).

Abläufe und Lernziele werden nun für die einzelnen Stationen so beschrieben, wie sie gedacht sind. Daneben sollen die Gruppen auch Gelegenheit haben, *eigene* Fragestellungen zu entwickeln und zu untersuchen.

Ein Hauptziel des Lernens an Stationen besteht im relativ freien Arbeiten der Schülerinnen und Schüler. Quantitative Ergebnisse sind erst in zweiter Linie anzustreben. Hier muss die Lehrkraft unterstützen und ggf. im Anschluss an das Lernen an Stationen nach den Bedürfnissen des Unterrichtsfortgangs eine geeignete Aufbereitung der Ergebnisse vornehmen.

Es sei angemerkt, dass sich die Experimente der Stationen prinzipiell auch für Demonstrationszwecke einsetzen lassen, wobei dann aber die Lernenden nicht die Chance hätten, das Aufbauen, das Ausschärfen von Fragen und das systematische Experimentieren selbst zu üben.

### Hinweise zur Station 1: „Wozu der Gurt?“

#### Vorbereitung

An den Rücken einer kleinen Spielzeugfigur wird ein kleiner, relativ schwacher Magnet (Durchmesser z. B. 10 mm, in Bastelgeschäften erhältlich) mit einem Klebstreifen angeklebt.

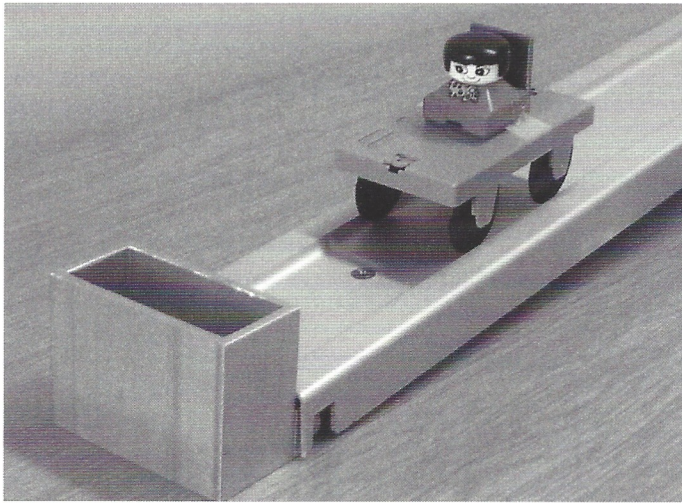


Abb. 2: Crashtest mit einer durch einen Magneten gehaltenen Spielzeug-Figur



Abb. 3: Eine von Schülern gebaute Knautschzone

### Durchführung

Die Schülerinnen und Schüler setzen die Spielzeugfigur auf einen Wagen mit daran befestigtem Metallsitz und lassen den Wagen die geneigte Ebene hinunter gegen ein unbewegliches Hindernis fahren (Abb. 2).

Die Neigung und der Startpunkt können so eingestellt werden, dass die Figur gerade vom Sitz abreißt; die Starthöhe wird notiert. Dann haben die Lernenden die Möglichkeit, die Härte des Hindernisses durch Anbringung verschiedener Materialien zu verändern. Außerdem können sie variieren, ob und wie fest die Figur am Sitz angeschnallt ist (durch einen oder mehrere Magnete). Diese beiden Parameter sollten systematisch variiert und die Messergebnisse (jeweilige Starthöhe für den Abriss) in eine Tabelle eingetragen werden.

### Ergebnisse

Das Experiment ist mithilfe des Trägheitsprinzips zu deuten: Die Figur (der Fahrzeuginsasse) bewegt sich nach einem Aufprall weiter nach vorne, es sei denn, sie (er) wird durch eine Kraft abgebremst.

Die Schülerinnen und Schüler können an dieser Station spielerisch die Auswirkung des Trägheitsprinzips, die Abhängigkeit der Wirkung von der Aufprallgeschwindigkeit und die Wirkung eines Gurts kennen lernen. Es wird deutlich, dass es auf die Haltekraft eines Gurts ankommt (sie kann auch mit einem Kraftmesser durch Ziehen an der Magnetfigur bestimmt werden) und der Gurt den Insassen durch diese Haltekraft abbremst.

Verwendet man ein Gummiband als Gurt, dann wird dies nach dem Aufprall

durch die Figur gedehnt, so wie ein KFZ-Insasse den Gurt deutlich (und bleibend) dehnt. Anhand dieser Beobachtung lässt sich das Wechselwirkungsprinzip herausarbeiten: Zwei Wechselwirkungspartner (hier Figur und Gummiband) üben aufeinander eine entgegengesetzte gleiche Kraft aus.

Die Lehrkraft kann die Schülerinnen und Schüler bei der Formulierung der Ergebnisse unterstützen (z. B. Hinweis auf Je-desto-Sätze) bzw. nach der Stationenarbeit mit der Klasse die Ergebnisse sachgerecht festhalten.

### Hinweise zur Station 2: „Welche Rolle spielt die Masse?“

#### Durchführung

Ausgehend von der Frage, warum man bei der Autofahrt keine schweren Gegenstände (Gepäck) ungesichert im hinteren Teil des Fahrzeugs liegenlassen sollte, untersuchen die Schülergruppen, wie die Kraft, die zum Festhalten der mitfahrenden Spielzeug-Figur aufgewendet werden muss, von deren Masse abhängt.

Die Schülerinnen und Schüler variieren die Haltekraft durch eine verschiedene Anzahl von Haltemagneten am Rücken der Figur und stellen die Masse der Figur z. B. mit Knete jeweils so ein, dass gerade ein Abriss erfolgt. Die Ergebnisse werden in einem Diagramm dargestellt.

#### Ergebnisse

Diese Station stellt eine leichte Variation der ersten dar und bietet Anknüpfungspunkte zum newtonschen Aktionsprinzip  $F = m \cdot a$ : Um an einem Körper eine bestimmte Beschleunigung (oder Verzögerung) hervorzurufen, benötigt man

eine Kraft, die proportional zur Masse des Körpers ist.

Bei der nicht sehr genauen Messung an der Station lässt sich ungefähr die Proportionalität der nötigen Haltekraft zur Masse erkennen ( $F \sim m$ ). Hier können die Lernenden entweder ihr Vorwissen bestätigen, oder das newtonsche Aktionsprinzip wird erst im Anschluss durch die Lehrkraft herausgearbeitet.

### Hinweise zur Station 3: „Crash gegen ein bewegliches Hindernis“

#### Durchführung

Hier rollt der Wagen (ohne Figur) gegen ein bewegliches Hindernis, z. B. eine Schale mit Stahlkugeln. Der Wagen schiebt das Hindernis eine gewisse Strecke („Crash-Weg“  $s$ ) weg, bis beide vor allem aufgrund der Reibung des Hindernisses am Boden zum Stehen kommen.

Die Schülerinnen und Schüler können die Abhängigkeit des Crash-Wegs von der Geschwindigkeit beim Aufprall beobachten. Sie sollen ferner die Masse des Wagens und des Hindernisses variieren (systematisch!) und den Crash-Weg in

Station	1
Formuliert die Zusammenhänge von Größen in Form von Je-desto-Sätzen: Je größer ... ist, desto größer/kleiner ist ...	

Abb. 4: Exemplarisches Hilfe-Kärtchen zum Experimentieren an Stationen

# Wozu der Gurt?

Gurtanlegen beim Fahren ist Pflicht. – Muss der Gurt wirklich sein?

## ▼ AUFTRAG

1. Untersucht in einen Modellversuch, wie ein Autogurt bei einem Crash gegen ein unbewegliches Hindernis wirkt.

Unterscheidet dabei:

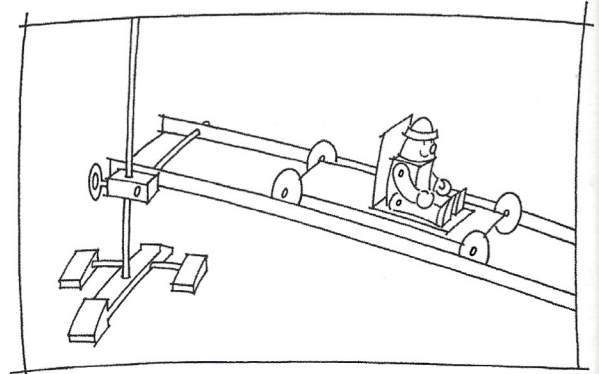
Der Mensch ist

- a) gar nicht angegurtet,
- b) lose angegurtet,
- c) fest angegurtet,

und

das Hindernis ist

- a) hart,
- b) mittel,
- c) weich.



2. Erstellt ein komplettes Versuchsprotokoll mit folgenden Elementen:

0. Name der Station, Thema
1. eigene Fragen und Vermutungen
2. Skizze des Versuchsaufbaus (mit Beschriftung der Geräte)
3. Messergebnisse (in Tabellenform)
4. Ergebnisse (in Worten)
5. Bezug zur Praxis

## ▼ MATERIAL

- Für die geneigte Ebene: Unterlagen (z. B. Hefte, Bücher), Schiene
- Für das unbewegliche Hindernis: Aluminiumklotz, Hartschaum/Schwamm, Tischklemme
- Für das Fahrzeug mit Insassen: Wagen mit Eisenwinkel, Figuren, Magnete, Gummiband
- Als Messgeräte: Messlatte/Lineal, Kraftmesser

## ▼ VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

1. Notiert einige Fragen bzw. eure Vermutungen dazu. Weitere Fragen und Vermutungen ergeben sich vielleicht erst im Laufe der Versuchsdurchführung. Notiert auch diese und untersucht sie.
2. Baut eine geneigte Ebene auf und befestigt einen Aluminiumklotz am Tisch.
3. Setzt eine Figur auf den Wagen und lasst den Wagen vom Anfang der Schiene losfahren.
4. Findet heraus, bei welcher Starthöhe und damit Steigung der Schiene die Figur beim Aufprall gegen das Hindernis gerade eben vom Wagen fliegt. Notiert diese Starthöhe.
5. Macht Versuche mit angeschnallten Figuren. Figuren mit Magneten könnten lose angeschnallte Fahrzeuginsassen darstellen. Anschließend wird die Figur mit einem Gummiband angeschnallt.
6. Macht Versuche mit einem Hartschaumwürfel/Schwamm, der vor den Holzklotz gelegt wird, oder mit anderen verschieden weichen Materialien.

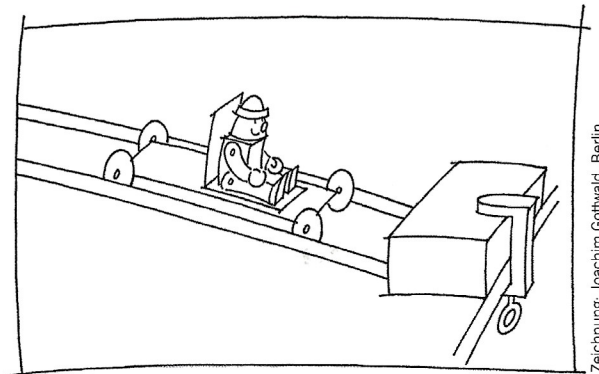
## Welche Rolle spielt die Masse?

**Gepäck liegt im Auto. Warum sollte es besser im Kofferraum transportiert werden?**

### ▼ AUFTRAG

1. An dieser Station sollt ihr herausfinden, welche Rolle die Masse von Gepäck oder auch von Insassen bei einem Aufprall spielt.

Dabei müsst ihr Figuren mit verschiedenen Massen untersuchen.



### 2. Erstellt ein komplettes Versuchsprotokoll mit folgenden Elementen:

0. Name der Station, Thema
1. Eigene Fragen und Vermutungen
2. Skizze des Versuchsaufbaus (mit Beschriftung der Geräte)
3. Messergebnisse (in Tabellenform und als Diagramm)
4. Ergebnisse (in Worten)
5. Bezug zur Praxis

### ▼ MATERIAL

- Für die geneigte Ebene: Stativstange, Stativfuß, Muffe, kleine Stange, Schiene
- Für das starre Hindernis: Holzklötz, Tischklemme
- Für das Fahrzeug mit Insassen: Wagen mit Eisenwinkel, Figur, Magnete, Knete, Klebestreifen
- Als Messgeräte: Messlatte, Kraftmesser, Waage

### ▼ VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

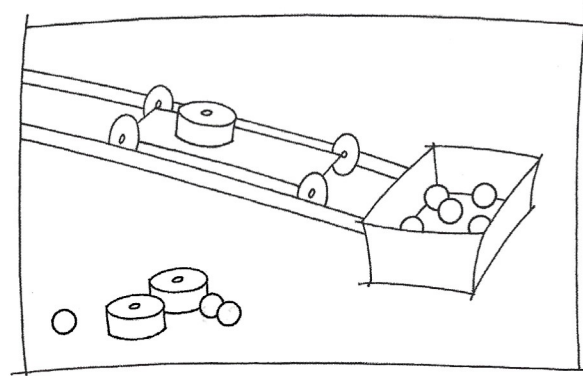
1. Baut eine geneigte Ebene auf und befestigt einen Holzklötz am Tisch.
2. Heftet die Figur mit dem Magneten an den Eisenwinkel des Wagens und lasst den Wagen vom Anfang der Schiene losfahren. Findet heraus, bei welcher Steigung die Figur beim Aufprall gegen ein starres Hindernis gerade eben abreißt. Notiert diese Starthöhe.
3. Mit welcher (nun gerade nicht mehr ausreichenden) Kraft hält der Magnet die Figur fest?
4. Experimentiert nun mit der Masse der Figur. Dazu empfiehlt es sich, bei konstanter Neigung die Magnetkraft zu variieren (2–3 Magnete an die Figur kleben) und dann jeweils die Masse der Figur (z. B. mit Knete) so einzustellen, dass sie gerade eben abfliegt. Messt für verschiedene Massen wiederum die Haltekraft, die gerade eben nicht mehr ausreicht.
5. Zeigt mit einem Diagramm, wie die Haltekraft von der Masse abhängt! Welchen Zusammenhang könnt ihr aus dem Haltekraft-Masse-Diagramm erkennen? Welchem bekannten Gesetz entspricht dieser Zusammenhang? Wenn ihr nicht drauf kommt, schlagt im Physikbuch nach.

## Crash gegen ein bewegliches Hindernis

Ein LKW prallt gegen einen PKW. – Wer hat die größere Chance, glimpflich davonzukommen?

### ▼ AUFTRAG

1. An dieser Station sollt ihr herausfinden, welcher Zusammenhang zwischen der Masse des Hindernisses oder zwischen der Masse des Fahrzeuges und der Länge des Crash-Weges besteht.



Zeichnung: Joachim Gottwald, Berlin

### 2. Erstellt ein komplettes Versuchsprotokoll mit folgenden Elementen:

0. Name der Station, Thema
1. eigene Fragen und Vermutungen
2. Skizze des Versuchsaufbaus (mit Beschriftung der Geräte)
3. Messergebnisse (in Tabellenform und als Diagramm)
4. Ergebnisse (in Worten)
5. Bezug zur Praxis

### ▼ MATERIAL

- Für die geneigte Ebene: Stativstange, Stativfuß, Muffe, kleine Stange, Schiene
- Für das bewegliche Hindernis: Kunststoffschale, Stahlkugeln
- Für das Fahrzeug: Wagen (100 g), Wägestücke (je 50 g)
- Als Messgerät: Messlatte, Waage

### ▼ VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

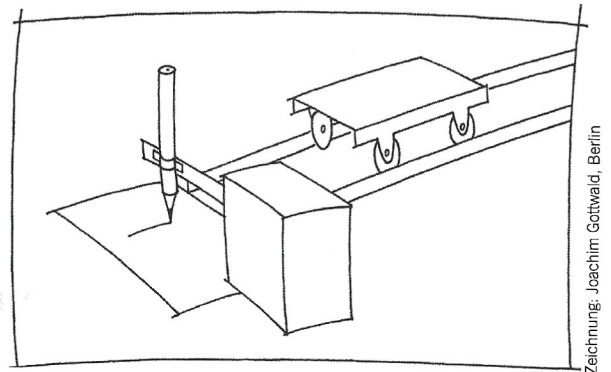
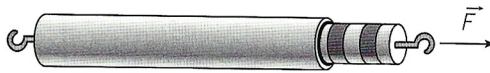
1. Baut eine geneigte Ebene auf und lasst den Wagen gegen ein bewegliches Hindernis am Fuß der Schiene fahren (Schale mit Stahlkugeln). Ermittelt die Länge des Crash-Weges, d. h., misst, wie weit die Schale vom Wagen beim Crash verschoben wird. Wiederholt den Versuch gegebenenfalls mehrmals, damit Fehler wie z. B. das Drehen der Schale vermieden werden.
2. Macht Versuche mit verschiedener Masse des Hindernisses.
3. Macht Versuche mit verschiedener Masse des Wagens.
4. Stellt die Ergebnisse in Diagrammen dar.

## Eine Blattfeder als Messinstrument

Eine Blattfeder aus Metall ist elastisch und kann daher den Stoß eines Wagens auffangen. Gleichzeitig kann man mit der Blattfeder die Stärke des Stoßes messen.

### ▼ AUFTRAG

- Macht aus einer Blattfeder ein Kraftmessgerät, das die Stoßkraft eines Wagens bei einem Aufprall anzeigen kann.



Zeichnung: Joachim Gottwald, Berlin

### 2. Erstellt ein komplettes Versuchsprotokoll mit folgenden Elementen:

- Name der Station, Thema
- eigene Fragen und Vermutungen
- Skizze des Versuchsaufbaus (mit Beschriftung der Geräte)
- Messergebnisse (Messlinien und in Tabellenform)
- Ergebnisse (in Worten)
- Bezug zur Praxis

### ▼ MATERIAL

- Für die geneigte Ebene: Unterlagen (Hefte oder Bücher), Schiene
- Für das Hindernis: Blattfeder mit Halterung und Stift (evtl. verschiedene Stifte ausprobieren), Tischklemme, Papier
- Für das Fahrzeug: Wagen, Material für Knautschzone (z. B. Papier, Watte, Knete, ...)
- Messgeräte: Lineal/Messlatte, Kraftmesser, Stoppuhr

### ▼ VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

- Spannt die Blattfeder mit einem Stift über einem Blatt Papier ein und kalibriert (eicht) sie als Messgerät, indem ihr mit einem Kraftmesser in Stoßrichtung des Wagens an der Blattfeder zieht. Markiert verschiedene Werte der Kraft auf dem Papier.
- Lasst den Wagen die Schiene hinunter gegen die Blattfeder fahren. Der Stoßvorgang verläuft sehr schnell. Deshalb wird die Federbewegung vom Stift in einer (leicht gekrümmten) Messlinie aufgezeichnet (eventuell mehrmals wiederholen für eine gute Messlinie); man kann die maximale Kraft ablesen, die Wagen und Feder aufeinander ausüben.
- Variiert eure Versuche, so dass verschiedene Messlinien herauskommen, und notiert jeweils die Versuchsbedingungen. Macht auch Versuche mit einer Knautschzone vorne am Wagen.
- Überlegt euch eine Methode, wie ihr ein Zeitdiagramm des Stoßvorgangs erzeugen könnt: Wie kann man die Hin- und Zurückbewegung der Messlinie „auseinanderziehen“? Wie kann man auch noch die Zeitachse mit einer Skala versehen?

## Gurt – fest oder lose?

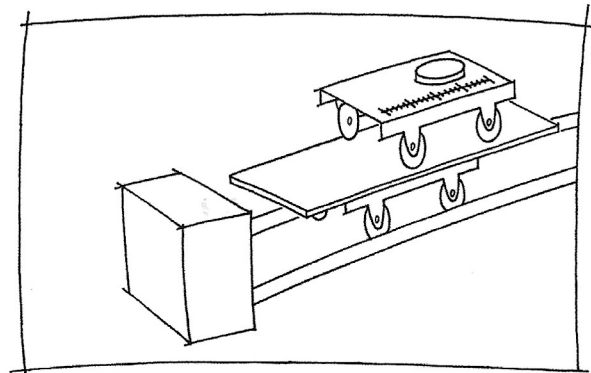
Muss der Gurt wirklich so eng am Körper liegen?

### ▼ AUFTRAG

1. Entwickelt einen Modellversuch, der zeigt, wie unterschiedlich ein Autogurt bei einem Crash gegen ein unbewegliches Hindernis wirken kann!

Unterscheidet dabei:

- Der Mensch ist lose angegurtet.
- Er ist fest angegurtet.



Zeichnung: Joachim Gottwald, Berlin

### 2. Erstellt ein komplettes Versuchsprotokoll mit folgenden Elementen:

0. Name der Station, Thema
1. eigene Fragen und Vermutungen
2. Skizze des Aufbaus (mit Beschriftung)
3. Messergebnisse (Tabelle)
4. Ergebnisse in Worten
5. Bezug zur Praxis

### ▼ MATERIAL

- Für die geneigte Ebene: Stativstange, Stativfuß, Muffe, kleine Stange, Schiene
- Für das unbewegliche Hindernis: Holzklötz, Tischklemme
- Für das Fahrzeug mit Insassen: 1 Wagen (groß) mit Knautschzone, 1 Wagen (klein) mit Skala, 1 Gleiter (z. B. Münze)

### ▼ VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

1. Baut eine schwach geneigte Ebene auf und stellt den kleinen auf den großen Wagen.
2. Der Gleiter kommt auf den kleinen Wagen und zeigt die Heftigkeit des Aufpralls an.
3. Variiert die Startposition des kleinen Wagens. Was können verschiedene Positionen modellhaft darstellen?

### ▼ TIPPS

1. Die Wirkung eines Aufpralls ist durch die Bremsbeschleunigung festgelegt. Diese kann mit der Verschiebung des Gleiters auf der Wagenskala beim Aufprall gemessen werden.
2. Der große Wagen stellt das Fahrzeug dar, der kleine mit der Skala den Fahrgast. Die Aufprallwirkung auf ihn (z. B. Hirnschädigung) kann durch die Gleiterverschiebung gemessen werden.
3. a) Angegurtet: Der kleine Wagen berührt das Hindernis auf dem großen Wagen.  
b) Nicht angegurtet: Abstand zwischen dem kleinen Wagen und dem Hindernis auf dem großen Wagen.

<b>Station</b> <b>1</b> Verändert nur eine Größe zur Zeit, also z. B. nur die Neigung der Schiene.	<b>Station</b> <b>1</b> Die Wirkung eines Aufpralls hängt u. a. von der Aufprallgeschwindigkeit und der Art des unbeweglichen Hindernisses (hart/weich) ab.	<b>Station</b> <b>1</b> Sorgt für gut reproduzierbare Versuchsbedingungen.
<b>Station</b> <b>2</b> Variiert die Neigung der Schiene in möglichst kleinen Schritten, z. B. durch Verschieben eines Auflageblocks unter der Schiene. Die Neigung, bei der die Figur gerade abfliegt, ist so gut wie identisch mit der Neigung, bei der sie gerade noch dranbleibt.	<b>Station</b> <b>2</b> Ihr könnt die Masse der Figur durch Ankleben von Knetgummi, aber auch durch Ankleben verschiedener oder verschieden vieler Magnete variieren.	<b>Station</b> <b>2</b> Wenn ihr andere Magnete verwendet, um die Haltekraft zu variieren, verändert ihr auch die Masse der Figur. Mithilfe von Knetgummi lässt sich die Masse in einer Messreihe konstant halten.
<b>Station</b> <b>2</b> Zur Bestimmung der Haltekraft des Magneten muss man die Figur mit dem Kraftmesser vom Sitz möglichst senkrecht (d. h. in Fahrtrichtung) ziehen. Das ist die Richtung, in der die Figur bei einem starken Aufprall fliegt. Hierzu den Kraftmesser langsam immer stärker anziehen und dabei die wachsende Kraft ablesen, bis die Figur abreißt.	<b>Station</b> <b>2</b> Es empfiehlt sich, das Abziehen der Figur mit dem Kraftmesser mehrmals durchzuführen, bis ihr das Gefühl habt, es klappt richtig. Dann eventuell bei mehreren Versuchen die Kraft ablesen (Mittelwert!).	<b>Station</b> <b>2</b> Denkt an Isaac Newton: Wie lautet das Gesetz, das sich an dieser Station in Teilen zeigt, vollständig?
<b>Station</b> <b>3</b> Was geschieht, wenn ein PKW einen anderen PKW oder ein anderes Fahrzeug rammt?	<b>Station</b> <b>3</b> Erhöht die Masse des Hindernisses in geeigneten Schritten durch das Hinzufügen von Stahlkügelchen.	<b>Station</b> <b>3</b> Wie nennt man die Graphen, die sich im Diagramm ergeben? Denkt an die Mathematik des 7. Schuljahrs!
<b>Station</b> <b>3</b> Formuliert eure Ergebnisse in Je-desto-Sätzen.	<b>Station</b> <b>4</b> Die Auslenkung der Blattfeder kommt durch eine Kraft zustande. Zieht mit einem Kraftmesser an der Blattfeder, um zu bestimmen, mit wie viel Zugkraft man welche Auslenkung erzeugt. Macht entsprechende Markierungen auf eurem Messpapier.	<b>Station</b> <b>4</b> Variiert die Versuchsbedingungen bei den Crashtests systematisch!
<b>Station</b> <b>4</b> Formuliert eure Ergebnisse in Je-desto-Sätzen.	<b>Station</b> <b>4</b> Um auf dem Messpapier eine Art Zeitdiagramm zu erhalten, könnt ihr das Blatt während des Stoßes langsam und gleichmäßig zur Seite ziehen.	<b>Station</b> <b>4</b> Für die Einteilung der Zeitachse (Eichung) empfiehlt es sich, das Blatt über eine größere Strecke möglichst gleichmäßig zur Seite zu ziehen und die Zeit für eine bestimmte Strecke zu stoppen.
<b>Station</b> <b>5</b> Das Hindernis, gegen das der kleine Wagen stößt, steht für den Gurt.	<b>Station</b> <b>5</b> Überlegt, in welcher Phase des Vorgangs die Knautschzone des unteren Wagens wirkt.	<b>Station</b> <b>5</b> Beobachtet genau, wann die Knautschzone wirkt und wann der kleine Wagen an sein Hindernis stößt. In welchem Fall hat der kleine Wagen etwas von der Knautschzone?

einem Diagramm in Abhängigkeit von der Wagenmasse und in einem zweiten Diagramm in Abhängigkeit von der Hindernismasse darstellen.

### Ergebnisse

Da die kinetische Energie des Fahrzeugs durch Reibungsarbeit  $F_R \cdot s$  aufgebraucht wird, ist der Crash-Weg  $s$  proportional zur Fahrzeugmasse und umgekehrt proportional zur Hindernismasse.

Die Schülergruppen können auf die Form der Abhängigkeit kommen, die Deutung bringt, falls gewünscht, hinterher die Lehrkraft. Der Versuch bietet Anknüpfungsmöglichkeiten für die Einführung der Begriffe kinetische Energie und Reibungsarbeit.

### Hinweise zur Station 4: „Eine Blattfeder als Messinstrument“

#### Vorbereitung

Eine gut biegsame Blattfeder (Material: Stahl oder Platinenmaterial aus Epoxitharz/Glasfaser; Abmessungen bei Stahlfeder etwa: 150 mm × 10 mm × 0,5 mm [Masse und Geschwindigkeit des Wagens sind darauf abzustimmen]) wird horizontal am Ende einer Schiene eingespannt (mit zwei Klötzen und zwei Schraubzwingen leicht selbst zu konstruieren).

#### Durchführung

Der Wagen rollt an dieser Station gegen die Blattfeder und verbiegt sie kurzzeitig bis zu einer Maximalauslenkung. Der

Stoß wird durch einen Stift an der Blattfeder als leicht gekrümmte Messlinie auf Papier aufgezeichnet (Abb. 5).

Die Schülergruppen sollen zunächst die Blattfeder durch Ziehen mit einem Kraftmesser in Stoßrichtung kalibrieren. Danach messen die Gruppen durch Aufzeichnung von Messlinien die Maximalkräfte bei Stößen des Wagens unter verschiedenen frei einstellbaren Versuchsbedingungen.

Durch gleichmäßiges Ziehen des Papiers senkrecht zur Stoßrichtung kann die Messlinie zu einer typischen Kraftstoßkurve auseinandergezogen werden. Die Zeitachse kann mithilfe einer Stoppuhr ebenfalls grob skaliert werden.

### Ergebnisse

Die Schülerinnen und Schüler lernen an dieser Station typische Kraftverläufe bei Zusammenstößen und somit die Kraft als schnell veränderliche Größe kennen. Der Einfluss von Fahrzeuggeschwindigkeit und -masse auf die Kraftkurve wird sichtbar. Des Weiteren können die Lernenden an dieser Station die Wirkung einer Knautschzone erkennen, da die Maximalkraft bei zeitlicher Streckung der Kraftstoßkurve verringert wird.

Die Erhaltung der Fläche unter der Kraftstoßkurve (also des Impulses) wird meistens von einigen Schülern erahnt und kann bei Bedarf genauer herausgearbeitet werden. Außerdem dient das Messverfahren dieser Station als Analogon zur Messung mit einem Dehnungsmessstreifen auf einem biegsamen Träger, die in Baustein 4 über den Ausgang des Knautschzonen-Wettbewerbs entscheidet (s. dazu [3]).

Der untere Wagen stellt das KFZ dar, hat eine Knautschzone und prallt gegen ein starres Hindernis. Der obere Wagen steht bzw. rollt auf dem unteren. Er stellt den Fahrgast dar (eine entsprechende Verkleidung hilft dies zu verstehen) und wird seinerseits beim Zusammenstoß von einem Hindernis – dem Gurt – aufgehalten (vgl. [5]). Auf dem oberen Wagen rutscht ein Gleiter (z. B. eine Münze) an einer Skala entlang und zeigt auf diese Weise an, wie hart der obere Wagen gebremst wird.

### Hinweise zur Station 5: „Gurt – fest oder lose?“

#### Durchführung

Es wird ein „Huckepackwagen“ verwendet (Abb. 6): Der untere Wagen stellt das KFZ dar, hat eine Knautschzone und prallt gegen ein starres Hindernis. Der obere Wagen steht bzw. rollt auf dem unteren. Er stellt den Fahrgast dar (eine entsprechende Verkleidung hilft dies zu verstehen) und wird seinerseits beim Zusammenstoß von einem Hindernis – dem Gurt – aufgehalten (vgl. [5]). Auf dem oberen Wagen rutscht ein Gleiter (z. B. eine Münze) an einer Skala entlang und zeigt auf diese Weise an, wie hart der obere Wagen gebremst wird.

### Ergebnisse

Diese Station demonstriert anhand eines Modellexperiments, wie wichtig es ist, dass ein Sicherheitsgurt fest anliegt: Steht der obere Wagen von Beginn an direkt an seinem Hindernis (Insasse fest im Gurt), dann kommt er „in den Genuss“ der Knautschzone. Hat er vor dem Crash einen Abstand von seinem Hindernis (Insasse nur lose angeschnallt), verpasst er die sanftere Abbremsung durch die Knautschzone und wird danach hart von seinem Hindernis (Gurt) aufgehalten.

Man kann den Versuch auch noch weiter ausdeuten: Der Gleiter kann für

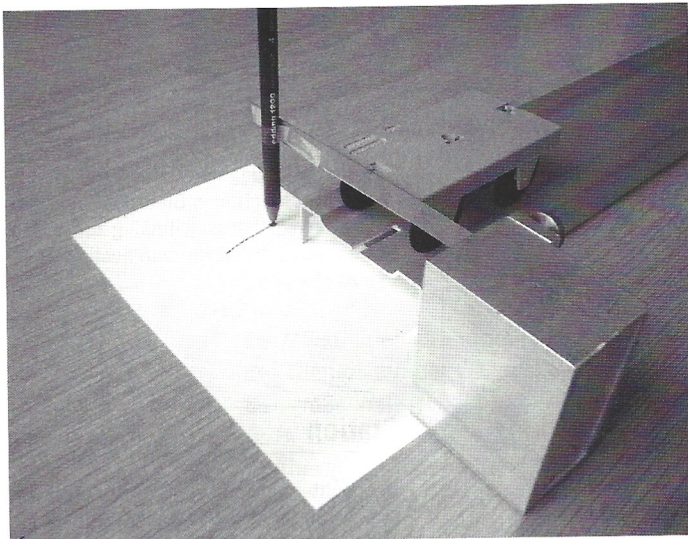


Abb. 5: Eine Blattfeder mit Stift als Kraftmessgerät

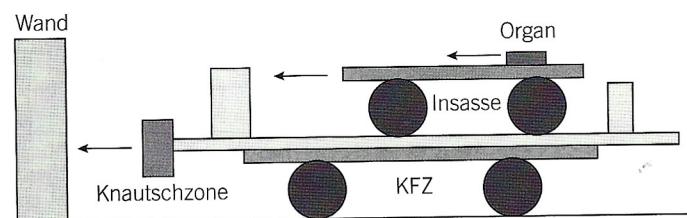


Abb. 6: Analogiebeziehungen beim „Huckepackwagen“



Abb. 7: Schülerinnen experimentieren an Station 3

die inneren Organe stehen, deren Verletzung besonders tragische Folgen hat. Es zeigt sich, dass bei einem Unfall immer drei Crashes stattfinden: Zuerst prallt das Fahrzeug auf, dann der Insasse, dann seine inneren Organe.

Weil die dieser Station zugrunde liegende Analogie relativ schwer zu erfassen ist, werden auf dem Schüler-Arbeitsblatt einige Tipps gegeben.

## Erfahrungen

Die Einheit „Sicherheit im Straßenverkehr“ ist mittlerweile vielfach erprobt und weiter verbessert worden. Sie kam vorwiegend in 9. und 10. Klassen der Realschule und der Integrierten Gesamtschule zum Einsatz. In dieser Altersstufe (im Gegensatz zu einem Test in der 7. Klasse mit einer vereinfachten Version der Einheit) beobachteten die Lehrkräfte bei der überwiegenden Mehrheit der Lernenden eine gute bis sehr gute und durchdringende Motivation bei der Arbeit am Thema.

Die selbstständige Bearbeitung der Stationen stellte für die Schülerinnen und Schüler eine große, oft ungewohnte Herausforderung dar. Sie mussten den Aufbau des Experiments bewältigen (handwerkliche Anforderungen!), mussten verschiedene Parameter variieren (z. B. Startposition, Neigung der Schiene, Wa-

genmasse, Knautschzone), sollten eigene Fragen formulieren und Vermutungen testen. Insbesondere an der jeweils ersten Station fiel dies den meisten Gruppen recht schwer. Ermutigung durch die Lehrkraft war hier nötig. Für die erste Station war eine Doppelstunde aufzuwenden, die weiteren liefen zügiger. Waren ein, zwei Stationen geschafft, gewannen die Schülerinnen und Schüler zusehends Freude am eigenständigen Arbeiten (Abb. 7). Der Knautschzonenwettbewerb mit anschließender kleiner Siegerehrung stellte einen lohnenden Höhepunkt der Einheit dar.

Die Schülerinnen und Schüler erwerben durch die Einheit mehr als reines Faktenwissen. Nach Beobachtungen der Lehrkräfte (bestätigt durch einen Fragebogentest) entwickeln die Lernenden Kompetenzen im Bereich des naturwissenschaftlichen Denkens und Arbeitens. Es zeichnet sich ab, dass bei der Aufgabe, eine Untersuchung selbstständig durchzuführen, das Aufstellen von Vermutungen stärker in den Fokus der Schülerinnen und Schüler rückt. Auch was das *systematische* Überprüfen von Vermutungen angeht (Variablenkontrolle), ließen sich nach der Unterrichtseinheit Lerneffekte feststellen.

Eine Lehrkraft, die die Einheit zweimal durchführte, konnte eine interessante Beobachtung zur Kontextverankerung machen: Der an den Stationen geforderte

Bezug zur Realität wurde von den Jugendlichen nur in dem Fall gut und bereitwillig hergestellt, in dem der Einstieg in den Kontext hinreichend Raum erhalten hatte (Vorführung eines Videofilms, Berichte und Diskussionen zum Thema). Im anderen Fall einer „sparsamen“ Einführung wurden die Stationenergebnisse deutlich schlechter mit dem realen Straßenverkehr verknüpft.

## Anmerkungen

- 1) Die Unterrichtseinheit „Sicherheit im Straßenverkehr“ ist in der „Physik im Kontext“-Lehrergemeinschaft Schleswig-Holstein entstanden. Beiträge zur Entwicklung und Erprobung stammen von den Lehrkräften Helmut Doormann, Frank Thuro, Klaus Brincker, Marion Kleist, Mareike Hoffmann, Uwe Geertsens, Ingbert Pirk, Harald Rewald, Gitta Bödefeld, Christiane Karschny-Kröger und Olaf Hubert.
- 2) Dieses Messverfahren wird ausführlich in [3] vorgestellt.

## Literatur

- [1] Berge, O. E. (Hrsg.): Physik und Verkehr. Unterricht Physik 6 (1995), Heft 30.
- [2] Leisen, J.: Eine Lernaufgabe zur Crash-Physik. Stuttgart: Raabits Physik. 2006, S. 1–26.
- [3] Bell, T.; Mikelskis-Seifert, T.: Crashtests mit Dehnungsmessstreifen. In: Unterricht Physik 17 (2006), Heft 91, S. 20–21.
- [4] Hammer, C.: Eigenständiges Lösen von Aufgaben. In: Unterricht Physik 13 (2002), Heft 67, S. 16–17.
- [5] Impulse Physik 2. Stuttgart: Klett, 2005, S. 39.
- [6] Duit, R.; Schecker, H. (Hrsg.): Standards. Unterricht Physik 18 (2007), Heft 97.