

# Fachdidaktik Physik:

## 2.1.4. Mechanik in den Klassenstufen 7 und 8

Hans-Otto Carmesin  
Gymnasium Athenaeum Stade, Studienseminar Stade  
Hans-Otto.Carmesin@t-online.de

16. März 2021

### Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>2</b>
1.1	Ausgangslage . . . . .	2
1.2	Ziele . . . . .	2
1.3	Lernwege . . . . .	3
1.4	Lernbarrieren . . . . .	4
<b>2</b>	<b>Kinematik</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Erkennung und Messung von Kraft</b>	<b>15</b>
<b>4</b>	<b>Masse</b>	<b>18</b>
<b>5</b>	<b>Eigenschaften und Zusammenwirken von Kräften</b>	<b>21</b>
<b>6</b>	<b>Aufgaben</b>	<b>24</b>
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>25</b>



Abbildung 1: Ein möglicher Kontext ist das Kraftempfinden. Jeder hat es, nicht nur Kraftsportler.



Abbildung 2: Lernende beim Katapultstart: Die gleichmäßig beschleunigte Bewegung wird mit dem Sehsinn, Kraftsinn und dem Gleichgewichtssinn **erlebt**, mit dem Beschleunigungssensor im Smartphone sowie mit der Hochgeschwindigkeitskamera **objektiv gemessen**, mit dem Aktionsprinzip **gedeutet**. Zudem wird der **Perspektivwechsel deutlich erlebt**: Der ruhende Beobachter spürt wenig, die mitfahrende Beobachter spürt viel.

# 1 Einleitung

## 1.1 Ausgangslage

Die SuS **interessieren** sich für viele Dinge, an denen sie die Mechanik entdecken können; Beispiele sind Sport (s. [Wlotzka \(2010\)](#)), Freizeit (s. [Abb. 2](#)), Verkehr oder Raumfahrt. Auch verfügen die SuS über aussagekräftige **Sinneseindrücke** zur Mechanik, beispielsweise den Kraftsinn, den Gleichgewichtssinn (s. [Carmesin \(2014a,b,c\)](#), [Carmesin u. a. \(2015\)](#)) oder den Sehsinn, der sogar auf Geschwindigkeitserfassung spezialisierte Nervenzellen umfasst). Ferner bringen die SuS viele **Alltagserfahrungen, Alltagsvorstellungen und Alltagskompetenzen** zur Mechanik mit, beispielsweise den aufrechten Gang, das Fahrradfahren oder das Hämmern. Zudem kennen die SuS viele **Phänomene** zur Mechanik mit, beispielsweise plastische und elastische Verformungen bei Büroklammern.

## 1.2 Ziele

Die Lernziele der UE (s. [Beime u. a. \(2012\)](#); [Brüning u. a. \(2010\)](#); [Frenzel \(2017\)](#); [Gehmann \(2015\)](#)) umfassen die Trägheit, die beschleunigende Wirkung der Kraft und die Gegenkraft. Das entspricht den **drei Newton - Axiomen**, dem Trägheitsprinzip, dem Aktionsprinzip und dem Reaktionsprinzip. Zudem werden die Schwerkraft, das Hooke - Gesetz, die Energie, die Ersatzkraft und das Kräftegleichgewicht behandelt. Da zuvor keine Mechanik im Unterricht behandelt wurde, müssen die **grundlegenden physikalischen Begriffe** Beschleunigung, Kraft und Masse eingeführt sowie mit der Energie vernetzt werden. Diese Begriffe sind grundlegend, das erkennen wir beispielsweise daran, dass in der modernen Physik der Kraftbegriff zum Begriff des Kraftfeldes und der Massenbegriff zu Konzepten der Materie fortgeführt werden.



Abbildung 3: Wir wenden das Prinzip der Einfachheit an, da es immer zwischen vielen Erklärungen und Lernwegen auszuwählen gilt und da komplizierte Wege unnötig aufwendig sowie ungünstig für Generalisierungen sind (s. z. B. Carmesin (1996)).

### 1.3 Lernwege

Für diese UE wurden verschiedene Lernwege vorgeschlagen. Das mag daran liegen, dass gerade bei dieser UE viele grundlegende Begriffe der Physik gebildet werden. Ich will hier drei Lernwege zur Bildung dieser Begriffe ansprechen:

- Der wohl üblichste Weg rückt die in der Alltagssprache verbreiteten Begriffe Kraft, Masse und Energie ins Zentrum.
- Ein weiterer Weg ersetzt die Kraft durch die Impulsstromstärke und geht allgemeiner von intensiven Größen wie der Geschwindigkeit und extensiven Größen wie der Kraft aus. Dieser Weg ist als Karlsruher Physikkurs bekannt. Der Weg führte zu einigen Kontroversen (s. Strunk u. Rincke (2013)). Da empirisch bisher kaum eine erhöhte Lernwirksamkeit nachgewiesen ist, werde ich diesen Weg nicht weiter ausführen.
- Ein weiterer Weg verwendet bevorzugt diskrete Betrachtungsdauern (s. Hopf u. a. (2012)). Da auch hierzu empirisch bisher kaum eine erhöhte Lernwirksamkeit nachgewiesen ist, werde ich diesen Weg nicht weiter ausführen.

Der übliche Weg kommt zumindest aus Schülersicht dem Occam - Rasiermesser nahe (s. Abb. 3). Unser Lernweg führt also möglichst direkt von der Ausgangslage 'Lebenswelt' zum Ziel 'physikalische Denkmuster'. Umgekehrt ist es eine populäre und geistreiche physikalische Unterhaltung, wenn man 'physikalische Denkmuster' immer wieder verwendet um die 'Lebenswelt' zu erkunden und zu erklären (s. Schlichting (2015) und Abb. 4).

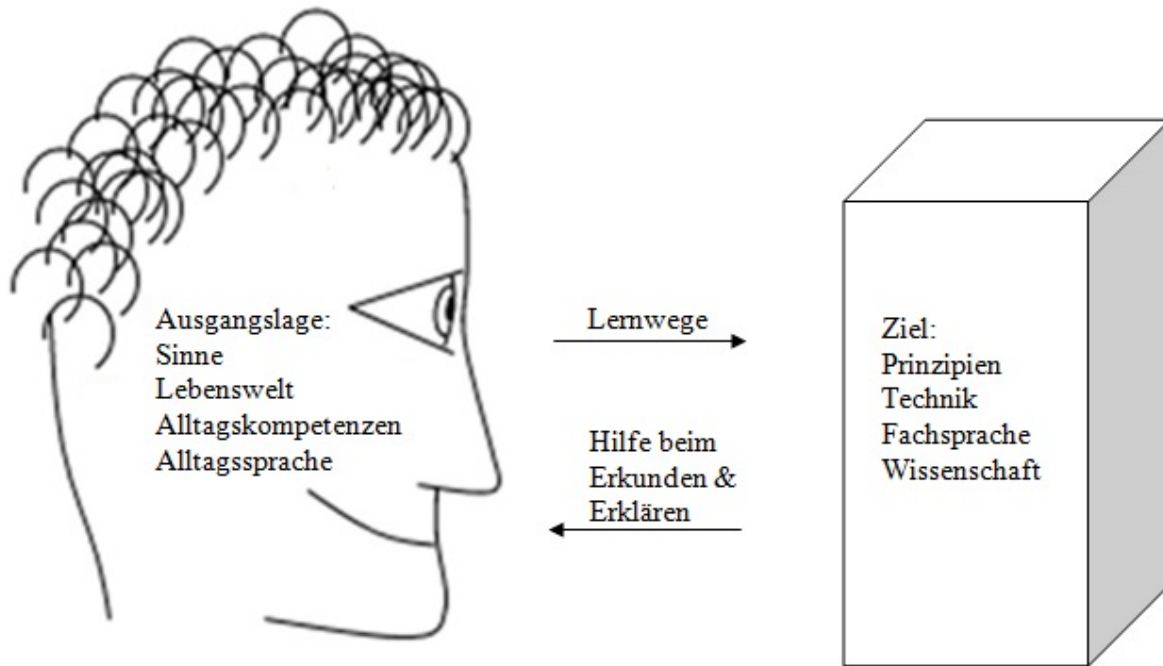


Abbildung 4: Lernwege sollen zwifache Anschlussfähigkeit bieten, zu den Lernenden und zur Physik.

## 1.4 Lernbarrieren

Einerseits ist das Thema kognitiv herausfordernd: Schon die Kinematik arbeitet mit Änderungsraten, die im Mathematikunterricht erst in Klasse 10 behandelt werden. Kräfte sind Vektoren, die im Mathematikunterricht erst in Klasse 11 oder 12 bearbeitet werden. Die Newton - Axiome gelten im Inertialsystem, lebensweltlich ist aber das beschleunigte System des sich frei bewegenden Menschen.

Andererseits sind die Lernenden in ihrer Ausgangslage bereits sehr kompetent (s. Abb. 4). Es gilt also diese Kompetenz zu nutzen und zu erweitern. Auch gilt es mögliche Unterschiede zwischen der Schülersicht und der Physik schülergerecht zu klären, damit der Lernprozess effizient wird.



Abbildung 5: Lernende starten immer wieder gerne Luft - Wasser - Raketen und erkunden mit Hilfe einer Hochgeschwindigkeitskamera die Geschwindigkeit, die Beschleunigung, das Wechselwirkungsprinzip, die Energie und vieles andere mehr.

## 2 Kinematik

Das Curriculum (s. [Beime u. a. \(2012\)](#); [Brüning u. a. \(2010\)](#); [Frenzel \(2017\)](#); [Gehmann \(2015\)](#)) legt eine separate Unterrichtssequenz Kinematik nahe. Da diese keine Kompetenzen der übrigen Sequenzen voraussetzt, aber umgekehrt die Beschleunigung gemäß der Grundgleichung der Mechanik der Einführung der Kraft und der Masse dient, passt die Kinematik gut an den Anfang der UE.

Inhaltsbezogene Kompetenzen: SuS ...	Prozessbezogene Kompetenzen: SuS ...
<p>... verwenden lineare t-s- und t-v-Diagramme zur Beschreibung geradliniger Bewegungen.  ... erläutern die zugehörigen Gleichungen.</p>	<p>... werten gewonnene Daten anhand geeignet gewählter Diagramme aus (zweckmäßige Skalierung der Achsen, Ausgleichsgeraden) (E).  ... bestimmen die Steigung und interpretieren sie als Geschwindigkeit bzw. Beschleunigung (E).  ... nutzen diese Kenntnisse zur Lösung einfacher Aufgaben (E).  ... verwenden selbst gefertigte Diagramme und Messtabellen zur Dokumentation und interpretieren diese (K).  ... tauschen sich über die gewonnenen Erkenntnisse und deren Anwendungen unter angemessener Verwendung der Fachsprache und fachtypischer Darstellung aus (K).</p>

Tabelle 1: KC zur Kinematik: E: Erkenntnisgewinnung. K: Kommunikation.

Eine mögliche Realisierung der Unterrichtssequenz veranschauliche ich durch einen Vorschlag für die Lernstruktur, die Stundenabfolge und Kurzentwürfe für einige zentrale Stunden: Grundlegend für die Analyse der Diagramme ist die Kompetenz, die Messungen durchzuführen. Zur Entwicklung dieser Kompetenz schlage ich zwei Kontext-orientierte Unterrichtsstunden für die ersten beiden Stunden der Sequenz vor, s.u. Ferner schlage ich eine Unterrichtsstunde für das besonders anspruchsvolle v-t-Diagramm vor. Diese Stunde ist beispielhaft für andere Diagramm-bezogene Unterrichtsstunden der Sequenz.

Inhaltsbezogene Kompetenzen: SuS ...	Prozessbezogene Kompetenzen: SuS ...
<p>... erläutern die Trägheit von Körpern und beschreiben deren Masse als gemeinsames Maß für ihre Trägheit und Schwere. ... verwenden als Maßeinheit der Masse 1 kg und schätzen typische Größenordnungen ab</p>	<p>... beschreiben entsprechende Situationen umgangssprachlich und benutzen dabei zunehmend Fachbegriffe (K).</p>
<p>... identifizieren Kräfte als Ursache von Bewegungsänderungen/Verformungen oder von Energieänderungen. ... unterscheiden zwischen Kraft und Energie ... verwenden als Maßeinheit der Kraft 1 N und schätzen typische Größenordnungen ab. ... geben das hooke'sche Gesetz an.</p>	<p>... beschreiben diesbezügliche Phänomene und führen sie auf Kräfte zurück (E). ... führen geeignete Versuche zur Kraftmessung durch (E). ... führen Experimente zu proportionalen Zusammenhängen am Beispiel des hooke'schen Gesetzes durch (E). ... beurteilen die Gültigkeit dieses Gesetzes und seiner Verallgemeinerung (E). ... unterscheiden zwischen alltagssprachlicher und fachsprachlicher Beschreibung von Phänomenen (K). ... dokumentieren die Ergebnisse ihrer Arbeit selbstständig (K). ... nutzen ihr physikalisches Wissen über Kräfte, Bewegungen und Trägheit zum Bewerten von Risiken und Sicherheitsmaßnahmen im Straßenverkehr (B).</p>
<p>... unterscheiden zwischen Gewichtskraft und Masse.</p>	<p>... geben die zugehörige Größengleichung an und nutzen diese für Berechnungen (E). ... recherchieren zum Ortsfaktor <math>g</math> in geeigneten Quellen (K).</p>
<p>... stellen Kräfte als gerichtete Größen mithilfe von Pfeilen dar. ... bestimmen die Ersatzkraft zweier Kräfte zeichnerisch.</p>	<p>... wechseln zwischen sprachlicher und grafischer Darstellungsform (K).</p>
<p>... unterscheiden zwischen Kräftepaaren bei der Wechselwirkung zwischen zwei Körpern und Kräftepaaren beim Kräftegleichgewicht an einem Körper.</p>	<p>... nutzen ihre Kenntnisse, um alltagstypische Beobachtungen und Wahrnehmungen zu analysieren (E).</p>

Tabelle 2: KC zur Dynamik: E: Erkenntnisgewinnung. K: Kommunikation. B: Bewertung.

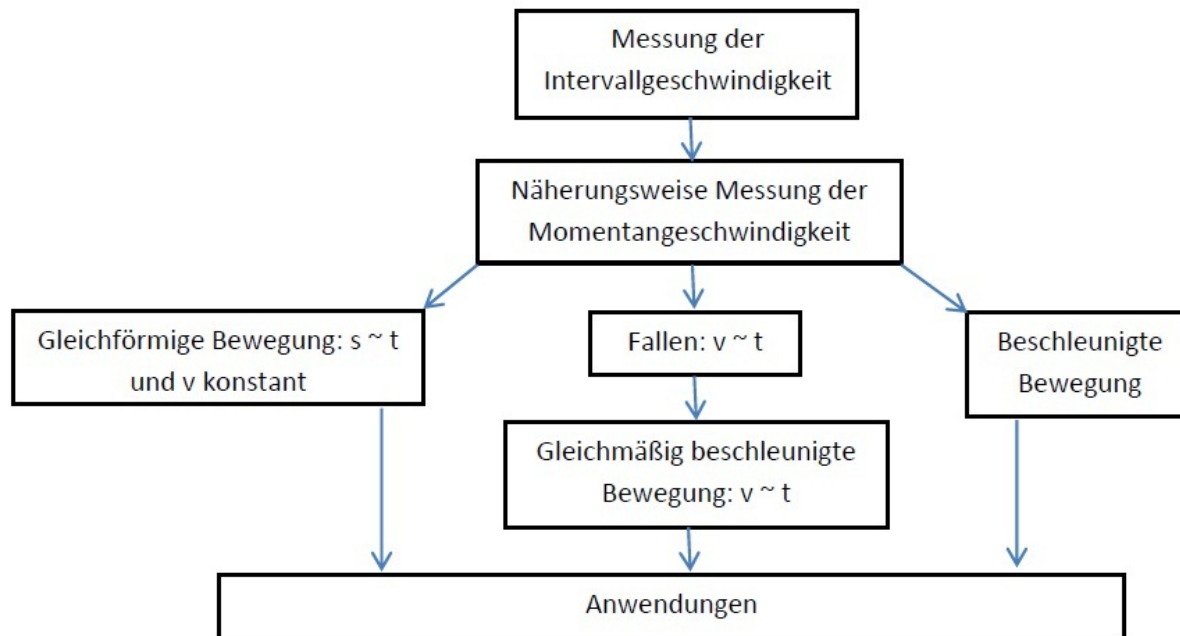


Abbildung 6: Lernstruktur zur Kinematik.

Nr.	Stundenthema	Stundenziel
1	Analyse der Geschwindigkeitsbestimmung beim Streckenradar	Die SuS erläutern Intervallgeschwindigkeiten, um ihre Fachsprache zu entwickeln.
2	Bestimmung einer Aufprallgeschwindigkeit	Die bestimmen eine Aufprallgeschwindigkeit, um ihre Alltagsgeräte nutzende experimentelle Kompetenz zu entwickeln.
3	Analyse einer nahezu gleichförmigen Bewegung im t-s-Diagramm	Die SuS analysieren die Proportionalität von s und t beim gleichmäßigen Gehen, um ihre Alltagsfähigkeiten analysierende experimentelle Kompetenz zu entwickeln.
4	Entdeckung einer Proportionalität von v und t	Die SuS ermitteln die Proportionalität von v und t beim freien Fall, um ihre Erkenntnisgewinnungskompetenz zu schulen.
5	Analyse verschiedener beschleunigter Bewegungen	Die SuS ermitteln die Proportionalität von v und t bei gleichmäßig beschleunigten Bewegungen, um ihre vernetzende Fachkompetenz zu schulen.
6	Anwendungen zur gleichförmigen Bewegung	Die SuS wenden die Bewegungsgleichung an, um das Problemlösen zu schulen.
7	Anwendungen zur beschleunigten Bewegung	Die SuS wenden die t-s- und t-v-Diagramme an, um das Problemlösen zu schulen.

Tabelle 3: Mögliche Stundenabfolge zur Unterrichtssequenz Kinematik.



## Kurzentwurf für eine Physikstunde

Athenaeum

7f3

### Thema der Unterrichtseinheit: Kinematik

#### Analyse der Geschwindigkeitsbestimmung beim Streckenradar

**Didaktik:** Stundenlernziel: Die SuS sollen Intervallgeschwindigkeiten erläutern und bestimmen können.

**Leitfrage:** s. TA

- Bedeutsamkeit für SuS: Straßenverkehr, Verhalten und Sicherheit
- Zieltransparenz für SuS: Geschwindigkeitsüberprüfung
- Didaktische Reduktion: Einfaches Zahlenmaterial
- Akzentuierung: Unterschied zwischen Momentan- und Intervallgeschwindigkeit

Inhaltliche Aspekte	Verhaltensaspekte dazu
LV: Alltagswissen $v = s/t$	Berechnen
LV: Alltagswissen Radarfalle	Beschreiben
TLZ: Streckenradar	Beschreiben
TLZ: Intervallgeschwindigkeit	Erläutern, Berechnen
TLZ: mögliche veränderliche Geschwindigkeit	Erläutern

**Methodik:** Dominantes Lehrverfahren: Problemlösend

Zeit	Didaktische Erläuterungen	Methodische Erläuterungen	Sozialform
5	<u>Hinführung:</u> Einstiegsfolie	Beschreiben, OHP	LSG
8	<u>Problemstellung:</u>	Leitfrage entwickeln	LSG
16	<u>Analyse:</u> Ideen, s.u.	Planen	MuG
35	<u>Lösung:</u>	Berechnen, binnendifferenziert	GA
40	<u>Sicherung:</u> s.u.	SV, Reflexion, Rückkopplung	OHP
45	<u>Festigung:</u> AB	HA/EA, Reserve	EA

#### Geplanter TA, teils als Folie der SuS

War das gelbe Auto zu schnell?

Ideen:  $v = \Delta s / \Delta t$

$$\Delta s = 9 \text{ km}$$

$$\Delta t = 0,1 \text{ h}$$

$$v = 9 \text{ km} / 0,1 \text{ h} = 90 \text{ km/h}$$

Das gelbe Auto war zu schnell, obwohl es bei den beiden Radarfallen nicht zu schnell war.

$$\Delta s = 40 \text{ m} = 0,04 \text{ km}$$

$$\Delta t = 2 \text{ s} = 1/1800 \text{ h}$$

$$v = 0,04 \text{ km} / (1/1800) \text{ h} = 72 \text{ km/h}$$

Das Auto war nicht zu schnell.

Ergebnis: Legt ein Körper in einem Zeitintervall  $\Delta t$  eine Strecke  $\Delta s$  zurück, so beträgt die Geschwindigkeit für dieses Intervall  $v = \Delta s / \Delta t$ .

Bezeichnung: Diese Geschwindigkeit nennen wir Intervallgeschwindigkeit.

Folgerungen: Während des Zeitintervalls kann die Geschwindigkeit von der Intervallgeschwindigkeit abweichen. Ist die Geschwindigkeit konstant, so ist sie gleich der Intervallgeschwindigkeit.

Zulässige Höchstgeschwindigkeit:  $v = 80$  km/h



Radarkontrollen des gelben Autos

Station 1: 214 km 14h00min00s  $v = 80$  km/h  
 Station 2: 223 km 14h06min00s  $v = 80$  km/h



Die Videokamera unter der Brücke hat zu zwei Zeiten die Position der Hinterräder des Autos bestimmt.

Zeit $t$ in s	9h 12min 18,3s	9h 12min 20,3s
Strecke $s$ in m	5	45

## Kurzentwurf für eine Physikstunde

Athenaeum

7f3

### Thema der Unterrichtseinheit: Kinematik

Analyse der Geschwindigkeitsbestimmung beim Streckenradar

### Bestimmung einer Aufprallgeschwindigkeit

**Didaktik:** Stundenlernziel: Die SuS sollen eine Aufprallgeschwindigkeit anhand einer Bildfolge bestimmen können.

**Leitfrage:** s. TA

- Bedeutsamkeit für SuS: Gefahr beim Fallen und Stürzen
- Zieltransparenz für SuS: Geschwindigkeitsbestimmung
- Didaktische Reduktion: Luftwiderstand vernachlässigt
- Akzentuierung: Eigenständige Bestimmung einer Aufprallgeschwindigkeit

Inhaltliche Aspekte	Verhaltensaspekte dazu
LV: Intervallgeschwindigkeit $v$	Erläutern, Berechnen
LV: Geschwindigkeitsmessung	Erläutern, Durchführen
TLZ: Modellversuch mit Bildfolge	Planen
TLZ: „ „	Durchführen, Auswerten, Deuten
TLZ: Geschwindigkeit zu einem Zeitpunkt	Näherungsweise Bestimmen

**Methodik:** Dominantes Lehrverfahren: Problemlösend

Zeit	Didaktische Erläuterungen	Methodische Erläuterungen	Sozialform
5	<u>Hinführung:</u> Einstiegsfolie	Beschreiben, OHP	LSG
8	<u>Problemstellung:</u>	Leitfrage entwickeln	LSG
16	<u>Analyse:</u> Ideen, s.u.	Schätzen, Planen	MuG
35	<u>Lösung:</u>	Durchführen, Auswerten mit AB, themendifferenziert	GA
40	<u>Sicherung:</u> s.u.	SV, Reflexion, Rückkopplung	OHP
45	<u>Festigung:</u> AB2	HA/EA, Reserve	EA

### Geplanter TA, teils als Folie der SuS

Wie schnell ist Benni bei der Landung?

Schätzungen: ungefährlich: 15 SuS, gefährlich: 9 SuS

Ideen: Modellversuch mit Ball, Bildfolge,  $v = \Delta s / \Delta t$ ;  $\Delta t = 1/21$  s

Maßstab: 25 mm  $\rightarrow$  0,8 m

Im Bild:  $\Delta s = 9$  mm

Real:  $\Delta s = 9 \text{ mm} * 0,8 \text{ m} / 25 \text{ mm} = 0,288 \text{ m}$

$\Delta t = 1/21$  s

$v = 0,288 \text{ m} / (1/21) \text{ s} = \mathbf{6,04 \text{ m/s}}$

Ergebnis: Benni prallt mit der Geschwindigkeit 6,04 m/s auf den Boden. Das ist gefährlich.

Deutung: Das Zeitintervall ist sehr kurz. Daher haben wir praktisch die Geschwindigkeit zum Zeitpunkt des Aufpralls bestimmt.

---

Aufprallgeschwindigkeit des  
Fallschirmspringers  $v = 5 \text{ m/s}$



Benni will von einer 1,9 m hohen Mauer springen. Ist das gefährlich?

Abbildung 7: Einstiegsfolie zur Aufprallgeschwindigkeit.



Abbildung 8: Bildfolge zum fallenden Ball.

### Kurzentswurf für eine Physikstunde

Athenaeum

7f3

**Thema der Unterrichtseinheit: Kinematik**

Analyse der Geschwindigkeitsbestimmung beim Streckenradar

Bestimmung einer Aufprallgeschwindigkeit

**Entdeckung einer Proportionalität von v und t**

Didaktik: Stundenlernziel: Die SuS sollen die Proportionalität von v und t beim freien Fall ermitteln können.

Leitfrage: s. TA

- Bedeutsamkeit für SuS: Verständnis des Fallens
- Zieltransparenz für SuS: Geschwindigkeitsbestimmung
- Didaktische Reduktion: Luftwiderstand vernachlässigt
- Akzentuierung: Eigenständige Bestimmung einer Aufprallgeschwindigkeit

Inhaltliche Aspekte	Verhaltensaspekte dazu
LV: Geschwindigkeit zu einem Zeitpunkt	Näherungsweise Bestimmen
LV: Versuch mit Bildfolge	Erläutern, Durchführen, Auswerten
TLZ: Proportionalität	Ermitteln
TLZ: Proportionalitätskonstante	Ermitteln

Methodik: Dominantes Lehrverfahren: Entdeckenlassend

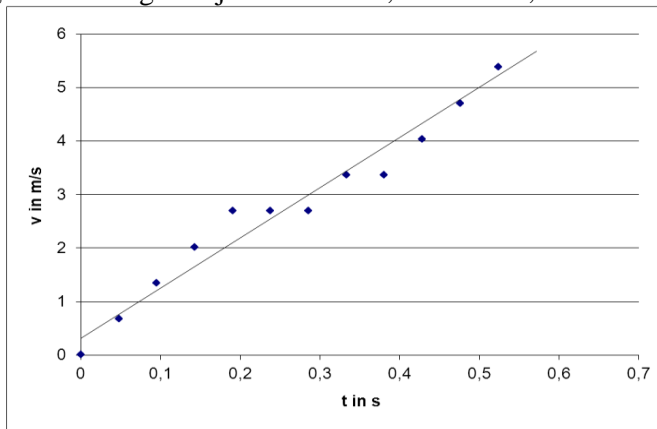
Zeit	Didaktische Erläuterungen	Methodische Erläuterungen	Sozialform
5	<u>Hinführung:</u> Besprechung der HA: Auswertung eines Bildpaares	SV, TA	SV
8	<u>Problemstellung:</u>	Leitfrage entwickeln	LSG
16	<u>Analyse:</u> Ideen, s.u., Vermutungen	Vermuten, Planen	MuG
35	<u>Lösung:</u>	Ermitteln; binnendifferenziert: auch die Konstante	GA
40	<u>Sicherung:</u> s.u.	SV, Reflexion	OHP
45	<u>Festigung:</u> AB	HA/EA, Reserve	EA

**Geplanter TA, teils als Folie der SuS**

Wie nimmt die Geschwindigkeit mit der Zeit beim Fallen zu?

Vermutungen: proportional anders

Ideen: Auswertung der Bildfolge für jedes Intervall,  $v = \Delta s / \Delta t$ ;  $\Delta t = 1/21$  s; 25 mm  $\rightarrow$  0,8 m



Ergebnisse: Beim Fallen nimmt die Geschwindigkeit proportional zur Zeit zu.

Die Steigung im Diagramm beträgt  $\Delta v / \Delta t = 9,4 \text{ m/s}^2$ . Literaturwert:  $9,81 \text{ m/s}^2$

Bezeichnungen: Nimmt bei einer Bewegung die Geschwindigkeit proportional zur Zeit zu, so heißt diese Bewegung gleichmäßig beschleunigt.

Dabei heißt die Konstante  $\Delta v / \Delta t$  die Beschleunigung.

Inhaltsbezogene Kompetenzen: SuS ...	Prozessbezogene Kompetenzen: SuS ...
... identifizieren Kräfte als Ursache von Verformungen, Bewegungsänderungen oder Energieänderungen.	... beschreiben diesbezügliche Phänomene und führen sie auf Kräfte zurück (E). ... unterscheiden zwischen alltagssprachlicher und fachsprachlicher Beschreibung von Phänomenen (K).
... stellen Kräfte als gerichtete Größen mit Hilfe von Pfeilen dar.	... dokumentieren die Ergebnisse ihrer Arbeit selbständig (K).
... verwenden als Maßeinheit der Kraft 1N und schätzen typische Größenordnungen ab.	... führen geeignete Versuche zur Kraftmessung durch (E).
... geben das Hooke'sche Gesetz an.	... führen Experimente zu proportionalen Zusammenhängen am Beispiel des Hooke'schen Gesetzes durch (E). Bezüge zu Mathematik ... beurteilen die Gültigkeit dieses Gesetzes und seiner Verallgemeinerung. (E).
... unterscheiden zwischen Kraft und Energie.	... unterscheiden zwischen alltagssprachlicher und fachsprachlicher Beschreibung von Phänomenen (K).

Tabelle 4: Curriculum zur Erkennung und Messung von Kraft: E: Erkenntnisgewinnung. K: Kommunikation. B: Bewertung.



Abbildung 9: Beim Bremsen kommt es auf die Perspektive an (s. Carmesin u. a. (2015) oder Carmesin u. a. (2018)). So verformt sich der Sicherheitsgurt sowohl für einen beschleunigten Betrachter im Auto als auch für einen ruhenden Betrachter am Straßenrand. Dagegen ist der Teddy für einen Betrachter im Auto beschleunigt, jedoch für einen Betrachter am Straßenrand unbeschleunigt. Ebenso stellen die unterschiedlichen Betrachter verschiedene Geschwindigkeiten fest.

---

### 3 Erkennung und Messung von Kraft

Das Curriculum (s. [Beime u. a. \(2012\)](#); [Brüning u. a. \(2010\)](#); [Frenzel \(2017\)](#); [Gehmann \(2015\)](#)) legt eine separate Unterrichtssequenz zur Erkennung und Messung von Kräften nahe (s. Tab. 4). Nach dem KC wird die **Kraft als Ursache** eingeführt, als Ursache für Beschleunigung, Verformung oder Energieänderung. Von diesen drei Möglichkeiten hängen zwei von der Wahl des Bezugssystems ab, die Beschleunigung und die Energieänderung (s. Abb. 9). Das ist lebensweltlich relevant, denn Lernende sind häufig selbst beschleunigt, beispielsweise in einem plötzlich bremsenden Auto (s. Abb. 9). Dabei hängen die Beschleunigung sowie die Geschwindigkeit und somit die Bewegungsenergie vom Betrachter ab, nicht jedoch die Verformung des Sicherheitsgurts. Insofern ist die **Verformung als Perspektiven übergreifendes Merkmal** zur Einführung und Erkennung der Kraft besonders robust und günstig. Daher ist die **Verformung ein verlässlicher Maßstab für die Kraft**. In Form des Federkraftmessers stellt die **Verformung die Grundlage einer transparenten Kraftmessung** dar. Die Anbindung des Kraftbegriffs an die Verformung wird besonders der Ausgangslage häufig beschleunigter Lernender mit zahlreichen Kompetenzen zur Kraft gerecht. Eine Erweiterung hierzu bietet die Behandlung der Biophysik der Kraft (s. [Carmesin u. a. \(2015\)](#)).

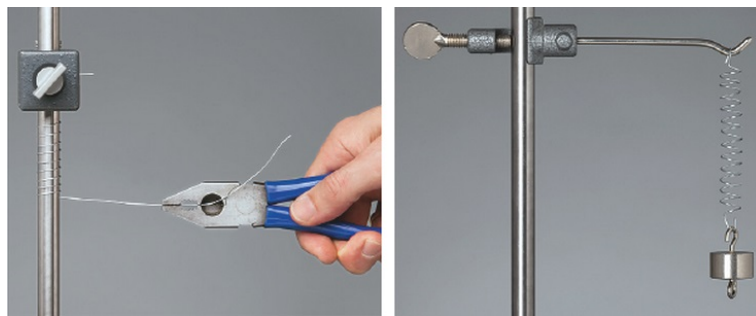


Abbildung 10: Lernende stellen selbst eine Schraubenfeder her und kalibrieren diese (s. [Carmesin u. a. \(2015\)](#)).

Zur Messung der Kraft wird eine **Einheit** festgelegt. Damit die SuS die Kompetenz erhalten, an jeder Stelle der Erde sich die Einheit der Kraft bewusst zu machen, kann man festlegen, dass auf eine Masse von 100 g eine Schwerkraft von ungefähr 1 N wirkt. Damit haben die SuS die Kompetenz, sich selbst eine Schraubenfeder zu formen, diese zu kalibrieren und sich somit einen eigenen Federkraftmesser zu bauen (s. Abb. 10). Dabei können sie das Hooke'sche Gesetz entdecken.



Abbildung 11: Lernende dehnen einen Expander und erleben dabei die Krafterzeugung und die Kraft, die der Expander umgekehrt auf sie ausübt (s. Carmesin u. a. (2015)).

Indem die Lernenden einen Expander oder eine Schraubenfeder verformen, können sie selbst Kräfte bewusst erzeugen und erleben. Dabei können sie sich auch die Kompetenz entwickeln, einer Kraft eine **Richtung** zuzuordnen (s. Abb. 11). Ferner können sie beim Dehnen eines Expanders erkennen, dass sie eine Kraft auf den Expander ausüben und zugleich der Expander eine Kraft auf sie ausübt, sie können also das **Wechselwirkungsprinzip** entdecken. Dieses können sie überprüfen, indem sie den Expander mit einem Federkraftmesser dehnen (s. Abb. 12). Alternativ können die Lernenden das Wechselwirkungsprinzip am Beispiel ihrer eigenen Luft - Wasser - Rakete erkunden können (s. Abb. 5), das schafft umfassendere Kompetenzerlebnisse und Begeisterung.

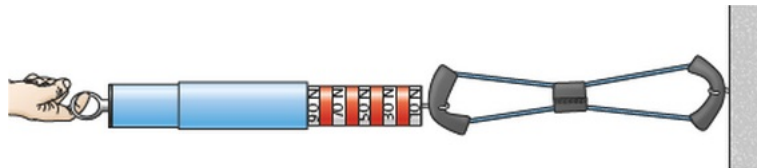


Abbildung 12: Lernende überprüfen das Wechselwirkungsprinzip. Dazu messen sie sowohl die vom Expander auf den Federkraftmesser ausgeübte Kraft als auch die vom Federkraftmesser auf den Expander ausgeübte Kraft (s. Carmesin u. a. (2015)).

Die **beschleunigende Wirkung** der Kraft kennen die Lernenden aus ihrer Lebenswelt. Diese Wirkung können die Lernenden beispielsweise dadurch experimentell untersuchen, dass sie durch Verformungen Kräfte erzeugen (s. Abb. 13).





Abbildung 13: Lernende beschleunigen beispielsweise mit Hilfe von Kräften, denen Verformungen zugrunde liegen. (s. Carmesin u. a. (2015)).

Die Lernenden erkennen anhand der vielfältigen Experimente die **energieändernde Wirkung** der Kraft. Beispielsweise erkennen die SuS die Änderung der Spannenergie als Wirkung der verformenden Kraft (s. Abb. 11) oder die Änderung der Bewegungsenergie als Wirkung der beschleunigenden Kraft (s. Abb. 13). Die dargestellte Entwicklung des Kraftbegriffs fasst eine mögliche Stundenabfolge zusammen (s. Tab. 5).

Nr.	Stundenthema	Stundenziel
1	Entdeckung von Kräften anhand von Verformung	Die SuS erkennen Kräfte anhand von Verformungen, um einen Fachbegriff auszuschärfen.
2	Einführung der Krafteinheit	Die SuS erläutern die Einheit der Kraft, um ihre Fachkompetenz zu entwickeln.
3	Bau einer Schraubenfeder	Die SuS bauen eine Schraubenfeder, um ihre konstruktive experimentelle Kompetenz zu entwickeln.
4	Entdeckung des Hooke'schen Gesetzes	Die SuS kalibrieren eine Schraubenfeder und entdecken dabei das Gesetz, um ihre Erkenntnisgewinnungskompetenz zu entwickeln.
5	Anwenden eines Federkraftmessers	Die SuS messen Kräfte und stellen diese als Pfeile dar, um ihre untersuchende experimentelle Kompetenz zu schulen.
6	Entdeckung der Gegenkraft	Die SuS entdecken die Gegenkraft, um ihre grundlegende Fachkompetenz zu entwickeln.
7	Untersuchung der beschleunigenden Wirkung	Die SuS beschleunigen, um ihre vernetzende Fachkompetenz zu entwickeln.
8	Untersuchung der energieändernden Wirkung	Die SuS beschleunigen und verformen, um ihre vernetzende Fachkompetenz zu entwickeln.

Tabelle 5: Mögliche Stundenabfolge zur Unterrichtssequenz *Erkennung und Messung von Kraft*.

Inhaltsbezogene Kompetenzen: SuS ...	Prozessbezogene Kompetenzen: SuS ...
... erläutern die Trägheit von Körpern und beschreiben deren Masse als gemeinsames Maß für ihre Trägheit und Schwere. ... verwenden als Maßeinheit der Masse 1 kg und schätzen typische Größenordnungen ab.	... beschreiben entsprechende Situationen umgangssprachlich und benutzen dabei zunehmend Fachbegriffe (K).
... unterscheiden zwischen Gewichtskraft und Masse (Ortsfaktor g).	... recherchieren zum Ortsfaktor g in geeigneten Quellen. (K).

Tabelle 6: Curriculum zur Masse: E: Erkenntnisgewinnung. K: Kommunikation.

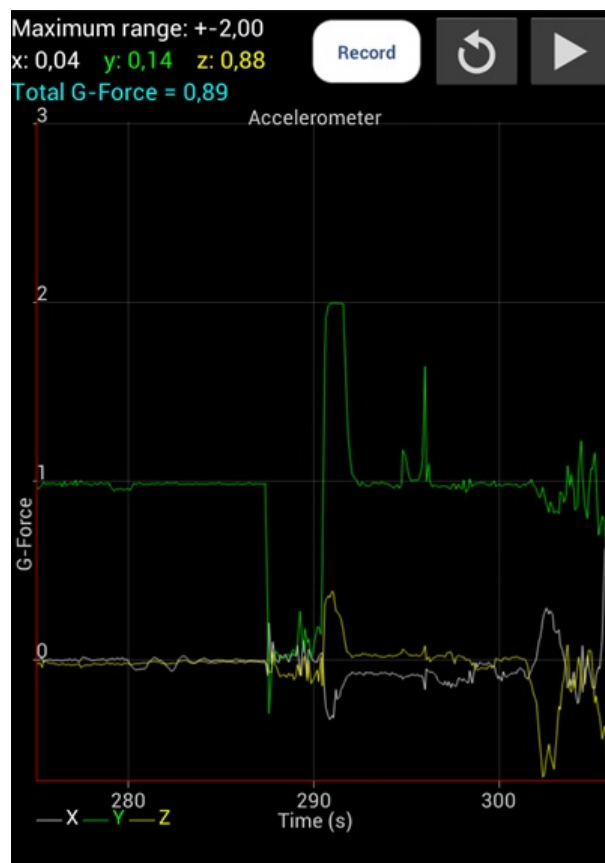


Abbildung 14: Lernende zeichnen im Freifallturm mit dem Beschleunigungssensor des Smartphones den Zustand der Schwerelosigkeit auf.

## 4 Masse

Das Curriculum (s. Beime u. a. (2012); Brüning u. a. (2010); Frenzel (2017); Gehmann (2015) und Tab. 6) legt eine separate Unterrichtssequenz zur Masse nahe. Die SuS haben bereits Alltagsvorstellungen zur Masse. Man verwendet die Masse als Mengenmaß beispielsweise einer

---

Handelsware. Neu ist für die SuS, dass die Masse zwei präzise physikalische Eigenschaften hat, die Trägheit und die Schwere. Es geht also darum, dass die SuS die Wichtigkeit dieser Eigenschaften erkennen und das Vorhandensein dieser Eigenschaften überprüfen.

Die Lernenden können die Abhängigkeit der Gewichtskraft  $F_G$  von der Masse  $m$  mit einem Federkraftmesser untersuchen und dabei die Proportionalität  $F_G \propto m$  entdecken. Fortführend können sie den Proportionalitätsfaktor  $g$  ermitteln. Weiterführend können sie in Büchern entdecken, dass dieser Proportionalitätsfaktoren auf jedem Himmelskörper einen zugehörigen Betrag hat. Das wird dadurch gedeutet, dass jeder Himmelskörper auf Massen in der Nähe die **Schwerkraft** ausübt. Erst diese Erkenntnis zeigt, dass es bei der Schwerkraft immer um **zwei Körper** geht. Am Ort eines Himmelskörpers wird die Schwerkraft durch den zugehörigen Proportionalitätsfaktor beschrieben, daher nennt man diesen den **Ortsfaktor**. Besonders interessant ist für die Lernenden die Untersuchung der **Schwereelosigkeit**, sei es am Freifallturm oder beim Sprung vom Tisch. Dabei können die SuS mit dem Beschleunigungssensor den Zustand der Schwerelosigkeit nachweisen und anschließend deuten (s. Abb. 14).



Abbildung 15: Lernende entdecken am Nussknacker die Trägheit der Masse.

Die Lernenden können die Trägheit der Masse am Beispiel des Nussknackers in Abb. 15 wie folgt entdecken:

- Beobachtungen
  - Schwere der Kugel  $\rightarrow$  Kraft zu klein
  - Abbremsen der Kugel  $\rightarrow$  Kraft groß genug
  - Abbremsen des Balls  $\rightarrow$  Kraft zu klein
- Zusammenfassung: Das Abbremsen einer großen Masse erfordert eine große Kraft.
- Wagen Anchieben: Das Beschleunigen einer großen Masse erfordert eine große Kraft.
- Bezeichnung: Die Eigenschaft der Masse, dass Abbremsen und Beschleunigen Kraft erfordern, heißt Trägheit.

Weiterführend können sie die Wirkungsweise des Hammers erklären. Zudem können sie hierzu geschickt Münzen mit Hilfe der Trägheit in Gläser bringen (s. Abb. 16). Eine mögliche

---

Stundenabfolge fasst die Sequenz zusammen (s. Tab. 7). Mit diesen Entdeckungen können die Lernenden qualitativ propädeutisch das **Trägheitsprinzip** und das **Aktionsprinzip** entwickeln.

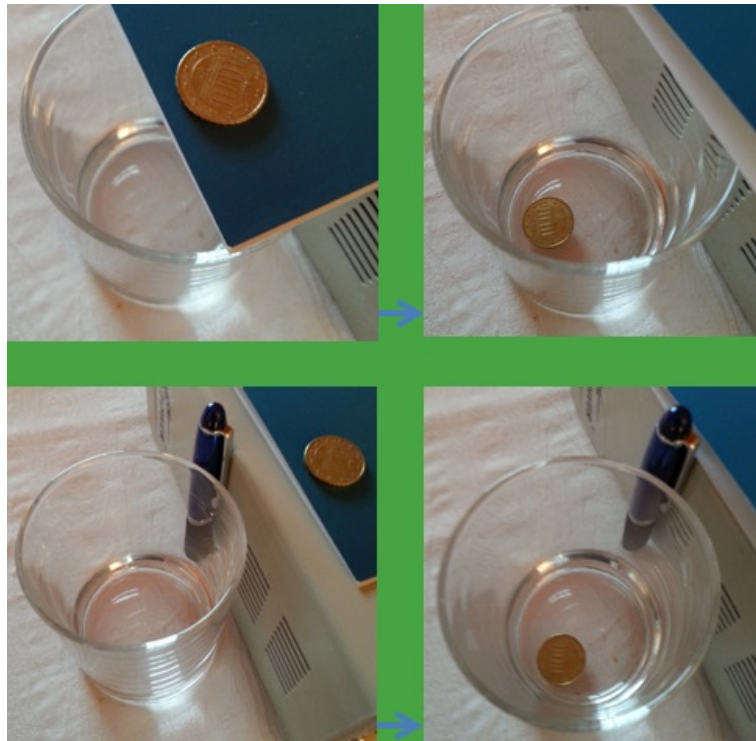


Abbildung 16: Lernende bringen mit Hilfe der Trägheit Münzen in Gläser.

Nr.	Stundenthema	Stundenziel
1	Entdeckung der Proportionalität der Gewichtskraft zur Masse	Die SuS entdecken die Proportionalität, um ihre grundlegende Fachkompetenz zu entwickeln.
2	Bestimmung des Proportionalitätsfaktors $F_G/m$	Die SuS bestimmen den Faktor, um ihre experimentelle Kompetenz zu schulen.
3	Erkundung des Proportionalitätsfaktors $F_G/m$	Die SuS entdecken die Proportionalitätsfaktoren $F_G/m$ für verschieden Himmelskörper, um ihre vernetzende Fachkompetenz zu entwickeln.
4	Deutung des Proportionalitätsfaktors $F_G/m$	Die SuS deuten den Proportionalitätsfaktor $F_G/m$ als Maß für die Gravitation in der Nähe eines Himmelskörpers, um ihre Fachkompetenz zu Kraftfeldern propädeutisch zu entwickeln.
5	Entdeckung der Trägheit der Masse an Alltagsgegenständen	Die SuS entdecken die Trägheit, um ihre grundlegende Fachkompetenz zu entwickeln.
6	Bau einer Balkenwaage	Die SuS bauen eine Balkenwaage, um ihre vernetzende experimentelle Kompetenz zu entwickeln.

Tabelle 7: Mögliche Stundenabfolge zur Unterrichtssequenz Masse.

## 5 Eigenschaften und Zusammenwirken von Kräften

Das Curriculum (s. [Beime u. a. \(2012\)](#); [Brüning u. a. \(2010\)](#); [Frenzel \(2017\)](#); [Gehmann \(2015\)](#) und Tab. 8) schließt die UE mit Untersuchungen zum Zusammenwirken mehrerer Kräfte ab. Das legt eine kleine Unterrichtssequenz hierzu nahe.

Inhaltsbezogene Kompetenzen: SuS ...	Prozessbezogene Kompetenzen: SuS ...
... bestimmen die Ersatzkraft zweier Kräfte zeichnerisch.	... wechseln zwischen sprachlicher und grafischer Darstellungsform. (K).
... unterscheiden zwischen Kräftepaaren bei der Wechselwirkung zwischen <i>zwei</i> Körpern und Kräftepaaren beim Kräftegleichgewicht an <i>einem</i> Körper.	... nutzen ihre Kenntnisse, um alltagstypische Fehlvorstellungen zu korrigieren (E).

Tabelle 8: Curriculum zu den Eigenschaften und dem Zusammenwirken von Kräften: E: Erkenntnisgewinnung. K: Kommunikation.



Welche Masse ist wohl im Beutel?

Abbildung 17: Einstiegsbild zur Einführung der Ersatzkraft.

Die Lernenden entdecken ohne Schwierigkeiten das Konzept der Ersatzkraft am Beispiel von zwei parallel wirkenden und an einem Körper angreifenden Kräften (s. Abb. 17). Am Beispiel einer vorherzusagenden Ersatzkraft (s. Abb. 18) können die SuS mit Hilfe eines Versuchs mit zwei Federkraftmessern die Ersatzkraft bestimmen und anschließend durch Zeichnen der beim Versuch auftretenden Kräfte das Kräfteparallelogramm entwickeln. Eine sinnvolle optionale Weiterentwicklung bietet die Komponentenzzerlegung von Kräften (s. Abb. 19). Die Lernenden können das Problem zeichnerisch oder im Modellversuch lösen.



Welche Masse ist wohl im Beutel?

Abbildung 18: Einstiegsbild zur Entwicklung der zeichnerischen Bestimmung der Ersatzkraft mit Hilfe eines Kräfteparallelogramms.

Nr.	Stundenthema	Stundenlernziel
1	Entdeckung der Ersatzkraft	Die SuS erläutern die Ersatzkraft, um ihre argumentative Fachkompetenz zu entwickeln.
2	Zeichnerische Bestimmung der Ersatzkraft	Die SuS bestimmen die Ersatzkraft zeichnerisch, um ihre analytische Fachkompetenz zu entwickeln.
3	Anwendung von Ersatzkräften	Die wenden Ersatzkräfte an, um ihre Problemlösekompetenz zu schulen.
4	Anwendung von Ersatzkräften bei Kräftegleichgewichten	Die wenden Ersatzkräfte bei Kräftegleichgewichten an, um ihre vernetzende Fachkompetenz zu entwickeln.

Tabelle 9: Mögliche Stundenabfolge zur Unterrichtssequenz *Eigenschaften und Zusammenwirken von Kräften*.

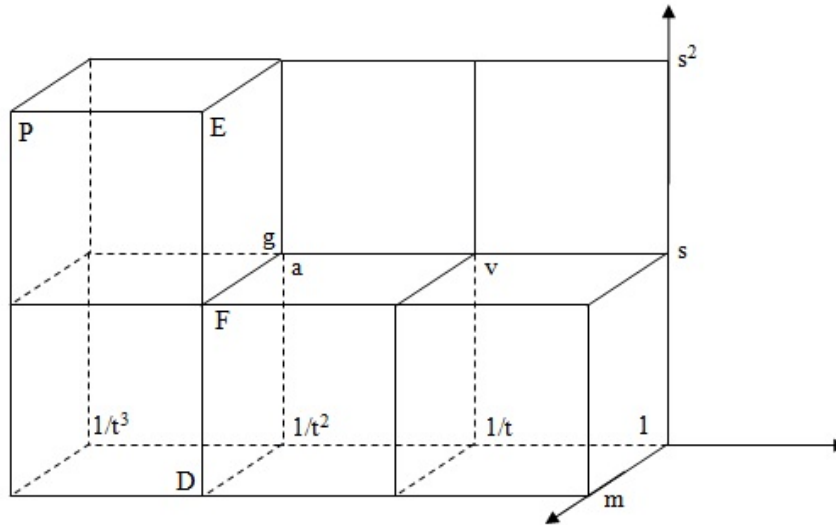


Abbildung 19: Einstiegsbild zur Komponentenzerlegung der Kraft. Die Gewichtskraft des Mädchen von 500 N soll durch die beiden Seilenden in zwei Komponenten zerlegt werden.

## 6 Aufgaben

1. Skizzieren Sie eine Konzeptkarte, welche die SuS am Ende der UE entwerfen können sollten.
2. Erörtern Sie, inwieweit die drei Newton'schen Axiome in dieser UE zumindest propädeutisch behandelt werden.
3. Erörtern Sie, inwieweit die SuS die oben dargestellte lebensweltliche Ausgangslage mit Hilfe der UE physikalisch erweitern können.
4. Erörtern Sie am Beispiel der UE die These des Pädagogen Johann Baptist Graser (1766-1841): 'Aller Unterricht muss vom Leben aus und auf dasselbe zurück gehen'.
5. Ergänzen Sie auf der Dimensionskarte (s. Abb. 20) den Impuls, die Leistungsdichte und das Planck'sche Wirkungsquantum.
6. Erörtern Sie anhand der Dimensionskarte (s. Abb. 20) die These, die grundlegenden physikalischen Begriffe sind bereits in der Alltagssprache bekannt und müssen im Unterricht nur ausgeschärft werden.
7. Erörtern Sie die These: Die grundlegenden physikalischen Begriffe der Dimensionskarte (s. Abb. 20) stellen nur methodisches Handwerkszeug, aber keine Erkenntnis dar, denn sie sind nur eine dimensional naheliegende Kombination aus Zeit, Strecke und Masse.





Ursprung: 1  
 Zeit: t  
 Strecke: s  
 Masse: m  
 Geschwindigkeit: v  
 Beschleunigung: a  
 Energie: E  
 Kraft: F  
 Leistung: P  
 Ortsfaktor: g  
 Federkonstante: D

Abbildung 20: Die in der UE wesentlichen physikalischen Größen lassen sich übersichtlich auf einer Dimensionskarte anordnen. Dabei sind auf den drei Achsen die Exponenten der Strecke s, der Zeit t und der Masse m dargestellt.

## 7 Zusammenfassung

In dieser Unterrichtseinheit geht es um die grundlegenden physikalischen Begriffe (s. Abb. 20). Diese kennen die SuS in unscharfer Weise bereits durch ihre Sinnesorgane und aus dem Alltag. In dieser UE wird das Schülerwissen also systematisch so ausgeschärft, dass es an die traditionellen Begriffe der Physik und Technik anschließt. Auch kann mit den Begriffen die Kenntnis über die klassische Mechanik in Form der drei Newton'schen Axiome formuliert werden. Zudem werden diese propädeutisch bereits behandelt. Ferner wird mit der Gravitation bereits die erste der vier fundamentalen Kräfte analysiert.

Diese UE kann für die Lernenden sehr attraktiv gestaltet werden, weil die SuS ihre Sinne und Muskeln anwenden und viele interessante Bewegungen und Kräfte erleben, analysieren und vernetzen können. Dabei können sie diese reichhaltigen Erlebnisse in genial einfacher Weise qualitativ durch nur drei Prinzipien verstehen, das Trägheitsprinzip, das Aktionsprinzip und das Reaktionsprinzip. Durch diese Erfahrung können die SuS schon in dieser UE viele

---

Kompetenzerlebnisse erhalten. Durch die Anschlussfähigkeit des erlernten Systems können sie diese Kompetenzerlebnisse bei zukünftigen Themen fortsetzen.

Ich wünsche Ihnen, dass Sie die reichhaltigen Mechanik-Kompetenzen Ihrer SuS aktivieren und sie Lernenden so zu vielen progressiven Lernerlebnissen mit spannenden lebensweltlichen Bezügen führen.

## Literatur

- [Beime u. a. 2012] BEIME, Christa ; HOPPE, Petra ; HUMMES, Klaus-Peter ; VÖPEL, Karl-Heinz ; VOSS, Christine ; ZEMANN, Winfried: *Kerncurriculum für die Integrierte Gesamtschule, Schuljahrgänge 5 - 10, Naturwissenschaften, Niedersachsen*. Hannover : Niedersächsisches Kultusministerium, 2012
- [Brüning u. a. 2010] BRÜNING, Thomas ; DÖTZER, Susanne ; ELSASSER, Wolfgang ; HEIKE, Christina ; JÜTTNER, Horst ; MICHALSKI, Regina ; MOORKAMP, Michael ; SUTTMAYER, Beate: *Rahmenrichtlinien für das Fach Naturwissenschaft in der Klasse 12 der Fachoberschule, Niedersachsen*. Hannover : Niedersächsisches Kultusministerium, 2010
- [Carmesin 1996] CARMESIN, Hans-Otto: *Neuronal Adaptation Theory*. Frankfurt : Peter Lang Verlag, 1996
- [Carmesin 2014a] CARMESIN, Hans-Otto: Trägheitskraft - eine spannende Brücke zwischen lebensweltlichen Sinneseindrücken und der Newton'schen Mechanik. In: *MNU* 67/3 (2014), S. 176–181
- [Carmesin 2014b] CARMESIN, Hans-Otto: Trägheitskraft - eine spannende Brücke zwischen lebensweltlichen Sinneseindrücken und der Newton'schen Mechanik - ein Unterrichtsversuch I. In: *MNU* 67/5 (2014), S. 282–288
- [Carmesin 2014c] CARMESIN, Hans-Otto: Trägheitskraft - eine spannende Brücke zwischen lebensweltlichen Sinneseindrücken und der Newton'schen Mechanik - ein Unterrichtsversuch II. In: *MNU* 67/8 (2014), S. 478–485
- [Carmesin u. a. 2018] CARMESIN, Hans-Otto ; EMSE, Anneke ; KONRAD, Ulf ; PRÖHL, Inka K. ; SALZMANN, Wiebke ; WITTE, Lutz: *Universum Physik Sekundarstufe II Niedersachsen Einführungsphase*. Berlin : Cornelsen Verlag, 2018
- [Carmesin u. a. 2015] CARMESIN, Hans-Otto ; KAHLE, Jens ; KONRAD, Ulf ; TRUMME, Torsten ; WITTE, Lutz ; HAGEDORN, Andreas: *Universum Physik 7 und 8*. Berlin : Cornelsen, 2015
- [Frenzel 2017] FRENZEL, Michael u. a.: *Kerncurriculum für das Gymnasium - gymnasiale Oberstufe, die Gesamtschule - gymnasiale Oberstufe, das Fachgymnasium, das Abendgymnasium, das Kolleg, Physik, Niedersachsen*. Hannover : Niedersächsisches Kultusministerium, 2017

- 
- [Gehmann 2015] GEHMANN, Kurt u. a.: *Kerncurriculum für das Gymnasium, Schuljahrgänge 5 - 10, Naturwissenschaften, Niedersachsen*. Hannover : Niedersächsisches Kultusministerium, 2015
- [Hopf u. a. 2012] HOPF, Martin ; WILHELM, Thomas ; WALTNER, Christine ; TOBIAS, Verena ; WIESNER, Hartmut: *Einführung in die Mechanik*. Frankfurt : University Frankfurt, 2012  
[http://www.thomas-wilhelm.net/Mechanikbuch\\_Druckversion.pdf](http://www.thomas-wilhelm.net/Mechanikbuch_Druckversion.pdf)
- [Schlichting 2015] SCHLICHTING, Joachim: Mit einem Purzelbaum auf die Welt kommen. In: *Spektrum der Wissenschaft* (2015), S. 46–47
- [Strunk u. Rincke 2013] STRUNK, Christoph ; RINCKE, Karsten: *Zum Gutachten der DPG über den KPK*. [http://www.physik.uni-regensburg.de/forschung/rincke/Allgemeines/stellungnahme\\_online\\_strunk\\_rincke.pdf](http://www.physik.uni-regensburg.de/forschung/rincke/Allgemeines/stellungnahme_online_strunk_rincke.pdf). Version: 2013
- [Wlotzka 2010] WLOTZKA, Udo: Mechanikunterricht im Fitnessstudio. In: *MNU* 63/5 (2010), S. 269–274