

Fachdidaktik Physik: Mechanik in Klassenstufe 11

Hans-Otto Carmesin

Gymnasium Athenaeum Stade, Studienseminar Stade

Hans-Otto.Carmesin@t-online.de

16. März 2021

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	2
2	Lernstruktur der UE	2
2.1	Fachliche Sicht	2
2.1.1	Grundlagen	3
2.1.2	Einschränkungen	3
2.1.3	Kraftbegriff	3
2.2	Lebensweltliche Erlebnisse	4
2.3	Entgegengesetzte Kräfte bei Sinneseindrücken und Axiom	5
2.4	Schülersicht	6
2.5	Mögliche pädagogische Umsetzung	7
3	Kinematik	10
4	Aktionsprinzip, Trägheitsprinzip, Reaktionsprinzip	21
5	Beschleunigte Systeme	33
6	Bewegungsenergie	44
7	Aufgaben	48
8	Zusammenfassung	48

1 Einleitung



Abbildung 1: 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.

Bei der curricularen und experimentellen Ausbildung ist die Mechanik in Klassenstufe 10 ein wichtiges Kapitel. Die behandelte Newton'sche Mechanik ist eine Gelenkstelle der Physik, da sie den Zusammenhang zwischen Kraft und Bewegung in sehr aussagekräftiger Weise klärt und mathematisiert (s. [Newton \(1686\)](#)). Für die SuS gibt es einerseits viele lebensweltliche Anwendungen (s. [Abb. 1](#), [Carmesin \(2014a\)](#), [Carmesin \(2014b\)](#), [Carmesin \(2014c\)](#), [Carmesin u. a. \(2015\)](#), [Carmesin u. a. \(2018\)](#)), andererseits fällt es ihnen nicht immer leicht, lebensweltliche Situationen im Rahmen der Newton'schen Mechanik zu erklären (s. [von Rhöneck u. Niedderer \(2006\)](#)). Daher sollten die SuS befähigt werden, ihre vielfältigen lebensweltlichen Erlebnisse und Sinneseindrücke (s. [Schmidt u. Thews \(1995\)](#)) zur Mechanik differenziert zu beobachten, unverfälscht zu beschreiben, durch objektive Messungen zu ergänzen und im Rahmen der Newton'schen Mechanik umfassend zu erklären sowie zu analysieren (s. [Abb. 1](#)).

2 Lernstruktur der UE

2.1 Fachliche Sicht

Im folgenden Teil über *Grundlagen* wird gezeigt, dass die Newton'sche Mechanik genial einfach ist. Diese Einfachheit wurde erreicht, indem das System für einen dreifachen Idealfall formu-

liert wurde, das untersuchen wir im zweiten Teil *Einschränkungen*. Ein passender allgemeiner *Kraftbegriff* wird in Teil drei vorgestellt.

2.1.1 Grundlagen

Axiomatische Sicht: Aus axiomatischer Sicht umfasst das **Trägheitsprinzip**, das **Aktionsprinzip**, also die Grundgleichung der Mechanik $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$, sowie das **Reaktionsprinzip**. Gerade die Grundgleichung hat eine weitreichende Vorhersagekraft: Sie ist beispielsweise Grundlage der täglichen Wettervorhersage, der Berechnungen und Konstruktionen im Fahrzeug- und Maschinenbau, der Bahnrechnungen (s. [Unsöld u. Baschek \(1999\)](#)) von Planeten, Sternen und Raketen sowie der Aerodynamik (s. [Truckenbrodt u. Schlichting \(2001\)](#)). Hier geht es um vier zentrale Bedeutungen der Formel:

1. Zusammenhänge zwischen Beschleunigung, Geschwindigkeit, Weg und Zeit
2. Beschleunigung als Folge der Kraft bei linearen Bewegungen: $F = m \cdot a$
3. Kreisbewegung als wichtiges zweidimensionales Beispiel: $F_z = m \cdot a_z$
4. Energieerhaltung und Bewegungsenergie, hier am Beispiel freier Fall:

$$\dot{E} = \frac{d}{dt}[m \cdot g \cdot (h - x) + \frac{1}{2}m \cdot \dot{x}^2] = -m \cdot g \cdot \dot{x} + m \cdot \dot{x} \cdot \ddot{x} = -m \cdot g \cdot \dot{x} + m \cdot g \cdot \dot{x} = 0$$

2.1.2 Einschränkungen

Die Newton'schen Axiome sind zwar **genial einfach**, **jedoch nur im Idealfall** gültig. Konkret ist die Grundgleichung der Mechanik nur im Inertialsystem gültig. Ebenso ist das Trägheitsprinzip nur im Idealfall ohne Reibung gültig. Weiterhin entspricht das Wechselwirkungsprinzip dem Prinzip der Impulserhaltung. Denn beispielsweise ist beim Stoß zweier Massen:

$$F_2 = -F_1 = m_2 \cdot a_2 = -m_1 \cdot a_1 = m_2 \cdot \frac{\Delta v_2}{\Delta t} = -m_1 \cdot \frac{\Delta v_1}{\Delta t} \cdot \Delta t$$
$$m_2 \cdot \Delta v_2 = -m_1 \cdot \Delta v_1 = \Delta p_1 = -\Delta p_2$$

Somit ist das Wechselwirkungsprinzip nur gültig, wenn das Prinzip der Impulserhaltung gilt, also im Idealfall von Systemen ohne von außen einwirkende Kräfte. Diese Einschränkungen auf Idealfälle führen dazu, dass die Newton'sche Mechanik auf die Lebenswelt der Schülerinnen und Schüler mit Bedacht angewendet werden muss.

2.1.3 Kraftbegriff

Um eine Untergeneralisierung beim Kraftbegriff zu vermeiden, führt man drei Typen von Kräften ein, Nahwirkungskräfte, Fernwirkungskräfte und Trägheitskräfte (s. [Meschede u. a. \(2006\)](#)). Alle diese Kräfte kann man einheitlich mit einem Federkraftmesser nachweisen.



Abbildung 2: Reibungskräfte entsprechen der lebensweltlichen Erfahrung. Beispielsweise muss man beim Fahrradfahren oft in die Pedale treten, also eine Kraft ausüben, nur um die Geschwindigkeit konstant zu halten. Das Trägheitsprinzip dagegen beschreibt den lebensweltlich untypischen Idealfall fehlender Reibungskräfte.

2.2 Lebensweltliche Erlebnisse

Menschen bewegen sich oft unter dem Einfluss von **Reibungskräften** (s. Abb. 2). Im Gegensatz dazu beschreibt das Trägheitsprinzip den Idealfall fehlender Reibungskräfte. Daher entsteht bei zu einfacher Betrachtungsweise, beispielsweise beim Vernachlässigen von Reibungskräften, ein Gegensatz zwischen der Newton'schen Mechanik und der Lebenswelt.

Menschen bewegen sich oft **beschleunigt**, beispielsweise beim Radfahren oder bei der Katapultachterbahn (s. Abb. 2 oder Abb. 1). Im Gegensatz dazu beschreibt das dritte Newton'sche Axiom den Zusammenhang von Kraft und Beschleunigung, den ein unbeschleunigter Beobachter feststellen kann. Daher entsteht bei zu einfacher Betrachtungsweise, beispielsweise beim Vernachlässigen der Beschleunigung eines Beobachters, ein Gegensatz zwischen der Newton'schen Mechanik und der Lebenswelt.

Menschen nutzen oft eine **Gegenkraft**, beispielsweise beim Kanufahren (s. Abb. 3). Wenn zusätzlich ein Seitenwind wirkt, so wird die Bewegung nicht allein durch die Gegenkraft beschrieben. Den Lernenden fällt es hierbei nicht schwer, den Seitenwind additiv zu berücksichtigen.

Das Ziel des Physikunterrichts muss es sein, diese **lebensweltlichen Erfahrungen nicht abzuwerten, sondern physikalisch zu deuten**.



Abbildung 3: Beim Kanufahren und Bootfahren nutzen Lernende die Gegenkraft, also das Reaktionsprinzip.

2.3 Entgegengesetzte Kräfte bei Sinneseindrücken und Axiom

Menschen gehen aufrecht. Das erreichen sie durch permanente Anwendung des Gleichgewichtssinns. Dieser liefert dauernd Hinweise auf einwirkende Kräfte, die es auszugleichen gilt, um nicht umzukippen. Beispielsweise verformen sich im Gleichgewichtssinn eines nach vorne beschleunigter Beobachters die Maculaorgane wie in der Abb. 4 gezeigt.

Die Maculaorgane weisen bei der Beschleunigung auf eine nach hinten gerichtete Kraft hin, die Trägheitskraft. Im Gegensatz dazu weist die Grundgleichung der Mechanik auf die nach vorne gerichtete beschleunigende Kraft hin. Dieser Gegensatz kann auf einen **Perspektivwechsel** zurückgeführt werden: Der beschleunigte Beobachter erfährt die Trägheitskraft¹, wogegen der ruhende Beobachter die beschleunigende Kraft feststellt.

Das Ziel des Physikunterrichts muss es sein, diese **Sinneseindrücke nicht abzuwerten, sondern physikalisch zu deuten**. Dieses Ziel ist für Lernende ebenso attraktiv, wie die Aufklärung von optischen Täuschungen (s. Abb. 5). Lernenden bringt es Freude, Sinneseindrücke präzise zu charakterisieren, zu benennen und physikalisch aufzuklären.

¹Ebenso weist bei einem im Kreise bewegten Beobachter das Maculaorgan auf die nach außen gerichtete Zentrifugalkraft hin, wogegen die Grundgleichung der Mechanik auf die nach innen gerichtete Zentripetalkraft hinweist.



Abbildung 4: Bei der linearen Beschleunigung verformen sich die Maculaorgane nach unten und nach hinten. So weisen sie auf die nach unten wirkende Schwerkraft und auf die nach hinten gerichtete Trägheitskraft hin.

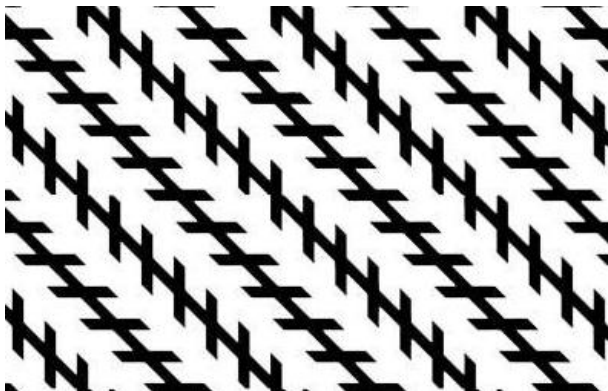


Abbildung 5: Ähnlich wie optische Täuschungen durch den „Sehsinn“ können auch „mechanische Täuschungen“ durch den Kraftsinn und den Gleichgewichtssinn für SuS interessant sein.

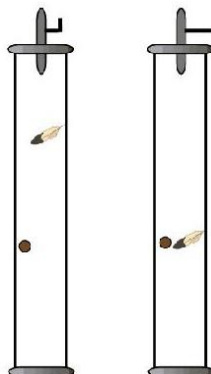


Abbildung 6: Im Vakuum fallen eine Münze und eine Feder gleich schnell.

2.4 Schülersicht

Entsprechend den oben genannten Schwierigkeiten sind diverse Schülervorstellungen bekannt, die noch nicht der fachlichen Sicht entsprechen (s. von Rhöneck u. Niedderer (2006)). Viele SuS stellen sich monotone Zusammenhänge zwischen Geschwindigkeit und Kraft vor, s. Abb. 7. Insbesondere meinen sie, ein geworfener Ball erfahre auch nach dem Abwurf noch eine aufwärts gerichtete Kraft, s. Abb. 8. Es gibt Verwechslungen von Geschwindigkeit und Beschleunigung. Auch wird vermutet, dass Gegenstände mit großer Masse besonders schnell fielen.

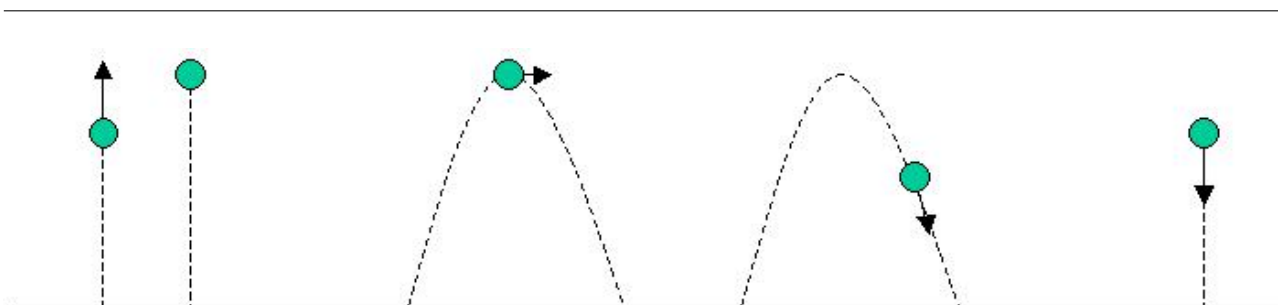


Abbildung 7: Viele SuS vermuten bei der Wurfparabel die Kräfte entsprechend den dargestellten Pfeilen.

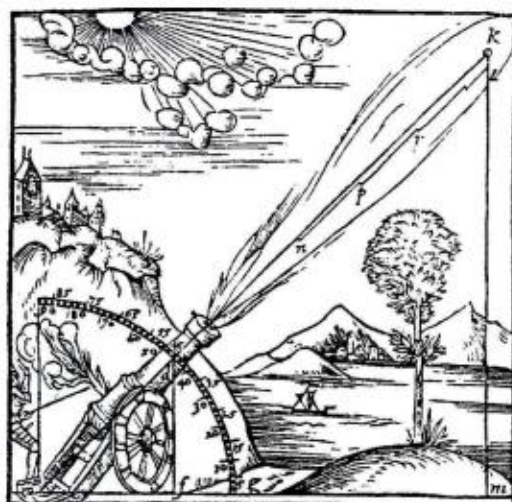


Abbildung 8: Verbreitete Vorstellung: Die Kugel erfahre auch nach dem Abschuss noch eine aufwärts gerichtete Kraft. Die Kugel falle herunter, wenn diese ausbleibt.

2.5 Mögliche pädagogische Umsetzung

Zunächst muss der Unterricht eine **wertschätzende Haltung gegenüber den Sinneseindrücken** der Lernenden einnehmen. Daher sollten diese eingebunden, charakterisiert und sachgerecht gedeutet werden.

Die gemäß dem Curriculum (s. [Beime u. a. \(2012\)](#); [Brüning u. a. \(2010\)](#); [Gehmann \(2015\)](#); ?) vorgegebene UE legt eine Gliederung in vier Unterrichtssequenzen nahe: Kinematik, Grundgleichung der Mechanik, beschleunigte Systeme mit Kreisbewegung, kinetische Energie, s. Tabelle 1. Dabei ist der in der Kinematik entwickelte Beschleunigungsbegriff grundlegend für die Grundgleichung der Mechanik. Hierbei sollte dieser Begriff bezüglich der Messverfahren, der Mathematisierung sowie der Problemlösefähigkeit gut entwickelt sein, s. Tabelle 1.

Die Grundgleichung der Mechanik muss ebenfalls gründlich behandelt werden, um die Analyse der Zentralkraft bei der Kreisbewegung vorzubereiten, s. Tabelle 1. Falls der Term für die Höhenenergie bereits als Lernvoraussetzung vorhanden ist, kann der Term zur kinetischen Energie aus diesem und der bereits experimentell fundierten Kinematik gewonnen werden.

Bei dieser UE sollte das Gelernte besonders vertieft werden, das wird auch dadurch deutlich, dass das Curriculum viele Kompetenzen zur Erkenntnisgewinnung und zahlreiche Aufgaben und Probleme ausweist, s. Tabelle 1. Die Lernstruktur und die Stundenabfolge sollten das durch eine entsprechende Verbreiterung abbilden.

Progression: Die ersten beiden Sequenzen bauen stringent aufeinander auf: In der Kinematik wird die Bewegung behandelt, während die Kraft als deren Ursache in der Grundgleichung der Mechanik bearbeitet wird. Anschließend werden beschleunigte Bewegungen behandelt. Erste das befähigt die SuS dazu, ihre mechanischen Sinneseindrücke sachgerecht zu deuten. Abschließend wird die Bewegungsenergie dem Leitgedanken Energie, dem Thema Bewegung und den vielen durch sie ermöglichten Anwendungen und Lösungsstrategien gerecht.

Relevanz für das Leben: Bereits in Tab. 1 wird auf die Bedeutung für den Straßenverkehr hingewiesen. Zudem können wir bei diesem Thema Bewegungen allgemein behandeln, etwa im Sport, in der Freizeit, bei Tieren, Fahrzeugen oder Geräten. Der Mensch nimmt sowohl die Kraft als auch die Beschleunigung durch Sinne wahr.

Schwerpunktsetzung: Da in der Klassenstufe 10 die Themen Mobilität (s. Muckenfuß u. Nordmeier (2009)) und Führerschein besonders aktuell sind, sollen in der UE Beispiele aus dem Straßenverkehr im Vordergrund stehen. Da hierbei die Gefahren vor allem durch die Trägheitskräfte zustande kommen, da diese durch den Kraftsinn und das tägliche Erleben unmittelbar bekannt sind und da die physikalische Sicht einen Perspektivwechsel erfordert, der beim Thema Kreisbewegung im Curriculum sogar als zentral angesehen wird, soll die Trägheitskraft ein zusätzlicher *Kerngedanke* der UE sein.

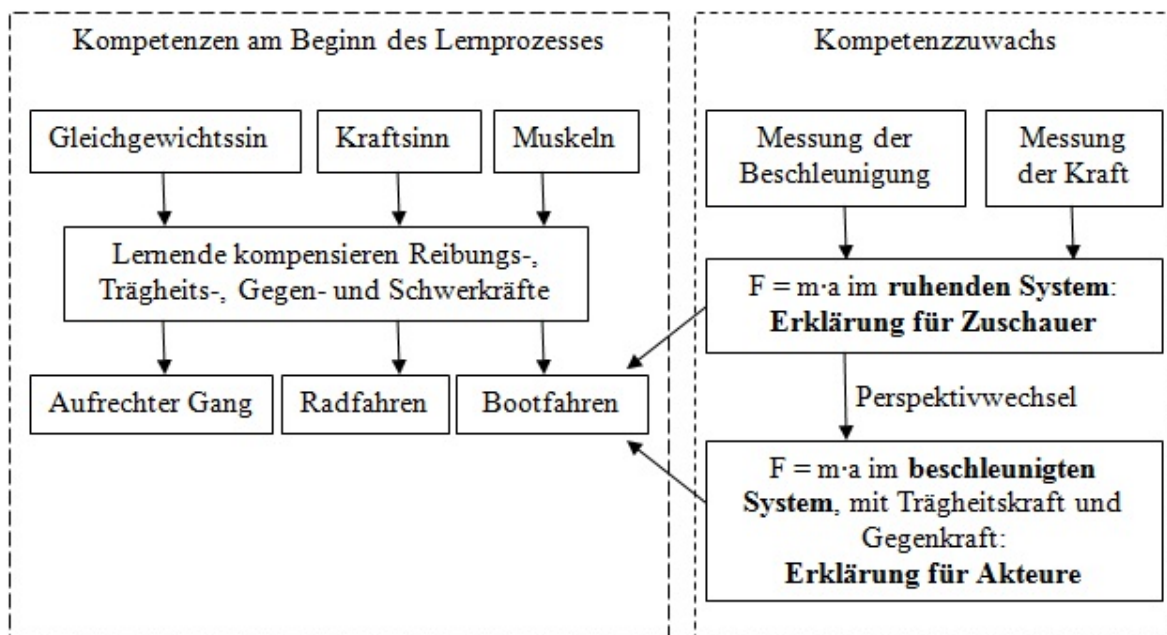


Abbildung 9: Kompetenzentwicklung: Die Lernenden können vor dem Lernprozess schon sehr viel und es ist eine wichtige pädagogische Aufgabe des Unterrichts der Newton'schen Mechanik, dass die SuS ihre bisherigen Kompetenzen im Rahmen der physikalischen Prinzipien erklären und erweitern können.

Inhaltsbezogene Kompetenzen: SuS ...	Prozessbezogene Kompetenzen: SuS ...
... beschreiben den freien Fall und den waagerechten Wurf mit Hilfe von t-s- und t-v-Zusammenhängen.	... wenden die Kenntnisse über diese Zusammenhänge zur Lösung ausgewählter Aufgaben und Probleme an. ... werten Daten aus selbst durchgeführten Experimenten aus. ... übertragen die Ergebnisse auf ausgewählte gleichmäßig beschleunigte Bewegungen ... beschreiben die Idealisierungen, die zum Begriff freier Fall führen. ... und erläutern die Ortsabhängigkeit der Fallbeschleunigung. ... übersetzen zwischen sprachlicher, grafischer und algebraischer Darstellung dieser Zusammenhänge und verwenden insbesondere die Begriffe Beschleunigung und Geschwindigkeit sachgerecht.
... nennen die Grundgleichung der Mechanik. ... erläutern die sich daraus ergebende Definition der Krafteinheit. ... erläutern die drei newtonschen Axiome.	... wenden diese Grundgleichung zur Lösung ausgewählter Aufgaben und Probleme an. ... deuten den Ortsfaktor als Fallbeschleunigung. ... wenden ihr Wissen zum Bewerten von Risiken und Sicherheitsmaßnahmen im Straßenverkehr an.
... beschreiben die gleichförmige Kreisbewegung mithilfe der Begriffe Umlaufdauer, Bahngeschwindigkeit und Zentripetalbeschleunigung. ... nennen die Gleichung für die Zentripetalkraft.	begründen die Entstehung der Kreisbewegung mittels der richtungsändernden Wirkung der Zentripetalkraft. ... unterscheiden dabei zwischen alltagssprachlicher und fachsprachlicher Beschreibung, insbesondere hinsichtlich der Vokabel Fliehkraft. ... wenden ihr Wissen zum Bewerten von Risiken und Sicherheitsmaßnahmen im Straßenverkehr an.
... nennen die Gleichung für die kinetische Energie. ... formulieren den Energieerhaltungssatz der Mechanik.	wenden diese Zusammenhänge als Alternative zur Lösung einfacher Aufgaben und Probleme an. ... planen einfache Experimente zur Überprüfung des Energieerhaltungssatzes, führen sie durch und dokumentieren die Ergebnisse. ... argumentieren mithilfe des Energieerhaltungssatzes bei einfachen Experimenten. ... wenden ihr Wissen zum Bewerten von Risiken und Sicherheitsmaßnahmen im Straßenverkehr an.

Tabelle 1: KC. Unterrichtssequenzen (Blöcke von oben): Kinematik, Grundgleichung der Mechanik, Kreisbewegung, kinetische Energie.

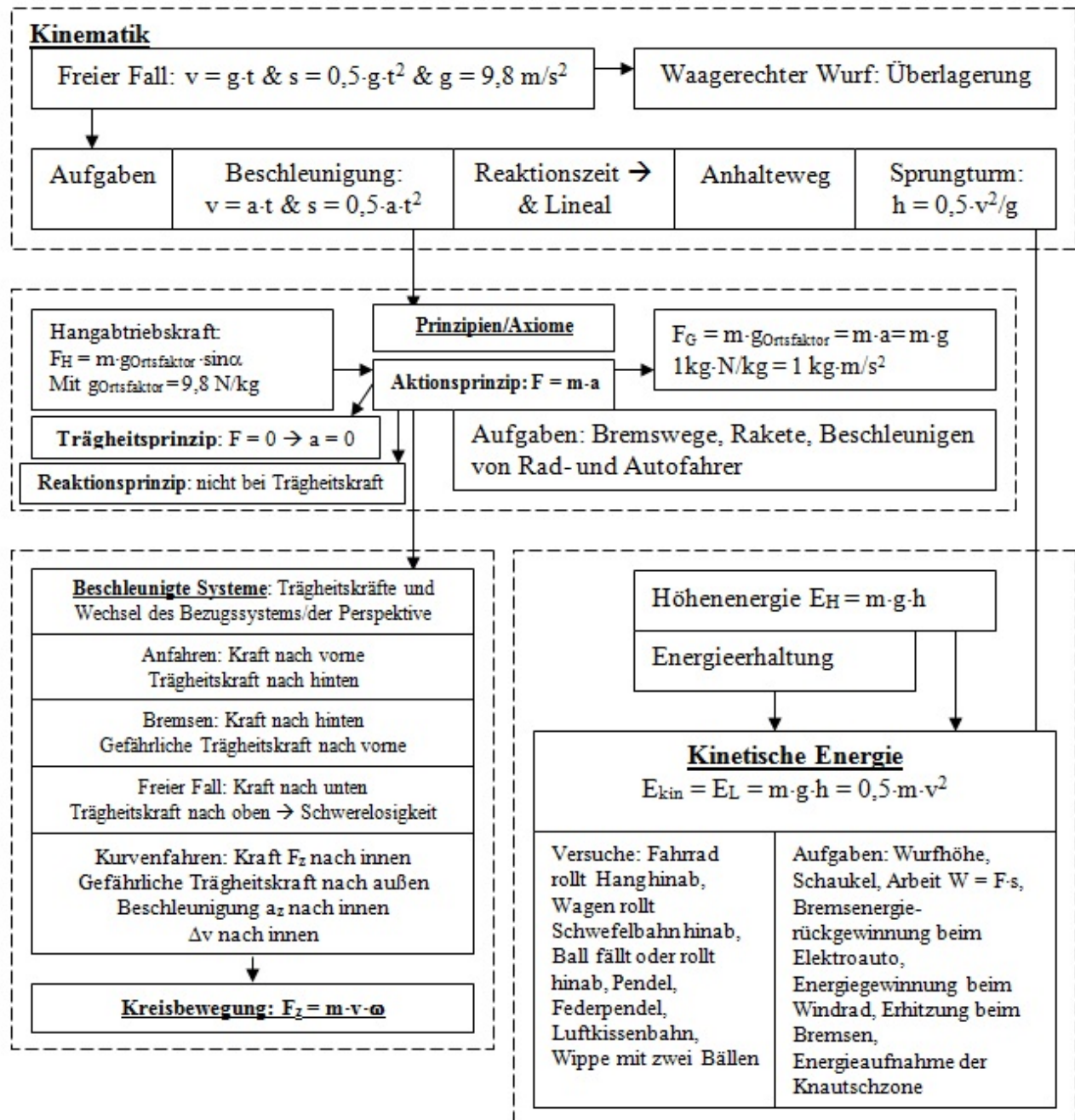


Abbildung 10: Lernstruktur zur Newtonschen Mechanik.


3 Kinematik

Eine mögliche Realisierung der Unterrichtssequenz veranschauliche ich durch einen Vorschlag für die Stundenabfolge und Kurzentwürfe für einige zentrale Stunden: Zur Bestimmung von g wird alternativ gerne ein Fallgerät verwendet; dieses liefert aber kaum die Proportionalität der

Geschwindigkeit zur Zeit. Ferner sind Stroboskopaufnahmen (s. [Boysen u. a. \(2009\)](#)) verbreitet, die aber kaum Schülerversuche ermöglichen.

Nr.	Stundenthema	Stundenlernziel
1	Bestimmen der Geschwindigkeit beim Turmspringen	Die SuS bestimmen die Auftreffgeschwindigkeit beim Turmspringen, um ihre experimentelle Kompetenz zu schulen.
2	Entdecken der Proportionalität von Geschwindigkeit und Zeit beim Freien Fall	Die SuS entdecken die Proportionalität von Geschwindigkeit und Zeit, um ihre Fachkompetenz zu schulen.
3	Bestimmen und Deuten der Erdbeschleunigung	SuS bestimmen und deuten die Erdbeschleunigung, um ihre Fachkompetenz zu schulen.
4	Bestimmen der Tiefe eines Brunnens	Die SuS bestimmen die Tiefe eines Brunnens, um ihre Mathematisierungskompetenz zu schulen.
5	Analyse der Weite eines Turmsprungs	Die SuS bestimmen die Sprungweite, um ihre Fachkompetenz zu schulen.
6	Messen der Reaktionszeit mithilfe eines Lineals	Die SuS messen die Reaktionszeit, um ihre experimentelle Kompetenz zu schulen.
7	Bestimmung eines Anhalteweges	Die SuS bestimmen den Weg, um ihre Bewertungskompetenz zu schulen.

Tabelle 2: Unterrichtssequenz Kinematik.

Freier Fall					Bild.	Strecke
1.	2.	3.	4.	5.	1	0
					2	1
					3	2
					4	4
					5	6
					6	9
					7	11
					8	14
6.	7.	8.	9.	10.	9	18
					10	22
					11	28
					12	34
					13	40
					14	47
					15	54
					16	62
					17	70
11.	12.	13.	14.	15.	18	78
					19	86
					20	94
					21	103
					22	112
					23	122
					24	132
					25	143
					26	154

Die Bildfolge stellt einen Ball dar, der beim ersten Bild losgelassen wird und anschließend zu Boden fällt. Die Kamera filmt in 1s 21 Bilder. Das Ausmessen ergibt die Tabelle am rechten Rand. Die Strecke wird in Pixel angegeben. 30px entsprechen 1,44m.

Abbildung 11: Arbeitsblatt zum fallenden Ball. Auf der Rückseite des Arbeitsblattes befinden sich im Original die übrigen Fotos.

Kurzentwurf für eine Physikstunde, Dr. Carmesin

Thema der Unterrichtssequenz: Kinematik

1) Bestimmen der Geschwindigkeit beim Turmspringen

Didaktik: KUZ: Die SuS bestimmen die Auftreffgeschwindigkeit beim Turmspringen, um ihre experimentelle Kompetenz zu schulen.

Inhaltliche Aspekte	Verhaltensaspekte dazu
LV: Momentangeschwindigkeit: $v = \Delta s / \Delta t$	Erläutern, Anwenden
LV: Digitalkamera, Maßstab, Zeit	Anwenden, Bestimmen
TZ: Modellversuch fallender Ball	Planen, Durchführen
TZ: Auftreffgeschwindigkeit	Bestimmen

Methodik: Dominantes Lehrverfahren: Problemlösend

Zeit	Didaktische Erläuterungen	Methodische Erläuterungen	Sozialform
5	<u>Hinführung:</u> 3m-Turm	Einstiegsfolie	LSG
10	<u>Problemstellung:</u>	Entwickeln der Leitfrage	LSG
15	<u>Analyse:</u> Planung	Vorschlagen	MUG
30	<u>Lösung:</u> Durchführen, Auswerten	AB, individuelle LH, themendifferenziert	GA
35	<u>Sicherung:</u> s. u.	Projektion, Reflexion	SV
45	<u>Reserve:</u> Festigung: Üben	Bestimme v für Höhen 1 m und 5 m	LSG/EA

Geplantes Tafelbild

Wie schnell trifft ein Turmspringer aus 3 m Höhe auf das Wasser?

Schätzungen: 10 km/h, 20 km/h, ...

Modellversuch: Wir werfen einen Ball aus dem Fenster filmen das Fallen.

Geplante Schülerlösung:

$$\Delta t = 1/21 \text{ s}$$

$$1,44\text{m} \rightarrow 30 \text{ px}$$

$$1 \text{ m} \rightarrow 21 \text{ px}$$

$$3 \text{ m} \rightarrow 63 \text{ px} \rightarrow \text{Bild 16}$$

$$\text{Bild 17} \rightarrow 70 \text{ px} \rightarrow \Delta s \rightarrow 7 \text{ px}; \Delta s = 0,33\text{m}$$

$$\rightarrow v = \Delta s / \Delta t = 0,33\text{m} / (1/21\text{s}) = 0,33 \cdot 21 \text{ m/s} = 7 \text{ m/s} = 25,2 \text{ km/h}$$

Ergebnisse: Der Springer hat beim Auftreffen die Momentangeschwindigkeit 25,2 km/h.

Literaturwert: 28 km/h

Die Momentangeschwindigkeit bestimmen wir als Quotient $v = \Delta s / \Delta t$.

Einstiegsbild:



Kurzentwurf für eine Physikstunde, Dr. Carmesin

Thema der Unterrichtssequenz: Kinematik

- 1) Bestimmen der Geschwindigkeit beim Turmspringen
- 2) Entdecken der Proportionalität von Geschwindigkeit und Zeit beim Freien Fall

Didaktik: KUZ: Die SuS entdecken die Proportionalität von Geschwindigkeit und Zeit, um ihre Fachkompetenz zu schulen.

Inhaltliche Aspekte	Verhaltensaspekte dazu
LV: Auswerten einer Bildfolge	Bestimmen der Geschwindigkeiten
LV: Lineare Regression	Durchführen
LV: Proportionale Zuordnung	Erkennen anhand der Ursprungsgeraden
TZ: Geschwindigkeiten und Zeiten	Bestimmen durch Auswerten.
TZ: Proportionalität	Erkennen, Begründen

Methodik: Dominantes Lehrverfahren: Entdeckenlassend

Zeit	Didaktische Erläuterungen	Methodische Erläuterungen	Sozialform
5	<u>Hinführung:</u> Ergebnisse der Vorstunde	SuS erläutern den Fallversuch, die aufgenommene Bildfolge sowie die Berechnung der Geschwindigkeit	SV
10	<u>Problemstellung:</u> Bestimme die Zuordnung $t \rightarrow v$	TA der Leitfrage, AB, Lesen, Fragen, Vermuten	LSG
30	<u>Erarbeitung:</u> Auswerten, Entdecken der Proportionalität	AB, Individuelle LH	GA
35	<u>Sicherung:</u> Präsentation der Auswertung und der Ergebnisse	Projektion, GTR, TA	SV

Geplantes Tafelbild

Wie ändert der Turmspringer seine Geschwindigkeit mit der Zeit?

Vermutungen: Je größer t , desto größer v

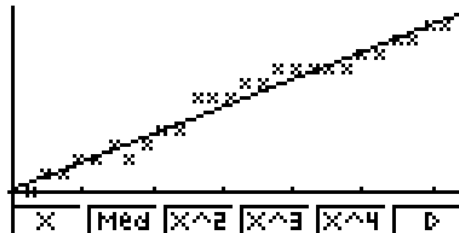
v proportional t $\sqrt{\quad}$

Ergebnis: Beim Fallen nimmt die Geschwindigkeit v proportional mit der Zeit t zu.

Geplante Schülerlösungen, alternativ manuell auf Papier

	List 1	List 2	List 3	List 4
1	1	0	0.0476	0
2	2	1	0.0952	1.008
3	3	2	0.1428	1.008
4	4	4	0.1904	2.016
5	5	6	0.238	2.016

GRAPH CALC TEST INTR DIST



LINKS: List 1: Bildnummer; List 2: Pixelnummer; Bild 3: t in s durch List 1/21; List 4: v in

$\frac{m}{s}$ durch Delta List 2 $\cdot 1,44/30 \cdot 21$. RECHTS: Graphische Darstellung: v abhängig von t

mit der Regressionsgeraden.

```

LinearReg
a =9.16194461
b =0.08064
r =0.98593825
r^2=0.97207423
y=ax+b
    
```

COPY DRAW

Lineare Regression: b ist mit 8,064 cm vernachlässigbar. Also ist v proportional zu t .

Kurzentwurf für eine Physikstunde, Dr. Carmesin

Thema der Unterrichtssequenz: Kinematik

- 1) Bestimmen der Geschwindigkeit beim Turmspringen
- 2) Entdecken der Proportionalität von Geschwindigkeit und Zeit beim Freien Fall
- 3) Bestimmen und Deuten der Erdbeschleunigung

Didaktik: KUZ: Die SuS bestimmen und deuten die Erdbeschleunigung, um ihre Fachkompetenz zu schulen.

Inhaltliche Aspekte	Verhaltensaspekte dazu
LV: $v \sim t$	Erläutern, Begründen, Anwenden
LV: Proportionalitätsfaktor	Erläutern, Bestimmen
TZ: Erdbeschleunigung	Bestimmen, Deuten
TZ: Gleichmäßig beschleunigte Bewegung	Erläutern, Erkennen

Methodik: Dominantes Lehrverfahren: Interaktiv erarbeitend

Zeit	Didaktische Erläuterungen	Methodische Erläuterungen	Sozialform
5	<u>Hinführung:</u> Ergebnisse der Vorstunde	SuS erläutern den Fallversuch und die Proportionalität	SV
10	<u>Aufgabenstellung:</u> v/t	TA der Leitfrage, AB, Vermuten	LSG
	<u>Erarbeitung:</u> Berechnen	AB, Individuelle LH	LSG/SSG
30	<u>Deuten, Bezeichnen, s. u.</u>	Aushandeln	
35	<u>Sicherung:</u> Zusammenfassen der Ergebnisse	TA	SV
	Alternatives Stundenende		
45	<u>Festigung:</u> Üben, Buch	Lösen	PA

Anlage 1: Geplantes Tafelbild

Was bedeutet der Proportionalitätsfaktor v/t ?

Vermutungen: Schwerkraft

Beschleunigung \checkmark

$$\frac{\Delta v}{\Delta t} = 9,16 \frac{m}{s^2}$$

Ergebnis: Beim Fallen ist die Geschwindigkeitsänderung Δv pro Zeit Δt eine Konstante.

Bezeichnungen: Die Geschwindigkeitsänderung Δv pro Zeit Δt heißt Beschleunigung, $a =$

$$\frac{\Delta v}{\Delta t}. \text{ Das Formelzeichen ist } a \text{ (Engl. Acceleration).} \quad \text{Einheit: } 1 \frac{m}{s^2}$$

Die Beschleunigung ist die Steigung der Ursprungsgeraden im v - t -Diagramm,

Eine Bewegung, bei der die Geschwindigkeit proportional mit der Zeit zunimmt, heißt

gleichmäßig beschleunigt.

Die Beschleunigung beim Fallen ohne Luftwiderstand heißt Erdbeschleunigung g . Es ist $g =$

$$9,16 \frac{m}{s^2}, \text{ Literaturwert: } g = 9,81 \frac{m}{s^2}$$

Kurzentwurf für eine Physikstunde, Dr. Carmesin

Thema der Unterrichtssequenz: Kinematik

- 1) Bestimmen der Geschwindigkeit beim Turmspringen
- 2) Entdecken der Proportionalität von Geschwindigkeit und Zeit beim Freien Fall
- 3) Bestimmen und Deuten der Erdbeschleunigung
- 4) Bestimmen der Tiefe eines Brunnens

Didaktik: KUZ: Die SuS bestimmen die Tiefe eines Brunnens, um ihre Mathematisierungskompetenz zu schulen.

Inhaltliche Aspekte	Verhaltensaspekte dazu
LV: Geschwindigkeits-Zeit-Gesetz beim Fallen	Erläutern, Begründen, Anwenden
LV: Mittelwert $\bar{v} = (v_1+v_2)/2$; $s = \bar{v} \cdot t$	Erläutern, Anwenden
TZ: Steinwurfmethode	Erklären
TZ: Tiefe	Berechnen

Methodik: Dominantes Lehrverfahren: Problemlösend

Zeit	Didaktische Erläuterungen	Methodische Erläuterungen	Sozialform
5	<u>Einstieg:</u> Brunnentiefe	Einstiegsbild	LSG
8	<u>Problemstellung:</u> Tiefe	TA der Leitfrage	LSG
15	<u>Analyse:</u> Methode	Vorschlagen	MUG
35	<u>Lösen, s. u.</u>	Berechnen	
40	<u>Sicherung:</u> Ergebnisse, Verallgemeinern, s.u.	TA	SV
	Alternatives Stundenende		
45	<u>Festigung:</u> Üben, Buch	Lösen	PA

Anlage 1: Geplantes Tafelbild

Wie tief ist der Brunnen?

Vermutungen: 240 m, 200 m, ...

Ideen: Steinwurf mit Messung der Falldauer

$s = v \cdot t$; $v = g \cdot t$; $s = \bar{v} \cdot t$ oder Auswertung eines Videos

Beobachtung: Wenn man einen Stein in den Brunnen wirft, dann hört man 5,6 s später den Aufschlag.

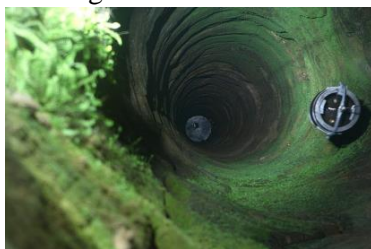
Ergebnisse: Der Brunnen ist 154 m tief.

Wenn ein Körper eine Beschleunigung a erfährt, dann legt er in einer Zeit t die Strecke $s = 0,5 \cdot a \cdot t^2$ zurück.

Geplante Schülerlösung:

$$s = \bar{v} \cdot t = 0,5 \cdot g \cdot t^2 = 154 \text{ m.}$$

Einstiegsbild:



Festung Königstein, 240 m über der Elbe

Kurzentwurf für eine Physikstunde, Dr. Carmesin

Thema der Unterrichtssequenz: Kinematik

- 1) Bestimmen der Geschwindigkeit beim Turmspringen
- 2) Entdecken der Proportionalität von Geschwindigkeit und Zeit beim Freien Fall
- 3) Bestimmen und Deuten der Erdbeschleunigung
- 4) Bestimmen der Tiefe eines Brunnens
- 5) Analyse der Weite eines Turmsprungs

Didaktik: KUZ: Die SuS bestimmen die Sprungweite, um ihre Fachkompetenz zu schulen.

Inhaltliche Aspekte	Verhaltensaspekte dazu
LV: Geschwindigkeit beim Fallen	Berechnen
LV: Versuch zum Fallen mit Video	Planen, Erstellen, Auswerten
TZ: Versuch zum waagerechten Wurf mit Video	Planen, Erstellen, Auswerten
TZ: Prinzip der Trennbarkeit der Bewegungskomponenten	Erläutern, Anwenden

Methodik: Dominantes Lehrverfahren: Entdeckenlassend

Zeit	Didaktische Erläuterungen	Methodische Erläuterungen	Sozialform
5	<u>Einstieg:</u> Turmspringer	Einstiegsbild, beschreiben	LSG
10	<u>Problemstellung:</u> Weite	TA der Leitfrage	LSG
	<u>Analyse:</u> Ideen, Versuchsplanung		MUG
30	<u>Lösen:</u> Berechnen, Versuch	Durchführen, Auswerten, Berechnen Themendifferenziert	
35	<u>Sicherung:</u> SV der Ergebnisse	Projektion, TA	SV
	Alternatives Stundenende		
45	<u>Festigung:</u> Üben, Buch	Lösen	PA

Anlage 1: Geplantes Tafelbild

Wie weit kommt der Turmspringer?

Ideen: $4 \text{ m/s} \cdot \text{Falldauer}$ ✓

Die waagerechte und die senkrechte Komponente der Bewegung können wir einzeln

betrachten. ✓

Überprüfungsversuch: Videoaufnahme eines waagerechten Wurfs

Ergebnis: Beim waagerechten Wurf bleibt die waagerechte Geschwindigkeitskomponente konstant. Die senkrechte Geschwindigkeitskomponente nimmt wie beim senkrechten Fallen zu.

Geplantes Schülerergebnis: $y = 0,5 \cdot g \cdot t^2 \rightarrow t = (2y/g)^{0,5} = 1,4 \text{ s} \rightarrow x = 1,4 \text{ s} \cdot 4 \text{ m/s} = 5,6 \text{ m}$

Einstiegsbild:



Olympische Spiele 1908: Höhe 10 m
Anlaufgeschwindigkeit: 4 m/s

Kurzentwurf für eine Physikstunde, Dr. Carmesin

Thema der Unterrichtssequenz: Kinematik

- 1) Bestimmen der Geschwindigkeit beim Turmspringen
- 2) Entdecken der Proportionalität von Geschwindigkeit und Zeit beim Freien Fall
- 3) Bestimmen und Deuten der Erdbeschleunigung
- 4) Bestimmen der Tiefe eines Brunnens
- 5) Analyse der Weite eines Turmsprungs
- 6) Messen der Reaktionszeit mithilfe eines Lineals

Didaktik: KUZ: Die SuS messen die Reaktionszeit, um ihre experimentelle Kompetenz zu schulen.

Inhaltliche Aspekte	Verhaltensaspekte dazu
LV: $s = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$	Erläutern, Anwenden
LV: Reaktionszeit	Erläutern, Erkennen
DS: Versuch	Planen, Durchführen, Auswerten
DS: Reaktionszeit	Messen

Methodik: Dominantes Lehrverfahren: Problemlösend

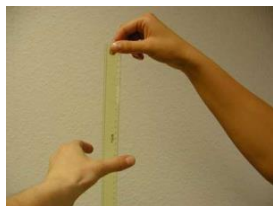
Zeit	Didaktische Erläuterungen	Methodische Erläuterungen	Sozialform
5	<u>Hinführung:</u> Reaktionszeit	SuS erläutern, schätzen	LSG
10	<u>Problemstellung:</u> Messung mit Lineal	Entwickeln der Leitfrage	LSG
15	<u>Analyse:</u> Planung	Vorschlagen	Murmelt.
25	<u>Lösung:</u> Durchführen, Auswerten	Individuelle LH	GA
30	<u>Sicherung:</u> s. u.	Folie	SV
45	<u>Konsolidierung:</u> Bestimmen des Schnellsten der Klasse	Wettkampf nach K.-o.-System	SSG

Anlage 1: Geplantes Tafelbild

Geschätzte Reaktionszeit: 0,3 s; 0,2 s; 0,4 s

Wie messen wir die Reaktionszeit mit einem Lineal?

Ideen:



$$s = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$$

Ergebnis: Der Versuchsleiter lässt ein Lineal fallen. Die Versuchsperson muss es möglichst früh anhalten. Die Reaktionszeit t hängt von der Fallstrecke s wie folgt ab: $t = \sqrt{\frac{2s}{g}}$

Kurzentwurf für eine Physikstunde, Dr. Carmesin

Thema der Unterrichtssequenz: Kinematik

- 1) Bestimmen der Geschwindigkeit beim Turmspringen
- 2) Entdecken der Proportionalität von Geschwindigkeit und Zeit beim Freien Fall
- 3) Bestimmen und Deuten der Erdbeschleunigung
- 4) Bestimmen der Tiefe eines Brunnens
- 5) Analyse der Weite eines Turmsprungs
- 6) Messen der Reaktionszeit mithilfe eines Lineals
- 7) Bestimmung eines Anhalteweges

Didaktik: KUZ: Die SuS bestimmen den Weg, um ihre Bewertungskompetenz zu schulen.

Inhaltliche Aspekte	Verhaltensaspekte dazu
LV: $s = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$	Erläutern, Anwenden
LV: Reaktionszeit	Erläutern, Erkennen, Einschätzen
DS: $s = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$	Begründen für Bremsvorgang
DS: Formel für Bremsdauer	Herleiten
DS: Formel für Anfangsgeschwindigkeit	Herleiten
DS: Verfügbarer Anhalteweg	Berechnen
DS: Anhalteweg bei 40 km/h	Berechnen

Methodik: Dominantes Lehrverfahren: Problemlösend

Zeit	Didaktische Erläuterungen	Methodische Erläuterungen	Sozialform
5	<u>Hinführung:</u> Unfallschilderung	Skizze am OHP	LSG
10	<u>Problemstellung:</u> AB	Lesen, Entwickeln der Leitfrage	LSG
15	<u>Analyse:</u> Planung	Vorschlagen	Murmelg.
35	<u>Lösung:</u> Herleiten, begründen	Individuelle LH, binnendifferenzierte Begründung	GA
45	<u>Sicherung:</u> s. u.	Folie	SV

Geplantes Tafelbild

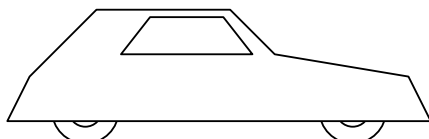
Wäre der Unfall bei 40 km/h vermieden worden?

Ideen: Bremsweg $s_B = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 \rightarrow t = \dots \rightarrow v = a \cdot t$

Reaktionsweg $S_R = v \cdot t$; Anhalteweg $S_A = S_R + S_B$

Ergebnis: Der Unfall hätte fast verhindert werden können.

Einstiegsfolie

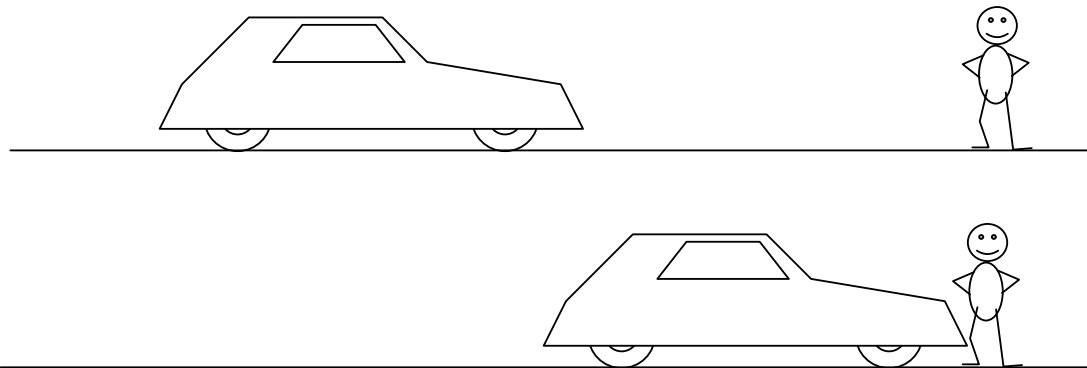


Geplante Folien der SuS

$$s_B = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 \rightarrow t = \sqrt{\frac{2s_B}{a}} \rightarrow v = a \cdot t = \sqrt{2a \cdot s_B} = 50,27 \text{ km/h}$$

Freie Wegstrecke: $S = S_R + 5,3 \text{ m} = 24,85 \text{ m}$

Anhalteweg bei 40 km/h: $S = S_R + S_B = 40 \text{ km/h} \cdot t_R + \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 = 24,95 \text{ m}$



Gutachten

Es handelt sich hier um einen Unfall zwischen einem Kind, das auf die Fahrbahn gelaufen ist, und einem Pkw, der eine innerstädtische Straße befuhr ...

Die Beweisfrage geht dahin, ob unter bestimmten Voraussetzungen der Beklagte in der Lage war, sein Fahrzeug zum Stehen zu bringen und den Unfall zu verhindern ...

Auf trockener Asphaltdecke wird bei einer Vollbremsung mit Verursachung einer Blockierspur in der Regel eine Bremsverzögerung erreicht, die zwischen 7 m/s^2 und 8 m/s^2 liegt. Im vorliegenden Fall wurde offensichtlich die Fußkraft nur so weit gesteigert, dass es nicht zu einem vollen Blockieren kam. Die Bremskräfte der spurzeichnenden Räder, im Normalfall der Vorderräder, sind hier größer als im Blockierzustand. Allerdings werden die Hinterräder noch nicht so stark abgebremst wie bei sehr hoher Fußkraft. Insofern ist von einer verringerten Bremswirkung gegenüber einer Vollbremsung mit Blockierspur auszugehen. Im vorliegenden Fall wird eine Bremsverzögerung von $6,5 \text{ m/s}^2$ als realistisch angesehen. Damit ergibt sich bei einer festgestellten Spurlänge von etwas über 15 m gerade eine Geschwindigkeit des Pkw von km/h bei Spurbeginn.

Nach den Empfehlungen vom 20. Verkehrsrichtertag in Goslar sind situationsbedingte Reaktionsdauern zu berücksichtigen. Bei der hier vorliegenden Situation kann man davon ausgehen, dass eine Blickzuwendung erforderlich wurde ...

Die Reaktionsdauer einschließlich der Blickbewegung liegt dann bei 1,4 s. Eine derartige Reaktionsdauer ist für den Fall anzusetzen, dass der Blick nicht ohnehin schon in diese Richtung gerichtet war ...

Vor der Kollision wurde das Fahrzeug schon auf einer Strecke von 5,3 m abgebremst. Wenn man zusätzlich die während der Reaktionsdauer zurückgelegte Strecke berücksichtigt, ergibt sich ..., dass für eine Fahrgeschwindigkeit von etwas unter 40 km/h der Unfall bei gleichartiger Reaktion hätte vermieden werden können.

- 1) Mit welcher Geschwindigkeit v_0 näherte sich das Auto dem Kind?
- 2) Untersuchen Sie, ob die Einschätzung des Sachverständigen zutrifft.

4 Aktionsprinzip, Trägheitsprinzip, Reaktionsprinzip

Die drei Newton'schen Axiome behandeln unbeschleunigte Systeme. Da der Mensch oft selbst beschleunigt ist und das mit seinem Gleichgewichtssinn permanent spürt (s. Carmesin (2014a)), befähigen die drei Prinzipien die Schülerinnen und Schüler zwar nicht, ihre Lebenswelt und Sinneseindrücke zu erklären und zu verstehen, aber diese drei Prinzipien sind die zentrale Grundlage hierfür. Insofern sind die Newton'schen Axiome genial einfach, viel einfacher als die mechanischen Sinneseindrücke des Menschen.

Eine mögliche Realisierung wichtiger Teile der Unterrichtssequenz skizziere ich im Folgenden. Ein alternativer Zugang, der ebenfalls Schülerversuche einsetzt, nutzt bei den SuS vorhandene Digitalkameras zur Aufzeichnung der Bewegung. Weitere gängige experimentelle Möglichkeiten sind durch Luftkissenbahnen oder Ultraschallsensoren gegeben. Auch sind Beschleunigungssensoren einsetzbar; damit diese für die SuS unmittelbar vorstellbar werden, können wir in diesem Zusammenhang das entsprechende Sinnesorgan behandeln (s. Schmidt u. Thews (1995), Carmesin (2014a) und Abb. 15).

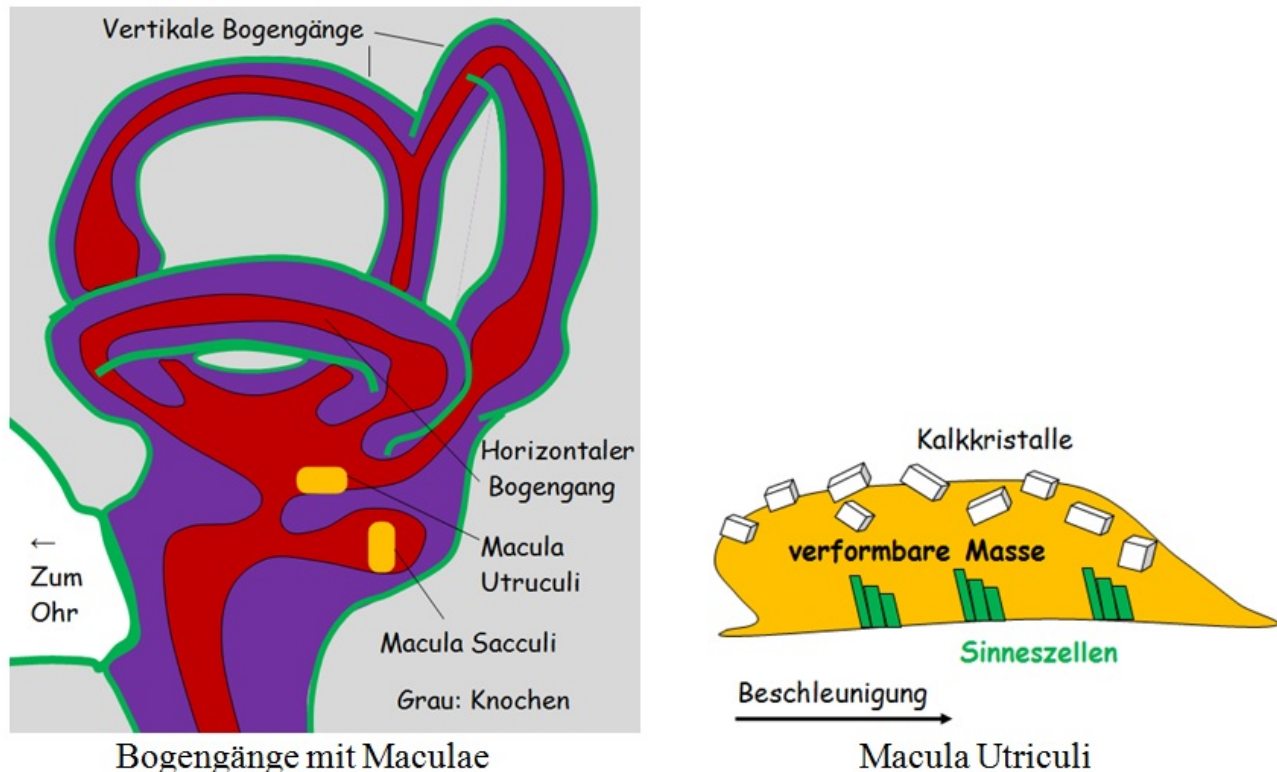


Abbildung 12: Sinnesorgan für Beschleunigung: Der Mensch hat im Innenohr Sinnesorgane, welche die Beschleunigung erfassen, s. o., sogenannte Makulaorgane. Am oberen Ende einer Galertschicht (Statolithenmembran) befinden sich Kalkkristalle (Statolithen).

Nr.	Stundenthema	Stundenlernziel
1	Wiederholung zur Hangabtriebskraft	Die SuS bestimmen die Kraft, um ihre Fachkompetenz zu schulen.
2	Geschwindigkeitsmessung mit der Schwefelbahn	Die SuS bestimmen die Geschwindigkeit mit der Schwefelbahn, um ihre experimentelle Kompetenz zu schulen.
3	Entdecken der Proportionalität der Beschleunigung zur Kraft	Die SuS entdecken die Proportionalität, um ihre experimentelle Kompetenz zu schulen.
4	Entdecken der Proportionalität der beschleunigenden Kraft zur Masse bei konstanter Beschleunigung	Die SuS entdecken die Proportionalität, um ihre experimentelle Kompetenz zu schulen.
5	Entwickeln der Grundgleichung der Mechanik	Die SuS entwickeln die Gleichung, um ihre Fachkompetenz zu schulen.
6	Experimentieren zum Trägheitsprinzip	Die SuS experimentieren zum Trägheitsprinzip, um ihre Fachkompetenz zu schulen.
7	Experimentieren zum Reaktionsprinzip	Die SuS experimentieren zum Trägheitsprinzip, um ihre Fachkompetenz zu schulen.

Tabelle 3: Unterrichtssequenz Grundgleichung der Mechanik.

Kurzentwurf für eine Physikstunde

Thema der Unterrichtssequenz: Grundgleichung der Mechanik

1) Wiederholen der Hangabtriebskraft

Didaktik: KUZ: Die SuS bestimmen die Kraft, um ihre Fachkompetenz zu schulen.

Inhaltliche Aspekte	Verhaltensaspekte dazu
LV: Kräfteparallelogramm	Erläutern, Bestimmen
LV: Hangabtriebskraft	Erläutern, Bestimmen
DS: Hangabtriebskraft	Bestimmen, Berechnen

Methodik: Dominantes Lehrverfahren: Aufgebend erarbeitend

Zeit	Didaktische Erläuterungen	Methodische Erläuterungen	Sozialform
5	<u>Hinführung:</u> Zugspitzbahn	Einstiegsfolie	LSG
10	<u>Aufgabenstellung:</u>	Entwickeln der Leitfrage	LSG
15	<u>Erarbeitung 1:</u> Ideen, zeichnerische Lösung, rechnerische Lösung	Vorschlagen	MUG
30	<u>Erarbeitung 2:</u> Durchführen	Zeichnen, Rechnen, Formulieren	GA
35	<u>Sicherung:</u> s. u.	Projektion	SV
45	<u>Reserve:</u> Festigung: Üben	AB	LSG/EA

Geplantes Tafelbild

Welche Kraft wirkt muss die Zugspitzbahn mindestens voran treiben?

Schätzungen: 2000 N, 2000 000 N ...

Ideen: Kräfteparallelogramm, Komponentenzerlegung.

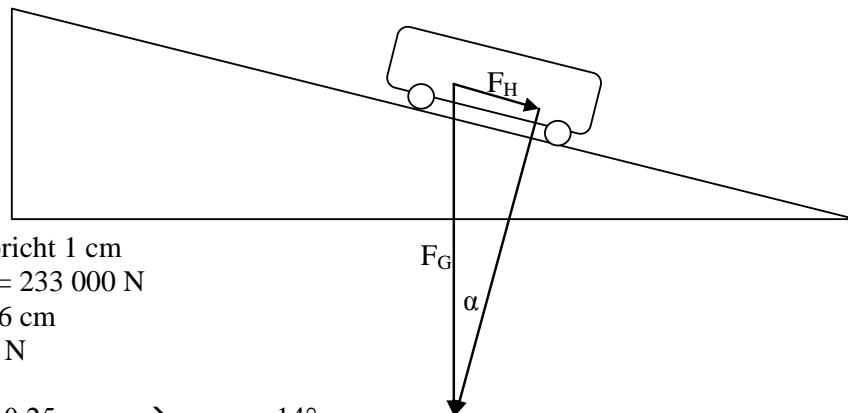
Geplante Schülerlösung:

Zeichnerische Lösung:

Maßstab: 50 000 N entspricht 1 cm
 $F_G = 23300 \text{ kg} \cdot 10 \text{ N/kg} = 233\ 000 \text{ N}$
 233 000 N entspricht 4,66 cm
 1,1 cm entspricht 55 000 N

Rechnerische Lösung:

Neigungswinkel: $\tan \alpha = 0,25 \quad \rightarrow \quad \alpha = 14^\circ$
 $F_H = F_G \cdot \sin \alpha = 56\ 368 \text{ N}$



Ergebnis: Wenn ein Wagen mit einer Gewichtskraft F_G auf einer Fahrbahn mit einem Neigungswinkel α steht, dann wirkt auf ihn die Kraftkomponente $F_H = F_G \cdot \sin \alpha$ parallel zur Fahrbahn. Diese Kraftkomponente nennt man Hangabtriebskraft.



Einstiegsbild:

Zugspitzbahn: Steigung 25 %; Masse 23,3 t

Kurzentwurf für eine Physikstunde, Dr. Carmesin

Thema der Unterrichtssequenz: Grundgleichung der Mechanik

- 1) Wiederholen der Hangabtriebskraft
- 2) Geschwindigkeitsmessung mit der Schwefelbahn

Didaktik: KUZ: Die SuS bestimmen die Geschwindigkeit mit der Schwefelbahn, um ihre experimentelle Kompetenz zu schulen.

Inhaltliche Aspekte	Verhaltensaspekte dazu
LV: Wechselstrom	Erläutern
LV: Geschwindigkeit $v = \Delta s / \Delta t$	Erläutern, Berechnen
TZ: Geschwindigkeit auf der Schwefelbahn	Bestimmen, Auswerten

Methodik: Dominantes Lehrverfahren: Aufgebend erarbeitend

Zeit	Didaktische Erläuterungen	Methodische Erläuterungen	Sozialform
5	<u>Hinführung:</u> Schwefelbahn	Beschreiben	LSG
10	<u>Aufgabenstellung:</u>	Entwickeln der Leitfrage	LSG
15	<u>Erarbeitung 1:</u> Ideen	Vorschlagen	MUG
30	<u>Erarbeitung 2:</u> Durchführen	Experimentieren, Auswerten	GA
35	<u>Sicherung:</u> s. u.	Projektion, Reflexion	SV
45	<u>Reserve:</u> Festigung: Üben	AB	LSG/EA

Geplantes Tafelbild

Wie bestimmt man die Geschwindigkeit mit der Schwefelbahn?

Ideen: Markierungen, 50 Hz, $\Delta t = 0,02$ s

Geplante Schülerlösung:

$$\Delta t = 0,02 \text{ s}$$

$$\Delta s = 2,3 \text{ mm} \rightarrow v = \Delta s / \Delta t = 115 \text{ mm/s} = 0,115 \text{ m/s}$$

Ergebnis: Man verteilt den Schwefel mit dem Pinsel gleichmäßig.

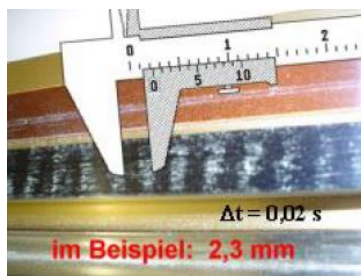
Man rollt den Wagen über die Bahn.

Man misst den Abstand Δs zwischen benachbarten Streifen.

Man berechnet $v = \Delta s / 0,02$ s.

Arbeitsblatt, Klasse 10, Dr. Carmesin,

2013



- 1) Bestimme die Geschwindigkeit.
- 2) Mit der Schwefelbahn wurden folgende Werte gemessen. Bestimme die Geschwindigkeiten.

Δs in mm	1	4	9	16
v in m/s				

Kurzentwurf für eine Physikstunde, Dr. Carmesin

Thema der Unterrichtssequenz: Grundgleichung der Mechanik

- 1) Wiederholung zur Hangabtriebskraft
- 2) Geschwindigkeitsmessung mit der Schwefelbahn
- 3) Entdecken der Proportionalität der Beschleunigung zur Kraft

Didaktik: KUZ: Die SuS entdecken die Proportionalität, um ihre experimentelle Kompetenz zu schulen.

Inhaltliche Aspekte	Verhaltensaspekte dazu
LV: $F_H = m \cdot g \cdot \sin \alpha$	Erläutern, Anwenden
LV: $s = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$	Erläutern, Anwenden
TZ: Versuch mit variablem α & $m = \text{konst.}$	Planen
TZ: Versuch mit $a = \frac{2s}{t^2}$	Durchführen und Auswerten
TZ: $F \sim a$	Begründen

Methodik: Dominantes Lehrverfahren: Problemlösend

Zeit	Didaktische Erläuterungen	Methodische Erläuterungen	Sozialform
5	<u>Hinführung:</u> MD 80 beim Start	Einstiegsfolie, s. Kasten auf AB1	LSG
10	<u>Problemstellung:</u>	Entwickeln der Leitfrage	LSG
15	<u>Analyse:</u> Planung	Vorschlagen	MUG
30	<u>Lösung:</u> Versuch	Individuelle LH	GA
35	<u>Sicherung:</u> s. u.	Projektion, Reflexion	SV
45	<u>Festigung:</u> Üben, HA stellen	AB2	LSG/EA

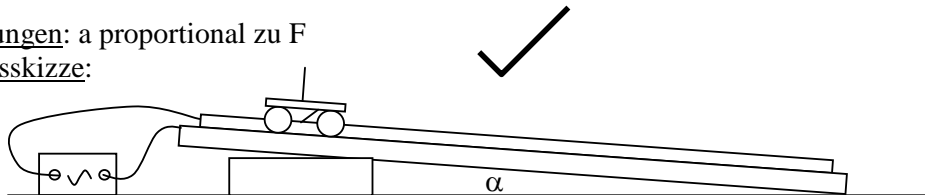
Geplantes Tafelbild

Welche Beschleunigung hat eine MD 80 mit einem Triebwerk?

Wie hängt a von F ab?

Vermutungen: a proportional zu F

Versuchsskizze:



Ergebnisse: Die verursachte Beschleunigung ist proportional zur verursachenden Kraft.
Beschleunigung mit einem Triebwerk: $1,5 \text{ m/s}^2$

Geplante Folien der SuS: $F_H = m \cdot g \cdot \sin \alpha;$ $a = \frac{2s}{t^2}$

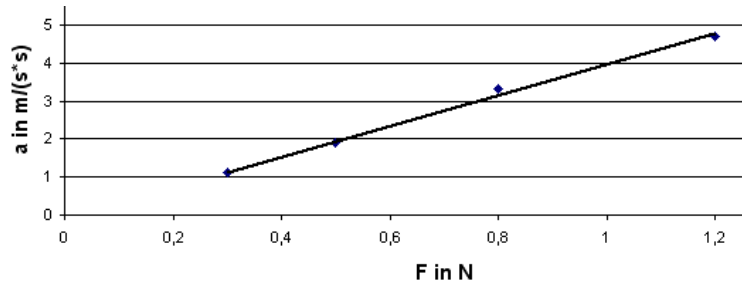
halbe Kraft

↓

halbe Beschleunigung

↓

$a = 1,5 \text{ m/s}^2$



Wie hängt die Beschleunigung von der Kraft ab?

Hintergrund: Triebwerksausfall allein ist noch keine Absturzursache

Reise Journal Reise, 02.09.2008, Frank Roznicki



Nach ersten Angaben gilt ein Triebwerksausfall als mögliche Ursache für den Absturz von Madrid. Doch Triebwerksausfälle sind äußerst selten. Und wenn sie auftreten, führen sie nicht zwangsläufig zum Absturz.

MD 80 beim Start
2 Triebwerke liefern 180 kN Schubkraft und beschleunigen mit 3 m/s^2
1 Triebwerk hätte das Flugzeug noch mit $1,4 \text{ m/s}^2$ beschleunigen müssen.

Plane einen Versuch mit der Schwefelbahn.

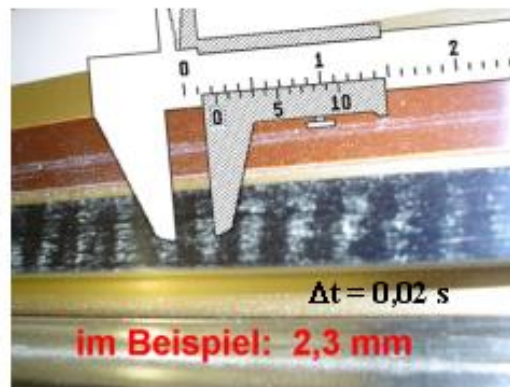
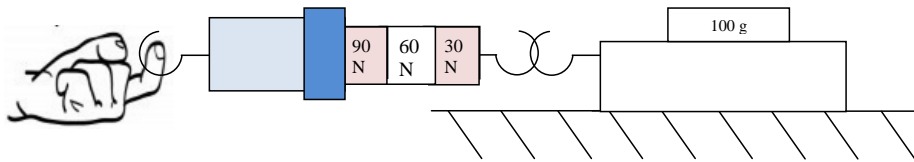


Abbildung 13: Arbeitsblatt zur Proportionalität der Beschleunigung zur Kraft.

- 1) Ein Auto hat eine Masse von 1,5 t und der Antrieb übt eine Kraft von 7500 N nach vorne auf das Auto aus. Bestimme die Beschleunigung.



- 2) Beim Start hat die Ariane 5 eine Masse von 750 t und das Triebwerk übt eine Kraft von 17,5 MN senkrecht nach oben auf die Rakete aus. Bestimme die Beschleunigung.



- 3) Ein Holzklotz wird mit verschiedenen Massestücken beladen und erhält so eine variable Masse m sowie eine Gewichtskraft F_G . Der Klotz wird mit einer Zugkraft F_Z mit konstanter Geschwindigkeit über einen Tisch gezogen.

- a) Werte die Messergebnisse aus:

F_G in N	2	3	4	5	6
F_Z in N	1,45	2	2,9	3,4	4,15

- b) Wenn F_Z proportional zu F_G ist, dann heißt der Proportionalitätsfaktor F_Z/F_G Gleitreibungskoeffizient μ . Bestimme für diesen Fall μ .
 c) Der Klotz mit der Gewichtskraft $F_G = 2 \text{ N}$ wird mit einer Zugkraft von $F_Z = 2 \text{ N}$ gezogen. Berechne die Beschleunigung.

Abbildung 14: Aufgabenblatt zur Proportionalität der Beschleunigung zur Kraft. Um Untergeneralisierungen vorzubeugen werden resultierende Kräfte und Reibungskräfte berücksichtigt.

Kurzentwurf für eine Physikstunde, Dr. Carmesin

Thema der Unterrichtssequenz: Grundgleichung der Mechanik

- 1) Wiederholung zur Hangabtriebskraft
- 2) Geschwindigkeitsmessung mit der Schwefelbahn
- 3) Entdecken der Proportionalität der Beschleunigung zur Kraft
- 4) Entdecken der Proportionalität der beschleunigenden Kraft zur Masse bei konstanter Beschleunigung

Didaktik: KUZ: Die SuS entdecken die Proportionalität, um ihre experimentelle Kompetenz zu schulen.

Inhaltliche Aspekte	Verhaltensaspekte dazu
LV: $F_H = m \cdot g \cdot \sin \alpha$	Erläutern, Anwenden
LV: $s = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$	Erläutern, Anwenden
TZ: Versuch mit variablem m; Vermutung: konstantes α führt zu konstantem a	Planen
TZ: Versuch mit $a = \frac{2s}{t^2}$	Durchführen und Auswerten
TZ: $F \sim m$	Begründen

Methodik: Dominantes Lehrverfahren: Erarbeitend

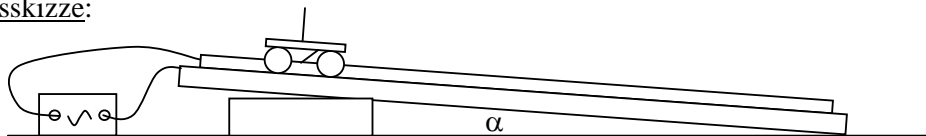
Zeit	Didaktische Erläuterungen	Methodische Erläuterungen	Sozialform
5	<u>Hinführung:</u> MD 80 beim Start, wäre geringe Masse günstig?	Einstiegsfolie s. Vorstunde	LSG
10	<u>Aufgabenstellung:</u>	Entwickeln der Leitfrage	LSG
15	<u>Analyse:</u> Planung	Vorschlagen	MUG
30	<u>Lösung:</u> Versuch	Individuelle LH	GA
35	<u>Sicherung:</u> s. u.	Projektion, Reflexion	SV
45	<u>Festigung:</u> Üben, HA stellen	AB	LSG/EA

Geplantes Tafelbild

Wie hängt F von m ab?

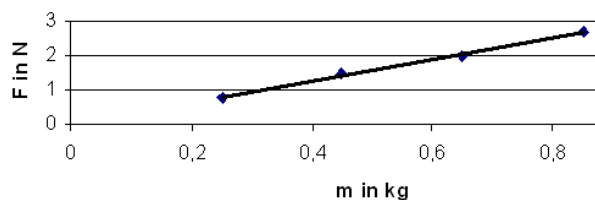
Vermutungen: F proportional zu m, bei konstanter Beschleunigung
Gleiche Neigungswinkel führen zu gleichen Beschleunigungen

Versuchsskizze:



Ergebnisse: Bei konstanter Beschleunigung ist die beschleunigende Kraft proportional zur beschleunigten Masse.

Geplante Folien der SuS: $F_H = m \cdot g \cdot \sin \alpha;$ $a = \frac{2s}{t^2}$



Kurzentwurf für eine Physikstunde, Dr. Carmesin

Thema der Unterrichtssequenz: Grundgleichung der Mechanik

- 1) Wiederholung zur Hangabtriebskraft
- 2) Geschwindigkeitsmessung mit der Schwefelbahn
- 3) Entdecken der Proportionalität der Beschleunigung zur Kraft
- 4) Entdecken der Proportionalität der beschleunigenden Kraft zur Masse bei konstanter Beschleunigung
- 5) Entwickeln der Grundgleichung der Mechanik

Didaktik: KUZ: Die SuS entwickeln die Gleichung, um ihre Fachkompetenz zu schulen.

Inhaltliche Aspekte	Verhaltensaspekte dazu
LV: $F \sim a$, $F \sim m$	Erläutern, Begründen
LV: Kombinieren von Proportionalitäten	Erläutern, Anwenden
TZ: $F \sim m \cdot a$	Herleiten
TZ: $F = m \cdot a$	Begründen, Anwenden

Methodik: Dominantes Lehrverfahren: Interaktiv erarbeitend

Zeit	Didaktische Erläuterungen	Methodische Erläuterungen	Sozialform
5	<u>Hinführung:</u> Ergebnisse der Vorstunde	SuS erläutern die Versuche und die Proportionalitäten	SV
10	<u>Aufgabenstellung:</u>	TA der Leitfrage	LSG
30	<u>Erarbeitung:</u> Ideen, Kombinieren, Berechnen	Entwickeln der Grundgleichung	LSG/SSG
35	<u>Sicherung:</u> Zusammenfassen der Ergebnisse	TA, Reflexion	SV
	Alternatives Stundenende		
45	<u>Festigung:</u> Üben, Buch, AB	Lösen	PA

Anlage 1: Geplantes Tafelbild

Wie hängt die Kraft von m und a ab?

Bisherige Ergebnisse: $F \sim a$ bei konstantem m
 $F \sim m$ bei konstantem a

Ideen: $F \sim m \cdot a$ ✓ $F = k \cdot m \cdot a$ ✓
 $k = ?$

Geplante Schülerlösungen: $k = F/(m \cdot a) = 1 \text{ N}/(\text{kg} \cdot \text{m}/\text{s}^2)$

Vereinbarung: Die Krafteinheit 1 N wurde als $1 \text{ kg} \cdot \text{m}/\text{s}^2$ eingeführt.

Ergebnis: Wenn ein Körper mit einer Masse m durch eine Kraft F beschleunigt wird, dann erfährt er die Beschleunigung $a = F/m$. Es gilt also $F = m \cdot a$. Dies ist die **Grundgleichung der Mechanik**. Dieser Zusammenhang heißt Aktionsprinzip.

Aufgabenblatt, Klasse 10, Dr. Carmesin,

2013

- 1) Ein PKW der Masse 1 t beschleunigt in 10 s von 0 auf 108 km/h. Bestimmen Sie die Kraft, mit welcher der Motor das Auto antreibt!
- 2) Die Mondrakete Saturn V (Erststart 1968) hatte ein Startgewicht von 2750 t und eine Schubkraft von 34 MN. Bestimmen Sie die beobachtbare Beschleunigung bei Senkrechtstart!
- 3) Eine Silvesterrakete der Masse 100 g erreicht in 5 s eine Höhe von 50 m. Bestimmen Sie die Schubkraft! Hinweis: Nehmen Sie an, die Rakete fliegt senkrecht mit konstanter Beschleunigung!

Kurzentwurf für eine Physikstunde

Thema der Unterrichtssequenz: Grundgleichung der Mechanik

- 1) Wiederholung zur Hangabtriebskraft
- 2) Geschwindigkeitsmessung mit der Schwefelbahn
- 3) Entdecken der Proportionalität der Kraft zur Beschleunigung und zur Masse
- 4) Entdecken der Proportionalität der beschleunigenden Kraft zur Masse bei konstanter Beschleunigung
- 5) Entwickeln der Grundgleichung der Mechanik
- 6) Experimentieren zum Trägheitsprinzip

Didaktik: KUZ: Die SuS experimentieren zum Prinzip, um ihre Fachkompetenz zu schulen.

Inhaltliche Aspekte	Verhaltensaspekte dazu
LV: $F=m \cdot a$	Erläutern, Begründen
LV: Kombinieren von Proportionalitäten	Erläutern, Anwenden
DS: Bewegen mit Hilfe des Trägheitsprinzips	Durchführen
DS: Trägheitsprinzip	Experimentelles Begründen

Methodik: Dominantes Lehrverfahren: Interaktiv erarbeitend

Zeit	Didaktische Erläuterungen	Methodische Erläuterungen	Sozialform
5	<u>Einstieg:</u> Münzaufgabe	Einstiegsbild, beschreiben	LSG
8	<u>Aufgabenstellung:</u>	TA der Leitfrage	LSG
15	<u>Analyse:</u> Ideen	Entwickeln	MUG
25	<u>Erarbeitung:</u> Versuch	Durchführen des SEs	LSG/SSG
35	<u>Sicherung:</u> SV der Ergebnisse	Projektion, TA, Reflexion	SV
	Alternatives Stundenende		
45	<u>Festigung:</u> Beispiele sammeln	Beschreiben, Erläutern	SSG

Anlage 1: Geplantes Tafelbild

Wie bewegt man die Münze durch Verschieben der Karte in das Glas?

Ideen: Karte schnell wegziehen, denn die Münze bleibt dabei in Ruhe ✓

Karte anschieben und schnell abbremsen, denn die Münze bleibt dabei in Bewegung ✓

Beobachtung: In beiden Fällen gelangt die Münze ins Glas.

In beiden Fällen behält die Münze ihre Geschwindigkeit bei.

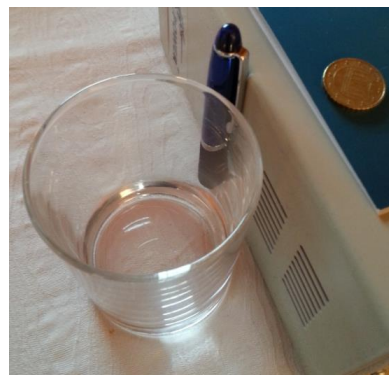
Begründung: Auf die Münze wirkt (praktisch) keine Kraft. Gemäß der Grundgleichung der Mechanik wird die Münze nicht beschleunigt. Daher bleibt ihre Geschwindigkeit konstant.

Ergebnis: Wenn auf einen Körper keine Kraft wirkt, dann bleibt seine Geschwindigkeit konstant.

Bezeichnung: Diese Tatsache nennt man Trägheitsprinzip.



Einstiegsbild:



Kurzentwurf für eine Physikstunde

Thema der Unterrichtssequenz: Grundgleichung der Mechanik

- 1) Wiederholung zur Hangabtriebskraft
- 2) Geschwindigkeitsmessung mit der Schwefelbahn
- 3) Entdecken der Proportionalität der Kraft zur Beschleunigung und zur Masse
- 4) Entdecken der Proportionalität der beschleunigenden Kraft zur Masse bei konstanter Beschleunigung
- 5) Entwickeln der Grundgleichung der Mechanik
- 6) Experimentieren zum Trägheitsprinzip
- 7) Experimentieren zum Reaktionsprinzip

Didaktik: KUZ: Die SuS experimentieren zum Trägheitsprinzip, um ihre Fachkompetenz zu schulen.

Inhaltliche Aspekte	Verhaltensaspekte dazu
LV: $F=m \cdot a$	Erläutern, Begründen
LV: Kombinieren von Proportionalitäten	Erläutern, Anwenden
DS: Bewegen mit Hilfe des Trägheitsprinzips	Durchführen
DS: Trägheitsprinzip	Experimentelles Begründen

Methodik: Dominantes Lehrverfahren: Interaktiv erarbeitend

Zeit	Didaktische Erläuterungen	Methodische Erläuterungen	Sozialform
5	<u>Einstieg:</u> Skateraufgabe	Einstiegsbild, beschreiben	LSG
8	<u>Aufgabenstellung:</u>	TA der Leitfrage	LSG
15	<u>Analyse:</u> Ideen	Entwickeln	MUG
25	<u>Erarbeitung:</u> Versuch	Durchführen des SEs	LSG/SSG
35	<u>Sicherung:</u> SV der Ergebnisse	Projektion, TA, Reflexion	SV
	Alternatives Stundenende		
45	<u>Festigung:</u> Beispiele sammeln	Beschreiben, Erläutern	SSG

Anlage 1: Geplantes Tafelbild

Kann der Skater Karl die Skaterin Paula zu sich ziehen?

Ideen: Auch Karl bewegt sich. \checkmark Es wirkt eine Kraft auf Karl. \checkmark

Versuch: Beobachtung: Beide bewegen sich aufeinander zu.

Auf beide wird eine Kraft vom gleichen Betrag und entgegengesetzter Richtung ausgeübt.

Begründung: Der Federkraftmesser zeigt 90 N an.

Damit zeigt er die Kraft an, die auf Paula wirkt.

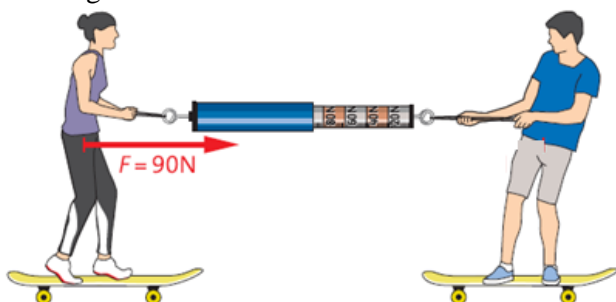
Damit zeigt er zugleich die Kraft an, die auf Karl wirkt.

Ergebnis: Wenn ein Körper A auf einen Körper B eine Kraft F ausübt, dann übt der Körper B auf den Körper A eine Kraft $-F$ mit gleichem Betrag und entgegengesetzter Richtung aus.

Bezeichnung: Die zweite Kraft nennt man Gegenkraft.

Diese Tatsache nennt man Reaktionsprinzip oder Wechselwirkungsprinzip.

Einstiegsbild:



Karl zieht Paula auf sich zu



- 1) Die Luft-Wasser-Rakete startet mit einer Geschwindigkeit von 100 km/h.
 - a) Erkläre das Prinzip des Antriebs.
 - b) Erkläre, warum die Rakete langsamer startet, wenn man vergisst, etwas Wasser einzufüllen.

- 2) Die Ariane 5 übt beim Start die Kraft 17,5 MN auf das ausströmende Gas aus. Bestimme die maximal mögliche Startmasse.



- 3) Eine Billiardkugel rollt mit 5 m/s zentral auf eine gleichartige Kugel. Die erste bleibt liegen und die zweite rollt mit 5 m/s weiter.
 - a) Warum können nicht beide mit 2,5 m/s weiterrollen?
 - b) Warum kann nicht die vordere mit 4 m/s und die hintere mit 3 m/s weiterrollen?
Hinweis: Während des Zusammenstoßes tritt eine mittlere Kraft $F = m \cdot \Delta v / \Delta t$ auf.

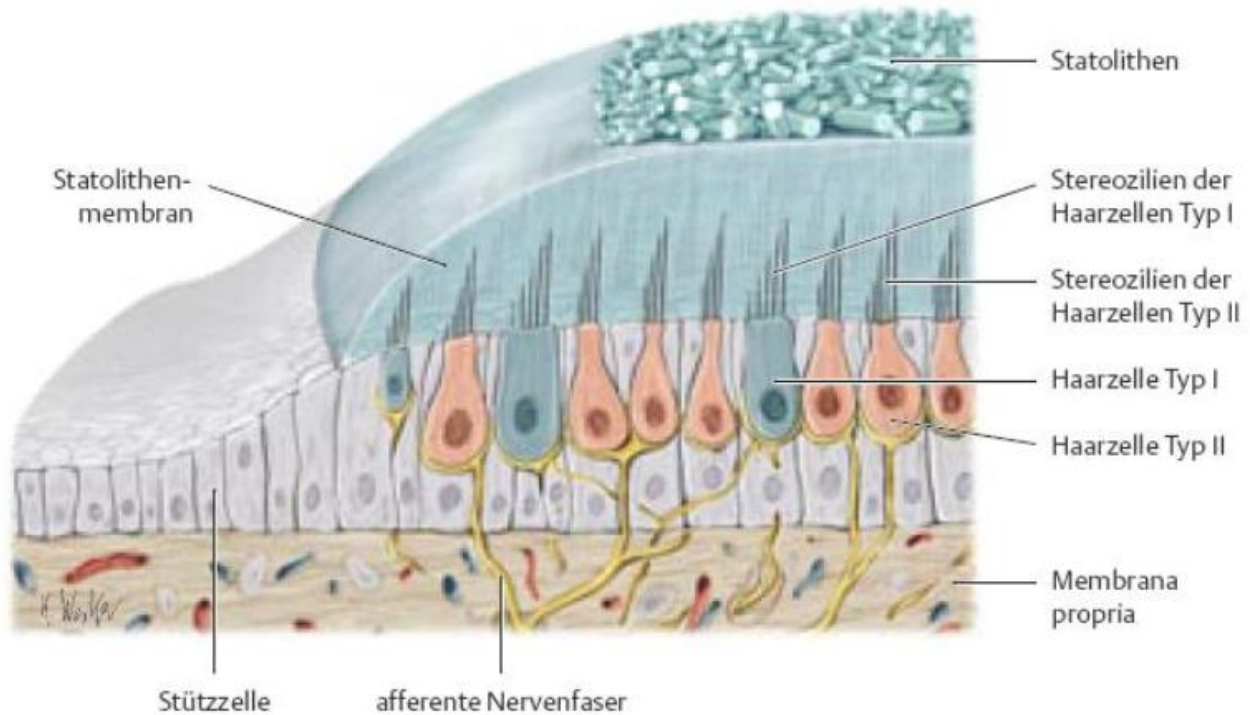


Abbildung 15: Sinnesorgan für Beschleunigung: Der Mensch hat im Innenohr Sinnesorgane, welche die Beschleunigung erfassen, s. o., sogenannte Makulaorgane. Am oberen Ende einer Galertschicht (Statolithenmembran) befinden sich Kalkkristalle (Statolithen).

5 Beschleunigte Systeme

Die Newton'schen Axiome beschreiben unbeschleunigte Systeme. Durch Wechsel des Bezugssystems können die Axiome verwendet werden, um auch beschleunigte Systeme zu behandeln. Da der Mensch oft selbst beschleunigt ist und das sehr genau durch seinen Gleichgewichtssinn erfasst, bietet es sich an, beschleunigte Systeme auf der Basis von Sinneserfahrungen und lebensnahen Erlebnissen zu behandeln. Ideal hierfür sind viele Fahrgeschäfte in Freizeitparks. Die Schülerinnen und Schüler **erleben** sich als beschleunigte Systeme, **führen objektive Messungen durch** mit dem Beschleunigungssensor ihres Smartphones (s. Carmesin (2014a), Carmesin (2014b), Carmesin (2014c)) oder mit der Bogenwasserwaage durch (s. Carmesin (2004)), **mathematisieren** und **erkennen ihre Erlebnisse als Beispiele der drei grundlegenden Prinzipien angewendet auf beschleunigte Systeme**. In der Katapultachterbahn erleben die Lernenden die lineare Beschleunigung. Im Freifallturm erfahren die Schülerinnen und Schüler den freien Fall. In Achterbahnen mit Airtime erleben sie den Parabelflug. In Karussells erfahren die Lernenden die Zentrifugalkraft und erkennen als außenstehende Zuschauer die Zentripetalkraft.

Eine mögliche Realisierung zentraler Komponenten der Unterrichtssequenz veranschauliche im Folgenden. Erprobte alternative Zugänge gehen von Geräten auf einem Spielplatz oder von dem James Bond Film Moonraker aus. Interessante Erweiterungen ergeben sich durch die

Einführung der Newtonschen Gravitationstheorie sowie die Himmelsmechanik (s. Carmesin (2002)). Erleichterte Lernprozesse werden durch Beschleunigungssensoren ermöglicht (s. Carmesin (2011)). Wenn eine Exkursion in einen Freizeitpark durchgeführt wird, dann werden die Stunden daran angepasst (s. Carmesin (2014a), Carmesin (2014b), Carmesin (2014c)).

Nr.	Stundenthema	Stundenlernziel
1	Beschleunigungsmessung mit dem Smartphone	Die SuS entwickeln ein Messverfahren, um ihre experimentelle Kompetenz zu schulen.
2	Messung der beim Katapultstart wirkenden Kräfte	Die SuS messen die Kraft, um ihre experimentelle Kompetenz zu schulen.
3	Modellversuch zum Maculaorgan	Die SuS entwickeln einen Modellversuch zum Maculaorgan, um ihre fächerübergreifende Fachkompetenz zu schulen.
4	Analyse der Schwerelosigkeit	Die SuS beobachten und messen in der Schwerelosigkeit, um ihre experimentelle und sinnlich beobachtende Kompetenz zu schulen.
5	Analyse der Kreisbewegung	Die SuS beobachten und messen bei der Kreisbewegung, um ihre experimentelle Kompetenz zu schulen.
6	Analyse der Zentripetalkraft	Die SuS bestimmen den Term zur Zentripetalkraft, um ihre Fachkompetenz zu schulen.

Tabelle 4: Unterrichtssequenz beschleunigte Systeme.

Kurzentwurf für eine Physikstunde, Dr. Carmesin

Thema der Unterrichtssequenz: Beschleunigte Systeme

1) Beschleunigungsmessung mit dem Smartphone

Didaktik: KUZ: Die SuS entwickeln ein Messverfahren, um ihre experimentelle Kompetenz zu schulen.

Inhaltliche Aspekte	Verhaltensaspekte dazu
LV: Smartphone	Beschreiben, Anwenden
LV: Beschleunigung	Erläutern
TZ: Beschleunigungsmessung mit dem Smartphone	Beschreiben, Anwenden

Methodik: Dominantes Lehrverfahren: Interaktiv erarbeitend

Zeit	Didaktische Erläuterungen	Methodische Erläuterungen	Sozialform
5	<u>Hinführung:</u> Smartphone	SuS beschreiben	LSG
8	<u>Aufgabenstellung:</u>	TA der Leitfrage	LSG
30	<u>Erarbeitung:</u> Ideen, Planen, Durchführen, evtl. mit Stuhl	Entwickeln und Durchführen des SEs	LSG/SSG
35	<u>Sicherung:</u> SV der Ergebnisse	Projektion, TA, Reflexion	SV
	Alternatives Stundenende		
45	<u>Festigung:</u> Üben, Bremsen, ...	SE	PA

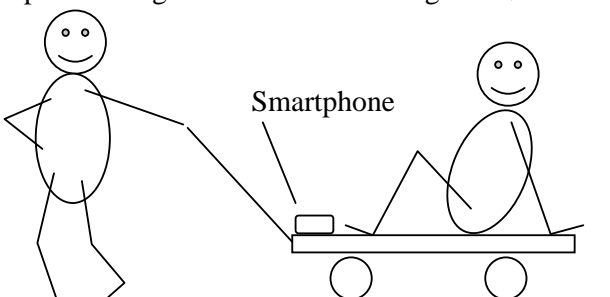
Anlage 1: Geplantes Tafelbild

Wie misst man mit dem Smartphone eine waagerechte Beschleunigung?

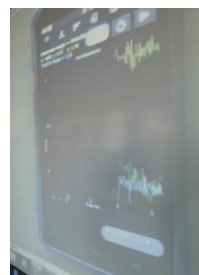
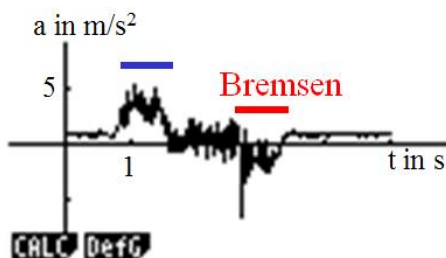
Ideen: Befestige das Smartphone am beschleunigten Körper. ✓

Befestige das Smartphone waagrecht in Fahrtrichtung. ✓

Versuchsskizze:



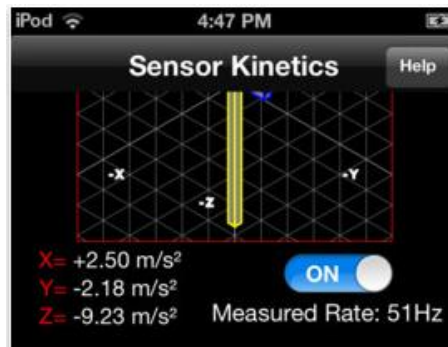
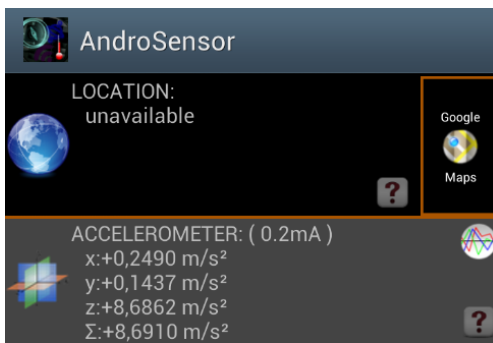
Beschreibung: Eingaben ...



Beobachtungen:

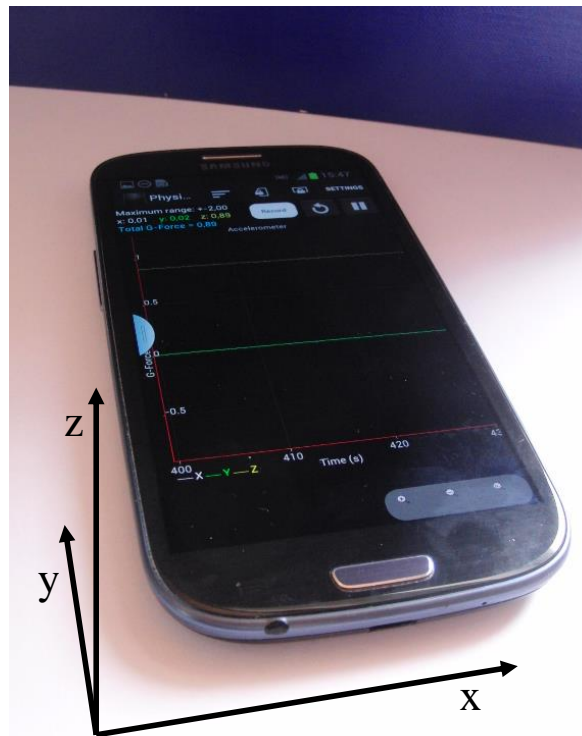
Ergebnis: Wir befestigen das Smartphone waagrecht in Fahrtrichtung am beschleunigten Körper.

Wie messe ich die Beschleunigung mit dem Smartphone?



Zuerst lade ich eine passende App herunter:

- „AndroSensor“ für Android zeigt den Betrag a sowie die drei Komponenten a_x , a_y und a_z in m/s^2 als Zahlen an.
- „Physic Toolbox Accelerometer“ für Android zeigt den Betrag a sowie die drei Komponenten a_x , a_y und a_z in g als Graph an.
- „Sensor Kinetics“ für iOS zeigt die drei Komponenten a_x , a_y und a_z in m/s^2 als Zahlen an.



So mache ich einen Screenshot beim Galaxy S4:

- Ich drücke Ein- und Hometaste gleichzeitig.
- Ich rufe die Galerie auf.

So zeichne ich mit Physics Toolbox Daten auf:

- Ich wähle „Record“
- Ich wähle „Stop“
- Ich wähle Email und versende oder speichere die Daten

Kurzentwurf für eine Physikstunde, Dr. Carmesin

Thema der Unterrichtssequenz: Beschleunigte Systeme

- 1) Beschleunigungsmessung mit dem Smartphone
- 2) Messung der beim Katapultstart wirkenden Kräfte

Didaktik: KUZ: Die SuS messen die Kraft, um ihre experimentelle Kompetenz zu schulen.

Inhaltliche Aspekte	Verhaltensaspekte dazu
LV: $F=m \cdot a$	Erläutern, Begründen, Anwenden
LV: Beschleunigungsmessung	Erläutern, Anwenden
TZ: Versuchsplan	Begründen
TZ: Bestimmung von a und F	Begründen

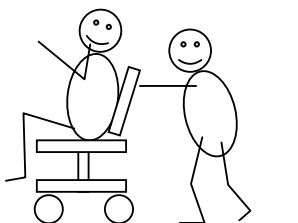
Methodik: Dominantes Lehrverfahren: Interaktiv erarbeitend

Zeit	Didaktische Erläuterungen	Methodische Erläuterungen	Sozialform
5	<u>Einstieg:</u> Katapultstart	Einstiegsbild, SuS beschreiben	LSG
8	<u>Aufgabenstellung:</u>	TA der Leitfrage	LSG
30	<u>Erarbeitung:</u> Modellversuch	Planen, Durchführen, Wettbewerb	LSG/SSG
35	<u>Sicherung:</u> SV der Ergebnisse	Projektion, TA, Reflexion	SV
	Alternatives Stundenende		
45	<u>Festigung:</u> Üben, Bremsen, ...	AB, SE	PA

Anlage 1: Geplantes Tafelbild

Welche Kraft wirkt auf einen beschleunigten Schüler?

Versuchsskizze:



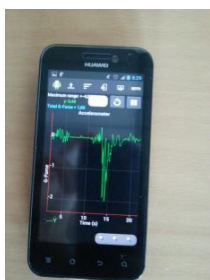
Durchführung:

Ein Schüler schiebt.
Der andere sitzt auf dem Stuhl und misst mit dem Smartphone in der Brusttasche.

$$2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 = 19,62 \text{ m/s}^2$$

$$F = m \cdot a = 83 \text{ kg} \cdot 19,62 \text{ m/s}^2 = 1628 \text{ N}$$

Champion: Jannis: 1628 N
Vize: Julius: 1040 N
Dritter: Daniel: 840 N



Ergebnisse: Die größte Kraft wirkte auf Jannis, $F = 1628 \text{ N}$.
Messverfahren: Wir befestigen das Smartphone waagrecht in Fahrtrichtung am beschleunigten Körper, lesen die Beschleunigung ab und multiplizieren mit der Masse.

Einstiegsbild:



Aufgabenblatt, Klasse 10, Dr. Carmesin,

2013

Daniel hat die Masse 80 kg und wird beim Katapultstart bei der Achterbahn Desert Race in 2,4 s gleichmäßig auf 100 km/h beschleunigt. Bestimme die beschleunigende Kraft.

Kurzentwurf für eine Physikstunde

Thema der Unterrichtssequenz: Beschleunigte Systeme

1) Modellversuch zum Maculaorgan

Didaktik: KUZ: Die SuS entwickeln einen Modellversuch zum Maculaorgan, um ihre Modellbildungskompetenz zu schulen.

Inhaltliche Aspekte	Verhaltensaspekte dazu
LV: Trägheitsprinzip	Erläutern, Anwenden
LV: Gleichgewichtssinn	Nennen
TZ: Maculaorgane	Beschreiben
TZ: Modellversuch	Planen, Durchführen

Methodik: Dominantes Lehrverfahren: Problemlösend

Zeit	Didaktische Erläuterungen	Methodische Erläuterungen	Sozialform
5	<u>Hinführung:</u> Zugspitzbahn	Einstiegsfolie	LSG
10	<u>Problemstellung:</u>	Entwickeln der Leitfrage	LSG
15	<u>Analyse:</u> Vermutungen, Planen	Vorschlagen, AB 1	MUG
30	<u>Lösung:</u> Durchführen	Experimentieren	GA
35	<u>Sicherung:</u> s. u.	Projektion	SV
45	<u>Reserve:</u> Festigung: Üben	AB 2	LSG/EA

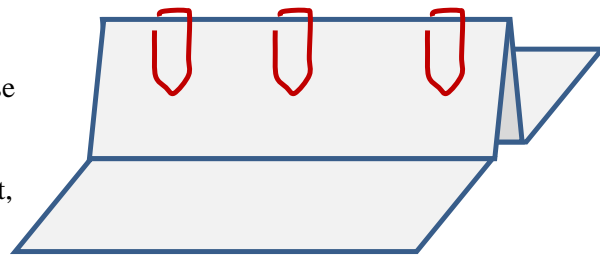
Geplantes Tafelbild

Wie kann der Mitfahrer merken, dass der Pickup anfährt?

Vermutungen: Fahrer beobachten, Baum beobachten ✓
Gleichgewichtssinn ✓

Vermutungen zur Funktionsweise des Maculaorgans:
Beim Beschleunigen nach rechts bleiben die Kalkkristalle zurück. ✓
Das verformt das Maculaorgan. ✓
Die Sinneszellen signalisieren diese Verformung ins Gehirn.

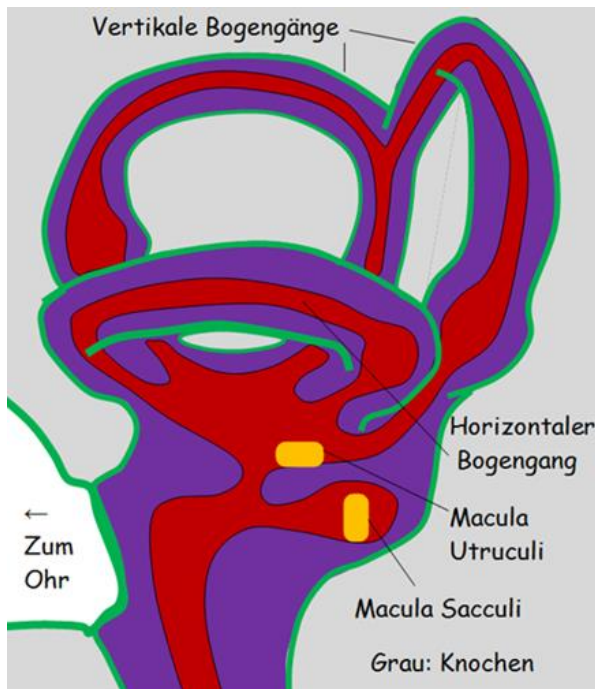
Überprüfung durch einen Modellversuch:
Büroklammern entsprechen Kalkkristallen
Gefaltetes Papier entspricht verformbarer Masse



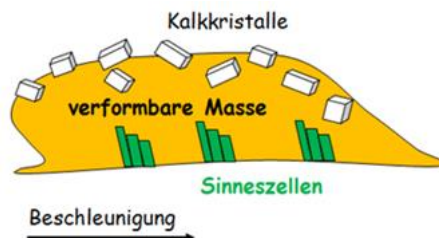
Beobachtung:
Wenn man das Modell nach vorne beschleunigt, denn verformt es sich nach hinten.

Ergebnisse:
Der Mitfahrer kann durch sein Gleichgewichtsorgan merken, dass der Pickup anfährt.
Beim Beschleunigen nach vorne verformt sich die Macula Utriculi im Gleichgewichtsorgan nach hinten. Ebenso verhält sich das Modell aus Papier und Büroklammern.

Deutung: Die Maculaorgane und Beschleunigungssensoren nutzen das **Trägheitsprinzip**.

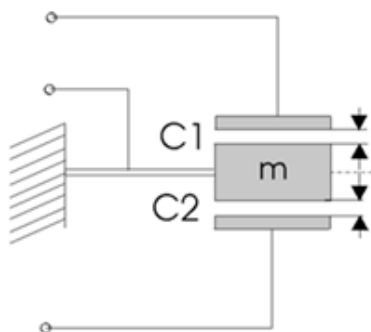


Im Innenohr befindet sich das Gleichgewichtsorgan



Im Gleichgewichtsorgan befindet sich die Macula Utriculi. Sie enthält Sinneszellen, welche Verformungen signalisieren und spricht auf Beschleunigung an. Die Macula Utriculi und die Macula Sacculi nennt man Maculaorgane.

- 1) Stelle eine Vermutung zur Funktionsweise der Macula Utriculi auf.
- 2) Plane einen Modellversuch mit Einem Blatt Papier und drei Büroklammern.



Aufbau eines Beschleunigungssensors: Eine Masse m ist an einem elastischen Stift befestigt. Die Abstände der Masse zu Begrenzungen nach oben und unten werden durch zwei elektrische Bauteile C1 und C2 erfasst.

- 1) Erkläre die Funktionsweise.
- 2) Erkläre, wie man mit diesem Sensor die Beschleunigung nachweisen kann.
- 3) Erkläre, wie man mit diesem Sensor die Schwerkraft nachweisen kann.

Kurzentwurf für eine Physikstunde, Dr. Carmesin

Thema der Unterrichtssequenz: Beschleunigte Systeme

- 1) Beschleunigungsmessung mit dem Smartphone
- 2) Messung der beim Katapultstart wirkenden Kräfte
- 3) Modellversuch zum Maculaorgan
- 4) Analyse der Schwerelosigkeit

Didaktik: KUZ: Die SuS beobachten und messen in der Schwerelosigkeit, um ihre experimentelle und sinnlich beobachtende Kompetenz zu schulen.

Inhaltliche Aspekte	Verhaltensaspekte dazu
LV: Beschleunigungssensor, Smartphone	Erläutern, Anwenden
DS: Beschleunigungen, Kräfte	Beobachten, Messen, Deuten
DS: Schwerelosigkeit	Erläutern

Methodik: Dominantes Lehrverfahren: Problemlösend

Zeit	Didaktische Erläuterungen	Methodische Erläuterungen	Sozialform
5	<u>Einstieg:</u> Sprung vom Tisch	Beschreiben	LSG
10	<u>Problemstellung:</u>	Entwickeln der Leitfrage	LSG
15	<u>Analyse:</u> Vermutungen, Versuch	Entwickeln	MUG
30	<u>Lösung:</u> Durchführen	Messen, Beobachten, Beschreiben, Messungen mit GTR & Smartphone	GA
35	<u>Sicherung:</u> s. u.	SV, Vergleichen, Deuten, Reflexion	SV
45	<u>Reserve:</u> Festigung: Üben	Messen beim Freifallturm	LSG/EA

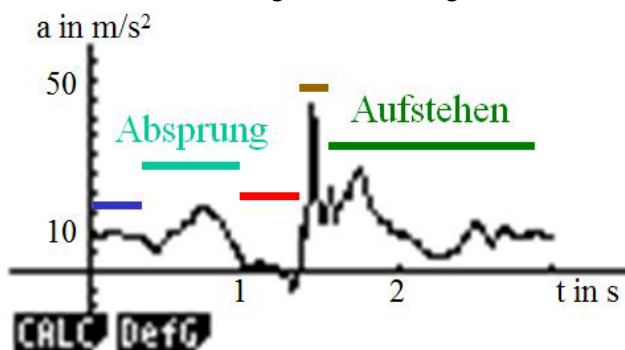
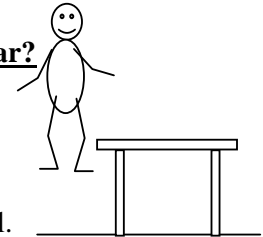
Geplantes Tafelbild

Welche Beschleunigungen und Kräfte sind beim Sprung vom Tisch feststellbar?

Vermutungen: Vor dem Absprung $a = 0$ und $F = -m \cdot g$,
Nach dem Absprung $a = -9,81 \text{ m/s}^2$ und $F = -m \cdot g$

Sensoranzeige

Vor dem Fallen: $a = 1g$ Deutung: Erdanziehung verformt Sensor.
Beim Fallen: $a = 0g$ Deutung: Alle Teile des Sensors fallen gleich schnell. Daher verformt sich der Sensor nicht.
Nach dem Fallen: $a > g$ Deutung: Bremsbeschleunigung



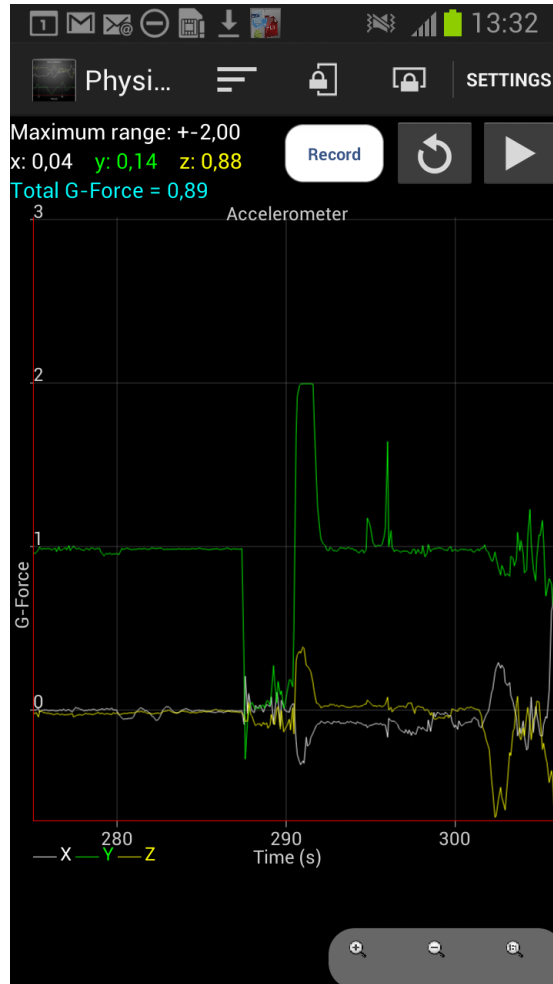
Beobachtung in Ruhe am Boden

Vor dem Fallen: $a = 0g$ Deutung: $\Delta v/\Delta t = 0$
Beim Fallen: $a = -1g$ Deutung: $\Delta v/\Delta t = -9,81 \text{ m/s}^2$

Zusammengefasst: In senkrechte Richtung zeigt der Beschleunigungssensor immer $1g$ mehr an als der ruhende Beobachter feststellt. Denn der Sensor wird zusätzlich durch die Schwerkraft verformt.

Gefühl beim Fallen: Schwerelosigkeit

Deutung: Alle Teile des Maculaorgans fallen gleich schnell. Daher verformt es sich nicht.
Deutung 2: Die Schwerkraft nach unten und die Trägheitskraft nach oben würden einander aufheben.



Der Freifallturm Scream hat eine Höhe von 103 m. Ein Fahrgast hat mit dem Beschleunigungssensor seines Smartphones eine Aufzeichnung zu seinem Besuch erstellt.

- Bestimme die Zeiten für den Beginn des Fallens sowie des Bremsens.
- Erkläre die Aufzeichnung.
- Begründe mit der Aufzeichnung, dass der Fall 2,9 s dauerte.
- Berechne die maximal erreichte Geschwindigkeit.
- Berechne die Strecke des Falls.
- Begründe mit der Aufzeichnung, dass der Bremsvorgang 1,3 s dauerte.
- Berechne die Beschleunigung beim Bremsen unter der Annahme konstanter Bremsbeschleunigung.
- Berechne den Bremsweg.
- Vergleiche die Turmhöhe, die Fallstrecke und den Bremsweg miteinander.
- Erkläre das Gefühl der Schwerelosigkeit mit Hilfe der Aufzeichnung.
- Gib an, welche Beschleunigung ein ruhender Beobachter für das Fallen des Fahrgasts feststellen würde.
- Erkläre die unterschiedlichen Beobachtungen der Beschleunigung, die ein fallender und ein ruhender Beobachter hier machen.

Kurzentwurf für eine Physikstunde, Dr. Carmesin

Thema der Unterrichtssequenz: Beschleunigte Systeme

- 1) Beschleunigungsmessung mit dem Smartphone
- 2) Messung der beim Katapultstart wirkenden Kräfte
- 3) Modellversuch zum Maculaorgan
- 4) Analyse der Schwerelosigkeit
- 5) Analyse der Kreisbewegung

Didaktik: KUZ: Die SuS beobachten und messen bei der Kreisbewegung, um ihre experimentelle Kompetenz zu schulen.

Inhaltliche Aspekte	Verhaltensaspekte dazu
LV: Beschleunigungssensor, Smartphone	Erläutern, Anwenden
TZ: Beschleunigungen, Kräfte	Beobachten, Messen, Deuten
TZ: Zentrifugalkraft und Zentripetalkraft	Erläutern

Methodik: Dominantes Lehrverfahren: Problemlösend

Zeit	Didaktische Erläuterungen	Methodische Erläuterungen	Sozialform
10	<u>Hinführung:</u> Wassereimer	Beschreiben	LSG
15	<u>Problemstellung:</u>	Entwickeln der Leitfrage	LSG
30	<u>Analyse:</u> Vermutungen, Planen		MUG
45	<u>Lösung:</u> Durchführen	Messen, Beobachten, Beschreiben, Messungen mit Smartphone	GA
55	<u>Sicherung:</u> s. u.	SV, Vergleichen, Deuten, Reflexion	SV
90	<u>Reserve:</u> Festigung: Üben	Messen bei waagerechter Achse	SSG/GA

Geplantes Tafelbild

Warum bleibt das Wasser beim Schleudern im Eimer?

Bezeichnung: Kreisbewegung

Ideen: Auf das Wasser wirkt eine **Zentrifugalkraft** nach außen. Denn ich spüre im Karussell eine Kraft nach außen.

Kontrollversuch: Smartphone in Eimer mit Display nach oben

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

Beschleunigen mit Display nach vorne: Gelbe Anzeige $a > 0$

Beobachtung: $a > 0$

Auf das Smartphone wirkt eine Kraft nach innen.

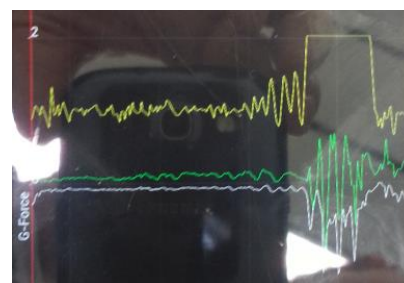
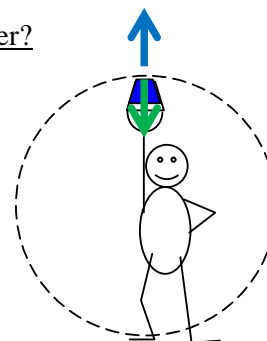
Ergebnis: Auf das Smartphone wirkt bei der Kreisbewegung eine Kraft zum Zentrum.

Bezeichnung: Diese Kraft heißt **Zentripetalkraft**.

Begründung des mitrotierenden Beobachters: Es bleibt im Eimer, weil die Zentrifugalkraft auf das Wasser nach außen wirkt.

Info: Das Smartphone ist so programmiert, dass es die vom ruhenden Beobachter feststellbare Beschleunigung anzeigt.

Begründung des ruhenden Beobachters: Es bleibt im Eimer, weil der Boden des Eimers so schnell nach innen beschleunigt, dass er das Wasser mitzieht.



Kurzentwurf für eine Physikstunde, Dr. Carmesin

Thema der Unterrichtssequenz: Beschleunigte Systeme

- 1) Beschleunigungsmessung mit dem Smartphone
- 2) Messung der beim Katapultstart wirkenden Kräfte
- 3) Modellversuch zum Maculaorgan
- 4) Analyse der Schwerelosigkeit
- 5) Analyse der Kreisbewegung
- 6) Analyse der Zentripetalkraft

Didaktik: KUZ: Die SuS bestimmen den Term zur Zentripetalkraft, um ihre Fachkompetenz zu schulen.

Inhaltliche Aspekte	Verhaltensaspekte dazu
LV: Beschleunigungssensor, Smartphone	Erläutern, Anwenden
LV: Zentrifugalkraft, Zentripetalkraft	Erläutern
TZ: Winkelgeschwindigkeit ω	Erläutern, Messen
TZ: Beschleunigungen, Kräfte, ω , R	Beobachten, Messen, Deuten
TZ: Term zur Zentripetalkraft	Erläutern, Begründen

Methodik: Dominantes Lehrverfahren: Aufgebend Erarbeitend

Zeit	Didaktische Erläuterungen	Methodische Erläuterungen	Sozialform
5	<u>Einstieg:</u> Karussellfahrt	Einstiegsbild, Beschreiben	LSG
10	<u>Aufgabenstellung:</u>	Entwickeln der Leitfrage	LSG
15	<u>Analyse:</u> Ideen	Entwickeln	MUG, LSG
30	<u>Erarbeitung:</u> Durchführen	Messwerte, Auswerten	GA
35	<u>Sicherung:</u> s. u.	SV, Reflexion	SV
45	<u>Reserve:</u> Festigung: Üben	Buch, Aufgaben	LSG/EA

Geplantes Tafelbild

Welcher Term beschreibt die Zentripetalbeschleunigung?

Ideen: Abhängig von Winkelgeschwindigkeit ω , Radius R

$a_z \sim R$ **richtig** $a_z \sim \omega$ **f** $a_z \sim \omega^2$ **richtig**

Messergebnisse Huracan: R = 4,13 m; T = 20/6 s = 3,33 s; **a = 15 m/s² nach innen**

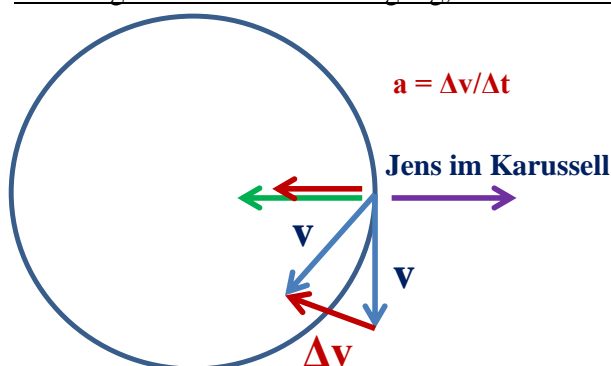
Messergebnisse Koggenfahrt: R = 4,25 m; T = 60/11 s = 5,45 s; a = 6,6 m/s²

Auswertung Huracan: $\omega = 2\pi/T = 1,89$ 1/s \rightarrow Test: $a = \omega^2 \cdot R = 14,7$ m/s² ≈ 15 m/s²

Auswertung Koggenfahrt: $\omega = 2\pi/T = 1,15$ 1/s \rightarrow Test: $a = \omega^2 \cdot R = 5,62$ m/s² $\approx 6,6$ m/s²

Ergebnis: Bei einer Kreisbewegung mit einem Radius R und einer Winkelgeschwindigkeit ω tritt die Zentripetalbeschleunigung $a = \omega^2 \cdot R$ auf.

Warum gibt es eine Beschleunigung, obwohl Jens nicht schneller oder langsamer wird?



Die Beschleunigung führt zu einer Änderung der Richtung der Geschwindigkeit.

Beispiel: **Zentripetalkraft** bei Jens im Huracan:

$F = m \cdot a = 70 \text{ kg} \cdot 14,7 \text{ m/s}^2 = 1029 \text{ N}$

Die **Zentripetalkraft** ist die Ursache für die Kreisbahn.

Im Karussell fühlt Jens sich durch die **Zentrifugalkraft** nach außen gedrückt.

Einstiegsbild:



6 Bewegungsenergie

Im Folgenden illustriere ich wesentliche Elemente einer möglichen Realisierung der Unterrichtssequenz. Eine viel ebenfalls erprobte Alternative geht vom Beispiel Fahrrad aus.

Nr.	Stundenthema	Kompetenzorientiertes Unterrichtsziel
1	Entwickeln der Formel zur Bewegungsenergie mit einem Modellversuch	Die SuS bestimmen eine Bewegungsenergie mit einem Modellversuch, um ihre Problemlösekompetenz zu schulen.
2	Herleiten der Formel zur Bewegungsenergie	Die SuS leiten die Formel her, um ihre Mathematisierungskompetenz zu schulen.
3	Anwenden der Bewegungsenergie	Die SuS wenden die Bewegungsenergie an, um ihre Problemlösekompetenz und Bewertungskompetenz zu schulen.

Tabelle 5: Unterrichtssequenz Bewegungsenergie.

Kurzentwurf für eine Physikstunde

Thema der Unterrichtssequenz: Bewegungsenergie

1) Entwickeln der Formel zur Bewegungsenergie mit einem Modellversuch

Didaktik: KUZ: Die SuS bestimmen eine Bewegungsenergie mit einem Modellversuch, um ihre Problemlösekompetenz zu schulen.

Inhaltliche Aspekte	Verhaltensaspekte dazu
LV: Höhenenergie, EES	Erläutern, Anwenden, Berechnen
LV: $h = 0,5 \cdot g \cdot t^2$ und $v = g \cdot t$	„
DS: Versuch	Durchführen
DS: $E_{\text{Bew}} = E - E_{\text{H}} ; v = \Delta s / \Delta t$	Auswerten
DS: $E = 0,5 m \cdot v^2$	Auswerten
DS: $E = 0,5 m \cdot v^2 = 60\,000 \text{ TJ}$	Anwenden

Methodik: Dominantes Lehrverfahren: Problemlösend

Zeit	Didaktische Erläuterungen	Methodische Erläuterungen	Sozialform
5	<u>Einstieg:</u> Krater	Einstiegsbild, Beschreiben	LSG
10	<u>Problemstellung:</u> Leitfrage	Entwickeln	LSG
20	<u>Analyse:</u> Ideen, Versuch	Entwickeln, Planen	MUG, LSG
60	<u>Lösung:</u> Versuch	Durchführen, Auswerten AB1, themendifferenziert	GA
70	<u>Sicherung:</u> Präsentation	Projektion TA, Reflexion	SV
90	<u>Anwenden:</u> AB	Aufgaben Lösen, teils HA	PA

Geplantes Tafelbild

Wie viel Energie hatte der Asteroid?

Ideen: Die Energie des Asteroiden ist viel größer als die des Erdrutsches.

Nachterstedt: $E_{\text{Höhe}} = m \cdot g \cdot h = 10^9 \text{ kg} \cdot 10 \text{ N/kg} \cdot 30 \text{ m} = 0,3 \text{ TJ}$

Vermutungen: $E_{\text{Bew}} \sim v$ $E_{\text{Bew}} \sim v^2$

Modellversuch: Schiefe Ebene hinabrollender Wagen der Masse 1 kg

Zeit in s	h in m	E_{H} in J	E_{Bew} in J	s in m	v in m/s	E_{Bew}/v^2 in kg
0	0,2	2	0	0	0	
0,1	0,192	1,92	0,08	0,02	0,4	1/2
0,2	0,168	1,68	0,32	0,08	0,8	1/2
0,3	0,128	1,28	0,72	0,18	1,2	1/2
0,4	0,072	0,72	1,28	0,32	1,6	1/2
0,5	0	0	2	0,5	2	1/2

Ergebnisse: $E_{\text{Bew}} \sim v^2 \rightarrow E_{\text{Bew}} = \frac{1}{2} \text{ kg} \cdot v^2$

Allgemein gilt: $E_{\text{Bew}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$

Asteroid: $E_{\text{Bew}} = \frac{1}{2} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ kg} \cdot (20\,000 \text{ m/s})^2 = 6 \cdot 10^{16} \text{ J} = 60\,000 \text{ TJ}$

Einstiegsbild:



180 m tiefer Barringerkrater: Asteroid
m = 300 000 t, v = 20 km/s



Erdrutsch Natterstedt 2009: Masse etwa 1 000 000 t –
kein Krater, Höhe ca. 30 m

Kurzentwurf für eine Physikstunde

Thema der Unterrichtssequenz: Bewegungsenergie

- 1) Entwickeln der Formel zur Bewegungsenergie mit einem Modellversuch
- 2) Herleiten der Formel zur Bewegungsenergie

Didaktik: KUZ: Die SuS leiten die Formel her, um ihre Mathematisierungskompetenz zu schulen.

Inhaltliche Aspekte	Verhaltensaspekte dazu
LV: Bewegungsenergie, EES, Arbeit $E = F \cdot s$	Erläutern, Anwenden, Berechnen
LV: gleichmäßig beschleunigt: $v = a \cdot t$, $s = 0,5 \cdot a \cdot t^2$	Anwenden, Erläutern
LV: Aktionsprinzip	Anwenden, Erläutern
DS: Lösungsideen	Erläutern
DS: $E = 0,5 m \cdot v^2$	Herleiten

Methodik: Dominantes Lehrverfahren: Problemlösend

Zeit	Didaktische Erläuterungen	Methodische Erläuterungen	Sozialform
3	<u>Einstieg:</u> Bewegungsenergie	Einstiegsbild	LSG
5	<u>Problemstellung:</u> Leitfrage	Entwickeln	LSG
15	<u>Analyse:</u> Ideen	Entwickeln	MuG, LSG
40	<u>Lösung:</u> Herleiten	Individuelle LH	GA
55	<u>Sicherung:</u> Präsentation	Projektion, TA	SV
90	<u>Anwenden:</u> Kann man aus der Formel zur Bewegungsgleichung das Aktionsprinzip herleiten? AB	Herleiten	GA

Geplantes Tafelbild

Wie können wir die Formel zur Bewegungsenergie aus den Prinzipien herleiten?

Ideen: Aktionsprinzip: $F = m \cdot a$, gleichmäßig beschleunigte Bewegung

Ergebnis: Geplante Schülerlösungen:

$$\begin{array}{ll}
 E = F \cdot s & | \text{ Aktionsprinzip} \\
 E = m \cdot a \cdot s & | \text{ gleichmäßig beschleunigt } s = 0,5 \cdot a \cdot t^2 \\
 E = m \cdot a \cdot 0,5 \cdot a \cdot t^2 & | \text{ gleichmäßig beschleunigt } v = a \cdot t \\
 E = 0,5 \cdot m \cdot v^2 &
 \end{array}$$

Geplante Schülerlösungen: Herleitung des Aktionsprinzips:

$$\begin{array}{ll}
 E = 0,5 \cdot m \cdot v^2 & | \text{ erzeugt durch gleichmäßig beschleunigte Bewegung: } v = a \cdot t \\
 E = 0,5 \cdot m \cdot a \cdot a \cdot t^2 & | \text{ gleichmäßig beschleunigt: } s = 0,5 \cdot a \cdot t^2 \\
 E = m \cdot a \cdot s & | \text{ Arbeit: } E = F \cdot s \rightarrow s = E/F \\
 E = m \cdot a \cdot E/F & | \cdot F/E \\
 F = m \cdot a &
 \end{array}$$



Einstiegsbild:

180 m tiefer Barringerkrater: Asteroid: $E = 0,5 \cdot m \cdot v^2$

Aufgabenblatt, Klasse 10, Dr. Carmesin,

2014



Eine Silvesterrakete soll in vernachlässigbarer Höhe ihre Maximalgeschwindigkeit erreichen, durch den Schwung weiter steigen und in einer Höhe von 45 m explodieren.

Berechne die nötige Maximalgeschwindigkeit.

- 1) Eine Münze fällt aus 100 m Höhe aus dem Fenster. Bestimme die Geschwindigkeit in km/h beim Auftreffen auf dem Boden,
 - a. mit Hilfe der Energie,
 - b. ohne Verwendung der Energie!



- 2) Ein Auto der Masse 1500 kg beginnt bei der Geschwindigkeit 72 km/h eine Vollbremsung mit einer Bremskraft von 7500 N. Bestimme den Bremsweg!



Windräder in Altenwerder, Hamburg, mit Rotordurchmesser 127 m

- 3) Wirkungsgrad eines Windrades.
 - a. Bestimme die Masse und die kinetische Energie der Luft, die pro Sekunde bei einer Windgeschwindigkeit von $72 \frac{km}{h}$ den Querschnitt der Windkraftanlage passiert!
Hinweis: Luft hat die Dichte $\rho = 1,29 \text{ kg/m}^3$.
 - b. Welche Leistung hätte die Anlage, wenn sie diese Energie als elektrische Energie abgäbe?
 - c. Welchen Wirkungsgrad hat dementsprechend die Anlage, wenn sie bei dieser Windgeschwindigkeit eine elektrische Leistung von 7,5 MW abgibt?
 - d. Berechne den Jahresertrag bei einer Einspeisevergütung von 6 Cent je kWh und 3000 Betriebsstunden mit 7,5 MW Leistung!



- 4) Ein Pfeil der Masse $m = 100 \text{ g}$ wird von einem Bogen mit der Federkonstante $D = 20 \text{ N/cm}$ genau 20 cm weit gespannt. Bestimme die maximale Geschwindigkeit des Pfeils!

7 Aufgaben

1. Nennen Sie Maßnahmen, welche die SuS befähigen, die oben genannten inadäquaten Schülervorstellungen zu erklären und durch angemessenere Konzepte zu überwinden.
2. Bauen Sie ein Modell einer Statolithenmembran.
3. Entwerfen Sie eine Klassenarbeit zur UE.
4. Erörtern Sie die Möglichkeiten, Vor- und Nachteile des Einsatzes von Sinnesorganen in der UE.
5. Erörtern Sie die Möglichkeiten, Vor- und Nachteile des Einsatzes von Smartphones in der UE.
6. Entwerfen Sie anhand des KCs eine möglichst zeiteffiziente UE, die nach mehrwöchigem Unterrichtsausfall die SuS befähigt, gut vorbereitet in die Kursstufe zu starten.
7. Skizzieren Sie eine Stunde zur Einführung der Grundgleichung der Mechanik.
8. Skizzieren Sie eine Stunde zur Behandlung der erlebten und messbaren Zentrifugalkraft und der beobachtbaren und messbaren Zentripetalkraft.
9. Skizzieren Sie eine Stunde zur Überprüfung der Formel zur Bewegungsenergie mit dem Fahrrad.

8 Zusammenfassung

Zu Situationen, die durch die Newtonsche Mechanik beschrieben werden, haben die SuS eigene Sinnesorgane, viele Erfahrungen und Erlebnisse, präzise Vokabeln wie die Zentrifugalkraft, komplexe Kompetenzen wie den aufrechten Gang oder den Hochsprung und viele Interessen aus Bereichen wie Mobilität oder Sport. Ihr Unterricht sollte diese Fähigkeiten aufgreifen, nutzen und durch die sehr vorhersagekräftige Newton'sche Mechanik erklären sowie erweitern (s. Abb. 9). Ich wünsche Ihnen mit Ihren Lernenden viele kraftvolle Versuche, bewegende Gespräche und beschleunigten Erkenntniszuwachs.

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

[Boysen u. a. 2009] BOYSEN, Gerd ; HEISE, Harri ; HEEPMMANN, Bernd ; KOPTE, Uwe ; LICHTENBERGER, Jochim ; SCHEPERS, Harald ; SCHLICHTING, Hans-Joachim ; SCHÖN, Lutz-Helmut ; SCHWEITZER, Stefan: *Fokus Physik Gymnasium*. Ausgabe N. Berlin : Cornelsen, 2009

-
- [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 2002] CARMESIN, Hans-Otto: Urknallmechanik im Unterricht. In: NORDMEIER, Volker (Hrsg.) ; Deutsche Physikalische Gesellschaft (Veranst.): *Tagungs-CD Fachdidaktik Physik ISBN 3-936427-11-9*. Berlin : DPG, 2002
- [Carmesin 2004] CARMESIN, Hans-Otto: Messung von Beschleunigungen mit einer Bogenwasserwaage im Physikunterricht einer 11. Klasse. In: NORDMEIER, Volker (Hrsg.) ; OBERLÄNDER, Arne (Hrsg.) ; Deutsche Physikalische Gesellschaft (Veranst.): *Tagungs-CD Fachdidaktik Physik, ISBN 3-86541-066-9*. Berlin : DPG, 2004
- [Carmesin 2011] CARMESIN, Hans-Otto: Entdeckungen mit dem Beschleunigungssensor. In: GLAS, Gerhard (Hrsg.) ; EUROPE, CASIO (Hrsg.) ; CASIO (Veranst.): *Casio forum 2011*. Norderstedt : CASIO, 2011
- [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
- [Gehmann 2015] GEHMANN, Kurt u. a.: *Kerncurriculum für das Gymnasium, Schuljahrgänge 5 - 10, Naturwissenschaften, Niedersachsen*. Hannover : Niedersächsisches Kultusministerium, 2015
- [Meschede u. a. 2006] MESCHEDÉ, Dieter ; GERTHSEN, Christian ; KNESER, Hans O.: *Gerthsen Physik*. 20. Berlin : Springer, 2006
- [Muckenfuß u. Nordmeier 2009] MUCKENFUSS, Heinz ; NORDMEIER, Volkhard: *Physik Interaktiv 9/10*. Berlin : Cornelsen, 2009
- [Newton 1686] NEWTON, Isaac: *Newton's Principia - first American Edition - English 1729*. New York : Daniel Adee, 1686. – 1–572 S.

-
- [von Rhöneck u. Niedderer 2006] RHÖNECK, Christoph von ; NIEDDERER, Hans: Schülervorstellungen und ihre Bedeutung beim Physiklernen. In: MIKELSKIS, Helmut (Hrsg.): *Physik Didaktik*. Berlin : Cornelsen, 2006, S. 52–73
- [Schmidt u. Thews 1995] SCHMIDT, Robert ; THEWS, Gerhard: *Physiologie des Menschen*. 26. Berlin : Springer, 1995
- [Truckenbrodt u. Schlichting 2001] TRUCKENBRODT, Erich ; SCHLICHTING, Hermann: *Aerodynamik des Flugzeugs*. 3. Heidelberg : Springer, 2001
- [Unsöld u. Baschek 1999] UNSÖLD, Albrecht ; BASCHEK, Bodo: *Der neue Kosmos*. 6. Berlin : Springer, 1999