

Freier Fall – g-Bestimmung

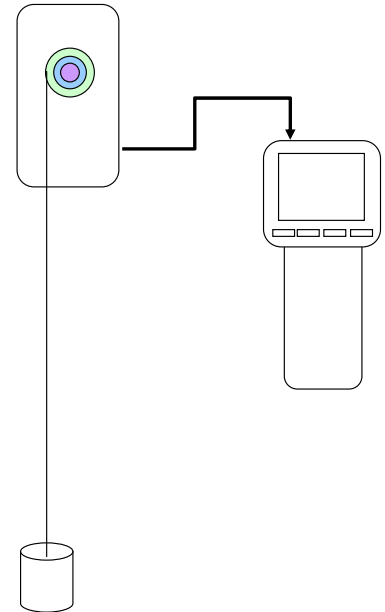
FREIER FALL – G-BESTIMMUNG	1
ÜBERBLICK	2
Didaktische Hinweise	3
Lernziele.....	3
Physikalischer Hintergrund	3
Durchführung.....	4
Experiment	5
Voraussagen	5
Setup.....	5
Datenaufnahme.....	5
Analyse.....	6
Anwendung	6
Typische Antworten	6
Bewertung	7
SCHÜLER-EXP-ANLEITUNG FREIER FALL	8
Einführung	8
Geräteausstattung	8
Sicherheitshinweis:.....	8
Hintergrund	8
Vorhersage	8
Messung	9
Computer-Setup	9
Ausstattungs-Setup.....	9
Messwerterfassung (Datenaufnahme)	9
Ausblicke.....	10
Literatur	10
Schülerantwortblatt	11
Lehrerinformations-Seite	12

Überblick

- **Zeitbedarf:** 2 Unterrichtsstunden (ca 90 Minuten)
- **Klassenstufe:** 9-10
- **Schwierigkeitsgrad:** 6

Kern: Die Schülerinnen und Schüler erfahren, dass bei einem „Freien Fall“ die Beschleunigung bei allen Körpern gleich groß ist. Der so genannte „Ortsfaktor“, die Gravitationsfeldstärke und die Gravitationsbeschleunigung sind verschiedene Zugänge für die gleiche physikalische Größe $g = 9,81 \text{ m / s}^2$

Beschreibung: Mit dem Rotary-Motion-Sensor (PS-2120), der über einen USB-Link oder den Xplorer-GLX an den Computer angeschlossen wird, können die Schülerinnen und Schüler in der DataStudio-Software direkt das v-t-Diagramm aufnehmen, interpretieren und den Wert für die Gravitationsbeschleunigung g aus den aufgenommenen Messdaten bestimmen.



[01.] v-t-Diagramm

Der Fallkörper wird an einem sehr dünnen Faden befestigt. Der Faden wird auf dem großen Rad des Rotary-Motion-Sensor so aufgewickelt, dass er sich beim Abrollen von dem Rad lösen kann, sonst besteht die Gefahr, dass der Faden abreißt und eventuell den Sensor durch die beim Abreißen wirksamen Kräfte beschädigt wird.

[02.] Variation der Massen

Die Masse des Fallkörpers wird variiert.

[03.] Variationen der Oberfläche und des Luftwiderstandes

Bei gleicher Masse wird die Oberfläche variiert – z.B. in dem man am Fallkörper Fahnen anbringt, die den Luftwiderstand wesentlich erhöht.

[04.] Atwoodsche Fallmaschine

Die Schülerinnen und Schüler bauen eine Atwoodsche Fallmaschine und bestimmen daraus die Fallbeschleunigung g .

Didaktische Hinweise

Im Regelfall erwarten die Schülerinnen und Schüler, dass die Gravitationsbeschleunigung von der Gravitationskraft des Fallkörpers abhängt. Im Rahmen dieses Präkonzepts wird zwar die direkte Proportionalität zwischen der wirksamen Kraft und der daraus resultierenden Beschleunigung gesehen – ABER übersehen, dass die beschleunigende Kraft auch direkt proportional zur Masse ist – DASS also die Masse einen „Gravitations-Aspekt“ UND einen „Trägheitsaspekt“ hat, die sich im „Freien Fall“ gegenseitig aufheben.

In der Unterstufe begegnen die Schülerinnen und Schüler dem „g“ als Ortsfaktor ($g = F_G/m$ | $g = 9,81 \text{ N / kg}$); in der Mittelstufe „mutiert“ dieser Ortsfaktor zur Gravitationsbeschleunigung $g = 9,81 \text{ m / s}^2$. Im dritten Schritt – bei der Behandlung von Feldern – wird das g (in Analogie zur elektrischen Feldstärke) als Gravitationsfeldstärke interpretiert.

Lernziele

Die Schüler

- lernen, dass im allgemeinen Fall $F \sim m$ ist und die Proportionalitätskonstante a genannt wird. Im Speziellen gilt beim Freien Fall $F_G \sim m$ und der Proportionalitätsfaktor g wird Gravitationsbeschleunigung genannt.
- Die Gravitationsbeschleunigung ist demnach für alle Körper gleich groß: $g = 9,81 \text{ m/s}^2$
- Die Gravitationsbeschleunigung und der Ortsfaktor sind zwei verschiedene Bezeichnungen für die Proportionalitätskonstante g
- Bei Fallkörpern mit NICHT vernachlässigbarem Luftwiderstand ist die beschleunigende Kraft ungleich der Gravitationskraft

Physikalischer Hintergrund

Ausgehend vom Newtonschen Gravitationsgesetz kann man für den Spezialfall eines kleinen Ausschnitts der Erdoberfläche das Gravitationsfeld in der Nähe der Erdoberfläche als homogen ansehen und unter diesen Randbedingungen die „Spezialformel“: $F_G = m \cdot g$ mit $g = \text{konstant}$ ableiten.

Durchführung

1. Stunde: - Beschreibung der Durchführung für die Lehrkraft:

Die Physiklehrkraft lässt ein Körper mit einer Masse von 100g und ein Flaumfeder fallen. Je nach der Unterrichtssituation kommt jetzt der folgende Schülerauftrag – ODER die Physiklehrkraft lässt den Körper gleichzeitig mit einem DinA4-Blatt fallen ... faltet dann in einem zweiten Versuch das Blatt Papier mehrfach zusammen ... bis beide Körper aus gleicher Höhe parallel zueinander in der gleichen Zeit zu Boden fallen.

Die Schülerteams bekommen den Auftrag in eigenen Freihandversuchen verschiedene Körper fallen zu lassen und Folgerungen aus diesen Experimenten zu notieren.

Es sind hierbei zwei Szenarien möglich:

(a) Für den Fall, dass ein Körper zusammen mit einer Flaumfeder fällt, könnten die Teams eventuell der Meinung sein, dass die Gravitationsbeschleunigung eine Funktion der Schwerkraft – also der Masse – des Fallkörpers ist. Diese „Vorhersage“ kann man im Experiment mit Fallkörpern unterschiedlicher Masse überprüfen.

(b) Für den Fall, dass das Blatt Papier zusammen gefaltet wird, müsste man erwarten, dass die Teams auf die Idee kommen, dass beim Freien Fall alle Körper die gleiche Gravitationsfeldstärke erfahren, weil $F_G \sim m$ ist. Sie vermuten wahrscheinlich, dass die im Realexperiment zu beobachtenden unterschiedlichen Fallzeiten bei gleicher Fallhöhe, ihre Ursache im Luftwiderstand der Fallkörper haben. Diese beiden „Vorhersage“ kann man im Experiment mit Fallkörpern unterschiedlicher Masse (bei gleichem Luftwiderstand), unterschiedlicher Form und unterschiedlichem Luftwiderstand (bei gleicher Masse) überprüfen.

Die Doppelstunde beginnt also mit der Offenlegung vorhandener Präkonzepte; sie werden erfragt, erfasst und diskutiert. UND auf der Basis dieser Vorstellungen formulieren die Teams Vorhersagen, die im folgenden Experiment überprüft werden sollen.

Ob die Physiklehrkraft durch passende Impulse den U-Gang sanft steuert, hängt ganz entscheidend vom vorangegangenen Unterricht, der Leistungsfähigkeit und Leistungsbereitschaft der S-Teams und von den vorhandenen Zeitressourcen ab.

Zum Abschluss dieser Stunde zeigt die Physiklehrkraft ein historisches Modell der Atwoodschen Fallmaschine (siehe Bild) – bzw. ein motivierend großes Demonstrationsmodell.



Experiment

2. Stunde - Beschreibung der Durchführung für die Lehrkraft

1. Jeder Schüler bekommt eine Kopie der **Experimentieranleitung** und ein **Schüler-Antwort-Blatt**.
2. Jedes Teammitglied bekommt eine spezielle Aufgabe. Wenn ein Team aus vier Personen besteht, könnte das folgendermaßen aussehen:
 - Schüler 1 beschäftigt sich mit der Experimentieranleitung. Dieser Schüler liest die Anleitung, damit sichergestellt ist, dass sie das Messerfassungssystem korrekt bedienen.
 - Schüler 2 ist dafür verantwortlich, dass das Schüler-Antwortblatt fertig gestellt wird.
 - Schüler 3 ist für die Bedienung und Kontrolle der Geräte verantwortlich.
 - Schüler 4 bedient den Computer.
3. Der Xplorer wird an den USB-Anschluss des Computers angeschlossen.
4. Nun wählt man die passende DataStudio-Konfiguration-Datei mit dem Namen:



FK03 Freier Fall.ds

und fährt entsprechend den Instruktionen auf den Schüler-Experimentier-Anleitungen fort.

Voraussagen

Die Teams beantworten das Schüler-Antwort-Blatt als Hausaufgabe. Im Sinne der so genannten „Galileischen Methode“ (Experimente sind immer theoriegeleitet) – im Sinne der naturwissenschaftlichen Arbeitsweise (... auf der Basis von Hypothesen, Modellvorstellungen und schon vorhandenen Theorien werden Vorhersagen formuliert; im Experiment werden diese Vorhersagen falsifiziert oder verifiziert) – ist es wesentlich, dass die verbale Beschreibung und die Vorhersagen formuliert wurden, bevor die Messung durchgeführt wird.

Setup

Die Experimentieranleitung stellt die hier notwendigen Arbeitsschritte dar. Das Schüler-Antwortblatt fordert die Schüler auf, die passenden Daten aufzunehmen, das Ergebnis zu analysieren und zu beurteilen ob ein hinreichendes Verständnis erworben wurde.

Datenaufnahme

Anweisungen zur Aufnahme der Messdaten stehen in den Schüler-Experimentieranleitungen. Die Schüler sollten sich darüber informieren, welche Informationen notwendig sind, damit sie die Messdaten erfassen können.

Analyse

Die Schülerinnen und Schüler verwenden die aufgenommenen Messdaten, um die im Schüler-Antwort-Blatt gestellten Fragen zu beantworten. Typische Antworten sind in der „Lehrerver-sion“ dieses Antwortblattes abgedruckt.

Anwendung

In diesem Abschnitt sollen die Schülerinnen und Schüler ausgehend von tragfähigen Präkonzepten, Informationen aus dem einführenden Impulsreferat und den anschließenden Teamarbeiten UND den durchgeführten Messungen – also auf der Basis des nun vorhandenen Wissens – dieses neu erworbene Fachwissen und die dabei gelernten Fachmethoden auf eine andere Situation anwenden – also einen „Transfer“ durchführen.

Typische Antworten

In diesem Abschnitt werden typische Antworten aufgeführt, die man in der anvisierten Klassenstufe eventuell erwarten kann.

Selbstverständlich sind die zu erwartenden Antworten weitgehend davon abhängig, welche Themen im bisherigen Unterricht behandelt wurden. Ist z.B. das Verhalten einer Glühlampe beim „Hochregeln“ der angelegten Spannung bis zum Sollspannungswert bekannt ... oder wurde das Verhalten von Si-Gleichrichterioden schon besprochen ... oder kennen die Schülerinnen und Schüler das Widerstands-Verhalten von technischen Widerständen können evtl. folgende Antworten erwartet werden:

1. Die Diagramme zeigen, dass die v-t-Diagramme bei Fallkörpern unterschiedlicher Masse relativ gut „aufeinander“ liegen.
2. Daraus kann man schließen, dass die Gravitationsbeschleunigung keine Funktion der Masse und der Gravitationskraft ist.
3. Das v-t-Diagramm liefert einen Wert für die Gravitationsbeschleunigung von 9,25 m/s².
4. Der Literaturwert beträgt 9,81 m/s². Damit ergibt sich ein relativer Fehler von $\approx 5,7\%$
5. Eine mögliche Ursache für diese Abweichung ist die Masse des Sensor-Rades, das ebenfalls beschleunigt werden muss.
6. Beim Atwoodschen Pendel ergibt sich ein besserer Wert für die Schwerebeschleunigung, weil das Massenverhältnis zwischen der Masse des Sensor-Rades im Vergleich zu den Massen der Fallkörper wesentlich kleiner ist.

Bewertung

In diesem Abschnitt werden Lernzielkontrollen beschrieben ... UND Vorschläge für mögliche Bewertungen gemacht:

- Haben die Schüler die Ausstattung richtig angeschlossen? Sind sie entsprechend den Anweisungen vorgegangen?
- Können die Schüler zeigen, dass sie durch ihre Beobachtungen – durch ihre Messung – die Gravitationsbeschleunigung bestimmen können?
- Können die Schülerinnen und Schüler erklären, warum die Messwerte für die Gravitationsbeschleunigung unterhalb des Literaturwertes liegen?
- Können Sie angeben, warum die Messwerte für die Gravitationsbeschleunigung bei der Atwoodschen Fallmaschine recht ordentlich sind?
- Haben die Schüler die Fragen auf dem Schüler-Antwortblatt richtig beantwortet.
- Können die Teams einen Alltagsbezug zu den hier gewonnen Erkenntnissen formulieren ... z.B. warum die Astronauten in Raumstationen „schwerelos“ erscheinen ... z.B. warum frei fallende Körper „schwerelos“ sind ...

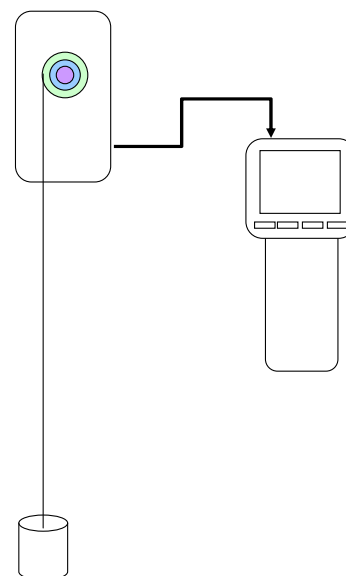
Schüler-Exp-Anleitung**Freier Fall****Einführung**

In diesem Experiment wollen wir uns mit dem Freien Fall beschäftigen. Es stellt sich die Frage: Von welchen physikalischen Größen hängt die Gravitationsbeschleunigung eines Körpers ab? Wie können wir das untersuchen.

Als historisches Experiment wollen wir die so genannte Atwood-sche Fallmaschine mit moderner Messerfassung aufbauen und passende g-Werte bestimmen.

Geräteausstattung

- Computer mit einem USB-Anschluss
- Xplorer-GLX-Grundgerät (Best.-Nr. [104.1001](#))
- Rotary-Sensor (Best.-Nr. [104.1011](#))
- Dünnere Faden
- Fallkörper
- DataStudio Software (Download der kostenlosen DataStudio Lite-Version [hier](#))
- Experimentieranleitung
- Schüler-Antwortblatt

**Sicherheitshinweis:**

Achten Sie sorgfältig auf die Anweisungen bei der Bedienung der Geräte!

Hintergrund

Aus dem bisherigen Physikunterricht ist der so genannte Ortsfaktor g bekannt. Der Umgang mit der physikalischen Größe „Beschleunigung“ ist hinreichend geübt.

Vorhersage

Vor der Messung mit dem Messerfassungssystem beantworten Sie bitte den Teil des **Schüler-Antwortblattes**, der sich mit den Vorhersagen befasst.

Messung

Computer-Setup

1. Schließen Sie den Xplorer-GLX am USB-Anschluss des Computers an.
2. Der Rotary-Sensor wird in das Xplorer-GLX-Gerät oder in den USB-Link eingesteckt. Auf dem Notebook startet die DataStudio-Software.
3. Wenn die DataStudio-Software ein passendes Diagramm öffnet, kann die Messung beginnen. Wenn dies nicht der Fall ist, wählt man die passende DataStudio-Konfigurations-Datei mit dem Namen:

FK03 Kennlinien-Energiesenken.ds

und fährt entsprechend den Instruktionen auf den Schüler-Experimentier-Anleitungen fort.

Hinweis: Die Konfigurations-Datei aktiviert die passende Bildschirmausgabe und die Messrate.

Ausstattungs-Setup

[01.] v-t-Diagramm

Der Fallkörper wird an einem sehr dünnen Faden befestigt. Der Faden wird auf dem großen Rad des Rotary-Motion-Sensor so aufgewickelt, dass er sich beim Abrollen von dem Rad lösen kann, sonst besteht die Gefahr, dass der Faden abreißt und eventuell den Sensor durch die beim Abreißen wirksamen Kräfte beschädigt wird.

[02.] Variation der Massen

Fallkörper mit unterschiedlichen Massen werden bereitgestellt.

[03.] Variationen des Luftwiderstandes

Der Luftwiderstand der Fallkörper wird mit steifen Papierscheiben realisiert, die mit doppel-seitigem Klebeband an der Unterseite der Fallkörper befestigt werden.

[04.] Atwoodsche Fallmaschine

Mit passenden „Fallkörpern“ wird eine Atwoodsche Fallmaschine realisiert.

Messwerterfassung (Datenaufnahme)

[01.] v-t-Diagramm

Das v-t-Diagramm abzulesen?

Aus dem v-t-Diagramm ergeben sich die Werte für die Gravitationsbeschleunigung.

Eventuell erzeugt man ein Digitaldiagramm, das die g-Werte direkt ausgibt.

[02.] Variation der Massen

Die v-t-Diagramm-Aufnahme wird mit variablen Massen wiederholt.

[03.] Variationen des Luftwiderstandes

Die v-t-Diagramm-Aufnahme wird mit gleicher Masse – aber unterschiedlichen Luftwiderstandsscheiben wiederholt.

[04.] Atwoodsche Fallmaschine

Die v-t-Diagramme für die Atwoodsche Fallmaschine (mit unterschiedlichen Massen) werden aufgenommen.

Ausblicke

Bei hinreichenden Zeitressourcen sollte man im Anschluss an diese Teamexperimente den Galileischen Gedankenversuch zum Freien Fall thematisieren!

Literatur

- [01]** Handbuch zum Xplorer-GLX
- [02]** PdN ...
- [03]** LS-Hefte ...

Schülerantwortblatt

Verwenden Sie zur Beantwortung der folgenden Fragen geeignete Ressourcen (Schulbuch, Schulbibliothek, Internet, Expertenwissen ...)

[A] Definitionen – Begriffe

- [A.01] Was versteht man unter dem Ortsfaktor?
- [A.02] Zeige, dass aus der Definitionsgleichung $F = \Delta p / \Delta t$ der Spezialfall: $F = m \cdot a$ – bzw. $F_G = m \cdot g$ folgt.
- [A.03] Wie lautet die Definition für den so genannten „Freien Fall“?
- [A.04] Was versteht man unter Schwerelosigkeit? Unter welchen Umständen entsteht dieses Phänomen der „Schwerelosigkeit“?

[B] Vorhersagen (im Sinne der Galileischen Methode)

Die Freihandexperimente zum „Freien Fall“ sind durchgeführt.

- [B.01] Was haben Sie bei den Freihandexperimenten beobachten können?
- [B.02] Welche Vorhersagen können Sie auf Grund ihrer Modellvorstellungen, Theorien zum freien Fall formulieren.
- [B.03] Welchen Wert erwarten Sie für die Gravitationsbeschleunigung g ?
- [B.04] Wie kann man mit der Atwoodschen Fallmaschine die Gravitationsbeschleunigung bestimmen?

[C] Messung

- [C.01] Nehmen Sie das v - t -Diagramm für einen Fallkörper mittlerer Masse auf.
 - a. Dokumentieren Sie Ihre Messwerte!
 - b. Bestimmen Sie den Wert für die Gravitationsbeschleunigung.
- [C.02] Nehmen Sie das v - t -Diagramm für Fallkörper anderer Massen auf. Dokumentieren Sie Ihre Messwerte!
- [C.03] Nehmen Sie das v - t -Diagramm für einen Fallkörper mittlerer Masse – aber mit verschiedenen Luftwiderstandsscheiben auf. Dokumentieren Sie Ihre Messwerte!
- [C.04] Bestimmen Sie das v - t -Diagramm bei der Atwoodschen Fallmaschine
 - a. Dokumentieren Sie Ihre Messwerte!
 - b. Bestimmen Sie den g -Wert aus dieser Messung..

[D] Folgerungen – Analyse – Lernzielkontrolle

- [D.01] Deuten Sie den Verlauf dieses v - t -Diagramms bei einer mittleren Masse der Fallkörper! Diskutieren Sie mögliche Fehlerursachen (Unterschiede zwischen Ihren g -Messwerten und dem Literaturwert)!
- [D.02] Deuten Sie den Verlauf der v - t -Diagramm unterschiedlicher Massen im Vergleich untereinander
- [D.03] Deuten Sie den Verlauf dieser v - t -Diagramme unter dem Einfluss des Luftwiderstandes!
- [D.04] Gibt es einen Unterschied bzgl. der Fehlergenauigkeit bei den bisherigen Fallversuchen im Vergleich zur Atwoodschen Fallmaschine?
- [D.05] Wie würden Sie Ihren Eltern, Geschwister usw. erklären, warum die Menschen meinen, dass „leichte Körper“ langsamer zu Boden fallen als „schwere Körper“ ?
Wie würden Sie Ihren Eltern, Geschwister usw. erklären, dass beim „Freien Fall“ alle Körper die gleiche Gravitationsbeschleunigung erfahren?
- [D.06] Kennen Sie den Galileischen Gedankenversuch? Können Sie ihn auch Schülerinnen und Schülern in der Unterstufe erläutern?

Lehrerinformations-Seite

Zur Atwoodschen Fallmaschine gibt es einige Internet-Seiten mit dynamischen Simulationen, die man als Motivation z.B. als Hausarbeit oder zur Nachbereitung einsetzen kann.

siehe auch → http://leifi.physik.uni-muenchen.de/web_ph11/versuche/02atwood/atwood.htm
siehe auch → <http://univ-lemans.fr>