

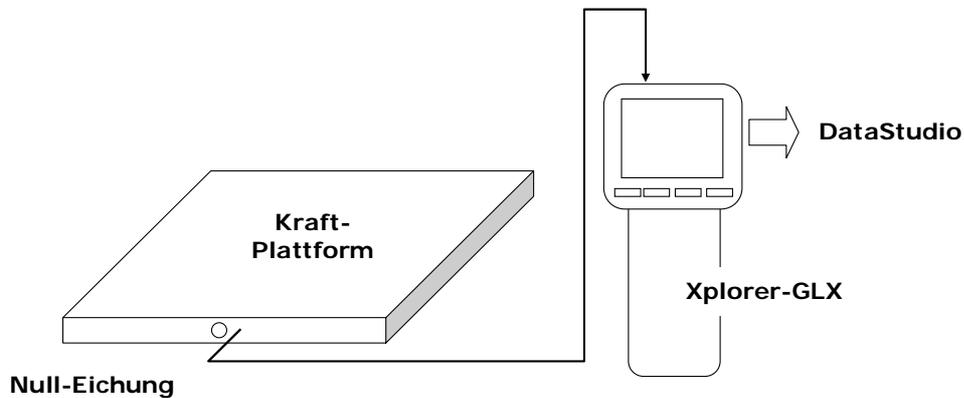
Kraftplattform

KRAFTPLATTFORM	1
ÜBERBLICK	3
Didaktische Hinweise	3
Lernziele.....	4
Physikalischer Hintergrund	4
Durchführung.....	4
Experiment.....	5
Bewertung	5
SCHÜLER-EXP-ANLEITUNG KRAFTPLATTFORM.....	6
Einführung.....	6
Hintergrund	6
Messung.....	7
Schülerantwortblatt	8
ERGÄNZUNG ... ALTERNATIVE.....	9
Physik-Sport → Hinweise Teil 01	10
Physik-Sport → Hinweise Teil 02	12



Überblick

- **Zeitbedarf:** 2 Unterrichtsstunden (ca 90 Minuten)
- **Klassenstufe:** 10
- **Schwierigkeitsgrad:** 7



Kern: Die Schülerinnen und Schüler nehmen das F-t-Diagramm beim Sprung aus dem Stand auf und interpretieren dieses Diagramm aus physikalischer Sicht.

Beschreibung:

[01.] Sprung aus dem Stand – mit und ohne Armschwung

Die Kraftplattform nimmt das F-t-Diagramm beim Sprung aus dem Stand auf und gestattet die Darstellung des F-t-Diagramm in der DataStudio-Software. Der Sprung wird mit und ohne Armschwung ausgeführt ... und die Unterschiede diskutiert.

[02.] Absprung mit Anlauf

Die Kraftplattform dient bei diesem Experiment zur Aufnahme des F-t-Diagramms beim Absprung – ähnlich dem Bewegungsablauf wie beim Weitsprung.

[03.] Aufzugsexperimente

Die Kraftplattform wird im Aufzug eingesetzt, um das F-t-Diagramm bei unterschiedlichen Phasen (Anfahren, konstant Fahren, Abbremsen ... bei Aufwärts- und Abwärtsfahrt) zu untersuchen.

Didaktische Hinweise

Die Bewegungsabläufe in Sport können motivierende Beispiele für den Physikunterricht liefern. Physikalische Theorien können dazu dienen, Bewegungsabläufe in Sport professionell zu beschreiben. Wesentlich ist hierbei eine fächerübergreifende Zusammenarbeit – vor allem der Abgleich wesentlicher Begriffe, die bei der Beschreibung der Bewegungsabläufe eine Rolle spielen, stehen am Anfang dieser Zusammenarbeit.

Die Kraftplattform – als Kraftsensor –, die über eine einfache Steckverbindung an den Xplorer-GLX, an einen Bluetooth-Link oder an einen USB-Link angeschlossen wird, liefert die Messwerte direkt in die DataStudio-Software.

Lernziele

Die Schülerinnen und Schüler

- festigen Ihre Vorstellung über die Zusammenhänge zwischen Kraft und Beschleunigung
- können ihr Wissen über Impuls, Impulserhaltungssatz, Kraft als Impulsänderung pro Zeit einbringen, um das F-t-Diagramm beim Standsprung, beim Absprung oder im Fahrstuhl zu interpretieren.
- lernen ihre eigenen Körperfunktionen besser kennen.
- können ihr Verständnis auf Situationen aus dem Alltag übertragen – z.B. können Sie erklären, warum man beim Aufzug beim Anfahren, Fahren und Abbremsen ganz unterschiedliche Schwere empfindet.

Physikalischer Hintergrund

Der Impuls – qualitativ schon in der Klassenstufe 7|8 – und dann die Kraft als Impulsänderung pro Zeit bieten die Grundlage für ein Verständnis von dynamischen Vorgängen.

Selbstverständlich kann man aus dem F-t-Diagramm mit der Kraft-Beschleunigungsvorstellung Erkenntnisse über den Bewegungsablauf gewinnen. Die Erfahrung zeigt, dass gerade bei solch komplexen Zusammenhängen, bei denen Beschleunigungs- und Verzögerungsphasen so schnell aufeinander folgen, die Vorstellung der Kraft als Impulsstrom – also als Impulsänderung pro Zeit – sehr hilfreich eingesetzt werden können.

Interessant bei der Interpretation des F-t-Diagramms sind die „Tiefpunkte“, die Schnittpunkte mit der Geraden $F=mg$ und die Hochpunkte.

Die Schwingung – am Ende des Standsprungs – wird die S eventuell überraschen.

Durchführung

1. Stunde:

[01.] Sprung aus dem Stand

Die Schülerteams diskutieren die beim Sprung aus dem Stand auftretenden Kräfte. Selbstverständlich wird man bei diesen Vorhersagen kein perfektes Diagramm erwarten. Wesentlich ist hierbei die Zerlegung des Sprungs in einzelne Phasen und eine Erwartung, welche Kräfte dort jeweils auftreten. Wichtig ist hierbei, dass die Schülerinnen und Schüler erkennen, in welchen Phasen des Absprungs die Kraftplattform eine Kraft von $F=m\cdot g$ anzeigt.

[02.] Absprung mit Anlauf

Die Schülerteams analysieren auch bei dieser Sprungart die verschiedenen Bewegungsphasen und vermuten das zugehörige F-t-Diagramm.

[03.] Aufzugsexperimente

Man kann davon ausgehen, dass die Schülerteams bei dem Aufzugsexperiment einen Erfahrungsschatz mitbringen. Die wesentliche Schwierigkeit besteht in diesem Experiment in der genauen Beschreibung der vorhandenen Intuitionen.

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. Die Kraftplattform wird an das Xplorer-GLX-Grundgerät angeschlossen. Das Kabel muss sorgfältig verlegt werden, damit bei den verschiedenen Bewegungsabläufen keine Stolperfallen entstehen.
4. Nun wählt man die passende DataStudio-Konfiguration-Datei mit dem Namen: **FK08 Kraftplattform.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.

Typische Antworten

Die Schülerteams gehen im Regelfall nicht nur theoretisch vor ... sondern sie führen „Trockensprünge“ aus und versuchen aus ihrem Schweregefühl heraus, auf die wirksamen Kräfte zu schließen. Diese „Trockenübungen“ führen aber nicht immer zu einer korrekten Lösung.

Schwierigkeiten macht z.B. die Ausholphase beim Start des Standsprungs. Wo in dieser Phase ist die Kraft am größten ... Welche Kräfte wirken in der Phase, in der eine Beschleunigung nach unten – bzw. eine Verzögerung nach oben – erfolgt?

Probleme bereitet auch die Landung mit dem „Ausschwingen“ der Plattform.

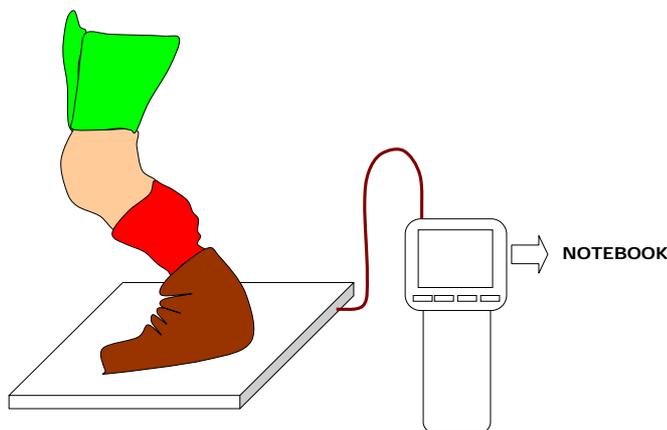
Bewertung

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

- Haben die Schülerinnen und Schüler die Ausstattung richtig angeschlossen? Sind sie entsprechend den Anweisungen vorgegangen?
- Können die Schülerinnen und Schüler zeigen, dass sie durch ihre Beobachtungen während der Messungen ihre eventuell falschen Vorhersagen reflektiert korrigieren können? Und haben die Schülerinnen und Schüler die Fragen auf dem Schüler-Antwortblatt richtig beantwortet.
- Wurden Alltagsbezüge gefunden – z.B. warum ein Rechtshänder einen „linken Sprungfuß“ hat und umgekehrt.

Einführung

Wir wollen mit diesem Experiment das F-t-Diagramm bei verschiedenen Bewegungsabläufen aufnehmen und die gewonnenen Diagramm aus physikalischer Sicht interpretieren.



Geräteausstattung

- Computer mit einem USB-Anschluss
- Pasco Xplorer-GLX-Grundgerät → CONATEX-Bestellnr. 104.1001 – oder USB-Link (CONATEX-Bestellnr. 104.1002) – oder Bluetooth-USB-Adapter (CONATEX-Bestellnr. 104.2415)
- Pasco Kraftplattform einfach (CONATEX-Bestellnr. 104.1016) oder für 2 Achsen (CONATEX-Bestellnr. 104.2404)
- Pasco DataStudio Software

Für die experimentelle Alternative:

- Xplorer-GLX-Weste (CONATEX-Bestellnr. 104.1020)
- Beschleunigungssensor mit LED-Indikator (CONATEX-Bestellnr. 104.1017)
- Beschleunigungssensor – Messung in 2 Achsen) (CONATEX-Bestellnr. 104.1018)
- Beschleunigungssensor – Messung in 3 Achsen mit Höhenmessgerät (CONATEX-Bestellnr. 104.1021)

Hintergrund

Mit der Kraftplattform sollen Sie das F-t-Diagramm in verschiedenen experimentellen Umgebungen aufnehmen. Die Kraftplattform liefert die Messdaten über das Anschlusskabel an das Xplorer-GLX-Grundgerät und gestattet damit die sofortige Ausgabe des F-t-Diagramms durch die DataStudio-Software.

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. Nun wählt man die passende DataStudio-Konfigurations-Datei mit dem Namen:

FK08 Kraftplattform.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

Kraftplattform

- Die Kraftplattform ist komplett und betriebsbereit.
- Die Kabelverbindung zwischen der Kraftplattform und dem Xplorer-GLX-Grundgerät sollte sorgfältig beplant und so ausgeführt werden, dass keine gefährlichen Stolperfallen entstehen.

Messwerterfassung (Datenaufnahme)

Entropie-Strom-Messgerät

In der DataStudio-Software wird das F-t-Diagramm automatisch geöffnet, wenn die richtige Schnittstelle gewählt und die Kraftplattform eingesteckt ist. Sollte das nicht automatisch funktionieren, kann man diesen Kraftsensor auch manuell einbinden.

Ausblicke

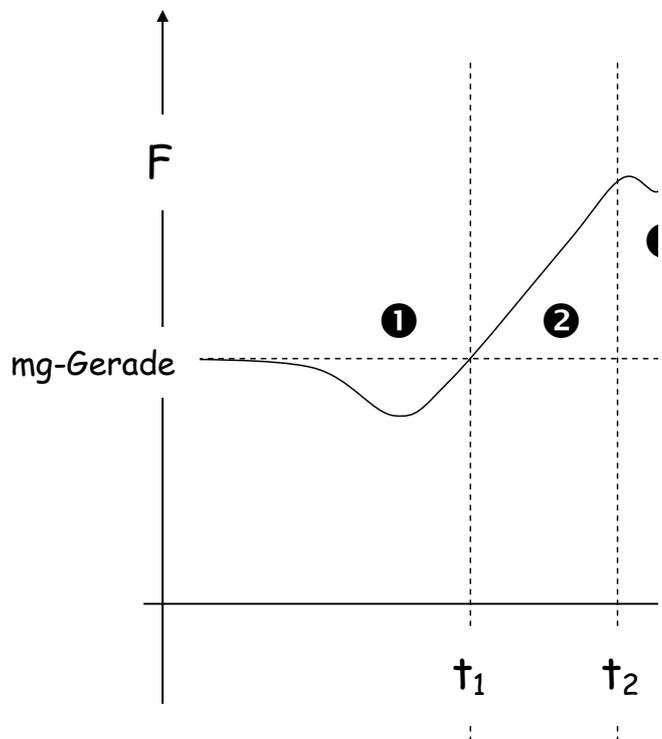
Betrachtet man das F-t-Diagramm, ist man von dem komplexen Verlauf eventuell zunächst überrascht. Für die Diskussion und vor allem für die Interpretation des Verlaufs empfiehlt sich die Einteilung in verschiedene Phasen.

Sinnvoll erscheint die Markierung bestimmter Zeitpunkt (... z.B. an den Schnittpunkten des Diagramm mit der mg-Geraden) und die Benennung verschiedener Zeitbereiche zwischen diesen Zeitpunkten.

Eine typische Interpretation findet man unter „Lehrerhinweise“.

Literatur

- [01] Handbuch zum Xplorer-GLX
- [02] Technische Unterlagen zur Kraftplattform
- [03] BIOMECHANIK; Benno M. Nigg, ISBN Nr. 3 260 04339 X ... oder spätere Auflagen.



Schülerantwortblatt

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

[A] Definitionen – Begriffe ...

- [A.01]** Welcher Zusammenhang besteht zwischen Kraft, Impulsänderung und Wirkungszeit?
- [A.02]** Wie kann man aus dem Impulserhaltungssatz die so genannten Newtonschen Axiome ableiten?
- [A.03]** Was versteht man unter dem Trägheitssatz?
- [A.04]** Wie kann man mit Kraft, Impulsänderung, Beschleunigung, Verzögerung dynamische Bewegungen beschreiben.

[B] Vorhersagen (im Sinne der Galileischen Methode)

- [B.01]** Welches F-t-Diagramm erwartet man bei einem Sprung aus dem Stand von der Kraftplattform und der anschließenden Landung auf dieser Plattform. Welchen Unterschied erwartet man bei einem Sprung mit und ohne Armschwung.
- [B.02]** Kann man beim Absprung mit beiden Füßen eine doppelte Kraft und eine doppelte Sprunghöhe erwarten ... im Vergleich zum Absprung mit einem Fuß?
- [B.03]** Welches F-t-Diagramm ergibt sich wohl beim Absprung – ähnlich einem Weitsprung?
- [B.04]** Welches F-t-Diagramm ergibt sich in einem Aufzug bei den unterschiedlichen Phasen – Anfahren, konstant Fahren, Abbremsen – sowohl bei der Aufwärts- als auch bei der Abwärtsfahrt.

[C] Messung

- [C.01]** Nehmen Sie das F-t-Diagramm bei einem Sprung aus dem Stand von der Kraftplattform und der anschließenden Landung auf dieser Plattform auf.
Interpretieren Sie das Diagramm ... Beschreiben Sie in jeder Phase des Diagramms die wirksamen Kräfte und die zugehörige Geschwindigkeit – bzw. Geschwindigkeitsänderung.
- [C.02]** Messen Sie das F-t-Diagramm beim Absprung mit einem Fuß ... und unter möglichst gleichen Randbedingungen den Absprung mit beiden Füßen. Welche Folgerungen können Sie aus den Messwerten ziehen?
- [C.03]** Nehmen Sie das F-t-Diagramm bei einem Absprung – ähnlich einem Weitsprung - von der Kraftplattform auf.
Interpretieren Sie das Diagramm ... Beschreiben Sie in jeder Phase des Diagramms die wirksamen Kräfte und die zugehörige Geschwindigkeit – bzw. Geschwindigkeitsänderung.
- [C.04]** Stellen Sie die Kraftplattform in einen Aufzug und messen Sie jeweils getrennt für die Auf- bzw. Abwärtsfahrt:
- o die Anfahrphase
 - o die Phase, in der der Aufzug mit konstanter Geschwindigkeit fährt ... und
 - o die Abbremsung bis zum Stillstand.
- Interpretieren Sie das Diagramm ... Beschreiben Sie in jeder Phase des Diagramms die wirksamen Kräfte und die zugehörige Geschwindigkeit – bzw. Geschwindigkeitsänderung.

[D] Folgerungen

- [D.01]** Welche Folgerungen können Sie aus Ihren Experimenten ziehen ...
z.B. welches Diagramm erwarten Sie, wenn Sie auf der Plattform stehen und die Arme auf und ab schwingen?
z.B. wie passt das Schwereempfinden während einer Fahrstuhlfahrt zu dem aufgenommenen Diagramm?
z.B. welche maximale Belastung wirken auf den Sprung-Fuß beim Absprung?
- [D.02]** Was sagen die „Sportler“ zu Ihren physikalischen Erkenntnissen?

Ergänzung ... Alternative

Ist eine **Xplorer-GLX-Weste** (CONATEX-Bestellnr. 104.1020) in der Physiksammlung vorhanden, kann die Versuchsperson diese Weste anziehen und einen Beschleunigungssensor in der Weste beim Sprung deponieren.

In der DataStudio-Software laufen dann sowohl die Kraft-Zeit-Werte als auch die Beschleunigungs-Zeit-Werte zusammen und können gegeneinander aufgetragen und analysiert werden.

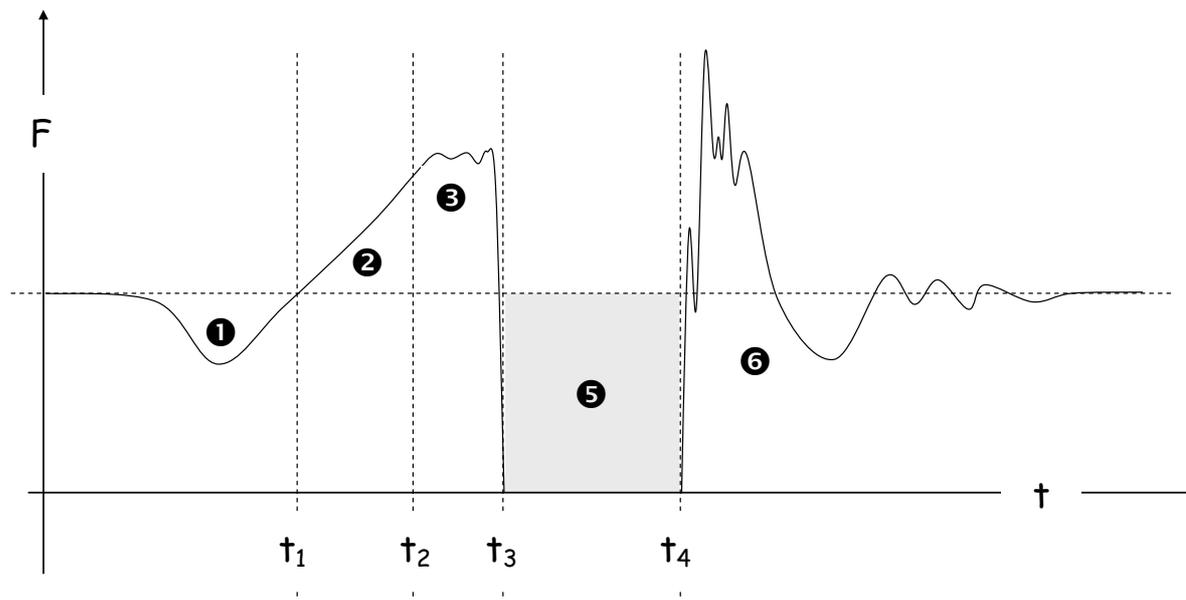
Als mögliche Beschleunigungssensoren können folgende Geräte eingesetzt werden:

- Beschleunigungssensor** mit LED-Indikator → CONATEX-Bestellnr. 104.1017
- Beschleunigungssensor (2 Achsen) → CONATEX-Bestellnr. 104.1018
- Beschleunigungssensor (3 Achsen) mit Höhenmessgerät → (CONATEX-Bestellnr. 104.1021)

Eine interessante Frage ist hierbei, welchen Aussagewert der Quotient F/a während des Experiments hat ☺

Physik-Sport → Hinweise Teil 01

Stand sprung mit Ausholen



1. $t=0$ Die Versuchs-Person steht auf der Conatex-Messplattform.
2. ❶ → Ausholbewegung ... das bedeutet eine Entlastung der Plattform ... die V-P geht in die Knie ... der Körperschwerpunkt wird nach unten beschleunigt
3. $t=t_1$ → Der Schwerpunkt erreicht seine höchste Geschwindigkeit während der Abwärtsbewegung – Beschleunigung in dieser Phase = 0; die Kraftplattform wird mit der normalen Schwerkraft mg belastet.
4. ❷ → Die Abwärtsbewegung wird verzögert – das bedeutet eine zusätzliche Kraft nach unten – die Kraftplattform ist stärker belastet als mit mg .
5. $t=t_2$ → Der Schwerpunkt des Körpers erreicht seinen tiefsten Punkt – die Geschwindigkeit des Körperschwerpunkts ist in diesem Punkt 0 ... der Körper wird aber nach oben beschleunigt – aus der Ruhe heraus ...
6. ❸ → Der Körper befindet sich in der Aufwärtsbewegung ... die beschleunigende Kraft wird dabei immer kleiner ...
7. $t=t_3$ → Zu diesem Zeitpunkt verlassen die Füße die Kraftplattform
8. ❹ → In dieser Phase befindet sich der Körper in der Luft
9. $t=t_4$ → Der Körper landet wieder auf der Kraftplattform
10. ❺ → Die Kraft auf die Plattform steigt an ... erreicht den Wert mg ... und steigt dann weiter an, um den Körper abzubremsen ... fällt wieder ab ... es setzt ein Schwingung ein ... bis der Körper auf der Plattform zur Ruhe kommt.

Weitere Analysen

Teil 1

- Es gilt der Energieerhaltungssatz:
$$m \cdot g \cdot \Delta H = \frac{1}{2} m \cdot v_0^2$$
- Weiter gilt der Impulserhaltungssatz:
$$m \cdot v_0 = \int_0^{t_3} [F(t) - mg] dt$$
- Das Integral ergibt sich als Fläche unter dem F-t-Diagramm
$$\Delta H = \frac{\left(\int_0^{t_3} [F(t) - m \cdot g] dt \right)^2}{m^2 \cdot 2 \cdot g}$$
- Insgesamt bekommen wir also:

Zitat aus [3] – Seite 113:

“Für die Sprunghöhe – und diese Größe ist im wesentlichen entscheidend für die meisten Sprünge – ist nicht die Kraftamplitude, sondern das Kraftintegral, d.h. der Impuls maßgebend. Im Verlauf der experimentellen Untersuchungen hat sich denn auch gezeigt, dass für biomechanischen Überlegungen der Impuls die aussagekräftige Größe ist.

Teil 2

- Die Flächen unter dem F-t-Diagramm entspricht der Impulsänderung.
- Wenn die Versuchsperson vor dem Absprung in Ruhe steht – also einen verschwindenden Impuls hat -, dann muss der Impuls im tiefsten Punkt – also am Ende der Ausholphase ... also kurz vor dem Absprung – ebenfalls verschwinden. Der Körperschwerpunkt hat zu diesem Zeitpunkt gerade die Geschwindigkeit 0.
- Also muss die Fläche 1 und die Fläche 2 gleich große sein.

Teil 3

- Da die Versuchsperson am Anfang in Ruhe ist – und am Ende ebenfalls in Ruhe ist – müssen alle Flächen (orientiert bzgl. der Gerade mg) Null ergeben.

Teil 4

Bestimmung der Flugzeit über die Fläche 5

Die Fläche 5 berechnet sich aus $m \cdot g \cdot (t_4 - t_3) \dots$ mit $(t_4 - t_3) = T_{\text{auf \& ab}}$ (01)

Aus $v_0 = g \cdot T_{\text{auf \& ab}} / 2 \rightarrow T_{\text{auf \& ab}} = 2 \cdot v_0 / g$

Fläche 5 ergibt sich danach zu $2 \cdot m \cdot v_0$ (02)

Der Impuls beim Absprung entspricht also der halben Fläche 5 (03)

Es gilt der Energieerhaltungssatz

$$m \cdot g \cdot \Delta H = \frac{1}{2} m \cdot v_0^2$$

Es gilt der Impulserhaltungssatz

$$m \cdot v_0 = p_{\text{Absprung}}$$

Weiter gilt der Impulserhaltungssatz: mit $p_{\text{Absprung}} = (\text{Fläche 5}) / 2$

$$\Delta H = \frac{(p_{\text{Absprung}})^2}{m^2 \cdot 2 \cdot g}$$

$$\Delta H = \frac{(\text{Fläche 5})^2}{m^2 \cdot 8 \cdot g}$$

Insgesamt bekommen wir also:

$$\Delta H = \frac{m^2 \cdot g^2 \cdot T_{\text{auf \& ab}}^2}{m^2 \cdot 8 \cdot g}$$

Die Sprungdauer ist also ein Maß für die Sprunghöhe

$$\Delta H = \frac{1}{8} \cdot g \cdot T_{\text{auf \& ab}}^2$$

Der Zusammenhang zwischen dem Impuls und der Sprunghöhe kann durch die Versuchsperson nicht verfälscht werden.

Die Flugzeit kann aber manipuliert werden ... denn die Versuchsperson kann z.B. die Füße kurz vor der Landung anziehen.

Physik-Sport → Hinweise Teil 02

Prinzip der Anfangskraft

aus ISBN 3-7853-1503-1 Bewegungslehre Kursbuch 3 – Peter Röthik – Limpert-Verlag

Das Prinzip der Anfangskraft soll am Beispiel des Streckspruns ohne bzw. mit Ausholbewegung verdeutlicht werden. Grundlage für die Erläuterung dieses Prinzips ist die Beziehung zwischen Kraft und Zeit ... denn die Fläche unter dem F-t-Diagramm entspricht der Impulsänderung.

Ohne Ausholbewegung – der Springer steht mit gebeugten Knien in Ruhe auf der Plattform

- Zum Zeitpunkt t_1 wirkt nur die Schwerkraft auf die Versuchsperson.
- Ab dem Start des Absprungs, wirkt zusätzlich zur Schwerkraft die Muskelkraft der Versuchsperson ... der Springer übt Kraft auf die Unterlage aus.
- Diese Kraft erreicht ihren maximalen Wert ...
- und nimmt dann wieder ab ...
- kurz vor dem Verlassen der Messplattform wirkt nur noch die Schwerkraft ...
- ab dem Zeitpunkt des Verlassens der Messplattform wirkt keine Kraft mehr auf die Plattform.

Man könnte nun meinen, dass zwischen einem Sprung „ohne Ausholbewegung“ und „mit Ausholbewegung“ kein Unterschied bezüglich der erreichten Höhe besteht ... denn in beiden Fällen befindet sich der Körper mit gebeugten Knien im tiefsten Punkt ... UND ab diesem Punkt müsste doch „alles genau gleich ablaufen“.

Mit Ausholbewegung – der Springer steht am Anfang gestreckt

Das Prinzip der Anfangskraft besagt nun, dass bei Beuge- und Streckbewegungen mit sofortiger Bewegungsumkehr zu Beginn der Streckung durch das Abbremsen der Beugebewegung eine positive Anfangskraft vorhanden ist.

- Der Sprung beginnt mit einer Ausholbewegung ... bei dieser Ausholbewegung wird die Kraftplattform entlastet (1) ... Diagramm verläuft unter der mg -Linie → t_0-t_1
- Diese Abwärtsbewegung muss abgebremst werden (2) ... t_1-t_2 ... dies führt zu einer Kraftwirkung oberhalb der mg -Linie.
- Die Flächen (1) und (2) – also die Impulsänderungen – sind gleich groß ... nach dem Impulserhaltungssatz
- Erst ab diesem Zeitpunkt beginnt der Absprung ... (das obige Diagramm – Absprung ohne Ausholbewegung) beginnt erst zu diesem Zeitpunkt. Die Kraft – hier Anfangskraft genannt – liegt zu diesem Zeitpunkt weit über der Kraft beim Sprung ohne Ausholbewegung ...
- Zum Zeitpunkt der Bewegungsumkehr ($t_2=t_a$) liegt also eine „Anfangskraft“ vor, die zu einem Gewinn in der Impulsänderung (3) führt.
- Ein Teil des Gewinns der Impulsänderung geht aber gegenüber einem Strecksprung ohne Ausholbewegung wieder verloren, da der Strecksprung mit Ausholbewegung früher beendet ist (5).

