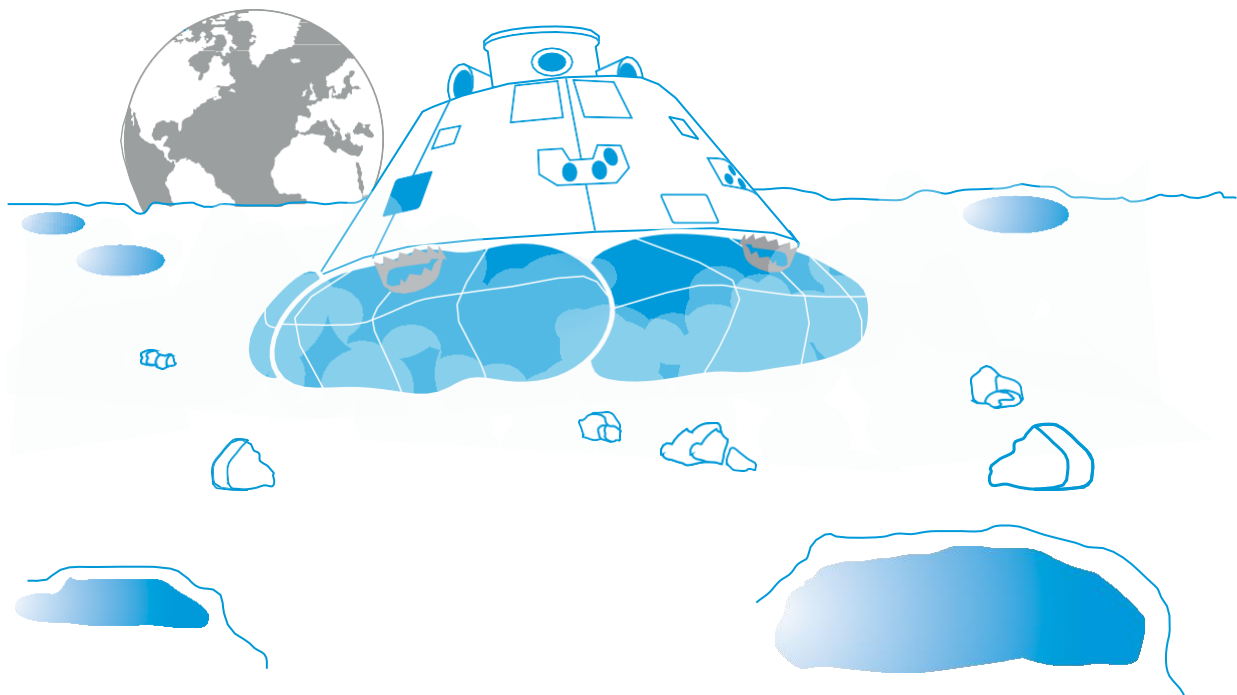
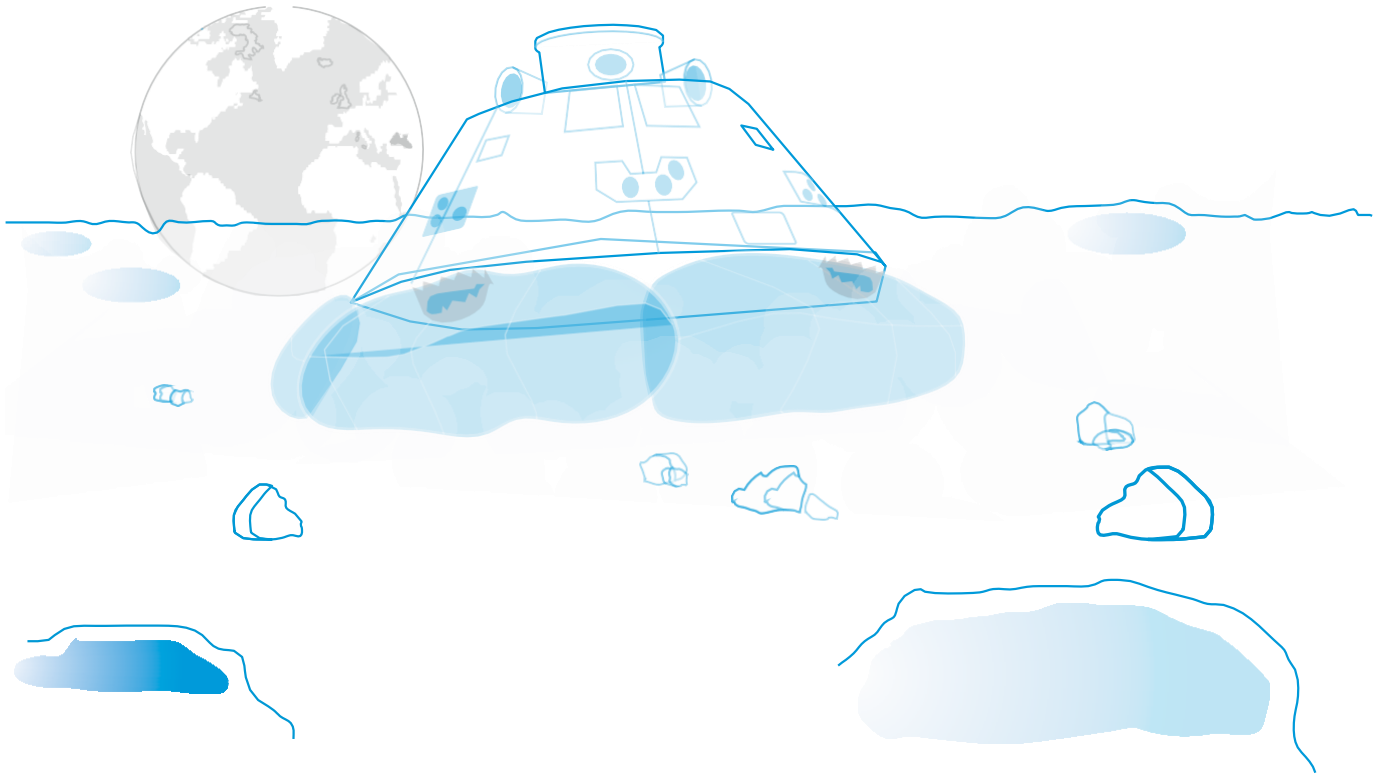


Lehren mit dem All

→ LANDUNG AUF DEM MOND

Planung und Design einer Mondlandefähre





Lehrermaterial

Kurzfassung	Seite 3
Zusammenfassung der Aufgaben	Seite 4
Einleitung	Seite 5
Aufgabe 1: Entwurf und Bau einer Mondlandefähre	Seite 6
Aufgabe 2: Test der Mondlandefähre	Seite 9
Aufgabe 3: Landung auf dem Mond	Seite 13
Links	Seite 16
Anhänge	Seite 17

Lehren mit dem All – Landung auf dem Mond | P37
www.esa.int/education

Das ESA Education Office freut sich über Feedback und Kommentare
teachers@esa.int

Eine ESA Education Zusammenarbeit mit ESERO Nordic
Copyright 2018 © European Space Agency

Eine Übersetzung von ESERO Germany

→ LANDUNG AUF DEM MOND

Planung und Design einer Mondlandefähre

KURZINFOS

Fächer: Physik, Mathematik, Wirtschaft

Alter: 14-16 Jahre

Typ: Schüleraktivität

Schwierigkeit: mittel

Vorbereitungszeit: 1 Stunde

Benötigte Zeit: insg. 2 Stunden und 30 Minuten

Kosten: gering (0-10 Euro)

Ort: Klassenraum und im Freien

Stichworte: Physik, Mathematik, Wirtschaft, Mondlandung, Schwerkraft, Reibung, Kraft, Beschleunigung, Geschwindigkeit, Newtonsche Gesetze, Kostenplanung, Risikoanalyse

Kurzbeschreibung

In dieser Reihe von Aufgaben planen, gestalten und bauen SuS eine Mondlandefähre, die eine sichere Landung der Crew (in Form eines Ei-Stronauten) auf dem Mond garantieren soll. Sie erkunden, welche Faktoren bei einer Mondlandung im Gegensatz zu einer Landung auf der Erde berücksichtigt werden müssen. Bei der Gestaltung der Landefähre müssen die SuS Risikofaktoren und das Budget beachten.

Lernziele

- Die involvierten Kräfte bei einer Landung auf dem Mond bzw. auf der Erde identifizieren.
- Die Beziehung zwischen Masse und Gravitation verstehen.
- Mithilfe von Newtons zweitem Gesetz ein Problem lösen.
- Unter Berücksichtigung der Risiken und des Budgets ein Projekt planen.
- Unter Zeit- und Geldeinschränkungen im Team arbeiten.

→ Zusammenfassung der Aufgaben

Zusammenfassung der Aufgaben					
	Titel	Beschreibung	Ergebnis	Voraussetzung	Zeit
1	Entwurf und baue eine Mondlandefähre	SuS entwerfen und bauen eine Mondlandefähre. Sie führen eine Risiko-Analyse durch und überprüfen das Design.	Die SuS sollen lernen, mit limitiertem Budget und Voraussetzungen ein Projekt zu planen. Ergebnis ist die Landefähre sowie die zugehörige Risiko-Analyse und Designstudie.	Keine	60 Minuten
2	Test der Landefähre	Test der Mondlandefähre und Analyse der Ergebnisse	Die SuS testen die Fähre und sammeln Daten. Sie berechnen Beschleunigung und Geschwindigkeit bei der Landung.	Abschluss von Aufgabe 1	60 Minuten
3	Landung auf dem Mond	Vergleich einer Landung auf dem Mond mit einer Landung auf der Erde	Die SuS lernen die Unterschiede von Mond und Erde. Sie berechnen die Fallbeschleunigung und die Gravitationskraft.	Abschluss von Aufgabe 2	30 Minuten

→ Einleitung

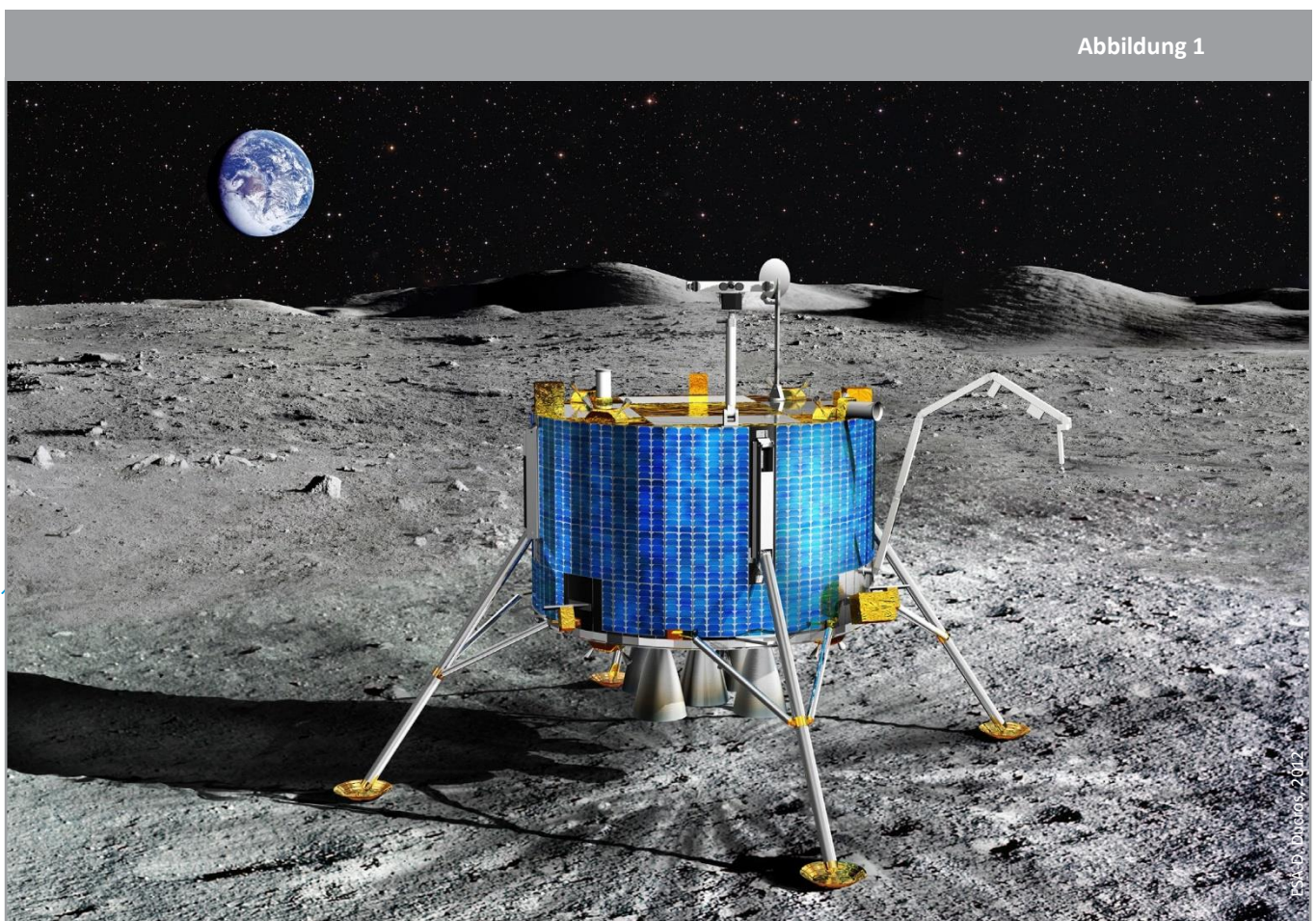
1969 wurde Apollo 11 zur ersten bemannten Landungsmission auf dem Mond. Nach einer 4-tägigen Reise von der Erde aus, löste sich die Landefähre, der *Eagle* (Adler), von der den Mond umkreisenden Kommandokapsel und landete im Mare Tranquilitas, einer relativ ebenen Fläche. Die Landefähre wurde manuell gesteuert, um Felsen und Kratern zu entgehen. „Houston, hier ist der Stützpunkt Tranquility Base. Der Adler ist gelandet!“ Diese Worte markierten eine neue Ära menschlicher Exploration.

Apollo 12, die zweite bemannte Mondlandung, war eine Präzisionsübung; ein Großteil des Landeanflugs war automatisch und die präzise Landung war von großer Bedeutung, da sie das Vertrauen stärken sollte, in bestimmten Regionen zu landen.

Der Landeanflug ist eine der kritischsten und schwierigsten Phasen bei einer Mondlandung. Die Landekapsel muss ihre Geschwindigkeit von 6.000 km/h in der Mondumlaufbahn auf einige wenige km/h reduzieren, um eine sanfte Landung zu garantieren. Landezonen in interessanten Gebieten sind oftmals gefährlich, voller Krater, Felsen und Abhänge, und demnach schwer zu erreichen.

Insgesamt haben nur 12 Menschen jemals den Mond betreten, das letzte Mal im Jahre 1972. Die ESA (European Space Agency) plant, in Zusammenarbeit mit ihren Partnern, den Mond in den nächsten Jahrzehnten mit Robotern und auch Menschen erneut zu besuchen.

In dieser Reihe von Aufgaben werden die Schülerinnen und Schüler eine Mondlandefähre entwerfen und einige Schwierigkeiten der Weltraumforschung kennenlernen.



→ Aufgabe 1: Entwurf und Bau einer Mondlandefähre

In dieser Aufgabe werden die Schülerinnen und Schüler mit einfachen Materialien eine Mondlandefähre entwickeln und bauen. Ziel ist es, eine Landekapsel zu entwerfen, mit der ein Ei-Stronaut sicher auf dem Mond landen kann. In ihrer Planung müssen die Schülerinnen und Schüler die Risiken einer bemannten Mondlandung beachten und eine Risiko- und eine Konzeptstudie durchführen.

Materialien

- Papier
- Ein ausgedrucktes Arbeitsblatt für jede Gruppe
- Strohhalme
- Marshmallows
- Wattebauschen
- Eisstiele
- Plastiktüte
- Schnur
- Klebeband
- Scheren
- Ballons
- Eier – 1 pro Gruppe
- Waagen

Aufgabe

Die Klasse sollte in Gruppen von jeweils 3-4 Schülerinnen und Schülern unterteilt werden. Jede Gruppe erhält ein Arbeitsblatt. Erklären Sie die Mission und die Voraussetzungen. Jede Gruppe soll eine bemannte Mondlandefähre für die ESA entwerfen. Sie können dabei alleine arbeiten oder sich mit anderen Gruppen austauschen. Am Ende hat allerdings jede Gruppe einen eigenen Entwurf vorzustellen.

Bevor die Schülerinnen und Schüler mit der Aufgabe beginnen, informieren Sie sie über die wesentlichen Fragen, die sie beachten müssen. Fragen Sie die Schülerinnen und Schüler, was sie bei einer Landung auf einem anderen Himmelskörper für wichtig halten (zum Beispiel die Reisedistanz, die Zusammensetzung bzw. das Fehlen der Atmosphäre, die Landezone, Anflugwinkel etc.).

Jede Gruppe erhält eine Liste mit Materialien und ihren Kosten (Anhang 1). Um eine effiziente Planung zu fördern, sollte der Kauf von Materialien nach Abschluss der Entwurfsphase 10% teurer sein. Jede Gruppe hat ein Budget von 1 Milliarde €. Dieses Budget sollte die Kosten für das Ei-Stronautentraining (300 Millionen €), den Start (1 Million € pro Gramm) und die Materialien decken. Die Materialliste kann bei Bedarf angepasst werden, um die Aufgabe zu erschweren. Auch das Budget und der Zeitrahmen können verändert werden.

Entwurfsphase:

Bevor die Schülerinnen und Schüler mit der Konstruktion ihrer Landefähre beginnen, sollen sie mithilfe der beigelegten Vorlage eine Risikoanalyse durchführen. In der Risikoeinschätzung wird sowohl die Wahrscheinlichkeit eines Risikos als auch die mögliche Auswirkung bewertet. Risiken bestehen überall – in der Entwurfsphase, bei der Konstruktion, beim Transport und beim Training der Crew. Auf dem Arbeitsblatt finden die Schülerinnen und Schüler eine Liste mit potenziellen Risiken und eine Matrix zur Bewertung. Die Nutzung einer solchen Matrix zur Risikoanalyse ist in vielen Branchen üblich. Die Schülerinnen und Schüler sollen die aufgelisteten Risiken in die Matrix eintragen und gemeinsam überlegen, ob es weitere Risiken gibt, die sie nicht bedacht haben. Für drei der kritischsten Risiken sollen sie Vermeidungs- bzw. Schadensbegrenzungsstrategien entwickeln.

Die Schülerinnen und Schüler sollen Ideen für eine sichere Landefähre entwickeln, die sich im Rahmen des Budgets bewegen. Sie sollen eine Zeichnung ihrer Idee anfertigen und mithilfe der Vorlage auf dem Arbeitsblatt ihr Budget bestimmen. Weisen Sie darauf hin, dass dieser Prozess vergleichbar ist mit dem tatsächlichen Entwurf einer Mondlandefähre; alle Materialien müssen sinnvoll genutzt, geplant und im Rahmen des Budgets sein.

Konstruktionsphase:

Nun sollen die Schülerinnen und Schüler ihre Landekapsel bauen. Sie werden dabei wahrscheinlich feststellen, dass nicht alle ihrer Ideen umsetzbar sind. Falls sie daraufhin ihren Entwurf ändern wollen, können sie das tun. Um die Schwierigkeit zu steigern, wird allerdings der Preis aller weiteren Materialien um 10% erhöht.

Ihrer Landefähre und ihrem Ei-Stronauten sollen sie einen Namen geben. Am Ende muss jede Gruppe ihre Landekapsel samt Ei-Stronaut wiegen, um die Startkosten zu bestimmen. Die Kosten dürfen inklusive Ei-Stronautentraining, Start und Material maximal 1 Milliarde € betragen.

Ergebnisse

Unten sehen Sie ein Beispiel dazu, wie die Risikoanalyse ausgefüllt werden soll. Die Einschätzung der Risiken hängt von den Schülerinnen und Schülern ab und kann variieren.

		Auswirkungen				
		unwesentlich	gering	mittelschwer	groß	katastrophal
Wahrscheinlichkeit	nahezu sicher		Die Landefähre wird in der Testphase beschädigt	Die Landung erfolgt nicht an der geplanten Stelle		
	wahrscheinlich		Eine andere Gruppe hat einen effizienteren und/oder billigeren Entwurf	Es kommt zu Verzögerungen	Es kommt zu unerwarteten Änderungen der Anforderungen	Der Ei-Stronaut überlebt nicht
	möglich		Die Landefähre wird beim Transport beschädigt	Die Landefähre wird sehr schwer	Es kommt zu unerwarteten Budgetänderungen	Die Landefähre wird bei der Landung beschädigt
	unwahrscheinlich				Einige Materialien sind zu teuer	Kontinuierliche Änderung des Entwurfs führt zu hohen Kosten
	selten				Einige Materialien sind nicht mehr verfügbar	

Risiko 1: Der Ei-Stronaut überlebt nicht.

Vermeidungsstrategie: Die Landefähre sollte auf alles vorbereitet sein und sich nicht nur auf einen Mechanismus verlassen, der eine sichere Landung gewährleistet. Der Test der Fähre sollte aus größerer Höhe als die tatsächliche Landung erfolgen. Der Test sollte zuerst ohne Ei-Stronaut durchgeführt werden.

Risiko 2: Kontinuierliche Änderung des Entwurfs führt zu hohen Kosten.

Vermeidungsstrategie: In der Entwurfsphase sollte Geld übrigbleiben, sodass spätere Änderungen finanziert werden können.

Risiko 3: Es kommt zu unerwarteten Änderungen der Anforderungen.

Vermeidungsstrategie: Anpassungsfähiges Design. Die Landefähre sollte auf alles vorbereitet sein und sich nicht nur auf einen Mechanismus verlassen. In der Entwurfsphase sollte Geld übrigbleiben.

Diskussion

Diese Aufgabe soll ein Bewusstsein dafür schaffen, Risiken und ihre Folgen zu erkennen, zu verstehen und zu vermeiden. Die Schülerinnen und Schüler sollen im Rahmen eines (Raumfahrt-)Projekts die Wichtigkeit gründlicher (Finanz-)Planung erlernen.

Sie können diese Übung dazu nutzen, einige Gefahren der Weltraumforschung zu erörtern. Diskutieren Sie mit den Schülerinnen und Schülern über die Risiken, einen Astronauten zu verlieren im Vergleich zu den Kosten der Landefähre. Sollte Weltraumforschung in Zukunft nur mit Robotern durchgeführt werden?

Bevor Sie zur zweiten Aufgabe (Test der Mondlandefähre) übergehen, sollten Sie eine Definition für einen „überlebenden Ei-Stronauten“ festlegen. Darf das Ei Risse haben? Wann gilt die Mission als erfolgreich?

→ Aufgabe 2: Test der Mondlandefähre

In dieser Aufgabe sollen die Schülerinnen und Schüler testen, ob ihre Mondlandefähre einen senkrechten Fall übersteht und der Ei-Stronaut überlebt. Die Landung soll dokumentiert werden. Optional können die Gruppen ihre Landung filmen und anschließend ein Videoanalysetool verwenden, um die Beschleunigung zu untersuchen.

Materialien

- Ein ausgedrucktes Arbeitsblatt pro Gruppe
- Die selbstgebaute Mondlandefähre aus Aufgabe 1
- (optional) Kamera/Smartphone und Stativ (siehe Anhang 3)
- (optional) Videotracking-Programm (siehe Anhang 3)
- (optional) Computer oder Smartphone

Teil 1

Bevor sie mit dem Test beginnen, sollen die Schülerinnen und Schüler die Landebedingungen (Härte des Bodens, Wetterkonditionen etc.) notieren. Jede Landung sollte möglichst ähnliche Bedingungen haben. Besprechen Sie mit den Schülern, warum es wichtig ist nicht zu viele Variablen auf einmal zu ändern.

Markieren Sie auf dem Boden mit Klebeband eine Landezone. Kleben Sie dazu einfach ein Kreuz auf den Boden oder malen Sie eine Zielscheibe, mit Ringen, die die Distanz zur Mitte markieren. Notieren Sie sich die Ergebnisse jeder Landung (Tabelle in Anhang 2). Mit erfolgreichen Landefähren können Sie optional noch weitere Tests aus größeren Höhen durchführen. Die Landekapseln, die die Landung überstehen, sollten so konstruiert sein, dass sie den Aufprall abfedern (zum Beispiel mit einer Watte-Polsterung).

Sie können den Gewinner mithilfe der folgenden Kriterien auswählen:

- Fallhöhe, die die Landefähre überstehen konnte
- Distanz zur vorgesehenen Landezone
- Kosten der Landefähre
- Wie genau die finale Landefähre dem ursprünglichen Design und Budget entspricht
- Teamwork, Planung und Kommunikation in der Gruppe

Lassen Sie die Schülerinnen und Schüler ihre Projekte vorstellen. Sie sollen analysieren, wie gut ihr Plan aufgegangen ist und was sie hätten anders machen können, jetzt, da sie die Ergebnisse kennen. Sie sollen außerdem diskutieren, welche externen Faktoren die Landung beeinflusst haben, zum Beispiel die Wetterkonditionen (Wind, Regen etc.) oder der Untergrund (Asphalt, Sand, Rasen etc.).

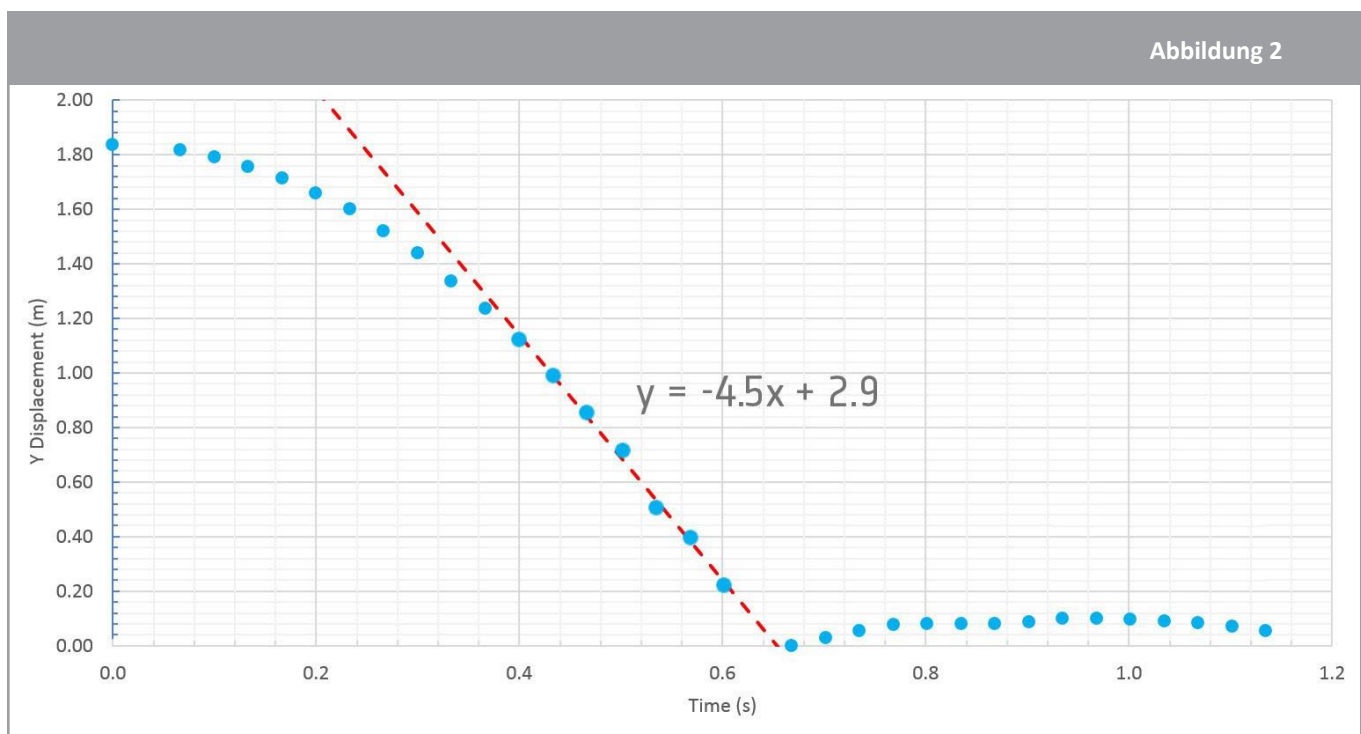
Teil 2

Für Teil 2 benötigen Sie Position und Geschwindigkeit als Zeitfunktion. In Anhang 3 finden Sie eine ausführliche Anleitung, wie diese Parameter gemessen werden. Alternativ können Sie auch die Beispieldaten in Anhang 3, Tabelle 1 verwenden.

In dieser Übung analysieren die Schülerinnen und Schüler die Geschwindigkeit und die Beschleunigung während der Landung. Als Beispiel nehmen wir die Daten aus Tabelle 1 in Anhang 3. Die Schülerinnen und Schüler benötigen entweder einen grafischen Taschenrechner oder einen Computer bzw. ein Smartphone mit einem Programm wie Microsoft Excel.

1. Berechnung der Aufprallgeschwindigkeit mithilfe des Graphen „Verschiebung in y-Richtung vs. Zeit“:
Um die Aufprallgeschwindigkeit der Landefähre zu berechnen, können die Schülerinnen und Schüler zunächst die Verschiebung der Fähre in y-Richtung als Zeitfunktion darstellen. Dann sollten sie eine lineare Regressionsanalyse der Daten vor dem Aufprall durchführen (nur für die letzten 10 bis 5 Datenpunkte vor dem Aufprall). Die Steigung dieser linearen Regression entspricht ungefähr der Aufprallgeschwindigkeit. Wenn die Landefähre nicht ihre Endgeschwindigkeit erreicht hat, beschleunigt sie immer noch. In diesem Fall ist diese Methode nur eine Annäherung.

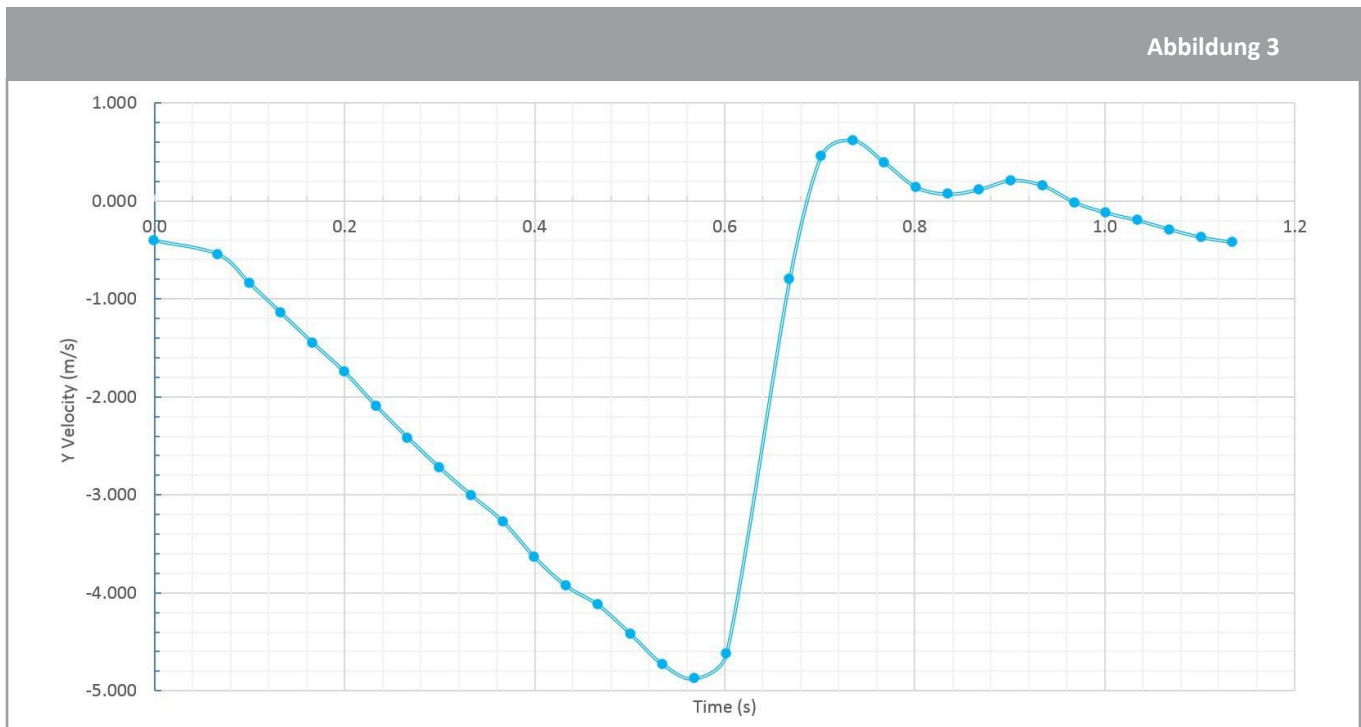
In dem Beispieldiagramm (Abb. 2) beträgt die Aufprallgeschwindigkeit etwa 4,5 m/s.



↑ [Verschiebung in y-Richtung vs. Zeit.](#)

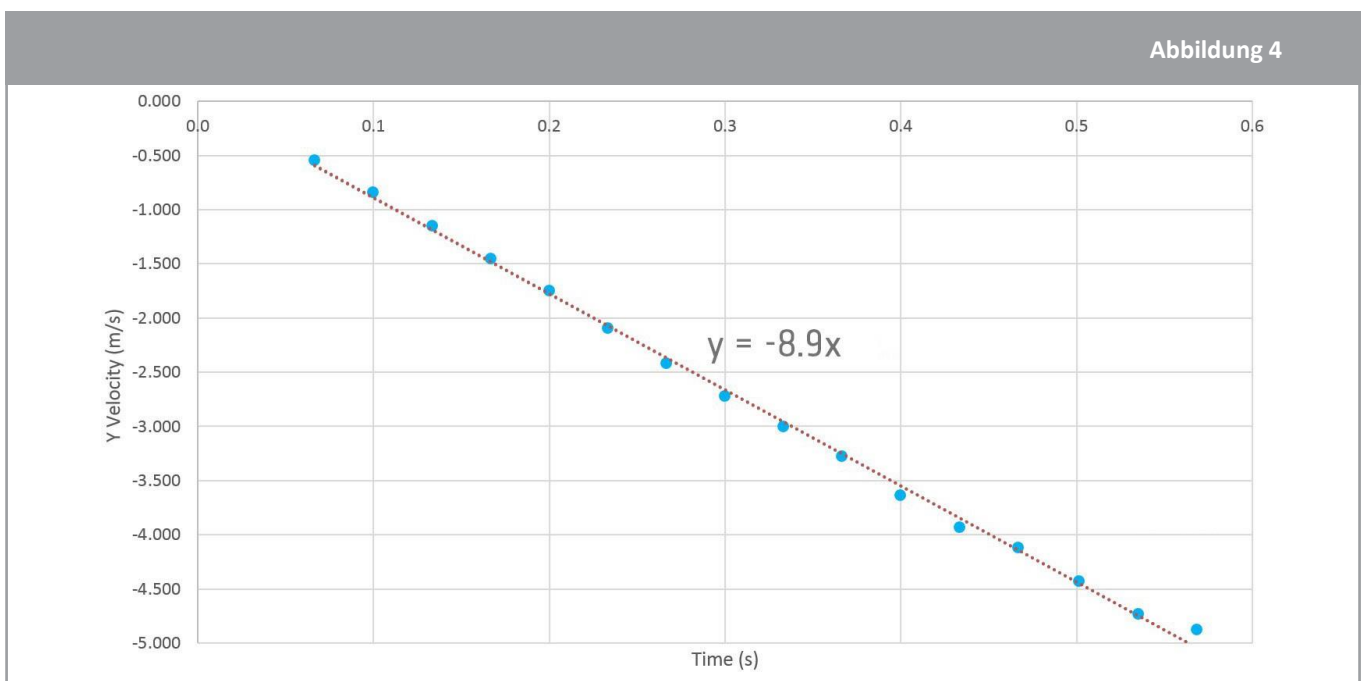
2. Ermitteln der Aufprallgeschwindigkeit mithilfe der Geschwindigkeit in y-Richtung vs. Zeit:
Eine andere Methode zur Ermittlung der Aufprallgeschwindigkeit ist, die Geschwindigkeit in y-Richtung als Zeitfunktion darzustellen. Die ungefähre Aufprallgeschwindigkeit kann in diesem Graphen ganz einfach als der Punkt erkannt werden, an dem die Geschwindigkeit die Richtung ändert. In Abbildung 3 sehen wir, dass die Landefähre mit einer Geschwindigkeit von etwa 4,8 bis 4,9 m/s auf den Boden aufprallt, was etwa der in Aufgabe 1 berechneten Geschwindigkeit entspricht. Die Geschwindigkeit der Landefähre sollte bis zum Aufprall nicht abnehmen (außer es wird ein Auffangsystem wie zum Beispiel ein Fallschirm verwendet, was hier aber nicht der Fall

ist). Die Schwankungen der Datenpunkte nahe dem Aufprall sind wahrscheinlich auf Messungenauigkeiten zurückzuführen.



↑ Geschwindigkeit in y-Richtung vs. Zeit.

3. Berechnung der Beschleunigung mithilfe des Graphen "Geschwindigkeit in y-Richtung vs. Zeit":
 Um die Beschleunigung der Landefähre zu berechnen, können die Schülerinnen und Schüler eine lineare Regression der Geschwindigkeit in y-Richtung als Zeitfunktion vornehmen. Die Steigung dieser linearen Regression entspricht der Beschleunigung der Landefähre. Unter Verwendung der Beispieldaten aus Abbildung 4, lässt sich die Beschleunigung in y-Richtung als $y = -8,9x$ m/s² berechnen.



↑ Lineare Regression der Geschwindigkeit in y-Richtung vs. die Zeit vor dem Aufprall.

Der Einfluss des Luftwiderstands auf die Beschleunigung:

Aufgrund des Luftwiderstands der Atmosphäre kommt es zu einer Entschleunigung. Der Luftwiderstand nimmt mit dem Quadrat der Geschwindigkeit zu. Wenn die Landefähre von einem viel höheren Punkt fallengelassen würde, wären die Schülerinnen und Schüler in der Lage die Endgeschwindigkeit (konstante Geschwindigkeit) zu berechnen, welche dann eintritt, wenn der Luftwiderstand dem Gewicht entspricht.

→ Aufgabe 3: Landung auf dem Mond

In dieser Aufgabe werden die Schülerinnen und Schüler eine Landung auf der Erde mit einer Landung auf dem Mond vergleichen. Sie untersuchen die verschiedenen Einflussfaktoren und überarbeiten mit den neu gewonnenen Erkenntnissen das Design ihrer Landefähre.

Aufgabe

Besprechen Sie zu Anfang die Unterschiede zwischen Mond und Erde. Welche Faktoren beeinflussen die Landung an beiden Orten? Leiten Sie die Schülerinnen und Schüler dazu an, Faktoren wie die Wichtigkeit des Landeorts und den Winkel des Landeanflugs zu diskutieren.

1. Lassen Sie die Schülerinnen und Schüler jeweils 3 Faktoren auflisten, die die Landung beeinflussen können. Hier sind ein paar Beispiele:

Landung auf der Erde	Landung auf dem Mond
1. Atmosphäre 2. Landestelle 3. Geschwindigkeit beim Wiedereintritt 4. Winkel beim Wiedereintritt 5. Wetter	1. Landestelle 2. Lage auf dem Mond 3. Landegeschwindigkeit 4. Anflugwinkel 5. Temperaturschwankung

Besprechen Sie die Auswirkungen der aufgelisteten Unterschiede, zum Beispiel die Atmosphäre. Wie beeinflusst das Fehlen einer Atmosphäre die Landung auf dem Mond? Ein Fallschirm würde bei einer Mondlandung nicht helfen – vielleicht brauchen sie stattdessen ein Triebwerk oder einen Airbag. Hitzeschilder sind beim Wiedereintritt in die Erdatmosphäre unumgänglich, bei einer Mondlandung dagegen nicht. Umgekehrt sind die Temperaturschwankungen auf dem Mond viel extremer als auf der Erde, die Landefähre müsste dementsprechend angepasst werden.

2. Zur Beantwortung von Frage 2 benötigen die Schülerinnen und Schüler die Gleichung für die Fallbeschleunigung (g):

$$g = G \frac{m}{r^2}$$

G ist die Gravitationskonstante, m die Masse des Mondes und r der Radius des Mondes.

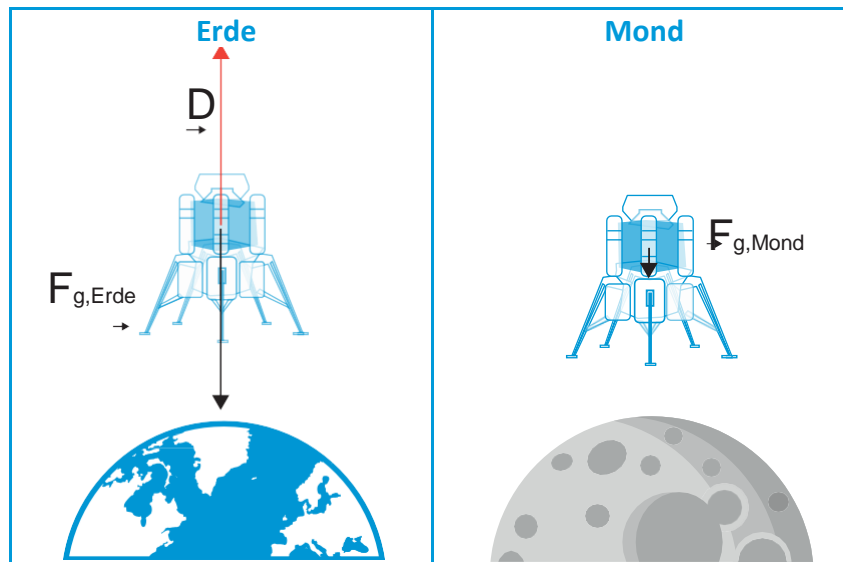
Und Newtons zweites Bewegungsgesetz:

$$F = m \cdot a$$

F entspricht der Kraft, die auf einen Körper wirkt, m ist die Masse des Körpers und a ist die Beschleunigung.

ERDE	MOND
$g_{\text{Erde}} = \frac{5,97 \cdot 10^{24} \text{ kg} \cdot 6,67408 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}}{(6\,371\,000 \text{ m})^2}$ $g_{\text{Erde}} = 9,81 \text{ ms}^{-2}$	$g_{\text{Mond}} = \frac{7,35 \cdot 10^{22} \text{ kg} \cdot 6,67408 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}}{(1\,737\,000 \text{ m})^2}$ $g_{\text{Mond}} = 1,62 \text{ ms}^{-2}$
Angenommen, die Landefähre wiegt 250 g: $F_{g,\text{Erde}} = 9,81 \text{ ms}^{-2} \cdot 0,25 \text{ kg}$ $F_{g,\text{Erde}} = 2,45 \text{ N}$	$F_{g,\text{Mond}} = 1,62 \text{ ms}^{-2} \cdot 0,25 \text{ kg}$ $F_{g,\text{Mond}} = 0,41 \text{ N}$

3. Lassen Sie die Schülerinnen und Schüler das Kräfte diagramm der Landefähre auf dem Mond und auf der Erde zeichnen. Sie können den Schülern vorgeben, dass die Gravitationsbeschleunigung auf dem Mond 6-mal geringer ist als auf der Erde.



Der Mond ist von luftleerem Raum umgeben, dementsprechend ist die einzige Kraft, die auf die Landefähre einwirkt, die Gravitationskraft ($F_{g,\text{Mond}}$) bzw. das Gewicht. Der Gewichtskraft-Vektor ist auf dem Mond 6-mal kleiner als auf der Erde, wie die Rechnung in Aufgabe 2 zeigt.

Die Erde hat eine Atmosphäre, daher muss der Luftwiderstand mit einberechnet werden. Der Luftwiderstand (D) ist abhängig vom Quadrat der Geschwindigkeit der Landefähre. Mit zunehmender Geschwindigkeit nimmt auch der Luftwiderstand zu, bis er dem Gewicht der Landefähre entspricht. Sobald das der Fall ist, wirkt keine äußere Kraft mehr auf die Landefähre ein und sie fällt mit konstanter Geschwindigkeit (Endgeschwindigkeit).

4. Dank des gewonnenen Wissens aus den vorherigen Aufgaben sollten die Schüler nun die Unterschiede zwischen einer Mond- und einer Erdlandefähre kennen. Besprechen Sie mit den Gruppen, ob der Einsatz eines Fallschirms denkbar ist. Diskutieren Sie außerdem die Vor- und Nachteile von Airbags und Triebwerken. Fragen Sie die Schülerinnen und Schüler, ob sie ihre Landefähre umbauen würden, wenn sie nicht für die Sicherheit des Ei-Stronauten Sorge tragen müssten. Nutzen sie diese Gelegenheit, den Bezug zu echten Raumfahrtmissionen herzustellen und die Unterschiede zwischen bemannten und unbemannten Missionen zu besprechen.

→ Ergebnis

Die Schülerinnen und Schüler sollten zu dem Schluss kommen, dass der Bau einer Mondlandefähre eine schwierige Aufgabe ist, bei der viele Faktoren berücksichtigt werden müssen und für die eine ausgiebige Testphase nötig ist. Sie sollten außerdem folgern, dass es zwingend notwendig ist, sich an ein Budget zu halten, Risiken einzuschätzen und im Team zu arbeiten. Bemannte Missionen sind deutlich risikoreicher als unbemannte und dementsprechend müssen bei der Planung noch viel mehr Faktoren berücksichtigt werden.

Die Schülerinnen und Schüler sollten außerdem zu dem Schluss kommen, dass bei Tests, die auf der Erde durchgeführt werden, niemals die gleichen Bedingungen wie auf dem Mond reproduziert werden können. Deshalb müssen die Tests durch Theorie ergänzt werden, um die Unterschiede zwischen Mond und Erde ganz zu verstehen.

→ Links

ESA Ressourcen

Moon Camp Challenge

esa.int/Education/Moon_Camp

Mond-Animationen dazu, wie man zum Mond kommt.

esa.int/Education/Moon_Camp/Travelling_to_the_Moon

ESA Unterrichtsmaterialien:

esa.int/Education/Classroom_resources

ESA Raumfahrtprojekte

SMART-1

<http://sci.esa.int/smart-1>

HERACLES

esa.int/Our_Activities/Human_Spaceflight/Exploration/Landing_on_the_Moon_and_returning_home_Heracles

Zusätzliche Informationen

ESA's interaktiver Mond-Führer

<http://lunarexploration.esa.int/#/intro>

Anleitungen für das Tracker-Programm

Tutorial 1

youtube.com/watch?v=JhI-_gIsE6o

Tutorial 2

youtube.com/watch?v=ibY1ASDOD8Y

→ ANHANG 1

Aufgabe 1 – Entwurf und Bau einer Mondlandefähre

Obligatorische Kosten:

Training des Ei-Stronauten	300 Millionen €
Kosten für den Start	1 Million € pro Gramm

Material:

1 Blatt A4 Papier	50 Millionen €
1 Strohhalm	100 Millionen €
1 Marshmallow	150 Millionen €
1 Eisstiel	100 Millionen €
1 Plastiktüte	200 Millionen €
1 m Faden	100 Millionen €
1 m Klebeband	200 Millionen €
1 Ballon	200 Millionen €

→ ANHANG 2

Aufgabe 2 - Test der Mondlandefähre

Dieser Teil von Aufgabe 2 kann entweder vorgeführt oder als Gruppenarbeit weitergeführt werden – je nach Verfügbarkeit von Computern bzw. Smartphones.

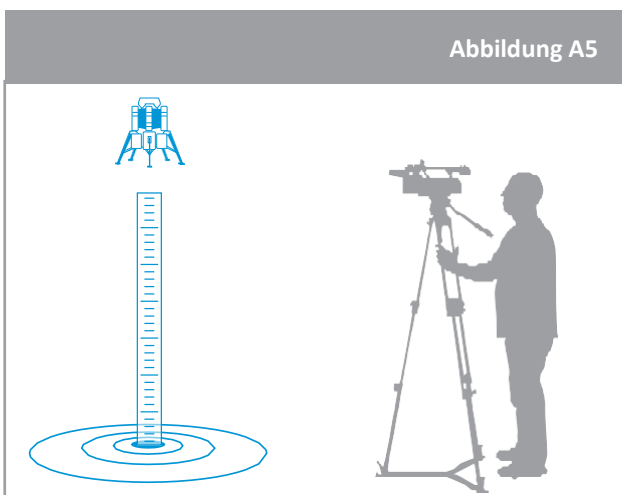
Mithilfe eines Videoanalysetool wird die Flugbahn nachverfolgt. Es gibt verschiedene Programme für diesen Zweck – einige sind kostenlos, andere benötigen eine Lizenz. Wir empfehlen folgende Programme:

- Das „Tracker-Programm“ kann unter <http://physlets.org/tracker/> kostenlos heruntergeladen werden und ist für die Nutzung am PC geeignet.
- Die App „Vernier Video Physics“ in Kombination mit „Vernier Graphical Analysis“ (beide für Android und iOS verfügbar) sind ideal für die Nutzung auf dem Tablet oder Smartphone geeignet.

Sie können ein Experiment durchführen und den Schülerinnen und Schülern das Daten-Set zur Verfügung stellen oder jede Gruppe ein eigenes Experiment durchführen lassen.

Aufbau

1. Befestigen Sie einen Meterstab als Referenz neben der Landezone
2. Positionieren Sie die Kamera so, dass sowohl die Landezone als auch der Meterstab im Bild sind.
3. Nutzen Sie am besten ein Stativ, um die Kamera still zu halten.
4. Achten Sie bei der Landung darauf, dass Landefähre und Meterstab die gleiche Distanz zur Kamera haben.



↑ Darstellung des Aufbaus für die Landung.



↑ Beispiel für die Videoanalyse aus etwa 2 m Höhe.

5. Verfolgen Sie die Landung in ihrem gewählten Programm, indem Sie manuell Markierungen setzen.
6. Speichern Sie die Daten.

Beispieldaten für die Landung.

Zeit (s)	Verschiebung (m)	Geschwindigkeit (m/s)
0,000	1,84	-0,406
0,067	1,82	-0,547
0,100	1,79	-0,843
0,133	1,76	-1,148
0,167	1,71	-1,453
0,200	1,66	-1,748
0,233	1,60	-2,096
0,267	1,52	-2,420
0,300	1,44	-2,725
0,333	1,34	-3,006
0,367	1,24	-3,274
0,400	1,12	-3,638
0,433	0,99	-3,931
0,467	0,86	-4,123
0,502	0,71	-4,428
0,535	0,51	-4,734
0,568	0,40	-4,877
0,602	0,22	-4,623
0,668	0,00	-0,798
0,702	0,03	0,457
0,735	0,06	0,614
0,768	0,08	0,386
0,802	0,08	0,135
0,835	0,08	0,066
0,868	0,08	0,115
0,902	0,09	0,207
0,935	0,10	0,151
0,968	0,10	-0,019
1,002	0,10	-0,125
1,035	0,09	-0,201
1,068	0,08	-0,294
1,102	0,07	-0,375
1,135	0,06	-0,426