

The logo features the word "Apex" in blue and "Explorer" in red, both in a sans-serif font. A thick, light blue arc curves over the text, resembling a stylized 'A' or a celestial path. The entire logo is set against a white rounded rectangle.

Apex Explorer

Version für die Lehrkräfte

Bildergalerie



Rakete mit Fallschirm

Daten der Rakete	
Länge	60cm
Gewicht	200g
Flughöhe	60m (kleiner Treibsatz)
	200m (großer Treibsatz)



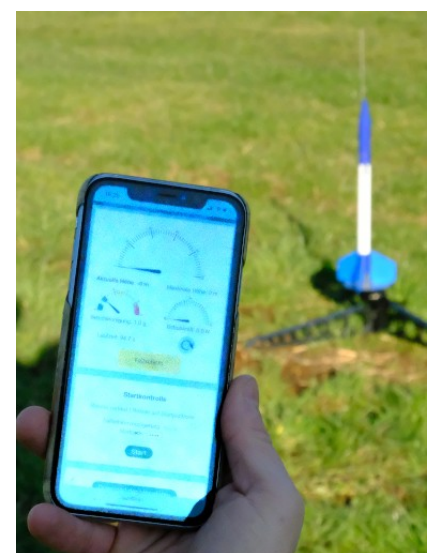
Vorbereiten der Rakete



Verpackung



Verbindung mit dem Laptop



Steuerung über ein Smartphone



Start der Rakete

Inhaltsverzeichnis

Bildergalerie.....	2
Einleitung.....	3
Hinweise für die Lehrkraft.....	5
Startcode für die Rakete.....	5
Rechtliche Informationen.....	5
Luftfahrtsrecht.....	5
Sprengstoffverordnung.....	6
Gefährdungsbewertung und Zustimmung der Eltern.....	6
Verwendung der Anleitungen.....	7
Checklisten.....	7
Anleitung (die kleine).....	7
Anleitung für die Lehrkräfte.....	7
Physikalisch-Technische Informationen zu den Messungen.....	8
Höhenmessung.....	8
Beschleunigung Vertikal.....	9
Geschwindigkeit – vertikal.....	9
Schubkraft.....	9
Beschleunigung – im Bezugssystem der Rakete.....	10
Beschleunigung- vektoriell.....	10
Einen geeigneten Startplatz finden.....	11
Ein eigener Fußballplatz.....	11
Im freien Feld.....	11
Zeitplanung.....	12
Gefährdungsbeurteilung.....	14
Arbeitsblätter.....	16
Übersicht.....	16
Kinematik.....	17
Beschleunigung.....	18
2. Newton'sches Axiom.....	19
Impuls.....	21
Energie.....	23
Formulare.....	24
Erlaubnis für minderjährige SchülerInnen.....	25
Technische Hinweise.....	26
Allgemeine Sicherheitshinweise.....	26
Entsorgung und Recycling.....	26
Kontaktdaten.....	26

Einleitung

Disclaimer: Das Projekt befindet sich noch in der Entwicklung. Vor allem die Anleitung ist noch nicht zu 100% zu Ende entwickelt. An vielen Stellen finden sich noch Platzhalter (Gelb markiert) ... auch ein Lektorat fand noch nicht statt.

Hinweise für die Lehrkraft

Startcode für die Rakete

Damit Sie sichergehen können, dass niemand die Rakete ohne Freigabe (durch Sie) startet wird ein vierstelliger Startcode benötigt. Dieser ist das Jahr an dem Sputnik gestartet wurde: **1957**

Rechtliche Informationen

Der Raketenversuch berührt zwei Rechtsgebiete, mit denen man im Schulalltag nur wenig in Berührung kommt: Die Sprengstoffverordnung und das Luftfahrtsrecht.

Luftfahrtsrecht

Durch die zunehmende Verwendung von Drohnen wurde das Luftfahrtrecht 2021 um die [EU-Drohnenverordnung](#) erweitert. Da dieses Gesetz aber Behörden grundsätzlich von den Einschränkungen ausnimmt, treffen die Einschränkungen aus der Drohnenverordnung nicht auf Sie zu wenn Sie die Rakete im schulischen Kontext starten lassen.

Eingeschränkt werden Sie daher nur noch durch das deutsche Luftverkehrs-Ordnung. Hier regelt besonders der § 21h¹ unter welchen Bedingungen unbemannte Fluggeräte den Luftraum nutzen dürfen. Folgenden Bedingungen werden dabei aufgestellt:

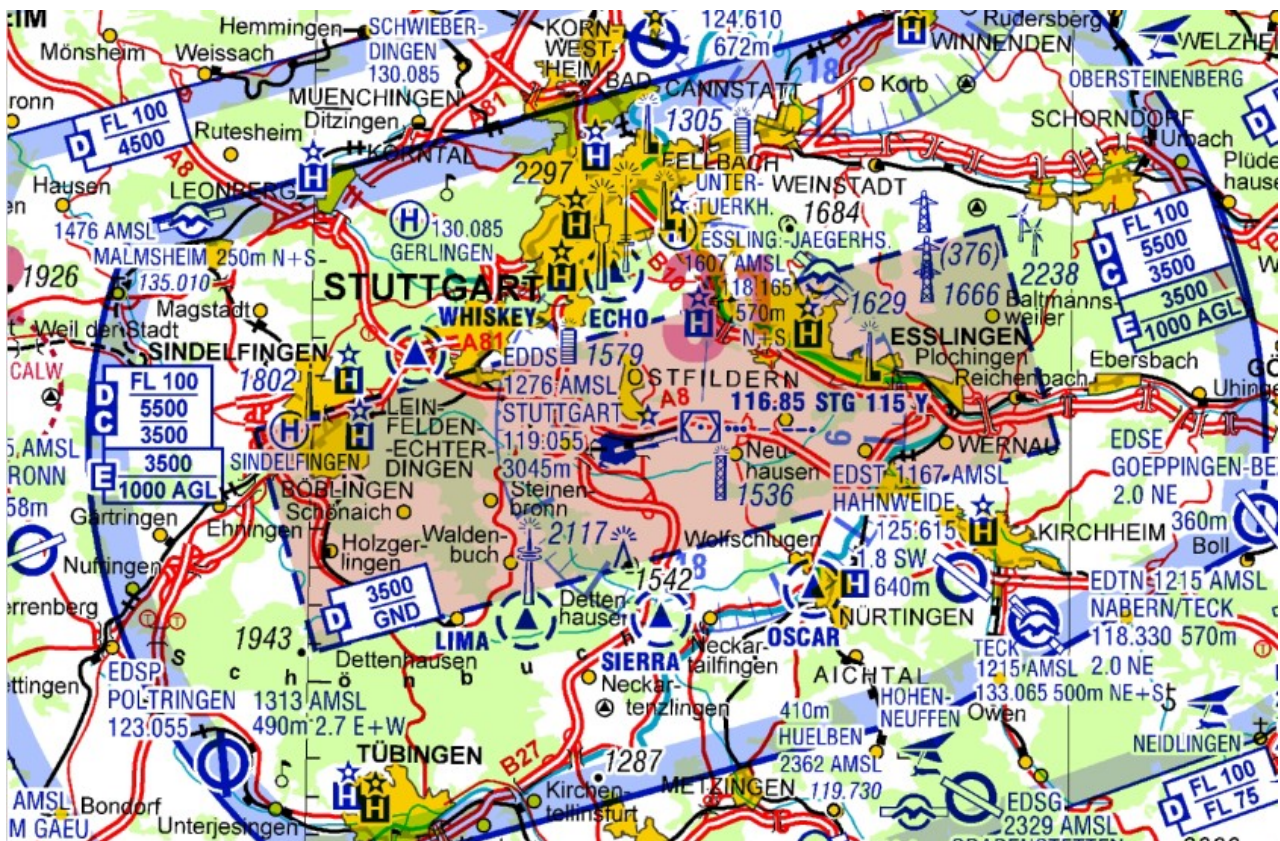
- 1500 m Abstand zu Flugplätzen, 5 km von Flughäfen
- 100 m Abstand zu Industrieanlagen, Gefängnissen, Anlage der Energieerzeugung und Energieverteilung
- 100 m Abstand zu Grundstücken der Verfassungsorgane und von diplomatischen Organisationen(Botschaften, UN, Konsulate)
- 100 m Abstand zu Bundesfernstraßen, Bundeswasserstraßen und zu Bahnanlagen

Verboten ist das Verwenden der Rakete in Naturschutzgebieten und über Flächen mit Menschenansammlungen.

Zusätzlich darf Ihre Rakete nicht in den kontrollierten Luftraum eindringen. Dieser kontrollierte Luftraum ist im Prinzip der Bereich, in dem die Flugsicherung (der "Tower") die Organisation des Flugbewegungen übernimmt. Im ganz überwiegende Teil beginnt dieser Flugraum bei deutlich über 1000 m. In der Nähe von Flugplätzen und Militäranlagen kann der kontrollierte aber auch bis zum Boden reichen. Auf Anfrage schicke ich Ihnen gerne eine Karte des Luftraums in ihrer Umgebung zu, auf dem Sie sehen können ob es in ihrer Nähe Bereich mit kontrolliertem Luftraum bis zu Boden gibt (siehe Abbildung).

Da Sie aber die Rakete überall dort fliegen lassen dürfen, wo auch Drohnen fliegen dürfen, bieten Ihnen dieser Link eine schnelle Überblick über die Situation um die größten deutschen Flughäfen: <https://www.dfs.de/homepage/de/drohnenflug/karten-flughaefen/>

1 https://www.gesetze-im-internet.de/luftvo_2015/__21h.html



Beispielhaft sehen Sie hier den kontrollierten Luftraum um den Flughafen Stuttgart. Nur im roten Rechteck geht der kontrollierte Luftraum bis auf den Boden (GND).

Sprengstoffverordnung

Die Treibsätze der Rakete sind in der freiverkäuflichen Kategorie P1. Das bedeutet, dass Sie nur von Erwachsenen gekauft werden dürfen. Ein Zünden durch Jugendlichen ab 14 Jahren ist nur unter Aufsicht eines Erwachsenen erlaubt. Kinder unter 14 Jahre dürfen die Treibsätze nicht verwenden. Eine Erlaubnis der Eltern ist bei Minderjährigen notwendig. Da nur die Mitglieder des Teams JPL mit den Treibsätzen hantieren benötigen nur minderjährige Mitglieder dieses Teams eine Erlaubnis. Dies ist auf dem Elternerlaubnisformular für das Raketenprojekt bereits berücksichtigt.

Zusätzlich verbietet das Sprengstoffgesetz pyrotechnische Gegenstände, in diesem Fall die Raketentreibsätze, „in unmittelbarer Nähe von Kirchen, Krankenhäusern, Kinder- und Altersheimen sowie Reet- und Fachwerkhäusern“ abzubrennen² (). Unmittelbare Nähe ist nicht näher definiert. Der normale Sicherheitsabstand den Sie sowieso einhalten genügt.

Das Sprengstoffgesetz schränkt Sie praktisch also nur ein, falls Sie SchülerInnen unter 14 Jahre in ihrer Klassen haben. Dann dürfen diese nicht im Team JPL sein.

Gefährdungsbewertung und Zustimmung der Eltern.

Auf Seite 13 finden Sie eine auf das Raketenprojekt abgestimmte Gefährdungsbeurteilung.

In den digitalen Daten finden Sie Kopiervorlagen für die elterliche Erlaubnis minderjähriger TeilnehmerInnen. Weil die Teams unterschiedlichen Risiken ausgesetzt sind wird auf der Erlaubnis zwischen den verschiedenen Teams unterschieden. Eine Abbildung dieser Elternerlaubnis ist in dieser Anleitung auf Seite 24 abgebildet.

Verwendung der Anleitungen

Den ApexExplorer zu starten ist eigentlich recht einfach und kann von einer Person innerhalb von wenigen Minuten durchgeführt werden. Wenn es Ihnen nur um den Raketenflug an sich geht, können Sie auf die Gruppenarbeit Ihrer SchülerInnen verzichten und selbst oder mit einigen ausgewählten SchülerInnen einen Schnellstart der Rakete durchführen. Der **Quick Start Guide** (QSG) soll Sie bei einem solchen Schnellstart unterstützen. Der QSG ersetzt aber nicht die Lektüre der Anleitungen.

Quick Start Guide

Fallschirm	Fallschirm falten und einsetzen Mit Fallschirmsicherung verschließen
Rakete zusammenbauen	Finnen anbringen Treibsatz einsetzen (Standard: C6-P) Zünder einsetzen- Stecker NICHT einstecken
Startplattform	Zusammenbauen & Aufstellen
Rakete aufstellen	Rakete auf Führungsstab stecken Rakete einschalten
Verbindung herstellen	Mit WLAN Raketen_Name verbinden. Webseite Raketen_Name.local aufrufen
Systemcheck	Stabile Verbindung? Reagieren die Sensoren? Fallschirmklappe verschließen (Gelb)
Gefahrenbereich räumen bis auf eine Person	
Scharf machen	Sicherungskappe entfernen Zünderstecker einstecken
Gefahrenbereich räumen- Alle!	
Start	Verzögerungszeit einstellen (Standard: 6s) Sicherungscode eingeben Achtungssignal Countdown-> Start
Rakete und Daten sichern	Rakete bergen Messdaten herunterladen Auf Webseite <i>Flugdiagramme</i> gehen Landezeit kontrollieren/einstellen

raketenwerkstatt.de

Checklisten

Damit die Rakete sicher von mehreren Menschen, die in verschiedenen Gruppen arbeiten gestartet werden kann wird der Start über Checklisten organisiert. Jede Gruppe hat ihre eigenen Checklisten.

Die Arbeitsschritte sind dabei sehr kleinschrittig gewählt. Auf den Checklisten steht zu jedem Arbeitsschritt meistens nur ein Stichwort. Welche Tätigkeiten sich hinter diesen Stichworten verbergen wird ausführlich in der Anleitung beschrieben. Sicherheitsrelevante Schritte sind rot hinterlegt, Missionskritische³ Schritte sind blau hinterlegt.

Die Checklisten sind laminiert, damit sie mit Folienstiften wiederverwendet werden könne.

Anleitung (die kleine)

In dieser Anleitung wird die Rakete detailliert beschrieben. Neben der Technik der Rakete werden auf Grundlagen des Raketenflugs beschrieben.

Den größten Teil dieser Anleitung nimmt die ausführliche Beschreibung der einzelnen Schritte auf den Checklisten.

Anleitung für die Lehrkräfte

Die Anleitung die Sie gerade lesen deckt alle Dinge ab, die für Sie als Lehrkraft um den eigentlichen Raketenflug herum interessieren könnte. Neben den rechtlichen Rahmenbedingungen werden die didaktischen Überlegungen hinter den Arbeitsblättern dargelegt.

³ Missionskritisch: Es besteht die Gefahr, dass die Mission ein Fehlschlag wird, ohne dass die Rakete Schaden nimmt.

Physikalisch-Technische Informationen zu den Messungen

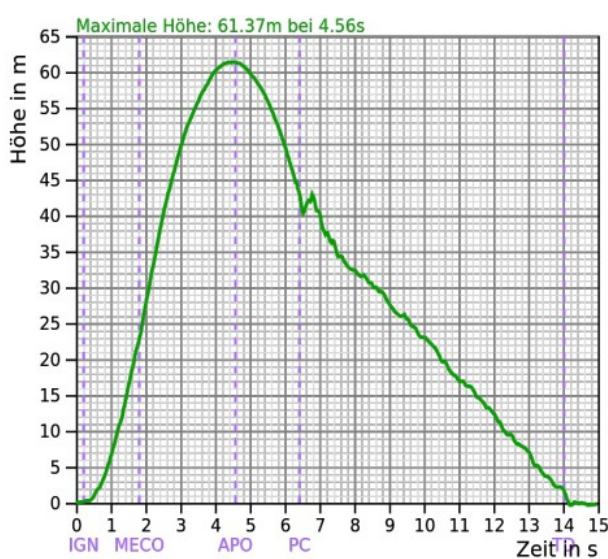
Im folgenden Abschnitt finden Sie Hinweise, wie genau die Diagramme im ApexExplorer erzeugt wird.

In den Graphen sind einige besondere Zeitpunkte lila markiert:

- **IGN (Ignition)**: Der Zeitpunkt der Zündung. Durch die Pyrotechnische Zündung gibt es zwischen dem Zündsignal des Mikroprozessors und dem Zeitpunkt an dem das Schwarzpulver des Treibsatzes wirklich gezündet hat einen kurzen Zeitverzug. Der Zeitpunkt wurde in Versuchen empirisch ermittelt und weicht unter Umständen von Ihrem konkreten Versuch etwas ab.
- **MECO (Main Engine Cut Off)**: Der Zeitpunkt an dem die Triebwerk ausgebrannt sind und keinen Schub mehr liefern. Ebenfalls empirisch ermittelt. Je nach Treibsatzcharge kann es zu Abweichungen kommen.
- **APO (Apogee)**: Der Zeitpunkt an dem die maximale Höhe erreicht wurde. Dieser Zeitpunkt wird aus den aktuellen Messdaten bestimmt und sollte sehr gut mit ihrem Raketenflug über einstimmen.
- **PC (Parachute)**: Der Zeitpunkt an dem sich der Fallschirm entfaltet hat. Dies ist ca. 0,5 s nach dem Signal zum Auslösen des Fallschirms der Fall. Je nach aerodynamischer Situation kann der Fallschirm sich alelrdings etwas früher oder später voll entfalten.
- **TD (Touch Down)**: Der Zeitpunkt an dem die Rakete wieder auf dem Boden gelandet ist. Dieser Zeitpunkt wird aus den aktuellen Messdaten extrapoliert, da je nach Gelände der Boden am Landepunkt nicht die gleiche Höhe wie die Startplattform hat. Hier sind sind größere Abweichungen möglich, falls die Rakete deutlich höher oder tiefer landet als sie gestartet ist.

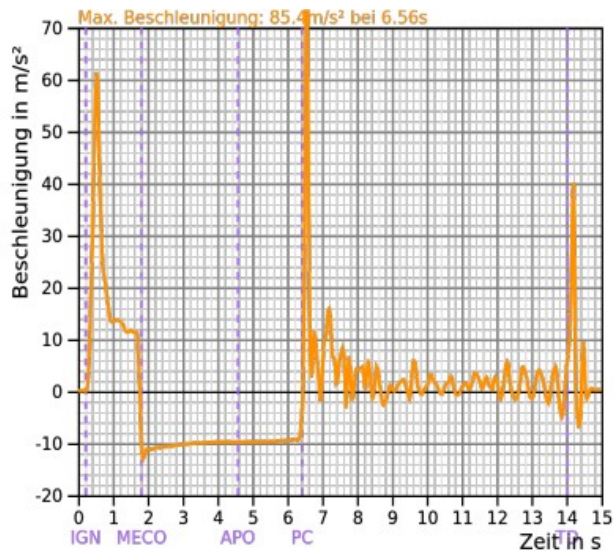
Bei der Erstellung der Graphen wurde versucht einen didaktisch optimalen Mittelweg zwischen direkter Wiedergabe der Messdaten und eine Aufbereitung der Daten für eine bessere Übersichtlichkeit gewählt. Die direkten Messdaten können Sie als csv-Datei von dem ApexExplorer direkt herunterladen und selber auswerten.

Höhenmessung



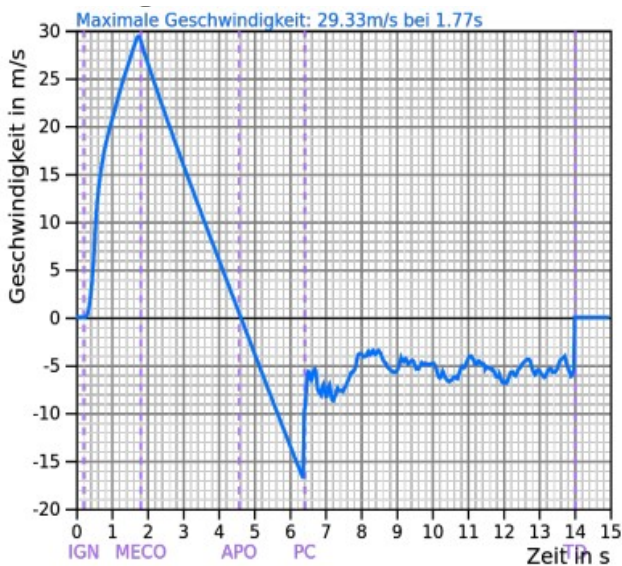
Das Höhendigramm wird durch einen barometrischen Sensor gemessen. Die Bestimmung der Höhe wird dadurch durch die Änderung des Luftdruckes gemessen. Für den relativ kurzen Zeitraum des Raketenfluges ein gut geeignetes Verfahren, da sich der Umgebungsluftdruck kaum ändert. Nachteil ist, dass auch aerodynamische Effekte (Verwirbelungen, Schockwellen, ...) den Luftdruck punktuell ändern und somit Fehler in der Höhe erzeugen. Möglicherweise werden Sie das beim Auslösen den Fallschirms sehen. Dort ändert sich die Aerodynamik innerhalb kürzester Zeit dramatisch. Der Hüpfer in der Höhe kurz nach PC könnte zu Teil daher kommen.

Beschleunigung Vertikal



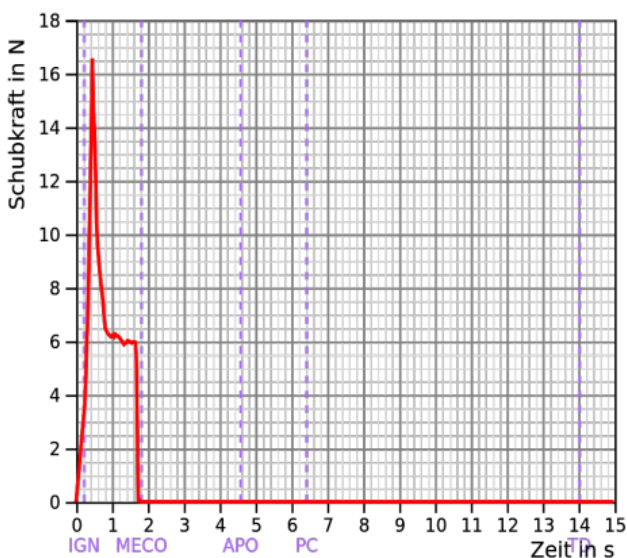
Im ApexExplorer befindet sich ein 3-Achsiger Beschleunigungssensor. In dieser Darstellung wurden die Werte der drei Achsen so kombiniert, das (nahezu) immer die Beschleunigung in die absolute Senkrechte Richtung ausgegeben wird. Dies ist also die Beschleunigung im Bezugssystem eines Außenstehenden Beobachters, mit positive Beschleunigung als Beschleunigung nach oben. Zur besseren Anschaulichkeit wird die y-Achse auf 70 m/s² beschränkt. Die Schlagartige Verzögerung beim Auslösen des Fallschirms (PC) ist (wahrscheinlich) als Maximalwert oben im Diagramm ablesbar.

Geschwindigkeit – vertikal

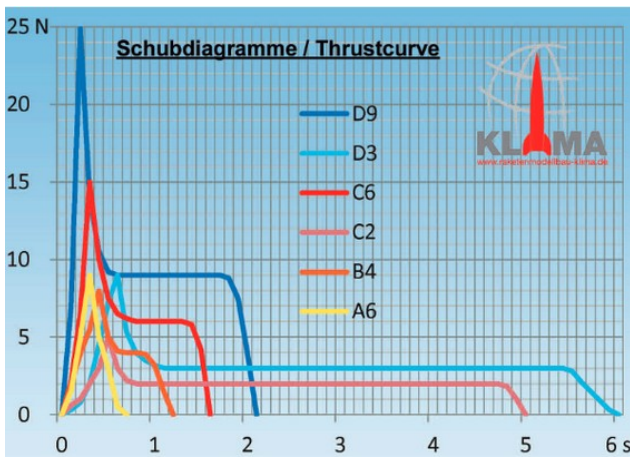


Der ApexExplorer hat keinen direkten Geschwindigkeitssensor. Dieses Diagramm wird daher nicht gemessen, sondern aus dem Höhen- und dem Beschleunigungsgraph erzeugt. Für den ersten Teil (bis PC) werden die Werte aus der Beschleunigung (vertikal) numerisch integriert. Zwischen PC und TD wird die Geschwindigkeit aus der numerischen Ableitung des Höhendigramms ermittelt. Ab TD wird die Geschwindigkeit auf 0 m/s gesetzt.

Schubkraft

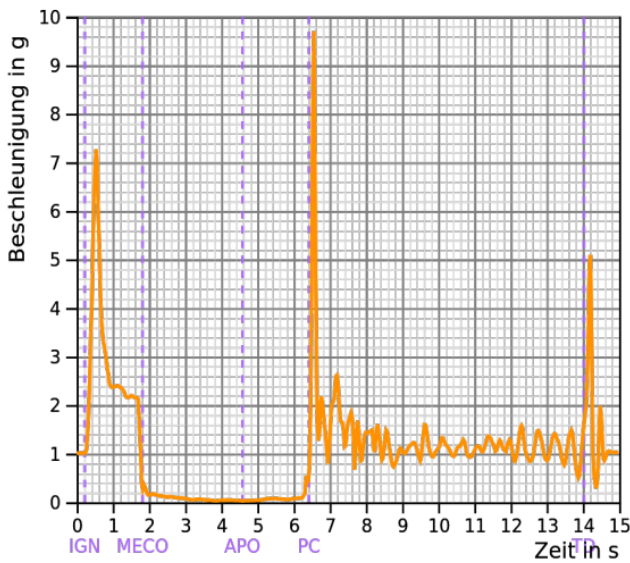


Eine Besonderheit des ApexExplorers ist, dass hier direkt die Schubkraft des Treibsatzes mit einem hochwertigen Kraftsensor gemessen wird. Der Peak zu Beginn ist von Hersteller des Treibsatzes so gewollt. Dadurch wird die Rakete möglichst früh auf eine hohe Geschwindigkeit gebracht um schneller von der aerodynamischer Stabilisierung zu profitieren. In dieser Darstellung wird die Schubkraft nach MECO automatisch auf 0 N gesetzt. Das der Treibsatz vor allem während der Gleitphase in seiner Halterung herumgeschleudert wird, kommt es zu (fehlerhaften) Ausschlägen in der Kraftmessung, die von der eigentlichen Physik ablenken. Die ungefilterten Messdaten finden Sie in der csv-Datei mit den Flugdaten



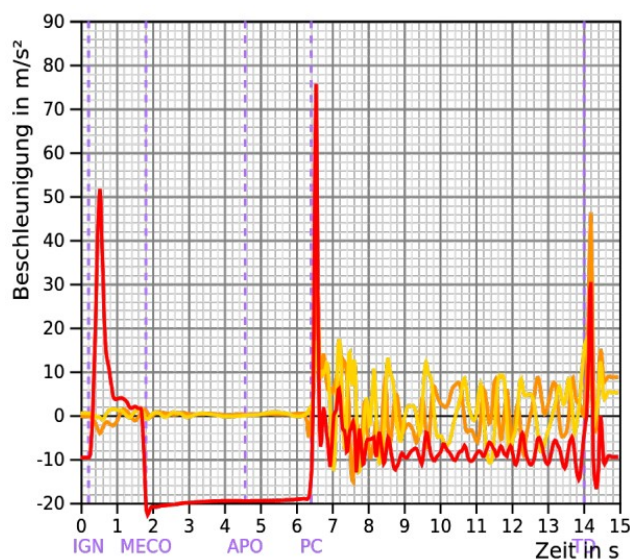
Links sehen Sie den vom Hersteller angegebenen Schubdiagramme verschiedener Treibsätze.

Beschleunigung – im Bezugssystem der Rakete



In diesem Diagramm ist die Beschleunigung aufgetragen, wie Sie eine Person, die in der Rakete sitzt spüren würde. Gut erkennbar ist die „Schwerelosigkeit“ zwischen MECO und PC. Bei genauem Hinsehen erkennt man, dann perfekte „Schwerelosigkeit“ nur direkt um APO herum herrscht. Je weiter man davon entfernt ist umso stärker erzeugt die Luftreibung eine scheinbare „Schwerkraft“ (in Richtung Raketenspitze). Zum besseren Vergleich mit der alltäglichen Leben

Beschleunigung- vektoriell



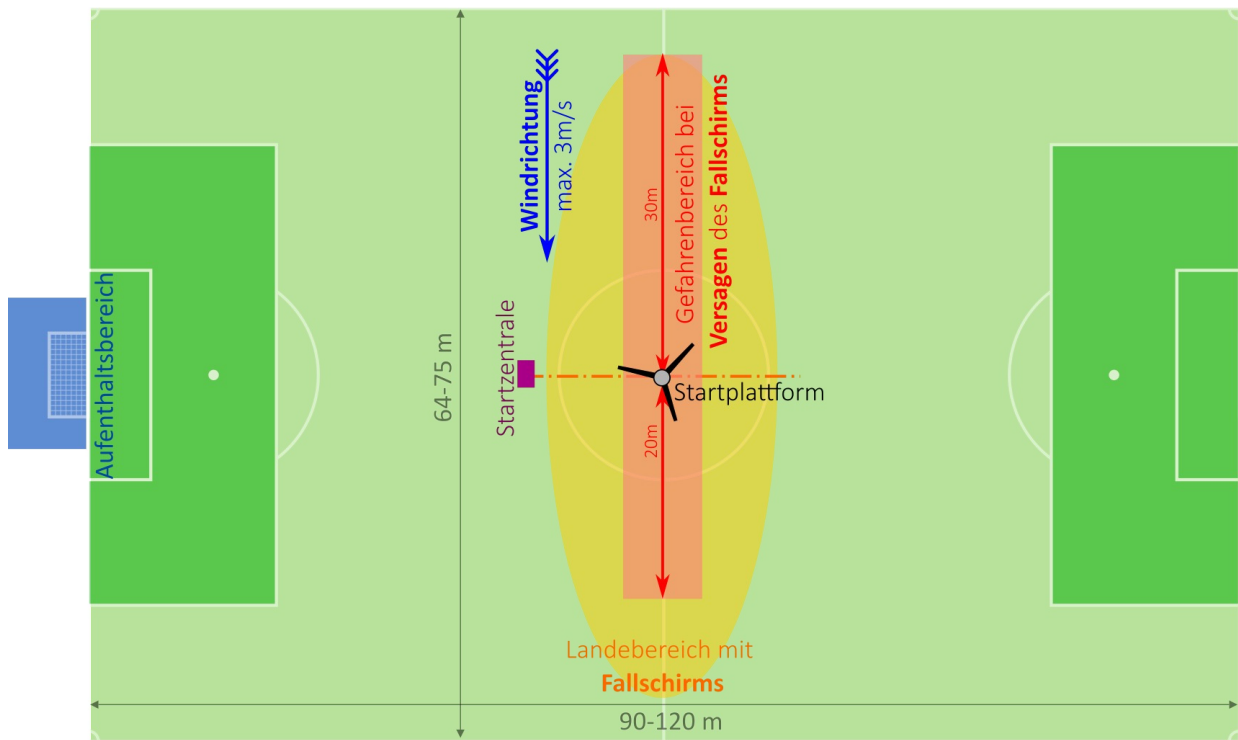
Diese Diagramm zeigt die Beschleunigung in Richtung der Raumachse **x(rot)**, **y(orange)** und **z(gelb)** der Rakete. Die Orientierung der Raumachsen ist auf das Körperrohr der Rakete aufgedruckt.

Einen geeigneten Startplatz finden

Ein eigener Fußballplatz

Die Rakete ist so konstruiert, dass bei moderaten Windverhältnissen (maximal 4 m/s) ein Fußballfeld für einen sicheren Flug ausreicht. Wenn Ihre Schule einen eigenen Sportgelände mit einem Fußballfeld hat, oder sie Zugang zu einem Fußballfeld einer benachbarten Schule haben ist dies sicher die einfachste Variante.

Wenn Sie keinen Zugang zu einem schulischen Fußballfeld haben, können Sie bei lokalen Fußballvereinen nachfragen. Meiner Erfahrung nach sehen viele Vereine darin eine willkommene Gelegenheit sich vorzustellen und so etwas Werbung für sich zu machen.



Beispielhafte Einteilung eines Fussballfelds als Flugfeld

Im freien Feld

In ländlicheren Gebieten bietet es sich auch an bei Landwirten zu fragen ob diese eine Wiese oder ein abgeerntetes Feld zur Verfügung stellen könnten.

Zeitplanung

Ein erfolgreicher Flug sollte in drei Doppelstunden vorbereitet werden können. Einen Vorschlag wie diese Stunden aufgeteilt werden können finden sie in den folgenden Tabellen.

Diese Stunden können entweder in den Normalen Unterrichtslauf eingeplant werden oder aber, beispielsweise im Rahmen eines Projekts auch an einem Tag hintereinander stattfinden.

Im Laufe des Schuljahres				Im Rahmen eines Projekttages	
Stunde 1 Vor- bereitung	Stunde 2 Planung	Stunde 3 General- probe	Stunde 4 Raketenflug	Vormittag	Vorbereitung
					Planung
					Generalprobe
				Nachmittag	Raketenflug

Teil 1- Vorstellung und Teamfindung	
Ziel diese Einheit ist es, die Schülerinnen mit der Grundidee der Rakete vertraut zu machen und die Teams zu bilden. Zur Festigung des Teams sollen die Mitglieder jedes Team sich bereits in ihre Aufgaben einlesen und am Ende der Doppelstunde ihre Aufgabe dem Plenum kurz vorstellen.	
Dauer (min)	Inhalt
10	Grobe Vorstellung <ul style="list-style-type: none"> • Rakete zeigen • Beschreibung des Raketenflugs • Erwähnung der aufgezeichneten Daten • Ausblick auf die dabei entstehenden Arbeitsblätter
20	Die Teams und ihre Aufgaben <ul style="list-style-type: none"> • Benennung der Teams • grobe Beschreibung der Aufgaben jedes Teams • Herausforderungen und Erwartungen jedes Teams
20	Einteilung der Teams
25	Teamwork <ul style="list-style-type: none"> • Erstes Zusammensetzen der Teams • Gemeinsames Lesen der Aufgaben des jeweiligen Teams
15	Vorstellung der Teams im Plenum <ul style="list-style-type: none"> • Jedes Team fast in 3 Minuten zusammen was genau ihre Aufgabe beim Raketenflug ist
	Hausaufgabe: RTFM <ul style="list-style-type: none"> • Lesen des allgemeinen Teils der Anleitung und der Aufgaben der anderen Teams
90	

Teil 2- Planungsphase

In dieser Einheit sollen die Schülerinnen anfangen konkrete Aufgaben ihres Teams abzuarbeiten. Dabei sollen die Phasen

Dauer (min)	Inhalt
5	Begrüßung durch die Lehrkraft <ul style="list-style-type: none"> Erwartung für den ersten Teil der kommenden Doppelstunde: Abschluss der Planungsphase
35	Bearbeiten der Planungs-Phase <ul style="list-style-type: none"> Die einzelnen Teams bearbeiten die Punkte auf der Checkliste für die Phase Planung
5	Halbzeit Check
40	Planungs-Phase Teil 2
5	Abschlussplenum - Hat jeder Gruppe ihr soll erfüllt?
	Hausaufgabe: Fehlende Punkte der Planungsphase bearbeiten
90	

Teil 3- Generalprobe

In dieser Einheit wird ein Trockentest der Rakete durchgeführt. Alles Teams führen einen Probestart der Rakete mit einem (funktionslosen) Dummy-Treibsatz durch. Statt des Treibsatzes wird eine Schülerin die Rakete einfach durch das Treppenhaus schnell nach oben tragen bis der Fallschirm auslöst und dann langsam wieder nach unten kommen.

Dauer (min)	Inhalt
5	Begrüßung durch die Lehrkraft <ul style="list-style-type: none"> Erwartung für den ersten Teil der kommenden Doppelstunde: Erfolgreicher Trockentest Erwartung für den zweiten Teil: Zusammenstellung aller benötigter Materialien für den wirklichen Raketenflug
45	Trockenstart der Rakete
10	Debriefing des Trockenstarts <ul style="list-style-type: none"> Was lief gut? Wo ist noch Raum/Bedarf für Optimierung?
25	Bearbeiten der Phase Vorbereitung
5	Abschlussplenum - Ist jede Gruppe bereit für den echten Flug?
	Hausaufgabe: Nochmaliges Durchlesen der Aufgaben jeder Gruppe
90	

Gefährdungsbeurteilung

Gefährdungsbeurteilung ApexExplorer

1. Beschreibung des Versuchs

Bei diesem Versuch wird eine Rakete (ca. 200g) mit einem pyrotechnischen Treibsatz auf eine Höhen von ca. 70m (kleiner Treibsatz) bzw. ca. 200m (großer Treibsatz) gebracht. Dabei misst sie kontinuierlich die Größen Höhe, Geschwindigkeit, Beschleunigung und die Schubkraft des Treibsatzes.

Jede Rakete wird durch die Zusammenarbeit von vier Teams gestartet. Jedes Team hat klar formulierte Aufgaben und explizite Checklisten. Dies stellt sicher, dass die Rakete für die Beteiligten sicher gestartet werden kann.

2. Durchführende Personen

Schüler*innen ab der 10. Klasse unter Aufsicht der Lehrkraft.

3. Allgemeine und physikalische Gefährdungen



a) Gefahr durch herabfallende Gegenstände

- Durch Fehlfunktion des Fallschirms kann die Rakete ungebremst und mit hoher Geschwindigkeit auf dem Boden aufschlagen.



b) Gefahr durch explosionsgefährliche Stoffe

- Die Treibsätze enthalten bis zu 17,5g Schwarzpulver. Fehlzündungen oder falscher Umgang mit den Treibsätzen kann zu Explosionen führen.



c) Gefahr von Verbrennungen / Gefahr durch heiße Oberflächen

- Der Treibsatz erzeugt einen sehr heißen Abgasstrahl. Dieser kann auf der Haut zu schweren Verbrennungen führen. Oberflächen, die mit dem Abgasstrahl in Kontakt kamen können sich erhitzen.

4. Schutzmaßnahmen



Allgemein

- Das Lesen und Befolgen der Anleitung ist von größter Bedeutung.
- Die Checklisten müssen vollständig und in der vorgegebenen Reihenfolge bearbeitet werden.
- Jede teilnehmende Schüler*in wird genau einem Team zugeordnet und arbeitet während des Flugversuchs ausschließlich mit diesem Team zusammen.
- Eine neue Phase der Checklisten wird erst dann begonnen, wenn alle Teams ihre Checkliste der aktuellen Phase vollständig abgearbeitet haben.
- Das Team *Mission Control* entscheidet wann eine neue Phase beginnt.



a) Schutz vor herabfallenden Gegenständen

- Der Bereich in dem die Rakete ungebremst Landen könnte darf beim Start von niemandem betreten werden.
- Zum Start des Countdowns der Rakete wird ein Achtungssignal (Piff) gegeben. Alle Schüler*innen sind aufgefordert den Flug der Rakete zu beobachten um sich notfalls in Sicherheit bringen zu können.



Überschrift 1

b) Schutz vor explosionsgefährlichen Stoffen

- Nur einzelne, speziell ausgewiesene Schüler*innen haben Zugang zu den Treibsätzen.
- Treibsätze werden grundsätzlich ohne Zünder bewegt.



c) Schutz vor Verbrennungen

- Durch technische Maßnahmen kann der Treibsatz nur gezündet werden, wenn ...
 - ... der Zünder eingesetzt wurde UND
 - ... die Rakete senkrecht auf der Startplattform steht UND
 - ... die Lehrkraft den Startcode eingeben hat.
- Der Zünder wird nur durch einzelne, speziell ausgewiesene Schüler*innen eingesetzt, die sich danach schnellst möglich aus der Gefahrenzone begeben.
- Sobald ein Zünder im Treibsatz ist muss bei Arbeiten am Treibsatz eine Schutzbrille getragen werden.

Didaktisch-pädagogische Einschätzungen

Flugversuche mit dem ApexExplorer sind sehr sicher.

Durch die mehrstufigen Sicherheitssysteme liegt das Schadensrisiko durch einen ApexExplorer deutlich unter dem Risiko beim Verwenden von Silversterraketen.

Beim strikten Befolgen der Anleitung und der Checklisten ist das Eintreten eines Personenschadens nahezu ausgeschlossen.

Da es aber keine absolute Sicherheiten gibt, muss das Restrisiko des Flugversuchs gegen die didaktisch-pädagogischen Vorteile eines Experiments mit dem ApexExplorers abgewogen werden.

Diese Vorteile sind:

- Durch die gefühlte Gefahr, die von Raketen ausgeht haben Schüler*innen ein intrinsisches Interesse sich genau an die Checklisten zu halten.
- Für einen erfolgreichen Raketenflug müssen die vier Teams konzentriert und "auf den Punkt genau" zusammenarbeiten. Durch das Setting eines Raketenstarts ist Teamwork nicht nur eine pädagogische gewünschte, sondern auch eine technisch zwingend notwendige Arbeitsform. Der Erfolg hängt dabei von jedem Team ab.
- Die Teamarbeit bietet auch SuS, die mit den kognitiv abstrakten Anforderungen im Fach Physik Probleme haben, die Möglichkeit Kompetenzen im physikalischen Arbeiten (exaktes Durchführen von Experimenten anhand einer schriftlichen Anleitung) zu zeigen.
- Die Erleichterung einer sicher gelandeten Rakete belohnt die Schüler*innen direkt für die Teamarbeit.
- Durch das Mitfiebern beim Raketenflug ist die Aufmerksamkeit der Schüler*innen deutlich gesteigert. Die SuS werden sich in den folgenden Wochen viel wahrscheinlicher an Details des Flugs erinnern, als dies bei einem Tischexperiment der Fall wäre. Die SuS bleiben den gewonnenen Daten sozusagen lange *emotional* verbunden.

Diese Vorteile lassen sich ohne die minimalen Risiken eines Raketenflugs nicht realisieren und rechtfertigen die Inkaufnahme des geringen Restrisikos.

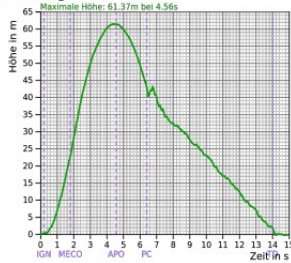
Übersicht

Physik **Raketenphysik** Datum: Übersicht

Physik **Raketenphysik** Datum: Übersicht

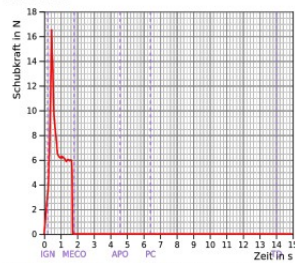
Einfache Übersicht

Höhendiagramm



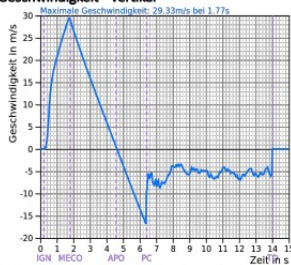
Das Höhendidiagramm wird über den Luftdruck gemessen. Recht gute Genauigkeit über kurze Zeiträume. Gut geeignet für relative Messungen.

Schubkraft



In diesem Diagramm sehen Sie, mit welcher Kraft der Treibsatz die Rakete beschleunigt hat.

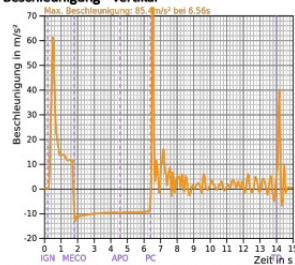
Geschwindigkeit - vertikal



Das Geschwindigkeitsdiagramm wurde aus dem Höhendidiagramm errechnet und nicht direkt gemessen. Schwankungen in der Höhenmessung verfälschen die Geschwindigkeiten etwas. Positive Werte bedeuten, dass sich die Rakete nach oben bewegt. Negative Werte bedeuten eine Bewegung nach unten.

Skizze

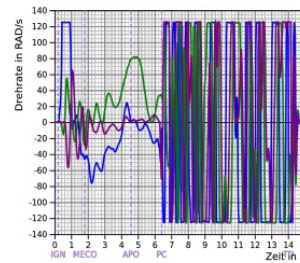
Beschleunigung - vertikal



In diesem Diagramm wird die Beschleunigung in Bezug zur vertikalen Achse dargestellt. Positive Werte bedeuten, dass die Rakete nach oben beschleunigt wurde. Negative Werte bedeuten eine Beschleunigung nach unten.

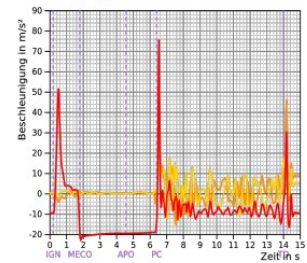
Detaillierte Übersicht

Rotation



Hier ist aufgezeichnet, wie schnell sich die Rakete um die Raketenachsen **x**, **y** und **z** gedreht hat.

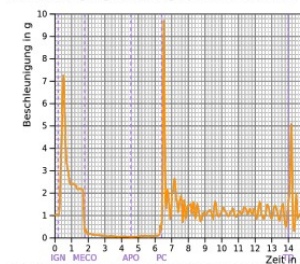
Beschleunigung - vektoruell



In diesem Diagramm können sie die Beschleunigungskomponenten in Bezug auf die Raketenachsen **x**, **y** und **z** ablesen.

Skizze:

Beschleunigung- im Bezugssystem der Rakete



In diesem Diagramm sehen sie welche Beschleunigung ein Beobachter, der in der Rakete sitzt, spüren würde.

Auf diesen beiden Seiten sehen Sie alles Diagramme auf einem Blick. Gut geeignet als Referenz oder als „Muster“-Lösung für verschiedene Aufgaben der Arbeitsblätter.



Physik

Raketenphysik
Geschwindigkeit

Datum:

Aufgabe 1 – Flugphasen erkennen

Auf dem unten abgebildeten Diagramm ist die Flughöhe ihrer Rakete aufgezeichnet. Zum Zeitpunkt 0s wird das Startsignal gegeben.

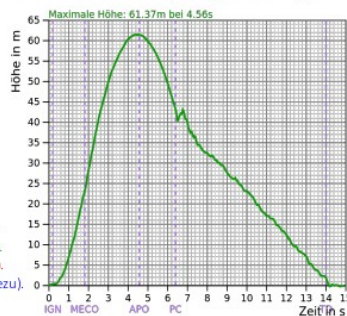
a) Versuchen Sie sich an Ihren Raketenflug zu erinnern. Können Sie einige Ereignisse des Fluges im Diagramm wiedererkennen?

b) Markieren Sie folgende **Ereignisse** im Diagramm:

- A:** Die Rakete hat ihren Gipfelpunkt (Apogäum) erreicht.
- S:** Die Rakete hebt ab.
- F:** Der Fallschirm wurde ausgelöst.
- L:** Die Rakete ist wieder gelandet.
- M:** Brennschluss der Treibsätze (MECO).

c) Markieren Sie die folgenden **Zeiträume**:

- Die **Geschwindigkeit der Rakete nimmt zu**.
- Die **Geschwindigkeit der Rakete nimmt ab**.
- Die **Geschwindigkeit bleibt konstant (nahezu)**.



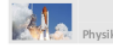
Ermitteln Sie folgende Kenngrößen ihres Raketenflugs:

Kenngröße	Wert
Gipfelhöhe (Apogäum)	
Zeit von Start bis zur Gipfelhöhe	
Die Höhe beim Auslösen des Fallschirms	
Zeit, in der die Rakete frei gefallen ist (ohne Fallschirm)	
Zeit am Fallschirm	

Romy_Bertsche am 22.4.2025, 14:36
Geschwindigkeit

Seite 1 von 2

raketenwerkstatt@posteo.de



Physik

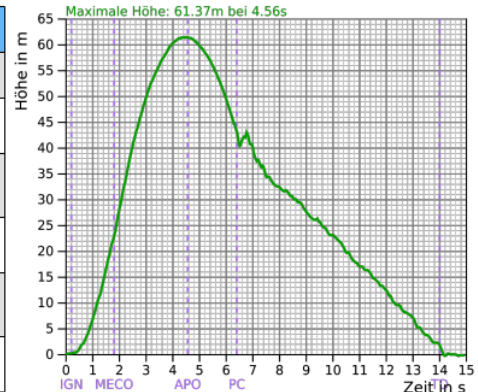
Raketenphysik
Geschwindigkeit

Datum:

Aufgabe 2 – Geschwindigkeiten berechnen

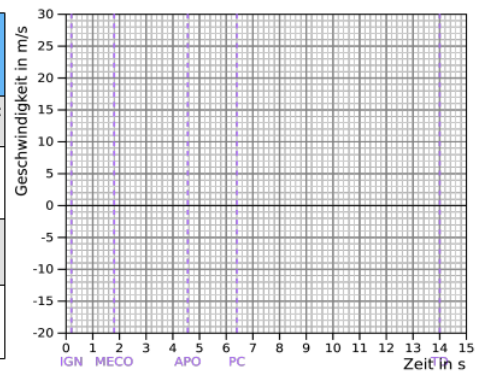
a) Berechnen Sie folgende **Durchschnittsgeschwindigkeiten**. Zeichnen Sie dazu die passenden Steigungsdreiecke in das Diagramm ein.

Durchschnittsgeschwindigkeit ...
... zwischen Start und Gipfelhöhe:
... zwischen Gipfelhöhe und Auslösung des Fallschirms:
... vom Auslösen des Fallschirms bis zur Landung:



b) Bestimmen Sie die **Momentangeschwindigkeit** zu jeder vollen Sekunde. Verwenden Sie dazu die Tangentemethode. Tragen Sie Ihre Ergebnisse in das unten stehende Zeit-Geschwindigkeits-Diagramm ein.

Bestimmen Sie zusätzlich die folgenden Momentangeschwindigkeiten :
Höchstgeschwindigkeit (in km/h)
Geschwindigkeit beim Auslösen des Fallschirms:



Romy_Bertsche am 22.4.2025, 14:36
Geschwindigkeit

Seite 2 von 2

raketenwerkstatt@posteo.de

Mit der ersten Seite dieses Arbeitsblatts sollen sich die SchülerInnen zu erst mit dem Verlauf der Raketenfluges vertraut machen und bestimmte Kenngrößen und besonderen Ereignisse des Fluges anhand des Höhendigramms bestimmen. Einige der gesuchten Zeitpunkte sind im Höhendigramm bereits markiert. Dadurch sollen die SchülerInnen diese Markierungen bewusster wahrnehmen, da sie auch in allen anderen Diagrammen auftauchen. Ziel ist es dadurch die Diagramme mit unterschiedlichen physikalischen Größen leichter miteinander vergleichbar zu machen.

Auf der zweiten Seite sollen die SchülerInnen dann ganz konkrete Geschwindigkeiten ermitteln. In der Teilaufgabe 2 a) die Durchschnittsgeschwindigkeiten zwischen besonderen Ereignissen; in Aufgabe 2 b) dann auch Momentangeschwindigkeiten mit Hilfe der Tangentemethode. Aus diesen ermittelten Geschwindigkeiten erstellen die SchülerInnen dann ein Zeit-Geschwindigkeits-Diagramm. Zur Erfolgskontrolle können die SchülerInnen ihr Diagramm mit dem von der Rakete erzeugten Diagramm (auf der Übersicht) vergleichen.

Als zusätzliche Erweiterung können die SchülerInnen nach der Aufgabe 2 a) aufgefordert werden den Geschwindigkeitsverlauf zu erst einmal zu skizzieren bevor sie in Aufgabe 2 b) den konkreten Verlauf ermitteln.

Beschleunigung

Aufgabe 1 – Flugphasen erkennen

Auf dem unten abgebildeten Diagramm ist die Beschleunigung ihrer Rakete aufgezeichnet. Zum Zeitpunkt 0s wird das Startsignal gegeben.

a) Versuchen Sie sich an Ihren Raketenflug zu erinnern. Können Sie einige Ereignisse des Fluges im Diagramm wiedererkennen?

b) Markieren Sie folgende **Ereignisse** im Diagramm:

- S: Die Rakete hebt ab.
- M: Brennschluss der Triebwerke (MECO).
- A: Die Rakete hat ihren Gipfelpunkt (Apogäum) erreicht.
- F: Der Fallschirm wurde ausgelöst.
- L: Die Rakete ist wieder gelandet.

c) Markieren Sie die folgenden **Zeiträume**:

- Die **Geschwindigkeit der Rakete nimmt zu**
- Die **Geschwindigkeit der Rakete nimmt ab**
- Die **Geschwindigkeit bleibt (nahezu) konstant**

Ermitteln Sie folgende Kenngrößen ihres Raketenflugs:

Kenngröße	Wert	Kenngröße	Wert
Maximale Beschleunigung während des Startvorgangs		Zeitpunkt der höchsten Geschwindigkeit	
Brenndauer der Triebwerke		Mittlere Beschleunigung während der Brenndauer der Triebwerke	
Zeit im freien Fall		Mittlere Beschleunigung Zeit im freien Fall	

Aufgabe 2 – berechnen

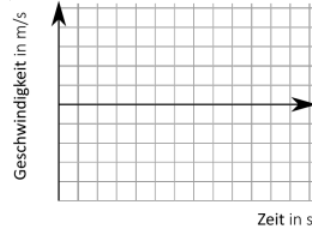
a) Verwenden Sie die Kenngrößen aus Aufgabe 1, um folgende Geschwindigkeitsänderungen zu berechnen:

... vom Start der Rakete bis zum Brennschluss.

... vom Brennschluss zum Apogäum.

... vom Apogäum bis zum Auslösen des Fallschirms.

b) Skizzieren Sie den Geschwindigkeitsverlauf:



Romy_Bertsche am 22.4.2025, 14:36

Beschleunigung

Seite 1 von 2

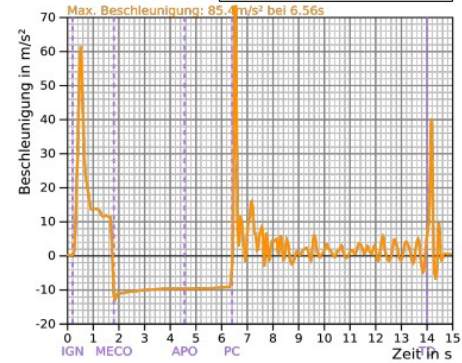
raketenwerkstatt@posteo.de

Aufgabe 3 – Geschwindigkeiten mit Hilfe der Flächenmethode berechnen

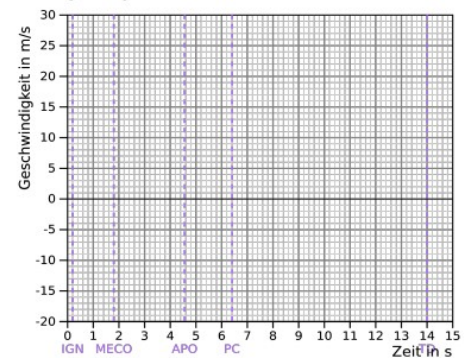
a) Bestimmen Sie mithilfe der Flächenmethode die Momentangeschwindigkeiten zu jeder vollen Sekunde, so wie zusätzlich an den markierten Punkten.

Zeit in s	Anzahl Kästchen	v m/s
0		
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

Wert eines Kästchens im Diagramm: (Breite x Höhe; Einheiten beachten)



b) Übertragen Sie die ermittelten Werte für die Momentangeschwindigkeit in das unten stehende Zeit-Geschwindigkeitsdiagramm ein.



Romy_Bertsche am 22.4.2025, 14:36

Beschleunigung

Seite 2 von 2

raketenwerkstatt@posteo.de

Auf der ersten Seite in Aufgabe 1 b) sollen die SchülerInnen wieder dieselben Ereignisse wie vom letzten Arbeitsblatt erkennen, diesmal allerdings im Zeit-Beschleunigungs-Diagramm. Von einigen Ereignissen werden konkrete Beschleunigungswerte abgefragt.

Mit diesen Werten sollen die SchülerInnen die daraus folgenden Geschwindigkeitsänderung in Aufgabe 2 a) berechnen. Dies ist eine Vorbereitung zur Aufgabe 2 b), in der die SchülerInnen den Geschwindigkeitsverlauf anhand des Beschleunigungsverlaufs skizzieren sollen.

Auf der zweiten Seite des Arbeitsblatts sollen die SchülerInnen den Geschwindigkeitsverlauf quantitativ ermitteln. Dazu müssen die SchülerInnen in Aufgabe 3 a) den "Geschwindigkeits-Gehalt" eines Flächenelements im Zeit-Beschleunigungsdiagramms bestimmen. Danach schätzen die SchülerInnen in Sekundenschritten ab, wie viele Kästchen zwischen der Zeitachse und der Messkurve eingeschlossen sind. (Negative Wertung beachten!) Aus diesen Werten können die SchülerInnen dann auf die Geschwindigkeit schließen.

Hinweis: Ab die die gesamte Anzahl der Kästchen seit Start ermittelt wird, oder die Anzahl der Kästchen innerhalb eines der Sekundenintervall kann den SchülerInnen überlassen werden. Je nach Wahl muss/kann dann der Unterschied zwischen absoluter Geschwindigkeit und Geschwindigkeitsänderung erörtert werden.

Zum Schluss erstellen die SchülerInnen aus diesen Daten ein Zeit-Geschwindigkeits-Diagramm, das sie mit ihrer Skizze von der ersten Seite und dem von der Rakete errechneten Verlauf vergleichen können

2. Newton'sches Axiom

Aufgabe 1 - effektive Kraft

Diagramm 1 - Schubkraft

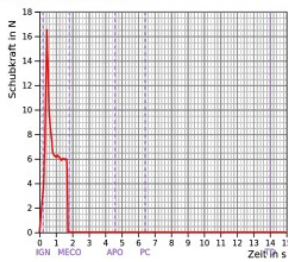
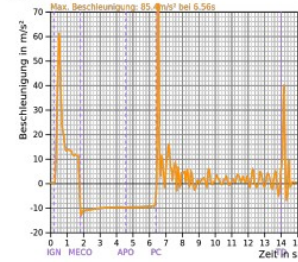


Diagramm 2 - Beschleunigung vertikal



Die in Diagramm 1 dargestellte Schubkraft ist nicht die einzige Kraft, die beim Flug auf die Rakete wirkt.

a) Zeichnen Sie in die Skizze rechts alle relevanten Kräfte mit ihrer Wirkrichtung während des Aufstiegs der Rakete ein.

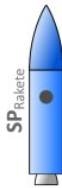
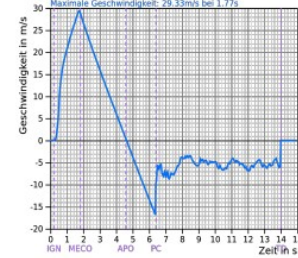


Diagramm 3 - Geschwindigkeit



b) Geben Sie an zu welchen Zeiträumen diese Kräfte auf die Rakete wirken oder wann sie nicht wirken.

Kraft	wirkt von ... bis ...	keine Wirkung
Schubkraft		
Schwerkraft		
Luftwiderstand		

Aufgabe 2 - Bestimmung der Luftreibung

a) Berechnen Sie die Beschleunigung, welche die Rakete zu den angegebenen Zeitpunkten laut Diagramm 1 haben sollte.

	kurz nach dem Start t = 0,5s	während des Aufstiegs t = 1s	kurz nach Brennschluss t = 2s	Apogäum (maximale Höhe)
Gemessene Beschleunigung (D2)				
Beschleunigung aus Schubkraft (D1)				

b) Korrigieren Sie die beschleunigende Kraft in Diagramm 1 unter Berücksichtigung der Schwerkraft. Berechnen Sie erneut die theoretisch erreichbare Beschleunigung.

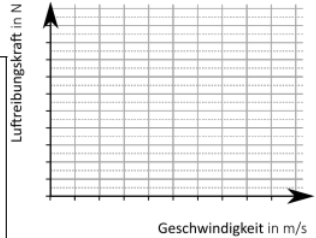
	kurz nach dem Start t = 0,5s	während des Aufstiegs t = 1s	kurz nach Brennschluss t = 2s	Apogäum (maximale Höhe)
Korrigierte Beschleunigung				

c) Die letzten Abweichungen haben ihre Ursache im Luftwiderstand. Nun nehmen wir eine andere Perspektive ein. Berechnen Sie mit Diagramm 2 die effektiv wirkende Kraft F_{eff} . Ziehen Sie davon die Schubkraft (Diagramm 1) und die Schwerkraft F_{grav} ab. Das Ergebnis ist die Reibungskraft F_R der Luft. Tragen Sie in die Tabelle auch die Geschwindigkeit v der Rakete aus Diagramm 3 ein.

	kurz nach dem Start t = 0,5s	während des Aufstiegs t = 1s	kurz nach Brennschluss t = 2s	Apogäum (maximale Höhe)
F_{eff}				
F_{Schub}				
F_{grav}				
F_R				
v				

d) Tragen Sie die Luftreibungskraft F_R gegenüber der Geschwindigkeit v in das Diagramm rechts ein.

e) Haben Sie eine Idee, wie die Luftreibungskraft F_R von der Geschwindigkeit abhängen könnte? Können Sie diese Abhängigkeit auch als Funktionsgleichung angeben?

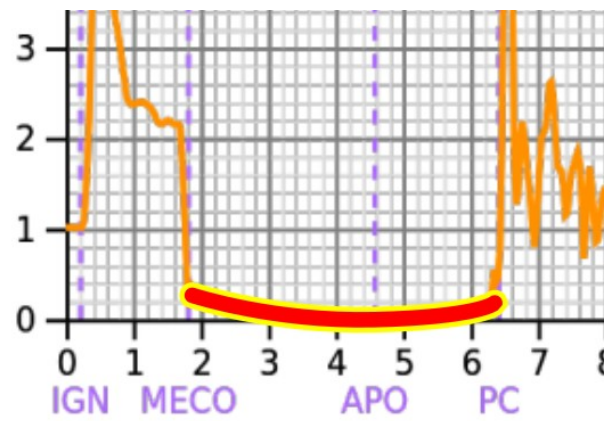


Auf der ersten Seite wird als erster Schritt die Kräftesituation an der Rakete besprochen mit dem Ziel die effektive beschleunigende Kraft zu ermitteln. Der zeitliche Verlauf dieser Kräfte wird in Aufgabe 1 b) angesprochen.

Auf der zweiten Seite werden die Kraft und die Beschleunigung zu verschiedenen Zeitpunkten miteinander verglichen. Schritt für Schritt wird dabei die Kräftesituation an der Rakete genauer beschrieben mit dem Ziel am Ende eine die effektiv beschleunigende Kraft so exakt bestimmt zu haben, dass der theoretische Zusammenhang zwischen Kraft und Beschleunigung ($a = F/m$) auch in den Messdaten erkennbar wird. Dies wird für verschiedenen Zeitpunkte vorgenommen, da sich an zu verschiedenen Zeitpunkten unterschiedlich komplizierte Kräftesituationen einstellen. Besonders das Apogäum ist ein optimaler Zeitpunkt, da hier nur die Gewichtskraft wirken sollte.

In Aufgabe 2 a) werden nur die gemessene Beschleunigung und die direkt aus der Schubkraft resultierende Beschleunigung miteinander verglichen. Sollten die SchülerInnen natürlich gravierende Abweichungen feststellen, da die Gewichtskraft nicht berücksichtigt wurde. In Aufgabe 2 b) wird dann die Gewichtskraft mitberücksichtigt und die als beschleunigende Kraft wird nun die Schubkraft minus die Gewichtskraft angenommen. Das sollte zumindest im Apogäum eine gute Übereinstimmung ergeben. Zu den anderen Zeiten wirkt ein noch unbekannter Luftwiderstand. Diese Luftwiderstandskraft zu bestimmen ist Ziel der Aufgabe 2 c). Hier wird die Luftwiderstandskraft als Abweichung von der gemessenen effektiv beschleunigenden Kraft und den identifizierten beschleunigenden Kräften (Gewichts- und Schubkraft) bestimmt. Idealerweise kann so die Geschwindigkeitsabhängigkeit der Luftreibung erkannt werden. Aufgabe 2 d) und e) zielen darauf ab einen quadratischen Zusammenhang zwischen Luftreibungskraft und Geschwindigkeit zu erkennen.

Hinweis: Sollte sich dieser Zusammenhang im dem von den SchülerInnen ermittelten Graph aus Aufgabe 2 d) nicht erkennen lassen so lohnt sich ein genauer Blick auf das Beschleunigungsdiagramm (Beschleunigung im Bezugssystem der Rakete). Hier gut zu erkennen, dass die Beschleunigung nur um das Apogäum wirklich Null ist. Je weiter die Rakete vom Apogäum entfernt ist umso stärker ist die Störung der perfekten Schwerelosigkeit durch die Luftreibung (-> Scheinschwerkraft zur Raketenspitze hin).



Mit etwas gutem Willen lässt sich der Verlauf auch als sehr stark gestauchte Parabel interpretieren. Das deutet auch auf eine quadratische Abhängigkeit der Luftreibung von der Geschwindigkeit hin.

Impuls

Raketenphysik
Impuls

Datum: _____

Aufgabe 1- Impuls als Zustandsgröße

Verwendeter Treibsatz

C6 Impuls: 10 Ns	D9 Impuls: 20 Ns
----------------------------	----------------------------

a) Berechnen Sie mit Hilfe des Diagramms den Impuls der Rakete beim Brennschluss des Treibsatzes.

b) Der Hersteller gibt den Impuls der Treibsätze an (siehe oben). Wie bewerten Sie die Angabe des Herstellers.

Wie schnell wäre Ihre Rakete gewesen, wenn Sie den anderen Treibsatz verwendet hätten?

Diagramm 1- Geschwindigkeit

Maximale Geschwindigkeit: 29.33m/s bei 1.77s

Masse der Rakete: 250g

Aufgabe 2 - Impulserhaltung

Der Treibsatz verbrennt 12g Schwarzpulver und stößt die Abgase mit hoher Geschwindigkeit nach hinten aus, um die Rakete nach vorne zu beschleunigen.

Skizze:

a) Beschreiben Sie, wie die nach hinten ausströmenden Gase die Rakete nach vorne beschleunigen.

b) Wie schnell müssen die Abgase die Düse nach hinten verlassen haben, um den von Ihnen berechneten Impuls zu erzeugen? Geben Sie das Ergebnis auch in km/h an.

Romy_Bertsche am 22.4.2025, 14:36
Impuls Seite 1 von 2 raketenwerkstatt@posteo.de

Raketenphysik
Impuls

Datum: _____

Aufgabe 3- Impuls als Kraftstoß

Rechts sehen Sie den zeitlichen Verlauf der Schubkraft, die der Treibsatz beim Raketenflug erzeugt hat.

a) Berechnen Sie mit Hilfe der Flächenmethode den Gesamtimpuls des Treibsatzes.

b) Vergleichen Sie den in a) berechneten Wert mit dem Wert aus Aufgabe 1a) und der Herstellerangabe aus Aufgabe 1b).

Diagramm 2- Schubkraft

Wert eines Kästchens im Diagramm: (Breite x Höhe; Einheiten beachten)

Aufgabe 4- Unterschiede

Um die Unterschiede in den Impulsmessungen besser zu verstehen, müssen wir uns die beiden Diagramme nochmals genauer ansehen. Im Geschwindigkeitsdiagramm sehen wir die tatsächliche Geschwindigkeit. Im Kraftdiagramm sehen wir die Kraft des Treibsatzes, der die Rakete beschleunigt hat und so indirekt die im Diagramm 1 gemessene Geschwindigkeit erzeugt hat. Allerdings erzeugt nur ein Teil der Schubkraft wirklich eine Bewegung nach oben.

a) Warum sorgt nur ein Teil der Schubkraft für eine Bewegung nach oben? Markieren Sie im Diagramm 2 den Teil der Schubkraft, der die Rakete nach oben bewegt.

b) Bestimmen Sie den Impuls des in Teilaufgabe a) markierten Teils.

c) Vergleichen Sie den in b) berechneten, effektiven Impuls mit dem in Aufgabe 1a) berechneten Impuls.

Romy_Bertsche am 22.4.2025, 14:36
Impuls Seite 2 von 2 raketenwerkstatt@posteo.de

Auf diesem Arbeitsblatt sollen die Schüler sich mit dem Impuls der Rakete beschäftigen. In Aufgabe 1 a) wird der maximale Impuls der Rakete als Zustandsgröße aus dem Zeit-Geschwindigkeitsdiagramm erstellt. Hinweis: Die Masse der Rakete beträgt ca. 200 g (und nicht 250 g) wie auf alten Arbeitsblättern vermerkt. Für einen genaueren Wert können die SchülerInnen die Rakete natürlich auch wiegen. Sollte dabei die Frage auftauchen, ob man die Rakete mit vollem Treibsatz, mit leerem Treibsatz wiegt, so ist dies eine schöne Propädeutik zur Raketengleichung.

In Aufgabe 1 b) werden die SchülerInnen aufgefordert den ermittelten Wert mit der Angabe des Herstellers zu vergleichen. Dabei ist eine große Abweichung zu erwarten. Der Grund dafür ist vor allem der fehlende *Gravity Loss*, also der Teil des Impulses der benötigt wurde um die Rakete überhaupt erst in der Schwebelage zu halten. Verluste in der Endgeschwindigkeit durch die Luftreibung spielen dabei nur eine geringe Rolle. Bei der Abschätzungsfrage nach der Höchstgeschwindigkeit des anderen Treibsatzes gibt es mehrere differenzierte Antwortmöglichkeiten. Ein prozentualer Vergleich von Treibsatz zur Geschwindigkeit sollte aber ausreichen.

Die Aufgabe 2 beschäftigt sich direkt mit Raketenphysik. Aufgrund der Impulserhaltung können die SchülerInnen berechnen, wie schnell die Gase die Rakete verlassen haben. Hier kann man sowohl den gemessenen Impuls aus der Höchstgeschwindigkeit als auch die Herstellerangabe verwenden. Auf beiden Wegen kommen imposante Austrittsgeschwindigkeiten heraus. Allerdings ist die Rechnung mit der Herstellerangabe die physikalisch richtigere, da die Impulsverluste ja auch durch die austretenden Gase erzeugt werden müssen.

Auf der zweiten Seite wird der Impuls dann als Kraftstoß betrachtet und in Aufgabe 3 a) bestimmen

die SchülerInnen den Impuls der Rakete durch die Flächenmethode. Der Vergleich mit der Herstellerangabe in Aufgabe 3 b) sollte nun nun zeigen, dass der Wert des Herstellers nahezu erreicht wurde (vielleicht sogar übertroffen).

In Aufgabe 4 werden die SchülerInnen angeleitet den *Gravity Loss* aus der Impulsberechnung heraus zurechnen. Der Vergleich mit dem aus der Höchstgeschwindigkeit ermittelten Impuls von Aufgabe 1 a) sollten nun sehr ähnliche Werte liefern. Die bleibende Abweichung ist hauptsächlich auf die Luftreibung zurückzuführen.

Energie



Aufgabe 1 - Minimale und Maximale Energien

Beim Raketenflug sind drei Energieformen interessant. Die potentielle, die kinetische und die chemische Energie. Geben Sie an, zu welchen Zeitpunkten diese Energieformen ihren maximalen Wert erreicht haben und in welchen Zeiträumen sie nicht vorhanden waren.

Energieform	Maximal	Null
Potentielle		
Kinetische		
Chemische		

Markieren Sie diese Zeitpunkte und Zeiträume auch in den Diagrammen.

Aufgabe 2 - Energien berechnen.

Berechnen Sie mit Hilfe der Diagramme den Wert der Maximalen Energie.

Beachten Sie die unten stehenden Daten.

Energieform	Maximaler Wert
Potentielle	
Kinetische	
Chemische	

Aufgabe 3- Energieumwandlung

Skizzieren Sie den Verlauf des Energiegehalts der einzelnen Energieformen über den gesamten Raketenflug.

Daten	
Masse der Rakete	250g
Masse des Schwarzpulvers	12g
Explosionsenergie von Schwarzpulver	2700 kJ/kg

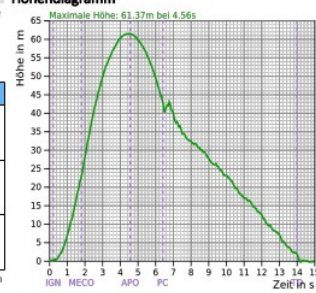
Romy_Bertsche am 22.4.2025, 14:36

Energie

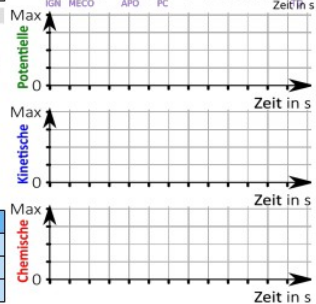
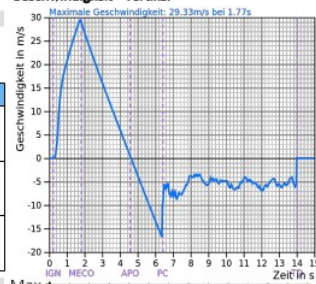
Seite 1 von 2

raketenwerkstatt@posteo.de

Höhendiagramm



Geschwindigkeit - vertikal



Aufgabe 4- Wirkungsgrad

Wie viel der chemischen Energie im Treibsatz ging bis zum Erreichen der maximalen Höhe verloren?

Berechnen Sie den Wirkungsgrad der Umwandlung von chemischer Energie in potentielle Energie vom Start bis zur maximalen Höhe.

Berechnen Sie den Gesamtenergiegehalt der Rakete zum Zeitpunkt des Brennschlusses des Treibsatzes.

Wie viel dieser Energie hat die Rakete vom Brennschluss bis zum Erreichen der maximalen Höhe verloren?

Berechnen Sie den Wirkungsgrad des freien Aufstiegs der Rakete.

Was ist mit dem fehlenden Teil der Energie passiert?

Die Wärmekapazität der Rakete beträgt etwa $c_w = 1,3 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$. Um wie viel Grad Celsius wurde die Rakete beim Aufstieg wärmer?

Romy_Bertsche am 22.4.2025, 14:36

Energie

Seite 2 von 2

raketenwerkstatt@posteo.de

Auf dem Arbeitsblatt zur Energie sollen die SchülerInnen zunächst überlegen zu welchen Zeitpunkten die angegebenen Energieformen ihren maximalen Energiegehalt und zu welchen Zeiträumen diese Energieformen nicht auftreten. In Aufgabe 2 berechnen die SchülerInnen dann den konkreten maximalen Energiegehalt der angegebenen Energieformen anhand der Graphen und der Angaben zum Treibsatz.

In Aufgabe 3 machen sich die SchülerInnen Gedanken zum zeitlichen Verlauf der Energieformen.

Auf der zweiten Seite berechnen die SchülerInnen Energiedifferenzen und Wirkungsgrade der Rakete.

Hinweis: Interessant ist auch noch die Frage welche Leistung die Rakete während der Antriebsphase hatte.

Formulare

Auf den folgenden Seiten finden Sie Formulare für das Raketenprojekt. In dieser Abbildung sind sie zur Veranschaulichung abgebildet. Sie finden Kopiervorlagen auch in den digitalen Daten.

Fehlt noch: Zustimmung Bild und Filmaufnahmen

Erlaubnis für minderjährige SchülerInnen

Liebe Eltern,

ich möchte mit ihrem Kind ein Raketenprojekt durchführen um den Physikunterricht spannender und einprägsamer zu gestalten. Dazu werden wir eine Rakete (220g) durch einen pyrotechnischen Treibsatz wie in einer Silversterrakete auf eine Höhe zwischen 70m und 200m aufsteigen lassen. Die Rakete wird dann an einem Fallschirm wieder zu Boden schweben. Die aufgezeichneten Flugdaten werden wir in den folgenden Unterrichtsstunden für verschiedene Physikaufgaben nutzen.

Während des Fluges gibt es strengste Sicherheitsvorkehrungen:

- Große Sicherheitsabstände wo immer möglich
- Klar ausgewiesene Aufenthaltsräume
- Strikte Aufgabenteilung und Begrenzung der SchülerInnen, die an der Rakete arbeiten.

Trotz aller dieser Vorsichtsmaßnahmen und Sicherheitsvorkehrungen können bestimmte Gefahren, wenn auch extrem unwahrscheinlich, nicht vollständig ausgeschlossen werden:

- Verletzungen durch herabfallende Gegenstände

Für die Transparenz (und auch aus rechtlichen Gründen) benötigt Ihr Kind für die Teilnahme an diesem Projekt Ihre Erlaubnis:

Mein Kind	Name	Klasse
darf am Raketenprojekt am		teilnehmen.

Einige Teams sind auf Grund Ihrer Aufgaben besonderen Risiken ausgesetzt. Zusätzlich erlaube ich meinem Kind in den folgenden Teams mitzuarbeiten:

Zutreffende Teams bitte ankreuzen

<input checked="" type="checkbox"/>	Team	Zusätzliche Gefahren		
	JPL	<ul style="list-style-type: none"> • Dieses Team hantiert mit dem Treibsatz. Dadurch sind Verbrennungen durch Fehlzündungen möglich. • Aufenthalt in der Nähe der startbereiten Rakete: Verletzungen durch nicht ordnungsgemäß startende Rakete. <p>Zusätzliche Erlaubnis</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20px; height: 20px;"></td> <td>Mein Kind darf selbst direkt mit dem Treibsatz hantieren.</td> </tr> </table>		Mein Kind darf selbst direkt mit dem Treibsatz hantieren.
	Mein Kind darf selbst direkt mit dem Treibsatz hantieren.			
	FC	<ul style="list-style-type: none"> • Aufenthalt in der Nähe der startbereiten Rakete: Verletzungen durch nicht ordnungsgemäß startende Rakete. • Verletzungen bei Bergung der Rakete in unwegsamem Gelände. 		
	MC	<ul style="list-style-type: none"> • Aufenthalt in der Nähe der startbereiten Rakete: Verletzungen durch nicht ordnungsgemäß startende Rakete. 		

Name des Elternteils	Unterschrift
----------------------	--------------

Technische Hinweise

Allgemeine Sicherheitshinweise

- Der Apex-Explorer ist nur für Jugendliche ab 14 Jahren geeignet.
- Der Apex-Explorer darf nur unter der Aufsicht einer Lehrkraft gestartet werden.

Entsorgung und Recycling

Die Rakete bitte nicht im Hausmüll entsorgen sondern an uns (kostenfrei) zurückschicken. Für einen Retourenschein kontaktieren Sie uns bitte.

Kontaktdaten

Anschrift:

Raketenwerkstatt Dr. Benjamin Bertsche

Heinrich-von-Stephan-Str. 16

79100 Freiburg i. Br.

E-Mail: raketenwerkstatt@posteo.de