



MINT Wahlpflichtfach BL/BS

Modul «Energie macht mobil – mit Vollgas voraus»

Diese Arbeit versteht sich als Erweiterung des bestehenden Moduls, in welchem Fahrzeuge mit den explore-it-Bausätzen gebaut und untersucht werden. Der Unterschied besteht vor allem in der Verwendung von zugeführter Energie und der dadurch bedingten massiveren Bauweise.

In diesem Modulbereich werden die Schülerinnen und Schüler ein Fahrzeug bauen und dessen Wirksamkeit testen. In Teil 1 wird das Fahrzeug über eine Rampe fahren gelassen. Da hierbei nur kleine Kräfte auftreten, eignet sich dieser Einstieg gut für Beobachtungen.

Aufgrund der Beobachtungen wird verändert und verbessert. Dies bedingt, dass die Beobachtungen sauber festgehalten, durchdacht und die Veränderungen wieder verglichen werden. Dadurch können Schwachstellen gefunden und korrigiert werden.

In Teil 2 wird Energie in Form von Luftdruck in einem PET-Flaschentank zugeführt. Hier zeigt sich, ob sich hält, was die Gruppen geplant und gebaut haben. Die grosse Beschleunigung wird die Wagen herausfordern und allenfalls Anpassungen verlangen.

Teil 1: Bau eines rollenden Fahrzeugs

- 1.1 Auftrag
- 1.2 Grundbedingungen zum Fahrzeugbau
- 1.3 Hinweise zu Bauarten, Tipps und Veranschaulichungen
- 1.4 Untersuchung des Erfolgs, der Bauweise, der Komponenten und der Masse
- 1.5 Verbesserung und Stabilisierung der Konstruktion
- 1.6 Gemessene und dokumentierte Testfahrt (> Teil der Beurteilung)

Teil 2: Antrieb mit zugeführter Energie

- 2.1 Luftdruckrakete mit PET-Flasche als Tank
- 2.2 Das Rückstossprinzip
- 2.3 Bauweisen für die Druckkupplung

Teil 3: Auswertung und Beurteilung

- 3.1 Auswertung und Vergleich mit der Zielsetzung
- 3.2 Selbstbeurteilung und Beurteilung

Teil 4: Vorlagen



Teil 1: Bau eines rollenden Fahrzeugs

1.1 Auftrag

Baut ein Fahrzeug, das sehr gute Rolleigenschaften aufweist. Es muss stabil genug sein, eine gefüllte 1.5L PET-Flasche sicher befestigt zu transportieren. Das Fahrzeug soll möglichst leicht sein.

1.2 Grundbedingungen zum Fahrzeugbau

Gebaut wird mit allem, was die Werkstatt hergibt. Spezielle Teile und Stoffe dürfen mitgebracht werden. Zu beachten ist, dass die notwendige Stabilität mit gewissen Bauteilen nicht erreicht wird, obwohl sie hervorragende Rollmöglichkeiten bieten (zum Beispiel CDs). Handkehren können industriell gefertigte Räder zu viel Reibung aufweisen (zum Beispiel Gummiräder von ferngesteuerten Autos). Die Werkstoffe im Arbeitsraum müssen auch gut untersucht werden. Blech oder Pappelsperholz 4mm ergibt filigrane Räder. Diese aber halten den Kräften in einem späteren Stadium nicht stand. Massivholz ist sehr gut zu bearbeiten, allerdings reagiert es ungünstig auf Schläge und Nässe.

Wenn bereits vorhanden, werden in einer ersten Runde verschiedene Fahrzeuge mit unterschiedlicher Bauweise betrachtet, beobachtet und besprochen. Die verschiedenen Objekte können bereits über die schiefe Ebene gelassen werden, die Ende des 1. Teils wieder zum Einsatz kommt.

Dazu wird ein Protokoll geführt, die wichtigen Beobachtungen werden notiert.

- Wie weit rollen die Fahrzeuge?
- Wie gut können sie ihre Richtung halten?
- Rutschen oder rollen sie?
- Wie schwer sind die verschiedenen Objekte?
- Beschreibe Eigenheiten jedes Fahrzeugs

Es folgen Überlegungen, warum die Fahrzeuge sich so verhalten haben:

- Was hat dazu geführt, dass ein Fahrzeug besonders weit gerollt ist?
- Was hat das Einhalten der Richtung begünstigt?
- Welche Stoffe wurden für die Fahrzeuge verwendet?
- Welche Stoffe bin ich selbst in der Lage zu bearbeiten?

Die Masse des Fahrzeugs ist grundsätzlich zu berücksichtigen. Sprich, die Fahrzeuge werden gewogen und die Anforderungen entsprechend angepasst. Warum fahren schwerere Fahrzeuge weiter als leichtere? Und dies, obwohl sie gleich lang der gleichen Beschleunigung ausgesetzt werden?

Antwort: Die massgebliche Reibung nimmt verhältnismässig ab, je schwerer das Gefährt ist. (N. Herrman, 2023)

Mit anderen Worten: Je leichter das Fahrzeug ist, desto weniger weit muss es fahren, um die gleiche Beurteilung zu erhalten.

„Die Reibungskräfte wirken bei rollenden Fahrzeugen fast unabhängig von deren Masse und sind somit für leichte Fahrzeuge wirkungsvoller.“ (Zuber, 2023)



1.3 Hinweise zu Bauarten, Tipps und Veranschaulichungen

Links: Mögliche Achsaufhängung mit Lochblechstreifen. Die Achse läuft in einem Metallrohr. Gute Richtung und wenig Reibung. Und fein geölt natürlich kaum Empfindlichkeit gegenüber Feuchtigkeit.



Rechts: Ansicht eines Aufbaus. Die Flasche ist hinten noch nicht gesichert. Die Spanne zwischen den Achsen ist bei diesem Modell klein. Beim Antrieb mit Druckluft besteht die Gefahr zu kippen.

Links: Die Flasche ist am Hals mit einem Gummiband fixiert.



Rechts: Diese Befestigung besteht aus Holz. Die Achsen sind in Ringschrauben geführte Dübelstäbe. Holz reagiert auf Feuchtigkeit und dies erhöht die Reibung. Die Flasche kann durch den Holzring am Hals nicht genügend eingeklemmt werden. Wie sich das auf das Fahrverhalten auswirkt, wird sich zeigen.



Links: Um stumpfe Leimstellen zu verstärken, eignen sich in Form gebrachte Leisten. Den besten Halt bietet eine Verschraubung. Gute Stabilisierung bietet auch eine saubere Verleimung.



1.4 Untersuchung des Erfolgs, der Bauweise, der Komponenten und der Masse

Eine schiefe Ebene / Rampe ist bereitgestellt, um die Fahrweise jederzeit zu überprüfen. Konkrete Prüfungen sind

- die erreichte Weite > ist möglichst gross
- die Einhaltung der Richtung > möglichst keine Abweichung
- die Stabilität > trägt eine 1.5kg PET-Wasserflasche
- die Befestigung der Flasche > lässt einen schnellen Wechsel zu
- das Gewicht > ist möglichst klein



Als Rampe eignet sich jede schiefe Ebene. Günstiger ist ein Modell, bei dem der Start bewusst und für alle gleich ausgelöst werden kann. Ob die Rampe ein lineares oder ein gebogenes Gefälle besitzt, spielt für den Versuch ebenfalls keine Rolle. Eine dünnere Platte lässt zum einen eine Biegung zu und zum anderen ist die Stufe auf die Fahrbahn weniger hoch. Wichtig ist, dass alle Fahrzeuge von der gleichen Rampe fahren.

Gemessen wird jeweils von der Hinterkante der Rampe bis zur hinteren Achse des Fahrzeugs.

1.5 Verbesserung und Stabilisierung der Konstruktion

Wie können die bisherigen Resultate verbessert werden?

In erster Linie wird der Wagen „trocken“ getestet und über die Beobachtungen und Veränderungen wird Buch geführt (siehe Vorlage „Druckluftantrieb“).

Weite: Wichtig ist eine möglichst kleine Reibung in den Achsenlagern. Ist die Reibung zu gross, liegt das vielleicht an der unvorsichtigen Ausrichtung der Lager und die Achsen verlaufen, wenn auch geringfügig, nicht exakt in der gleichen Flucht.

Die Räder sollten eher hart sein. Konservendeckel und CDs halten den Kräften schwer stand.



Richtung: Generell verhelpen ein langer Radstand und grössere Räder zu mehr Laufruhe. Im besten Fall ist eine der Radaufhängungen justierbar. Damit lässt sich die Richtung am einfachsten korrigieren. Ob diese an der Vorder- oder an der Hinterachse befestigt ist, hängt von der Bauweise ab.

Stabilität: Der Wagen muss die Kräfte des Flaschengewichts und des Vorantriebs aufnehmen. Es kann also sein, dass sich diese Schwäche erst bei den Testfahrten unter Druck zeigt. Allenfalls müssen die Räder angepasst, der Radstand verlängert, die Carosserie mit angeklebten Holzleisten verstärkt werden.

Befestigung der Flasche: Die Bauweise sollte ein einfaches Montieren und Demontieren der Flasche möglich machen. Es ist nicht einfach, die Flasche zu fixieren, da sie sich bei vollem Druck etwas ausdehnt und bei Entlastung wieder zusammenzieht. Als geeignet erwiesen sich Gummibänder oder Veloschläuche. Ebenfalls eine zeitgünstige, aber wenig schöne Möglichkeit sind Kabelbinder.

Gewicht: Eine grössere Masse benötigt länger, bis sie auf den Luftdruckantrieb reagiert und in Fahrt kommt. Ein leichteres Fahrzeug rollt dafür nicht so lange wie ein schweres (vgl. Massenträgheit, „Physikalisches Grundwissen“, Zuber (2023)). Hier wird durch Testen die Balance zwischen den Ergebnissen gefunden.

Dem Gewicht kann in der Wertung Rechnung getragen werden, indem die Distanz in Bezug zum Gewicht gestellt wird.

$$\frac{\text{Distanz in mm}}{\text{Gewicht in g}}$$

Je grösser der erreichte Wert, desto besser ist das Verhältnis von Distanz zu Gewicht. Dies kann als Kriterium so mitgegeben werden (siehe Punkt 1.1 Grundbedingungen zum Fahrzeugbau).

Ein Fahrzeug mit einer erreichten Weite von 4050 mm und dem Gewicht von 686 g erreicht den Wert $\frac{4050 \text{ mm}}{686 \text{ g}} = 5.9$

Ein anderes mit der erreichten Weite von 4760 mm und einem Gewicht von 1386 g dagegen erreicht den deutlich tieferen Wert von $\frac{4760 \text{ mm}}{1386 \text{ g}} = 3.53$



Dieser Wert zeigt, dass das erste Fahrzeug ein deutlich besseres Verhältnis, sprich hier die geeignetere Bauart für die Fahrt ab Rampe, aufweist.



Im Fall des Antriebs durch Rollen ab Rampe kann das Gefährt mit dem höheren / besseren Koeffizienten klar festgestellt werden.

Das leichtere Fahrzeug im gezeigten Fall besitzt Achsen aus Buchenstäben, die Lager sind Ringschrauben aus Stahl. Das schwerere Fahrzeug ist dasjenige mit Achsen und Lagerröhrchen aus Stahl. Zudem sind die Lager mit Lochblechstreifen angeschraubt.



1.6 Gemessene und dokumentierte Testfahrt

Die Testfahrten ermöglichen das Erkennen und die Korrektur von Schwachstellen. Es sind verschiedene Ziele denkbar, wie zum Beispiel eine definierte Zielzone erreichen und das Fahrzeug darin halten zu müssen (Curling).

Für die späteren Versuche mit dem Druckluftantrieb gelten jedoch vor allem die Einhaltung der Richtung und die möglichst grosse Reichweite.

Die Rennteams wiegen ihre fertiggestellten Fahrzeuge und starten sie in drei Läufen einzeln über die Rampe. Sie dokumentieren die Fahrten auf Film. Die besten Fahrten zählen in den Kategorien Distanz, Richtung sowie das Verhältnis Distanz zu Gewicht.

| Rennteam: | | Gewicht: | Datum: |
|-----------|---------|----------|--|
| Fahrt | Distanz | Richtung | $\frac{\text{Distanz in mm}}{\text{Gewicht in g}}$ |
| 1 | | | |
| 2 | | | |
| 3 | | | |



Teil 2: Antrieb mit zugeführter Energie

2.1 Luftdruckrakete mit PET-Flasche als Tank

In diesem zweiten Teil soll das Fahrzeug durch gespeicherte Energie in Form eines Wassertanks unter Druck angetrieben werden. Eine PET-Flasche dient als Drucktank, ein angepasster Deckel als Düse. PET-Flaschen halten einem Druck von bis zu 8 bar stand. Allerdings ist es zum einen spürbare Arbeit, diesen Druck zu erzeugen. Zum anderen sind die Abgänge in dieser Grössenordnung meist sehr heftig und das Fahrzeug entsprechend unkontrolliert. Die Flasche soll in einem Winkel zwischen 30° und 40° zum Liegen kommen. So blockiert das Wasser den zu raschen Druckabfall und bildet die Masse, die nach hinten ausgestossen wird.

Das Bauprinzip ist das gleiche, wie sie von der als PET- oder auch Wasserrakete bekannt ist. Es ist darauf zu achten, dass der Schwerpunkt der Fahrzeuge analog zu Raketen weit vorne liegt. Ansonsten beginnen sie zu trudeln.





2.2 Das Rückstossprinzip

„Eine Rakete wird durch den Rückstoß ausströmender Gase vorwärts getrieben. Sie nutzt damit zur Fortbewegung den Impulserhaltungssatz. Das hierbei genutzte Prinzip wird als Rückstoßprinzip oder als Raketenprinzip bezeichnet.“

(Mehr zur Theorie auf lernhelfer.de, 2023).

Je grösser die Masse, die ausgestossen werden kann, desto weiter kommt die Rakete. Deshalb ist es von Interesse, mehr freiwerdende Masse tanken zu können, als dass im Gefährt fest verbaut wird. Eine Wasserdruck-Rakete muss die Schwerkraft senkrecht überwinden. Das Verhältnis zwischen Gewicht und Antriebsmasse zeigt sich am besten bei einem zu einem Drittel mit Wasser gefüllten Tank.

Das druckangetriebene Fahrzeug dagegen muss sich horizontal vorwärtsbewegen. Deshalb, und auch aufgrund der Bauweise mit geneigter Flasche, ist es günstig, wenn der Tank bis zur Hälfte mit Wasser befüllt wird, bevor der Druckaufbau beginnt.



Der Druck wird aufgebaut mittels einer Velo-Pumpe. Gut geeignet sind Standluftpumpen, die über ein Manometer / Druckanzeige verfügen. Ein Druck von 3 bis 5 bar reicht durchaus. Natürlich kann der Druck durch Herantasten erhöht werden.

(Die getesteten Fussluftpumpen erwiesen sich als zu wenig stabil).



2.3 Bauweisen für die Druckkupplung

Als Düse kann mit einem Druckschlauch (Garten) gearbeitet werden, der auf ein mit der Velopumpe verbundenes, passendes Messingrohr gestossen wird. Dieses Funktionsprinzip ist sehr einfach zu bauen. Schwachstellen sind jedoch die ständige Undichtheit und auch, dass der Startimpuls nicht gezielt gegeben werden kann. Das Fahrzeug zischt los, wenn der Druck in der Flasche grösser wird als die Reibung zwischen Schlauch und Messingrohr.

Der Vorteil liegt darin, dass der leicht gebogene Schlauchabschnitt durch Drehung der Flasche gerichtet und damit die Fahrtrichtung beeinflusst werden kann.



Links: Das Linke ist das Kupplungsstück an der Velopumpe, das Rechte der Flaschenanschluss.

Rechts: Blick in den Flaschenanschluss. Ein Nippelrohr (Elektrobedarf) wird mit Dichtmasse und Muttern am Deckel befestigt. Daran wird ein Stück Schlauch mit einer Bride fixiert.

Eine weitere Möglichkeit ist die Verwendung eines Schlauchkupplungssystems (verschiedene Anbieter).

Als eine gute Alternative bieten sich Kupplungssysteme von Gartenschläuchen an. Das Mutterstück bildet dabei den Auslöser auf der Abschussrampe. Das Vaterstück wirkt als Düse am Drucktank.

Die gebohrten Flaschendeckel werden in das Vaterstück der Kupplung geleimt. Dabei ist auf ein passendes, grosses Innengewinde zu achten. Verwendet wurde 2K-Epoxi-Leim (araldit), da er sichere Festigkeit bietet. Der Nachteil ist seine Sprödigkeit und damit das zunehmende Zerbröseln der Leimstelle. Es werden andere Leime angeboten, die mehr Flexibilität aufweisen. Manche scheiterten aber an der mangelnden Haftung.



Die Website des DLR Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt zeigt zum Beispiel auf anschauliche Weise eine einfache Bauart (siehe Literaturverzeichnis) mit Gartenschlauchkupplungen:

Der Kunststoff PET ist ein Thermoplast. Das bedeutet, dass er sich unter Wärmeeinwirkung verformen lässt. Der Hals der PET-Flasche wird gezielt und vorsichtig mit einem Heissluftföhn erwärmt und anschliessend in das Innengewinde des Vaterstückes eingedreht. Dadurch passt sich das Aussengewinde der Flasche annähernd ersterem an. Zur definitiven Befestigung wird die Verbindung mit Teflonband abgedichtet (Sanitärabteilung im do-it).



Wer sich diese Arbeit sparen will, kann sich den Wasserraketen-Anschluss-Adapter passend zur Schlauch-Kupplung und zum Flaschengewinde bestellen. Zum Beispiel über die Website raketenmodellbau-klima.de (2023), von der auch dieses Bild stammt.

Dieser Adapter zeigte im Versuch einen Nachteil: Er löste sich bei genügend Druck von allein und zu früh aus der Abschussrampe. Das bedeutet, dass die Fahrten nicht genormt gemessen werden können.

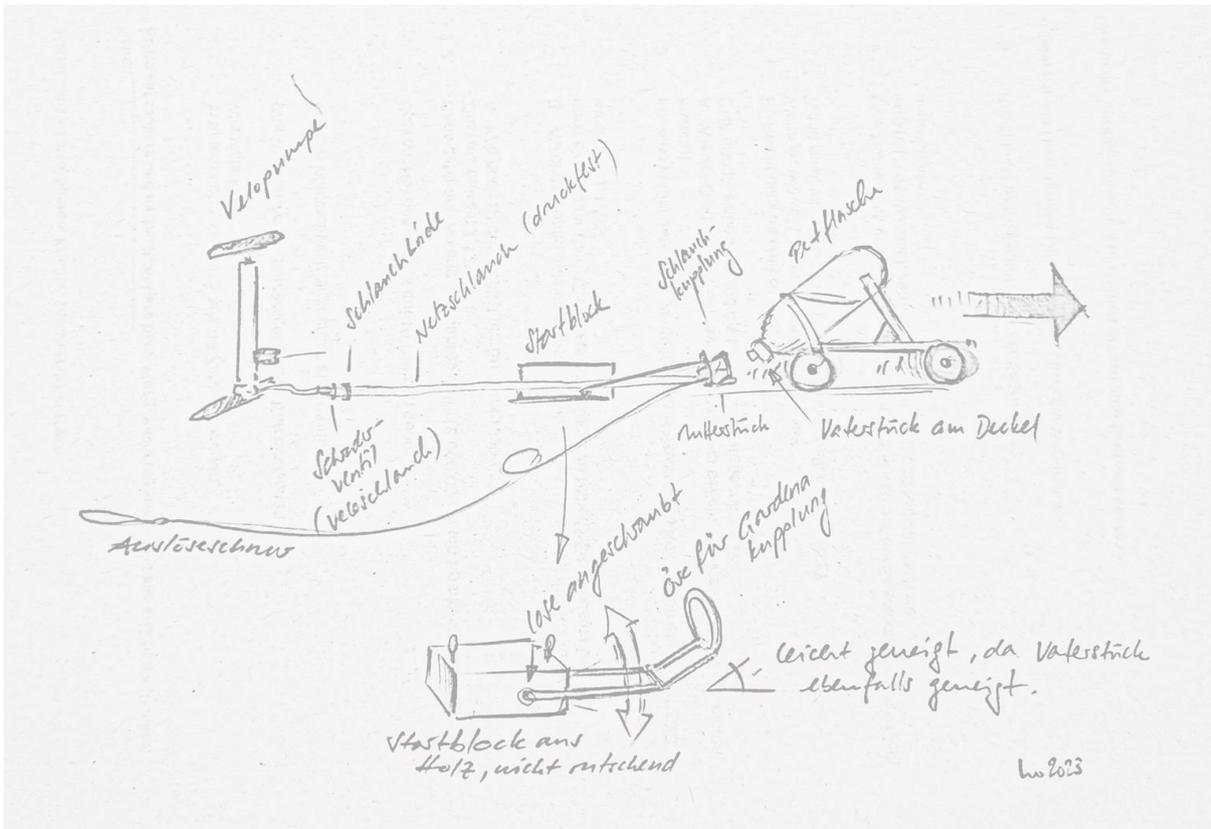
Ich bin auf der Suche nach einer funktionierenden Lösung.

Wird mit dieser Art Kupplung gearbeitet, steht die Düse baubedingt in einem Winkel zwischen 30° und 40° zum Boden und nicht parallel zur Fahrtrichtung. Dadurch gilt es zu beachten, dass nicht ein zu hoher Druckstrahl den Wagen hinten abheben und überschlagen lässt. Bisher verliefen Tests mit 3 bar bedenkenlos.

Das mit zwischen einem Drittel und der Hälfte Wasservolumen betankte Fahrzeug wird an die Rampe gekoppelt.

Nach Erreichen des gewünschten Luftdrucks wird die Kupplung durch Zug auf das Seil gelöst und das Gefährt saust davon. Der Druck wird folgend schrittweise erhöht, bis das Fahrzeug nicht mehr kontrolliert losfährt.

Wichtig: Es empfiehlt sich, mit der Klasse bereits 6 bar NICHT zu überschreiten.



Die Kupplung ist an einem beweglichen Bügel (rot) befestigt, da durch die unterschiedlichen Bauweisen die Flaschendeckel nicht alle auf gleicher Höhe sein werden. Die Steine links im Bild dienen der Beschwerung.



In diesem Beispiel wurde der Bügel aus einem Blechstreifen (2mm/50mm) gefertigt. Natürlich kann der Abgang auch ohne eine entsprechende Apparatur ausgelöst werden. Da die Kupplung sich allein durch Zug auf den orangenen Ring löst, wird das Fahrzeug während eines manuellen Starts nicht beeinträchtigt.

Der Schlauch wird leicht erhöht zur Pumpe geführt. Damit wird das Abfließen des Wassers in die Pumpe vermieden.



Das Zugseil ist lediglich mit einem Kabelbinder am Entriegelungsring der Kupplung befestigt.



Teil 3: Auswertung und Beurteilung

3.1 Auswertung und Vergleich mit der Zielsetzung

Ein wichtiges Instrument ist das Protokoll der Bauarbeiten und Versuche, welches der Besprechung zugrunde liegt. Die Jugendlichen schreiben jede Woche Einträge darüber, was ihre Ziele des Tages waren, was sie ausführen konnten und was beim nächsten Mal ansteht. Auf dem Tablet lassen sich leicht Bilder, Fotos und sogar Filme einfügen.

Festgehalten sind gleichermassen Gelungenes und Fehlschläge. Daraus lässt sich die Erfolgsentwicklung ablesen.

Die Beurteilung besteht zum einen im Wettbewerb um die Reichweite. Diese wurde zu Beginn der Aufgabe als eine massgebende Grösse genannt. Dabei ist es wichtig, während der Testfahrten Erfahrungen über die erreichbaren Weiten der entwickelten Wagen zu sammeln.

Für die Einhaltung der Richtung kann ein sich leicht öffnender Korridor festgelegt werden. Der Mittellinie folgen ist die höchste Stufe, weniger Punkte gibt es mit zunehmendem Abstand.

Das beschriebene Verhältnis von Distanz zu Gewicht wird ebenfalls miteinbezogen. Hier kann eine Rangliste in absteigender Reihenfolge erstellt werden.

3.2 Selbstbeurteilung und Beurteilung

Ein Beurteilungsraster gibt den Jugendlichen schon in der Entwicklungs- und Bauphase Klarheit, unter welchen Punkten die Entwicklung und deren Protokollierung sowie das Fahrzeug bestehen müssen und betrachtet werden (siehe Vorlage).

Die Wertung für das Protokoll kann folgende Punkte umfassen:

- Vollständigkeit
- Nachvollziehbarkeit
- Gestaltung

Die Wertung für das Fahrzeug kann folgende Punkte umfassen:

- Reichweite
- Stabilität des Chassis
- Handhabung für Montage und Befüllung der Flasche



Literaturverzeichnis:

Herrman, Norbert (2023, 23.2.). Die Macht der Zahlen – Warum der Dicke wirklich schneller ist.

https://www.uni-hannover.de/fileadmin/luh/content/alumni/unimagazin/2008_zahlen_globalisierung/08_1_2_56_59_herrmann.pdf

DLR_Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (2023). Bauanleitung DLR-Wasserrakete und Rampe

DLR_School_Lab Lampoldshausen/ Stuttgart 2008/ 2009

https://www.dlr.de/as/Portaldata/5/Resources/dokumente/abteilungen/abt_wk/Bauanleitung_Wasserrakete_und_Rampe.pdf

Lernhelfer.de (2023, 10.05.). Raketenantrieb und Raketengrundgleichung

<https://www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/physik-abitur/artikel/raketenantrieb-und-raketengrundgleichung>

raketenmodellbau.klima.de (2023). Wasserraketen Anschluss-Adapter.

<https://www.raketenmodellbau-klima.de/Raketenmodellbau/Wasserraketen/Wasserraketen-Anschluss-Adapter.htm?shop=raketenklima&SessionId=&a=article&ProdNr=6043&t=23&c=34&p=34>

Zuber, Christian (2023, 6.3.). Physikalisches Grundwissen_ Energieumwandlungen.

<https://www.edubs.ch/unterricht/faecher/mint/4-modul-energie-macht-mobil>



Vorlage

Druckluftantrieb _ Untersuchungen
beobachtest.

Notiere mithilfe von Skizzen die Versuche, die du

| Was wird wie ausgeführt? | Was geschieht? | Mögliche Ursache? |
|--------------------------|----------------|-------------------|
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |



Vorlage

Beurteilungsraster

| Protokoll | ungenügend | genügend | gut | sehr gut |
|---------------------|---|---|--|---|
| Vollständigkeit | Es fehlen Arbeitstage oder Erreichtes oder Ziele. | Alle Arbeitstage sind beschrieben. Gelungenes und Mislungenes sind beschrieben. | | Alle Arbeitstage sind vollständig mit Ziel, Erreichtem und Künftigem beschrieben, von allen Überlegungen und Tests findet sich alles Material. |
| Nachvollziehbarkeit | Die einzelnen Einträge sind schwierig zu verbinden. | Es lässt sich ein Faden durch die Bauzeit nachvollziehen. | Die Daten und deren Anordnung geben Einsicht und Verständnis für das Erreichte. | Die Daten, die Beschreibungen geben ein klares Bild von den Vorgängen. Sie begründen das Verständnis für das Erreichte. |
| Gestaltung | Wenig gegliederte Anordnung der Tage, Arbeiten und Ziele. | Das Protokoll liest sich klar im Ablauf. Es zeigt nur wenig Bildmaterial. Externe Quellen sind angegeben. | Das Protokoll liest sich klar im Ablauf. Es ist angereichert mit Bildmaterial und Erklärungen. Externe Quellen sind angegeben. | Das Protokoll liest sich klar im Ablauf. Es ist angereichert mit Bildmaterial, allenfalls Verweisen und Filmen. Externe Quellen sind angegeben. |



| Fahrzeug | ungenügend | genügend | gut | sehr gut |
|------------|---|--|--|---|
| Reichweite | Das Fahrzeug erreicht bei weitem nicht die ermittelten möglichen Weiten Es driftet zu sehr ab. | Das Fahrzeug erreicht gerade so die ermittelten möglichen Weiten. Es driftet kaum ab. | Das Fahrzeug erreicht die ermittelten möglichen Weiten zuverlässig. Es vermag die Spur zu halten. | Das Fahrzeug schießt über die ermittelten möglichen Weiten hinaus. Es vermag die Spur zu halten. |
| Stabilität | Das Fahrzeug übersteht nur wenige Fahrten. Die Belastungen sind zu hoch. | Das Fahrzeug übersteht mehrere Fahrten. Es zeigt erheblichen Verschleiss an Bauteilen. | Das Fahrzeug übersteht die Fahrten nahezu unbeschadet und verändert sein Fahrverhalten kaum. | Das Fahrzeug übersteht die Fahrten zuverlässig und bleibt weiter spurtreu. |
| Handhabung | Die Flasche lässt sich nur schwierig lösen, öffnen, befüllen. | Die Flasche lässt sich entweder einfach handhaben oder einfach befüllen. | Die Flasche lässt sich einfach handhaben und befüllen. | Die Flasche lässt sich einfach handhaben, befüllen und auswechseln. |