



PRAXISANLEITUNG

WATER ROCKET

Challenge



LUXEMBOURG
SPACE AGENCY



LE GOUVERNEMENT
DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG
Ministère de l'Éducation nationale,
de l'Enfance et de la Jeunesse

Inhaltsübersicht

| | |
|--|-----------|
| 1. Einleitung | 02 |
| 1.1 Was ist eine Wasserrakete? | 02 |
| 1.2 Didaktische und pädagogische Werte | 03 |
| 2. Water Rocket Competition | 04 |
| 2.1 Regeln für die Beteiligung | 05 |
| 2.2 Zielsetzung | 05 |
| 2.3 Bereitgestelltes Material | 05 |
| 2.4 Preise und Prämien | 05 |
| 2.5 Anmerkungen | 06 |
| 3. Bau einer Wasserrakete | 06 |
| 3.1 Benötigtes Material | 06 |
| 3.2 Anleitung zum Bau einer Wasserrakete | 06 |
| 3.3 Raketenstarter | 09 |
| 4. Die Optimierung der Rakete | 10 |
| 4.1 Volumen der Flasche | 10 |
| 4.2 Gewicht | 10 |
| 4.3 Schätzung des Massenschwerpunkts | 12 |
| 4.4 Flossen | 12 |
| 4.5 Aerodynamische Stabilität | 12 |
| 4.6 Schätzung der Position des Druckmittelpunkts | 14 |
| 4.7 Schleppkraft | 16 |
| 5. Die Rakete testen | 17 |
| 5.1 Raketeneigenschaften | 17 |
| 5.2 Raketenleistungen | 18 |
| 5.3 Tipps zum Testen | 18 |
| 5.4 Prüfmethodik | 18 |
| 6. Challenge-Regeln | 19 |
| 6.1 Anforderungen an das Raketendesign | 19 |
| 6.2 Startvorgang | 19 |
| 6.3 Team-Ranglisten..... | 20 |
| 7. Sicherheit | 21 |
| 7.1 Scharfe Messer und Klingen | 21 |
| 7.2 Aufbau der Rakete | 21 |
| 7.3 Unter Druck stehende Gegenstände und Leitungen | 21 |
| 7.4 Druckgrenzen | 22 |
| 7.5 Startvorgang | 22 |
| Anhang | 23 |
| Water Rocket Testblatt | 23 |

1. Einleitung

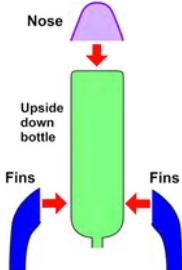
Vielen Dank für Ihr Interesse an der Water Rocket Challenge!

1.1 Was ist eine Wasserrakete

Eine Wasserrakete ist eine Art von Rakete, die Wasser und Druckluft als Treibstoff verwendet. Die Rakete besteht aus einer Plastikflasche, die teilweise mit Wasser und Druckluft gefüllt ist. Im einfachsten Fall ist eine Wasserrakete eine auf den Kopf gestellte Sprudelflasche, die mit einem "Nasenkonus" und einigen Flossen versehen ist.

Der Nasenkonus

Die Aufgabe des Nasenkonus ist es, das stumpfkantige Ende der Sprudelflasche aerodynamischer zu machen.

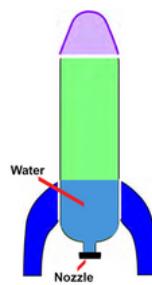


Die Flossen

Technisch gesehen sind die Flossen wichtig, damit die Rakete reibungslos fliegt, aber sie sind auch die Teile einer Rakete, die ihr ihren Charakter verleihen.

Wenn wir die Flossen und die Raketenspitze angebracht haben, sehen wir aus wie eine Rakete. Aber wie bringen wir sie dazu, wie eine Rakete zu fliegen?

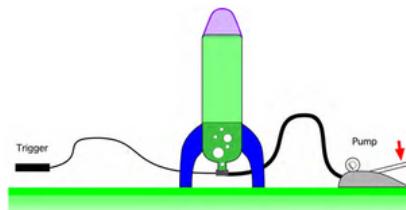
Zuerst müssen wir etwas Wasser hinzufügen und die Rakete in eine Startvorrichtung stecken, die das Wasser in der Flasche hält, bis wir es freisetzen wollen. Das Wasser verlässt dann die Flasche durch ihre Düse. In der Regel wird die Flasche zu einem Viertel bis zu einem Drittel mit Wasser gefüllt sein.



Abschuss

Um die Wasserrakete zu starten, müssen wir Luft in die Rakete pumpen, um Energie für den Start bereitzustellen. Wenn die Luft eintritt, steigt sie durch das Wasser und setzt den "leeren" Raum über dem Wasser unter Druck. Wie du siehst, lässt der Startmechanismus Luft in die Rakete einströmen, während das Wasser erst dann entweicht, wenn wir einen Auslöser betätigen.

Wenn der Auslöser den Auslösemechanismus aktiviert, drückt die unter Druck stehende Luft in der Rakete das Wasser schnell durch die Düse heraus und schickt die Rakete schnell in die Luft.



Abschussrampe

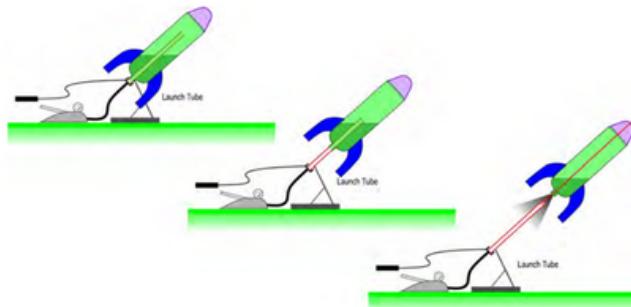
Da Ihr Ziel darin besteht, ein Ziel in genau **70 m** Entfernung vom Startpunkt zu erreichen, muss die Startrampe in einem bestimmten Winkel geneigt sein.

Am Tag des Starts wird **esero** (European Space Education Resource Office) jedem Team eine Startrampe zur Verfügung stellen.

Die Startrampe enthält ein Rohr, das durch die Raketendüse führt.

Wenn der Auslöser den Auslösemechanismus aktiviert, gleitet die Rakete entlang des Startrohrs, bevor sie vollständig in den "freien Flug" übergeht.

Dies hat zwei Vorteile. Erstens verhindert das Startrohr, dass die Rakete kurz nach dem Start umkippt und wirkt wie eine Art "interne Startrampe". Der zweite Vorteil besteht darin, dass sich das Hochdruckgas im Inneren der Rakete ausdehnt, sobald der Auslöser betätigt wird, und die Rakete entlang des Startrohrs schiebt (wie der mittlere Abschnitt der Abbildung unten zeigt). Während sie durch das Startrohr gleitet, beschleunigt sie und kann beim Verlassen des Startrohrs recht schnell werden. Während sie sich auf dem Startrohr befindet, verliert sie jedoch kein Wasser. Dadurch erhält die Rakete eine Art "bewegten Start" und kann ihre Wasserladung effektiver nutzen.



1.2 Didaktische und pädagogische Werte

Das Bauen und Starten von Raketen macht einfach riesigen Spaß. Es verbindet das einfache Vergnügen, die Kraft eines komprimierten Gases zu bestaunen, mit dem subtileren Vergnügen, ein technisches Problem zu meistern. Kurzum, es ist ein Spaß für alle Altersgruppen.

Wasserraketen sind auch ein beliebtes Mittel, um wissenschaftliche Konzepte zu vermitteln:



1. Physikalische Grundsätze: Wasserraketen bieten eine praktische Demonstration grundlegender physikalischer Prinzipien wie Newtons drittes Bewegungsgesetz, das besagt, dass es für jede Aktion eine gleichwertige und entgegengesetzte Reaktion gibt.

2. Kräfte und Bewegung: Die Schülerinnen und Schüler lernen die verschiedenen Kräfte kennen, die beim Start einer Wasserrakete wirken, darunter Schubkraft, Luftwiderstand und Schwerkraft. Sie können untersuchen, wie diese Kräfte die Flugbahn und die Geschwindigkeit der Rakete beeinflussen. Indem sie Faktoren wie die Wassermenge oder die Konstruktion der Rakete verändern, können die Schüler die Auswirkungen auf diese Kräfte untersuchen.

3. Aerodynamik: Die Teilnehmer experimentieren mit verschiedenen Flossendesigns, Nasenkonusformen und Körperkonfigurationen, um zu beobachten, wie sie die Stabilität, die Flugbahn und den Luftwiderstand der Rakete beeinflussen.

4. Druck und Energie: Bei Wasserraketen wird das Wasser mit Hilfe von Luftdruck ausgestoßen. Dies bietet die Gelegenheit, etwas über Druck, Energie und potenzielle Energie zu lernen. Die Schüler können untersuchen, wie sich der Luftdruck auf die Leistung der Rakete auswirkt, und sie können die Beziehung zwischen Druck, Volumen und der Flugbahn der Rakete erforschen.

5. Experimentier- und Problemlösungskompetenz: Experimente mit Wasserraketen ermutigen die Schülerinnen und Schüler, wissenschaftlich zu forschen, Hypothesen zu formulieren und diese durch Versuch und Irrtum zu überprüfen. Sie können die aus ihren Starts gewonnenen Daten analysieren und interpretieren, um Schlussfolgerungen zu ziehen. Dies fördert das kritische Denken, das Lösen von Problemen und die wissenschaftliche Methode.

6. Teamwork und Zusammenarbeit: Die Teilnehmer arbeiten zusammen, um die Rakete zu entwerfen und zu bauen, Ideen auszutauschen und eventuelle Probleme zu lösen. Dies fördert die Kommunikation, Kooperation und die Entwicklung zwischenmenschlicher Fähigkeiten.

2. Water Rocket Challenge

Das Bauen und Starten von Raketen macht einfach riesigen Spaß. Es verbindet das einfache Vergnügen, die Kraft eines komprimierten Gases zu bestaunen, mit dem etwas subtileren Vergnügen, ein technisches Problem zu meistern. Kurzum, es ist ein Spaß für alle Altersgruppen!



2.1 Regeln für die Beteiligung

Die folgenden Bedingungen müssen erfüllt sein, damit die Anmeldung eines Teams angenommen werden kann:

- Die Teams müssen aus **2 bis 4 Schülern** im Alter zwischen 8 und 19 Jahren bestehen.
- Die Teams müssen aus Schülern bestehen, die eine **Grund- oder Sekundarschule in Luxemburg** besuchen.
- Jedes Team muss von einem **Erwachsenen in der Rolle eines Mentors** beaufsichtigt werden.

Die Teammitglieder müssen nicht unbedingt dieselbe Schule besuchen.

Der Betreuer muss die SchülerInnen am Starttag begleiten.

Die Teams werden in 2 Sessions eingeteilt:

- **Session 1: 09:00 – 12:30** (max. 20 Teams)
- **Session 2: 13h30-17h00** (max. 20 Teams)

2.2 Zielsetzung

Starten Sie eine selbstgebaute Wasserrakete und landen Sie sie so nah wie möglich an einer 70 Meter entfernten Zone, indem Sie verschiedene Variablen wie den Luftdruck, die Wassermenge oder den Startwinkel ändern. Jedes Team hat 3 Versuche, so nah wie möglich heranzukommen, und sammelt für jeden Versuch Punkte.

2.3 Bereitgestelltes Material

ESERO stellt jedem Team während des Wettbewerbs eine Flaschendüse, einen Raketenwerfer und eine Fahrradpumpe zur Verfügung.

2.4 Preise und Prämien

Es gibt Preise für den **ersten, zweiten und dritten** Platz in jeder Alterskategorie. Das Siegerteam jeder Kategorie erhält einen Raketenwerfer.

Teams erhalten Preise für:

- Die schönste Rakete
- Die beste Teamuniform



2.5 Anmerkungen

- Ein Mentor kann mehrere Teams anmelden.
- Ein Zelt mit Hilfsmaterialien wird zur Verfügung stehen, um Raketen zu reparieren, die nach dem Start beschädigt wurden.
- Zur Mittagszeit werden Speisen und Getränke angeboten.
- Toiletten sind vorhanden.
- Wir werden während der Veranstaltung Fotos und Videos für Werbezwecke machen.

Die vollständigen Wettbewerbsregeln finden Sie in Abschnitt 6.

3. Bau einer Wasserrakete

In diesem Abschnitt wird im Detail gezeigt, wie man eine einfache Wasserrakete baut, die unter vielen Bedingungen gut fliegt. Der Bau einer eigenen Rakete dauert etwa 30-40 Minuten.

3.1 Benötigtes Material

- Eine 1 bis 1,5-Liter-Flasche mit kohlensäurehaltigen Getränken, die den Hauptkörper der Rakete bilden wird. Achten Sie darauf, dass Sie nur Flaschen mit kohlensäurehaltigen Getränken verwenden. Wir empfehlen 1,5-Liter-Flaschen von Coca-Cola, Pepsi oder Schweppes.
- Ein Tennisball mit einem Gewicht von etwa 60 g, der den Hauptteil der Nase bilden wird.
- Für die Flossen entweder alte CDs, Wellpappe oder noch besser gewelltes Plastik.
- Gewebeklebeband oder eine andere Art von starkem, klebrigem Klebeband.
- Elektrisches Isolierband
- Doppelseitiges Klebeband
- Flüssiger Klebstoff
- Eine Schere oder ein Messer.

3.2 Anleitung zum Bau einer Wasserrakete

1. Leeren Sie das kohlensäurehaltige Getränk, entfernen Sie die Etiketten und spülen Sie es mit Wasser aus. Achten Sie darauf, dass Sie die Flasche **NICHT** mit einer Schere oder anderen scharfen Werkzeugen beschädigen.
2. Verstärken Sie den oberen Teil der Flasche mit mehreren Lagen Klebeband.
3. Kleben Sie ein Stück doppelseitiges Klebeband in die Mitte der Flasche.
4. Kleben Sie den umgedrehten Flaschenverschluss in die Mitte des doppelseitigen Klebebands.
5. Kleben Sie den Tennisball mit Klebeband fest an das Ende der Flasche.



6. Flossen abschneiden

Zunächst müssen Sie entscheiden, ob Ihre Rakete drei oder vier Flossen haben soll.

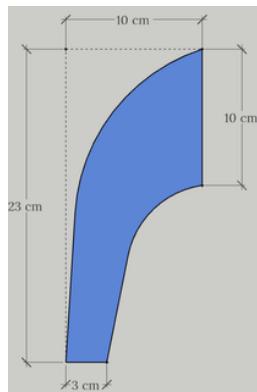
Anschließend wählen Sie das Material für die Flossen aus. Eine Möglichkeit ist, alte CDs zu zerschneiden und als Flossen zu verwenden, aber wenn du das tust, achte darauf, dass du die scharfen Kanten mit Klebeband abklebst, falls deine Rakete jemanden trifft.

Wellpappe kann den Zweck erfüllen, neigt aber dazu, nach einigen Starts nass und brüchig zu werden.

Wellplastik (bekannt als Corriflute™) ist wasserundurchlässig und hat für sein Gewicht eine ausgezeichnete Steifigkeit. Es ist das gleiche Material, das Immobilienmakler für ihre "Zu verkaufen"-Schilder verwenden. Eine weitere Option ist die Verwendung von 3 mm dicken PVC-Hartschaumplatten.

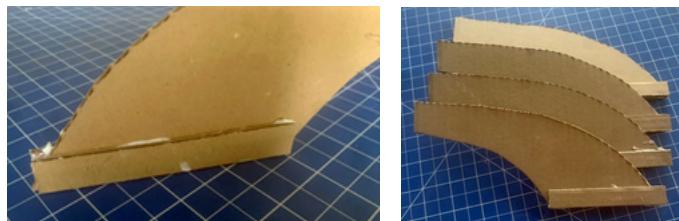
Hier ist ein Vorschlag für das Design der Querruder, den Sie aber mit Ihrem eigenen Design verbessern können.

Schneiden Sie für jede Flosse zwei zusätzliche, etwa 10 cm lange Stücke Material ab, um die Basis der Flossen zu verstärken.



7. Verstärkung der Flügelbasis

Verwenden Sie den Flüssigkleber, um die Rechtecke auf beiden Seiten der Flossen zusammenzukleben.



8. Befestigen Sie die Flossen an der Flasche

Platziere das doppelseitige Klebeband auf der Flasche an der Stelle, an der du die Flossen befestigen möchtest. Befestigen Sie die Flossen fest auf dem doppelseitigen Klebeband.

Verstärken Sie die Verbindung zwischen den Flossen und der Flasche, indem Sie auf beiden Seiten der Flossen elektrisches Isolierband anbringen.



Die Querruder werden bei der Landung sicherlich beschädigt werden, aber es wird nicht allzu schwierig sein, sie zu reparieren.

Unabhängig davon, ob Sie dieses Querrudermodell oder Ihr eigenes Modell verwenden, sind die wichtigsten Punkte in Bezug auf die Querruder folgende:

- Alle Querruder müssen identisch sein,
- Sie müssen am unteren Ende der Rakete angebracht sein.
- Sie müssen symmetrisch um die Rakete herum angeordnet sein (alle 120°, wenn Sie drei Querruder haben, oder alle 90°, wenn Sie vier Querruder haben).
- Sie sollten dünn sein, wenn man sie von vorne betrachtet (etwa 3 mm bis 5 mm dick).

9. Schmücke deine Rakete.

Vergiss nicht, deiner Rakete einen Namen zu geben und sie schön zu gestalten!



3.3 Raketenstarter

Dies ist der [Raketenstarter](#), der am Tag des Starts verwendet wird.



Es ist nicht notwendig, den Flug Ihrer Rakete vor dem Tag des Starts zu testen. Sie können Ihre eigene Trägerrakete bauen, aber das ist eine ziemlich zeitaufwändige Aufgabe. Wenn Sie es wirklich wollen, können Sie diese [billigere und effiziente Startrakte kaufen.](#)



4. Die Optimierung der Rakete

Abgesehen vom Zünden der Raketen macht auch das Entwerfen der Rakete selbst Spaß. In diesem Abschnitt werden wir uns einige Faktoren ansehen, die Sie berücksichtigen müssen, wenn Sie das Design Ihrer Rakete optimieren wollen.

4.1 Volumen der Flasche

Das Volumen der Rakete bestimmt die maximale Energiemenge, die in dem komprimierten Gas gespeichert ist. Die Energie ist sowohl dem Druck als auch dem Volumen proportional. Es gibt Grenzen für den Druck, den die Rakete aushalten kann: **6 bar** ist eine sichere Arbeitsgrenze. In den Geschäften findet man häufig **1 Liter und 1,5 Liter** Flaschen. Wir empfehlen die Verwendung von **1,5-Liter-Flaschen**, um die Effizienz zu maximieren.

4.2 Gewicht

Je geringer das Gewicht Ihrer Wasserrakete ist, desto besser wird sie fliegen. Die meiste Arbeit bei der Konstruktion einer leichten, starren Struktur haben die Hersteller von Kunststoffflaschen bereits für Sie erledigt.

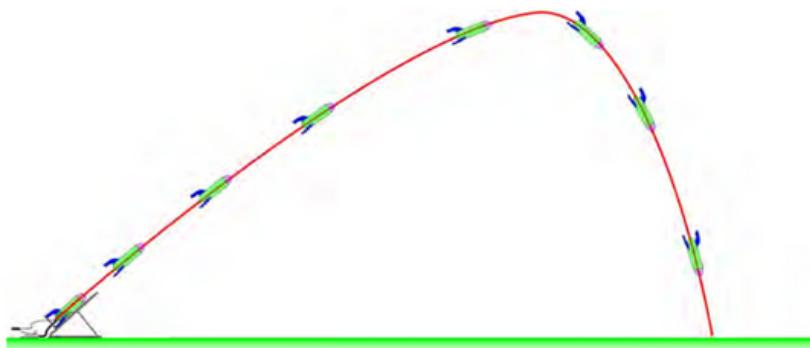
Um das Verhältnis von Festigkeit zu Gewicht der Flaschen zu nutzen, müssen Sie vermeiden, zu viel Gewicht hinzuzufügen, während Sie die Aerodynamik der Flasche verbessern.

Außerdem ist es wichtig, das Gewicht an den richtigen Stellen anzubringen, damit Ihre Rakete aerodynamisch stabil ist.

Die Verteilung des Gewichts über die Länge der Rakete ist einer der Faktoren, die bestimmen, ob sie wie eine Rakete oder wie eine Flasche fliegt. Worin besteht der Unterschied?

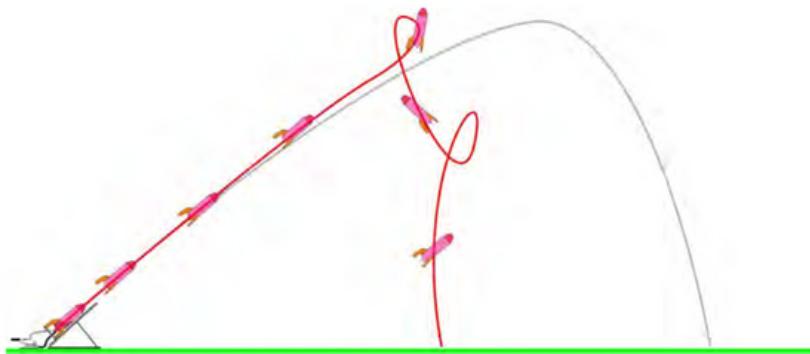
Eine aerodynamisch stabile Rakete fliegt mit der Nase voran und sollte eine Flugbahn wie ein schöner, glatter Bogen haben.

Unten: Eine aerodynamisch stabile Raketenflugbahn. Beachten Sie, dass der Luftwiderstand dazu führt, dass die Flugbahn asymmetrisch ist und die Rakete steiler fällt als sie aufsteigt.



Eine aerodynamisch instabile Rakete kann mit der Nase voran starten, aber ihr Flug wird schnell instabil, sie wird in der Luft flattern und taumeln und dann einfach zur Erde fallen.

Unten : Eine aerodynamisch instabile "Flaschen"-Flugbahn

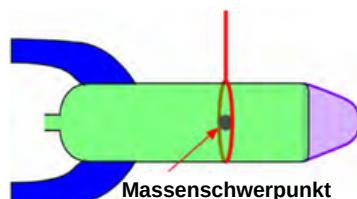
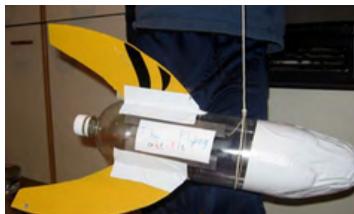


Damit Ihre Rakete "wie eine Rakete" und nicht "wie eine Flasche" fliegt, muss sich das Gewicht in der vorderen Hälfte der Rakete befinden. Je nach der Konstruktion Ihrer Flossen kann dies jedoch ausreichen, um einen aerodynamisch stabilen Flug zu gewährleisten. Eine der wichtigsten Eigenschaften Ihrer Rakete ist die Lage ihres Massenschwerpunkts, manchmal auch Schwerpunkt genannt.

4.3 Schätzung des Massenschwerpunkts

Da Ihre Rakete die meiste Zeit ihres Fluges ohne Wasser in ihr verbringen wird, ist es einfach, ihren Schwerpunkt zu finden, indem Sie einfach eine Schnur um die Rakete binden und den Aufhängepunkt entlang der Rakete bewegen, bis Sie den Schwerpunkt finden. Je weiter vorne dieser Schwerpunkt liegt, desto wahrscheinlicher ist es, dass Ihre Rakete stabil fliegt.

Unten: Bestimmung des Massenschwerpunkts einer Rakete durch Aufhängen an einem Faden.

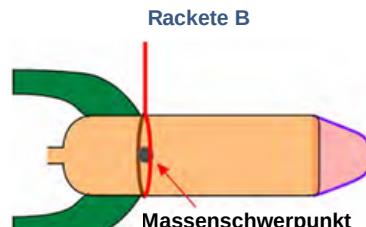
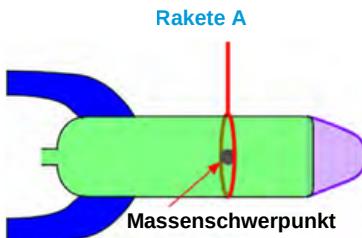


4.4 Flossen

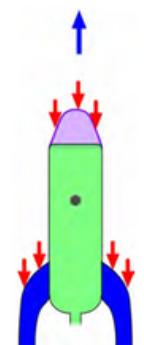
Die Flossen einer Rakete sind ein Mechanismus, der einen aerodynamisch stabilen Flug gewährleistet. Um die Rolle der Flossen zu verstehen, muss man die Kräfte betrachten, die auf eine Rakete einwirken, wenn sie während des Fluges leicht schief ausgerichtet wird. Wenn diese Kräfte den Grad der Fehlausrichtung erhöhen, wird die Rakete nicht gut fliegen. Wenn diese Kräfte den Grad der Fehlausrichtung verringern, wird die Rakete fliegen... wie eine Rakete! Wir werden im nächsten Abschnitt sehen, wie die Flossen zur Stabilität beitragen.

4.5 Aerodynamische Stabilität

Um die aerodynamische Stabilität zu verstehen, müssen wir die Kräfte betrachten, die auf die Rakete wirken, wenn sie richtig fliegt und wenn sie falsch ausgerichtet ist. Betrachten wir zwei verschiedene Raketen (nennen wir sie **Rakete A** und **Rakete B**), die die gleiche Form und die gleichen Flossen haben, die aber eine unterschiedliche Gewichtsverteilung haben und deren Massenschwerpunkt daher an verschiedenen Stellen liegt. Nehmen wir an, dass der Schwerpunkt von **Rakete B** viel weiter hinten liegt als der von **Rakete A**.



Rakete A



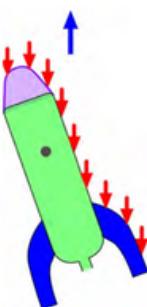
Betrachten wir nun die Kräfte, wenn sich die Rakete in Richtung des blauen Pfeils bewegt.

Die Hauptwiderstandskräfte wirken auf alle Oberflächen, die der an der Rakete vorbeifließenden Luft ausgesetzt sind. Bei einer typischen Rakete, die "richtig" ausgerichtet ist, wirken diese Kräfte hauptsächlich auf die Raketenspitze, da die Flossen normalerweise sehr dünn sind und der Luft, durch die sie sich bewegen, nur wenig Querschnitt bieten.

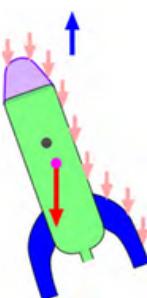
Stellen Sie sich nun vor, was passieren würde, wenn die Rakete leicht schief ausgerichtet wäre. In diesem Fall würde ein viel größerer Teil der Rakete der Luft ausgesetzt sein, und die Widerstandskräfte würden erheblich zunehmen.

Die Kräfte würden wirken:

- auf die Nase der Rakete,
- entlang der exponierten Seite der Rakete,
- und auf die Flossen.

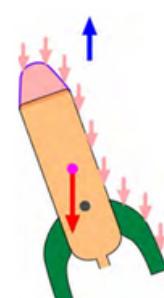
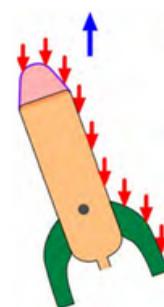
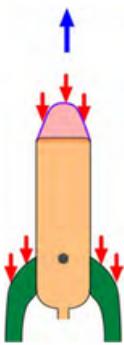


Die Kräfte entlang der einzelnen Teile der Rakete sind schwer zu berechnen oder genau zu messen, aber es gibt einen Punkt auf der Rakete, an dem sie wirksam werden. Dieser Punkt wird als Druckmittelpunkt bezeichnet und ist in den Abbildungen rechts und links mit einem lila Punkt markiert.



Da die beiden Raketen die gleiche Form haben, liegt der Druckmittelpunkt an der gleichen Stelle. Da der Massenschwerpunkt der beiden Raketen jedoch an unterschiedlichen Stellen liegt, wirken sich die gleichen Widerstandskräfte auf die beiden Raketen unterschiedlich aus.

Rakete B



Bei **Rakete A** liegt der Massenschwerpunkt weiter vorne entlang der Raketenachse als der Druckmittelpunkt. Die zusätzlichen Widerstandskräfte wirken daher eher auf das hintere Ende der Rakete und neigen dazu, sie wieder in die richtige Richtung zu drücken. Technisch gesehen üben die Widerstandskräfte ein Drehmoment aus, das um den Massenschwerpunkt herum wirkt, um die optimale Fluglage wiederherzustellen.

Bei **Rakete B** liegt der Massenschwerpunkt weiter hinten entlang der Raketenachse als der Druckmittelpunkt. Die zusätzlichen Widerstandskräfte wirken daher mehr auf das vordere Ende der Rakete und neigen dazu, sie noch weiter aus der Linie zu drücken".

Es sind also die relativen Positionen des Massenschwerpunkts und des Druckzentrums, die bestimmen, ob eine Rakete aerodynamisch stabil (wie Rakete A) oder instabil (wie Rakete B) ist. Wir haben in einem früheren Abschnitt gesehen, wie man die Position des Massenschwerpunkts bestimmt, aber wie bestimmt man die Position des Druckmittelpunkts?

4.6 Schätzung der Position des Druckmittelpunkts

Die Position des Druckmittelpunkts zu bestimmen, erweist sich als ziemlich schwierig, aber es gibt eine einfache Technik, mit der Sie eine grobe Schätzung der Position vornehmen können. Dazu müssen Sie eine flache "Silhouette" Ihrer Rakete anfertigen. Um zu verstehen, warum dies wichtig ist, sehen Sie sich die folgenden Fotos an, die zeigen, wie die Rakete aussehen würde, wenn sie im Flug falsch ausgerichtet wäre.



Ein Foto einer Rakete direkt über der Raketenspitze: Das ist das, was Sie sehen würden, wenn die Rakete direkt auf Sie zufliegen würde.



Exponierte Flächen der Rakete: Der Kreis zeigt den Bereich der Rakete, der der Luft ausgesetzt ist. Die Flossen sind recht dünn und bewegen sich leicht durch die Luft.



Dieses Bild zeigt eine Rakete, die leicht schief steht: So sähe es aus, wenn die Rakete direkt auf Sie zufliegen würde, aber ihr hinteres Ende leicht geschwenkt wäre.



In dieser Haltung sind zusätzliche Flächen (umrandet und schattiert) der anströmenden Luft ausgesetzt. Einige dieser Flächen befinden sich an der Seite der Rakete und einige an den Flossen.

Die Silhouettentechnik berücksichtigt, was passieren würde, wenn Ihre Rakete aus irgendeinem Grund seitwärts fliegen würde. Dies ist natürlich ein extremeres Szenario als die oben betrachteten Ausrichtungsfehler, aber lassen Sie uns die Logik weiterverfolgen. In diesem Fall würden die Oberflächen der Rakete, die der ankommenden Luft ausgesetzt sind, keinen Kreis bilden (wie bei einer korrekt ausgerichteten Rakete), sondern eher wie eine Silhouette der gesamten Rakete aussehen. Die Position des Druckmittelpunkts der Rakete lässt sich abschätzen, indem man eine Silhouette (oder einen Ausschnitt) der Rakete anfertigt und dann den Massenschwerpunkt des Ausschnitts schätzt.

Illustration der Silhouettentechnik zur Schätzung des Druckmittelpunkts.



1. Zeichne um die Rakete herum.
2. Schneiden Sie die Silhouette der Rakete aus.
3. Abschätzung des Massenschwerpunkts der Rakete und ihrer Silhouette zusammen. Wir schätzen, dass sich der Druckschwerpunkt der Rakete in etwa in der gleichen relativen Position befindet wie der Schwerpunkt der Silhouette. Beachten Sie, dass die Raketenkonstruktion mit ihren großen, leichten, vom Raketenkörper abstehenden Flossen dazu beiträgt, den Druckmittelpunkt im hinteren Bereich der Rakete zu halten. Auch das zusätzliche Gewicht in der Nase

Wie das Foto oben zeigt, liegt der Massenschwerpunkt der Silhouette viel weiter hinten am Raketenkörper als der Massenschwerpunkt der Rakete selbst. Sofern der Massenschwerpunkt der Silhouette wirklich ein guter Schätzer für den Druckmittelpunkt der Rakete ist, können wir sofort sehen, dass die Rakete aerodynamisch stabil ist. Würde die Rakete seitwärts fliegen, dann würde der Luftdruck eine wirksame Kraft auf den Druckmittelpunkt wirken lassen. Da der Druckmittelpunkt weiter hinten an der Rakete liegt als der Massenschwerpunkt, bewirkt der Luftdruck, dass das Heck der Rakete nach hinten gedrückt wird und die Raketenspitze nach vorne schwingt, wodurch die richtige Fluglage wiederhergestellt wird.



4.7 Schleppkraft

Wenn das Wasser aus der Raketendüse austritt, schiebt es die Rakete nach vorne. Diese Beschleunigung wird jedoch verringert, da die Rakete Luft aus dem Weg schieben muss. Die Kraft, die erforderlich ist, um die Luft aus dem Weg zu schieben, wird als Luftwiderstand bezeichnet.

Bei einer Geschwindigkeit von nur wenigen Metern pro Sekunde nehmen wir den Luftwiderstand kaum wahr, aber bei höheren Geschwindigkeiten dominiert der Luftwiderstand die Bewegung der Projektilen. Für die raketenförmigen Projektilen, die uns interessieren, werden die Widerstandskräfte oberhalb von etwa 10 Metern pro Sekunde bedeutend. Unmittelbar nach dem Start kann eine Wasserrakete eine Höchstgeschwindigkeit von 20 Metern pro Sekunde erreichen, und eine Hochdruckrakete kann sogar 40 Meter pro Sekunde erreichen. Bei solchen Geschwindigkeiten ist es wichtig, eine Konstruktion mit geringem Luftwiderstand zu entwickeln. Angenommen, Ihr Entwurf ist grundsätzlich raketenförmig (spitze Nase, langer Körper, Flossen), dann können Sie den Luftwiderstand durch Berücksichtigung der folgenden Punkte minimieren.

Nase: Diese Nase muss sein:

- Kegelförmig, aber es ist nicht nötig, sie übermäßig spitz zu machen. Vom Standpunkt der Sicherheit aus ist dies sogar eher unerwünscht.
- Möglicherweise muss die Nase beschwert werden. Ich verwende gerne Klebeband um einen Tennisball, aber andere Entwürfe verwenden Knetmasse, die in einen Nasenkonus aus Pappe oder Plastik gefüllt ist.

Körper: Der Körper muss sein:

- So glatt wie möglich.
- Bei einem bestimmten Volumen haben lange, dünne Raketen einen geringeren Luftwiderstand als kurze, dicke Raketen.

Flossen: Die Flossen müssen sein:

- Dünn und leicht
- symmetrisch um den Raketenkörper herum angeordnet sein: normalerweise sind es drei oder vier Stück.
- Sie sollten so weit hinten wie möglich an der Rakete angebracht sein.



5. Die Rakete testen

Die Art und Weise, wie Sie Ihre Rakete testen, unterscheidet diejenigen, die Spaß haben wollen (was großartig ist), und diejenigen, die ihren Entwurf verstehen und verbessern wollen (was der erste Schritt auf dem Weg zu einem erfolgreichen Ingenieur ist). Das Herzstück dieses Testprozesses ist die Messung. Sie müssen:

- die Eigenschaften der Rakete vor dem Start messen, und dann
- die Leistung einer Rakete messen.

Anschließend müssen Sie Ihr Verständnis des Startvorgangs und der Flugdynamik nutzen, um herauszufinden, welche Starteigenschaften die Leistung der Rakete am stärksten beeinflussen.

5.1 Raketeneigenschaften

Gewicht der leeren Rakete: Dies ist das Gewicht der Rakete ohne das Wasser in ihr. Mit einer elektronischen Küchenwaage ist es nicht allzu schwierig, auf das Gramm genau zu messen, was für unsere Zwecke mehr als genau genug ist.

Wassermenge: Dies ist etwas, das Sie leicht anpassen können und das einen erheblichen Unterschied in der Leistung ausmacht. Eine gute Ausgangsbasis ist die Befüllung mit etwa einem Viertel Wasser. Die optimale Füllung hängt von mehreren Faktoren ab, liegt aber im Bereich von 20 % bis 30 %. Eine Möglichkeit ist, die Seite der Rakete mit Klebeband zu markieren, um zu zeigen, wo sich die 20%- oder 25%-Marke befindet: Denken Sie daran, dass Sie die Rakete füllen, wenn sie auf dem Kopf steht, so dass sich diese Markierung an einer nicht offensichtlichen Stelle befindet.

Startwinkel: Wäre die Rakete ein unangetriebenes Projektil ohne Luftwiderstand, dann wäre der Winkel, der die größte Reichweite ergibt, 45°. Bei einer Wasserrakete ist dies jedoch nicht der Fall, obwohl der optimale Winkel wahrscheinlich nicht sehr weit von 45° entfernt ist. Meiner Meinung nach erzielt man die beste Reichweite, wenn man etwas senkrechter startet, aber das sollten Sie bei Ihrer Rakete überprüfen.

Startdruck: Ein höherer Druck erhöht die gespeicherte Energie beim Start, wodurch sich die von der Rakete erreichte Höchstgeschwindigkeit erhöht, was wiederum die Startreichweite, die Flugzeit und die maximale Höhe erhöht. Sie werden jedoch feststellen, dass eine Erhöhung des Startdrucks um einen bestimmten Betrag (a) immer schwieriger zu bewerkstelligen ist und (b) einen immer geringeren Unterschied macht. Der Grund dafür ist der Luftwiderstand, der mit zunehmender Startgeschwindigkeit sehr schnell zunimmt und der Rakete die gesamte kinetische Energie "stiehlt". Wenn Sie einen Startdruck von 6 bar haben und immer noch nach Verbesserungen suchen, dann sollten Sie lieber versuchen, den Luftwiderstand zu verringern, als den Druck weiter zu erhöhen.



5.2 Raketenleistungen

- **Bodenreichweite:** Dies ist die Entfernung zwischen dem Startpunkt und dem Punkt, an dem die Rakete auf den Boden trifft.
- **Zeit in der Luft:** Die Zeit, die die Rakete in der Luft verbringt, ist ein gutes Maß für die Leistung der Rakete. Mit ein wenig Übung sollten Sie in der Lage sein, diese auf eine Zehntelsekunde genau zu messen.

Sie können den Start der Rakete auch mit einem Smartphone aufzeichnen, um zu beobachten, wie das Wasser die Rakete verlässt, und um ihre Geschwindigkeit zu schätzen.

5.3 Tipps zum Testen

- Bringen Sie genügend Wasser mit: mindestens **2 bis 3 Liter** sind notwendig. Plastikschläuche, Trichter und Messzylinder werden sich als nützlich erweisen.
- Machen Sie es sich zur Gewohnheit, alles, was Sie tun, aufzuschreiben, während Sie es tun. Es ist erstaunlich, wie das einfache Aufschreiben von "was ich versucht habe und was passiert ist" helfen kann, scheinbar verwirrende Ergebnisse zu klären.
- Tragen Sie die Ergebnisse auf einem Laptop ein oder verwenden Sie den mitgelieferten Testbogen.
- Machen Sie sich nicht zu viele Gedanken über genaue Messungen. Eine Schätzung der meisten Größen auf **5 bis 10 %** ist ausreichend, um ein gutes Verständnis zu erlangen.



Bevor Sie mit den Tests beginnen, lesen Sie bitte den Abschnitt über Sicherheit. Wasserraketen sind im Allgemeinen sicher, aber es besteht die Möglichkeit eines Unfalls. Befolgen Sie daher zu Ihrem eigenen Wohl und dem anderer die Sicherheitsrichtlinien.

5.4 Prüfmethodik

- Versuchen Sie, dreimal mit den gleichen Parametern zu starten. So können Sie die Reproduzierbarkeit der Leistung Ihrer Rakete beurteilen. Wenn Sie Ihre Rakete nicht dazu bringen können, unter den gleichen Bedingungen in etwa das Gleiche zu tun, dann werden Sie ihre Leistung nicht wirklich sinnvoll optimieren können.
- Versuchen Sie, ohne Wasser zu starten: Dies ist eine schöne Demonstration des Prinzips des Raketenantriebs. Die Rakete fliegt immer noch, aber wenn Sie eine kleine Menge Wasser hinzufügen (vielleicht nur 5 % der Rakete), sollten Sie einen dramatischen Effekt auf die Leistung der Rakete sehen.
- Starten Sie in Teams von mindestens zwei Personen. Es ist gut, sich während des Starts zu unterhalten und seine Ideen zu erklären, und eine Person kann als Sicherheitsbeauftragter oder Zeitnehmer fungieren, während die andere startet.



- Versuchen Sie, den Abschusswinkel zu ändern und die Reichweite aufzuzeichnen. Sie sollten einen Bereich von Winkeln finden (wahrscheinlich nahe bei 45°), in dem die Reichweite nicht vom genauen Startwinkel abhängt.
- Ändern Sie versuchsweise den Startdruck und zeichnen Sie die Reichweite auf. Sie sollten feststellen, dass eine Erhöhung des Startdrucks die Reichweite immer vergrößert, allerdings um immer geringere Beträge.

6.Challenge-Regeln

6.1 Anforderungen an das Raketendesign

Die Raketen müssen vor dem Starttag fertig sein. Wegen der Bruchgefahr der Raketen, insbesondere im Bereich der Flossen, sollten mehrere Flossen im Voraus vorbereitet werden.

Außerdem müssen die folgenden Anforderungen erfüllt werden:

1. Die Raketenflasche muss eine PET-Flasche sein, die für kohlensäurehaltige Getränke oder Wasser bestimmt ist.
2. Die Gesamtlänge der Rakete darf nicht größer als 1 m sein.
3. Das Volumen der Raketenflasche darf nicht größer als 1,5 Liter sein.
4. Die gesamte Energie, die der Rakete zugeführt wird, darf nur aus der Kombination Wasser/Luftdruck stammen. Es ist keine andere Energiequelle erlaubt. Luft darf nur manuell mit der mitgelieferten Fahrradpumpe komprimiert werden.
5. An der Rakete sind keine äußeren Metallteile erlaubt.
6. Der Teamname muss gut sichtbar auf der Flasche angebracht sein.
7. Die Flossen müssen von jedem Team selbst gebaut werden und dürfen nicht im Handel gekauft werden.

6.2 Startvorgang

Die folgenden Startbedingungen müssen erfüllt werden:

- Die Teams dürfen nur den mitgelieferten Raketenwerfer und die Fahrradpumpe verwenden.
- Der Abschlussdruck darf nicht höher als 6 bar sein
- Der Abschusswinkel muss zwischen 30 und 60 Grad liegen.

Jedes Team hat 3 Versuche, in 3 Runden so viele Punkte wie möglich zu sammeln, indem es so nah wie möglich an die 65m-Zone herankommt. Jede Runde dauert etwa 30 Minuten.

Zwischen den einzelnen Runden haben die Teams etwa **20 Minuten** Zeit, ihre Rakete zu reparieren und zu optimieren, indem sie den Winkel, die Wassermenge und den Druck anpassen.

Wenn Sie nicht innerhalb der für die Runde vorgesehenen Zeit starten können, wird Ihr Ergebnis für diese Runde auf Null gesetzt. Windkegel zeigen die Windrichtung und -stärke an.

Vor jedem Start muss jedes Team

- die mitgelieferte Augenschutzbrille tragen
- den Winkel der Rakete zwischen mindestens 30 Grad und maximal 60 Grad einstellen
- die Rakete mit der erforderlichen Wassermenge füllen
- die Rakete mit der Fahrradpumpe unter Druck setzen, ohne 6 bar zu überschreiten
- auf die grüne Flagge des ESERO-Teams warten, bevor die Rakete gestartet wird.

6.3 Team-Ranglisten

Das Fußballfeld wird wie folgt in "Zonen" unterteilt

| Zone | Distanz | Farbe | Punkte |
|------|-------------|---------|--------|
| A | 40 bis 50 m | Gelb | 50 |
| B | 50 bis 60 m | Orange | 100 |
| C | 60 bis 64 m | Rot | 160 |
| D | 64 bis 66 m | Schwarz | 200 |
| E | 66 bis 70 m | Rot | 160 |
| F | 70 bis 80m | Orange | 100 |
| G | 80 bis 90m | Gelb | 50 |





Die Teams erhalten Bonuspunkte für jede Sekunde, die ihre Rakete fliegt. ist.

7. Sicherheit



Der Bau und der Start von Wasserraketen ist im Allgemeinen sicher, aber es gibt einige Gefahren, die sowohl mit dem Start als auch mit dem Bau von Wasserraketen verbunden sind, und Sie sollten sich dieser Gefahren bewusst sein.

7.1 Scharfe Messer und Klingen

Jedes scharfe Messer oder jede scharfe Klinge stellt eine potenzielle Unfallquelle dar, insbesondere wenn Kinder anwesend sind. Wenn Sie also Bastelmesser oder Klingen verwenden:

- Schneiden Sie immer von Ihren Fingern weg.
- Wenn Sie die Klinge nicht benutzen, decken Sie die scharfe Oberfläche entweder mit der vom Hersteller gelieferten Abdeckung ab oder, falls dies nicht möglich ist, mit einem Korken oder einem Stück Weichholz.

7.2 Aufbau der Rakete

Verwenden Sie keine scharfen Spitzen an der Raketenspitze oder an den Leitwerken und keine Metallteile außerhalb des Raketenkörpers.

7.3 Unter Druck stehende Gegenstände und Leitungen

Während des Starts und der Prüfung stehen die Rohrleitungen und Verbindungen unter Druck, und es können große Kräfte auf verschiedene Teile Ihres Systems ausgeübt werden. Ein völliges Versagen von Bauteilen ist selten (siehe unten für Druckgrenzen), aber es ist üblich, dass Verbindungen unter Druck "kriechen" und dann plötzlich herausspringen.

Wenn Ihr Startsystem unter Druck steht, sollte es wie ein nicht explodierter Feuerwerkskörper behandelt werden. Sie sollten Kinder fernhalten.



7.4 Druckgrenzen

Verwenden Sie nur PET-Flaschen, die für kohlensäurehaltige Getränke oder Wasser mit Kohlensäure bestimmt sind. Verwenden Sie keine PET-Flaschen, die z. B. für Fruchtsaft- oder Milchgetränke verwendet werden. Diese sind nicht sicher.

Abgesehen von undichten Anschläßen ist das wahrscheinlichste Bauteil, das unter Druck versagt, die Wasserrakete selbst. Der genaue Druck, bei dem die Flaschen explodieren, hängt vom Flaschendesign, von ihrer Geschichte und von den seltsamen Dingen ab, die Sie mit ihr gemacht haben. Wenn Sie neue, unbeschädigte Flaschen verwenden, sollten Sie den Druck unter 6 bar halten, um das Risiko einer Explosion zu vermeiden.

7.5 Startvorgang

Wenn Sie die Rakete starten, sollten Sie vermeiden, dass die Rakete ein Lebewesen trifft, da sie bis zu 100 Meter entfernt landen kann.

- Wählen Sie Ihren Platz sorgfältig aus: Die meisten öffentlichen Parks sind nur für die kürzesten Flüge geeignet.
- Starten Sie im Team, wobei eine Person die Aufgabe hat, für die Sicherheit zu sorgen. Sie sollten auf Personen achten, die sich in den Schießbereich begeben.
- Schießen Sie zunächst mit geringem Druck, bis Sie sich mit Ihrem Startsystem vertraut gemacht haben. Denken Sie daran, dass ein versehentlicher Start der Rakete eine reale Möglichkeit ist, wenn die Rakete unter Druck steht.



Credits :

Dieses Dokument wurde von UK NPL inspiriert. Michael de Podesta's Broschüre für den UK Water Rocket Competition.

Sponsoren :

The Water Rocket Challenge wird unterstützt von



LE GOUVERNEMENT
DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG
Ministère de l'Éducation nationale,
de l'Enfance et de la Jeunesse

ANNEX

Water Rocket Testblatt

| Datum | Zeit | Raketenname | Raketengewicht |
|-------|------|-------------|----------------|
| | | | |

Startparameter

| | | | |
|----------------------------|--|--|--|
| Startnummer | | | |
| Wassermenge (cl) | | | |
| Abschusswinkel I (Grad) | | | |
| Startdruck (bar) | | | |

Start-Ergebnisse

| | | | |
|-----------------------|--|--|--|
| Reichweite (Meter) | | | |
| Flugdauer (Sek.) | | | |



1, rue John Ernest Dolibois
L-4573 Differdange

+352 621 969 019

contact@esero.lu