Facharbeit 2012 Physik

Experimente mit der Wasser-Luft-Rakete

Verfasser

Michael Zilgalvis (0202/467104)

Anton Schwager (0202/469591)

Schule:

Carl-Fuhlrott-Gymnasium, Wuppertal

Stufe 12 Physik Leistungskurs 1

Schuljahr 2011/2012

Lehrer:

Michael Winkhaus, OStR

Abgabe Termin

30.03.2012

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung ... 5
2. Theoretische Vorarbeit ... 6
2.1. Allgemeine Grundlagen des Raketenfluges [4] [5] [8] ... 6
2.2. Physik des Raketenfluges [8] ... 8
2.2.1. Grundlegende Relationen ... 11
2.2.2. Beschleunigung ... 11
2.2.3. Geschwindigkeitsfunktion ... 12
2.2.4. Ortsfunktion ... 13
2.2.5. Flug nach dem Abwerfen des Treibstoffes ... 15
2.2.6. Optimierung ... 15
2.2.7. Stufenprinzip [4] [5] ... 18
2.3. Theorie zur Aerodynamik von Raketen ... 19
2.4. Theorie zur Wasser-Luft-Rakete ... 20
2.5. Entwicklung einer Methode zur Auswertung von Videos oder Fotographien der Raketenflüge ... 21
2.5.1. Triangulation [11] [13] ... 22
2.5.2. Jakobsstab [13] ... 23
2.5.3. Software ... 25
3. Praktische Arbeit ... 26
3.1. Einleitung in die praktische Ausarbeitung: ... 26
3.2. Bau der Startrampe ... 26
3.3. Bau der Rakete ... 35
4. Versuchsreihen ... 42
4.1. Versuchsaufbau ... 42
4.1.1. Kamera: ... 42

4.2. 1. Versuchsreihe 26.02.2012 ... 43
4.2.1. Ziel ... 43
4.2.2. Voraussetzungen ... 43
4.2.3. Starts ... 43
4.2.4. Fazit aus der ersten Versuchsreihe ... 46
4.3. 2. Versuchsreihe 03.03.2012 ... 46
4.3.1. Ziel ... 46
4.3.2. Voraussetzungen ... 46
4.3.3. Starts ... 47
4.3.4. Fazit ... 51
4.4. Erster Hochdruck Test 03.03.2012 ... 51
4.4.1. Start ... 51
4.4.2. Fazit ... 52
4.4.3. Reparaturen ... 52
4.4.4. Optimierungen ... 53
4.5. 3. Versuchsreihe 13.03.2012 und 17.03.2012 ... 55
4.5.1. Ziel ... 55
4.5.2. Tag 1: Voraussetzungen ... 55
4.5.3. Tag 1: Starts ... 55
4.5.4. Tag 1: Fazit ... 58
4.5.5. Tag 2: Voraussetzungen ... 58
4.5.6. Tag 2: Starts ... 58
4.5.7. Fazit ... 61
4.6. Ergebnis der Versuchsreihen ... 61
5. Weitere Nutzung des erworbenen Wissens in der Junior Uni ... 64
5.1. Kurs für 6- bis 10-jährige Kinder ... 64
5.2. Kurs für 14 bis 18 Jahre alte Jugendliche ... 72
6. Zusammenfassung ... 74

7. Kritischer Rückblick 75

Danksagungen 76

Literaturverzeichnis 77

Abschlusserklärung 79

1. Einleitung

Für unsere Facharbeit haben wir das Thema Wasser-Luft-Rakete gewählt und ursprünglich planten, wir uns nach der Ausarbeitung einiger theoretischer Themen vor allem auf den Bau und die Optimierung einer Wasser-Luft-Rakete, sowie einer geeigneten Startrampe und möglicher weiterer Komponenten zu konzentrieren. Dazu mussten wir geeignete Methoden zur Auswertung unserer Raketenstarts entwickeln. Mehrere mögliche Methoden wurden daher von uns während der ersten Startreihe verglichen. In unseren Startreihen haben wir uns erst einmal darauf beschränkt zu zeigen, wie sich die Flughöhe mit den veränderten Parametern, Füllmenge und Luftdruck, verändert. Aufgrund der langanhaltenden Kälte in den ersten beiden Monaten dieses Jahres, war es uns jedoch nicht möglich, in dem vorgegebenen Zeitfenster ausreichend Starts mit entsprechenden Modifizierungen der Rakete durchzuführen. Daher entschieden wir uns zusätzlich zu den durchgeführten Starts die Vorbereitung eines Kurses an der Wuppertaler Junior Uni mit in diese Facharbeit einzubeziehen. In diesem wollen wir jüngeren Schüler, die Interesse an Physik und speziell an der Wasser-Luft-Rakete haben, unser Wissen vermitteln und mit ihnen zusammen auch eine eigene Rakete bauen. Dieser Kurs gäbe uns aber auch die Möglichkeit, weiterführende Arbeiten an unserer Rakete durchzuführen und gemeinsam mit den Studenten der Junior-Uni an einer Optimierung der Rakete nach Abschluss unserer Facharbeit zu arbeiten.

2. Theoretische Vorarbeit

2.1. Allgemeine Grundlagen des Raketenfluges [4] [5] [8]

Flugzeuge nutzen aerodynamische Effekte, um aufsteigen zu können und um zu fliegen. Die Flügel an Flugzeugen sorgen für den Auftrieb, während die Triebwerke für Vortrieb sorgen, welcher den Auftrieb an den Flügeln aufrecht erhält. Raketen können dieses Konzept nicht nutzten, da sie die Erdatmosphäre verlassen, wo der Auftrieb der Flügel wegen des fehlenden Luftdrucks nicht mehr genutzt werden kann. Die Triebwerke von Flugzeugen sorgen für den Vortrieb, sie verbrennen Kerosin, um Luft auf eine hohe Geschwindigkeit entgegen der Flugrichtung zu beschleunigen. Da zum Beschleunigen eine Kraft notwendig ist, übt die zurückgestoßene Luft nach dem Wechselwirkungsprinzip[1] eine Kraft auf das Flugzeug aus. Diese Kraft treibt das Flugzeug nach vorne.

Raketentriebwerke nutzen dasselbe Prinzip, sie können jedoch keinen Treibstoff ohne Sauerstoff verbrennen, so dass sie den Sauerstoff für die Verbrennung mitführen müssen. Es könnten statt Reaktionen mit Sauerstoff aber auch andere Reaktionen genutzt werden, um die Treibgase auf eine hohe Geschwindigkeit zu bringen. Die bei diesen Reaktionen entstehenden Flamme und die Hitze sind Nebenprodukte der Reaktion und an sich nur eine Verschwendung von Energie, die unausweichlich ist, da es keine Reaktion gibt, bei der kinetische Energie ohne Wärme erzeugt wird.

Ein Raketenflug besteht aus mehreren Phasen. Die erste Phase ist die Zündung, sie kann je nach Treibstoff nur einen Bruchteil einer Sekunde oder auch mehrere Sekunden dauern.

Danach kommt die Brennphase: Während dieser Phase wird der Treibstoff ausgestoßen und sie endet mit dem Brennschluss, wenn der gesamte Treibstoff abgeworfen ist.

Als letztes kommt die Gleitphase: In dieser wird die Rakete nicht mehr angetrieben und verliert sogar wieder Geschwindigkeit durch die Erdanziehungskraft, außer sie erreicht vorher einen Orbit um die Erde. Bei mehrstufigen Raketen sind die Gleitphasen zwischen den einzelnen Stufen unterschiedlich lang, je nachdem wie die Rakete konstruiert wurde. Während

[1] Nach Isaac Newton (1643-1727) hat jede Kraft eine gleichgroße Gegenkraft in die entgegengesetzte Richtung. Daraus folgt Actio = Reactio

der Gleitphase wird die vorherige Stufe abgetrennt und die neue gezündet, was die Gleitphase auch gleichzeitig zu einer Zündungsphase macht. Dies wird solange wiederholt, bis keine Stufen mehr übrig sind.

Moderne Raketen nutzen viele verschieden Arten von Treibstoffen in verschiedenen Kombinationen und Variationen, alle haben jedoch ein grundlegendes Prinzip: Die Treibstoffe werden durch Reaktionen erhitzt und nach hinten aus einer Düse oder ähnlichem ausgestoßen, um den Vortrieb zu erzeugen.

Die NASA arbeitet zur Zeit an einem Projekt namens „Prometheus“, in welchem sie versucht, einen Antrieb für die Raumsonden zu entwickeln, die zu anderen Planeten und Monden fliegen sollen. Dieses Projekt beschäftigt sich mit einem thermonuklearen Antrieb für Raketen. Bei diesem Antrieb erhitzt ein miniaturisiertes Atomkraftwerk in der Rakete ein Treibgas, welches so expandiert und nach hinten ausgestoßen wird. Der Vorteil dieses Systems wäre, dass man statt bisher zwei nur noch einen Treibstoff braucht. Zudem könnte man als Treibstoff dann einen Stoff mit niedrigem Gewicht nutzen, was zusätzlich das Gewicht der Rakete verringert, trotz des zusätzlichen Gewichts durch den Atom-Reaktor. Eine weitere Verbesserung wäre die verbesserte Schubkraft des Antriebs. Beides zusammen sorgt dafür, dass man eine deutlich höhere Effizienz erreichen kann, als bei den normalen chemischen Treibwerken. Dieser Antrieb könnte auch innerhalb der Erdatmosphäre genutzt werden, da die Treibgase nicht radioaktiv verseucht sind. Die Gefahr ist jedoch, dass es bei einem Defekt der Rakete zu massiven Verstrahlungen, durch radioaktives Material kommen würde und man diesen Antrieb also höchstwahrscheinlich niemals innerhalb der Erdatmosphäre nutzen wird. Die NASA erhofft sich von dem Antrieb, die Reisen zu andere Planeten effektiver zu machen. [6]

2.2. Physik des Raketenfluges [8]

Nachdem man verstanden hat, dass Raketen nicht durch die Flamme angetrieben werden, sondern durch das Abwerfen des Treibstoffes mit hoher Geschwindigkeit, dann wird die Physik um den Start und den Flug einer Rakete deutlich einfacher. Im Physikunterricht geht man zunächst davon aus, dass die Masse eines Gegenstands konstant ist, oder sich nur so minimal ändert, dass man es vernachlässigen kann. Bei der Rakete jedoch, in welcher der Treibstoff einen Großteil der Gesamtmasse ausmacht, kann man dies nicht mehr als Voraussetzung sehen und, wenn man es doch tut, wären die Ergebnisse katastrophal falsch. Um Raketenflüge zu berechnen, muss man den Impulserhaltungssatz nutzen. Ein Impuls wird über den Kraftstoß definiert. Ein Kraftstoß ist eine über eine kurze Zeitspanne ausgeübte Kraft.

$\Delta\vec{p} = \vec{F} * \Delta t$ => Definition des Impulses

Noch genauer:

$$\lim_{\Delta p \to 0} \Delta\vec{p} = \lim_{\Delta t \to 0} \vec{F} * \Delta t$$

$\Leftrightarrow d\vec{p} = \vec{F} * dt$|Integieren

$\Leftrightarrow \int d\vec{p} = \int \vec{F} * dt$

$\Leftrightarrow \vec{p} = \int \vec{F} * dt$

$\Leftrightarrow \vec{F} = \dot{p}$

Die Kraft ist also die zeitliche Ableitung des Impulses.

Es gilt jedoch desweiteren:

$\Delta\vec{p} = \Delta m * \Delta\vec{v}$

Daraus kann man die Grundgleichung der Mechanik für konstantes sowie nichtkonstantes m gewinnen.

1. Fall $m = konst.$

   $p(t) = m * v(t)$

   $\Leftrightarrow \dot{p} = m * \dot{v}(t)$

   $\Leftrightarrow \dot{p} = m * a(t)$

   $\Leftrightarrow F = m * a(t)$

2. Fall $m \neq konst.$

   $p(t) = m(t) * v(t)$

   $\Leftrightarrow \dot{p} = \dot{\left(m(t) + v(t)\right)}$

   $\Leftrightarrow \dot{p} = \dot{m}(t) * v(t) + m(t) * a(t)$

Dies ist die Grundgleichung der Mechanik für den Fall, dass m nicht konstant ist. Wir nutzen diese Gleichung nicht, da sie mit unserem mathematischen Wissen nicht zu lösen ist, daher beschränken sich alle folgenden Rechnungen immer auf eine kurze Zeitspanne und können nicht auf einmal auf den gesamten Flug angewendet werden.

$\Delta\vec{p} = \Delta m * \Delta\vec{v}$ ist wichtig für den Raketenflug, da der Impuls des nach hinten ausgestoßenen Treibstoffs erhalten bleibt und nun auf die Rakete angewendet werden muss (Wechselwirkungsprinzip). Das ist auch der Grund, warum der Treibstoff, so schnell ausgestoßen werden muss, da nur so ein ausreichend großer Impuls zustande kommt um die Rakete zu bewegen.

Aufstellung der grundlegenden Variablen und Beziehungen:

$m_L = Leermasse\ der\ Rakete$

$m_N = Nutzlast\ der\ Rakete$

$m_B = Masse\ der\ Rakte\ bei\ Brennschluss = m_L + m_N$

$m_T = Masse\ des\ mitgef\ddot{u}hrten\ Treibstoffes$

$m_0 = Startmasse\ der\ Rakete = m_L + m_N + m_T$

$m(t) = Die\ Masse\ zum\ Zeitpunkt\ t$

$w = Die\ Ausstoßgeschwindigkeit\ des\ Treibstoffes$

$\mu = Treibstoffdurchsatz = \frac{\Delta m}{\Delta t}$

$\vec{S} = Schubkraft$

Der Startzeitpunkt ist $t_0 = 0$ und der Brennschluss ist t_E

Die Geschwindigkeit zum Zeitpunkt des Brennschlusses ist $\overrightarrow{v_E}$ und die Position ist $\overrightarrow{s_E}$.

Reale Raketen bewegen sich niemals exakt senkrecht über der Startrampe aufwärts. Bei den großen Raketen, die in den Orbit fliegen wird die Flugbahn so berechnet, dass diese Raketen in eine Umlaufbahn um die Erde eintreten. Dies macht nicht nur eine gekrümmte Flugbahn notwendig, sondern auch eine bestimmte Geschwindigkeit, um eine geeignete Umlaufbahn zu erreichen und zu halten.

Auch kleine Raketen, wie wir eine bauen wollen, bewegen sich nicht exakt gerade nach oben. Selbst wenn wir es schaffen sollten, dass die Rakete so exakt ausbalanciert und geformt ist, dass sie sich exakt nach oben bewegen würde, würde der Wind sie abdrängen und dadurch am exakt senkrechten

Flug hindern. Die Gleichungen, die wir im Folgenden aufstellen, beziehen sich auf fiktionale Raketen, die unter Einwirkung der Gravitationskraft der Erde von $g = 9{,}81\frac{m}{s^2}$ stehen, jedoch nicht von ihrer exakt senkrechten Flugbahn abgelenkt werden.

Desweiteren, beschränken wir uns auf eine Rakete, die sich nicht weit von der Erdoberfläche entfernt. Somit nehmen wir an, dass g annähernd konstant bleibt. Dies ist vertretbar, da unsere Rakete höchstwahrscheinlich nicht die Grenze von 150m überschreiten wird.

Diese Annahme lässt sich über die allgemeine Formel um die Gravitationskraft zwischen zwei Körpern beweisen. Sie lautet:

$$F_g = G\frac{m_1 * m_2}{r^2}$$

$$F_g = m * g$$

$$m * g = G\frac{m_1 * m_2}{r^2}$$

Davon ausgehend, dass $m_2 = m$ ist folgt:

$$g = G\frac{m_1}{r^2}$$

In der Anwendung für unsere Rakete heißt dass nun:

$$g = G\frac{m_{Erde}}{(r_{Erde} + h_{Rakete})^2}$$

$$G = 6{,}67 * 10^{-11}\frac{Nm^2}{kg^2}$$

$$m_{Erde} = 5{,}976 * 10^{24}kg$$

$$r_{Erde} = 6{,}378 * 10^6 m$$

Für $h_{Rakete} = 0$ ist $g = 9{,}7986\ \frac{m}{s^2}$ und für $h = 150\ m$ ist $g = 9{,}7982\frac{m}{s^2}$

Nun können wir $g = 9{,}81\frac{m}{s^2}$ als konstant annehmen, da unsere Beispielrechnung gezeigt hat, dass eine Höhenveränderung um 150m keinen Einfluss auf die zweite Nachkommastelle hat. Wir nutzten den allgemein genutzten Wert für g, da in unserer Rechnung wahrscheinlich Rundungsfehler enthalten sind, die entstehen, da in Tabellenwerken, die Werte immer nur auf ein, zwei oder drei Nachkommastellen angegeben werden.

2.2.1. Grundlegende Relationen

Zu Anfang muss man $m(t)$ bestimmen, um weiter rechen zu können. Die Masse wird vom Start an immer weniger, bis der Treibstoff aufgebraucht ist. Zum Errechnen der Masse der Rakete zum Zeitpunkt t benötigen wir den Treibstoffdurchsatz und die Startmasse.

Die Formel ist dann:

$$m(t) = m_0 - \mu * t$$

Wobei $\mu * t \leq m_T$, da die Rakete nicht mehr Treibstoff abwerfen kann, als sie ursprünglich an Bord hatte. Wenn $\mu * t = m_T$ dann ist $m(t) = m_B$

Nachdem man nun die Abhängigkeit der Masse von der Zeit geklärt hat, muss man noch klären, wie viel Schubkraft das Triebwerk entwickeln kann. Um das zu errechnen, benötigen wir den Impulserhaltungssatz. Dieser sagt, dass der Impuls, den der Treibstoff beim Austritt aus dem Triebwerk erhält ist gleich dem Impuls, den die Rakete erhält. Das heißt:

$p_{Treibstoff} = p_{Rakete}$

$p_T = m * w$, da die Ausstoßgeschwindigkeit gleich der Geschwindigkeit des Treibstoffes ist. Desweiteren ist

$$\Delta p = F * \Delta t$$

$$\Leftrightarrow F = \frac{\Delta p}{\Delta t} \quad |\Delta p = \Delta m * w$$

$$\Leftrightarrow \mathrm{F} = \frac{\Delta \mathrm{m} * \mathrm{w}}{\Delta \mathrm{t}}$$

$$\Leftrightarrow \mathrm{F} = \frac{\Delta \mathrm{m}}{\Delta \mathrm{t}} * \mathrm{w} \ \left| \frac{\Delta \mathrm{m}}{\Delta \mathrm{t}} = \mu \right.$$

$$\Leftrightarrow \mathrm{F} = \mu * \mathrm{w} = \mathrm{S}$$

$$S = \mu * w$$

2.2.2. Beschleunigung

Da wir nun die Gleichungen für Schubkraft und Masse haben, können wir nun die Gleichung für die Beschleunigung errechnen. Die Beschleunigung der Rakete hat zwei Teile, zum einen die Schubbeschleunigung und zum anderen die Erdbeschleunigung.

Wenn man die Grundgleichung der Mechanik nimmt $F(t) = m(t) * a(t)$, dann ist $a(t) = \frac{F(t)}{m(t)}$. Da wir mit $F(t) = m(t) * a(t)$ rechen gelten die Formeln immer nur für den Start. Die einzige Möglichkeit allgemein gültige Gleichungen

aufzustellen wäre die Verwendung der Formel $\dot{p} = \dot{m}(t) * v(t) + m(t) * a(t)$, welche für uns nicht lösbar ist.

Die Schubbeschleunigung ist also:

$$a_S(t) = \frac{S}{m(t)}$$

$$\Leftrightarrow a_S(t) = \frac{\mu * w}{m_0 - \mu * t}$$

$$a_g(t) = -g$$

$$\Leftrightarrow a(t) = \frac{\mu * w}{m_0 - \mu * t} - g$$

Da die Beschleunigung aber ein Vektor ist, ist diese Schreibweise nicht hinreichend. Davon ausgehend, dass die Rakete senkrecht nach oben geschossen wird und sie nicht von äußeren Einflüssen abgelenkt wird, ist der Vektor der Beschleunigung:

$$\vec{a} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{\mu * w}{m_0 - \mu * t} - g \end{pmatrix}$$

Die ersten beiden Komponenten ergeben 0, da die äußeren Einflüsse in unserer Berechnung vorerst ausgelassen werden. Sie geben die Beschleunigung auf der Ebene an, auf der sich die Rakete laut der dritten Komponente befindet, unterteilt in 2 Vektoren (links/rechts und vor/zurück bei Ansicht der Rakete von einer Seite).

2.2.3. Geschwindigkeitsfunktion

Man muss ja nicht nur wissen, wie stark beschleunigt eine Rakete ist, sondern auch, wie schnell sie zu jedem Zeitpunkt ist. Damit man dies errechnen kann muss man die Funktion für die Beschleunigung integrieren.

$$v(t) = \int_0^t a(t) * dt = \int_0^t \left(\frac{\mu * w}{m_0 - \mu * t} - g\right) * dt = \int_0^t \frac{\mu * w}{m_0 - \mu * t} * dt - \int_0^t g * dt$$

Diese Schreibweise macht das Integrieren einfacher, da man nun den zweiten Teil sehr einfach integrieren kann, da wir g ja als Konstante annehmen. Dies ist natürlich für den Fall nicht gegeben, dass die Rakete in große Höhen aufsteigt und g nicht mehr konstant bleibt.

$$\int_0^t g * dt = g * t$$

$$= \int_0^t \frac{\mu * w}{m_0 - \mu * t} * dt = -w * \int_0^t \frac{-\mu}{m_0 - \mu * t} * dt$$

Dies kann man nun, mit Hilfe der Regel $\int \frac{1}{x} dx = \ln(x)$ und der Substitution, integrieren.

$$z := m_0 - \mu * t$$

$$\Leftrightarrow \dot{z} = \frac{dz}{dt} = -\mu$$

$$\Leftrightarrow dz = -\mu * dt$$

$$\Leftrightarrow dt = \frac{dz}{-\mu}$$

Dies setzt man nun in das Integral ein:

$$-w * \int_0^t \frac{-\mu}{z} * \frac{dz}{-\mu} = -w * \int_0^t \frac{1}{z} * dz = -w * ln\,(z)$$

Nun setz man $z = m_0 - \mu * t$ und erhält:

$$-w * \ln\,(m_0 - \mu * t)$$

Daraus folgt, die Funktion für die Geschwindigkeit ist:

$$v(t) = -w\ \ln(m_0 - \mu t) - gt$$

Natürlich ist auch die Geschwindigkeit ein Vektor:

$$\vec{v}(t) = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -w\ \ln(m_0 - \mu t) - gt \end{pmatrix}$$

2.2.4. Ortsfunktion

Es wäre ja nicht nur gut die Geschwindigkeit und die Beschleunigung einer Rakete zu kennen, sondern man sollte auch ihren Ort zu jedem Zeitpunkt wissen. Um die Gleichung für den Ort zu errechnen, muss man die Geschwindigkeitsfunktion integrieren.

$$s(t) = \int_0^t v(t) * dt = \int_0^t (-w\ \ln(m_0 - \mu t) - gt) * dt$$

$$= \int_0^{t_B} (-w\ \ln(m_0 - \mu t)) * dt - \int_0^{t_B} - gt * dt$$

Einzeln:

$$\int_0^t -gt * dt = -\frac{1}{2}gt^2$$

$$\int_0^t -w\ \ln(m_0 - \mu t) * dt = -w * \int_0^t \ln(m_0 - \mu t) * dt$$

Wieder nutzen wir die Substitution um das Integral zu lösen.

$$z := m_0 - \mu t$$

$$\Leftrightarrow \int \ln(z) * \frac{dz}{-\mu}$$

Um den Logarithmus zu integrieren braucht man die partielle Integration.

$$\int u' * v = u * v - \int u * v'$$

Für $\ln(z)$ heißt dass dann:

$u' = 1$	$v = \ln(z)$
$u = z$	$v' = \frac{1}{z}$

$$\int 1 * ln(z) * dz$$

$$\int 1 * ln(z) * dz = z * \ln(z) - \int z * \frac{1}{z} * dz$$

$$\int ln(z) * dz = z * \ln(z) - z = z * (\ln(z) - 1)$$

Diese Regel muss man nun auf unser Problem anwenden:

$$\int \ln(z) * \frac{dz}{-\mu} = -\frac{1}{\mu}\int \ln(z) * dz = -\frac{1}{\mu} * z(\ln(z) - 1)$$

Die fertige integrierte Formel für den Ort lautet dann:

$$-\frac{1}{\mu} * (m_0 - \mu t)(\ln(m_0 - \mu t) - 1)$$

Somit lautet der Ortsvektor:

$$\vec{s}(t) = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -\frac{(m_0 - \mu t)}{\mu}(\ln(m_0 - \mu t) - 1) \end{pmatrix}$$

2.2.5. Flug nach dem Abwerfen des Treibstoffes

Nachdem der gesamte Treibstoff ausgestoßen wurde, wird die Rakete nicht mehr angetrieben, also wirkt nur noch die Anziehungskraft der Erde, die wir immer noch als konstant annehmen. Diese Kraft ist nach unten gerichtet. Der Kraftvektor ist demnach:

$$\vec{F}(t) = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -mg \end{pmatrix}$$

Da $\vec{F}(t) = \vec{a}(t) * m$ folgt folgender Beschleunigungsvektor:

$$\vec{a}(t) = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -g \end{pmatrix}$$

Diesen muss man nun nach t integrieren um den Geschwindigkeitsvektor zu erhalten. Diesmal ist jedoch nicht t_0 die untere Grenze des Integral, sondern t_E und in diesem Sachzusammenhang muss man noch die Endgeschwindigkeit der Rakete, nach der Brennphase hinzunehmen.

$$\vec{v}(t) = \int_{t_E}^{t} \vec{a}(t) = \int_{t_E}^{t} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -g \end{pmatrix} dt = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -gt \end{pmatrix} + \overrightarrow{v_E}$$

Dies muss man noch mal integrieren um den Ortsvektor zu erhalten.

$$\vec{s}(t) = \int_{t_E}^{t} \vec{v}(t) = \int_{t_E}^{t} \left[\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -gt \end{pmatrix} + \overrightarrow{v_E} \right] dt = \int_{t_E}^{t} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -gt \end{pmatrix} dt + \int_{t_E}^{t} \overrightarrow{v_E} * dt$$

$$\vec{s}(t) = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -\frac{1}{2} g t^2 \end{pmatrix} + \overrightarrow{v_E} t + \overrightarrow{s_E}$$

2.2.6. Optimierung

Um nun herauszufinden, welcher der höchste Punkt der Bahn der Rakete sein wird, muss der Hochpunkt in der Gleichung für die Höhenkomponente errechnet werden. Dabei muss man bedenken, welcher der beiden Ortsvektoren der ist, bei dem die maximale Höhe erreicht wird. Es ist der Ortsvektor des antriebsfreien Fluges. Von dessen Höhenkomponente muss man nun den Hochpunkt ausrechen.

Das heißt:

$$h(t) = -\frac{1}{2} g t^2 + v_E * t + s_E$$

Wobei in diesem Fall mit v_E und nur die vertikale Komponente des Vektors gemeint ist. Diese Funktion muss man nun ableiten:

$\dot{h}(t) = -gt + v_E$

Es fällt auf, dass dies identisch mit der vertikalen Komponente des Geschwindigkeitsvektors ist, was logisch ist, da $s(t) = \int v(t)$ ist.

Um Extremstellen der Funktion zu bestimmen muss man nun $\dot{h}(t) = 0$ setzen.

$0 = -gt + v_E$

$\Leftrightarrow gt = v_E$

$\Leftrightarrow t_M = \frac{v_E}{g}$

Nun muss man noch überprüfen, dass wirklich ein Hochpunkt vorliegt. Dafür benötigt man die zweite Ableitung.

$\ddot{h}(t) = -g$

Da diese strikt negativ ist, muss ein Hochpunkt vorliegen, was auch logisch ist, da $h(t)$ eine nach unten geöffnete Parabel ist und diese Art von Kurven hat nur einen Hochpunkt und sonst keine Extremstellen.

Da man nun weiß, dass zum Zeitpunkt $t_M = \frac{v_E}{g}$ die Höhe maximal ist, muss man nun errechnen, welche Höhe, die Rakete zu diesem Zeitpunkt hat. Dafür muss man t_M in $h(t)$ einsetzen.

$$h(t_M) = -\frac{1}{2} g {t_M}^2 + v_E t_M + s_E = -\frac{1}{2} g \left(\frac{v_E}{g}\right)^2 + \frac{{v_E}^2}{g} + s_E$$

Da $g = konst.$ folgt, dass umso größer die Geschwindigkeit zum Zeitpunkt des Brennschlusses ist umso höher fliegt die Rakete. Deswegen muss man nun herausfinden, unter welchen Bedingungen v_E maximal wird.

Dazu muss man zurück zum Integral, mit dem $v(t)$ vor dem Brennschluss berechnet wurde, statt jedoch die Stammfunktion zu bilden, muss dieses Mal das Integral eine konstante Obergrenze bekommen, nämlich t_E. Diese ist zwar unbekannt, aber t_E ist ein bestimmter Zeitpunkt während des Fluges und nicht eine laufende Variable.

$$v_E = \int_0^{t_E} \left(\frac{\mu * w}{m_0 - \mu * t} - g\right) * dt$$

Dieses Integral integriert man nun nach denselben Regeln wie zuvor. Am Ende kommt heraus:

$$v_E = [-w\ \ln(m_0 - \mu t) - gt]_0^{t_E}$$
$$= (-w\ \ln(m_0 - \mu t_E) - gt_E) - (-w\ \ln(m_0 - \mu * 0) - g * 0)$$
$$= (-w\ \ln(m_0 - \mu t_E) - gt_E) - (-w\ \ln(m_0))$$
$$= w\ \ln(m_0) - w\ \ln(m_0 - \mu t_E) - gt_E$$

da $m_0 - \mu t_E = m_0 - m_T = m_L$ ist

$$v_E = w\ (\ln(m_0) - \ln(m_L)) - gt_E$$
$$= w\ \ln\left(\frac{m_0}{m_L}\right) - gt_E$$

Es gibt verschiedene Wege, diese Gleichung zu maximieren. Zum einen kann man die Ausstoßgeschwindigkeit vergrößern.

$$\lim_{w\to\infty}\left(w\ \ln\left(\frac{m_0}{m_L}\right) - gt_E\right) \Rrightarrow v_E \to \infty$$

Eine Vergrößerung der Ausstoßgeschwindigkeit führt desweiteren zu einem höheren Treibstoffdurchsatz, was wiederum, bei gleichbleibender Treibstoffmasse, in der Rakete die Zeit bis zum Brennschluss verkürzt, wodurch v_E weiter erhöht wird.

Eine weitere Möglichkeit ist es die Leermasse zu verringern:

$$\lim_{m_L\to 0}\left(\frac{m_0}{m_L}\right) = \infty$$
$$\Rightarrow \lim_{m_L\to 0}(\ln(\infty)) = \infty$$
$$\Rightarrow \lim_{m_L\to 0}\left(w\ \ln\left(\frac{m_0}{m_L}\right) - gt_E\right) \Rrightarrow v_E \to \infty$$

Wenn man versucht diese rechnerischen Möglichkeiten in die Tat umzusetzen stößt man unweigerlich an Grenzen, da man irgendwann nicht mehr genug Energie aufbringen kann um den Treibstoff noch schneller aus dem Triebwerk zu stoßen desweiteren kann man die Leermasse der Rakete auch nicht immer weiter verkleiner, da die Tanks für den Treibstoff relativ schwer sind und eine Rakete auch etwas in den Orbit tragen soll, was zwangsläufig zu einer Leermasse führt, die nicht mehr gesenkt werden kann. Ein weiteres Problem für große Raketen ist, dass wenn sie ihren Treibstoff beim Start und kurz danach sehr schnell ausstoßen und ihn so sehr schnell aufbrauchen, extreme Beschleunigungen entstehen, die weder die Rakete noch mögliche Nutzlast aushalten können.

2.2.7. Stufenprinzip [4] [5]

Um in eine Umlaufbahn um die Erde zu gelangen, muss man sehr viel Energie aufwenden, da man sowohl eine bestimmte Höhe erreichen muss, als auch eine bestimmte Geschwindigkeit. Um diesen Effekt zu optimieren, versucht man beides zugleich zu erreichen. Wenn man zum Beispiel zuerst die Höhe erreicht und dann die Geschwindigkeit, die nötig ist um die Umlaufbahn zu halten, verschwendet man viel Energie, da die Rakete immer noch Energie darauf verwenden muss, nicht zur Erde zurückzufallen, bis die nötige Geschwindigkeit erreicht ist.

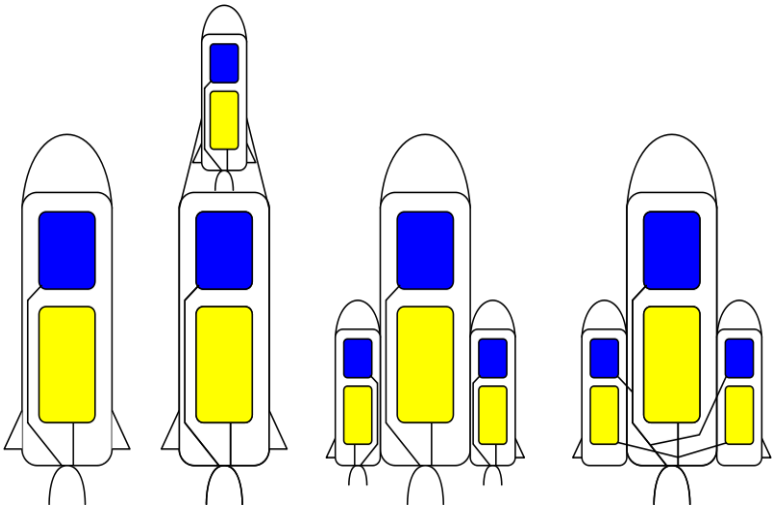

Abb. 2.2.1 [12]

Eine weitere Optimierung, wäre eine rasche Durchquerung der niedrigen Luftschichten, in denen der Luftwiderstand am größten ist, damit nicht so viel Energie durch die Luftreibung verloren geht. Ein weiteres Problem ist, dass die Rakete beim Start am schwersten ist, sie also den meisten Schub, benötigt um abzuheben. Gegen Ende des Fluges wird, auf Grund des niedrigeren Gewichts der Rakete, viel weniger Schub benötigt. Um den hohen Schub beim Start bereit zu stellen, braucht man große und schwere Triebwerke und große und ebenfalls schwere Tanks, die im späteren Verlauf des Fluges nicht mehr benötigt werden, da deren Schubkraft nicht mehr benötigt wird. Um das zusätzliche Gewicht der für den Start benötigten Triebwerke und Tanks nicht auf dem gesamten Flug mitschleppen zu müssen, hat man das Stufenprinzip erarbeitet.

Dabei wird aus einer großen Rakete mit zwei großen Tanks für die beiden Treibstoffe, die miteinander reagieren sollen, zwei etwas kleinere Raketen gemacht, die übereinandergestapelt werden. Die untere Rakete startet die gesamte Rakete und bringt sie auf eine erste Höhe. Wenn ihr Treibstoff abgebrannt ist, dann wird sie abgelöst oder abgesprengt und die obere Rakete bringt die Nutzlast auf die gewünschte Höhe und Geschwindigkeit. Es gibt

auch Raketen, die Nutzlast in eine noch höhere Umlaufbahn bringen soll. Diese Rakete haben dann oft drei Stufen. Sie bestehen also aus drei übereinandergestapelten Raketen.

Verschiedene Raketen nutzen noch andere Systeme, wie zu Beispiel Zusatztanks. Diese Tanks versorgen die Triebwerke der ersten Stufe. Wenn diese Tanks leer sind, werden sie abgesprengt, was das Gewicht der Rakete vermindert, und so verbraucht die Rakete weniger Treibstoff. Ein anderes zusätzlich genutztes System sind die sogenannten Booster. Sie haben ihre eigenen Tanks und Triebwerke, es sind also kleine Raketen, die an die Seite der ersten Stufe angebracht werden. Booster brennen parallel zur ersten Stufe und wenn ihr Treibstoff aufgebraucht ist, werden sie von der Hauptrakete abgesprengt.

Der Zweck von Boostern ist die Bereitstellung des nötigen Schubs für den Start. Raketen, die Booster nutzen, haben oft unterdimensionierte erste Stufen, die die Raketen nicht selbst starten könnten, da sie nicht genug Schub entwickeln. Um die Rakete dennoch zu starten wird zusätzlicher Schub benötigt, bis die erste Stufe die Rakete tragen und anheben kann. Booster werden in der Regel so eingesetzt, dass sie gleichzeitig mit der ersten Stufe brennen und werden abgeworfen, noch bevor die erste Stufe abgebrannt ist. Dieses System wird zum Beispiel bei der Ariane 5 genutzt, die von zwei Boostern gestartet wird.

2.3. Theorie zur Aerodynamik von Raketen

Normalerweise ist Aerodynamik für eine Rakete weit weniger gewichtig als beispielsweise für ein Passagierflugzeug, da eine Rakete normalerweise im luftleeren Raum fliegt, bis auf den kurzen Zeitraum des Fluges innerhalb der Erdatmosphäre. Doch bei der Wasser-Luft-Rakete spielt Aerodynamik schon eine weitaus größere Rolle, da diese Raketen oft sehr klein sind und auch eine dementsprechend kleine Antriebskraft haben, wodurch sie durch Luftwiderstand erheblich beeinträchtigt werden können.

Bei der Theorie zur Aerodynamik werden wir uns deshalb vor allem auf die Verringerung des Luftwiderstands während des Fluges unserer Rakete konzentrieren. Unser Ziel ist es natürlich, diesen durch eine geschickte Bauweise zu verringern, um dementsprechend höhere Flüge zu erzielen. Zur Verringerung des Luftwiderstands werden wir besonders zwei Teile der

Rakete ins Auge fasse: Die Spitze und die Ruder. Diese Teile müssen so geformt sein, dass sie die Luft möglichst gut teilen, sodass diese um den gesamten Körper der Rakete herum strömt mit möglichst geringer Widerstandskraft, die die Rakete bremst. Die Ruder haben wir leicht schräg zur Flugrichtung angebracht, sodass die Luft, die die Rakete umströmt, der Rakete beim Auftreffen auf die Ruder einen Spin gibt. Durch diesen Spin wird es unwahrscheinlicher, dass eine nicht ganz perfekte Gewichtsverteilung den Flug stark beeinträchtigt.

Wir haben, der Rakete vorne eine relativ spitze Spitze gegeben, welche nebenbei als Knautschzone dient, danach wird die Spitze jedoch runder. Zusammen mit dem Corpus der Rakete, den wir nach hinten hin ebenfalls verjüngend gebaut haben, wollten wir unserer Rakete eine Form geben, ähnlich dem Querschnitt eines Flugzeugs. Da die Rakete jedoch sehr kurz geworden ist, ähnelt sie eher einem Football als einem Flugzeug. Mit dieser Form sollte die Luft unsere Rakete optimal umströmen, ohne am Ende stark zu verwirbeln, was für Turbulenzen sorgen könnte.

2.4. Theorie zur Wasser-Luft-Rakete

Wasser-Luft-Raketen stellen eine der einfachsten und ungefährlichsten Wege dar, mit Raketen praktisch zu arbeiten. In ihrer einfachsten Form besteht sie aus einer Flasche oder einem ähnlichen Druckbehälter, an dem ein Ventil angebracht wird. Dieser Druckbehälter wird bis zu einem gewissen Grad mit Wasser gefüllt und dann wird der Behälter unter Druck gesetzt. Wenn man nun die Flasche öffnet, am besten auf einer dafür geeigneten Startrampe, drückt die Luft das Wasser nach hinten aus der Rakete heraus. Durch diesen Vorgang wird die Rakete nach vorne getrieben, nach den oben genannten Gleichungen und Prinzipien.

Bei Wasser-Luft-Raketen dient das Wasser als Treibstoff. Dieser Treibstoff wird nicht wie bei großen Raketen durch eine Reaktion nach hinten aus der Rakete heraus gestoßen, sondern nur durch den Druck im Inneren. Bei beiden Systemen wird die für den Vortrieb benötigte Energie im Tank gelagert. Bei der Wasser-Luft-Rakete als potentielle Energie und bei anderen Raketen in Form von chemischer potentieller Energie. Die Wasser-Luft-Rakete benötigt eine Startrampe, damit sie beim Start aufrecht stehen bleibt, und damit die Zündung nicht manuell mit der Hand an der Rakete ausgeführt werden muss.

Auf der Startrampe liegt auch ein besonderes Augenmerk, da eine schlechte Startrampe zu einem schlechten Flug führen kann. Wenn die Startrampe die Rakete nicht senkrecht hält, wird die Rakete später stark von der senkrechten Bahn abkommen. Hält sie die Rakete zu fest, kann die Rakete sehr stark gebremst werden.

Obwohl die Wasser-Luft-Rakete die sicherste Variante ist, eine Rakete zu bauen, gibt es doch gewisse Gefahren. Die größte Gefahr ist, dass der Druckbehälter platzt, was zu Verletzungen führen kann, da Raketenteile in alle Richtungen mit hoher Geschwindigkeit weggeschoßen werden. Deswegen haben wir unsere Rakete vor dem ersten Start auf Druckfestigkeit geprüft.

Das Wichtigste beim Bau einer Wasser-Luft-Rakete sind jedoch nicht die äußeren Komponenten, sondern das Ventil, das das Wasser in der Flasche hält, bis die Rakete losgelassen wird. Es gibt verschiedene Systeme. Eines der am häufigsten genutzten Systeme ist die Gartenschlauch-Kupplung.

Wir jedoch wollten versuchen mit einer anderen Kupplung zu arbeiten, da andere Ventile deutlich druckfester sind und man so noch zusätzliche Ideen anwenden kann, um den Druck im Inneren der Flasche zu erhöhen. Dies konnten wir jedoch auf Grund von Zeitmangel nicht umsetzen, da wir auch mit einer Gardena®-Gartenschlauch-Kupplung beginnen mussten.

Doch noch grundlegender als der Druck ist die Füllmenge des Wassers im Tank. Deswegen werden wir in einer ersten Testreihe die optimale Füllmenge durch Flüge mit unterschiedlicher Füllmenge ermitteln. Die Füllmenge muss so angelegt sein, dass zwar genug Masse vorhanden ist um möglichst viel Schubkraft zu erzeugen, aber die Masse nicht zu hoch wird, sodass das zusätzliche Gewicht die gewonnene Schubkraft durch zusätzliche Gewichtskraft aufhebt.

2.5. Entwicklung einer Methode zur Auswertung von Videos oder Fotographien der Raketenflüge

Für die Auswertung unserer Raketenflüge benötigten wir vor allem eine Methode um die maximale Flughöhe der Rakete zu bestimmen. Wir konnten allerdings erst nach mindestens einem praktischen Versuch eine geeignete Methode auswählen. Es standen uns drei Methoden zur Auswahl: Triangulation, Jakobsstab und Verwendung einer geeigneten physikalischen Videoauswertungs-Software. Wir haben uns anhand der ersten Raketenflüge

(auf die wir alle Methoden anwenden werden) auf eine Methode festgelegt, die sowohl zuverlässig als auch möglichst einfach war. Im Folgenden werden die möglichen Methoden kurz erklärt:

2.5.1. Triangulation [11] [13]

Zur Verwendung der Triangulation muss man auf dem Bild, das den höchsten Punkt der Flugbahn zeigt, einen Punkt rechts und links von der Startrampe wählen. Dabei muss man möglichst Punkte auf Höhe des Erdbodens mit verschiedener Entfernung zur Startrampe wählen. Anhand des gewählten Bildes muss man ein Dreieck zeichnen, bestehend aus den beiden gewählten Punkten und dem tiefsten Punkt der Rakete, bei dem die Basislänge b (Abstand der gewählten Punkte) und natürlich auch der Abstand der einzelnen Punkte zur Startrampe bekannt sind. Mithilfe der Triangulation kann man die Höhe der Rakete in Relation zu einem Koordinatenursprung bestimmen. Wenn der Punkt A (gewählter Punkt links der Rakete) sei im Ursprung (0|0) dann hätte der Punkt B die Koordinaten (0|b), da die Basislänge b auf der x-Achse läge. Anhand des gegebenen Dreiecks kann man die Winkel α und β messen. Anhand des Winkels der beiden Punkte und ihren Koordinaten kann man nun für jede Seite des Dreiecks eine lineare Gleichung berechnen und den Schnittpunkt C der Geraden a und b (Schenkel des Dreiecks) berechnen, der genau der gewählte Punkt der Rakete ist. Hat man den Punkt berechnet, ist die Höhe der Rakete (in Relation zur x-Achse) die y-Koordinate des Punktes C.

Dies ist die geometrische Methode, eine andere Möglichkeit ist, anhand der Abstände und der Winkel Alpha und Beta die Höhe mittels Trigonometrie zu berechnen. Die Formeln lauten dann:

$$h = |A(Startrampe)| * \tan(Winkel\ bei\ A)$$

$$h = |B(Startrampe)| * \tan(Winkel\ bei\ B)$$

Man nutzt hier zwei Punkte, da man so zwei Werte hat, aus denen man den Mittelwert bilden kann, um so die Genauigkeit zu erhöhen.

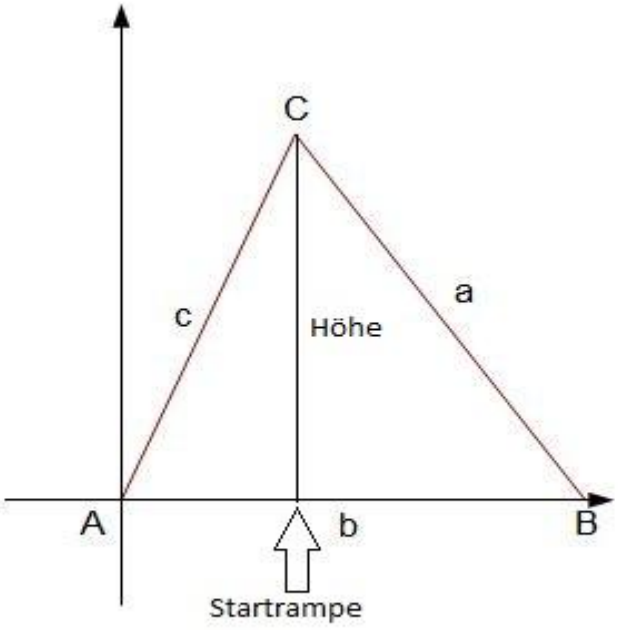

Abb. 2.5.1

2.5.2. Jakobsstab [13]

Bei der Verwendung des Jakobsstabs stößt man auf ein Problem. Um die Auswertung im Nachhinein mit größerer Präzision vornehmen zu können, muss man diese anhand eines aufgenommenen Videos oder einer Foto-Serie durchführen. Den Jakobsstab verwendet man normalerweise allerdings direkt vor Ort, weswegen man eine Möglichkeit finden muss, damit das Prinzip des Jakobsstabs für die Videoauswertung verwendbar ist. Damit dies möglich ist muss man folgendes tun: Man nimmt einen langen Stab, den man mit einer Messskala versehen muss, um im Video jederzeit die Länge an einer bestimmten Stelle ablesen zu können. Man muss den Stab vor der Kamera in den Boden stecken, mit bekanntem Abstand sowohl zur Kamera als auch zur Abschussrampe. Die Messskala muss man so ausrichten, dass der Beginn der Skala aus Sicht der Kamera auf dem Startpunkt der Rakete oder knapp daneben auf gleicher Höhe liegt. Dies ist sozusagen das untere Ende des Jakobsstabs nach dem traditionellen Prinzip. Da eine Rakete ein bewegtes Objekt ist und diese Bewegung eine vorher unbekannte Maximalhöhe hat, kann man das obere Ende des Stabes nicht auf den Punkt ausrichten dessen Höhe man messen will. Dieser Punkt entspricht dem tiefsten Punkt der Rakete. Allerdings kann man, solange die Rakete im Bild bleibt, jederzeit an

dem Stab ablesen, welche Länge am Stab erreicht wurde, wo die Rakete zu seien scheint. In dem Bild mit dem höchsten Punkt des Fluges zieht man eine horizontale Linie durch den untersten Punkt der Rakete und hat so die Höhe am Stab, die man verwenden muss. Von da an geht es mit den auf Strahlensätzen beruhenden Rechnungen des Jakobsstabs weiter.

Da in diesen Experimenten der Stab immer senkrecht im Boden und damit parallel zur Höhe der Rakete ist, kann man die Höhe mit einer leichten Formel berechnen, die keine Winkelfunktionen benötigt. Die Formel zur Errechnung der Höhe lautet:

$$h(a) = \frac{d * a}{j}$$

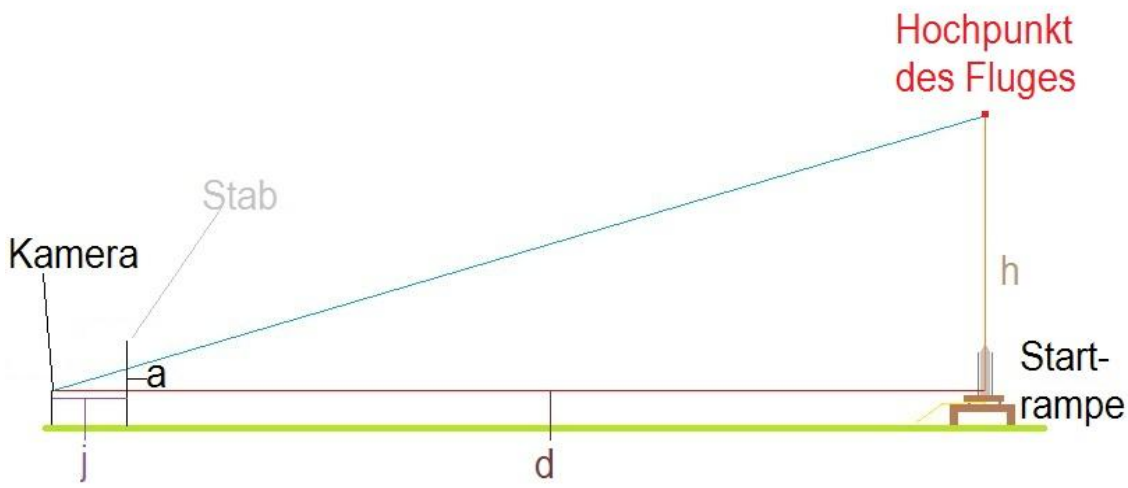

Abb. 2.5.2

Wobei d und j konstant sind, da sie während eines Starts nicht verändert werden. Diese Gleichung basiert auf dem 2. Strahlensatz[2].

Diesen muss man auf unsere Situation anwenden und dann nach h auflösen.

2. Strahlensatz:

$$\frac{h}{a} = \frac{d}{j}$$

$$\Leftrightarrow h = \frac{d * a}{j}$$

[2] Bei zwei Geraden, die durch einen Punkt P laufen und von zwei parallelen geschnitten werden, verhalten sich die Abschnitte an den Parallelen, wie die vom Punkt P aus gemessen Distanz zu den Parallelen.

Wenn man jedoch die Kamera nicht auf Höhe der Startrampe anbringen kann, muss man eine alternative Formel nutzen, die lautet:

$$h = h_K + \frac{d * a}{2j}$$

Wobei h_K für die Höhe der Kamera über dem ebenen Boden ist. Auch diese Formel basiert auf den Strahlensätzen.

2.5.3. Software

Eine weitere Überlegung war, dass man die Auswertung auch mit einer Software, mit Hilfe der Angabe von Vergleichswerten. Letztes Jahr haben wir im Physik-Kurs von Herrn Wagener in einer Stunde zum freien Fall eine Software verwendet, um den freien Fall eines Balls möglichst exakt auszuwerten, indem man von der Software die zurückgelegte Strecke zu verschiedenen Zeitpunkten bestimmen ließ. Die Software trägt den Namen „NewtonDV“ und ist eine Software, die extra für die physikalische Auswertung von Videos programmiert worden ist. Nach Rücksprache mit Herrn Wagener haben wir diese Software auch zur Verfügung gestellt bekommen und werden sie bei den ersten Testflügen ausprobieren und ihre Genauigkeit abschätzen. Wenn man ähnliche Ergebnisse wie bei den anderen beiden Messmethoden erhält, könnte man der Einfachheit halber fortan diese Software nutzen um die Flüge auszuwerten.

3. Praktische Arbeit

3.1. Einleitung in die praktische Ausarbeitung:

In diesem Text geben wir einen kurzen Überblick über unsere Planung für die praktische Ausarbeitung. Da für uns die wahrscheinliche Chance besteht, unser Facharbeitsthema als Stoff für einen Kurs an der Junior Uni Wuppertal zu nutzen und die Facharbeit so über ihr normales Maß hinaus erweitern zu können, haben wir unsere ursprüngliche Planung etwas verändert. Ursprünglich wollten wir erst eine kleine Rakete bauen und später eine größere Rakete mit einer zu beiden Raketen passenden Rampe. Auf Grund von zeitlichen und witterungsbedingten Problemen und dem geplanten Junior Uni Kurs, der eine auf die kleine Rakete abgestimmte Startrampe erfordert, haben wir leider nur die kleine Rakete mit passender Rampe bauen können.

3.2. Bau der Startrampe

Beim Bau dieser Startrampe haben wir uns auf einfache Baumaterialien beschränkt. Angefangen haben wir nur mit einer Gewindestange und drei Holzbrettern (zwei dicke und ein dünneres), wobei an einem davon vier Klötze als Füße befestigt waren:

Abb. 3.2.1

Zuerst haben wir Löcher in die dicke Platte ohne Füße gebohrt, je eins in jeder Ecke. Diese Löcher haben wir auf die Platte mit den Füßen übertragen und auch dort gebohrt, um später die beiden Platten mit langen Schrauben und Platzhaltern zu verbinden.

Abb. 3.2.2

Auf die obere der beiden Platten haben wir einen Kreis mit einem Radius der 1-2mm größer war, als der größte Radius des Raketenkorpus, gezeichnet. An diesen Kreis haben wir drei Bohrlöcher im Abstand von 120° markiert, wobei die Löcher später außerhalb des Kreises liegen müssen. Ein viertes Loch haben wir in die Mitte zwischen zwei der anderen drei Löcher gebohrt. Wir haben unsere Gewindestange dann in gleich große Stücke von ungefähr 48cm gesägt und diese Stücke mit Muttern in den drei Löchern fixiert. Sie durften an der Unterseite nicht weiter als die Muttern aus der Platte herausgucken.

Abb. 3.2.3

Als nächstes haben wir die Kupplung gebaut. Wir haben uns zwei Schellen genommen und diese um den grauen Schraubverschluss der Gardena®-

Kupplung (zur Befestigung der Kupplung) und um den orangefarbenen Auslösering (wird zum Auslösen benötigt) geschraubt.

Abb. 3.2.4

Die Schelle am grauen Schraubverschluss haben wir mit Hilfe eines Quetschkabelschuhs, einer Schraube und Muttern an einem kurzen Reststück der Gewindestange befestigt.

Abb. 3.2.5

Die Gewindestange, die die Kupplung hält, haben wir mit Muttern in dem vierten Loch auf der Platte verschraubt. An der Kupplung hing bereits ein Stück Gartenschlauch, welchen wir später zum Aufpumpen der Rakete nutzen wollen. Dieses Stück hat, da es leicht steif ist, die Kupplung leicht weggedrückt. Diesen Schlauch haben wir mit einer Schelle fixiert, ohne ihn jedoch zusammenzupressen. Wir mussten noch einen Kabelbinder nutzen, da die Kupplung nicht exakt in der Mitte positioniert war.

Abb. 3.2.6

Abb. 3.2.7

Nun haben wir die dünne Holzplatte genommen und zu einem Quadrat geschnitten. In diese Platte haben wir drei Löcher für die Gewindestangen gebohrt, sowie ein großes Loch, welches etwas größer als die Kupplung ist, mit der Stichsäge ausgesägt. Mit Muttern haben wir das Brett dann so auf den Gewindestangen fixiert, das die Oberkante der Holzplatte und die Oberkante der Kupplung auf einer Höhe waren.

Abb. 3.2.8

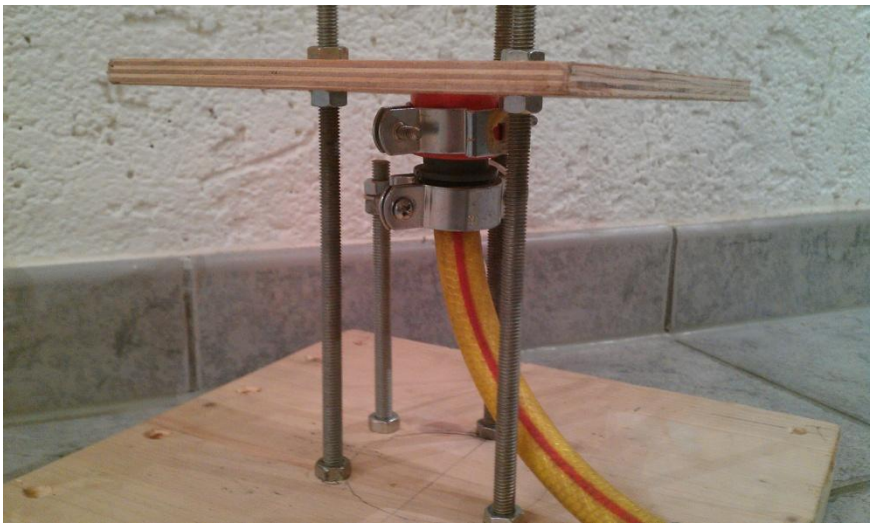

Abb. 3.2.9

Diese Konstruktion haben wir dann mit den vier Löchern vom Anfang auf der Holzplatte mit den Füßen verschraubt.

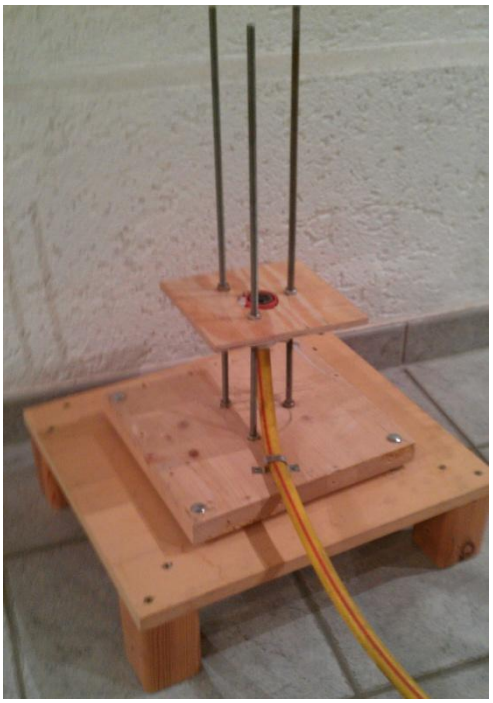

Abb. 3.2.10

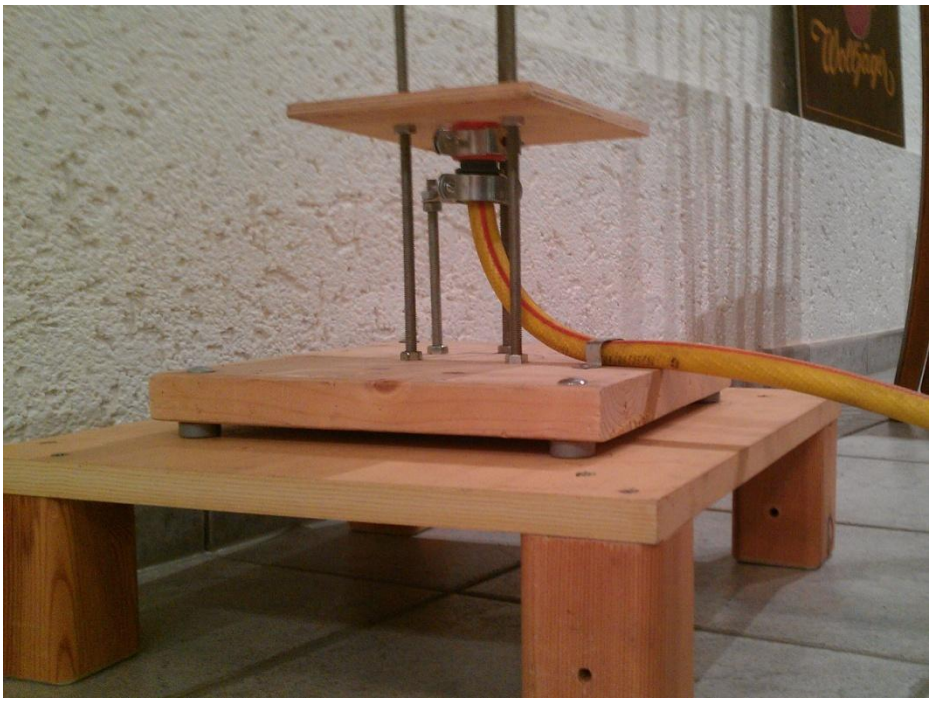

Abb. 3.2.11

Da wir feststellen mussten, dass die Gewindestangen schon beim einfachen Einführen und Herausnehmen der Rakete für Kratzer sorgen, haben wir uns noch etwas einfallen lassen. Wir haben Schrumpfschlauch benutzt. Dieser wird über die Gewindestange gestülpt und dann erhitzt. Durch die Hitze schrumpft das Gummi, sodass es eng anliegt. Dies verhindert

Beschädigungen durch das Gewinde der Stangen und es verringert auch noch die Reibung (für einen zusätzlichen Effekt kann man den Schlauch auch wunderbar mit Fett einschmieren).

Abb. 3.2.12

Dies ist unsere fertige Startrampe!

Die Rakete mit dem Gegenstück der Kupplung an der Öffnung wird zwischen den drei Gewindestangen auf der obersten Platte stehen:

Abb. 3.2.13

Die Stangen werden die Rakete dabei senkrecht nach oben ausgerichtet halten. An der Schelle um den Auslösering der Kupplung haben wir eine Seilzugkonstruktion befestigt, damit man die Kupplung aus einer gewissen Distanz auslösen kann und dadurch etwaigen Wasserspritzern entgehen kann. Da die obere Holzplatte mit Mutter und Kontermutter an der

Gewindestange befestigt ist, kann man ihre Höhe jederzeit variieren. Das ermöglicht uns auf mögliche Abweichungen bei verschiedenen Raketen zu reagieren (bezogen auf den Junior Uni Kurs und die Raketen der Teilnehmer).

Eine weitere Aufgabe war es, Luft in die Rakete zu bekommen. Den Schlauch hatten wir ja schon an die Startrampe montiert und einen Handkompressor hatten wir auch da, nun mussten wir sie nur noch verbinden. Wir haben dazu eine Konstruktion aus einem Ventil und einem Wasserhahn benutzt, die man mittels eines Schraubverschlusses an den Handkompressor fixieren kann. Wir haben alle Gewinde mit Teflon-Faden abgedichtet, diese Konstruktion in den Schlauch geschoben und mit einer Schlauchschelle absolut luftundurchlässig festgezogen.

Abb. 3.2.14

3.3. Bau der Rakete

Die Basis unserer Rakete bilden Plastikflaschen. Wir haben uns dazu entschieden, eine Coca Cola®-Flasche zu verwenden und diese mit Teilen von zwei Gerolsteiner®-Flaschen in eine verbesserte Form zu bringen. Angefangen haben wir mit der Coca Cola®-Flasche, bei der wir das Gewinde für den Deckel abgefräst haben. Dann haben wir einen Gewindeschneider benutzt um ein Gewinde für das Gegenstück der Gardena®-Kupplung zu schaffen.

Abb. 3.3.1

Außer dieser vorbereiteten Flasche haben wir folgende Materialien benutzt: zwei Gerolsteiner®-Flaschen, die wir beide wie auf dem Bild schon zu sehen ist, zugeschnitten haben und Deckel von Kabelkanälen aus Kunststoff.

Abb. 3.3.2

Dies ist der obere Teil der Mineralwasser-Flasche, an dem wir zusätzlich das Gewinde abgesägt haben. Diese beiden Teile werden wir oben und unten an der Coca Cola®-Flasche befestigen. (Abb. 3.3.3)

Abb. 3.3.3

Fangen wir mit der Oberseite der Coca Cola®-Flasche an, die der Unterseite der Rakete entspricht. Wir haben den abgeschnittenen Teil der Mineralwasser-Flasche noch einmal zerschnitten und zwar von oben nach unten. So konnten wir ihn passend um die Coca Cola® Flasche legen und ihn mit Kraftkleber fixieren, sodass unsere zukünftige Rakete nun so aussah:

Abb. 3.3.4

An die Unterseite der Coca Cola®-Flasche (=Oberseite der Rakete) haben wir den gleichen Teil der zweiten Mineralwasser-Flasche fixiert, ebenfalls mit Kraftkleber. Da dort ein Loch drin ist, wo einst das Gewinde der Flasche war mussten wir dieses stopfen. Wir haben einen Dichtungsnippel gefunden, der diese Öffnung perfekt ausfüllte. In diesen haben wir ein Loch gebohrt um dann die Spitze einer Silikonkartusche dort hineinzustecken. Diese Konstruktion

haben wir wieder mit Kraftkleber zuerst an dem Teil der Mineralwasser-Flasche und diesen dann an der Unterseite der Coca Cola®-Flasche befestigt.

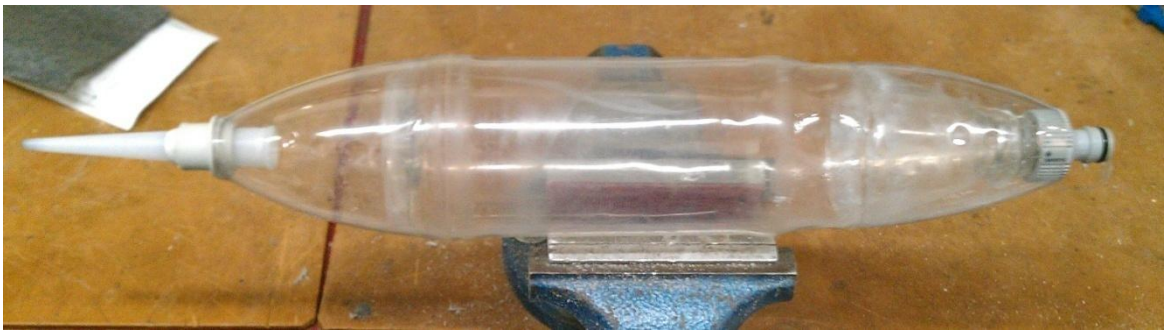

Abb. 3.3.5

Aus den schon erwähnten Deckeln der Kunststoff-Kabelkanäle haben wir drei Flügel ausgeschnitten. Wir haben auf der Rakete die Positionen der Flügel angezeichnet, sodass diese im Abstand von 120° lagen und etwa 6° gekippt zur senkrechten Achse der Rakete lagen, damit diese für einen schönen Spin sorgen. Befestigt haben wir diese mit Montagekleber, um die Lücken auszufüllen, da die Flügel nicht ganz passend zur Flaschenform geschnitten werden konnten.

Abb. 3.3.6

Beim Ankleben stießen wir auf leichte Probleme, da der Kleber nicht schnell genug aushärtete und die Flügel immer wieder abfielen. Das haben wir jedoch schnell gelöst, indem wir die Flügel mit einigen Tropfen Kraftkleber provisorisch fixierten (der Kraftkleber ist so stark das er allein vielleicht ausgereicht hätte) und dann eine Naht aus Montagekleber an die fixierten

Flügel zogen. Man kann sehr schön sehen, dass die Rakete mit den Flügel von unten wie eine Schiffsschraube aussieht.

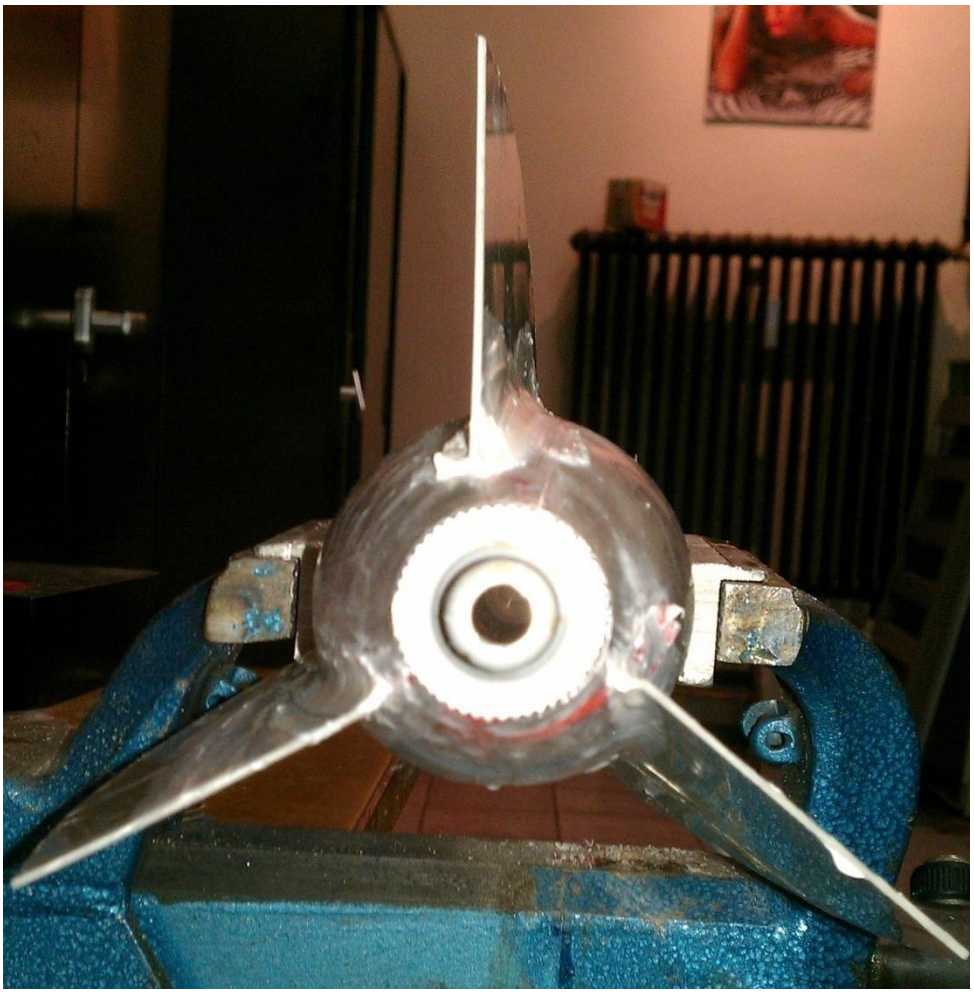

Abb. 3.3.7

Abb. 3.3.8

Abb. 3.3.9

Als letztes wollten wir die hässlichen Stellen der Rakete verdecken. Also haben wir nach etwa 24 Stunden, als der Kleber komplett ausgehärtet war, einen dünnen, senkrechten Streifen der Rakete abgeklebt (hier kommt später eine Messskala für die Füllmenge hin) und diese lackiert. Zuerst mit einer Grundierung auf der man jeden Rest Kleber und Dreck sehr gut sehen konnte.

Abb. 3.3.10

Diese Verschmutzungen haben wir abgeschmirgelt und dann die endgültige Silber-Metallic Lackierung aufgetragen.

Abb. 3.3.11

Wegen ihrer Spitze und der Farbe der Lackierung überlegen wir, die Rakete „Silver Arrow“ oder „Silberpfeil“ zu taufen.

4. Versuchsreihen

4.1. Versuchsaufbau

Unseren Versuchsaufbau haben wir auf verschiedenen Wiesen aufgebaut. Bei allen war jedoch das Grundprinzip gleich, wir haben die Start-Rampe auf ein ebenes Stück Wiese gestellt. Anschließend haben wir eine Kamera und einen Stab auf eine Linie mit der Start-Rampe gebracht. Die Kamera haben wir auf ein Dreibeinstativ gestellt, damit sie sich während der Videos oder High-Speed-Serienaufnahmen nicht bewegt, was zu verwackelten Bildern oder Videos führen kann.

Der Stab wurde mit Markierungen versehen, die durch einen spezifischen Abstand getrennt waren, der jedoch in den Testreihen, je nach Gegebenheiten festgelegt wurde.

Am Ventil, das am Gardena®-Schlauch befestigt war, wurde nun die Hand-Kompresse angeschlossen. Desweiteren, wurde die Startrampe mit Heringen an ihrer Position fixiert, damit sie beim Ziehen an der Reißleine nicht umkippen konnte.

Kurz vor dem Start wurde die Aufnahme der Kamera gestartet, die den gesamten Flug dokumentierte. Für die erste Testreihe, haben wir desweiteren zwei weitere Heringe so positioniert, dass sie eine Linie mit der Startrampe bildeten, die orthogonal zur Linie, die die Startrampe, der Stab und die Kamera bilden, lag.

4.1.1. Kamera:

Model: Eos 7D

Hersteller: Canon®

Optik: Canon® Zoom Lens 17-55mm 1:2.8 IS

Filter: Hama® UV 390 HTCM Ø 77

Maximale Auflösung: 3456*5184px

Video Auflösung: 1920*1080px @ 25fps

High-Speed-Serienaufnahme: 4 Einzelbilder/s

Die High-Speed-Serienaufnahmefunktion hat es uns ermöglicht, dass wir die Flüge fotografieren konnten, ohne dabei möglicherweise den höchsten Punkt der Flugbahn zu verpassen. Die Video Funktion hätte uns dies auch ermöglicht, erschwert jedoch die Auswertung des höchsten Punktes, da eine Betrachtung der Einzelbilder nur schwer möglich ist.

4.2. 1. Versuchsreihe 26.02.2012

4.2.1. Ziel

Bei dieser Versuchsreihe wollten wir unsere Messmethoden vergleichen, dazu haben wir zwei Flüge auf Video und zwei weitere mit einer High-Speed-Serien-Aufnahme aufgezeichnet und dokumentiert. Die Videos haben wir mit Hilfe von „NewtonDV“ und der Jakobsstab-Methode ausgewertet, während wir die High-Speed-Serien-Aufnahmen mit Hilfe der Triangulation und der Jakobsstab-Methode ausgewertet haben.

4.2.2. Voraussetzungen

Entfernung Stab-Kamera: 2,45m

Entfernung Stab-Startrampe: 24,45m

Entfernung Kamera-Start-Rampe: 26,9m

Entfernung Mess-Punkt 1- Kamera: 5,4m

Entfernung Mess-Punkt 2- Kamera: 7,6m

Da wir die Kamera nicht auf derselben Ebene hatten wie die Startrampe, mussten wir zur Berechnung der Höhe nach der Jakobsstab-Methode die alternative Formel anwenden. Die Höhe der Kamera über dem Boden betrug 1,60m.

Leider mussten wir feststellen, dass eines der Gewinde, die wir an der Startrampe verbaut hatten nicht ausreichend dicht war. Bei unserer ersten Testreihe war deshalb der Druck auf etwa 2,35bar beschränkt. Der Schaden wurde vor der nächsten Versuchsreihe mit Teflon-Band, statt einfachem Teflon-Faden, und einem zusätzlichen Dichtungsring behoben.

4.2.3. Starts

Start 1

Wassermenge: 330mL

Druck: 2,30 bar

Aufzeichnungsmethode: Video

Höhe am Stab: 105cm

Reale Höhe: 7,30

Höhe errechnet von NewtonDV: 15,6m

Start 2

Wassermenge: 330mL

Druck: 2,31 bar

Aufzeichnungsmethode: High-Speed-Serien-Aufnahme

Blende: F/14

Belichtungszeit: $\frac{1}{125}s$

ISO: 800

Brennweite: 14mm

Höhe am Stab: 91cm

Reale Höhe:6,6m

Höhe errechnet durch Triangulation: 7,2m

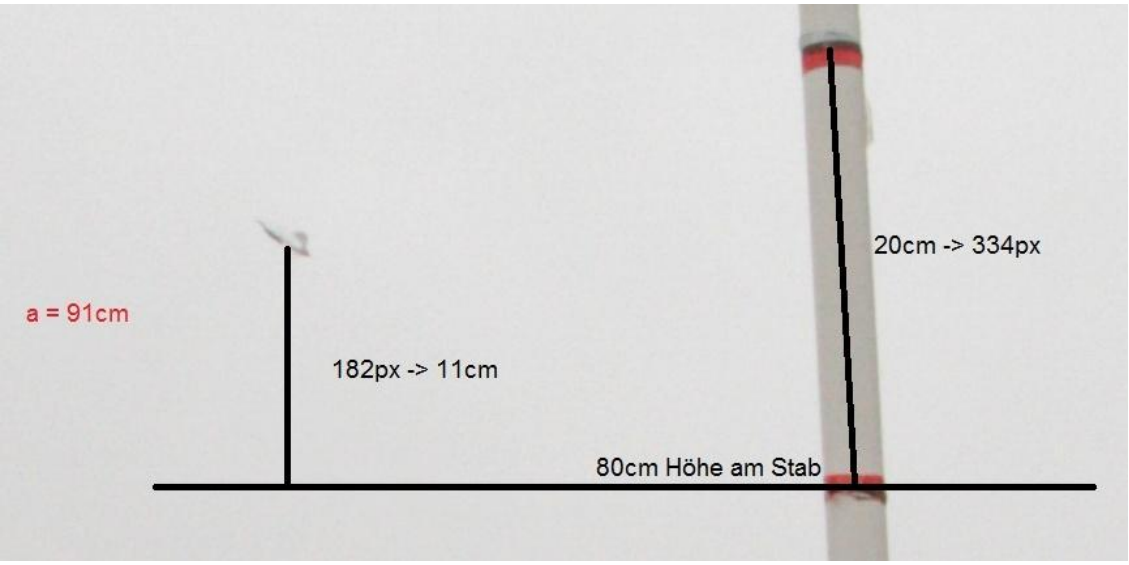

Abb. 4.2.1

Start 3

Wassermenge: 330mL

Druck: 2,31 bar

Aufzeichnungsmethode: Video

Höhe am Stab: 100cm (Aufgrund der niedrigen Auflösung ungenauer)

Reale Höhe: 7,09m

Höhe Errechnet von NewtonDV: 10,6m

Start 4

Wassermenge: 330mL

Druck: 2,31 bar

Aufzeichnungsmethode: High-Speed-Serien-Aufnahme

Blende: F/20

Belichtungszeit: $\frac{1}{100}s$

ISO: 800

Brennweite: 14mm

Höhe am Stab: 1,25m

Reale Höhe: 8,64m

Höhe errechnet durch Triangulation: 8,54m

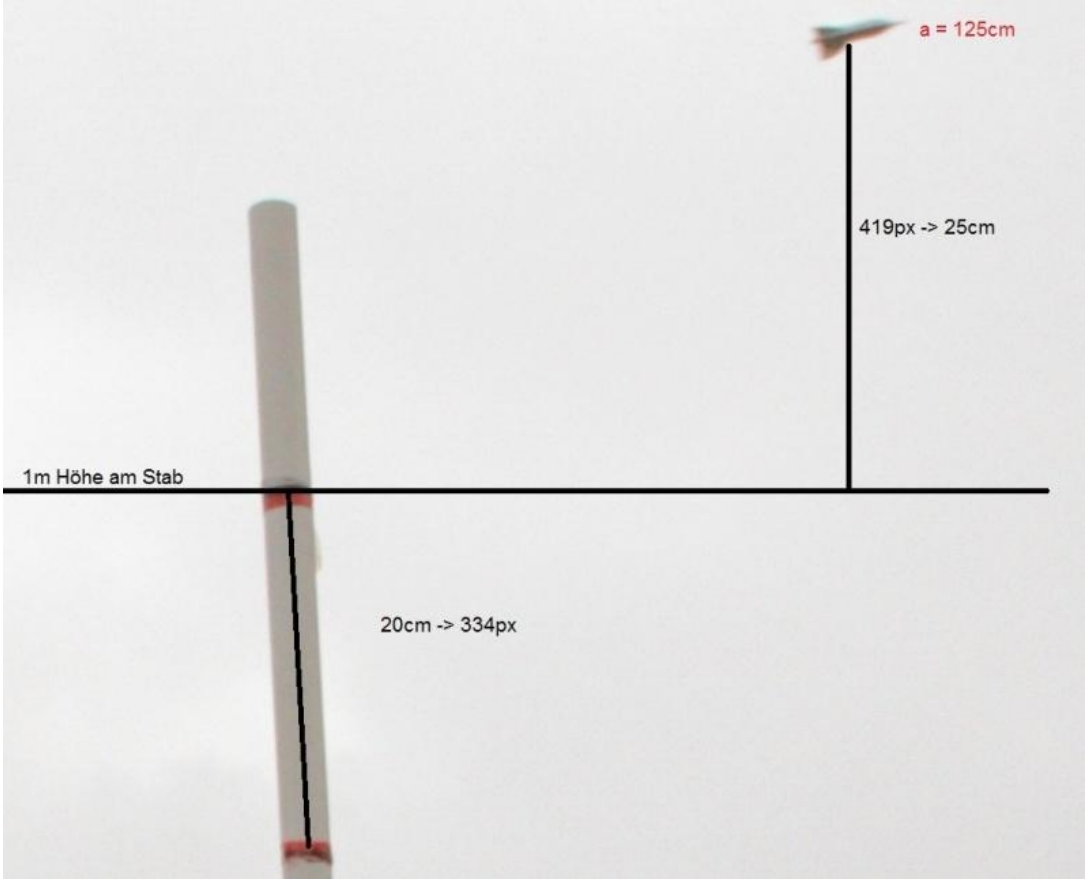

Abb. 4.2.2

Da dieser Flug hat die Höhe des Jakobsstabes schon geringfügig überstiegen hatte, wurde bei der nächsten Startserie der Jakobsstab weiter von der Startrampe entfernt aufgestellt und gleichzeitig die Distanz zwischen Stab und Kamera verkleinert.

4.2.4. Fazit aus der ersten Versuchsreihe

Da die Messergebnisse von Triangulation und Jakobsstab sehr nah bei einander liegen, während die Werte von NewtonDV stark von diesen abweichen, scheint diese Methode, die Höhe der Rakete zu bestimmen, unzuverlässig zu sein. Die Abweichung des Programms könnte durch das mittelmäßige Wetter und die dadurch beeinträchtigten Sichtverhältnisse herrühren. Wir haben uns entschieden, von nun an die Jakobsstab-Methode zu verwenden, da diese deutlich einfacher zu nutzen ist, als die Triangulation vor allem, da man bei der Triangulation Probleme bekommt, die für dieses Verfahren benötigten Dreiecke einzuzeichnen, da bei hoher Auflösung Messpunkt und Rakete nicht im selben PC-Fenster darstellbar sind. . Desweiteren kann man die Messung mit dem Jakobsstab deutlich besser veranschaulichen. Auch hat sich in der Versuchsreihe noch ergeben, dass die High Speed Aufnahmen deutlich einfacher auszuwerten sind. Bei den nachfolgenden Startserien haben wir uns daher auf die High Speed Aufnahmen zur Bestimmung der Flughöhe beschränkt.

4.3. 2. Versuchsreihe 03.03.2012

4.3.1. Ziel

Bei unserer zweiten Versuchsreihe wollten wir versuchen, die ideale Füllmenge an Wasser zu ermitteln. Im Internet ist oft die Rede von einem Drittel des Volumens des Druckbehälters und dieses Maß haben wir auch in der ersten Testreihe benutzt. Nun wollten wir herausfinden, ob diese Angabe stimmt in dem wir die Rakete bei gleichem Druck mit unterschiedlichem Wasserstand fliegen lassen. Vor der Versuchsreihe haben wir die Vermutung aufgestellt, dass der Graph der Höhe in Abhängigkeit vom Füllstand eine nach unten geöffnete Parabel ist.

4.3.2. Voraussetzungen

Entfernung Stab-Kamera: 2m

Entfernung Stab-Startrampe: 29m

Entfernung Kamera-Startrampe: 31m

Bei dieser Versuchsreihe waren wir, auf Grund des natürlichen Gefälles der Wiese, in der Lage, die Kamera auf eine Höhe mit der Startrampe zu bringen.

Diese Tatsache ermöglichte es uns die einfachere Formel (Jakobsstab) für die Höhe der Rakete zu nutzen.

Leider hat sich bei dieser Versuchsreihe herausgestellt, dass obwohl wir zusätzlich zum Abdichten der Undichtigkeit einen Dichtungsring angebracht hatten, die Undichtigkeit weiter bestand, sodass ab 2bar der Druck, wenn die Kompresse abgeschaltet wurde, wieder sank.

Es wurden für diese Startreihe 7 Starts durchgeführt aber nur 6 Starts wurden berücksichtig, da der andere durch den Wind zu stark beeinträchtigt wurde.

4.3.3. Starts

Start 1

Wassermenge: 100mL

Druck: 2,30 bar

Aufzeichnungsmethode: High-Speed-Serien-Aufnahme

Blende: F/22

Belichtungszeit: $\frac{1}{100}s$

ISO: 1600

Brennweite: 55mm

Höhe am Stab: 10cm = 0,1m

Reale Höhe: 1,55m

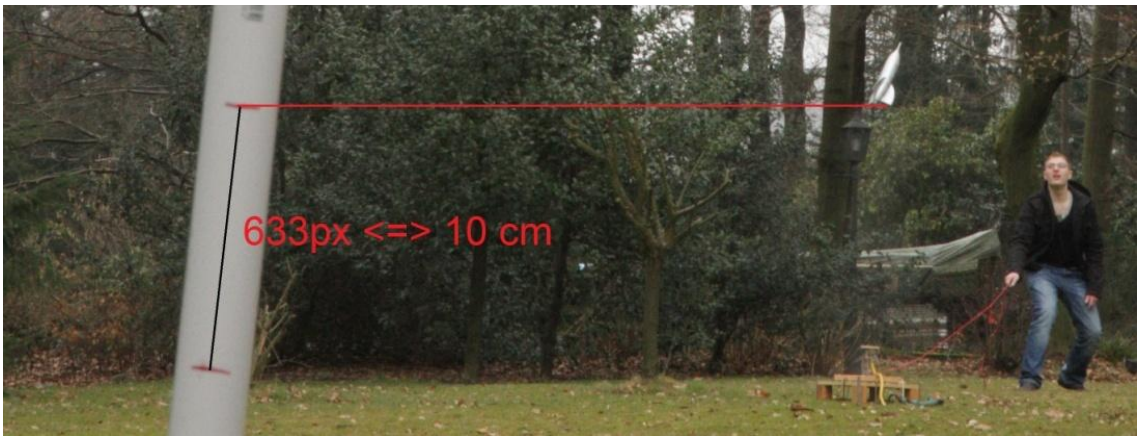

Abb. 4.3.1

Start 2

Wassermenge: 200mL

Druck: 2,30 bar

Start war auf Grund einer starken horizontalen Abweichung in Richtung der Kamera nicht auswertbar.

Start 3

Wassermenge: 300mL

Druck: 2,30 bar

Aufzeichnungsmethode: High-Speed-Serien-Aufnahme

Blende: F/20

Belichtungszeit: $\frac{1}{100}s$

ISO: 1600

Brennweite: 55mm

Höhe am Stab: 35,45cm ≈ 0,35m

Reale Höhe: 5,43m

Abb. 4.3.2

Start 4

Obwohl der letzte Start bereits niedriger war als der vorangegangene, haben wir noch 400mL ausprobiert, da wir sicher seien wollten, dass wir wirklich den Maximal wert finden.

Wassermenge: 400mL

Druck: 2,30 bar

Aufzeichnungsmethode: High-Speed-Serien-Aufnahme

Blende: F/18

Belichtungszeit: $\frac{1}{100}s$

ISO: 1600

Brennweite: 55mm

Höhe am Stab: 40cm = 0,4m

Reale Höhe: 6,2m

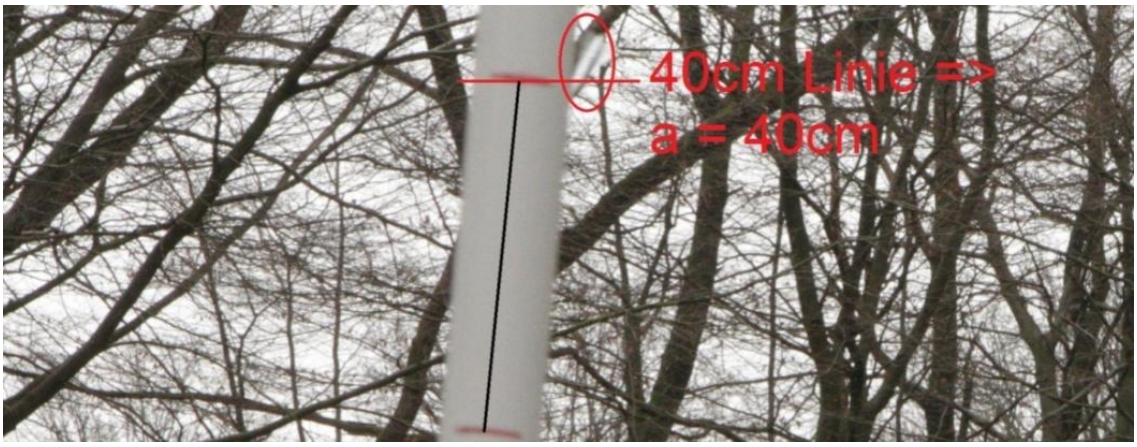

Abb. 4.3.3

Start 5

Wassermenge: 500mL

Druck: 2,30 bar

Aufzeichnungsmethode: High-Speed-Serien-Aufnahme

Blende: F/18

Belichtungszeit: $\frac{1}{100}s$

ISO: 1600

Brennweite: 55mm

Höhe am Stab: 36,21cm ≈ 0,36m

Reale Höhe: 5,58m

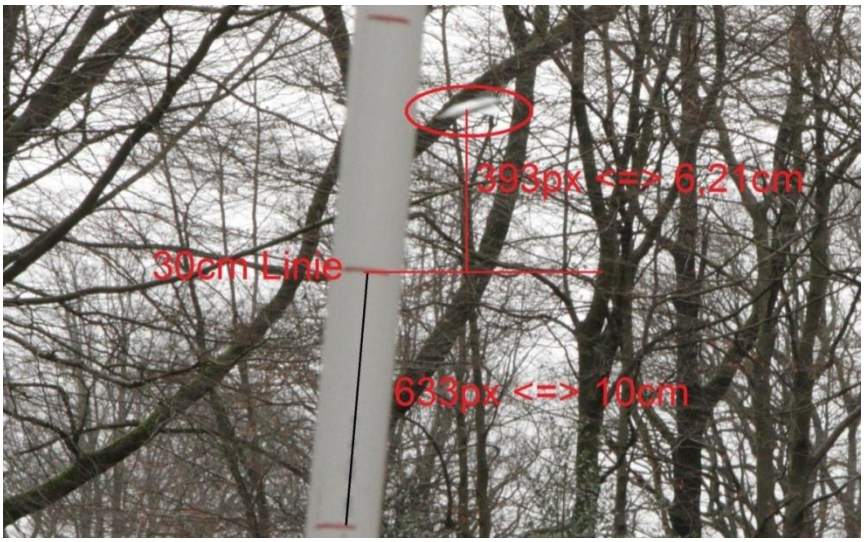

Abb. 4.3.4

Start 6

Da der fünfte Start niedriger war als der vierte wurde deutlich, dass die optimale Füllmenge zwischen 400mL und 500mL liegen musste. Deswegen haben wir nun 450mL getestet.

Wassermenge: 450mL

Druck: 2,30 bar

Aufzeichnungsmethode: High-Speed-Serien-Aufnahme

Blende: F/18

Belichtungszeit: $\frac{1}{100}s$

ISO: 1600

Brennweite: 55mm

Höhe am Stab: 40cm = 0,4m

Reale Höhe: 6,2m

Abb. 4.3.5

Start 7

Da die Flughöhe bei 450mL genauso groß war wie bei 400mL, haben wir 425mL getestet, da wir die maximale Flughöhe zwischen den beiden Werten vermutet haben.

Wassermenge: 425mL

Druck: 2,30 bar

Aufzeichnungsmethode: High-Speed-Serien-Aufnahme

Blende: F/14

Belichtungszeit: $\frac{1}{100}s$

ISO: 1600

Brennweite: 55mm

Höhe am Stab: 43,71cm ≈ 0,43

Reale Höhe: 6,67m

Abb. 4.3.6

4.3.4. Fazit

Wir vermuten, dass die geringeren Flughöhen der Rakete bei dieser Versuchsreihe durch die stärkere Ablenkung durch Wind bedingt war, da die Rakete bei der ersten Testreihe kaum durch Wind abgetrieben wurde und nahe der Startrampe auf dem Boden aufkam, während sie bei der zweiten Versuchsreihe weiter abgetrieben wurde.

Die Füllmenge, die uns die größte mögliche Flughöhe erlaubt, scheint für 2,30 bar 425mL zu sein.

4.4. Erster Hochdruck Test 03.03.2012

4.4.1. Start

Entfernung Stab-Kamera: 2m

Entfernung Stab-Startrampe: 29m

Entfernung Kamera-Startrampe: 31m

Wassermenge: 425mL

Druck: 7,15 bar

Aufzeichnungsmethode: High-Speed-Serien-Aufnahme

Blende: F/14

Belichtungszeit: $\frac{1}{100}s$

ISO: 1600

Brennweite: 55mm

Die Rakete bekam nach dem Start eine starke horizontale Stellung. Dadurch bedingt flog sie aus dem Aufnahmebereich und prallte auf einer Höhe von ca. 17m gegen einen Baum. Dadurch wurde einer der Flügel so stark beschädigt, dass er ersetzt werden musste.

4.4.2. Fazit

Dieser Start hat gezeigt, dass die von uns genutzte Wiese nicht zum Start mit hohem Druck geeignet ist, deswegen werden wir den Hochdruckteil der 3. Versuchsreihe auf einer anderen Wiese mit mehr Platz machen. Desweiteren hat sich herausgestellt, dass die Gardena®-Kupplung in der die Rakete beim Aufpumpen festgehalten wird, sich bei dem Start mit 7 bar stark verbogen hat. Eine Optimierung war daher nötig.

4.4.3. Reparaturen

Der beschädigte Flügel war in zwei Teile gebrochen und hatte sich teilweise von der Rakete gelöst. Aus diesem Grund mussten wir den gesamten Flügen ersetzten. Dafür haben wir ihn erst von der Rakete mit einem Cutter-Messer abgeschnitten und dann haben wir den Kleber restlos entfernt. Anschließend haben wir den Flügen mit Tesa®-Film zusammen geklebt um eine Schablone für das Ersatzteil zu haben. Mit Hilfe dieser Schablone haben wir anschließend einen weiteren Flügel aus demselben Material gefertigt. Dieser wurde anschließend erst mit Kraftkleber angeklebt und dann mit Baukraftkleber befestigt. Die reparierte Rakete sah nun so aus.

Abb. 4.4.1

Abb. 4.4.2

Abb. 4.4.3

4.4.4. Optimierungen

Da wir vermuteten, dass das starke Abdriften der Rakete durch die beim Start verbogene Kupplung bedingt war, haben wir eben diese nach der Testreihe verstärkt, dafür mussten wir die Gewindestange gegenüber von der kleinen Gewindestange, die die Kupplung hält, ausbauen und sie anschließend mit der neuen zusätzlichen Halterung einbauen. Um diese neue Halterung zu bauen, haben wir extra Teile im Baumarkt gekauft, was wir bei der ursprünglichen Konstruktion vermieden hatten, damit ein Nachbau einfach und preiswert bleibt. Nachdem wir die neue Halterung eingebaut hatten, haben wir die Kupplung noch exakt ausgerichtet, um die Starts reibungsloser ablaufen zu lassen. Die Modifikation sah nun so aus:

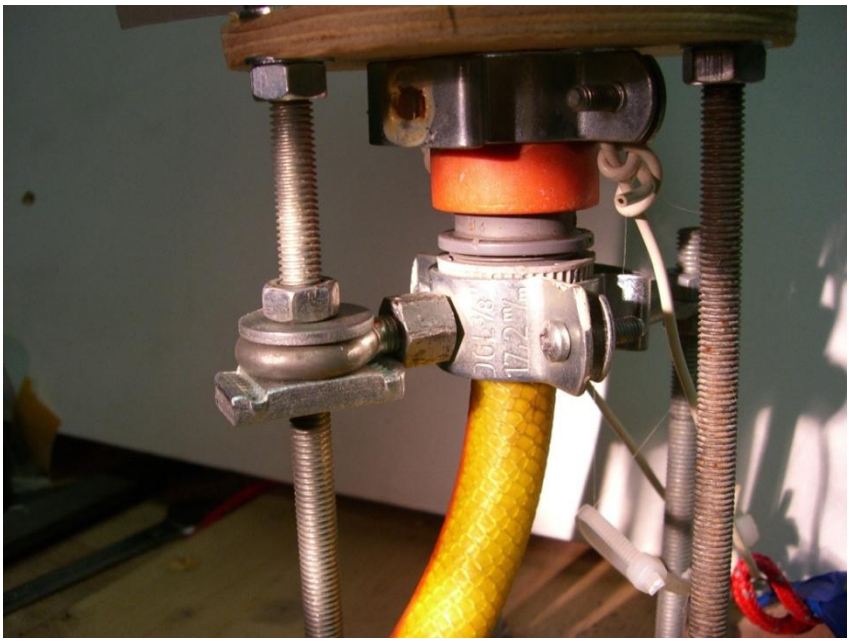

Abb. 4.4.4

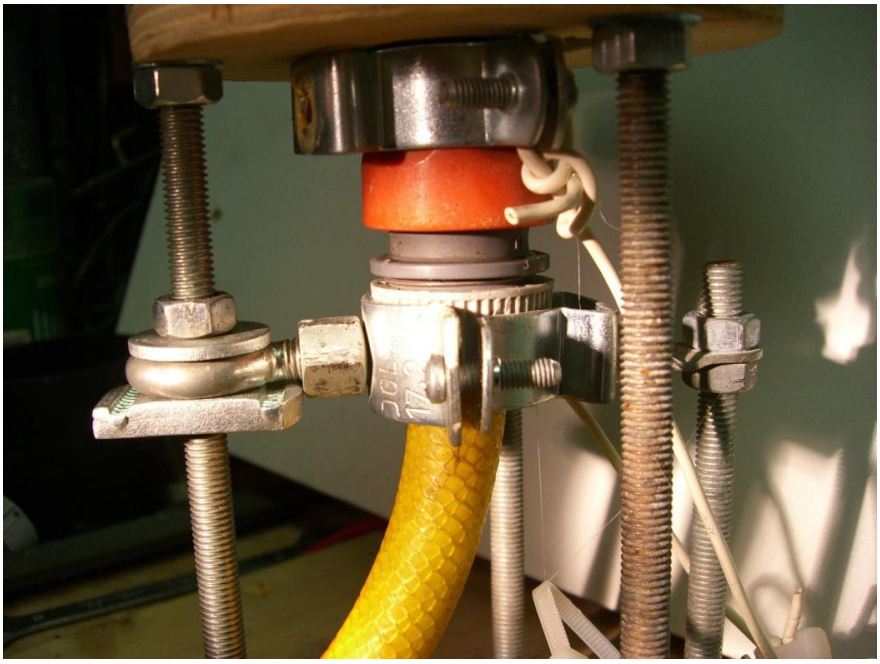

Abb. 4.4.5

Desweiteren haben wir uns weiter mit dem Problem der Undichtigkeit beschäftigt und alle Gewinde mit Teflon-Band abgedichtet und zusätzlich den Gardena®-Schlauch von unten in die Kupplung geklebt, sodass die einzige Stelle an der nun noch Druck austritt, die Verbindung von Kupplung zu Rakete ist, wo wir außer ein wenig Dichtungsfett nichts weiter anwenden konnten, um die Stelle abzudichten. Aufgrund dieser Bemühungen stellten wir erst bei 10 bar eine kleine Undichtigkeit an der Verbindung von Rakete zu Startrampe fest, die jedoch zu vernachlässigen war, wenn zwischen dem Ende des Aufpumpens und dem Start keine große Zeitspanne war.

4.5. 3. Versuchsreihe 13.03.2012 und 17.03.2012

4.5.1. Ziel

Diese Versuchsreihe sollte einen Zusammenhang zwischen dem Druck im Flaschenkorpus und der Flughöhe aufzeigen. Wir vermuteten, dass der Verlauf des Graphen dem der Logarithmus-Funktion ähneln könnte, da wir glaubten dass der Unterschied in der Höhe bei Starts mit 2 bar und 3 bar größer ausfallen dürfte, als der Unterschied in der Höhe bei Starts mit 9 bar und 10 bar.

4.5.2. Tag 1: Voraussetzungen

Entfernung Stab-Kamera: 1,72m

Entfernung Stab-Startrampe: 28,5m

Entfernung Kamera-Startrampe: 30,22m

Wir hatten an diesem Tag nicht die Möglichkeit, auf eine andere Wiese auszuweichen, da wir keine Möglichkeit hatten die nötige Menge Wasser zu transportieren, da unser 10L-Kanister beschädigt wurde. Deswegen mussten wir wie auch in der 2. Versuchsreihe auf der Wiese in Michaels Garten starten. Aus diesem Grund, und aus Zeitmangel an diesem Tag haben wir uns entschieden, die Versuchsreihe zu splitten und die Starts mit über 5 bar am Samstag danach zu machen.

4.5.3. Tag 1: Starts

Start 1

Wassermenge: 425mL

Druck: 1bar

Bei diesem Start war der Druck nicht ausreichend, um die Rakete aus der Kupplung zu stoßen, sie hat einfach nur den Druck abgelassen und kein Wasser trat aus.

Start 2

Wassermenge: 425mL

Druck: 2 bar

Aufzeichnungsmethode: High-Speed-Serien-Aufnahme

Blende: F/20

Belichtungszeit: $\frac{1}{250}s$

ISO: 800

Brennweite: 17mm

Höhe am Stab: 27,78 ≈ 0,27m

Reale Höhe: 4,74m

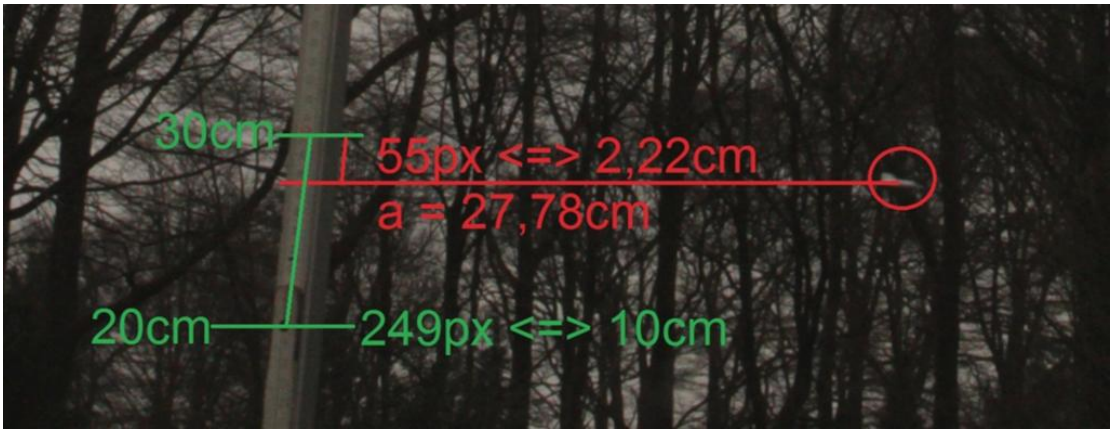

Abb. 4.5.1

Start 3

Wassermenge: 425mL

Druck: 3 bar

Aufzeichnungsmethode: High-Speed-Serien-Aufnahme

Blende: F/14

Belichtungszeit: $\frac{1}{250}s$

ISO: 800

Brennweite: 17mm

Höhe am Stab: 44,64cm ≈ 0,44m

Reale Höhe: 7,73m

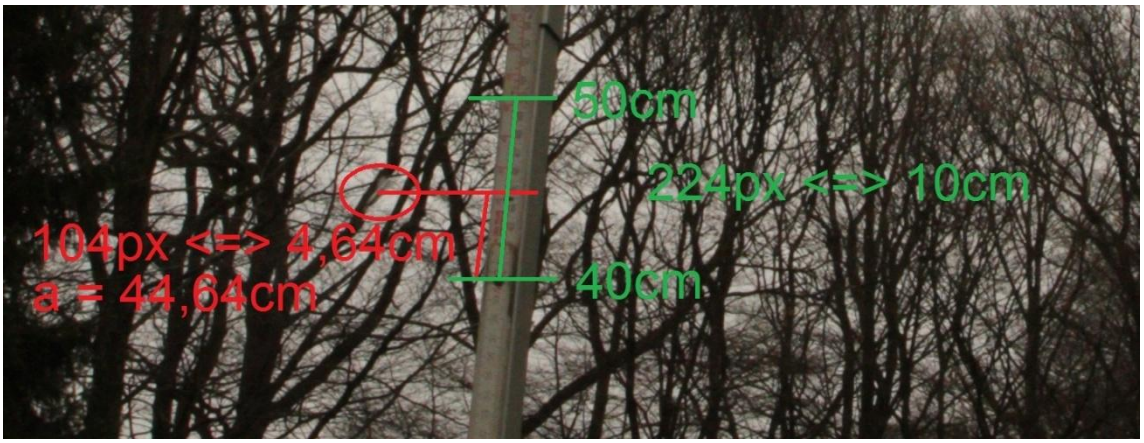

Abb. 4.5.2

Start 4

Wassermenge: 425mL

Druck: 4 bar

Aufzeichnungsmethode: High-Speed-Serien-Aufnahme

Blende: F/22

Belichtungszeit: $\frac{1}{100}s$

ISO: 800

Brennweite: 17mm

Höhe am Stab: 48,9cm ≈ 0,49m

Reale Höhe: 8,6m

Bei diesem Flug blieb die Rakete in einem Baum hängen, wir haben deswegen die Starts für diesen Tag beendet und haben diese an einem anderen Tag fortgeführt. Desweiteren fielen uns bei genauerer Betrachtung der Flügel erneut kleine Risse auf, deswegen haben wir anschließend Maßnahmen zur Verstärkung aller Flügel ergriffen.

Abb. 4.5.3

4.5.4. Tag 1: Fazit

Es fiel uns aufgefallen, dass die Flüge, obwohl sie mit fast doppeltem Druck starteten, nicht viel höher gekommen sind, als unsere ersten Flüge. Wir haben vermutet, dass dies durch zwei Faktoren bedingt ist. Der Erste ist, dass unsere zweite und dritte Versuchsreihe bei stärkerem Wind stattgefunden hat, wodurch die Rakete bei den Starts durch den Wind stärker gekippt wurde. Durch diese Neigung der Rakete, wurde ein Teil der gespeicherten Energie für die horizontale Bewegung verwendet und nicht für den vertikalen Flug, was zu einer geringeren Flughöhe geführt hat.

Der zweite Grund ist, dass die Rakete möglicherweise bei höherem Druck eine andere optimale Füllmenge hat, was wir am nächsten Starttag ausprobiert haben.

4.5.5. Tag 2: Voraussetzungen

Da sich die Flughöhe mit zunehmendem Druck stärker als erwartet vergrößert hat, mussten wir die Voraussetzungen mehrfach ändern, nur die Distanz Kamera-Stab war immer 2m.

Es wurden 7 Starts durchgeführt, von denen nur 4 Starts berücksichtigt wurden, da die anderen durch den Wind zu stark beeinträchtigt wurden, um zuverlässige Ergebnisse zu liefern. Einer dieser Starts wurde zum Abgleich der optimalen Füllmenge bei höherem Druck benutzt.

4.5.6. Tag 2: Starts

Start 5

Entfernung Kamera-Startrampe: 32,4m

Wassermenge: 330mL

Druck: 5 bar

Aufzeichnungsmethode: High-Speed-Serien-Aufnahme

Blende: F/22

Belichtungszeit: $\frac{1}{100}s$

ISO: 200

Brennweite: 17mm

Höhe am Stab: 126,11 ≈ 1,26m

Reale Höhe: 20,41m

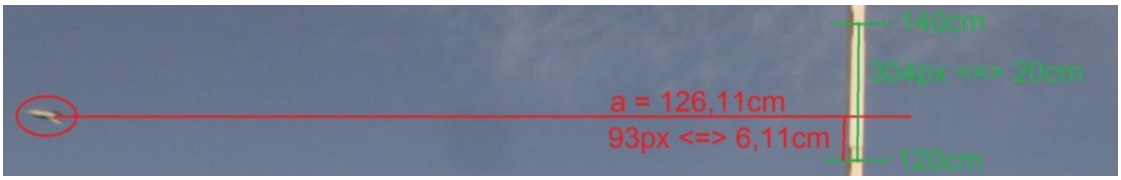

Abb. 4.5.4

Start 6

Entfernung Kamera-Startrampe: 32,4m

Wassermenge: 425mL

Druck: 5bar

Aufzeichnungsmethode: High-Speed-Serien-Aufnahme

Blende: F/20

Belichtungszeit: $\frac{1}{125}s$

ISO: 200

Brennweite: 17mm

Höhe am Stab: 42,67cm ≈ 0,43m

Reale Höhe: 6,97m

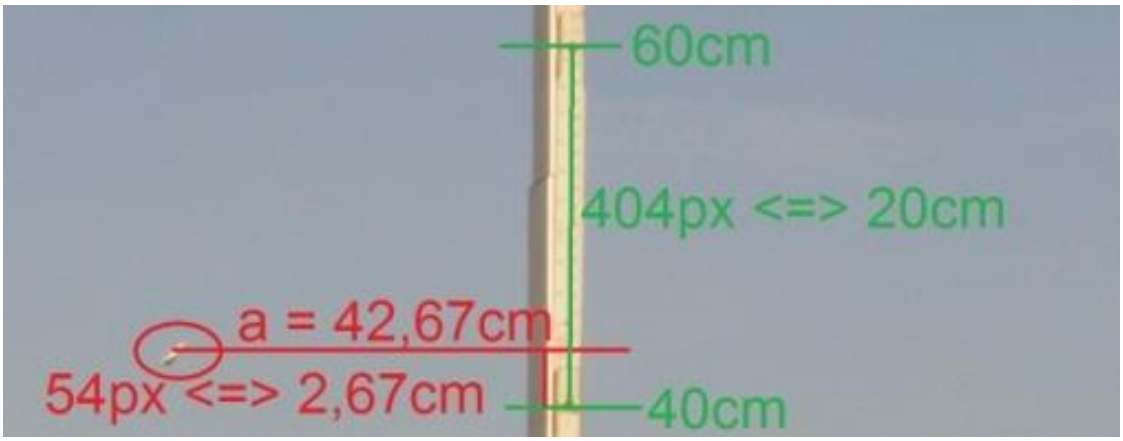

Abb. 4.5.5

Start 7

Wassermenge: 330mL

Druck: 6 bar

Start war auf Grund einer starken horizontalen Abweichung in Richtung der Kamera nicht auswertbar.

Start 8

Entfernung Kamera-Startrampe: 32,4m

Wassermenge: 330mL

Druck: 7 bar

Aufzeichnungsmethode: High-Speed-Serien-Aufnahme

Blende: F/22

Belichtungszeit: $\frac{1}{100}s$

ISO: 400

Brennweite: 17mm

Höhe am Stab: 113,69cm ≈ 1,13m

Reale Höhe: 18,31m

Abb. 4.5.6

Start 9 und Start 10

Wassermenge: 330mL

Druck: 8 bar bzw. 9 bar

Beide Starts waren auf Grund einer starken horizontalen Abweichung in Richtung der Kamera nicht auswertbar.

Start 11

Entfernung Kamera-Startrampe: 62,4m

Wassermenge: 330mL

Druck: 10 bar

Aufzeichnungsmethode: High-Speed-Serien-Aufnahme

Blende: F/22

Belichtungszeit: $\frac{1}{125}s$

ISO: 800

Brennweite: 17mm

Höhe am Stab: 81,9cm ≈ 0,81m

Reale Höhe: 25,27m

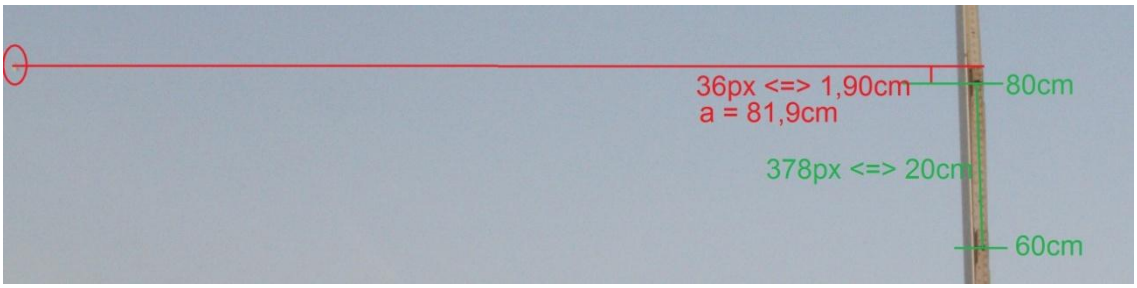

Abb. 4.5.7

4.5.7. Fazit

Diese Testreihe hat gezeigt, dass unsere Vermutung richtig zu sein scheint, da der Anstieg in Höhe immer geringer wird. Desweiteren haben die Flüge 5 und 6 gezeigt, dass sich bei zunehmendem Druck die ideale Füllmenge ändert, obwohl Flug 5 durch plötzlich einsetzenden Wind deutlich nach oben getragen wurde und selbständig wohl nur eine Flughöhe von ca. 15m erreicht hätte.

4.6. Ergebnis der Versuchsreihen

Nachdem wir alle von uns geplanten Testreihen abgeschlossen haben, haben wir die endgültige Auswertung durchgeführt.

Die Auswertung der ersten Versuchsreihe wurde bereits vorher erledigt, da das Wissen aus dieser nötig war, um die späteren Testflüge möglichst exakt und effektiv auswerten zu können.

Um die zweite Versuchsreihe auszuwerten haben wir die Daten der Flüge in eine Tabelle eingetragen und mit Hilfe der hieraus resultierenden Punkte einen Graphen Zeichen lassen, dieser Graph ist eine nach unten geöffnete Parabel.

Diese Parabel hat die Formel:

$$h(V_{Wasser}) = -5 * 10^{-5}(V_{Wasser})^2 + 0{,}0411V_{Wasser} - 2{,}103$$

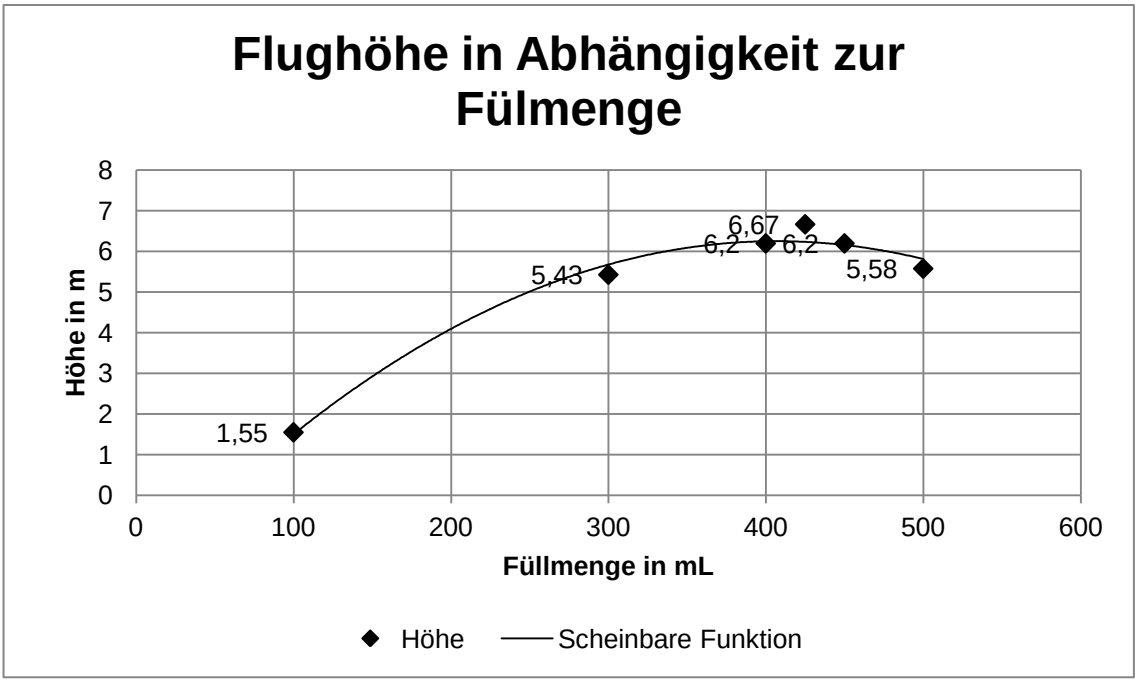

Abb. 4.6.1

Aus der Formel lässt sich der Hochpunkt herleiten. Dafür muss man $h'(V_{Wasser})$ bilden.

$$h'(V_{Wasser}) = -1 * 10^{-4} V_{Wasser} + 0{,}0411$$

Nun muss man $h'(V_{Wasser}) = 0$ setzen.

$$0 = -1 * 10^{-4} V_{Wasser} + 0{,}0411$$

Daraus folgt, dass der einzige Kandidat für eine relatives Extremum bei $V_{Wasser} = 411$ liegt. Nun muss man noch überprüfen, ob ein Hochpunkt oder ein Tiefpunkt vorliegt, dies tut man indem man den Wert für V_{Wasser} in $h''(V_{Wasser})$ einsetzt.

$$h''(V_{Wasser}) = -1 * 10^{-4}$$

Dies ist strikt negative, woraus folgt, dass ein Hochpunkt vorliegen muss.

Mit Hilfe dieser Rechnung haben wir nach gewiesen, dass unsere Testreihe die optimale Füllmenge auf den Bereich zwischen 400mL und 425mL eingegrenzt hat. Diese Aussage scheint jedoch nur für Flüge mit einem Druck um 2 bar zu stimmen, es wäre daher interessant weitere Testreihen mit unterschiedlichem Druck zu machen, um die optimale Füllmenge für verschiedenen Druck zu bestimmen.

Mit der dritten Testreihe sind wir ähnlich vorgegangen. Nur hier haben wir nicht die Flughöhe mit der Füllmenge in Korrelation gesetzt sondern mit dem Druck im Druckbehälter. Dies ergab erneut ein Punkteraster in welches wir

eine Graphen haben zeichnen lassen. Dieser ist, wie wir erwartet haben, eine logarithmische Funktion. Diese Funktion sieht wie folgt aus.

$$h(p) = 11{,}194 \ln(p) + 2{,}298$$

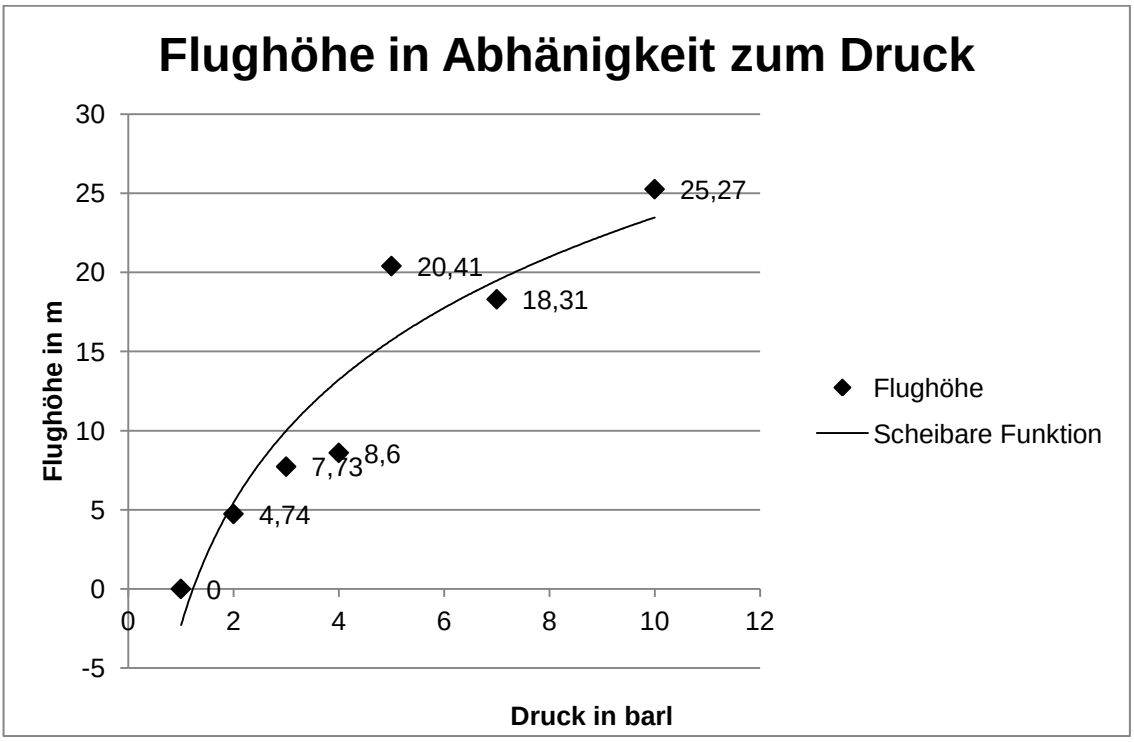

Abb. 4.6.2

Diese Funktion gilt natürlich nur für positive Höhen, da eine negative Höhe, zwar mathematisch in der Funktion möglich ist, jedoch im physikalischen Zusammenhang unsinnig wäre.

Zusammenfassend kann man sagen, dass sich unsere Vermutungen vor den Testflügen im Allgemeinen bestätigt haben. Es gibt jedoch noch viele ungelöste Fragen. Diese könnte man nur mit zusätzlichen Starts lösen, für welche wir im Rahmen der Facharbeit leider keine Zeit mehr hatten. Diese weiteren Starts müssten klären, wie sich die optimale Füllmenge verändert, wenn der Druck im Druckbehälter steigt und die gestrichenen Starts ersetzen, da diese die Auswertung genauer machen würden.

5. Weitere Nutzung des erworbenen Wissens in der Junior Uni

Wir haben uns überlegt, dass wir die Ergebnisse dieser Arbeit nicht ungenutzt lassen wollen. Deswegen haben wir nach Wegen gesucht unser erworbenes Wissen weiter zu nutzen und weiter zu geben. Eine perfekte Plattform hierfür ist die Junior Uni in Wuppertal. Wir haben uns gedacht zwei verschiedene Kurse anzubieten. Einen für Kinder im Alter von 6-10 Jahren und einen für Jugendlichen von 14 bis 18 Jahren. Diese Aufteilung ist entstanden, da wir bei diesen Kursen zwei verschiedene Schwerpunkte setzen wollen. Während wir bei den Kindern im Grundschulalter die Grundlagen des Raketenfluges herleiten wollen, können wir bei den über 14 jährigen bereits auf Vorwissen bauen und so das Konzept der Wasser-Luft-Rakete vertiefen. Eine Kursstunde haben wir mit ungefähr 1,5 Stunden geplant.

5.1. Kurs für 6- bis 10-jährige Kinder

Für diesen Kurs haben wir uns diverse Experimente überlegt, die den Kindern ein gewisses Grundwissen vermitteln sollen, damit sie den Rückstoß, und damit den Raketenflug verstehen können.

1. *Stunde: Luft*

Vorbereitung:

- Begrüßungs- und Kennenlern-Spiel vorbereiten
- Materialbeschaffung pro Gruppe:
  - 1 Glas
  - 1 Schüssel (durchsichtig und größer als das Glas)
  - Papier
  - Tischtennisball
- Schüsseln mit Wasser füllen

Zeitplan:	20 min:	Einführung in den Kurs
	20 min:	Aufbau
	30 min:	Durchführung des Experiments
	20 min:	Erklärung

1. Experiment: „Im Wasser, ohne nass zu werden“ [9]

Gruppen Größe: 2-4 Kinder

Aufbau Durchführung:

- Schüssel mit Wasser füllen
- Papier am Boden des Glases befestigen
- Tischtennisball auf das Wasser legen
- Glas über den Ball stülpen und Glas bis zum Boden drücken.

Abb. 5.1.1 [9]

Beobachtung:

- Es dringt kein Wasser in das Glas ein

Erklärung:

- Im Glas ist Luft, welche ein Eindringen von Wasser verhindert

Dieses Experiment soll den Kindern vermitteln, dass um uns herum Luft ist, dabei soll der Unterschied zwischen Nichts und Luft klar werden.

2. Stunde: Luftwiderstand und Schwerkraft

Vorbereitung:

- Unterschiedlich dickes Papier kaufen und auslegen

Zeitplan: 20 min: Wiederholung der Ergebnisse der letzten Stunde
50 min: Experimente mit den Fliegern
20 min: Erklärung und Zusammenfassung der Ergebnisse

Papierflieger bauen.

Mit Hilfe des Baus von verschiedenen Papierfliegern wollen wir den Luftwiederstand und die Tatsache, dass manche Dinge auf der Luft sozusagen ein wenig gleiten können, erläutern. Desweitern soll mit Hilfe von unterschiedlichen Papierstärken erarbeitet werden, dass desto leichter ein Papierflieger ist, desto besser fliegt er. Ebenso wollen wir mit Hilfe der Tatsache, dass die Flieger zu Boden fallen die Schwerkraft, als Begriff herleiten.

3. Stunde: Helikopter

Unterrichtsvorbereitung:

- Material pro Kind:
  - 1 DIN A4 Blatt
  - 1 Büroklammer
- Material auslegen
- Materialbeschaffung pro Gruppe (2. Helikopter):
  - 2 Schaschlikspieße
  - 2 Rouladenspieße aus Metall
  - 1 Korken
  - 2 durchbohrte Holzperlen (ca. 6mm Durchmesser)
  - 1 Gummiband (80 x 5 mm)
  - 1 Brett aus Balsaholz (1mm)
- Vorbereitung zum Bau des 2. Helikopters
  - Korken in 3 Teile a 1cm dicke schneiden
  - In zwei der Teile schräge Schlitze schneiden
  - Löcher in Kork bohren
    - Oberer Rotorhalter: ein Loch mittig,
    - Unterer Rotorhalter: ein Loch mittig, zwei Löcher an der Seite angebohrt
    - 3. Korkstück: ein Loch mittig (zum Durchgucken) und zwei an den Seiten
  - 4 Rotorblätter schneiden (150x20mm)
  - Einen Helikopter vorher Basteln, damit Experiment vorgeführt werden kann

Zeitplan:	15 min:	Wiederholung der Ergebnisse der letzten Stunden
	35 min:	Bau und Experimente mit den Hubschraubern
	10 min:	Erklärung und Zusammenfassung der Ergebnisse
	30 min:	Vorarbeit für die nächste Stunde möglicherweise Beginn mit Bau des nächsten Hubschraubers.

Papier Hubschrauber bauen.[1]

Aufbau: siehe Abb. 5.1.3

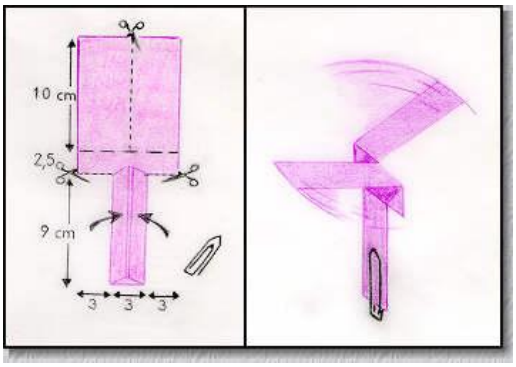

Abb. 5.1.2

2. Experiment: „Ein Hubschrauber für den Hausgebrauch“ [10]

Gruppengröße: 3-4 Kinder

Aufbau:

- Durch untere Rotorhalterung Rouladenspieß durchstecken
- Spieß kürzen (durch uns) und umbiegen
- Durch Korkstück mit drei Löchern Spieß durchstechen
- Holzperlen aufschieben
- Obere Rotorhalterung aufstecken
- Spieß kürzen (durch uns) und umbiegen
- Mit Schaschlikspießen zusammen montieren (Achtung obere Öse muss sich frei bewegen können)
- Zwischen den beiden Ösen das Gummiband spannen
- Rototblätter montieren

Durchführung:

- Gummi aufzirbeln und starten lassen

Beobachtung:

- Der Helikopter fliegt nach oben

Erklärung:

- Er schiebt die Luft nach unten und fliegt so hoch

Diese Stunde soll den Kindern vermitteln, dass Hubschrauber den Effekt des auf der Luft schwimmen nutzten, um zu fliegen und dass wenn der Rotor sich nicht dreht, der Helikopter abstürzt. Am Ende der Stunde kann bereits mit dem Bau des Helikopters für die nächste Stunde begonnen werden, da wir es für

wahrscheinlich halten, dass wir mit dem ersten Helikopter nicht die ganzen anderthalb Stunden füllen können. Dieses Experiment können wir jedoch in dieser Stunde nicht mehr fertigstellen, deswegen erfolgt die Auswertung in der nächsten Stunde.

4. Stunde: Helikopter

Unterrichtsvorbereitung:

- Keine, da alles bereits zu letzten Stunde vorbereitet wurde

Zeitplan: 10 min: Wiederholung der Ergebnisse der letzten Stunde oder Auffrischung der Bauanleitung
60 min: Bau des Hubschraubers und Experimente
10 min: Erklärung und Zusammenfassung der Ergebnisse

Dieses Experiment setzt die Schlussfolgerungen aus der 4. Stunde fort und erlaubt nun zum ersten Mal einen angetiebenen Flug.. Die Erklärung für den Steigflug sollten die Kinder möglichst selbst finden, nur wenn dies nicht gelingt, werden wir auflösen.

5. Stunde: Luft strebet nach Ausgleich

Unterrichtsvorbereitung:

- Material beschaffen:
  - 1 weiche Plastikflasche
  - 2 Trinkhalme mit unterschiedlichen Durchmessern
  - Knetmasse
  - Karton
  - Klebeband
  - Schere
- Eine Textanordnung herstellen
- Material auslegen

Zeitplan: 15 min: Wiederholung der Ergebnisse der letzten Stunde
30 min: Bau der Rakete
30 min: Probeflüge
15 min: Auswertung

3. Experiment: „Eine Rakete aus komprimierter Luft“ [3]

Aufbau:

- Ein Loch in den Deckel bohren (möglicherweise Unterstützt durch uns)
- Den dünnen Trinkhalm herein stecken und mit Knetmasse befestigen bis keine Luft mehr austritt
- Den zweiten, dickeren Trinkhalm in zwei Teile schneiden und aus einem die Rakete bauen
- Mit Klebeband an das hintere Ende der Rakete zwei Dreiecke aus Karton befestigen
- Das andere Ende mit Knetmasse verschließen

Durchführung:

- Rakete auf dünneren Trinkhalm schieben und auf die Falsche drücken

Beobachtung:

- Die Rakete fliegt nach vorne weg.
- Und fällt anschließend zu Boden

Erklärung:

- Die Luft wird komprimiert und will einen Ausgleich herstellen mit der nicht komprimierten Luft außen, daher strömt si aus und stößt die Rakete weg.
- Die Rakete fällt zu Boden, da die Schwerkraft sie anzieht

Dieses Experiment soll den Kindern vermitteln, dass Luft immer versucht einen Ausgleich zwischen höheren und tieferen Druck herzustellen. Dies ist wichtig, da wir in der nächsten Stunde das Ausströmen der Luft aus dem Ballon erklären müssen.

6. Stunde: Rückstoß

Unterrichtsvorbereitung:

- Materialbeschaffung
  - Verschieden Luftballons
  - Strohalme
  - Klebeband
  - Klammern

- Einen Luftballons präparieren, damit Experimente vorgeführt werden kann

Zeitplan:

20 min:	Wiederholung der Ergebnisse der letzten Stunde
10 min:	Luftballons fliegen lassen
10 min:	Erklärung, warum der Luftballon fliegt (Erst Versuch durch Kinder, dann falls nötig Auflösung)
30 min:	Weitere Experimente
20 min:	Besprechung der Ergebnisse und des Rückstoßprinzips

3. Experiment: „Düsenflugzeug“ [2]

Gruppengröße: 2 - 3 Kinder

Durchführung:

- Luftballon aufblasen und mit Klammer verschließen
- Strohhalm mit Klebeband an Lufballon befestigen
- Durch den Strohalm einen Faden ziehen
- Den Faden zwische zwei Gegenstängen Spannen
- Klammer lösen

Beobachtung: DerLufballon schießt gerade nach vorne

Varriationen:

1. Ein wenig Mehl zusätzlich in den Lufballon einfüllen, damit die ausströmende Luft besser beobachtet werden kann.
2. Den Luftballon direkt mit einem Faden verbinden und den Faden an einem Gegenstand befestigen. Dann fliegt der Lufballon einen Kreis.

Erklärung: Die Luft wir nach hinten heraus gestoßen und somit wird der Lutballon nach vorne getrieben.

7. Stunde: Bau einer „Flaschen-Rakete“ [7]

Unterrichtsvorbereitung:

- Materialbeschaffung
  - 1 leere Plastikflasche
  - 1 Korken passend zu Öffnung der Flasche
  - 1 Fahrrad Ventil
  - Knetmasse

- Karton (etwas stärker)
- Wasser
- Schere
- Klebeband
- Bleistift

- Bau einer Test-Rakete
- Durchbohren aller Korken

Zeitplan:

15 min:	Wiederholung der Ergebnisse der letzten Stunde
65 min:	Bau der Rakete
10 min:	Besprechung des weiteren Vorgehens mit den Testflügen außerhalb der Junior Uni

Beim Verlassen austeilen der Junior Uni Urkunden

Bau der Rakete:

1. Drei gleiche Flügelelemente auf den Karton zeichnen und ausschneiden
2. Flügelelemente mit Klebeband ankleben, sodass die Rakete auf den Flügelkanten ein paar Zentimeter über dem Boden steht.
3. Einsetzten der Ventile

8. Stunde: Starts

Diese Stunde würden wir mit Zustimmung der Eltern auf eine Wiese außerhalb der Junior Uni verlegen, da wir die zuvor gebauten Raketen testen wollen.

Unterrichtsvorbereitung:

- Materialbeschaffung
  - Fahrradpumpe oder Handkompresse mit Verlängerungs-schlauch
  - Mehrere 10L Kanister mit Wasser
  - Trichter und Messbecher
  - Möglicherweise Höhenmess-Equipment, wie auch schon bei unseren Starts genutzt.

Zeitplan:

10 min:	Aufbau und Vorbereitung der Starts
70 min:	Starts
10 min:	Verabschiedung und möglicherweise Austeilen von Sonderurkunden mit eingetragenen Höhen der Testflüge.

Zusammenfassung

In dem Kurs wollen wir den Kindern nicht nur die verschiedenen erwähnten Konzepte beibringen, sondern auch wie man aus Beobachtungen schlussfolgert und so zu Gesetzmäßigkeiten findet, da dies in der Wissenschaft ein sehr wichtiger Faktor ist, der einem Kind möglichst früh beigebracht werden sollte.

5.2. Kurs für 14 bis 18 Jahre alte Jugendliche

In einem Junior Uni Kurs mit etwas älteren Schülern können wir deutlich mehr Theorie machen als mit jüngeren Schülern. In einem solchen Kurs stehen uns die Möglichkeiten zur Verfügung mit den Grundlagen der Mechanik, speziell mit Bewegungsgleichungen, und den Newton'schen Axiomen zu arbeiten. Dies wäre Thema unserer ersten ein bis zwei Stunden, je nach Mitarbeit der Schüler. Wir werden sie einführen in einfache Bewegungen und uns dann zu der Bewegung einer Wasser-Luft-Rakete vorarbeiten. Da die Newton'schen Axiome eine wichtige Rolle für Bewegungen spielen und auch bei unserer Rakete Anwendung finden, werden diese unser Thema nach den Bewegungsgleichungen sein, denn unsere Schüler sollen schließlich erfahren wie die Bewegung unserer und ihrer späteren Rakete zustande kommt. Dies ist dann auch gleich eine gute Überleitung zum nächsten Thema, der Funktionsweise der Wasser-Luft-Rakete.

Nachdem die Theorie dann abgehandelt und von allen verstanden worden ist, werden wir uns die nächsten Stunden um den Bau der Rakete kümmern. Jeder Schüler wird eine eigene Rakete bauen können. Dieser Bau sollte nach der achten Stunde oder spätestens in der neunten Stunde abgeschlossen sein, damit als letztes noch mindestens eine Unterrichtsstunde Zeit ist, um die Raketen alle ein- oder mehrmals fliegen zu lassen. Ein Problem stellt jedoch die Startrampe dar. Gemessen am Zeitaufwand, den wir betreiben mussten, können wir sagen, dass es in einem zehnstündigen Kurs kaum zu schaffen ist für jeden Schüler eine Startrampe zu bauen. Wir werden in unserem Kurs daher unsere Startrampe verwenden, um die Raketen unserer Schüler fliegen zu lassen. Die einzige Lösung die wir für dieses Problem sehen ist, dass wir einen eigenen Kurs zum Bau der Startrampe geben müssten, sollten sich genügend melden, die eine eigene Startrampe bauen möchten, um ihre Rakete selbstständig steigen lassen zu können.

Wie gesagt wollen wir die letzten beiden Stunden (die vorletzte mindestens teilweise) für Testflüge mit den gebauten Raketen nutzen. Idealerweise würden wir gerne in der letzten Stunde auf eine Wiese gehen, auf der wir die Raketen sicher steigen lassen können, ohne den Druck beschränken zu müssen, weil die Rakete zu hoch fliegen könnte und beim Aufprall kaputt gehen könnte. Ob wir diese letzte Unterrichtsstunde auf einer Wiese planen können, müssten wir erst mit der Junior Uni Wuppertal klären, wenn wir einen solchen möglichen Kurs endgültig planen und absprechen.

6. Zusammenfassung

Für uns war diese Facharbeit ein voller Erfolg. Wir sind sehr zufrieden, dass wir doch recht viel geschafft haben, vor allem, da wir den Arbeitsaufwand sehr unterschätzt haben (ursprünglich war noch eine große Rakete in Überlegung). Es freut uns außerdem, dass sich unsere Vermutungen bestätigt haben bezüglich den Auswirkungen des Drucks und der Füllmenge auf die Flughöhe (Druck: Logarithmus-Funktion; Füllmenge: Parabel) bestätigt haben. Nur in einem Punkt sind wir unzufrieden und zwar, dass wir einige Flüge nicht in die Auswertung einbeziehen konnten, da die Rakete ungünstig geflogen ist. Wir bedauern sehr, dass wir keine Gelegenheit mehr hatten, diese Flüge zu wiederholen. Auch hätten wir insgesamt gerne mehr Flüge geschafft, aber die Wetterverhältnisse und zusätzliche Verpflichtungen haben das nicht schaffbar werden lassen.

Obwohl die Facharbeit zeit- und arbeitsaufwendiger geworden ist, als wir erwartet hatten, und sich teilweise auch sehr gezogen hat, sodass ein gewisses Maß an Kondition verlangt war, um nicht die Lust zu verlieren, sind wir trotzdem froh dieses Projekt gemacht zu haben. Es hat uns sehr viel Spaß bereitet, vor allem die Flüge, speziell die höheren Flüge, waren sehr spaßig und toll anzusehen. Wir bereuen trotz aller Strapazen kein bisschen, dass wir dieses Thema für die Facharbeit gewählt haben und vor allem die Chance auf einen Kurs an der Junior Uni sehen wir als ein weiteres sehr positives Produkt unserer Arbeit.

Während wir an diesem Projekt gearbeitet haben, haben wir auch gemerkt, dass es noch viel Arbeit zu diesem Thema gibt, die den Rahmen der Facharbeit bei weitem sprengen würde. Wir haben also noch Dinge, die wir nach Beendigung der Facharbeit ausprobieren können. Unteranderem wäre da die Verwendung von chemischen Reaktionen zur Erhöhung des Drucks im Korpus der Rakete, eines der Themen, die wir bedauerlicherweise nicht in die Facharbeit einbeziehen konnten. Wir denken also, dass uns unsere Rakete, oder deren Nachfolger noch eine Menge Arbeit, aber auch sehr viel Spaß bereiten werden.

7. Kritischer Rückblick

Wir haben uns länger gefragt, warum unsere Rakete nur eine solch unzufrieden stellende Höhe von ca. 26 Metern erreicht hat. Wir haben hin und her überlegt, was wir falsch gemacht haben, kamen jedoch nur zu einem Ergebnis, das möglicherweise die Ursache sein könnte: Der Seitenwind greift in unsere Ruder an der Unterseite der Rakete, wodurch die Unterseite der Rakete zur Seite geschoben wird und der Druck und das Wasser nicht ganz senkrecht nach unten entweichen, sondern mit zunehmender Schräglage auch immer mehr in horizontaler Richtung wirken und so Kraft nach oben verloren geht (Vektorbetrag bleibt gleich, aber nur die senkrechte Komponente wirkt beschleunigend nach oben). Auch in unseren Aufnahmen kann man sehen, dass die Rakete früher oder später waagerecht fliegt, bei Hochdruckflügen sogar vor dem Hochpunkt die Horizontale erreicht. Dies ist unserer Auffassung nach die einzige Schwachstelle unserer Rakete.

Warum also erreichen andere Leute viel bessere Ergebnisse, die man vielfach im Internet vorfinden kann?

Die Lösung ist unserer Meinung nach die Größe des Druckbehälters. Der Druckbehälter macht praktisch die ganze Masse der Rakete aus und wenn der Druckbehälter größer ist, kann auch mehr Wasser hinein und so eine größere Höhe erzielt werden. Hätten wir unsere zweite, große Rakete wie geplant gebaut, hätten wir, auch bei gleicher Bauweise, auf jeden Fall eine größere Höhe erzielt.

Unsere anfängliche Enttäuschung über die recht geringe Höhe war also fast gänzlich unbegründet. Die Erkenntnis, dass die Größe definitiv eine wichtige Rolle für die Höhe spielt, spornt uns noch mehr dazu an, an unserem Projekt Wasser-Luft-Rakete weiter zu arbeiten.

Danksagungen

Wir bedanken uns recht herzlich bei Herrn Winkhaus für die fachliche Unterstützung während der Arbeit. Desweiteren bedanken wir uns bei Herrn Wagener für die Bereitstellung der Software „NewtonDV“, die wir zur Auswertung der Videos benutzt haben. Unser Dank gilt außerdem Michaels Vater, Holger Zilgalvis, der nicht nur seine gewerblichen Räumlichkeiten für den Bau der Rakete sowie der Startrampe zur Verfügung gestellt hat, sondern auch tatkräftig mit Ideenreichtum und Anleitung beim Bau half. Auch müssen wir Antons Vater, Eckbert Schwager, danken der tatkräftig mit Ideen und Material geholfen hat, die Rakete möglich zu machen.

Literaturverzeichnis

[1] Anderwald, I. (1998). *Freihandversuch - Hubschrauber*. Abgerufen am 23. März 2012 von http://physicbox.uni-graz.at/unterrichtsmaterial/freihandversuche/fhv_v5.htm

[2] Bassermann Verlag. (2003). *Erstaunliche Experimente - Spielerisch Wissen entdecken.* (E.-M. Müller, Übers.) München: Bassermann Verlag.

[3] gondolino. (2004). *Das Große Buch der Experimente.* (A. Schreiber, Übers.) Berlin/Saarbrücken: Gondrom Verlag.

[4] Leitenberger, B. (28. Dezember 2011). *Ariane 5*. Abgerufen am 28. Dezember 2011 von http://www.bernd-leitenberger.de/ariane5.shtml

[5] Leitenberger, B. (28. Dezember 2011). *Geschwindigkeitsberechnung für Raketen*. Abgerufen am 28. Dezember 2011 von http://www.bernd-leitenberger.de/stufen.shtml

[6] NASA. (9. Juli 2008). *Space Propulsion & Mission Analsis Office - Nuclear Thermal Rocket Propulsion*. Abgerufen am 1. Januar 2012 von http://trajectory.grc.nasa.gov/projects/ntp/index.shtml

[7] Steindl, M. (1999). *Freihandversuch - Luftdruck Die "Flaschenrakete"*. (Uni Graz) Abgerufen am 20. März 2012 von http://physicbox.uni-graz.at/unterrichtsmaterial/freihandversuche/fhv2_d10.htm

[8] Uffrecht, U., & Poppe, T. (2001). Sekundarstufe II, Neubearbeitung - Himmelsmechnik und Raumfahrt. Klett.

[9] Uni Regensburg - Naturwissenschaftliche Fakultät IV. (31. Oktober 2008). *Luft – Experimente für die Grundschule*. Abgerufen am 23. März 2012 von http://www.chemie.uni-regensburg.de/Anorganische_Chemie/Pfitzner/demo/demo_ws0809/Luft_TMCG.pdf

[10] Verg, M. (Juni 2008). Ach du Schreck- Die Gottesanbeterin. (P.-M. Gaede, Hrsg.) *GEOlino*. Von http://www.geo.de/GEOlino/kreativ/51186.html abgerufen

[11] wikipedia. (2. September 2010). *Triangulation (Messtechnik)*. Abgerufen am 3. Januar 2012 von http://de.wikipedia.org/wiki/Triangulation_%28Messtechnik%29

[12] wikipedia. (05. Mai 2011). *Datei:Rocket stage type comparisation.svg*. Abgerufen am 01. 01 2012 von

http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Rocket_stage_type_comparisation.svg&filetimestamp=20110505172212

[13] wikipedia. (3. Januar 2012). *Entfernungsmessung*. Abgerufen am 3. Januar 2012 von http://de.wikipedia.org/wiki/Entfernungsmessung

Abschlusserklärung

Hiermit versichern wir, dass wir diese Arbeit selbstständig angefertigt, keine anderen als die von uns angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt und die Stellen der Facharbeit, die im Wortlaut oder dem Inhalt nach aus anderen Werken entnommen wurden, in jedem einzelnen Fall mit genauer Quellenangabe kenntlich gemacht haben. Verwendete Informationen aus dem Internet sind der Arbeit als Ausdruck im Anhang beigefügt.
Wir sind damit einverstanden, dass die von uns verfasste Facharbeit der schulinternen Öffentlichkeit in der Bibliothek der Schule zugänglich gemacht wird.

Anton Sebastian Schwager
Ort, Datum Unterschrift

Michael Zilgalvis
Ort, Datum Unterschrift