

FLUIDDYNAMIK UND IMPULSERHALTUNG AM BEISPIEL EINER WASSERRAKETE

Verfasser: Jonas Pfaffinger
 Betreuer: Samuel Miesch
 Schule: Kantonsschule Limmattal

Fragestellung / Zielsetzung

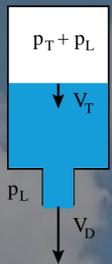
Zielsetzung dieser Maturarbeit an der Kantonsschule Limmattal war es, eine zuverlässige und sichere Wasserrakete zu konstruieren und zu bauen, mit der Berechnungen zum Flugverhalten verifiziert werden können.

Funktionsprinzip Wasserrakete

Eine Wasserrakete funktioniert so, dass ein Druckbehälter teilweise mit Wasser gefüllt und anschliessend die Luft im Tank unter Druck gesetzt wird. Wird dann der Verschluss geöffnet, so wird das Wasser aus dem Drucktank gepresst. Es entsteht ein Rückstoss, der die Rakete nach oben beschleunigt.

Simulation

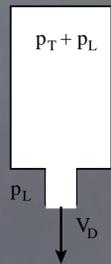
Um die Flugbahn der Rakete zu berechnen, wurde mit Microsoft Excel eine Simulation angefertigt. Dabei wurde das Verhalten mithilfe des Eulerverfahrens linear angenähert. Bei einer Wasserrakete müssen das Ausströmen des Wassers (Wasser-Ausstoss) und das anschliessende Ausströmen der verbleibenden Luft (Luft-Ausstoss) unterschiedlich berechnet werden.



Wasser-Ausstoss:
Bernoulli-Gleichung

$$\frac{1}{2} \cdot \rho_W \cdot v_D^2 = p_T + p_L - p_L$$

$$\rho_W \cdot g \cdot h + \frac{1}{2} \cdot \rho_W \cdot \left(\frac{v_D \cdot A_D}{A_T} \right)^2 = p_T + p_L - p_L$$



Luft-Ausstoss:
Compressible Flow and Choking in Converging Ducts:

$$\dot{m} = A_D \cdot (p_T + p_L) \cdot M_a \sqrt{\frac{k}{R_S \cdot T_T}}$$

$$\left(1 + \frac{k-1}{2} \cdot M_a^2 \right)^{\frac{k+1}{2(k-1)}}$$

Anfertigung

Die Rakete wurde, mit Ausnahme des Druckbehälters, komplett 3D-gedruckt. Der Druckbehälter wurde aus einem eigens angefertigten Kohlenfaserrohr, das auf beiden Seiten mit 3D-gedruckten Endkappen verschlossen wurde, angefertigt. Das ganze Rohr mit den Endkappen wurde anschliessend noch ein letztes Mal mit einer Kohlenfaserschicht umschlossen, um die Festigkeit und Dichtigkeit zu erhöhen.



Spitze

Um die Rakete sicher zurück auf den Erdboden zu bringen, wurde in der Spitze ein Fallschirm angebracht. Dieser verbirgt sich hinter einer kleinen Luke und wird automatisch ausgelöst. Um leicht an den Adapter zu gelangen, kann die Spitze abgeschraubt werden.

Adapter

Der Adapter verbindet den Druckbehälter mit der Spitze und enthält alle wichtige Elektronik: den Flugprozessor, den Akku sowie den Servomotor, mit dem der Fallschirm ausgelöst wird. Damit eine Rakete stabil fliegt, muss sich der Schwerpunkt möglichst weit vorne befinden (Center of Gravity vor dem Center of Pressure, siehe Finnen). Deshalb ist es sinnvoll, die Elektronik im Adapter zu platzieren.

Druckbehälter

Die Energie, die für einen Flug benötigt wird, wird in Form von komprimierter Luft im Druckbehälter gespeichert. Der Druck presst das Wasser während des Flugs gegen unten aus dem Tank und erzeugt so einen Rückstoss, der die Rakete nach oben fliegen lässt.

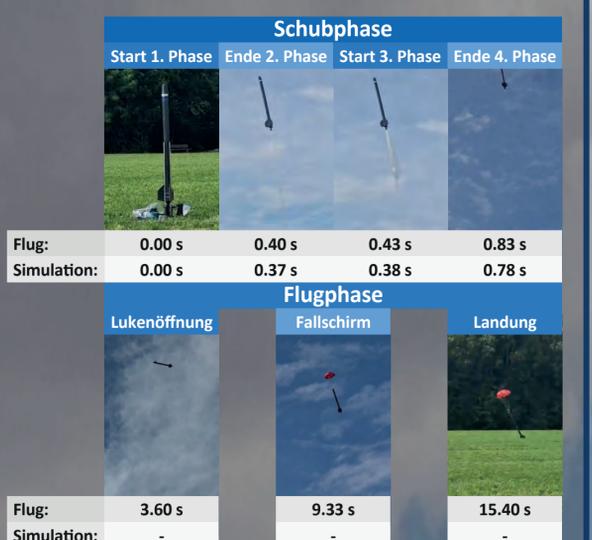
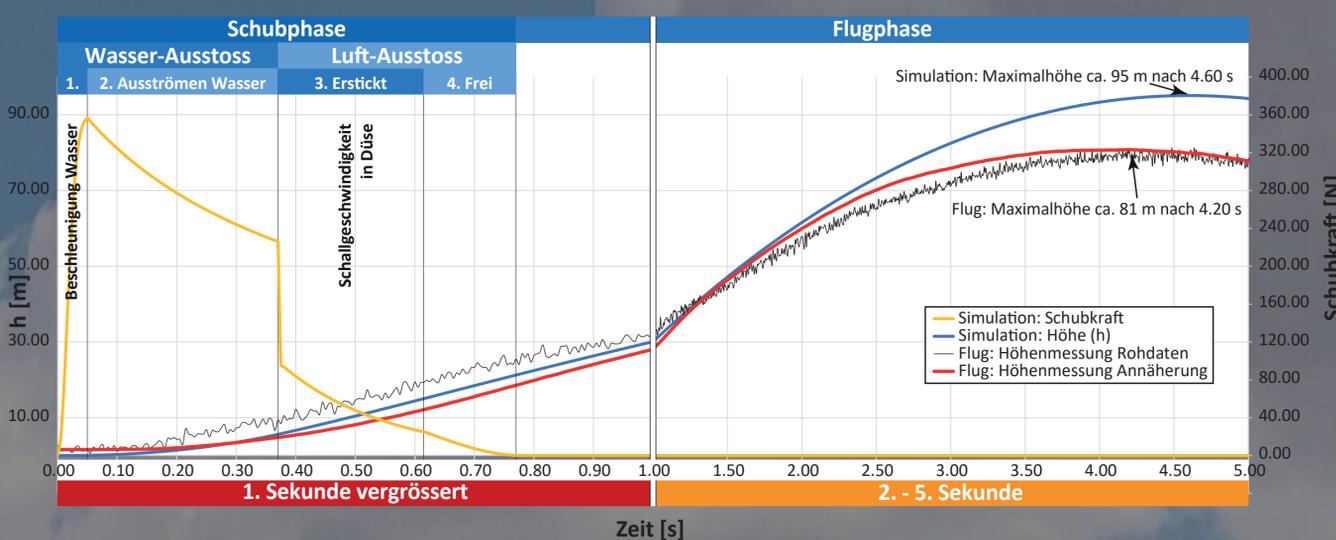
Finnen

Damit eine Rakete auf einer linearen Flugbahn gehalten wird, werden so weit hinten wie möglich Finnen angebracht. Dies sorgt für aerodynamische Stabilität (Center of Pressure).

Technische Daten

Höhe:	1.7 m
Aussendurchmesser:	81.0 mm
Düsendurchmesser:	14.8 mm
Volumen Druckbehälter:	6.13 l
Leermasse:	1.48 kg
Material Druckbehälter:	Kohlefasern / Epoxidharz
Material Düse:	Aluminium
Material Endkappen:	PETG 3D-Druck
Material Spitze/Adapter:	PETG 3D-Druck
Maximaldruck berechnet:	> 100 bar
Druck Flug (= Limite Pumpe):	11.1 bar
Wasserfüllmenge Flug:	2.5 l

Ergebnisse Simulation und Testflug



Fazit

Die Messungen aus dem Testflug und die Simulation stimmen zufriedenstellend überein. Die Simulation überschätzt die erreichte Höhe um ca. 15%. Mögliche Ursachen für diese Differenz werden in der Arbeit diskutiert. Die simulierten Schubphasen haben eine gute Übereinstimmung mit den Beobachtungen aus dem Testflug. Die Zielsetzung der Arbeit war es, «eine zuverlässige und sichere Wasserrakete zu konstruieren und zu bauen, mit der die Berechnungen zum Flugverhalten verifiziert werden können». Alle Punkte dieser Zielsetzung wurden erreicht.