

Feuerwerk?

Modellraketen und Feuerwerk haben Einiges gemeinsam. Aber auch Vieles, was sie unterscheidet.

Von Andi Wirth, ARGOS, MGSU

Am Anfang war einfach die Faszination da. Raumfahrt und Raketen. Irgendwann fand ich auf einem Flugblatt im Technorama – damals noch in einem Provisorium an der Paulstrasse in Winterthur – den Hinweis auf einen Wettbewerb, sowie Bezugsquellen für Baumaterial und Treibsätze. Als Elfjähriger kam ich 1973 natürlich noch nicht an die Raketenmotoren – aber zum Glück zögerte mein Vater nicht lange und unterstützte mich, auch bei den ersten Starts und bei den folgenden Wettbewerben. Nachdem ich mehrere Jahre Modellraketen in allen Formen gebaut, und im Rahmen eines Mathematikprojektes an der Kantonsschule ein Berechnungsprogramm für Flughöhen geschrieben hatte, schloß das Interesse irgendwann wieder ein.

Als Modellflieger und Lehrer lag es irgendwann nahe, in der Schule auch Modellbaukurse anzubieten. Dabei kam ich auf die Idee, mit den Schülerinnen und Schülern auch Modellraketen zu bauen – bei einfachen und kleinen Typen erreicht man in kurzer Zeit ein brauchbares Ergebnis. Also machte ich mich wieder auf die Suche nach Unterlagen. Unterdessen gab es das Internet und auch die ARGOS.

Für die Schule eignen sich im Allgemeinen die gleichen Modelle wie für den Einstieg ins Hobby als Einzelperson. Wie in anderen Bereichen des Modellbaus sind einfache Bausätze am besten geeignet – das Ziel ist, die Funktion zu verstehen anhand Modell, das kleinere Fehler verzeiht, aber im Grundsatz funktioniert wie die komplexeren Typen. Auf Basis der Erfahrungen mit diesen ersten Modellen sind dann komplexere und grössere Modelle möglich.

Über die Berichte in diesem Heft

In diesem Heft finden Sie als Leserin oder Leser verschiedene Beiträge zum Raketenmodellbau. Hier ein kurzer Überblick, was wo zu finden ist:

- Artikel „Feuerwerk?\": Grundlagen des Raketenfluges, Allgemeines zum Hobby auf verschiedenen Ebenen: Modellraketen, High-power-Raketen, Raketen in der Schule. Autor: Andi Wirth
- Artikel „Für Interessierte – die Physik hinter Modellraketen\": Physikalische Hintergründe. Autoren: Andi Wirth & Andreas Müller
- Artikel „Chronik des ALRS\": Der europäische Grossanlass in der Schweiz. Autor: Tom Engelhardt
- Artikel „Projekt Ariane\": Bericht über ein extremes HPR-Projekt. Autor: Jürg Thüring
- Artikel „WRAK – die Wetterrakete\": Bericht über eine Experimentalarakete eines ambitionierten Raketenbauers. Autor: Andreas Müller

Geschichtliches

Das newtonsche Prinzip $actio = reactio$ dürfte den meisten von uns aus dem Physikunterricht noch in Erinnerung sein. Es basiert auf dem Impulserhaltungssatz. Alle Rückstossantriebe funktionieren nach diesem Prinzip: Ob man nun einen aufgeblasenen Luftballon sausen oder eine Wasserrakete steigen lässt, oder ob die NASA ihr Space Shuttle in den Weltraum schießt. Natürlich gilt dies auch für alle militärischen Anwendungen; die Geschichte des Raketenantriebs ist zum grössten Teil Militärgeschichte. Wie so oft waren auch hier die Chinesen die ersten.

Die wissenschaftlichen Grundlagen für den modernen Raketenbau lieferten vor allem die Arbeiten von Hermann Oberth. Die Umsetzung im Bereich der Flüssigtreibstoffantriebe besorgten das Team um Wernher von Braun in Peenemünde und – noch etwas früher – der Russe Sergej Koroljow. Wegen der höheren

Energiedichte der flüssigen Treibstoffe und der Regelbarkeit der Antriebe waren diese Entwicklungen eine unabdingbare Voraussetzung für die Raumfahrt. Die meisten kleineren Raketen sind auch heute noch mit Feststofftriebwerken ausgerüstet, weil diese Antriebe einfacher zu handhaben sind (Lagerfähigkeit, schnelle Verfügbarkeit, kaum Nebenaggregate notwendig).

Flugverlauf

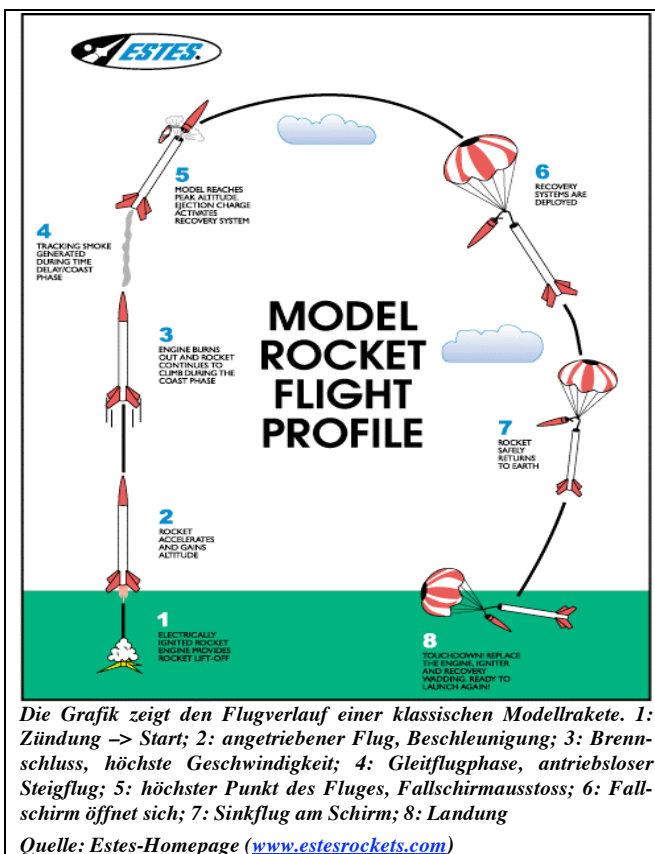
Gestartet wird eine Modellrakete von einer Startrampe. Diese muss sie so lange in Flugrichtung stabilisieren, bis sie selbst aerodynamisch stabil fliegt. Die meisten Treibsätze brennen zwischen einer und fünf Sekunden. Bei Brennschluss hat die Rakete ihre höchste Geschwindigkeit, die je nach Typ von etwa 20m/s bis etwa 500m/s gehen kann (etwa 70 bis 1800km/h).

Danach fliegt die Rakete durch den kinetischen Energieverlust, bis diese in Höhe umgesetzt ist. Zum grossen Teil jedenfalls, hoffentlich. Der Rest wird durch den Luftwiderstand in Wärme und Luftwirbel verwandelt.

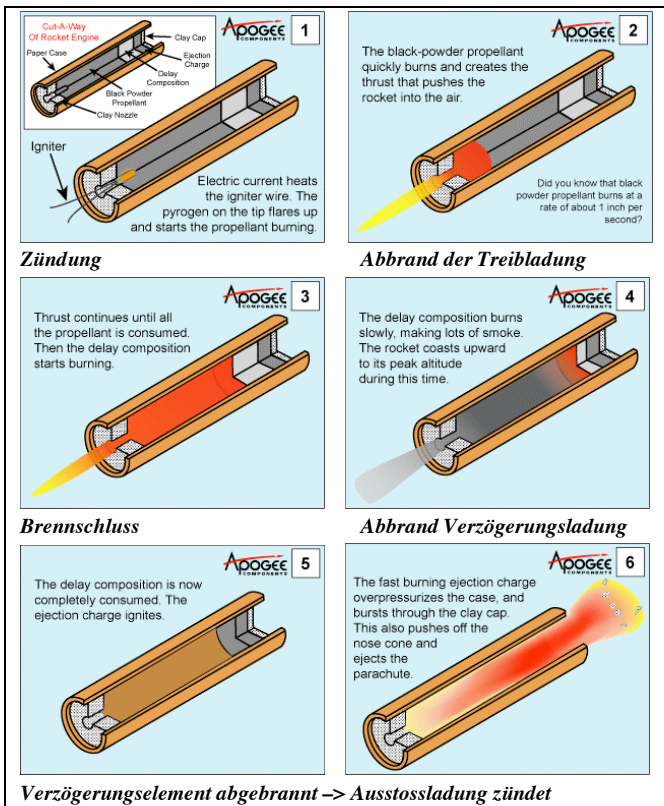
Modellraketen sollen zum im Gegensatz zu Feuerwerksraketen nicht explodieren, sondern mehrfach geflogen werden können, müssen sie über ein Bergungssystem verfügen. Dieses soll sie sicher zurückbringen, damit für die Umgebung keine Gefahr entsteht. In der Regel ist dies ein Fallschirm, bei sehr kleinen Raketen oft auch ein Flatterband (sog. Strömer).

Ausgelöst wird das System bei der grossen Mehrheit der Raketen durch eine Schwarzpulver-Ausstossladung, die im Motor integriert ist. Diese Ladung wird durch ein Verzögerungselement, dieses wiederum durch die Treibladung bei Brennschluss gezündet.

Grössere Raketen verfügen in der Regel über redundante, zweistufige Bergungssysteme. Diese werden elektronisch über Höhenmesser, Beschleunigungssensoren, Magnetfelddetektoren oder einer Kombination der genannten Systeme gesteuert. Dies sorgt bei schweren und entsprechend schnellen Fluggeräten für eine hohe Sicherheit.



Wie ein Flug abläuft ist in der weiter oben gezeigten Grafik zu sehen. Was steckt technisch dahinter? Die folgenden Grafiken zeigen den Brennverlauf eines normalen Treibsatzes mit Schwarzpulvertreibladung, Verzögerungselement und Ausstossladung.



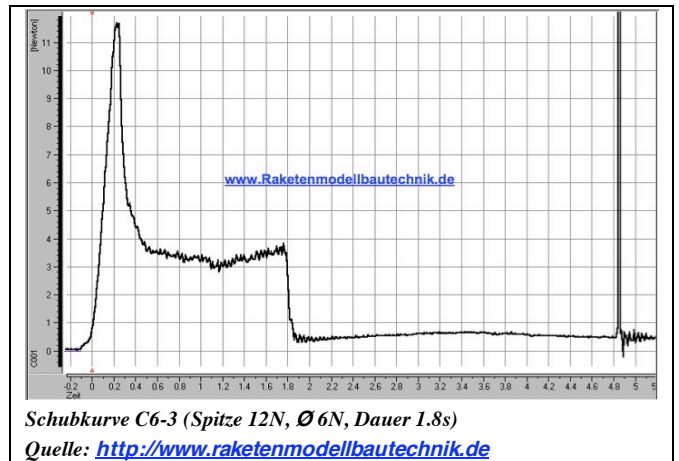
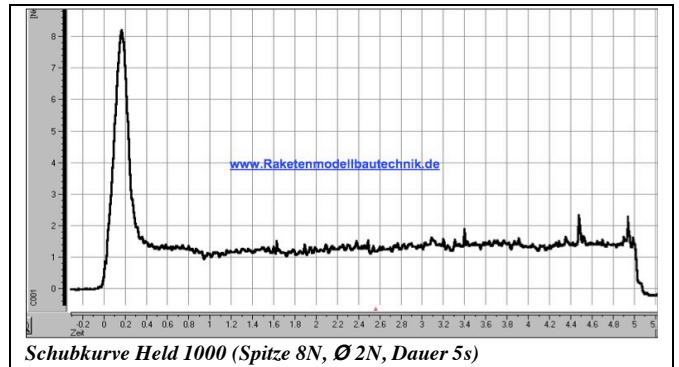
Bei den meisten Modellraketen kommen solche vorgefertigten Feststofftreibsätze zum Einsatz; ähnlich, wie sie in Feuerwerksraketen verwendet werden. Bei grösseren Raketen werden auch sog. Hybridtriebwerke verwendet, die über einen festen Brennstoff und einen gasförmigen Oxidator (in der Regel Lachgas) verfügen. Dazu später mehr.

Kleinere Treibsätze haben alle Teile (Düse aus Ton oder Zement, Scharzpulvertreibladung, Verzögerungsladung, Ausstossladung) in eine Papphülle eingepresst. Grössere Motoren haben meist Kunststoffhüllen und -Düsen, oder, bei wiederladbaren Motoren, ein Alugehäuse. All diese Systemen haben eine sehr hohe Betriebssicherheit erreicht.

Kategorien

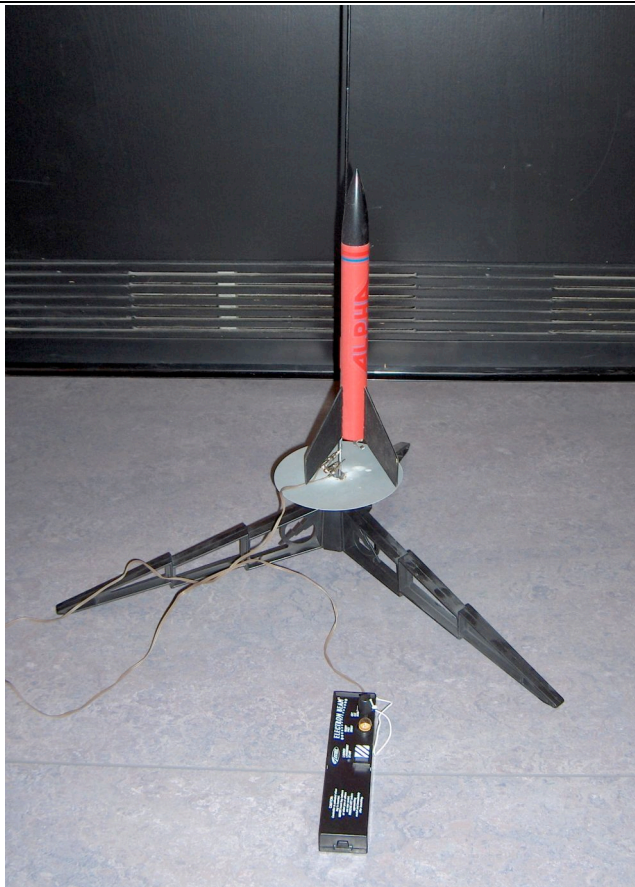
Raketenmotoren werden primär nach ihrem Gesamtimpuls eingeteilt. Gemessen wird er in Ns (Newtonsekunden). 1N entspricht der Kraft, die eine Masse von 100g auf die Unterlage ausübt (genauer: die Kraft, die es braucht, eine Masse von 1kg mit 1m/s² zu beschleunigen). 10N sind nach altem System also etwa 1kp Schub.

Ns (Newtonsektunde): Kraft mal Zeit; Masseinheit für den Impuls. Ein Treibsatz mit einem Impuls von 10Ns kann völlig unterschiedliche Brenncharakteristika haben: z.B. einen Durchschnittsschub von 1N über 10s (extremer Langbrenner), einen Schub von 10N über 1s (typischer Kurzbrenner). Zwei Vertreter dieser Impulsklasse sind der Held 1000 (Sachsen Feuerwerk) und der C6 (verschiedene Hersteller, typisch Estes, USA).



Der erste der beiden Raketenmotoren eignet sich wegen des geringen Startschubes nur für sehr leichte Raketen. Er wurde auch für einen anderen Zweck entwickelt: Er sollte kleine und leichte Raketengleiter ohne Fernsteuerung antreiben.

Der zweite ist ein sehr häufig gebrauchter Raketenmotor für Modellraketen bis etwa 100g.



Typische Modellrakete: Estes Alpha auf der Rampe, mit Zündgerät im Vordergrund. Treibsätze: A8-3, B4-4, C6-5

Um Raketenmotoren schnell und einfach einschätzen zu können, werden sie üblicherweise mit einer Buchstaben- und Zahlengruppe klassifiziert. Beispiel:

C6-3

Dabei steht der Buchstabe („C“) für den Gesamtimpuls, die erste Zahl („6“) für den Durchschnittsschub, und die zweite Zahl („3“) für die Verzögerung vom Brennschluss bis zum Fallschirmausstoss.



Beispiele für Schwarzpulvermotoren. Von links nach rechts (in Klammern: Durchmesser und Hersteller):

1/2A3-2 (13mm, Estes), Held 1000 (15mm, SF), C6-3 (18mm, Estes), D12-0 (24mm, Estes), F80-0 (27mm, FSI – wird nicht mehr hergestellt). Der letzte Treibsatz gehört schon zu den MPR (Medium-power)-Motoren.

Die Buchstaben stehen für folgende Impulsbereiche:

Impuls	Startgewicht	typischer Motor
A: 1.25 - 2.5 Ns	ca. 20g	A8-3
B: 2.5 - 5 Ns	ca. 50g	B4-4
C: 5 - 10 Ns	ca. 100g	C6-3
D: 10 – 20 Ns	ca. 200g	D12-5

Raketen mit Motoren in diesen Klassen werden als Modellraketen bezeichnet. Wie Sie sicher bemerkt haben, bedeutet der jeweils nächste Buchstabe eine Verdoppelung des Impulses. Es geht entsprechend weiter mit den sogenannten Medium-Power-Raketen:

E	20-40Ns	ca. 300g	E16W, E23T
F	40-80Ns	ca. 400g	F40W, F52T
G	80-160Ns	ca. 600g	G33J, G64W

Unten:

Zwei Vertreter von MPR (Medium-Power-Rocket)-Motoren: in der Mitte ein 24mm-Gleitermotor, rechts ein 29mm-Motor (ganz links zum Vergleich ein C6). Es handelt sich um Alugehäuse, in die vor dem Flug die Ladung eingebaut wird. Das 24mm-Gehäuse nimmt Reloads von D-E auf, das 29mm-Gehäuse solche von E-G. Hersteller: Aerotech (www.aerotechrocketry.com)



Danach folgen die High-Power-Raketen (HPR). Diese Motoren sind in den meisten Staaten nur mit entsprechenden Zertifizierungen erhältlich. Es handelt sich dabei um ein Selbstregulierungssystem der amerikanischen Dachverbände TRA (Tripoly Rocketry Association) und NAR (National Association for Rocketry).

Level 1:

H 160-320Ns	ca. 1kg	H128W, H242T, H220T
I 320-640Ns	ca. 2kg	I161W, I300T

Level 2:

J 640-1280Ns	ca. 4kg	J350W, J415W
K 1280-2560Ns	ca. 8kg	K550W, K1100T
L 2560-5120Ns	ca. 15kg	L850W, L1120W
Level 3: ab M (5120Ns)		M1939W, N2000W

Bei Motoren im Modellraketenbereich wird im Allgemeinen – wie schon gesagt – Schwarzpulver als Treibmittel verwendet. Darüber werden meist Composit-Treibstoffe auf Ammoniumperchloratbasis verwendet, zum Teil auch Doppelbasentreibstoffe auf Nitroglycerinbasis. Bei den beiden letztgenannten stehen meist Firmen dahinter, die auch kommerzielle oder militärische Raketenmotoren herstellen. Eine Besonderheit der Composite-Treibstoffe ist, dass der Oxidator (Ammoniumperchlorat, NH_4ClO_4) zum Teil auch eine Brennstoffkomponente mitliefert (Wasserstoff). Als Hauptbrennstoff und zugleich Bindemittel dient synthetischer Gummi (HTPB). Darum sind Composite-Treibstoffe auch weniger schlag- und kälteempfindlich als Scharzpulver, bei denen das Treibmittel spröde ist. Zudem ist der spezifische Impuls sehr viel höher (höhere Energiedichte). Über verschiedene Zusätze kann die Abbrandgeschwindigkeit reguliert werden. Nebenbei entstehen dabei auch unterschiedlich Flamm- und Rauchfarben. Aerotech verwendet folgende Mischungen:

T: Blue Thunder; schneller Abbrand, blaue Flamme, kaum Rauch, hoher Wirkungsgrad.

R: Red Line: etwas langsamerer Abbrand, rote Flamme, wenig Rauch.

W: White Lightning: mittelschneller Abbrand, leuchtende, weisse Flamme, weisser Rauch; eine ähnliche Mischung wird in den Space Shuttle-Boostern verwendet.

J: Black Jack: sehr langsamer Abbrand, kaum sichtbare Flamme, dichter, schwarzer Rauch

Die meisten Raketentreibsätze werden in den USA hergestellt. Bekannte Firmen sind Estes (Schwarzpulver, 1/4A bis E), Aerotech (Composite, D bis N), Cesaroni (Composite, G bis M) sowie einige kleineren Hersteller. In Europa ist vor allem SF (Sachsen Feuerwerk / WECO) bekannt, der Raketenmotoren im A-E-Bereich, unter anderem auch für Quest, herstellt.



Drei HPR (High-Power-Rocket)-Motoren bzw. deren Gehäuse (Hersteller Aerotech bzw. Dr. Rocket). Gefüllt werden sie mit Composite-Reloads. Die drei Gehäuse decken den Impulsbereich von 180 bis 360 Ns ab (H bis niedriger I). Sie können mit oder ohne Ausstossladung verwendet werden.



38mm-Motoren-Set: Impulsbereich 240 bis 1080Ns (H bis J – Level 1 bis 2). Unten in der Mitte liegen zum Vergleich wieder die 9V-Batterie und der C6-Motor.

Hybridantriebe

Hybridantriebe sind eine Kombination aus Fest- und Flüssigantrieben. Im Gegensatz zur Raumfahrt haben Flüssigkeitsantriebe bei Modellraketen keine Bedeutung. Sie sind viel zu kompliziert, schwer zu beherrschen, neigen zum Explodieren beim Zünden. Allerdings haben sie einen sehr viel grösseren Wirkungsgrad (spezifischer Impuls) als Feststoffmotoren.

Sowohl bezüglich Komplexität wie auch bezüglich Wirkungsgrad dazwischen liegen Hybridantriebe. Im Allgemeinen wird ein fester Brennstoff (im Allgemeinen ein Kunststoff, meist auch hier HTPB) mit einem flüssigen Oxidator (fast immer Lachgas, N_2O) kombiniert. Sie sind sehr flexibel im Einsatz und haben ausserdem den Vorteil, dass beide Komponenten für sich weitestgehend ungefährlich sind.

Sicherheit

Eine Frage, die mir immer wieder gestellt wird: „Sind Raketen nicht gefährlich?“

Ein klares Ja zur Antwort. Wer sich an ein paar wenige Grundregeln hält, sorgt dafür, dass er ein für sich und alle Anderen ungefährliches Hobby betreibt. Diese Regeln sind im so genannten Sicherheitskodex zusammengefasst. Hier die wichtigsten Punkte, zum Teil gekürzt; *kursiv* angefügt sind Erläuterungen:

1. Geeignete Materialien: Holz, Kunststoffe, Karton, Papier - und vor allem: Metalle nur dort, wo sie zwingend nötig sind.

Grund: Metalle haben eine hohe Dichte und eine entsprechende Durchschlagskraft bei Abstürzen oder Motorzerlegern.

2. Motoren: nur zertifizierte Raketenmotoren verwenden, keine eigenen „Basteleien“.

Damit sollen Unfälle beim Herstellen und Zünden vermieden werden.

3. Bergung: Raketen haben über ein geeignetes Bergungssystem zu verfügen.

Damit sollen „Geschosse“ vermieden werden, die ungebremst zum Erdboden zurückkehren. Meist geschieht die Bergung durch einen Fallschirm.

4. Limiten: max. 1.5kg / 320Ns bei Modellraketen; für grössere Raketen braucht es eine Zertifizierung.

Ab dieser Grenze tauchen Kräfte auf, die einen anderen Umgang mit den Materialien und andere Verfahren beim Betrieb erfordern, um die Sicherheit zu gewährleisten.

5. Flugstabilität: nur getestete oder berechnete Raketen werden gestartet.

Damit sollen „Marschflugkörper“ vermieden werden - also Raketen, die unkontrolliert in irgendeine Richtung davon fliegen.

6. Nutzlasten: keine lebenden Tiere, keine brennbaren oder explodierenden Materialien.

7. Startrampe: Muss stabil genug sein, damit sie nicht mit der Rakete umkippen kann (Seitenwind!) und die Rakete so lange führen, bis sie schnell genug für einen stabilen Flug ist. Ausserdem muss sie eine Strahlumlenkung haben.

Bei sehr stark motorisierten Raketen muss zudem dafür gesorgt werden, dass die Rampe nicht durch den Startschub angehoben werden kann, falls die Rakete klemmen sollte.

Die Strahlumlenkung oder Prallplatte sorgt dafür, dass die heissen Gase nicht auf den Untergrund treffen.

8. Startgelände: Muss genügend gross sein (Faustregel: Quadrat mit der Seitenlänge der halben erwarteten Flughöhe), frei von Hindernissen, unüberblickbaren Strassen, Häusern und trockenem Gras. Mit einem Countdown muss dafür gesorgt werden, dass die Leute in meiner Umgebung über den bevorstehenden Start informiert und aufmerksam sind.

Grund: Trotz aller Sicherheitsmassnahmen kann etwas schief gehen. Indem ich dafür Sorge, dass niemand ohne es zu wissen innerhalb der Reichweite meiner Rakete ist, Sorge ich für zusätzliche Sicherheit.

Die Regel mit dem trockenen Gras bezieht sich weniger auf den Start (da sehe ich, was passiert), sondern auf die Landung, bei der die Rakete ev. noch stellenweise heiss ist (Düsenbereich, Schutzmatte vom Ausstoss) und unter Umständen nicht sofort gefunden wird.

Luftraum: Raketen gelten nicht als Flugmodelle, sondern als ballistische Flugkörper (auch wenn wir diese Art Flugbahn eigentlich verhindern wollen ...). Sie dürfen deshalb auch ohne Bewilligung durch das BAZL im nicht kontrollierten Luftraum bis 600m über Grund geflogen werden. Ausnahme ist, wenn die Untergrenze des kontrollierten Luftraumes tiefer liegt.

Für grössere Flughöhen braucht es eine Bewilligung und entsprechendes NOTAM (Notice to airmen; Mitteilung an Piloten).

Letztlich braucht es für den Start von Modellraketen nur eine grosse, gemähte Wiese mit genügend freiem Umland - und das Wissen, dass kein Flugplatz mit IFR oder CVFR-Regeln in der Nähe liegt. In der Region Zürich sind das Kloten und zum Teil Dübendorf.

Ausnahmen können in einigen Fällen mit der jeweiligen Flugsicherung vereinbart werden. So habe ich mit Schülern Modellraketen sogar schon im Nahbereich des Flugplatzes Dübendorf fliegen lassen.

Zertifizierung

Wie erwähnt sind Raketenmotoren bis G in der Schweiz für Erwachsene frei erhältlich. Darüber (also im High-Power-Bereich) braucht es eine Zertifizierung, um die Motoren erwerben und benützen zu dürfen. Als High-Power-Raketen gelten auch Raketen, die durch eine Bündelung mehr als 640Ns Gesamtimpuls erreichen oder ein Startgewicht von mehr als 1.5kg auf die Rampe bringen.

Die Zertifizierungen wiederum sind abgestuft in drei Level:

Level 1: Motorenklassen H und I. Hier muss bei der Prüfung gezeigt werden, dass der Motor richtig zusammengebaut werden kann. Dann muss ein sicherer, wiederholbarer Flug mit diesem Motor in einer Rakete dieser Klasse vorgeführt werden.

Level 2: Motorenklassen J, K und L. Hier muss zuerst eine Theorieprüfung abgelegt werden. Für den Prüfungsflug wird eine komplexere Rakete mit einem elektronischen Bergungssystem erwartet.

Level 3: Motoren ab M. Für die Prüfung muss ein Projekt geplant und durchgeführt werden, das mit dem Experten (Präfekt der TRA) besprochen und von ihm begleitet wird. Es sollte ein hohes Mass an Eigenleistung enthalten und wird - wie in den anderen Fällen auch - durch einen erfolgreichen Flug abgeschlossen.

Neben der Zertifizierung der Flieger gelten an High-Power-Flugtagen nach NAR/TRA-Regeln weitere Sicherheitsbestimmungen für den Flugbetrieb. So müssen bei grösseren Anlässen die Bereiche für Zuschauer, der Vorbereitungsraum und der Startbereich voneinander getrennt sein. Alle Starts müssen für alle Personen auf dem Areal hörbar durch einen Countdown angekündigt werden, was eine Lautsprecheranlage bedingt. Damit sich die Flyer vollständig auf ihre in der Vorbereitung zum Teil recht aufwändigen Raketen konzentrieren können, haben sie nichts mit dem Ablauf der Starts zu tun. Sie lassen sich registrieren, bereiten ihre Raketen vor, füllen die so genannte Flight card aus, auf der alle wichtigen Angaben zur Rakete vermerkt sind, und melden sich zum Start bereit. Jetzt haben sie es mit folgenden Personen zu tun:

RSO: Range security officer. Wie der Name schon sagt, ist er für einen sicheren Flugbetrieb verantwortlich. Vor allem aber kontrolliert er jede Rakete, bevor sie auf die Rampe kommt: Bei Eigenbauten muss ein Flugstabilitätsnachweis (Berechnung) vorgelegt werden, Druckpunkt und Schwerpunkt müssen am Modell markiert und plausibel sein, das Modell muss mechanisch stabil genug sein, das Bergungssystem wird erfragt, die Motorisierung im Verhältnis zum Startgewicht auf sichere Beschleunigung überprüft und so weiter. Der RSO muss mindestens Level 2 zertifiziert sein. Ziel: Vier Augen sehen mehr als zwei - Fehlüberlegungen und äussere Beschädigungen können bei diesem letzten Check entdeckt werden. Aufgrund der Simulation wird auch überprüft, ob die Flughöhe unter der Begrenzung und der Wolkenuntergrenze liegt.

Pad manager: Er assistiert dem Flyer beim Bereitstellen der Rakete, kontrolliert die Rampe, richtet sie korrekt aus, überprüft die Zündanlage. Er soll bei dichtem Betrieb die Übersicht behalten, um den Flyer zu entlasten - je nach Bergungssystem muss dieser nämlich auch auf der Rampe noch mehrer Punkte der Checkliste abarbeiten. Auch hier: durch Konzentration auf eine Aufgabe beziehungsweise vier Augen, die einen Punkt kontrol-

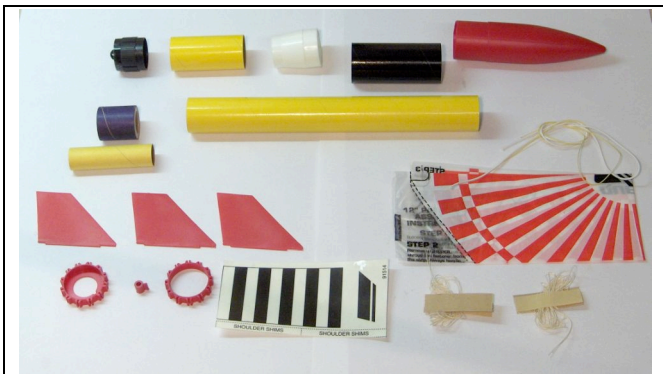
lieren, wird die Sicherheit erhöht.

LCO: Launch control officer. Er startet die Rakete und ist gleichzeitig der Sprecher des Anlasses. Dazu gehört, dass er kurze Informationen über die Rakete aufgrund der Flight card weitergibt, dann überprüft, ob das Gelände frei von Personen und der Himmel frei von Flugzeugen sind. Dann fordert er bei Erstflügen und komplexen Raketen die Zuschauer auf, aufzustehen und den Flug zu beobachten („heads up!“). Nach einer Kontrolle des Zündkreises folgt der Countdown und der Druck auf den Startknopf. Nach dem Start gibt er bekannt, ob der Schirm offen und die Rakete damit sicher ist. Hin und wieder gibt es auch dann noch eine Warnung: Wenn die Rakete am Schirm über die Zuschauer abgetrieben wird. Dies versucht der Pad manager zu vermeiden, indem er die Rampe entsprechend ausrichtet; oft aber drehen im Laufe eines Tages die Höhenwinde, was die Flugbahn und vor allem die Abdrift natürlich verändert.

Wenn Raketen von mehreren Kilogramm Masse gestartet werden, braucht es eben etwas mehr Aufwand auch beim Betrieb.

Modellraketen als Hobby

Wie schon erwähnt, eignen sich für den Einstieg Bausätze einfacher Modelle. Hergestellt werden solche z.B. von Estes oder Quest; beides amerikanische Firmen; oder in Deutschland von der Firma Noris Raketen. Zwei Beispiele:

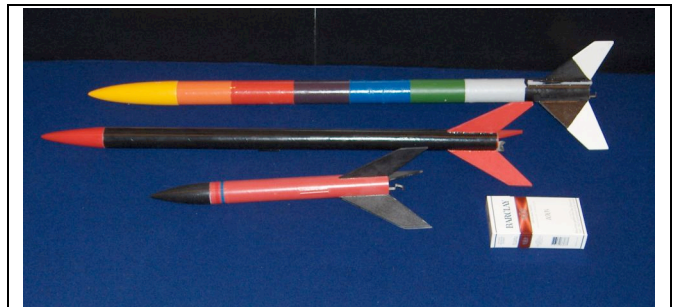


Bausatz QEZ-Payloader von Quest: weit vorgefertigte Kunststoff- und Kartonteile, kein Lack notwendig. Durch die Nutzlastkammer etwas aufwändiger.



Bausatz Comanche 3 von Estes: Kunststoffspitze, Balsaflossen; braucht etwas mehr Aufwand beim Finish, ist aber als Rakete sehr einfach – wenn man nur die Oberstufe betrachtet. An sich ist es nämlich eine dreistufige Rakete und darum nicht einsteigertauglich. Die Oberstufe entspricht in ihrer Bauweise einer einfachen einstufigen Rakete.

Fertig gebaut können Raketen dieser Kategorie aussehen wie diese:



Raketen aus einem Baukurs

Die Raketen auf dem Foto habe ich mit Kindern in einem Baukurs gebaut. Die Vorderste ist eine Estes Alpha – gebaut aus einem Bausatz ähnlich der Oberstufe der Comanche 3. Die zweite ist aus Fertigteilen von Apogee (www.apogeerockets.com) hergestellt (Ausnahme: Flossen). Solche Fertigteile geben einem die Möglichkeit, schnell und einfach verschiedene Raketen zu bauen. Die dritte Rakete ist komplett selbst gebaut: ein alltägliches Kartonrohr, eine aus Balsa gedrechselte Spitze, Balsflossen. Auch der Fallschirm und der restliche Innenausbau sind selbst hergestellt.

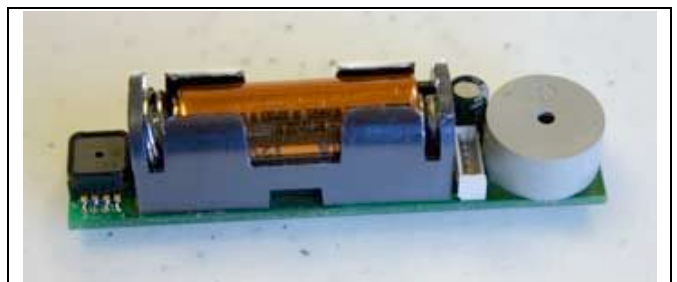
Je nach Zeit lassen sich alle Versionen mit 11 bis 12-jährigen Schülerinnen und Schülern bauen.

Wie geht es weiter?

Möglichkeiten hat man viele.

Eigenbauten (siehe vorher) in verschiedenen Grössen und Formen, mehrstufige Raketen, Nutzlastraketen (wer kann ein rohes Ei unbeschädigt wieder zu Boden bringen? Einen Höhenmesser für die Flugaufzeichnung mitfliegen lassen? Fotos aus einer Rakete machen?), Boost Glider (kleine Gleiter, die mit einer Rakete auf Höhe geschleppt werden).

Alle genannten Beispiele sind im Modellraketenbereich (Antriebe bis D) möglich. Bei Kameras sind allerdings eher E bis G-Motoren sinnvoll.



Sehr kleiner Höhenmesser (passt in ein 18mm-Rohr, nur 14g), der das Höhenprofil mit ausreichender Genauigkeit aufzeichnet. Hersteller: Perfect flight, (www.perfectflight.com).



PenCam: geeignet zum Einbau in grosse Modellraketen (D-Motoren) oder MPR-Raketen (www.aipetek.ch).



Boost Glider: Der Balsagleiter wird durch die negative Beschleunigung beim Fallschirmausstoss ausgeklinkt. Ziel ist, dass er möglichst lange in der Luft bleibt. Der Booster landet an einem Fallschirm oder Strömer (Flutterband). Hier wurde ein käuflicher Balsagleiter (Graupner Mini-Uhu) umgebaut. Treibsatz C6-3, Flughöhe ca. 150m, Flugzeit etwa 20s.

Fast alle ARGOS-Mitglieder beschäftigen sich vor allem mit Medium- und High-Power-Raketen – schliesslich ist der Vereinszweck so definiert. Nun denn – hier einige Beispiele von MPR-Raketen:



Aerotech Initiator – Länge ca. 800mm, Gewicht 450g, Motoren E16 bis G80, Flughöhen bis 600m, klassische Rakete für den Einstieg in den MPR-Bereich, Recovery (Bergung) über eine Verzögerungs- und Ausstossladung im Raketenmotor.



Start einer umgebauten Aerotech Arreaux auf einem F40W ohne Ausstossladung. Bergungssystem über einen Höhenmesser: sobald die Rakete nicht mehr steigt, wird der Hilfsschirm ausgestossen; auf einer definierten Höhe (150m) der Hauptschirm. Nutzlast: Aiptek PenCam VGA 400.

Länge ca. 1m, Startgewicht ca. 650g, Flughöhe 250-900m

Unten: Ein Standbild aus dem Video, das bei diesem Flug gedreht wurde.



Auch ein MPR-Antrieb: Ein F16RCJ treibt einen Raketengleiter an (umgebauter Bat Glider; Hersteller: Heinrich, CZ). Spannweite: 1.35m, Gewicht: 600g, Flughöhe ca. 250m (je nach Flugstil – im Steigflug sind Rollen und andere Figuren möglich).



Das Modell von unten



Auch das ist möglich: Twin Jet (EPP-Modell von Multiplex, Antrieb mit zwei SPEED 400 bzw. 480er-Elektromotoren). Und natürlich ein Booster: Aerotech F16RCJ

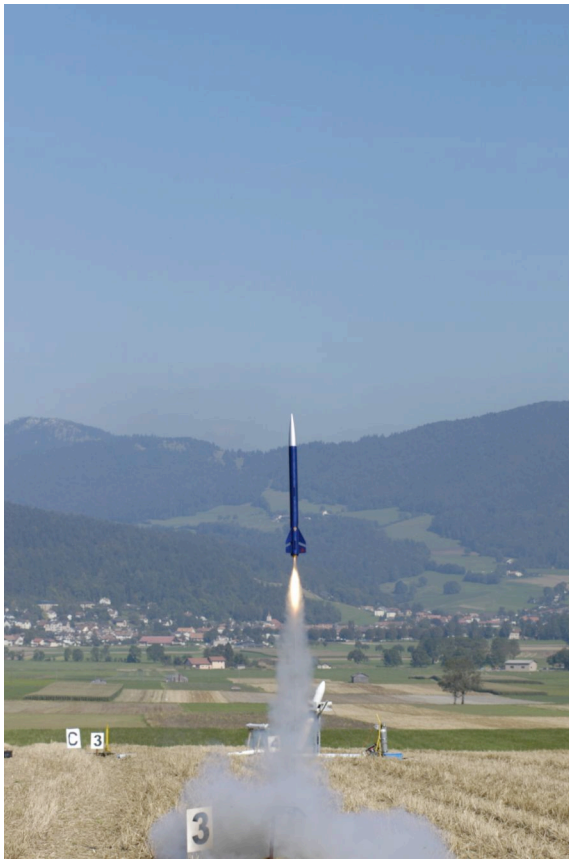


Einige HPR-Modelle:



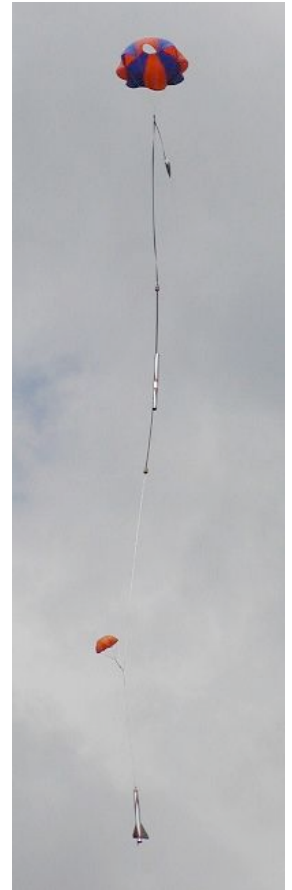
Little Lunar Express auf der Rampe: ca. 3kg, Motoren H242T oder I161W, Flughöhen ca. 250-400m (Hersteller: PML, www.publicmissiles.com)

Unten: Start und Rückkehr einer Level 1-Rakete (Endavour von PML)



Hilfe eines kombinierten Höhen- und Beschleunigungsmesser wird auf dem höchsten Punkt der Flugbahn ein Hilfsschirm ausgestossen (im rechten Bild der untere, kleinere Schirm). An diesem sinkt die Rakete schnell (ca. 10-15m/s), aber stabil und treibt auch aus grosser Höhe nicht weit ab. In geringer Höhe (100-200m) wird der Hauptschirm ausgestossen, der die Rakete noch mit etwa 4m/s sinken lässt, so dass sie unbeschadet aufsetzt.

Länge ca. 2m, Startgewicht ca. 2.4kg, Motoren H123W bis I211W; Flughöhen ca. 300 – 1200m



Dieses System wird auch bei Level 2 & 3 –Raketen angewandt. Da ist es dann allerdings üblich, zusätzlich ein ebenfalls elektronisches Backup-system zu verwenden. Bei der obenstehenden Rakete wird als Backup die Ausstossladung des Motors kurz nach dem höchsten Punkt gezündet und verpufft normalerweise ins Leere.

Raketen in der Schule

Start und Bergung einer Level 1-Rakete mit zweistufiger Bergung. Mit

Hier lasse ich Bilder sprechen: Flugtag nach einem Wahlfachunterricht im Werken einer sechsten Klasse. Man beachte: es hatte auch zwei Damen unter den „Raketeuren“!





Linkliste

Wie heute allgemein üblich, können wichtige Informationen im Internet gefunden werden. Sehr viel eindrücklicher und vor allem auch anschaulicher ist natürlich wie immer der direkte Kontakt.

Kommen Sie an einen unserer Flugtage! Hier können Sie den Raketenfliegern über die Schulter schauen, können beim Vorbeireiten der Raketen Fragen stellen – die meisten geben sehr gerne Auskunft und freuen sich über das Interesse. Allerdings gibt es Situationen, während derer eine hohe Konzentration vonnöten ist, damit beim Vorbereiten kein Punkt vergessen geht. In solchen Momenten werden die Erbauer dann eher einsilbig – aber das kehrt sich nach einem erfolgreichen Flug ins Gegenteil.

Hier trotz dieses Bekenntnisses zum direkten Erleben hier einige informative Links – ohne Anspruch auf Vollständigkeit.

Schweizer Vereine:

<http://www.argoshpr.ch> Seite der ARGOS. Hier finden Sie viele Informationen über Aktivitäten des Vereins, Know how zum Thema HPR-Raketen, und eine weitere Linkliste. Tripoly-Präfektur in der Schweiz – darf also Level-Zertifizierungen nach TRA vornehmen (siehe „Kategorien“). Mitglieder aus der ganzen Schweiz, Deutschland, Österreich, Italien.

http://www.modellflug.ch/space/adressen_s.html Kontaktadressen zur MG Rak. Die älteste Raketenmodellbaugruppe der Schweiz. Spezialisiert auf FAI-Wettbewerbe.

Internationale Dachorganisationen:

<http://www.tripoli.org>

<http://www.nar.org>

Amerikanische Dachorganisationen, die Raketenmotoren zertifizieren. Lokale Präfekturen (in der Schweiz die ARGOS) übernehmen die Level-Zertifizierung der Raketenbauer.

Forum:

<http://www.raketenmodellbau.org> Forum zum Thema Raketenmodellbau. Viele Beiträge zu allen Themen im Zusammenhang mit Raketen, auch Raumfahrt. Zum Teil wird heftig gestritten; es steckt aber enorm viel Wissen hinter den Modellbauern, die

schreiben. Sehr umfangreiche Linkliste und brauchbare Suchfunktion.

Private schweizer Seiten:

<http://www.radelow.modellraketen.net>

<http://www.modell-raketen.ch>

Zwei private Seiten, die verschiedene Aspekte des Modellraketenbaus zum Thema haben.

Deutsche Vereine (ohne lokale Gruppen):

<http://gruppen.tu-bs.de/studver/erig/> Experimentalraketen-Gruppe der TU Braunschweig

<http://www.ag-modellraketen.de/> Relativ junger Verein, der vor allem Flugtage im Modellraketenbereich organisiert.

<http://www.ramog.org> Deckt den ganzen Bereich ab: Modellrakete, Experimental, Sport nach FAI, veranstaltet Schulungen nach Sprengstoffgesetz.

<http://www.rmv-82.de> Spezialisiert in Jugendarbeit, Organisation von Wettkämpfen nach FAI über den ganzen Modellraketenbereich.

<http://www.dera.de> Deutsche Experimental-Raketen Arbeitsgruppe.

<http://www.hgv-raketen.de/> Hobbygruppe Vaihingen/Enz; Regionalgruppe, aus der Jugendarbeit entstanden. Viele Mitglieder sind oft auch an ARGOS-Flugtagen anzutreffen.

<http://www.solaris.de> Trägerverein des RMB-Forums. Organisiert auch eigene Flugtage.

<http://www.modellraketen.org>, <http://www.modellraketen.info>, <http://www.rakenwelt.de/imr> Miteinander verhängte Organisationen, die in allen deutschsprachigen Teilen Europas präsent sind. In der Schweiz kaum aktiv (2004 keine Flugtage).

<http://raketenmodellbautechnik.de> Private Seite einiger engagierter Modellbauer. Sport, Lehre und Forschung.

<http://www.bernd-leitenberger.de/raktreib.html> Umfangreiche Seite zu verschiedenen Themen im Zusammenhang mit Raketenantrieben. Einige Ungenauigkeiten, aber sehr informativ. Beispiel für eine der vielen privaten Homepages, die im Internet zu finden sind.

Bezugsquellen:

Estes-Modellraketen und –Treibsätze: Im Modellbaufachhandel. Importeur: Arwico <http://www.arwico.ch>

MPR-Teile (Aerotech-Bausätze und –Motoren): Im Modellbaufachhandel. Importeur: Spacetec <http://www.spacetecrocketry.com/>

HPR-Teile (Bausätze verschiedener Hersteller und HPR-Motoren; nur für zertifizierte Benutzer): <http://www.spacetecrocketry.com/>

Viel Vergnügen!

Fotos/Grafiken:

Estes, Apogee Rocketry, Sachsen Feuerwerk, RMT, Andi Wirth, Aiptek, Emil Giezendanner, Matthias Gloor, Peter Gisder, Thomas Stach, Dani Lauber, Roger Müller