

Richtiges Design von Bergungs-Systemen

Kap. 1 : Grundlagen

von Jürg Thüring

© 1998 Spacotec GmbH

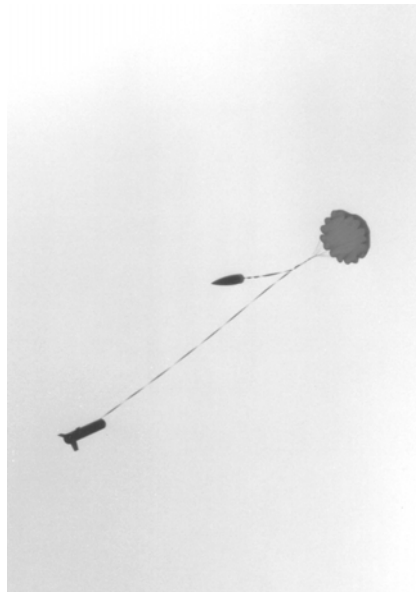
Vervielfältigung in irgend einer Form ohne schriftliche Genehmigung verboten.

Die grössten Schwierigkeiten bietet in der Regel nicht die angetriebene Flugphase sondern die sichere Bergung des Raketenmodells. In dieser Serie werden die Grundlagen für zuverlässige Bergungssysteme erläutert.

Wer hat es nicht schon erlebt: Laut zischend steigt die Rakete hoch, erreicht ihren Gipfelpunkt... und dann beginnt das Zittern:

Wird der Fallschirm ausgestossen, entfaltet er sich, bleibt alles zusammen oder reisst es den Fallschirm einfach ab?

Was bei kleinen Raketen von wenigen Gramm selten Grund zum Nachdenken bietet, verdreht sich bei Medium- und HighPower Raketen ins Gegenteil: Die gigantischen Belastungen im Bergungssystem stellen einen vor schier unlösbare Probleme... solange man mit konventionellen Methoden ans Werk geht. Während man bei kleineren Modellen getrost den Fallschirm einfach irgendwo nahe dem Gipfelpunkt austossen kann, würde eine mehrere Kilogramm schwere Rakete diesen einfach zerfetzen, wenn sie noch genügend Geschwindigkeit hat. Zum Glück ist aber die gute alte „ESTES-Methode“ der Fallschirmbergung nicht der Weisheit letzter Schluss, durch geeignete Massnahmen lassen sich Bergungssysteme bauen, welche auch extreme Situationen problemlos meistern können.



Grundsätzliche Betrachtungen

Eine wichtige Unterscheidung innerhalb aller fallschirmgestützter Bergungssysteme ist diejenige zwischen kontrolliertem und unkontrolliertem Deployment (= Fallschirmausstoss).

Klassisch wird im Raketenmodellbau der Fallschirm unkontrolliert in den umgebenden Fahrtwind ausgestossen und öffnet sich „irgendwie“.

Es ist plausibel, dass man auf diese Weise keinerlei Kontrolle über die Öffnungscharakteristik des Fallschirmes hat, es entstehen die gefürchteten „Schnapp-Kräfte“ wenn sich der Fallschirm schlagartig öffnet.

Als Faustregel kann davon ausgegangen werden, dass bei Fallschirmen bis zu etwa 1.5m Durchmesser diese Kräfte beherrschbar bleiben, bei grösseren Fallschirmen vermögen in ungünstigen Fällen selbst auf mehr als 500kg Zugkraft ausgelegte Leinen dieser Last nicht standzuhalten und reissen einfach ab oder aber der Fallschirm wird zerrissen.

Es ist also nötig, das unkontrollierte, schlagartige Öffnen des Fallschirmes zu vermeiden und zu einem kontrollierten Deployment zu kommen.

Es gibt viele verschiedene Wege, dies zu erreichen, Grundvoraussetzung für alle Systeme ist aber das sogenannte „Lines first“ (Leinen zuerst) Deployment, was bedeutet, dass die Fallschirmleinen zuerst vollständig gestreckt sein müssen bevor sich die Fallschirmkuppel öffnen kann. Wie dies erreicht wird, dazu später mehr.

Weiter kann auch der Fallschirm gerafft werden (Reefing), indem man die Leinen mit einem umlaufenden Band zusammenfasst und so die Entfaltung des Fallschirmes begrenzt. Die Hauptfallschirme der Shuttle-Booster als Beispiel werden in vier Stufen gereeft, erst in der vierten Stufe können sich die Fallschirme voll öffnen. So wird vermieden, dass die Bremsleistung des Fallschirms über die Grenzlast hinaus anwächst und erst bei Unterschreiten einer gewissen Geschwindigkeit wird „mehr Fallschirm“ gegeben.

Denselben Effekt kann man auch mit mehreren nacheinander entfaltenen Fallschirmen steigender Grösse erzielen, wie dies zum Beispiel beim im Raketenmodellbau oft verwendeten 2-stage Deployment verwendet wird.

Je schwerer die Rakete, um so wichtiger wird auch der richtige Ausstosszeitpunkt.

Je schwerer die Rakete, um so wichtiger wird auch der richtige Ausstoss-Zeitpunkt.

Eine 10kg schwere Rakete hat 4 Sekunden nach dem Gipfelpunkt bereits wieder so viel Fahrt aufgenommen, dass ein herkömmliches, einstufiges Bergungssystem die Belastung kaum überstehen kann.

Höhenmesser und elektronische Timer sind in solchen Fällen wesentlich zuverlässigere Auslöser als der pyrotechnische Verzögerungssatz des Treibsatzes und erlauben auch redundante Systeme, was bei grossen Modellen aus Sicherheitsgründen ein Muss ist.

Höhenmesser haben vor allem in Fällen grosse Vorteile, wo die Voraussage der Gipfelhöhe mittels Computer-Simulation schwierig ist, weil unbekannte Faktoren mitwirken können. Ein Beispiel dafür ist Clustering (Triebwerks-Bündelung) wo die Fehlzündung eines Triebwerkes zu verminderter Flughöhe führt. Der Höhenmesser zündet die Auswurfladung immer am Gipfelpunkt, egal wie hoch der liegt. Doch auch hierzu später mehr.

Pyrotechnische Auswurfladungen

In der Regel werden die Fallschirme einer Rakete durch eine kleine Schwarzpulver-Ladung ins Freie geschleudert. Diese Ladung ist bei Single-Use Treibsätzen fest eingebaut, bei Reloads aber muss sie, wie alle anderen Komponenten auch, eingebracht werden.

Und bereits hier lohnen sich ein paar Gedanken, denn diese Ladung ist selten optimal dimensioniert, sondern ein Kompromiss für alle möglichen und unmöglichen Fälle.

Bei grösseren Modellen (ab 6cm Durchmesser) sollte man die Grösse der Auswurfladung nicht über den Daumen abschätzen sondern sie ausrechnen!

Nicht in allen Fällen ist „mehr“ nämlich besser, mehr Schwarzpulver heisst mehr thermische Belastung für Fallschirm und Schockleinen, mehr Brandschäden also, aber auch mehr Bewegungsenergie der ausgestossenen (oft mit Bleiballast beschwerten) Raketenspitze.

Ich habe (in den USA) schon Raketen gesehen, bei welchen durch zu kräftig dimensionierte Ladungen die Spitze so heftig weggeschleudert wurde, dass sie den Fallschirm samt Schockleine aus der Rakete gerissen hat. Andere Raketen wurde sogar regelrecht von der Ladung zerlegt.

Bemessung der Auswurfladung

(Vereinfachte Formel in den Einheiten Gramm, Bar und Zentimeter. Eigentlich sollte grundsätzlich mit internationalen Einheiten gerechnet werden, wenn ein Taschenrechner zur Verfügung steht)

Für die Bestimmung der benötigten Schwarzpulvermenge gilt die Gasgleichung:

$$m_{BP} = dP * V / (R * T) * 100 \quad ; \text{ Faktor 100 wegen Gramm, Bar und Zentimeter)$$

dP = Druck in Bar (1Bar = 10N/cm² = 100'000pa)

R = 119.12[(m * N) / (kg * K)]

V = Kammervolumen in cm³

T = Verbrennungstemperatur = 1837 K

m_{BP} = Schwarzpulver in g

Anwendung in Raketen: 1 – 1.3 Bar = 15 – 18 PSI

Daraus kann vereinfacht für zylindrische Fallschirm-Compartments die benötigte Schwarzpulvermenge m_{BP} wie folgt berechnet werden:

(D = Durchmesser, L = Länge)

$$\text{Für 1Bar Druck:} \quad m_{BP} = 0.00038 * D * D * L \quad (\text{in g und cm})$$

$$\text{Für 1.3Bar Druck} \quad m_{BP} = 0.00049 * D * D * L \quad (\text{in g und cm})$$

Zur Entkräftigung von Befürchtungen dass 1.3Bar nicht genug sei, hier ein Beispiel:

Die Rakete habe 10cm Durchmesser.

Daraus folgt dass die Spitzen-Bodenfläche (auf welche der Gasdruck wirkt) etwa 75cm² (r*r*3.14) beträgt.

Das heisst wiederum, dass die Spitze bei 1.3 Bar Druck mit 75cm²*1.3*10N/cm² = 975N ausgestossen wird, was einer Gewichtskraft von 100kp entspricht! Sicher mehr als genug! Bei Rohrdurchmessern von mehr als 10cm muss sogar mit niedrigeren Drücken gearbeitet werden.