

## Effizienzsteigerung im KSP-Raketenbau

### Versuchsaufbau:

Programmversion: Kerbal Space Program Version 0.17.1

Für die Tests wurde das Raketenmodell „[Simple Mun Lander](#)“ von Quabit verwendet. Die Rakete verfügt im untersten Booster-Bündel über 5 Raketenmotoren. Dieses Booster-Bündel bildet 2 Raketenstufen. Die äußeren Motoren speisen ihren Treibstoff in das mittlere Triebwerk (Crossfeeding). Folglich leeren sich die äußeren Tanks am schnellsten und werden entleert ab gesprengt.

### Versuchsbeschreibung:

Es wird untersucht wie sich die Verschaltung der Raketen-stufen auf die Leistungsfähigkeit der Rakete auswirkt. Zuerst wird die Rakete im Originalzustand ohne Steuerbewegung und mit aktiviertem SAS senkrecht gestartet und die Höhen [m] und Geschwindigkeiten [m/sec] gemessen die bei dem Abbrand und den Stufenabtrennungen ermittelt wurden. Anschließend wurde dieser Test mit einer Modifizierung der der Treibstoffleitungen und Auslösung der Entkoppler wiederholt. Mit jeder Rakete wurden 3 Starts durchgeführt, die Werte von allen 3 Starts rechnerisch gemittelt und Ausreißerwerte sowie Folgefehler ignoriert. Die letzte Stufe die den Lander darstellt wurde nicht gemessen.

Anschließend wurde die Rakete im unteren Booster-Bündel um 2 weitere Booster erweitert. Die 7 Booster wurden im ersten Durchgang nach dem Crossfeeding-Verfahren in 2. Stufen aufgeteilt und im 2. Durchgang in symetrischen Kaskaden zu 2 Boostern in 4 Stufen unterteilt.

Die angegebenen Messwerte sind bereits die gemittelten Messwerte der Versuchsreihe. Die Zeitbeschleunigung wurde nicht verwendet, da diese zum Teil fehlerhaft arbeitet und die Messergebnisse verfälschen würde.

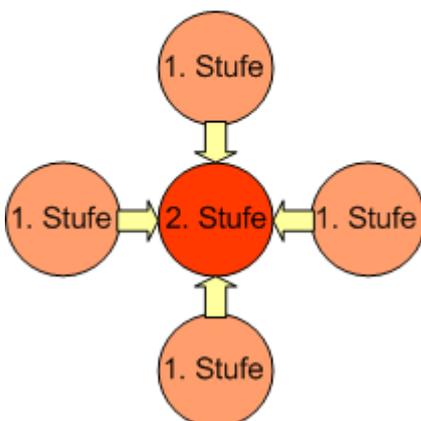
### I. Versuchsreihe:

#### Versuchsreihe I

Mit Treibstoffverteilung,  
5 Tanks & Triebwerke in 2 Stufen

Originale Rakete „Simple Mun Lander“ mit Crossfeeding-Anbindung und 5 Raketen-boostern in 2 Stufen (unterer Booster-Bündel).

Die darüberliegende Ebene (Eine Stufe) wird mit gemessen und bildet die 3. Stufe.



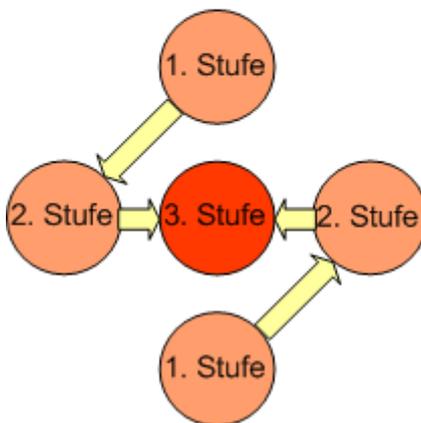
Trennung der Stufen	Höhe [m]	Geschwindigkeit [m/s]
1. Stufe	18.606	623,7
2. Stufe	112.446	1.472,0
3. Stufe	181.512	2.328,6

## II. Versuchsreihe:

### Versuchsreihe II

Mit Treibstoffverteilung, 5 Tanks & Triebwerke in 3 Stufen, kaskadiert

Modifizierte Rakete „Simple Mun Lander“ mit Kaskadenanbindung-Anbindung und 5 Raketenboostern in 3 Stufen (unteres Booster-Bündel)  
Die darüberliegende Ebene (Eine Stufe) wird mit gemessen und bildet die 4. Stufe.



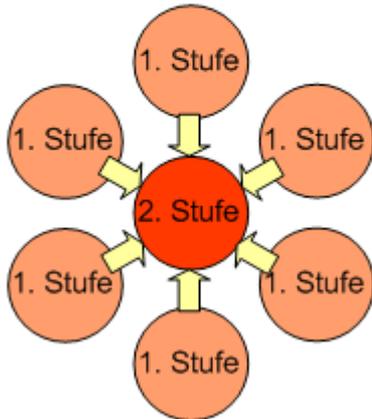
Trennung der Stufen	Höhe [m]	Geschwindigkeit [m/s]
1. Stufe	4.578	188,2
2. Stufe	27.344	719,2
3. Stufe	138.027	1.663,3
4. Stufe	214.082	2.536,4

### III. Versuchsreihe:

#### Versuchsreihe III

Mit Treibstoffverteilung, / 7 Tanks & Triebwerke, 2 Stufen

Modifizierte Rakete „Simple Mun Lander“ mit Crossfeeding-Anbindung und 7 Raketenboostern in 2 Stufen (unteres Booster-Bündel)  
Die darüberliegende Ebene (Eine Stufe) wird mit gemessen und bildet die 3. Stufe.



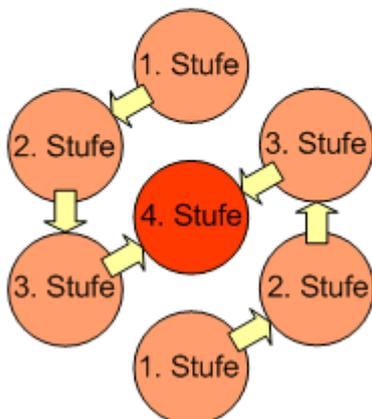
Trennung der Stufen	Höhe [m]	Geschwindigkeit [m/s]
1. Stufe	25.140	908,9
2. Stufe	153.976	1.851,7
3. Stufe	237.020	2.738,2

### IV. Versuchsreihe:

#### Versuchsreihe IV

Mit Treibstoffverteilung, / 7 Tanks & Triebwerke, 4 Stufen, kaskadiert

Modifizierte Rakete „Simple Mun Lander“ mit Kaskaden-Anbindung und 7 Raketenboostern in 5 Stufen (unteres Booster-Bündel)  
Die darüberliegende Ebene (Eine Stufe) wird mit gemessen und bildet die 5. Stufe.



Trennung der Stufen	Höhe [m]	Geschwindigkeit [m/s]
1. Stufe	2.843	159,3
2. Stufe	10.953	312,8
3. Stufe	52.586	1.184,9
4. Stufe	215.379	2.231,1
5. Stufe	313.140	3.149,8

### Gegenüberstellung der Versuchsreihen

Um die Versuchsreihen miteinander vergleichen zu können, müssen verschiedene Raketenstufen miteinander verglichen werden. Eine Vergleichbarkeit ist gewährleistet wenn das Raketen-Bündel mit seinen identischen Massen und Anzahl Boostern verglichen wird. Diese Vergleichbarkeit wird erreicht wenn folgende Stufen gegenüber gestellt werden:

*Versuchsreihe I*, Stufe 2 entspricht *Versuchsreihe II*, Stufe 3 (1. Boosterbündel)

*Versuchsreihe III*, Stufe 2 entspricht *Versuchsreihe IV*, Stufe 4 (1. Boosterbündel)  
Versuchsreihe I vs. Versuchsreihe II

Versuchsreihe I			Versuchsreihe II			Differenz	
Stufen	Höhe [m]	Geschwindigkeit [m/s]	Stufen	Höhe [m]	Geschwindigkeit [m/s]	Höhe [%]	Geschwindigkeit [%]
			1. Stufe	4.578	188,2		
1. Stufe	18.606	623,7	2. Stufe	27.344	719,2	+ 46,9	+ 15,3
2. Stufe	112.446	1.472,0	3. Stufe	138.027	1.663,3	+ 22,7	+ 13,0
3. Stufe	181.512	2.328,6	4. Stufe	214.082	2.536,4	+ 17,9	+ 8,9

*Versuchsreihe II vs. Versuchsreihe III*

Versuchsreihe I			Versuchsreihe II			Differenz	
Stufen	Höhe [m]	Geschwindigkeit [m/s]	Stufen	Höhe [m]	Geschwindigkeit [m/s]	Höhe [%]	Geschwindigkeit [%]
			1. Stufe	2.843	159,3		
			2. Stufe	10.953	312,8		
1. Stufe	25.140	908,9	3. Stufe	52.586	1.184,9	109	30,0
2. Stufe	153.976	1.851,7	4. Stufe	215.379	2.231,1	39	20,5
3. Stufe	237.020	2.738,2	5. Stufe	313.140	3.149,8	32	15,1

**Auswertung der Versuchsergebnisse:**

*Versuchsreihe I vs. Versuchsreihe II:* Betrachtet man nur die Booster des ersten Bündels (1. Ebene) ergibt sich für diese Ebene einen Vorteil für die Kaskadenschaltung gegenüber dem klassischen Crossfeeding. Der Unterschied beträgt für die Höhenleistung ca. 46,9 % und nimmt gesamt gesehen auf den Gesamten Zyklus der Trägerrakete auf 17,9 % ab. Der Unterschied bei der Geschwindigkeit fällt nicht so gravierend aus. Beträgt der Vorteil für die Kaskade auf der 1. Ebene noch 15,3 % schrumpft dieser bis zur Landerstufe auf 8,9 %

*Versuchsreihe III vs. Versuchsreihe IV:* Die Gegenüberstellung der Booster des ersten Bündels (1. Ebene) ergibt für die Kaskadenschaltung einen Zuwachs in der Höhe von ca. 109 % gegenüber der Crossfeeding-Schaltung. Gesamt gesehen auf den gesamten Zyklus der Trägerrakete schrumpft der Höhenvorteil auf 32 %. Für die Geschwindigkeit besteht der Wertvorteil der Kaskade von 30% für die 1. Ebene. Auf die gesammte Rakete schrumpft der Wert auf 15,1%.

**Schlußfolgerung**

Das Ziel der Versuchsreihe war, herauszufinden welche praktischen Unterschiede eine Kaskadenverschaltung und Aufteilung auf mehrere Stufen verursacht. Das Ergebnis kann nicht 1 : 1 auf andere Raketenmodelle übertragen werden, wohl aber die Tendenz. Es gilt festzuhalten, dass ab einer Kreuzanordnung (5 Motoren) eine Kaskadierung möglich ist und die Aufteilung auf 3. statt 1 oder 2. Stufen einen Energievorteil mit sich bringt. Dieser Vorteil steigt stark an je mehr Motoren in der Ebene vorhanden sind (5, 7, 9 Motoren) und diese in mehrere Stufen unterteilt (3, 4 oder 5 Stufen). Da anscheinend in der Version 0.17.1 noch keine Widerstandsbeiwerte für Aerodynamische Abdeckungen im Spiel ausgewertet werden, ist zu erwarten das bei einer Berücksichtigung dieser aerodynamischen Verkleidungen in einer späteren Programmversion sich der Vorteil für die Kaskadenaufbau noch verstärkt.