

Titel: Flossenauslegung  
Doc. No.: TUB-DEC-TN-0029  
Issue: 01  
Issue Date: 15.03.2019

| Aktion   | Name                                       | Datum      | Signatur |
|----------|--|------------|----------|
| Erstellt | D. Maurer, R. Berger, N. Block, E. Klioner | 15.03.2019 | N/A      |
| Checked  | N/A  | N/A        | N/A      |
| Approved | N/A  | N/A        | N/A      |

## Änderungsübersicht

| Datum      | Issue | Autor   | Beschreibung der Änderung |
|------------|-------|---|---------------------------|
| 15.03.2019 | 1     | D. Maurer, N. Block,<br>R. Berger, E. Klioner | Erste Version             |
|            |       |   |                           |

## Verteiler

| Name, Organisation | Issue | Datum      |
|--------------------|-------|------------|
| TU Berlin          | 1     | 15.03.2019 |
|                    |       |            |

## Inhalt

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Änderungsübersicht .....</b>                           | <b>2</b>  |
| <b>Verteiler .....</b>                                    | <b>2</b>  |
| <b>Tabellenverzeichnis .....</b>                          | <b>4</b>  |
| <b>Abbildungsverzeichnis .....</b>                        | <b>4</b>  |
| <b>Anwendbare Dokumente (Applicable Documents) .....</b>  | <b>5</b>  |
| <b>Referenz Dokumente (Reference Documents) .....</b>     | <b>5</b>  |
| <b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>                        | <b>6</b>  |
| <b>1. Ziel der TN.....</b>                                | <b>7</b>  |
| <b>2. Trimmung.....</b>                                   | <b>8</b>  |
| <b>3. Schwerpunktberechnung .....</b>                     | <b>11</b> |
| <b>4. Druckpunktberechnung .....</b>                      | <b>14</b> |
| <b>5. Flossenauslegung .....</b>                          | <b>16</b> |
| <b>6. Zusammenfassung und Ausblick .....</b>              | <b>18</b> |
| <b>Anhang A Matlabcode zur Schwerpunktberechnung.....</b> | <b>20</b> |

## Tabellenverzeichnis

|   |    |
|---|----|
| Tabelle 1: Review Item Discrepancies WS 18/19 ..... | 18 |
| Tabelle 2: Action Items für das SS19.....           | 19 |

## Abbildungsverzeichnis

|   |    |
|---|----|
| Abbildung 1: Schwerpunkte der Kompartimente mit und ohne Trimmmasse ..... | 8  |
| Abbildung 2: Variante 1 – Trimm Massen in beiden Kompartimenten.....      | 9  |
| Abbildung 3: Variante 2 – Versetzen der Telemetrum Assembly .....         | 10 |
| Abbildung 4: zeitliche Wanderung des Schwerpunktes des Raketentanks ..... | 11 |
| Abbildung 5: Schwerpunktwanderung für verschiedene Trimmvarianten .....   | 13 |
| Abbildung 6: Excel Sheet zur Flossenauslegung nach Barrowman .....        | 14 |
| Abbildung 7: Flossenparameter.....  | 17 |
| Abbildung 8: Variante A - Änderung der Kantenlänge .....                  | 17 |
| Abbildung 9: Variante B - Änderung der Befestigungshöhe .....             | 17 |

## Anwendbare Dokumente (Applicable Documents)

| No. | Issue | Document |
|-----|-------|----------|
|     |       |          |

## Referenz Dokumente (Reference Documents)

| No.  | Issue | Document   |
|------|-------|--|
| RD01 | 01    | TUB-DEC-LI-0002_01.01.00.000_01_Decan+Unterstufe v1.1 Stückliste |
| RD02 | 01    | TUB-DEC-TN-0031_Akku - Auswahl, Gehäuse und Lagerung             |
| RD03 | 01    | TUB-DEC-TN-0029_Auslegung des Bergungssystems                    |
| RD04 | 01    | TUB-DEC-TN-0001_Konstruktion und AIT „DECAN Aquarius“            |
| RD05 | 01    | TUB_DEC_3262_TN01-01_Stability_Barrowman17.02.2019               |
| RD06 | 01    | TUB-DEC-TN-0003_Entwicklung und Optimierung der US (DECAN 2015)  |
| RD07 | 01    | TUB-DEC-TN-0029_ANNEX A Barrowman Methode                        |
| RD08 | 01    | TUB-DEC-TN-0029_ANNEX B Barrowman Excel                          |

## Abkürzungsverzeichnis

| Abkürzung | Bedeutung          |
|-----------|--------------------|
| $c_{mn}$  | Kaliberstabilität  |
| $X_{CP}$  | Druckpunktlage     |
| $X_{CG}$  | Schwerpunktlage    |
| d         | Raketendurchmesser |

## 1. ZIEL DER TN

Beim letzten Start der DECAN Unterstufe löste das Bergungssystem schon während des Startes aus, was letztlich zum Absturz der Unterstufe führte. Da die Rakete infolge dessen überarbeitet wurde und sich die Gewichtsverteilung verändert hat, ist es erforderlich den Druck- und Schwerpunkt neu zu bestimmen und das Flossendesign zu überprüfen.

## 2. TRIMMUNG

Ausgangspunkt der Flossenauslegung ist die Berechnung des Schwerpunktes. Der Berechnung vorausgehend muss die Rakete getrimmt werden. Die Massen und Schwerpunkte der Kompartimente sind anzugleichen. Es entsteht eine symmetrische Schwerpunktlage.

Die Herausforderung in der Trimmung der Kompartimente besteht darin, dass in der bestehenden Konfiguration, mit nur einer Trimmmasse, die Schwerpunkte nicht auf gleiche Höhe gebracht werden können. Die Trimmmasse entspricht exakt dem Gewichtsunterschied zwischen den Kompartimenten. Sie müsste für den Ausgleich weiter unten angebracht werden, als dies möglich ist. Abbildung 1 verdeutlicht dies. Wie man sieht, ist der Schwerpunkt mit maximal nach unten verlagelter Trimmmasse immer noch höher als der Schwerpunkt des Fallschirmkompartiments.

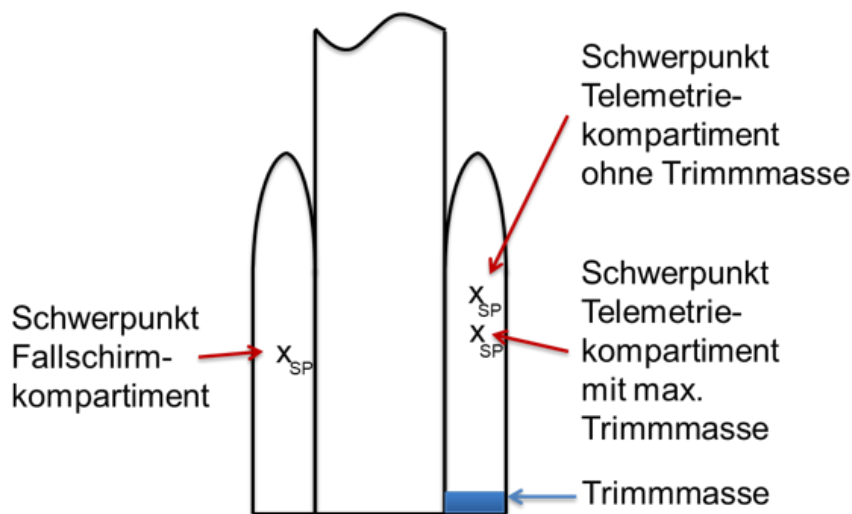


Abbildung 1: Schwerpunkte der Kompartimente mit und ohne Trimmmasse

Zur Lösung werden drei Varianten vorgeschlagen, welche im Folgenden detaillierter erläutert werden.

### Variante 1: Trimm Massen in beiden Kompartimenten

Für den Ausgleich der Schwerpunkte wird eine zweite Trimmmasse im Fallschirm Kompartiment angebracht, welche den Schwerpunkt von diesem anhebt. Diese Trimmmasse befindet sich am oberen Ende des Zylinders und weist ein Gewicht von 357g auf. Die Trimmmasse im Electronics Kompartiment beträgt 1071g und befindet sich weiterhin im unteren Drittel des Kompartiments, wie in Abbildung 2 zu erkennen.

Die Trimm Massen sind so positioniert, dass ihre Hebelwirkung zur Verschiebung des Schwerpunktes am Größten ist, ohne Strukturelemente zu behindern.

Der Vorteil dieser Konstellation besteht darin, dass der Gesamtschwerpunkt der Kompartimente nach oben wandert und die Telemetrum Assembly nicht versetzt werden muss. Der Nachteil jedoch ist das zusätzliche Gewicht von 714g.



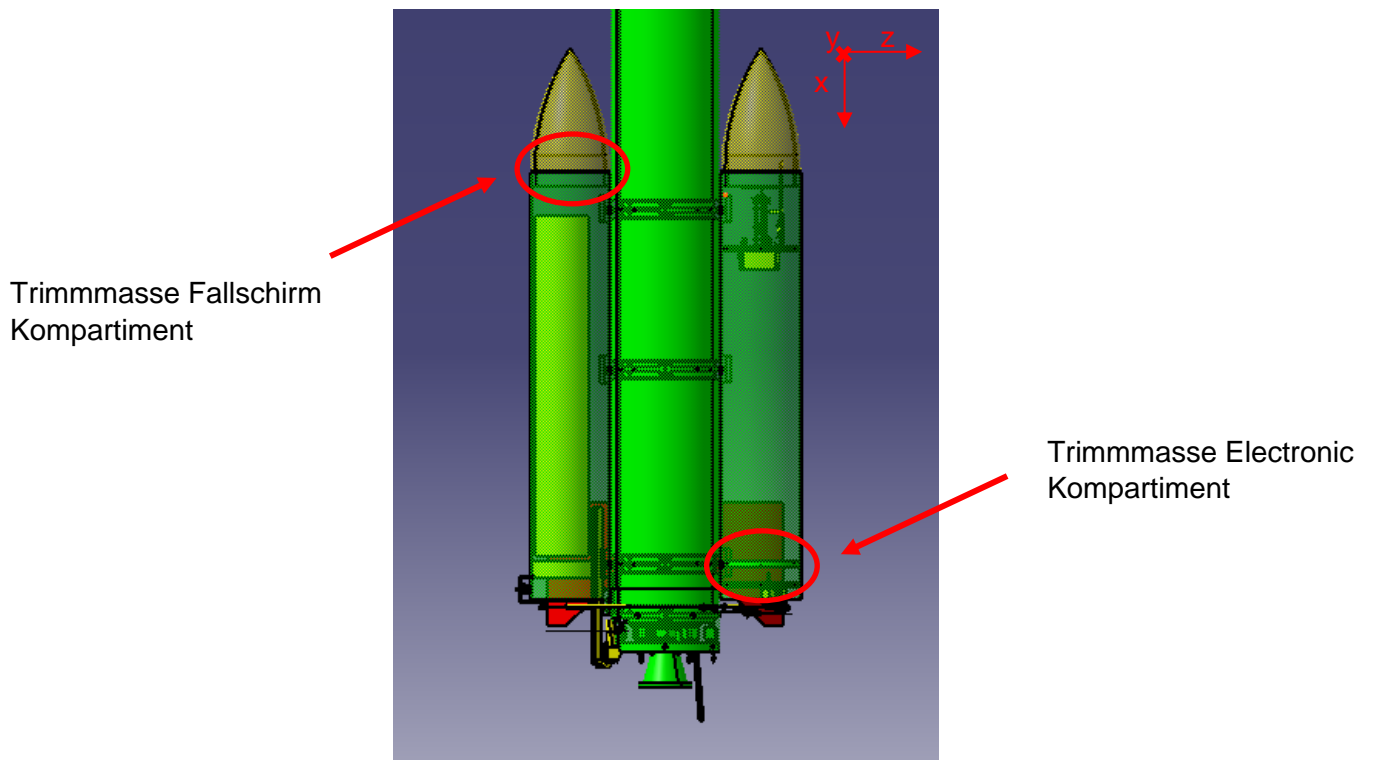


Abbildung 2: Variante 1 – Trimm Massen in beiden Kompartimenten

### Variante 2: Versetzen der Telemetrum Assembly

Um die Schwerpunkte auf gleiche Höhe zu bringen kann als zweite Variante das Telemetrum Board um 180mm nach unten versetzt werden. Die Trimmmasse von 714g wird an gleicher Stelle wie in Variante 1 positioniert, um das Gewicht der Kompartimente einander anzugleichen. Die Trimmmasse wird hierbei so angebracht, dass das Telemetrum Board so wenig wie möglich versetzt werden muss. Abbildung 3 zeigt die Konstruktion.

Der Vorteil dieser Variante besteht darin, dass das Gesamtgewicht der Rakete unberührt bleibt. Der Nachteil dieser Konfiguration ist allerdings der unter Umständen schwierigere Einbau des Telemetrum Boards.

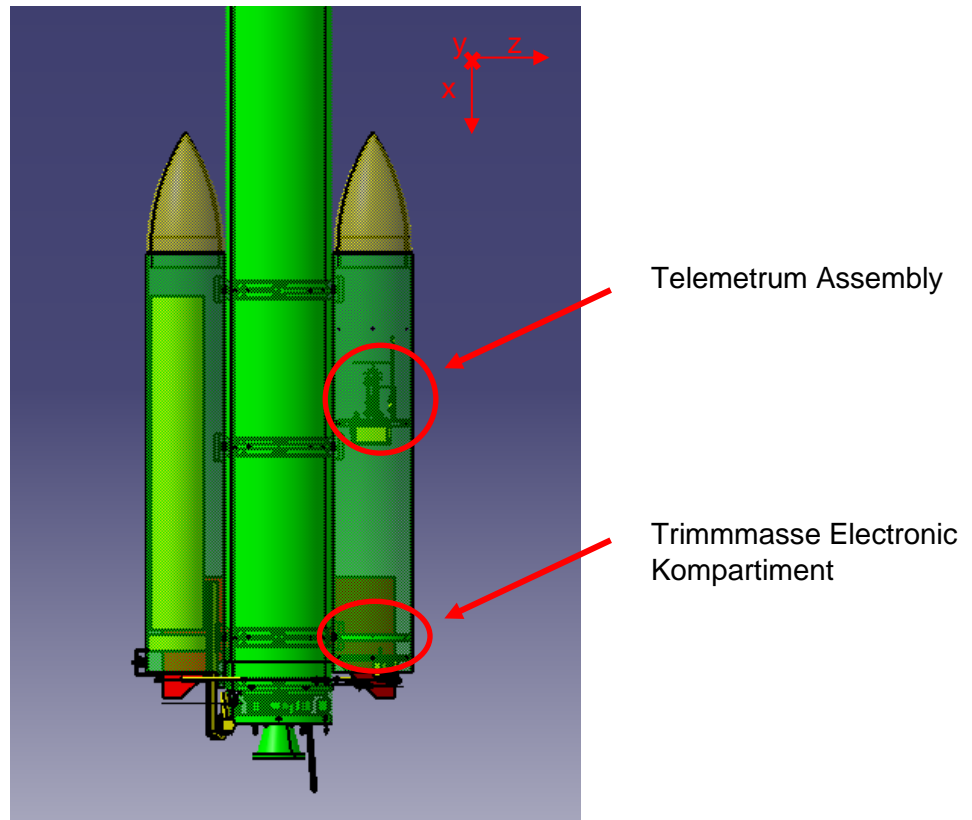


Abbildung 3: Variante 2 – Versetzen der Telemetry Assembly

### Variante 3: Nur Gewichtsausgleich

Eine weitere Variante besteht darin auf das exakte Trimmen der Kompartimente zu verzichten, lediglich das Gewicht mit Hilfe einer Trimmmasse von 714g auszugleichen, und die Schwerpunkte nur soweit es geht anzunähern. Die Trimmmasse ist hierbei analog zu Variante 1 und 2 anzubringen. Hierbei bleibt das Gesamtgewicht der Rakete und die Position der Telemetry Assembly unverändert. Aufgrund des gleichen Gewichts der Kompartimente liegt der Gesamtschwerpunkt der Rakete auf der Längsachse der gesamten Rakete. Der Nachteil besteht darin, dass die Kompartimente einen unsymmetrischen Schwerpunkt aufweisen: die einzelnen Kompartimentschwerpunkte lägen in diesem Fall 6cm auseinander.

Auf alle drei Varianten wird im Anschluss der Schwerpunktberechnung eingegangen.

### 3. SCHWERPUNKTBERECHNUNG

Der zweite Schritt zur Auslegung der Flossen besteht darin, den Schwerpunkt der Rakete zu ermitteln. Da die Rakete in CATIA hinterlegt ist, wird der Schwerpunkt über CATIA bestimmt. Hierzu werden die Massen aus der Stückliste RD01 entnommen und den entsprechenden Bauteilen in CATIA zugewiesen. Weitere durchgeführte Anpassungen sind:

- Einbau der Akkubox in die Telemetrum Assembly
- Anpassung der Schellen und des Stahlseils
- Positionierung der Telemetrum Assembly und Trimmmasse
- Füllmenge des Wassers

Die Auswahl der Akkubox und deren Design sind in RD02 dargestellt. Die Anpassung der Schellen hingegen in RD03. Die Positionierung von Telemetrum Assembly und Trimmmasse wurde in Kapitel 2 bereits diskutiert und wird im Laufe dieses Kapitels wieder aufgegriffen.

Um den Schwerpunkt final ermitteln zu können, muss die Füllmenge des Wassers in seiner zeitlichen Abhängigkeit betrachtet werden. Die Füllmenge des Wassers beträgt  $\frac{2}{3}$  des Tanks, was einem Volumen von  $0,029 \text{ m}^3$  und einer Masse von  $29,193 \text{ kg}$  entspricht. Für die Berechnung des Schwerpunktes ist es erforderlich die zeitliche Veränderung des Füllstandes zu betrachten, da sich somit auch der Schwerpunkt mit der Zeit ändert.

Dies führt dazu, dass in der späteren Auslegung der Flossen die zwei kritischen Schwerpunktlagen (Start und tiefste Schwerpunktlage) betrachtet werden müssen. Für die zeitliche Änderung der Füllmenge wird davon ausgegangen, dass sich das Wasser in überhitzter Form über den gesamten Tank ausbreitet und kontinuierlich ausströmt bis kein Wasser mehr im Tank verbleibt. Abbildung 4 zeigt den Vorgang schematisch.

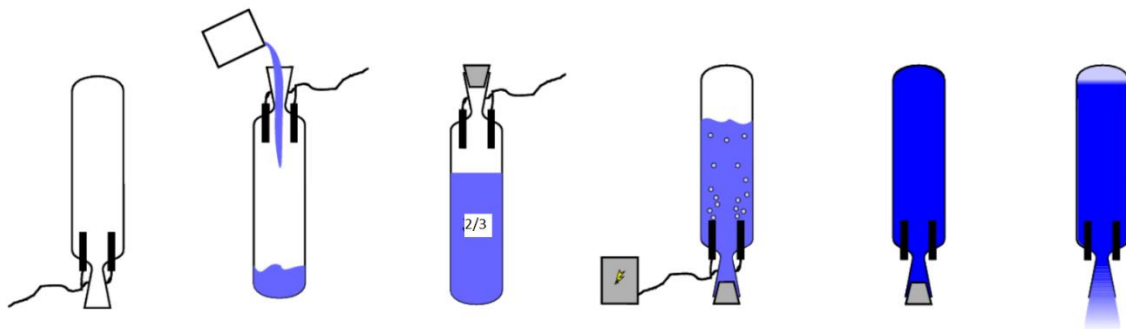


Abbildung 4: zeitliche Wanderung des Schwerpunktes des Raketentanks<sup>1</sup>

Für alle drei in Kapitel 2 erläuterten Varianten wurden die kritischen Schwerpunktlagen ermittelt. Der Vollständigkeit halber werden auch die y und z Koordinaten angegeben, jeweils für den Startfall, da sich diese nicht nennenswert ändern. Das Koordinatensystem kann Abbil-

<sup>1</sup> SCHMID; M.; Fleischer, P.; Sliwowski, F: DECAN Student Project Documentation  
2.0. Technische Universität Berlin, Berlin, Deutschland, 2015. S.162

dung 2 und Abbildung 3 entnommen werden, wobei der Koordinatenursprung in der Nasenspitze liegt.

**Variante 1:** Trimm Massen auf beiden Seiten

$$X_{CGStart} = 1409,815 \quad X_{CGCrit} = 1522 \text{ mm}$$

$$y = 0,13 \text{ mm}$$

$$z = 1,27 \text{ mm}$$

**Variante 2:** Versetzung des Telemetrum Boards

$$X_{CGStart} = 1410,105 \quad X_{CGCrit} = 1522,4 \text{ mm}$$

$$y = 0,13 \text{ mm}$$

$$z = -1,98 \text{ mm}$$

**Variante 3:** Keine Schwerpunktanpassung

$$X_{CGStart} = 1408,057 \quad X_{CGCrit} = 1519,7 \text{ mm}$$

$$y = 0,13 \text{ mm}$$

$$z = -1,3 \text{ mm}$$

Abbildung 5 zeigt die Wanderung des Schwerpunktes abhängig von der sich ändernden Wassermasse in kg.

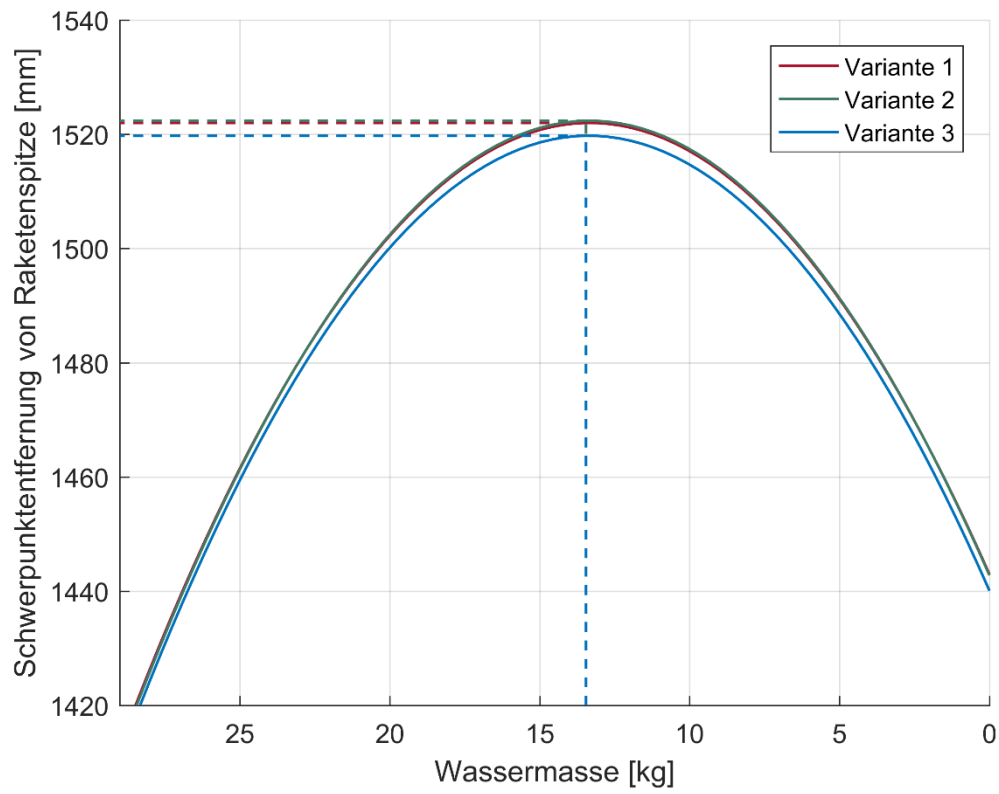


Abbildung 5: Schwerpunktwanderung für verschiedene Trimmvarianten

## 4. DRUCKPUNKTBERECHNUNG

Im Anschluss an die Berechnung des Schwerpunktes steht die Berechnung des Druckpunktes. Hierzu wird, analog zu RD04, die Barrowman-Methode benutzt.

Zugehörig zur Dokumentation der Methodik gehört RD05. Das Excel Sheet fasst die geometrischen Parameter der Unterstufe zusammen und ermittelt daraus den Druckpunkt. Die Formeln wurden dabei verglichen und auf ihre Richtigkeit überprüft<sup>2</sup>.

Abbildung 6 zeigt einen Ausschnitt aus dem Excel-Sheet. RD08 beinhaltet ein PDF des Excel-Sheets.

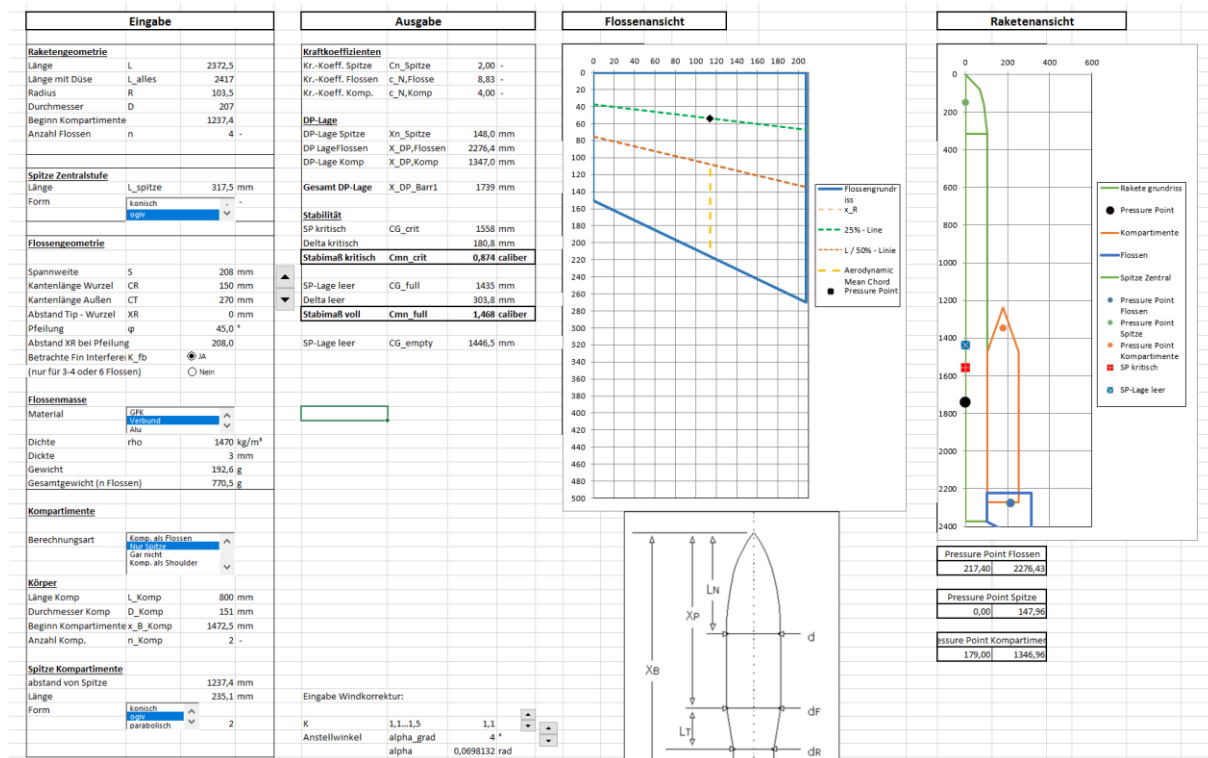


Abbildung 6: Excel Sheet zur Flossenauslegung nach Barrowman

Neben dem Druckpunkt gibt das Excel Sheet bereits die Kaliberstabilität der Konfiguration aus, auf welche in Kapitel 5 näher eingegangen wird. Die Kaliberstabilität ist definiert als die Differenz der Druckpunktlage zur Schwerpunktlage geteilt durch den Durchmesser der Rakete:

$$c_{mn} = \frac{X_{CP} - X_{CG}}{d}$$

<sup>2</sup> Die Formeln wurden mit RD07 verglichen.

Die Flugbahn einer Rakete gilt als stabil, wenn  $1 < c_{mn} < 2,5$  gilt.

Wie schon in RD04 ist eine vollständige Betrachtung des Raketendruckpunktes mit Hilfe der Barrowman-Methode nicht zu gewährleisten, da diese lediglich die Nase, zylindrische Körper, Flossen und Schultern zur Druckpunktberechnung verwendet. Somit können die Booster der Rakete nicht abgebildet werden. Um dennoch eine Aussage treffen zu können, werden die Booster jeweils einmal als Nasen, zylindrische Körper, Flossen und Schultern betrachtet.

Die schlechteste Kaliberstabilität erhält man bei der Betrachtung als Nasen, weshalb dieser Wert für die weitere Betrachtung als „worst case“ angenommen wird. Wahrscheinlicher ist jedoch, dass sich der Druckpunkt der Kompartimente zwischen diesen Annahmen befinden. Unter Annahme der Kompartimente als Nasen und der zuletzt geflogenen Flossenkonfiguration aus RD04 ergeben sich für die drei Varianten aus Kapitel 2 die folgenden Kaliberstabilitäten:

**Variante 1:** Trimm Massen auf beiden Seiten

$$c_{mnStart} = 1,181 \quad c_{mnCrit} = 0,639$$

**Variante 2:** Versetzung des Telemetrum Boards

$$c_{mnStart} = 1,18 \quad c_{mnCrit} = 0,637$$

**Variante 3:** Nur Gewichtsausgleich

$$c_{mnStart} = 1,19 \quad c_{mnCrit} = 0,65$$

## 5. FLOSSENAUSLEGUNG

Anhand der Kaliberstabilität lässt sich ablesen, ob das Design der Flossen ausreichend ist, um eine stabile Flugbahn zu ermöglichen. Aktuell liegt die Kaliberstabilität in allen drei Varianten unterhalb von 1 und würde als instabil gelten.

Zu erwähnen ist, dass die Werte einen „worst case“ wie in Kapitel 3 darstellen. Um einen weiteren Referenzwert zu erhalten wird auf RD04 und die darin enthaltene Flossenkonfiguration verwiesen. Anhand der Erfahrungen des letzten Starts am 31.03.2017 ist bekannt, dass die Rakete stabil flog.

Die Rakete in dieser Konfiguration wies einen  $c_{mnCrit} = 0,677$  auf. Dieser Wert ergibt sich aus dem Stabilitätsmaß der Unterstufe aus RD04 unter Berücksichtigung des abgerissenen Fallschirms. Die Schwerpunktwanderung wurde anhand des aktuellen Designs mit fehlendem Fallschirm angenähert und stellt einen Richtwert dar.

Hinzu kommt, dass die Kompartimente, aufgrund des fehlenden Fallschirms, weder das gleiche Gewicht noch dieselbe Schwerpunktlage aufwiesen.

Unter dieser Berücksichtigung ist zu überlegen, welche der drei in Kapitel 2 vorgestellten Varianten zu bevorzugen ist. Aus Erfahrungen der bisherigen Raketenstarts ist zu schlussfolgern, dass das exakte Trimmen der Kompartimente nicht notwendig ist. Daher wird vorgeschlagen Variante 3 zu bevorzugen, welche den geringsten konstruktiven Aufwand mit sich zieht. Geht man davon aus, dass die Rakete stabil fliegt, überwiegen die Vorteile von Variante 3.

Dasselbe gilt auch für das kritische Stabilitätsmaß. Unter Berücksichtigung der vorhandenen Versuchsdaten ist bekannt, dass die Rakete mit einem  $c_{mnCrit} = 0,677$  stabil geflogen ist. Die Abweichung beträgt 4% bei gleichbleibender Flossenkonfiguration. Die anderen Varianten weisen eine Abweichung von ca. 6% auf. Die Empfehlung ist demnach Variante 3 zu wählen und keine Trimm Massen zu benutzen. Die geringe Abweichung kann vernachlässigt werden.

Zur weiteren Verbesserung des Stabilitätsmaßes sind dennoch Änderungen am Flossendesign möglich. Dabei gelten die folgenden limitierenden bzw. entscheidenden Parameter:

- Spannweite  $S$ : maximal 208 mm  
→ durch Startturm begrenzt
- Kantenlänge Wurzel  $c_R$ : Je kleiner, desto besser  $c_{mnCrit}$   
→ Muss jedoch groß genug sein für die Befestigung der Flosse
- Kantenlänge außen  $c_T$ : Je größer, desto besser  $c_{mnCrit}$   
→ darf das Raketenende um maximal 15mm überragen
- Abstand Tip-Wurzel  $x_R$ : Je größer, desto besser  $c_{mnCrit}$   
→ weniger effektiv als  $c_T$  Vergrößerung



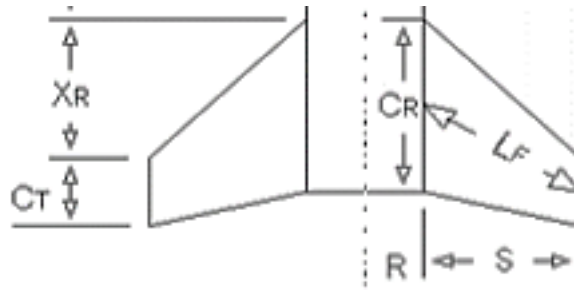


Abbildung 7: Flossenparameter

Nach Evaluation aller möglichen Änderungen sind nur zwei Varianten realistisch: Die Verlängerung der äußeren Kante (Variante A) und die Verschiebung der gesamten Flosse nach unten (Variante B). Die Varianten sowie die Schwer- und Druckpunkte sind in den Abbildungen 7 und 8 zu sehen. Aufgrund der geringen Abweichung des kritischen Stabilitätsmaßes zwischen der neuen (ausgetrimmten) und der geflogenen Rakete, wird auf ein verändertes Flossendesign verzichtet. Es wird daher die Variante 3 (unsymmetrischer Kompartimentschwerpunkt, gleiche Kompartimentmasse) mit unverändertem Flossendesign empfohlen.

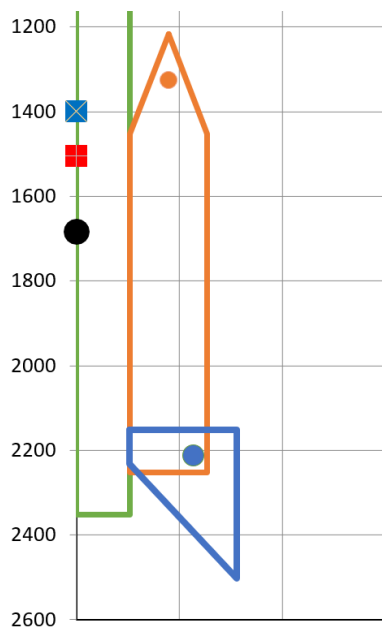


Abbildung 8: Variante A - Änderung der Kantenlänge

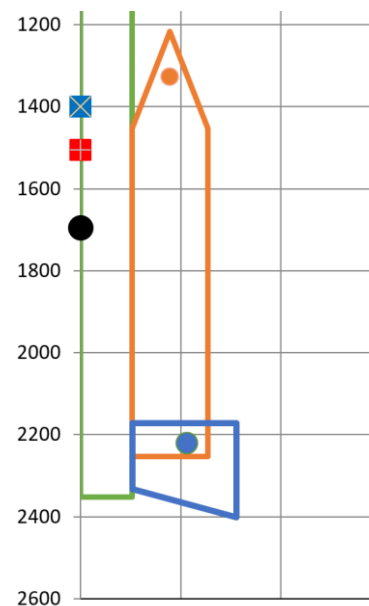
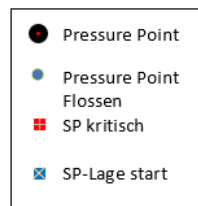
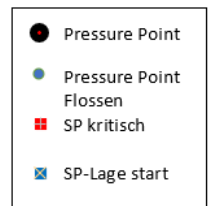


Abbildung 9: Variante B - Änderung der Befestigungshöhe



## 6. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Die TN hat den Weg zur Ermittlung des Schwerpunktes der Rakete aufgezeigt. Dabei wurde besonders auf die verschiedenen Varianten zur endgültigen Konfiguration Wert gelegt, die den Schwerpunkt und letztendlich auch den Druckpunkt der Rakete bestimmen.

Die optimale Variante besteht darin die Flossen unverändert zu lassen und die Kompartimente auf das gleiche Gewicht zu trimmen ohne den Schwerpunkt exakt anzugleichen (siehe Variante 3 in Abschnitt 2). Des Weiteren gibt diese TN Informationen zu mögliche Alternativen an Dieser Konfiguration, womit der Schwer- sowie Druckpunkt angepasst werden können.

Zusammenfassend zeigt Tabelle 1 die RIDs, die aus dieser TN folgen.

| Nummer | Beschreibung  | angepasste Lösung  |
|--------|---|--|
| RID 1  | Durch verschiedene Arbeiten an unterschiedlichen Subsystemen hat sich das Gewicht der Rakete und einzelner Teile verändert.                   | Alle Teile wurden in das CAD übertragen und mit Gewichten versehen.  |
| RID 2  | Durch die neu ausgelegte Telemetrum Assembly und das hinzugekommene Batteriefach hat sich das Gewicht des Electronic Kompartiments verändert. | Durch Einfügen einer Trimmmasse von 714g in das Electronic Kompartiment können die Gewichte der beiden Kompartimente angepasst werden.                             |
|        | Durch Veränderung des Gewichtes hat sich der Schwerpunkt sowie der Druckpunkt verändert.  | Schwer- und Druckpunktberechnungen für die geänderte Rakete wurden durchgeführt. Dabei wurde der Druckpunkt anhand der Borrowman Methode berechnet.                |
| RID 3  | Durch die Veränderung des Schwer- und Druckpunktes muss die Flossengeometrie überprüft werden.  | Eine Untersuchung der Stabilitätsmaße der Flossen hat ergeben, dass die vorhandene Geometrie bei dem Einbau einer Trimmmasse (Variante 3) beibehalten werden kann. |

**Tabelle 1: Review Item Discrepancies WS 18/19**

Für das kommende Semester ergeben sich daraus folgende Action Items:

| Nummer | Aufgaben  |
|--------|---|
| AI 1   | Festlegung des weiter zu verfolgenden Designs   |
| AI 2   | Auswahl des Flossenmaterials  |
| AI 3   | Überprüfung der Flossenanbringung   |
| AI 4   | Bei hoher Abweichung des Flossengewichts, weitere Änderung in der Telemetry Assembly oder dem Bergungssystem: erneute Schwerpunktberechnung |
| AI 5   | Experimentelle Bestimmung des Schwerpunktes   |

**Tabelle 2: Action Items für das SS19**

## ANHANG A MATLABCODE ZUR SCHWERPUNKTBERECHNUNG

Der Code wurde mit der Matlabversion *Matlab 2016a* erstellt.

```
clc;clear all;close all;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%% Raumfahrtsysteme                                     %%%%%%%%%
%%% Gruppe Mechanic                                     %%%%%%%%%
%%% 05.03.2019                                           %%%%%%%%%
%%% Maurer,D., Klioner, E., Berger,R., Block,N.         %%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%%Color Order for plots
ColLimit      = [0.6 0.6 0.6];    % Grenzen, grey
ColOrder_new = [...
    0.3010    0.7450    0.9330    % Zustand 1, light blue
    0         0.4470    0.7410    % Zustand 2, blue
    0.4940    0.1840    0.5560    % Zustand 3, violet
    0.6650    0.0780    0.1840    % Zustand 4, dark red
    0.9500    0.3750    0.0980    % Zustand 5, orange
    0.9290    0.6940    0.1250    % Zustand 6, dark yellow
    0.4660    0.6740    0.1880    % Zustand 7, light green
    0.2660    0.4740    0.3880]; % Zustand 8, dark green

% Change to new colors for all plots
set(gca, 'ColorOrder', ColOrder_new, 'NextPlot', 'replacechildren');
LineWidth = 1; % linewidth for all plots

%% Bestimmung des kritischen Punktes
% Variante 1:
% Schwerpunkte von Raktenspitze aus (Aus CATIA)
x1 = 1410.105;
x2 = 1521.916;
x3 = 1442.948;

% Zugehörige Massen
m1 = 29.193;
m2 = 12.915;
m3 = 0;

x = [m1 m2 m3];
y = [x1 x2 x3];

x1 = linspace(37,0);
p = polyfit(x,y,2);
f1 = polyval(p,x1);

max_SP_1 = max(f1);
m_SP_1 = x1(f1==(max(f1)));

col = 4;
```

```
figure (1)
hold on
h1 = plot(x1,f1,'linewidth',LineWidth,'Color', ColOrder_new(col,:));
set(gca, 'XDir','reverse')
xlim([0 29])
line([m_SP_1 m_SP_1],[1400 max_SP_1],'linewidth',LineWidth,'Color', ColOrder_new(col,:), 'LineStyle','--')
line([m_SP_1 37],[max_SP_1 max_SP_1],'linewidth',LineWidth,'Color', ColOrder_new(col,:), 'LineStyle','--')
xlabel('Wassermasse [kg]')
ylabel('Schwerpunktentfernung von Raketenspitze [mm]')
ylim([1420 1540])
grid on

%Variante 2
% Schwerpunkte von Raketenspitze aus (Aus CATIA)
x1 = 1409.535;
x2 = 1522.287;
x3 = 1442.781;
% Zugehörige Massen
m1 = 29.193;
m2 = 12.915;
m3 = 0;

x = [m1 m2 m3];
y = [x1 x2 x3];

x1 = linspace(37,0);
p = polyfit(x,y,2);
f1 = polyval(p,x1);

max_SP_2 = max(f1);
m_SP_2 = x1(f1==(max(f1)));

col = 8;
h2 = plot(x1,f1,'linewidth',LineWidth,'Color', ColOrder_new(col,:));
line([m_SP_2 m_SP_2],[1420 max_SP_2],'linewidth',LineWidth,'Color', ColOrder_new(col,:), 'LineStyle','--')
line([m_SP_2 37],[max_SP_2 max_SP_2],'linewidth',LineWidth,'Color', ColOrder_new(col,:), 'LineStyle','--')

% Variante 3
% Schwerpunkte von Raketenspitze aus (Aus CATIA)
x1 = 1408.057;
x2 = 1519.654;
x3 = 1440.08;
```

```
% Zugehörige Massen
m1 = 29.193;
m2 = 12.915;
m3 = 0;

x = [m1 m2 m3];
y = [x1 x2 x3];

x1 = linspace(37,0);
p = polyfit(x,y,2);
f1 = polyval(p,x1);

max_SP_3 = max(f1);
m_SP_3 = x1(f1==(max(f1)));

col = 2;
h3 = plot(x1,f1,'linewidth',LineWidth,'Color', ColOrder_new(col,:));
line([m_SP_3 m_SP_3],[1420 max_SP_3],'linewidth',LineWidth,'Color', ColOrder_new(col,:), 'LineStyle','--')
line([m_SP_3 37],[max_SP_3 max_SP_3],'linewidth',LineWidth,'Color', ColOrder_new(col,:), 'LineStyle','--')

legend([h1,h2,h3], ['Variante 1'],...
        ['Variante 2'], ['Variante 3'], 'location', 'northeast');
print -dpng Schwerpunkt.png -r500
```