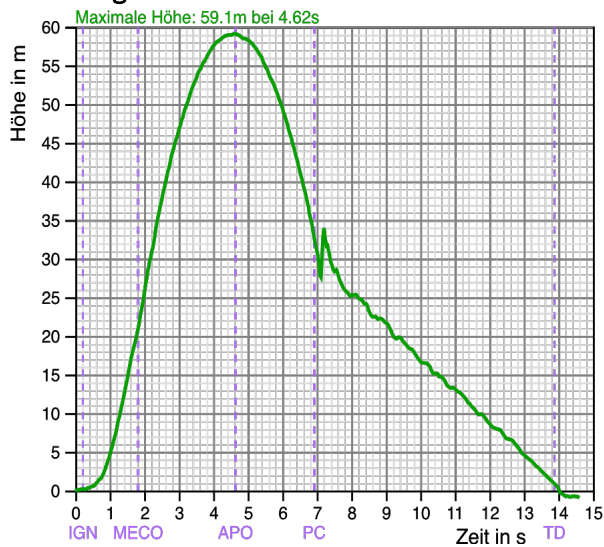


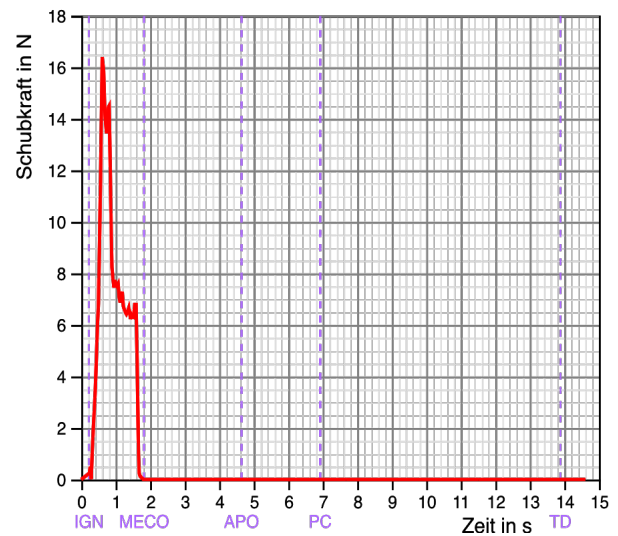
Einfache Übersicht

Höhendiagramm



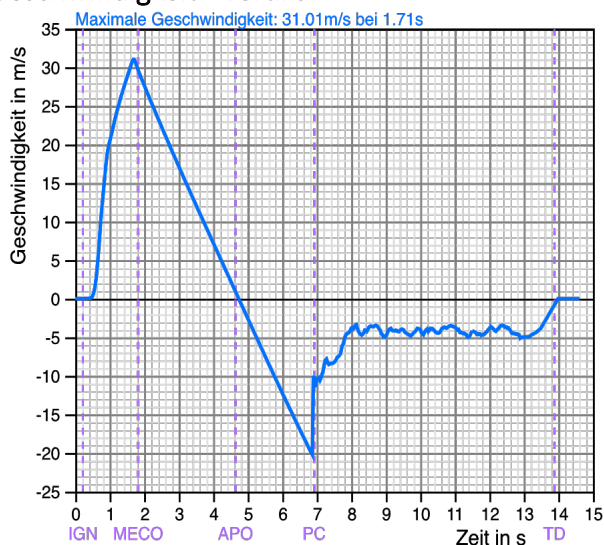
Das Höhendidiagramm wird mithilfe des Luftdrucks bestimmt. Es bietet über kurze Zeiträume eine recht gute Genauigkeit.

Schubkraft



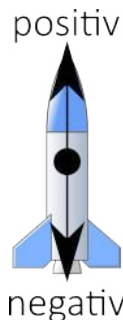
In diesem Diagramm sehen Sie, mit welcher Kraft der Treibsatz die Rakete beschleunigt hat.

Geschwindigkeit - vertikal

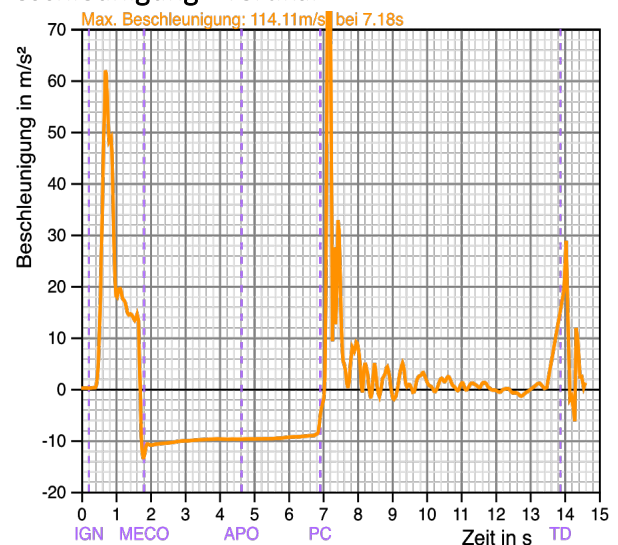


Das Geschwindigkeitsdiagramm wird aus Höhen- und Beschleunigungsdaten berechnet. Kleine Abweichungen sind möglich.

Positive Werte bedeuten eine Bewegung nach oben, negative Werte eine Bewegung nach unten.



Beschleunigung - vertikal



In diesem Diagramm wird die Beschleunigung in Bezug zur vertikalen Achse dargestellt. Positive Werte bedeuten, dass die Rakete nach oben beschleunigt wurde. Negative Werte bedeuten eine Beschleunigung nach unten.

Abkürzungen:

IGN: Zündung (IGNition)

MECO: Zündschluss (Main-Engine-Cut-Off)

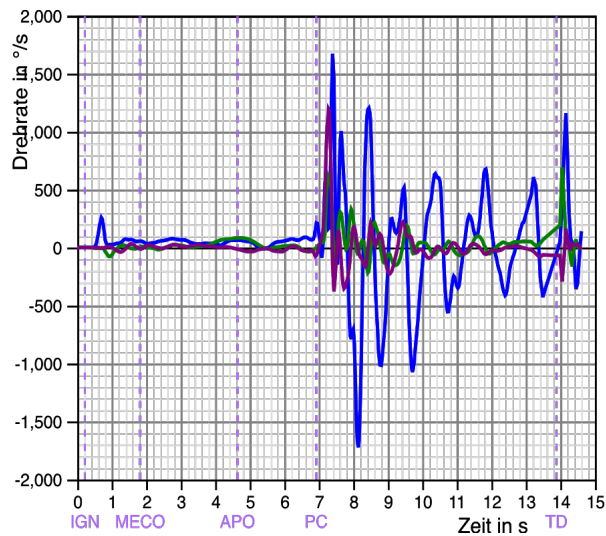
APO: Gipfelhöhe (APOgee)

PC: Fallschirmauslösung (ParaChute)

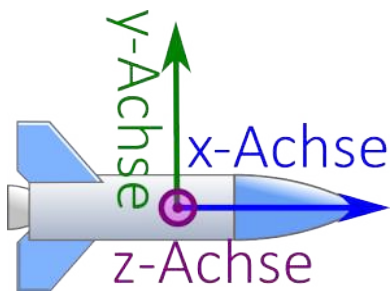
TD: Landung (TouchDown)

Detaillierte Übersicht

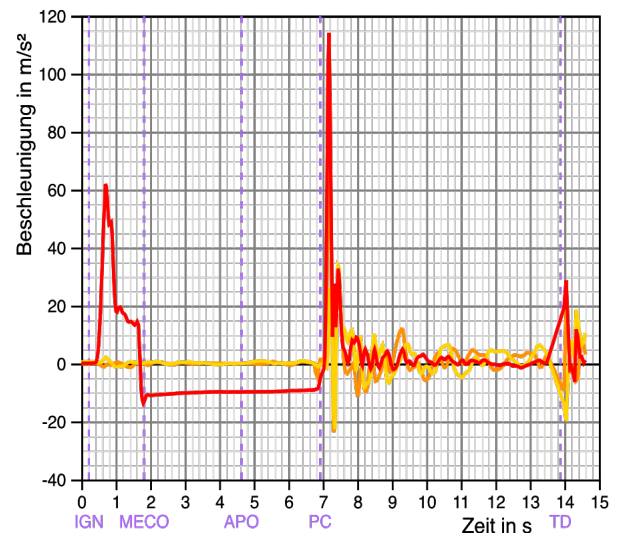
Rotation



Hier ist aufgezeichnet, wie schnell sich die Rakete um die Raketenachsen **x**, **y** und **z** gedreht hat.



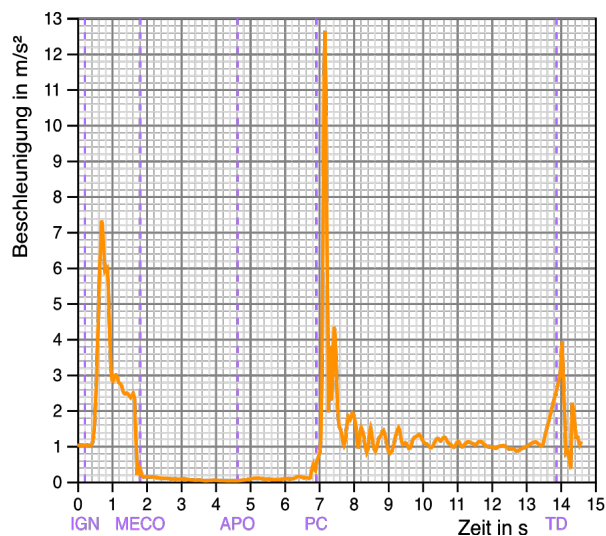
Beschleunigung - vektoriell



In diesem Diagramm können Sie die Beschleunigungskomponenten in Bezug auf die Raketenachsen **x**, **y** und **z** ablesen.

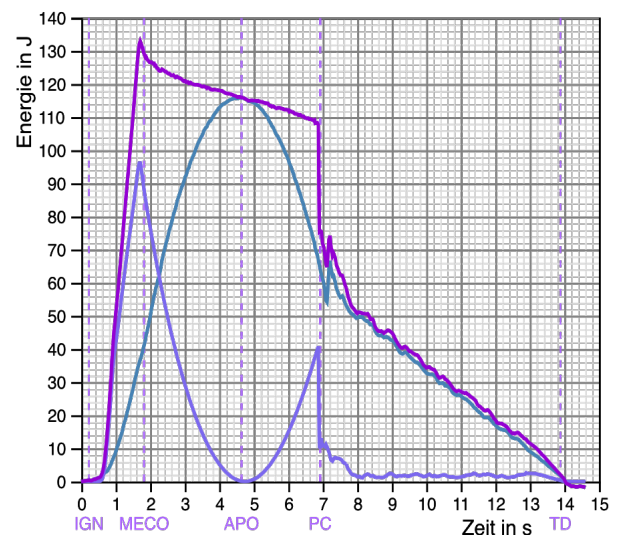


Beschleunigung- im Bezugssystem der Rakete



In diesem Diagramm sehen Sie, welche Gesamtbeschleunigung ein Beobachter, der in der Rakete sitzt, spüren würde.

Energie



Potentielle Energie
Kinetische Energie
Gesamtenergie ($E_{\text{pot}} + E_{\text{kin}}$)

Aufgabe 1 – Flugphasen erkennen

Auf dem unten abgebildeten Diagramm ist die Flughöhe ihrer Rakete dargestellt. Zum Zeitpunkt 0 s wird das Startsignal gegeben.

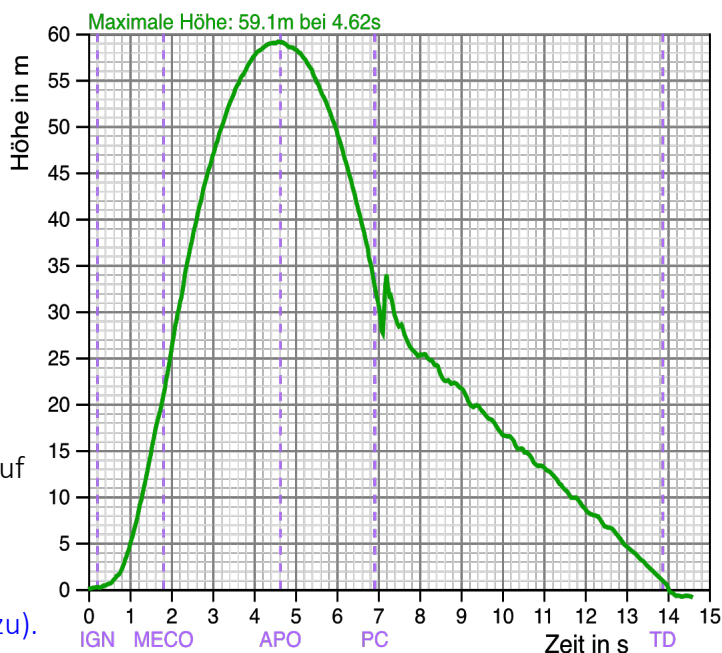
a) Erinnern Sie sich an ihren Raketenflug. Können Sie Ereignisse im Diagramm wiedererkennen?

b) Markieren Sie folgende **Ereignisse** im Diagramm:

- A: Erreichen des Gipfelpunkts (Apogäum)
- S: Die Rakete hebt ab.
- F: Auslösung des Fallschirms
- L: Landung der Rakete
- M: Brennschluss der Treibsätze.

c) Markieren Sie die folgenden **Zeiträume** auf der Zeitachse farblich:

- Die Geschwindigkeit der Rakete nimmt zu.
- Die Geschwindigkeit der Rakete nimmt ab.
- Die Geschwindigkeit bleibt konstant (nahezu).



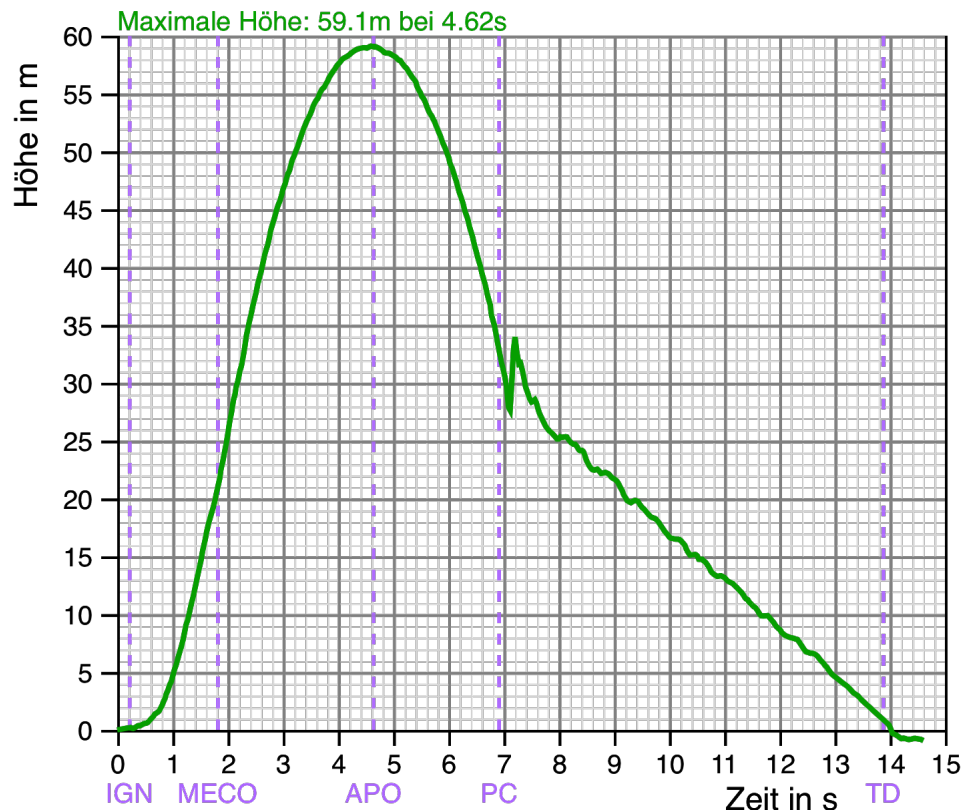
Bestimmen Sie nun folgende Kenngrößen ihres Raketenflugs:

Kenngröße	Wert
Gipfelhöhe (Apogäum)	
Zeit von Start bis zur Gipfelhöhe	
Die Höhe beim Auslösen des Fallschirms	
Zeit, in der die Rakete frei gefallen ist (ohne Fallschirm)	
Zeit am Fallschirm	

Aufgabe 2 – Geschwindigkeiten berechnen

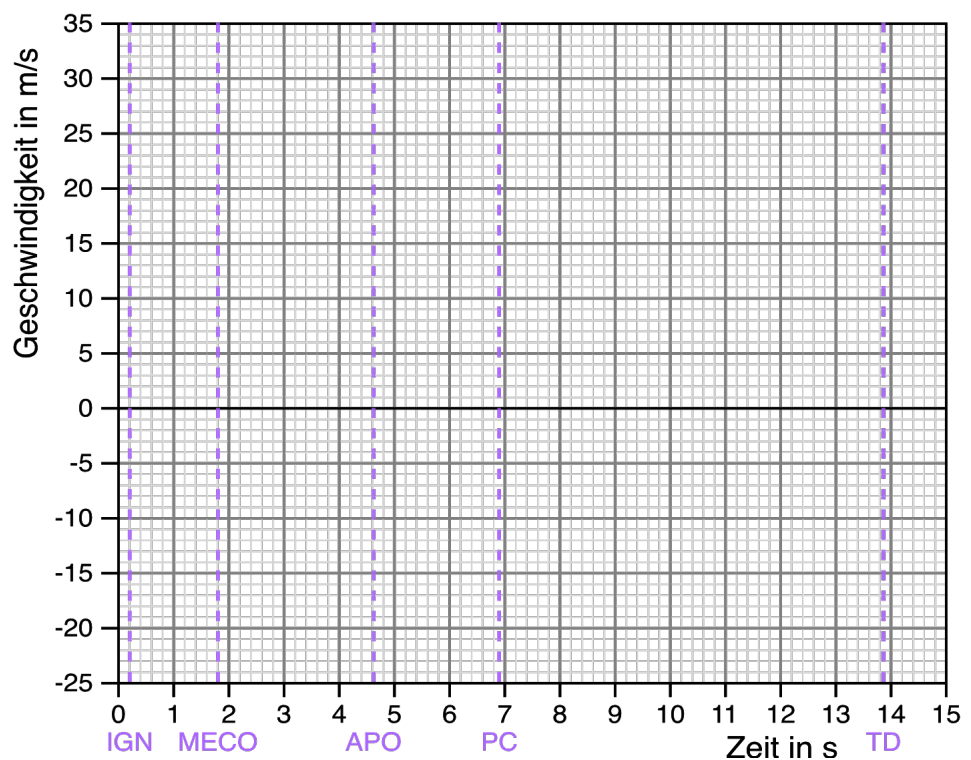
a) Berechnen Sie folgende **Durchschnittsgeschwindigkeiten**. Zeichnen Sie dazu die passenden Steigungsdreiecke in das Diagramm ein.

Durchschnittsgeschwindigkeit ...
... zwischen Start und Gipfelhöhe:
... zwischen Gipfelhöhe und Fallschirmauslösung:
... zwischen Fallschirmauslösung und Landung:



b) Bestimmen Sie die **Momentangeschwindigkeit** zu jeder vollen Sekunde. Verwenden Sie dazu die Tangentenmethode. Tragen Sie Ihre Ergebnisse in das unten stehende Zeit-Geschwindigkeits-Diagramm ein.

Bestimmen Sie zusätzlich die folgenden Momentangeschwindigkeiten :
Höchstgeschwindigkeit (in km/h)
die Geschwindigkeit bei der Fallschirmauslösung:



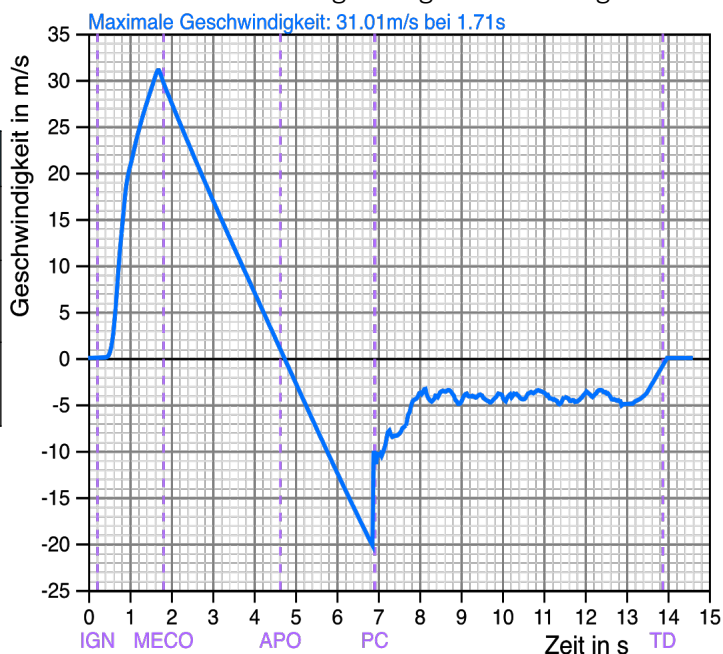
Aufgabe 1 – Flugphasen und Geschwindigkeitsänderungen erkennen

Auf dem unten abgebildeten Diagramm ist die Geschwindigkeit ihrer Rakete dargestellt. Zum Zeitpunkt 0s wird das Startsignal gegeben.

a) Versuchen Sie sich an Ihren Raketenflug zu erinnern. Können Sie einige Ereignisse des Fluges im Diagramm wiedererkennen?

b) Wann wurden folgende Geschwindigkeiten erreicht?

Ereignis	
Maximale Aufwärtsgeschwindigkeit	
Maximale Abwärtsgeschwindigkeit	
Stillstand ($v=0$)	



c) Markieren Sie die folgenden Zeiträume auf der Zeit-Achse farblich:

Die Geschwindigkeit der Rakete nimmt zu

Die Geschwindigkeit der Rakete nimmt ab

Die Geschwindigkeit bleibt konstant

Ermitteln Sie die Dauer folgender Zeiträume und bestimmen Sie die Änderung der Geschwindigkeit

Zeitraum	Dauer Δt	Änderung Δv
Von der Zündung (IGN) bis zum Brennschluss (MECO)		
Vom Brennschluss (MECO) bis zum Auslösen des Fallschirms (PC)		
Vom Auslösen des Fallschirms (PC) bis zur Landung (TD)		

Aufgabe 2 – Beschleunigungen berechnen und Verlauf skizzieren

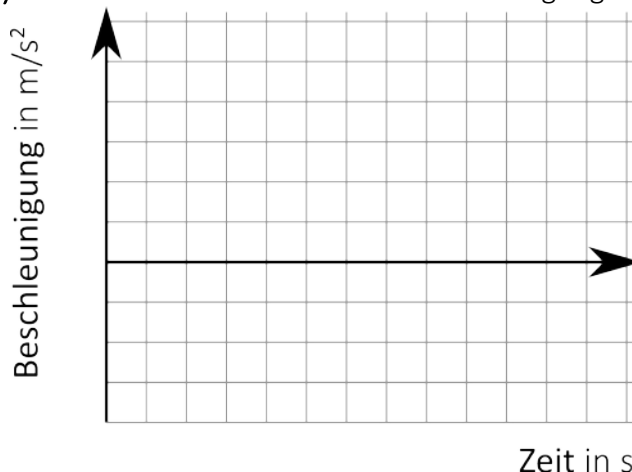
a) Berechnen Sie diese Beschleunigungen aus den Ergebnissen von Aufgabe 1:

Von der Zündung (IGN) bis zum Brennschluss (MECO)

Vom Brennschluss (MECO) bis zum Auslösen des Fallschirms (PC)

Vom Auslösen des Fallschirms (PC) bis zur Landung (TD)

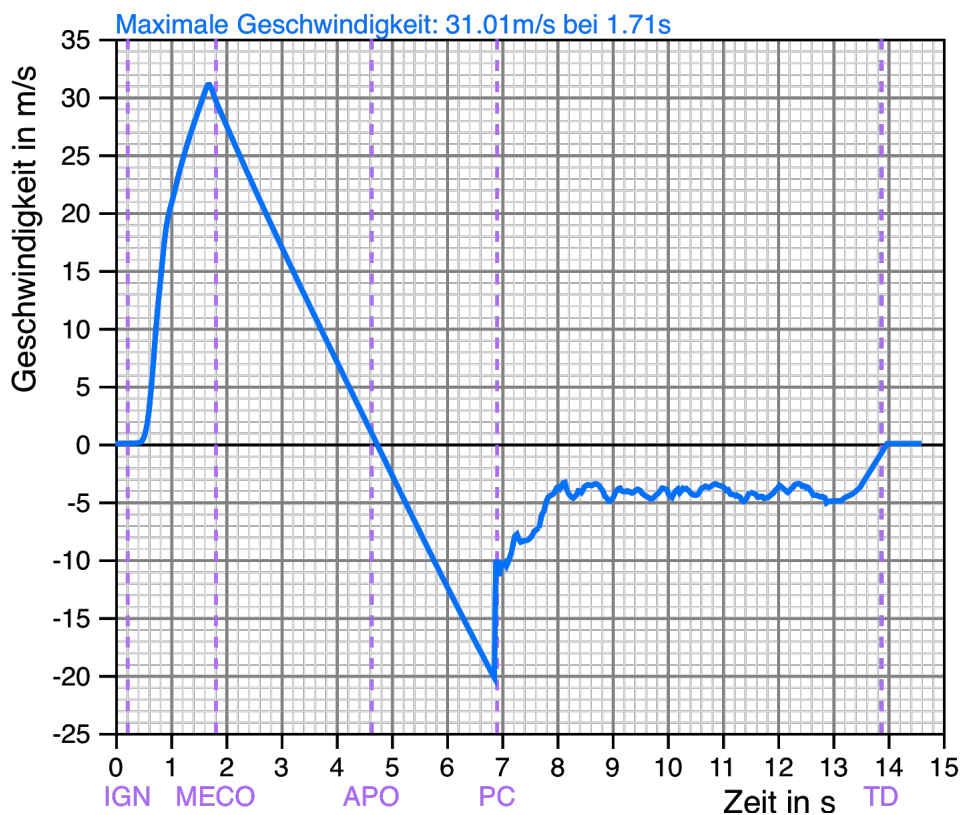
b) Skizzieren Sie den Verlauf der Beschleunigung:



Aufgabe 3 – Beschleunigungsverlauf bestimmen

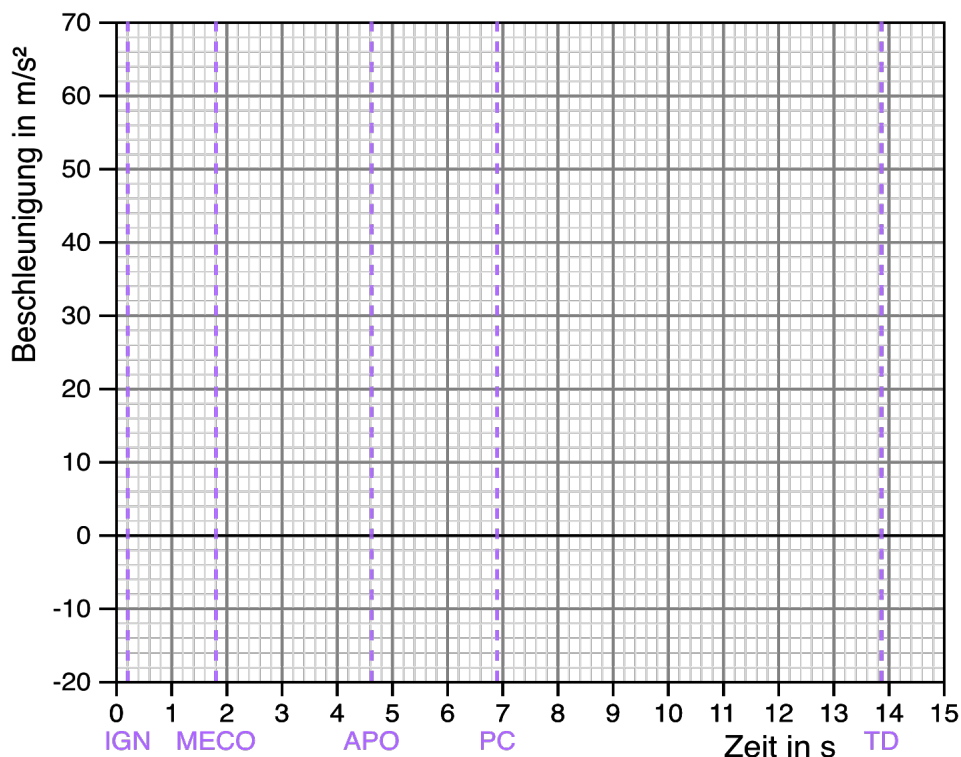
a) Zeichnen Sie die in Aufgabe 1 berechneten Beschleunigungen als Steigungen (Steigungsdreiecke) in das Diagramm ein.

Durchschnitts- beschleunigung ...
... von der Zündung bis zum Brennschluss:
... vom Brennschluss bis zum Auslösen des Fallschirms:
... vom Auslösen des Fallschirms bis zur Landung:



b) Bestimmen Sie die **Momentanbeschleunigung** zu jeder vollen Sekunde. Verwenden Sie dazu die Tangentenmethode. Tragen Sie Ihre Ergebnisse in das unten stehende Zeit-Beschleunigungs-Diagramm ein.

Bestimmen Sie zusätzlich die folgenden Momentan- beschleunigung :
Maximal- beschleunigung
Beschleunigung am höchsten Punkt der Flugbahn:



Aufgabe 4 – Geschwindigkeit als Ortsänderung

Im Gegensatz zu Aufgabe 1 und 2 werden wir nun untersuchen, wie sich die Höhe der Rakete geändert hat.

Wichtig:

Positive Geschwindigkeiten zeigen eine Bewegung nach oben,
negative Geschwindigkeiten zeigen eine Bewegung nach unten.

b)

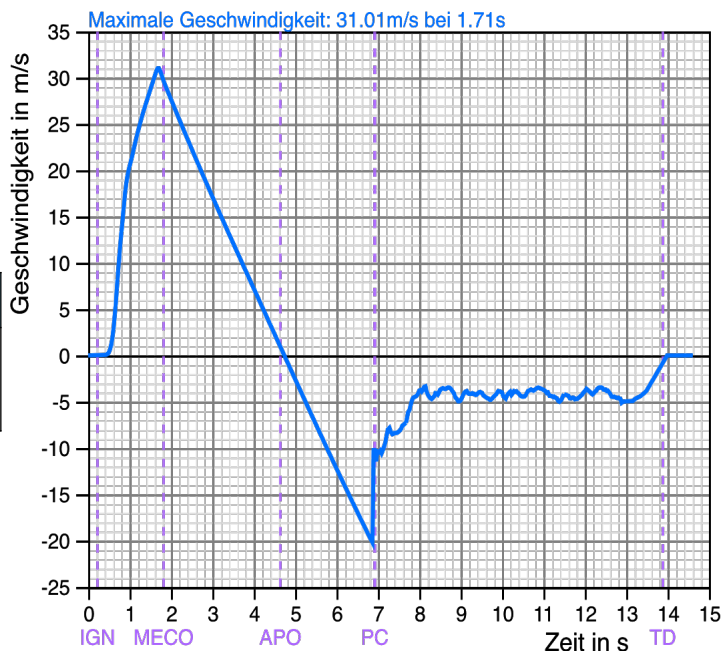
Wann hat die Rakete ihrer größte Höhe erreicht?	

c) Markieren Sie die folgenden **Zeiträume** auf der Zeit-Achse farblich:

Die Höhe der Rakete nimmt zu

Die Höhe der Rakete nimmt ab

Die Höhe bleibt konstant



Ermitteln Sie folgende Mittlere Geschwindigkeiten ihres Raketenflugs:

	Wert
Mittlere Geschwindigkeit am Fallschirm	
Mittlere Geschwindigkeit bei der Aufwärts bewegung	
Mittlere Geschwindigkeit bei der Abwärts bewegung	

	Wert
Zeitdauer am Fallschirm	
Zeitdauer der Aufwärts bewegung	
Zeitdauer der Abwärts bewegung	

Aufgabe 5 – Ortsänderungen berechnen und Höhe skizzieren

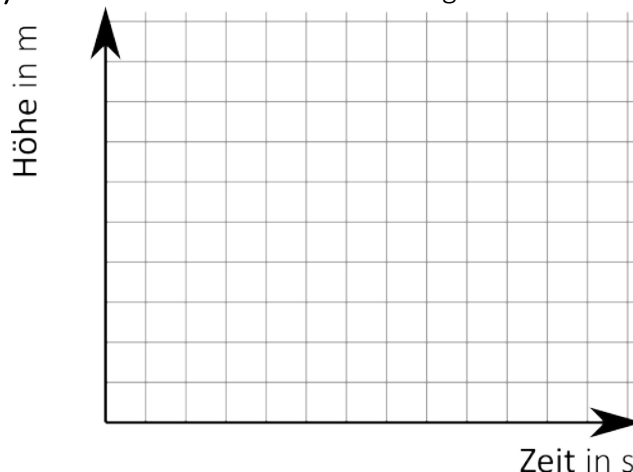
a) Verwenden Sie die Kenngrößen aus Aufgabe 1, um folgende Höhenänderungen zu berechnen:

Vom Auslösen des Fallschirms bis zu Landung.

Vom Start bis zum Apogäum (Höhepunkt)

Vom Apogäum bis zum Auslösen des Fallschirms.

b) Skizzieren Sie den Verlauf der Flughöhe:

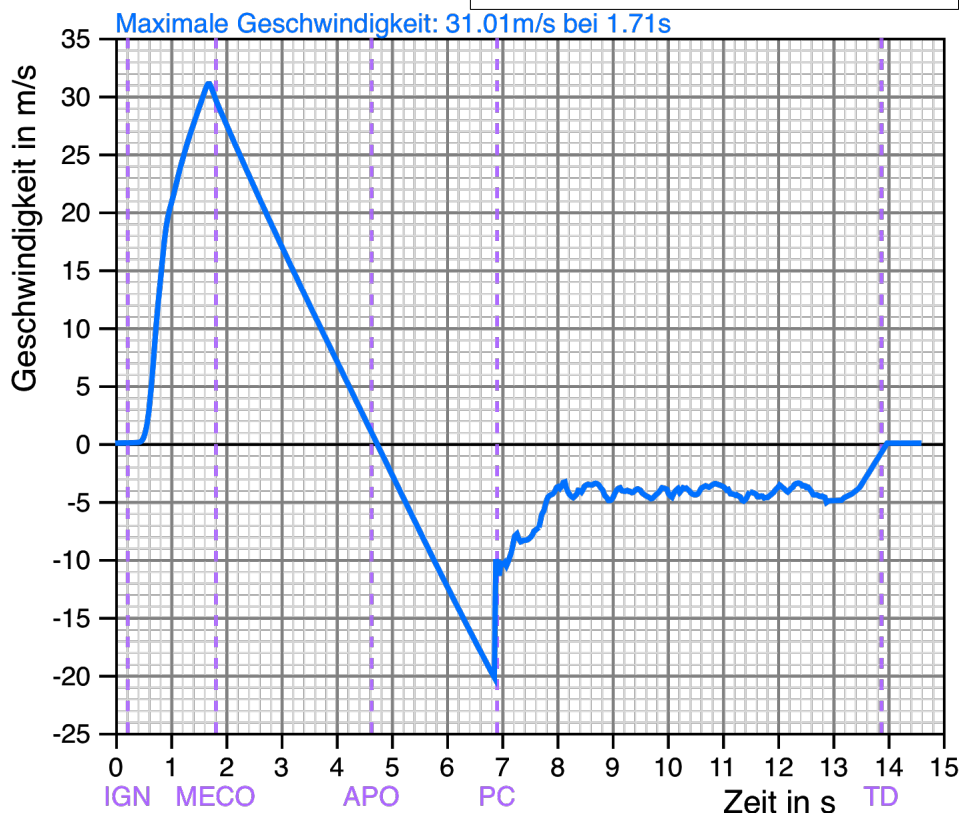


Aufgabe 6 – Höhe mit Hilfe der Flächenmethode berechnen

a) Bestimmen Sie mithilfe der Flächenmethode die Höhe der Rakete zu jeder vollen Sekunde, so wie zusätzlich an den markierten Punkten.

Zeit in s	Anzahl Kästchen	h in m
0		
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
10		
...		

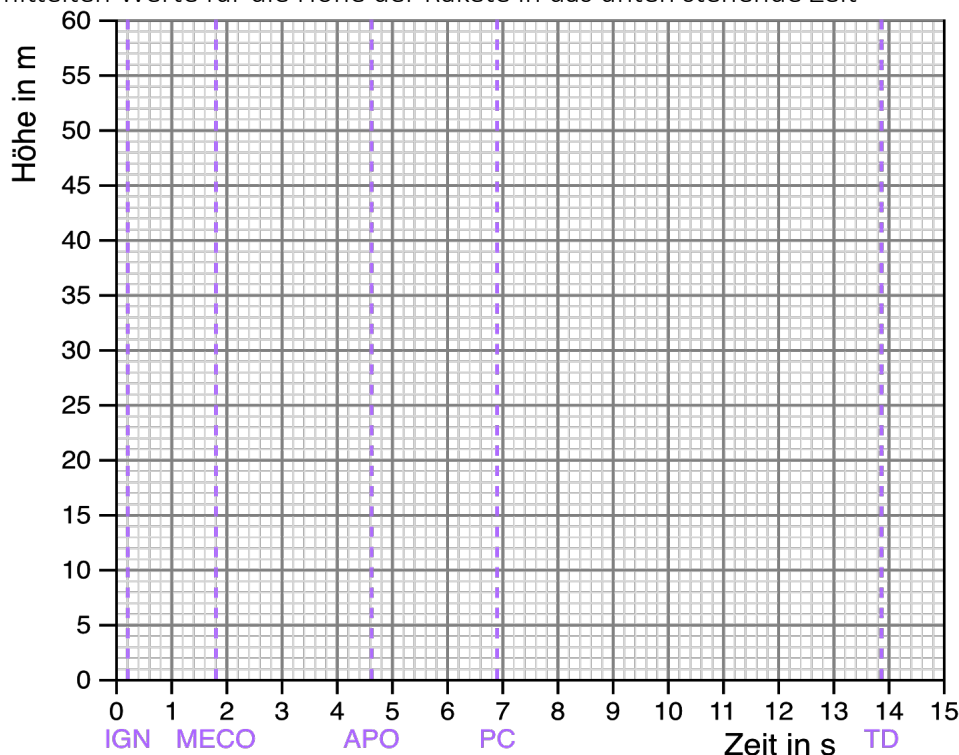
Wert eines Kästchens im Diagramm:
(Breite x Höhe; Einheiten beachten)



b) Übertragen Sie die ermittelten Werte für die Höhe der Rakete in das unten stehende Zeit-Höhen-Diagramm ein.

c) Bestimmen Sie zusätzlich die Maximale Flughöhe.

Apogäum (in Meter)



Aufgabe 1 – Flugphasen erkennen

Auf dem unten abgebildeten Diagramm ist die Beschleunigung ihrer Rakete dargestellt. Zum Zeitpunkt 0s wird das Startsignal gegeben.

a) Erinnern Sie sich an Ihren Raketenflug. Können Sie einige Ereignisse des Fluges im Diagramm wiedererkennen?

b) Welche Zeitpunkte (IGN, MECO, ...) markieren folgende **Ereignisse**?

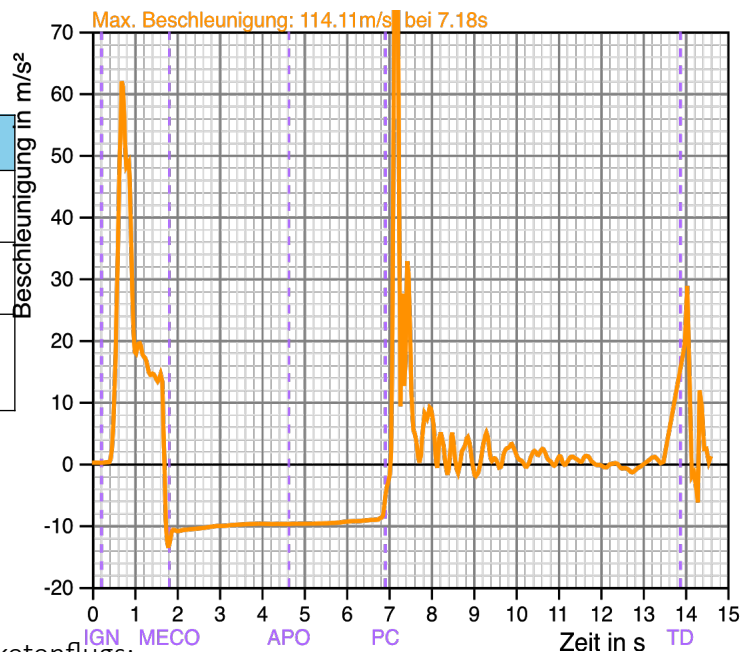
Ereignis	von	bis
Das Triebwerk brennt.		
Die Rakete ist im <i>freien Fall</i> .		
Die Rakete hängt am Fallschirm.		

c) Markieren Sie die folgenden **Zeiträume** auf der Zeit-Achse farblich:

Die Geschwindigkeit der Rakete nimmt zu

Die Geschwindigkeit der Rakete nimmt ab

Die Geschwindigkeit bleibt (nahezu) konstant



Ermitteln Sie folgende Kenngrößen ihres Raketenflugs:

Kenngröße	Wert
Maximale Beschleunigung während des Startvorgangs	
Zeit im <i>freien Fall</i>	
Brenndauer der Triebwerke	

Kenngröße	Wert
Zeitpunkt der höchsten Geschwindigkeit	
Mittlere Beschleunigung Zeit im <i>freien Fall</i>	
Mittlere Beschleunigung während der Brenndauer der Triebwerke	

Aufgabe 2 – Geschwindigkeiten berechnen

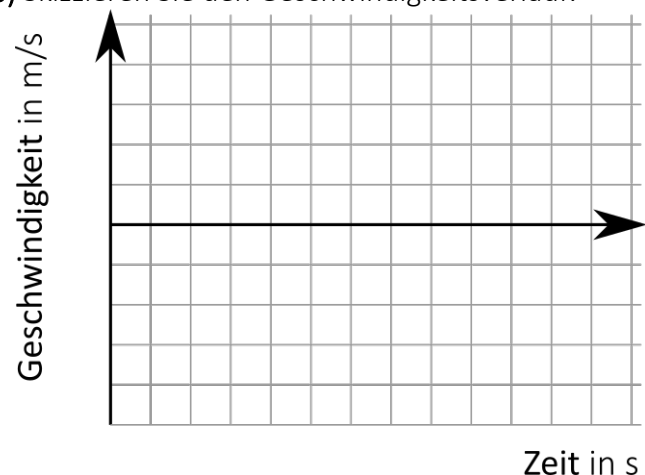
a) Verwenden Sie die Kenngrößen aus Aufgabe 1, um folgende Geschwindigkeitsänderungen zu berechnen:

... vom Start der Rakete bis zum Brennschluss.

... vom Brennschluss zum Apogäum.

.. vom Apogäum bis zum Auslösen des Fallschirms.

b) Skizzieren Sie den Geschwindigkeitsverlauf:

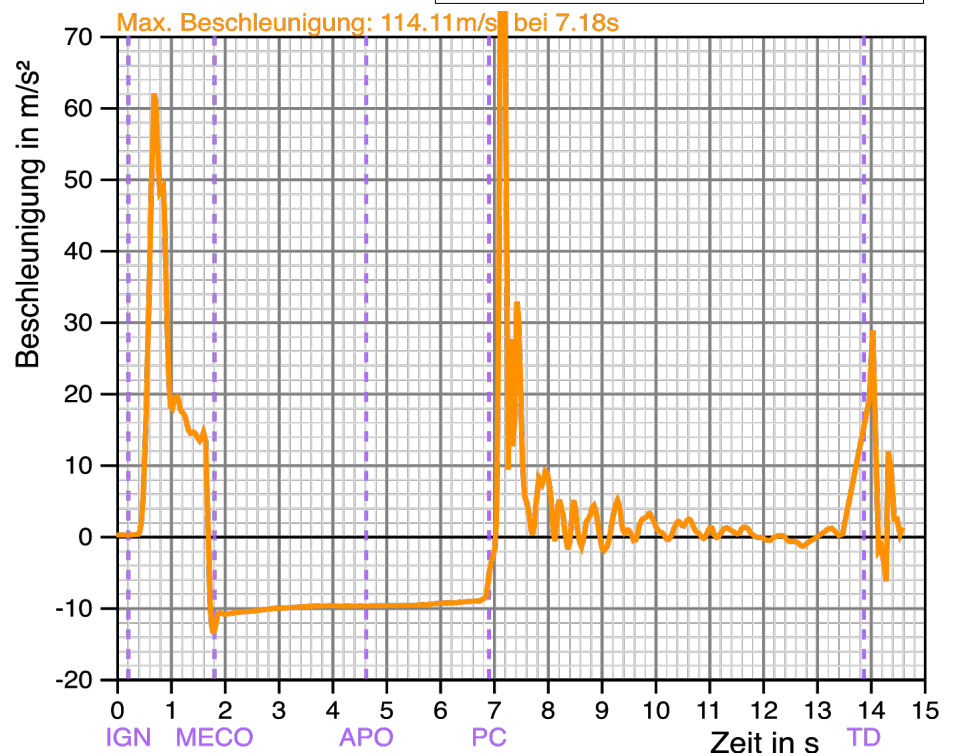


Aufgabe 3 – Geschwindigkeiten mit Hilfe der Flächenmethode berechnen

a) Bestimmen Sie mithilfe der Flächenmethode die Momentangeschwindigkeiten zu jeder vollen Sekunde, so wie zusätzlich an den markierten Punkten (MECO, APO, PC, TD).

Zeit in s	Anzahl Kästchen	v m/s
0		
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

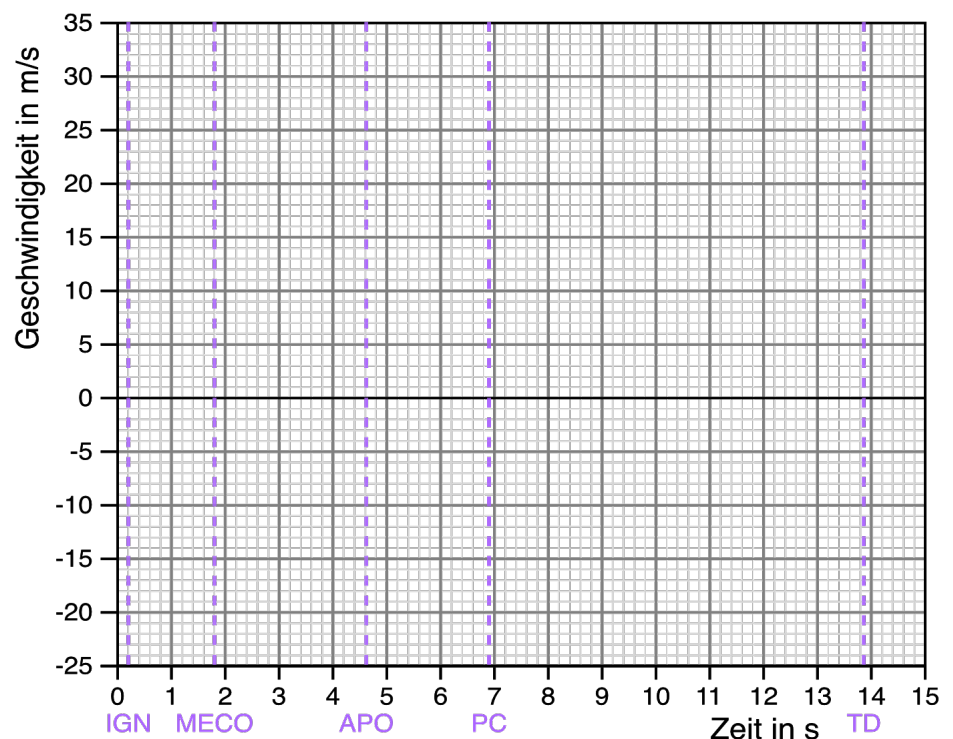
Wert eines Kästchens im Diagramm:
(Breite x Höhe; Einheiten beachten)



b) Übertragen Sie die ermittelten Werte für die Momentangeschwindigkeit in das unten stehende Zeit-Geschwindigkeitsdiagramm ein.

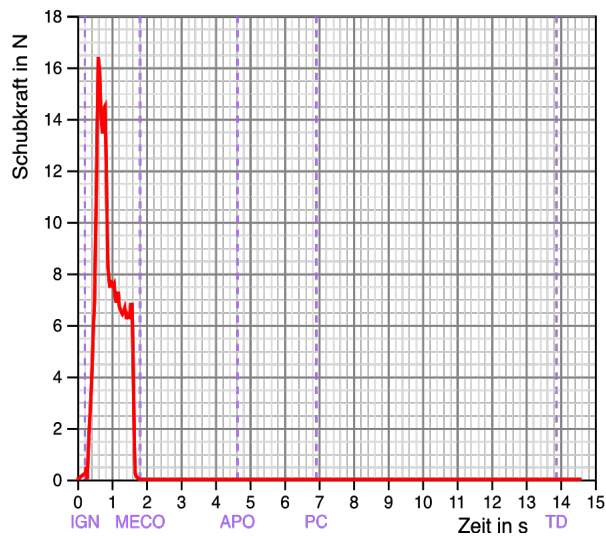
c) Bestimmen Sie die Maximalgeschwindigkeit.

Maximal-
geschwindigkeit
(in km/h)



Aufgabe 1- effektive Kraft

Diagramm 1- Schubkraft



Die in Diagramm 1 dargestellte Schubkraft ist nicht die einzige Kraft, die beim Flug auf die Rakete wirkt.

- a) Zeichnen Sie in die Skizze rechts alle relevanten Kräfte mit ihrer Wirkrichtung während des Aufstiegs der Rakete ein.

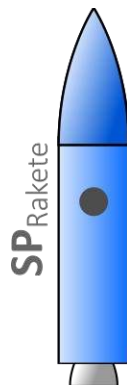


Diagramm 2 - Beschleunigung vertikal

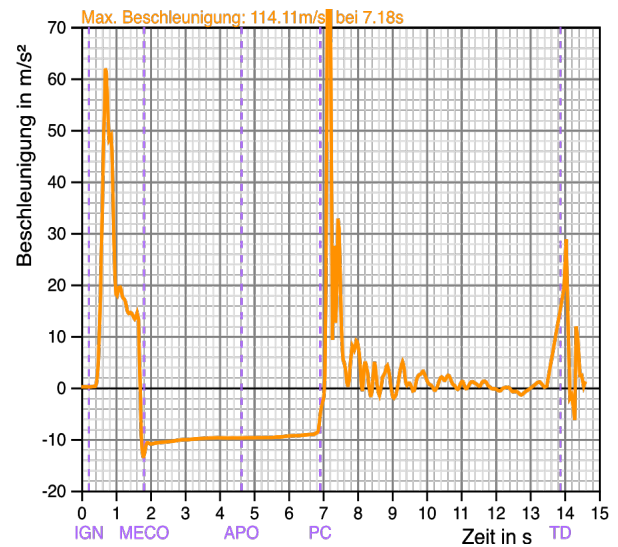
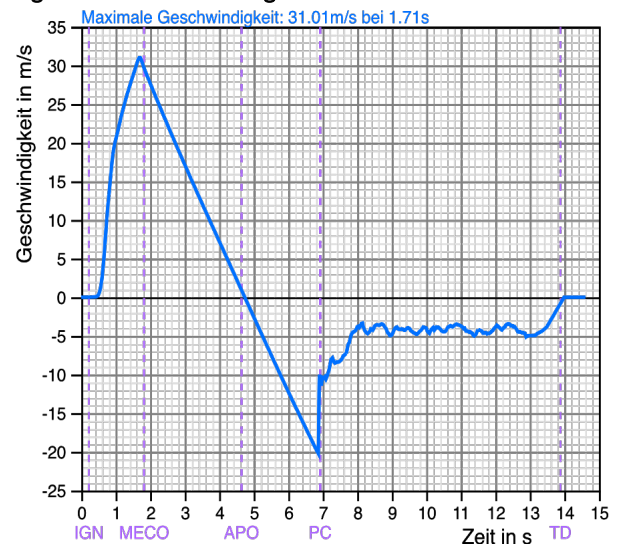


Diagramm 3- Geschwindigkeit



- b) Geben Sie an in welchen Zeiträumen diese Kräfte auf die Rakete wirken oder wann sie nicht wirken.

Kraft	wirkt von ... bis ...	keine Wirkung
Schubkraft		
Schwerkraft		
Luftwiderstand		

Hinweis:

Die Rakete wiegt mit Treibsatz ca. 200g (200g +/- 10g). Diese Angabe benötigen Sie für die Aufgaben auf Seite 2. Wenn Sie es genauer wissen wollen, müssen Sie ihre Rakete direkt wiegen.

Aufgabe 2- Bestimmung der Luftreibung

a) Berechnen Sie die Beschleunigung, welche die Rakete zu den angegebenen Zeitpunkten laut Diagramm 1 haben sollte.

	kurz nach dem Start $t = 0,5s$	während des Aufstiegs $t = 1s$	kurz nach Brennschluss $t = 2s$	Apogäum (maximale Höhe)
Gemessene Beschleunigung (D2)				
Beschleunigung aus Schubkraft (D1)				

b) Korrigieren Sie die beschleunigende Kraft in Diagramm 1 unter Berücksichtigung der Schwerkraft. Berechnen Sie erneut die theoretisch erreichbare Beschleunigung.

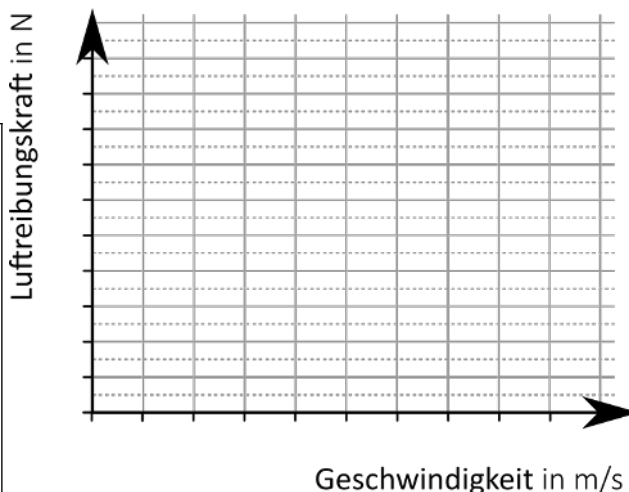
	kurz nach dem Start $t = 0,5s$	während des Aufstiegs $t = 1s$	kurz nach Brennschluss $t = 2s$	Apogäum (maximale Höhe)
Korrigierte Beschleunigung				

c) Die letzten Abweichungen haben ihre Ursache im Luftwiderstand. Nun nehmen wir eine andere Perspektive ein. Berechnen Sie mit Diagramm 2 die effektiv wirkende Kraft F_{eff} . Ziehen Sie davon die Schubkraft (Diagramm 1) und die Schwerkraft F_{grav} ab. Das Ergebnis ist die Reibungskraft F_R der Luft. Tragen Sie in die Tabelle auch die Geschwindigkeit v der Rakete aus Diagramm 3 ein.

	kurz nach dem Start $t = 0,5s$	während des Aufstiegs $t = 1s$	kurz nach Brennschluss $t = 2s$	Apogäum (maximale Höhe)
F_{eff}				
F_{schub}				
F_{grav}				
F_R				
v				

d) Tragen Sie die Luftreibungskraft F_R gegenüber der Geschwindigkeit v in das Diagramm rechts ein.

e) Haben Sie eine Idee, wie die Luftreibungskraft F_R von der Geschwindigkeit abhängen könnte? Können Sie diese Abhängigkeit auch als Funktionsgleichung angeben?



Aufgabe 1- Impuls als Zustandsgröße

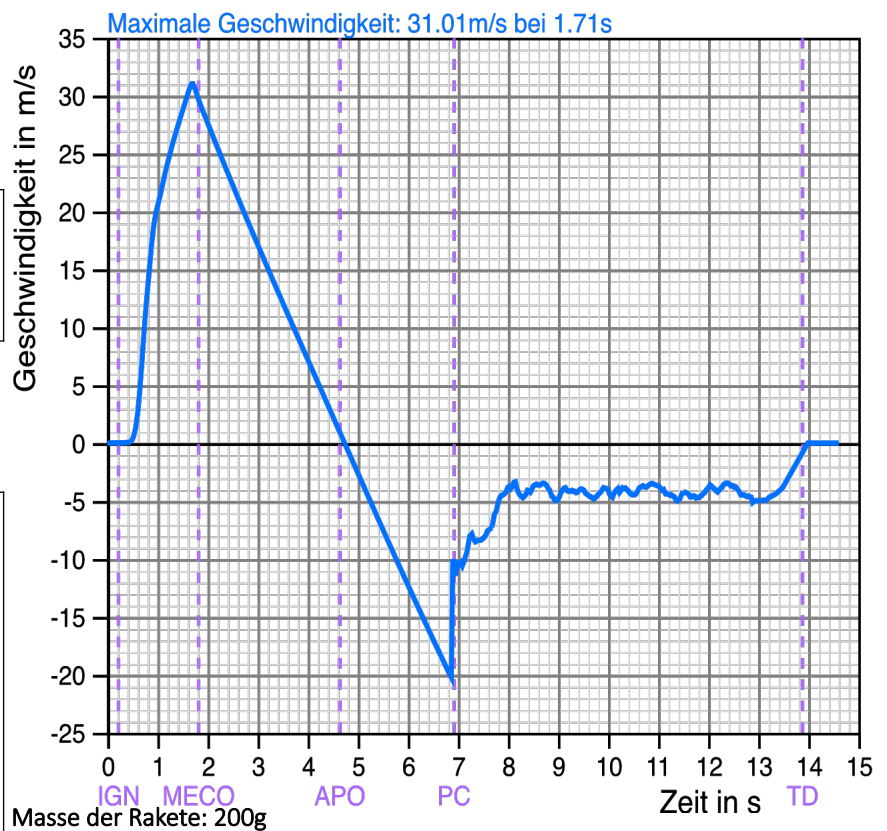
Verwendeter Treibsatz

C6	D9
Impuls: 10 Ns	Impuls: 20 Ns

a) Berechnen Sie mit Hilfe des Diagramms den Impuls der Rakete beim Brennschluss des Treibsatzes.

b) Der Hersteller gibt den Impuls der Treibsätze an (siehe oben). Wie bewerten Sie die Angabe des Herstellers.

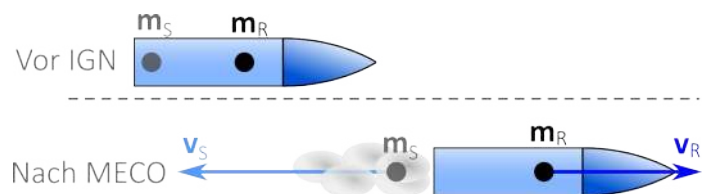
Diagramm 1- Geschwindigkeit



Wie schnell wäre Ihre Rakete gewesen, wenn Sie den anderen Treibsatz verwendet hätten?

Aufgabe 2 - Impulserhaltung

Der Treibsatz verbrennt 12g Schwarzpulver und stößt die Abgase mit hoher Geschwindigkeit nach hinten aus, um die Rakete nach vorne zu beschleunigen.



a) Beschreiben Sie, wie die nach hinten ausströmenden Gase die Rakete nach vorne beschleunigt.

b) Wie schnell müssen die Abgase die Düse nach hinten verlassen haben, um den von Ihnen berechneten Impuls zu erzeugen? Geben Sie das Ergebnis auch in km/h an.

Aufgabe 3 - Impuls als Kraftstoß

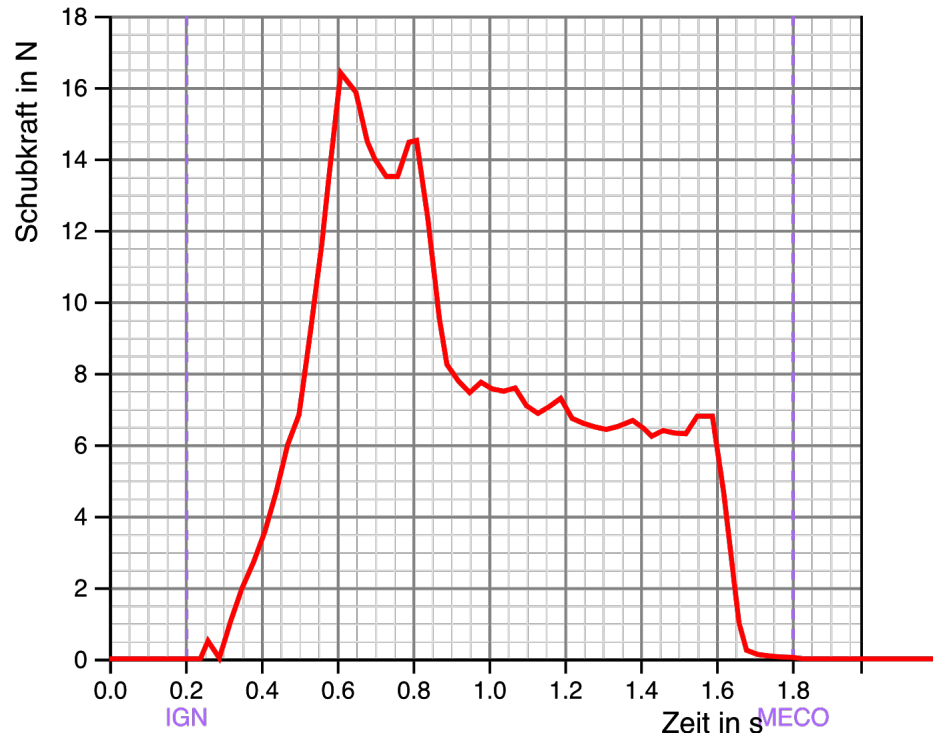
Rechts sehen Sie den zeitlichen Verlauf der Schubkraft, die der Treibsatz beim Raketenflug erzeugt hat.

a) Berechnen Sie mit Hilfe der Flächenmethode den Gesamtimpuls des Treibsatzes.

b) Vergleichen Sie den in a) berechneten Wert mit dem Wert aus Aufgabe 1a) und der Herstellerangabe aus Aufgabe 1b).

Diagramm 2- Schubkraft

Wert eines Kästchens im Diagramm:
(Breite x Höhe; Einheiten beachten)

**Aufgabe 4- Unterschiede**

Um die Unterschiede in den Impulsmessungen besser zu verstehen, müssen wir uns die beiden Diagramme nochmals genauer ansehen. Im Geschwindigkeitsdiagramm sehen wir die tatsächliche Geschwindigkeit. Im Kraftdiagramm sehen wir die Kraft des Treibsatzes, der die Rakete beschleunigt hat und so indirekt die im Diagramm 1 gemessenen Geschwindigkeit erzeugt hat. Allerdings erzeugt nur ein Teil der Schubkraft wirklich eine Bewegung nach oben.

a) Warum sorgt nur ein Teil der Schubkraft für eine Bewegung nach oben?
Markieren Sie im Diagramm 2 den Teil der Schubkraft, der die Rakete nach oben bewegt.

b) Bestimmen Sie den Impuls des in Teilaufgabe 4 a) markierten Teils.

c) Vergleichen Sie den in Aufgabe 4 b) berechneten, effektiven Impuls mit dem in Aufgabe 1a) berechneten Impuls.

Aufgabe 1 - Minimale und Maximale Energien

Beim Raketenflug sind drei Energieformen interessant. Die potentielle, die kinetische und die chemische Energie. Geben Sie an, zu welchen Zeitpunkten diese Energieformen ihren maximalen Wert erreicht haben und in welchen Zeiträumen sie nicht vorhanden waren.

Energieform	Maximal	Null
Potentielle Energie		
Kinetische Energie		
Chemische Energie		

Markieren Sie diese Zeitpunkte und Zeiträume auch in den Diagrammen.

Aufgabe 2 - Energien berechnen.

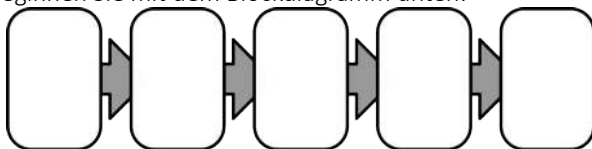
Berechnen Sie mit Hilfe der Diagramme den Wert der Maximalen Energie.

Beachten Sie die unten stehenden Daten.

Energieform	Maximaler Wert
Potentielle	
Kinetische	
Chemische	

Aufgabe 3 - Energieumwandlung

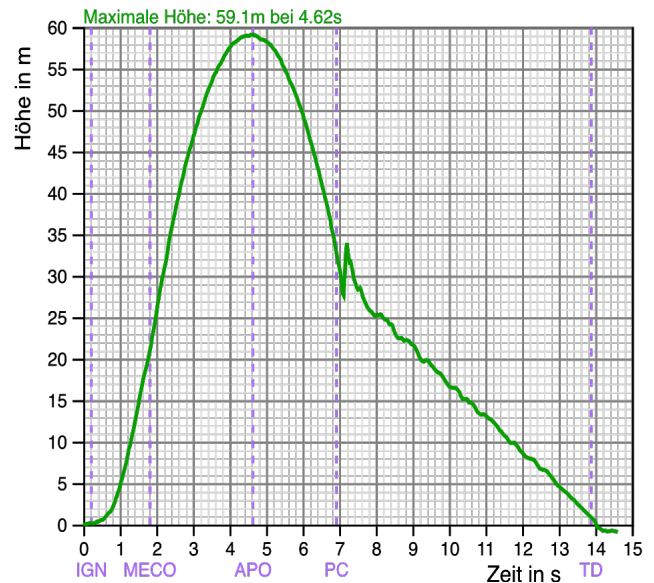
Skizzieren Sie den Verlauf des Energiegehalts der einzelnen Energieformen über den gesamten Raketenflug. Beginnen Sie mit dem Blockdiagramm unten:



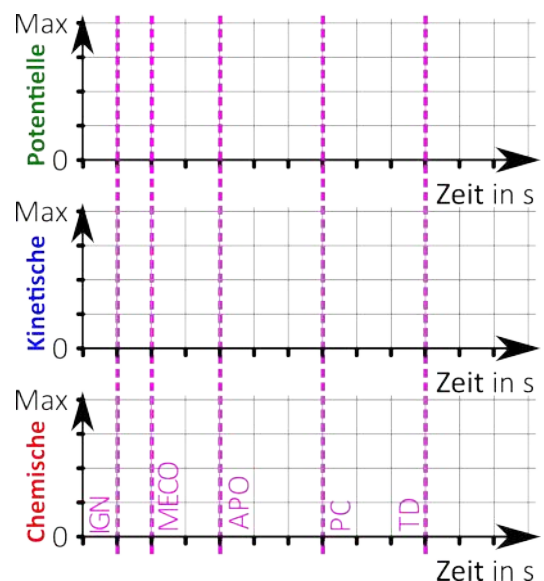
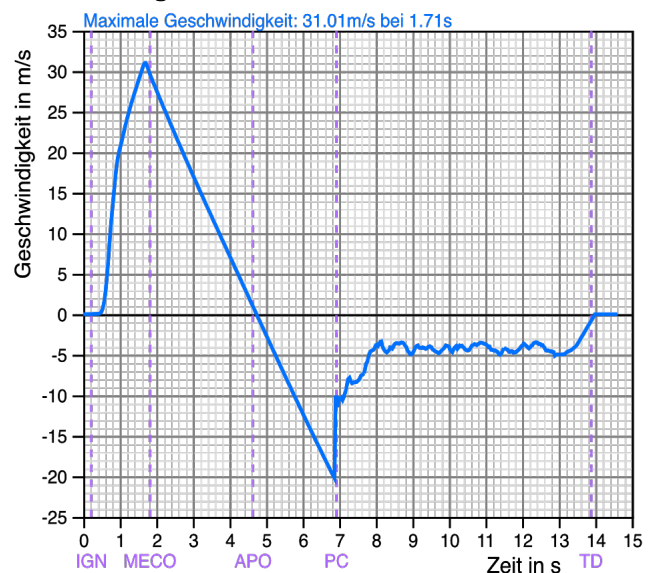
Verfeinern Sie diese Darstellung in den drei Diagrammen rechts.

Daten	
Masse der Rakete	200g
Masse des Schwarzpulvers	C6: 12g / D9: 18g
Explosionsenergie von Schwarzpulver	2700 kJ/kg

Höhendiagramm



Geschwindigkeit - vertikal

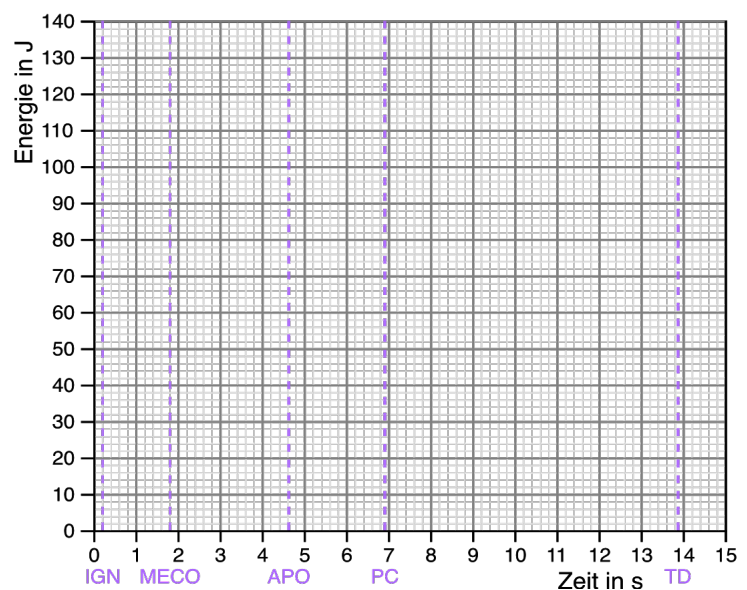


Aufgabe 4 - Wirkungsgrad und Leistung

- a) Wie viel der chemischen Energie im Treibsatz ging bis zum Erreichen der maximalen Höhe verloren?
- b) Berechnen Sie den Wirkungsgrad der Umwandlung von chemischer Energie in potentielle Energie vom Start bis zur maximalen Höhe.
- c) Berechnen Sie den Gesamtenergiegehalt der Rakete zum Zeitpunkt des Brennschlusses des Treibsatzes.
- d) Welche Leistung erbringt der Treibsatz?
- e) Wie viel dieser Energie hat die Rakete vom Brennschluss bis zum Erreichen der maximalen Höhe verloren?
- f) Berechnen Sie den Wirkungsgrad des freien Aufstiegs der Rakete.
- g) Was ist mit dem fehlenden Teil der Energie passiert?
- h) Die Wärmekapazität der Rakete beträgt etwa $c_w = 1,3 \text{ kJ}/(\text{K} \cdot \text{kg})$. Um wie viel Grad Celsius wurde die Rakete beim Aufstieg wärmer?

Aufgabe 5 - Gesamtenergie

- a) Berechnen Sie nun zu jeder vollen Sekunde ...
- die potentielle Energie,
 - die kinetische Energie und
 - die Gesamtenergie aus potentieller und kinetischer Energie,
- und zeichnen Sie diese Werte in das Diagramm rechts ein.
- b) Betrachten Sie den zeitlichen Verlauf der Gesamtenergie. Was fällt Ihnen dabei auf?
- c) Wie viel Energie geht der Rakete am Fallschirm verloren?

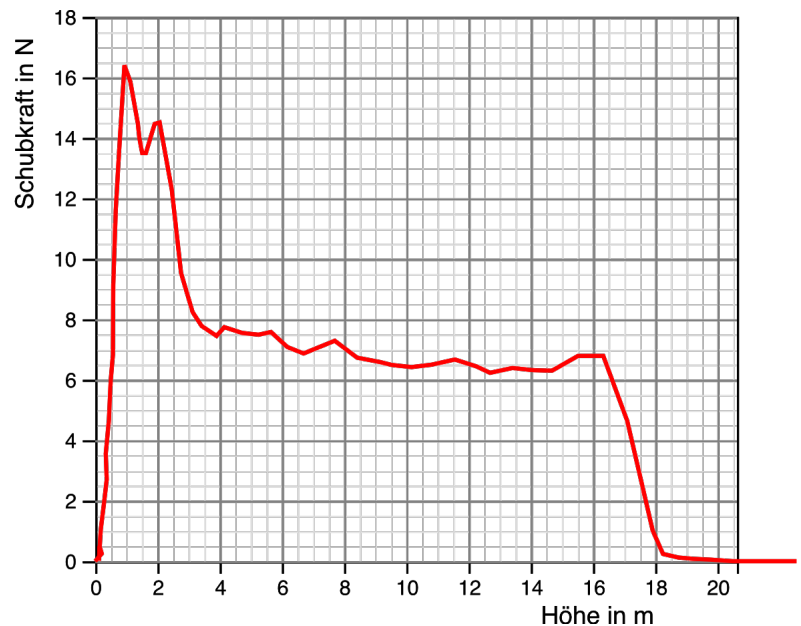


Aufgabe 6 - Arbeit oder Energieübertrag als Prozess

Der Treibsatz überträgt seine chemische Energie auf die Rakete, in dem er mit der Schubkraft F_s gegen die Rakete drückt. Dadurch verrichtet der Treibsatz **Arbeit W** an der Rakete.
Die Menge an Arbeit die dabei verrichtet wird hängt von der **Strecke s** ab über die diese Kraft wirkt:

$$W = F \cdot s$$

a) Schätzen Sie anhand des Diagramm rechts ab, wie hoch diese Schubkraft durchschnittlich war und über welche Strecke (Höhe) sie wirkte. Berechnen Sie damit die Arbeit, die der Treibsatz an der Rakete verrichtete hat.



b) Vergleichen Sie diese Arbeit (aka Energieänderung) mit dem Gesamtenergiegehalts

zum Zeitpunkt des Brennschlusses des Treibsatz (siehe Aufgabe 4 c)).
Wodurch könnte die Abweichung erklärt werden?

c) Genauer lässt sich die Menge der Arbeit über die Flächenmethode bestimmen. Berechnen Sie zuerst welcher

Arbeit ein Kästchen im Diagramm oben rechts entspricht und zählen Sie danach die Kästchen unter der Kraft-Strecken-Kurve.
Vergleichen Sie diesen Wert erneut mit dem Ergebnis aus Aufgabe 4 c).

d) Im Diagramm der Aufgabe 4 fehlte in der "Gesamt"energie noch die chemische Energie. Die chemische Energie des Treibsatzes sorgt für die Schubkraft. Daher können wir im Kraft-Weg-Diagramms die Änderung (die Abnahme) der chemischen Energie ablesen. Führen Sie dafür folgende Schritte durch:

- Die in Aufgabe 6 c) bestimmte Energie nehmen wir den (chemischen) Energiegehalt des Treibsatzes zu Beginn. Tragen Sie diesen Wert für den Zeitpunkt $t = 0s$ in das Energiediagramm in Aufgabe 5 ein.
- Bestimmen Sie, wie in Aufgabe 6 c), aus dem Energie-Weg-Diagramm den Energie zwischen $t = 0s$ und $t = 0,5s$.
 - Als erstes müssen Sie im Diagramm der Aufgabe 1 nachschauen welche Höhe die Rakete zum Zeitpunkt $t = 0,5s$ hatte.
 - Zählen Sie die Kästchen zwischen der Höhe zu Beginn und am Ende des beobachteten Zeitraums.
 - Ziehen Sie diesen Wert von der Anfangsenergie ab. Tragen Sie diesen Wert ebenfalls in das Energiediagramm in Aufgabe 5 ein.
- Wiederholen Sie die letzten Schritt für jeden $0,5s$ -Intervall. Ziehen Sie den aus dem Flächeninhalt ermittelten Energiemengen jeweils vom vorherigen Energiegehalt ab und tragen Sie diesen Wert ebenfalls in das Energiediagramm in Aufgabe 5 ein.

Nun sehen Sie die zeitliche Abnahme der chemischen Energie des Treibsatzes.

Betrachten Sie diesen Verlauf im Vergleich zu den anderen eingezeichneten Energieformen. Was fällt Ihnen auf?

e) Berechnen Sie nun den wirklichen Gesamtenergiegehalt, in dem Sie die in Aufgabe 6 d) berechneten Werte für die chemische Energie zur unvollständigen Gesamtenergie aus Aufgabe 5 a) hinzu addieren. Tragen Sie diese neue Gesamtenergie ebenfalls in den Graphen in Aufgabe 5 ein. Was fällt Ihnen auf?