

Name :

PA-Nr. :

Vorname. :

Datum :

Prüfungsfragen zum Nachweis der Fachkunde gemäß § 9 Abs. 1 Nr. 2 des Sprengstoffgesetzes auf dem Gebiet der pyrotechnischen Erzeugnisse für technische Zwecke der Unterklasse T<sub>2</sub> (Modellraketeneinsatz)

## I. Fragen zur Gesetzeskunde

1. Welchen Schein im Sinne des Sprengstoffgesetzes müssen Sie vorlegen, wenn Sie erlaubnispflichtige explosionsgefährliche Stoffe oder pyrotechnische Gegenstände der Klasse T<sub>2</sub> erwerben möchten und mit Ihnen umgehen wollen? (1 Punkt)

*Erlaubnis nach §7 (gewerblich) oder §27 (nicht gewerblich) des Sprengstoffgesetzes.*

2. Sind Raketenantriebe für Modellraketen pyrotechnische Gegenstände, wie sie in §3 Absatz 1 Satz 2 des Sprengstoffgesetzes definiert sind? Warum? (1 Punkt)

*Nein, sie fallen wegen der Auflistung der zugehörigen UN-Nummern im Anhang der EU-Richtlinie 93/15/EWG vom 15.04.1993 unter die Explosivstoffe.*

3. Welche staatlichen Vorschriften finden Anwendung beim Umgang und Verkehr mit Explosivstoffen und pyrotechnischen Gegenständen und Sätzen der Klasse T<sub>2</sub>? Bitte nennen Sie mindestens 3 Rechtsnormen! (3 Punkte)

*Sprengstoffgesetz, Verordnungen zum Sprengstoffgesetz, Gefahrgutverordnungen, Luftverkehrsverordnung*

4. Welche zwingenden Voraussetzungen sind zu erfüllen, um eine privatrechtliche Erlaubnis nach § 27 Sprengstoffgesetz zu erlangen? (4 Punkte)

*Zuverlässigkeit, Fachkunde, körperliche Eignung und Alter (21 Jahre, Ausnahmen möglich) sowie ein Bedürfnis*

5. Bitte nennen Sie typische Treibladungsmittel für den Betrieb von Raketenmotoren (Modellraketen). (2 Punkte)

*Schwarzpulver-, Doppelbasis-, Nitrocellulose- und Composite-Treibstoffe*

6. Erläutern Sie die Begriffe Umgang, Verkehr und Verbringen im Sinne des Sprengstoffgesetzes. (3 Punkte)

*Der **Umgang** mit explosionsgefährlichen Stoffen umfasst das Herstellen, Bearbeiten, Verarbeiten, Wiedergewinnen, Aufbewahren, Verbringen, Verwenden und Vernichten sowie innerhalb der Betriebsstätte den Transport, das Überlassen und die Empfangnahme dieser Stoffe, außerdem die weiteren in § 1 Abs. 4 Nr. 4 bezeichneten Tätigkeiten.*

*Der **Verkehr** mit explosionsgefährlichen Stoffen das umfasst das Inverkehrbringen, Erwerben, Vertreiben (Feilbieten, Entgegennehmen und Aufsuchen von Bestellungen), Überlassen und das Vermitteln des Erwerbs, des Vertriebs und des Überlassens dieser Stoffe.*

*Das **Verbringen** bezeichnet jede Ortsveränderung außerhalb einer Betriebsstätte von diesem Gesetz unterfallenden Stoffen und Gegenständen a) im Geltungsbereich dieses Gesetzes, b) aus einem anderen Staat der Europäischen Union (Mitgliedstaat) in den Geltungsbereich dieses Gesetzes oder umgekehrt.*

7. Welche staatlichen Vorschriften (national ggf. international) müssen Sie beachten, wenn Sie explosionsgefährliche Stoffe auf öffentlichem Gebiet befördern?

Bitte nennen Sie mindestens zwei Rechtsnormen! (2 Punkte)

*Gefahrgutverordnung Straße (GGVS), Gefahrgutverordnung Eisenbahn (GGVE), Gefahrgutverordnung Seeschifffahrt (GGVSee), Gefahrgutverordnung Binnenschifffahrt (GGVBinSch), IDMG-Code, ICAO-TI, ADR, ADN, ADNR*

Gesamtpunktzahl:

Erreichte Punkte:

L-J

8. Ihnen ist die Erlaubnis nach § 27 SprengG abhanden gekommen. Was müssen Sie bei wem unverzüglich tun? (2 Punkte)

*Der Verlust einer Erlaubnis ist umgehend bei der zuständigen Behörde anzuzeigen.*

9. Welche Mengen explosionsgefährlicher Stoffe dürfen Sie befördern, ohne eine gesonderte Qualifikation (ADR-Schein nach Randnummer 10315 GGVS) vorzuweisen? (1 Punkt)

*Güter der Klassen 1.1, 1.2, 1.3: 20kg; Güter der Klasse 1.4 und 1.5: 300kg; Güter der Klasse 1.4S: unbegrenzt; Ausnahme: 50kg bei Sprengstoffen der Typen A,B,C,D und E*

10. Welche Sicherheitsmaßnahmen sollten Sie bei der Beförderung der „Kleinen Menge“ beachten? (4 Punkte)

*Originalverpackungen verwenden, nicht rauchen, kein offenes Licht, Ladung nicht unbeaufsichtigt lassen, Feuerlöscher, Begleitpapiere, Zusammenladeverbote beachten, Ladung sichern (kein Scheuern, Anstoßen, Verschieben); Transport nicht in der Kleidung; Treib- und Anzündmittel getrennt halten; bei Kolonnenfahrt: Mindestabstand 50m; Ausnahmeregelung bis 1kg auf Fahrrad und Motorrad*

11. Warum legen Sie eine Prüfung vor der zuständigen Behörde ab? Welches Ziel verfolgen Sie? (2 Punkte)

*Fachkunde nachweisen, Erlangung einer Erlaubnis nach §27 SprengG*

12. Dürfen Sie nach Erhalt der Erlaubnis gemäß §27 SprengG Modellraketen mit erlaubnispflichtigen Raketentriebmotoren überall aufsteigen lassen? Bitte begründen Sie Ihre Antwort (2 Punkte)

*Nein, es sind die Vorschriften des §16 LuftVO einzuhalten (Einholung einer Aufstiegserlaubnis), ggf. auch §11 LuftVO (Flüge mit Überschallgeschwindigkeit)*

13. In wieviele Lagergruppen werden Explosivstoffe eingeteilt? Was ist maßgebend für die Einteilung? Wer nimmt die Einteilung vor? (2 Punkte)

*Die Explosivstoffe werden von der Bundesanstalt in vier Lagergruppen eingeteilt. Maßgebend für die Einteilung sind die Eigenschaften der Explosivstoffe, insbesondere ihr Verhalten in der Verpackung bei einem Brand, einer Deflagration oder Detonation und die sich daraus ergebenden Gefahren.*

14. Die Lagerung (Aufbewahrung) von explosionsgefährlichen Stoffen bedarf im Allgemeinen bei großen Mengen einer Lagergenehmigung nach § 17 Sprengstoffgesetz. Der Gesetzgeber hat für kleine Mengen bestimmte Freilagergrenzen festgelegt für welche keine Lagergenehmigung benötigt wird. Wo finden Sie diese Freilagermengen? Bitte geben Sie die Rechtsgrundlage an. (2 Punkte)

*Anlage 6 zur 2. Verordnung zum Sprengstoffgesetz. Grundlage: §6 der 2. Verordnung zum SprengG.*

15. Bei der Aufbewahrung kleiner Mengen sind bestimmte Lagerorte zulässig bzw. nicht zulässig. Hierüber gibt eine Richtlinie Auskunft. Wie heißt diese? (1 Punkt)

*Sprengstofflagerrichtlinie 410*

16. Wieviel Treibladungsmittel dürfen Sie nach der Kleinmengenregelung in einem Raum aufbewahren, der dem ständigen Aufenthalt von Personen dient? (1 Punkt)

*Nichts!*

17. Welche sicherheitstechnischen Anforderungen sind an den Lagerraum bzw. Behälter zu stellen? (3 Punkte)

*Explosivstoffe dürfen in einem Behältnis nur getrennt von Gegenständen mit Zündstoff aufbewahrt werden. Die Abtrennung muß so beschaffen sein, daß die Übertragung einer Explosion auf die anderen Explosivstoffe verhindert wird. Behältnisse sind vor gefährlichen Einwirkungen von außen zu schützen. Sie müssen so aufbewahrt werden, daß im Explosionsfall die Wirkung gefährlicher Spreng- und Wurfstücke auf die unmittelbare Umgebung beschränkt bleibt. Behältnisse müssen außen mit dem Gefahrensymbol nach § 14 Abs. 1 Nr. 5 der Ersten Verordnung*

Gesamtpunktzahl:

Erreichte Punkte:

L-J

zum Sprengstoffgesetz gekennzeichnet sein. Das Gefahrensymbol muß dauerhaft und sichtbar sein.

18. Welche Maßnahmen müssen bei der Aufbewahrung im Rahmen der Kleinmengenregelung ergriffen werden? (1 Punkt)

*Alle erforderlichen Maßnahmen gegen Diebstahl und unbefugte Entnahme.*

19. Dürfen Familienmitglieder Zugang zu ihren Explosivstoffen haben? (1 Punkt)

*Nein! - außer sie besitzen selber eine entsprechende Erlaubnis nach §7 oder §27 SprengG.*

20. Dürfen Sie das selbst erworbene Treibladungsmittel anderen Personen gewerblich bzw. privat verkaufen?  
Begründen Sie Ihre Antwort! (2 Punkte)

*Gewerblich: Nein (erfordert eine Erlaubnis nach §7 SprengG)*

*Privat: Sofern der Verkehr in der Erlaubnis eingeschlossen und das Überlassen nicht ausgeschlossen ist, dürfen Explosivstoffe an Personen überlassen werden, die nach dem Sprengstoffgesetz, einer auf Grund dieses Gesetzes erlassenen Rechtsverordnung oder nach landesrechtlichen Vorschriften damit umgehen oder den Verkehr mit diesen Stoffen betreiben dürfen.*

21. Welche amtlichen Dokumente müssen Sie mit sich führen beim Umgang mit T2-Artikeln? (2 Punkte)

*Erlaubnis nach §27 SprengG*

22. Mit welchen Verkehrsmitteln dürfen Sie Treibladungsmittel von einer Menge von mehr als 3 kg bis 50 kg befördern? (3 Punkte)

*Gedekte oder bedeckte (Plane) Fahrzeuge oder Anhänger; Bahn-Express, Güterverkehr bahnlagernd; Taxi, Fähre nur mit Einverständnis - Nicht: Flugzeug, öffentliche Verkehrsmittel (Bahn, Bus); kein Versand auf dem Postweg*

23. Besteht eine Geschwindigkeitsbegrenzung bei der Beförderung von T<sub>2</sub>-Artikeln oder erlaubnispflichtigen Explosivstoffen (kleine Menge) mit einem PKW? (1 Punkt)

*Nein*

24. Welche Bestimmungen des Luftrechtes sind beim Start von Raketen mit Antrieben mit mehr als 20g Treibstoffmasse zu beachten? (1 Punkt)

*§16 LuftVO (ggf. auch §11 LuftVO)*

25. Darf bei einem Flug mit Aufstiegserlaubnis bis 1000m eine am Flugtag z.B. in 400m befindliche Wolkendecke durchflogen werden? (1 Punkt)

*Nein! Der benutzte Luftraum muß ständig beobachtbar sein um ggf. annähernde Luftfahrzeuge rechtzeitig erkennen zu können.*

Gesamtpunktzahl:

Erreichte Punkte:

*L-J*

## II. Fragen zur Praxis

1. Was ist der Schwerpunkt, was der Druckmittelpunkt einer Rakete? In welchem Verhältnis müssen die beiden zueinander stehen? (3 Punkte)

*Der Schwerpunkt bezeichnet den Punkt, an welchem die Summe der Gewichtskräfte der Komponenten der Rakete angreift.*

*Der Druckmittelpunkt bezeichnet den Punkt, an dem die Summe der aerodynamischen Kräfte der Rakete angreift.*

*Für eine stabilen Fluglage muß der Schwerpunkt vor dem Druckmittelpunkt liegen.*

2. Wie können Schwer- bzw. Druckmittelpunkt im Sinne einer stabilen Fluglage verlagert werden? (2 Punkte)

*Der Schwerpunkt kann durch zusätzliches Gewicht in der Raketenspitze (im Rahmen des für den verwendeten Raketenmotor zulässigen Startgewichtes) oder durch verlängern der Raketenzelle nach vorne verlagert werden.*

*Der Druckmittelpunkt kann durch vergrößern der Stabilisierungsflossen nach hinten verlagert werden.*

3. Wie lautet die Daumenregel für das Verhältnis von Schwerpunktlage zum Druckmittelpunkt?

*Der Schwerpunkt sollte mindestens 1 Kaliber (Durchmesser der Raketenzelle) VOR dem Druckmittelpunkt liegen. Man bezeichnet eine solche Rakete als „aerodynamisch stabil“.*

4. Wie kann eine un stabile Rakete stabil gemacht werden? (1 Punkt)

*Verlängern der Zelle, Vergrößern der Flossenfläche und/oder zusätzliches Gewicht in der Raketenspitze.*

5. Wann ist eine Rakete „überstabil“? Wie verhält sie sich? (1 Punkt)

*Eine überstabile Rakete hat zu große Stabilisierungsflossen, eine übermäßige Länge und/oder zuviel Gewicht im vorderen Teil des Flugkörpers (mehr als 3-4 Kaliber Abstand zw. Schwer- und Druckmittelpunkt). Sie neigt sehr stark dazu, sich in den Wind zu drehen nachdem Sie die Startführung verlassen hat.*

6. Wie kann die aerodynamische Stabilität einer Rakete vor dem ersten Start bestimmt werden? (1 Punkt)

*Schwingtest oder Berechnung mit geeigneten Programmen.*

7. Wie sollten der Schub des Raketenmotors und die Gewichtskraft einer Rakete im Verhältnis stehen? (1 Punkt)

*Der Schub sollte mindestens 4 mal so groß sein wie die Gewichtskraft.*

8. Was gehört zum Ablauf eines Raketenstarts? (3 Punkte)

*1. Vergewissern, dass sich niemand in der Nähe der startbereiten Rakete befindet oder im Begriff ist, sich ihr zu nähern.*

*2. Vergewissern, dass der Luftraum frei ist.*

*3. Gewinnen der Aufmerksamkeit etwaiger Zuschauer (z.B. durch einen „Achtung“-Ruf)*

*4. Vergewissern, dass Zuschauer stehen (nicht sitzen, liegen) und ggf. ausweichen können*

*5. Lautstarker Countdown (mindestens ab 5)*

*6. Rakete während des ganzen Fluges im Auge behalten.*

9. Wie verhalten Sie sich wenn Sie einem Raketenstart beiwohnen? (1 Punkt)

*Flugkörper während des ganzen Fluges mit den Augen verfolgen. Stehen bleiben (nicht hinsetzen) um einem sich nähernden Flugkörper ggf. schnell ausweichen zu können.*

10. Welche Aufgaben hat die Startrampe bei Raketenstarts? (1 Punkt)

*Führung des Flugkörpers, bis die aerodynamische Stabilisierung einsetzt; Festlegung der Flugrichtung; Brandschutz (Feuerablenkeinrichtung)*

11. Welche Startführungen für Raketen kennen Sie? Welches ist ihr Einsatzbereich? (3 Punkte)

*Es gibt Stabführungen, Schienenführungen und Starttürme. Stäbe mit 3mm Durchmesser sind für Raketen bis ca. 300g, 6mm Stäbe bis ca. 1kg und 13mm Stäbe bis ca. 3kg geeignet. Schienensysteme*

Gesamtpunktzahl:

Erreichte Punkte:

L-J

und Starttürme können bei entsprechender Auslegung für Flugkörper aller Größen (bis einigen hundert kg!) eingesetzt werden.

12. Nennen sie die verschiedenen Systeme zur sicheren Bergung einer Modellrakete. (1 Punkt)

*Fallschirm, Flatterband (Streamer), bei leichten Raketen: Zelltrennung*

13. Wann ist der günstigste und wann der ungünstigste Zeitpunkt im Verlauf eines Raketenfluges um das Bergungssystem zu aktivieren. Warum? (2 Punkte)

*Ungünstigster Zeitpunkt ist der Brennschluß des Motors, da der Flugkörper hier die höchste Geschwindigkeit erreicht.*

*Günstigster Zeitpunkt ist der Moment der Gipfelhöhe, da hier die Geschwindigkeit minimal (im Idealfall Null) ist.*

14. Wie kann ein Auslösen des Bergungssystems im günstigsten Moment erreicht werden? Nennen Sie mindestens 2 Methoden. (2 Punkte)

*Durch verzögertes Auslösen des Bergungssystems. Gängige Methoden sind pyrotechnische Verzögerungsladung, mechanische oder elektronische Zeitgeber (Timer), barometrische oder Trägheits-Höhenmesser, Erdmagnetfeldsensoren oder optische Sensoren.*

15. Wie kann bei hochfliegenden Raketen eine große Abdrift beim Abstieg am Bergungssystem verhindert werden? (1 Punkt)

*Bei hochfliegenden Raketen kann man ein 2-stufiges Bergungssystem anwenden, bei dem am Gipfelpunkt zuerst ein relativ kleiner Vorfallschirm, und dann in niedrigerer Höhe (z.B. 100m) der Hauptfallschirm ausgeworfen wird. Hierzu sind elektronische Bergungssysteme mit Höhenmesser erforderlich.*

16. Wozu dienen kleine Öffnungen in der Raketezelle, die bei hochfliegenden Raketen benötigt werden? (1 Punkt)

*Zum Druckausgleich des Raketeninneren mit dem mit zunehmender Höhe abnehmenden äußeren Luftdruckes. Sie verhindern, dass ein innerer Überdruck das Bergungssystem auslösen könnte.*

17. Wie groß ist der Unterschied in der kinetischen Energie zweier baugleicher Raketen, die mit 10 m/s bzw. 20 m/s am Fallschirm zurückkehren? (1 Punkt)

*Die kinetische Energie der schnelleren Rakete ist vierfach größer ( $1/2 mv^2$ )*

18. Was versteht man unter „Redundanz“? Wo wird sie eingesetzt? (2 Punkte)

*Redundanz bezeichnet eine Überdimensionierung kritischer Komponenten und die Verwendung mehrerer unabhängiger Systeme für kritische Aufgaben. Bei Raketen wird Redundanz oft bei Anzündvorrichtungen und Bergungssystemen eingesetzt.*

19. Wie verhalten Sie sich wenn das Bergungssystem einer Rakete versagt? (1 Punkt)

*Flugkörper während des ganzen Fluges mit den Augen verfolgen. Umstehende warnen! Stehen bleiben (keinesfalls hinsetzen!) um einem sich nähernden Flugkörper ggf. schnell ausweichen zu können.*

20. Welches sind die besonderen Schwachpunkte eines Bergungssystems? (2 Punkte)

*Die Befestigung und die Verbindungselemente zwischen Raketenzelle und Fallschirm, die Befestigung der Fallschirmleinen am Fallschirm, Schalter und Steckverbindungen bei elektronischen Systemen. Besonders die dynamischen Belastungen durch den Ruck der Fallschirmöffnung werden oft unterschätzt!*

21. Was bezeichnen die international üblichen Buchstaben/Zahlenkombinationen auf Raketenmotoren?

*Gesamtimpuls, durchschnittlichen Schub, Dauer der Verzögerung bis zum Fallschirmauswurf.*

22. Welches System steht hinter der international üblichen Einteilung von Raketenmotoren in Impulsklassen? (1 Punkt)

*Die jeweils nächste Impulsklasse (bezeichnet durch einen Buchstaben) hat maximal den doppelten Impuls wie die vorherige. Die Bezeichnungen beginnen mit dem Buchstaben „A“, der für den Bereich 0-2,5Ns steht. Impulsklasse „B“ umfasst also den Bereich >2,5Ns bis 5Ns usf.*

23. Welche Arten der Anzündung für Raketenmotoren kennen Sie? Welche sollte  
Gesamtpunktzahl:

Erreichte Punkte:

L-J

verwendet werden? (2 Punkte)

*Anzündschnüre, elektrische Anzünder (z.B. Brückenzünder, Satzauslöser). Elektrische Anzündung ist unbedingt vorzuziehen, da hier bis zum letzten Moment entschieden werden kann, ob ein Start sicher ist oder abgebrochen werden muß (z.B. wegen plötzlich auftauchendem Luftfahrzeug).*

24. Was ist eine Zündbüchse? Wo wird sie verwendet? (1 Punkt)

*Eine Zündbüchse ist eine Vorrichtung, die durch eine dünne, unverdämmte Lage losen Schwarzpulvers die gleichzeitige Anzündung mehrerer gebündelter Raketenmotoren ermöglicht. Sie kann ausschließlich bei Raketenmotoren mit Schwarzpulver-Treibsatz eingesetzt werden.*

25. Welche 3 Kräfte wirken während des Fluges auf eine Rakete? (1 Punkt)

*Erdanziehung, Schub des Antriebs und Luftwiderstand*

26. Der Durchschnittsschub eines Raketenmotors sei 100N und die Brenndauer 4 Sekunden. Wie groß ist sein Impuls? (1 Punkt)

*400Ns, das ist Impulsklasse „I“*

27. Welcher dieser Motoren hat den höchsten mittleren Schub: J200, J400, K200? (1 Punkt)

*Der J400 hat den höchsten mittleren Schub (bei kürzerer Brenndauer).*

28. Welcher dieser Motoren hat den größten Impuls: J200, J400, K200? (1 Punkt)

*Der K200 hat den höchsten Impuls (im Bereich von 1280-2560Ns)*

29. Wie verhalten Sie sich, wenn ein Raketenmotor bei einem Startversuch nicht zündet? (3 Punkte)

*Zündgerät deaktivieren und sichern; mindestens 2 Minuten warten; danach die Rakete vorsichtig von der Rampe nehmen und Motor und Anzündung ausbauen. Dabei die Rakete und den Motor immer so halten, dass keine (eigenen oder fremde) Körperteile gefährdet werden.*

30. Welche Gefahren birgt eine Untermotorisierung einer Rakete? (2 Punkte)

*Eine untermotorisierte Rakete erreicht am Ende der Startführung nicht die notwendige Geschwindigkeit, damit die aerodynamische Stabilisierung wirksam wird. Die Rakete kann dann leicht abkippen und mit arbeitendem Motor abstürzen. Sie ist außerdem extrem seitenwindempfindlich.*

31. Welche Gefahren birgt eine Übermotorisierung einer Rakete? (2 Punkte)

*Eine übermotorisierte Rakete erreicht bis Brennschluß des Raketenmotors u.U. eine derart hohe Geschwindigkeit, dass aerodynamische Kräfte die Raketenzelle und/oder die Stabilisierungsflossen beschädigen können. Speziell wenn die Flossen zu Schwingungen angeregt werden (flattern) kann dies sehr schnell zu einem regelrechten Zerreißen des Flugkörpers führen.*

32. Wie verhalten Sie sich, wenn ein Raketenmotor bei einem Startversuch nicht zündet? (3 Punkte)

*Zündgerät deaktivieren und sichern; mindestens 2 Minuten warten; danach die Rakete vorsichtig von der Rampe nehmen und Motor und Anzündung ausbauen. Dabei die Rakete und den Motor immer so halten, dass keine (eigenen oder fremde) Körperteile gefährdet werden.*

33. Was ist beim Selbstbau eines Zündgerätes zu beachten? (4 Punkte)

*Die Energiequelle muß ausreichende Spannung und Stromlieferbarkeit (geringen Innenwiderstand) haben. Das Zündgerät muß über eine Möglichkeit zur Durchgangsprüfung des Zündkreises mit einer ungefährlichen (sehr geringen) Stromstärke verfügen. Steckkontakte müssen so ausgeführt sein, dass beim Aus- und Einstecken keine unerwünschte Kontaktgabe erfolgen kann (z.B. keine Klinkenstecker verwenden!). Bei Schaltern und besonders bei der Verwendung von Relais muß deren maximaler Schaltstrom beachtet werden um ein Verschweißen der Kontakte zu vermeiden. Regelmäßige Kontrollen sind durchzuführen!*

Gesamtpunktzahl:

Erreichte Punkte:

L-J

### Beispielrechnung zur Höhenbestimmung (ohne Berücksichtigung des Luftwiderstandes)

Gegeben sei eine Rakete mit einem Durchmesser von 30mm und einem Leergewicht von 140g sowie ein Raketenmotor mit einem Impuls von 50Ns bei einer Brenndauer von 2s und einem Gewicht von 60g.

#### Formelsammlung:

$$E_{kin} = \frac{1}{2}mv^2 \quad E_{pot} = m \cdot G \cdot h \quad G = 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$F = m \cdot a \quad v = a \cdot t$$

#### Rechengang:

$$F = \frac{\text{impuls}}{\text{Brenndauer}} = \frac{50Ns}{2s} = 25N$$

$$F = m \cdot a \Rightarrow a = \frac{F}{m} = \frac{25N}{0,2kg} = 125 \frac{m}{s^2} \quad (\text{entspricht } 12,75 \text{ G})$$

$$v = a \cdot t = 125 \frac{m}{s^2} \cdot 2s = 250 \frac{m}{s} \quad (\text{entspricht } 900 \text{ km/h})$$

$$E_{kin} = E_{pot} \rightarrow \frac{m}{2} \cdot v^2 = m \cdot G \cdot h \Rightarrow h = \frac{m \cdot v^2}{2 \cdot m \cdot G} = 3186 \text{ m}$$

#### Zum Vergleich:

Bei Verwendung eines Simulationsprogrammes welches den Luftwiderstand berücksichtigt erhält man unter Annahme eines  $C_w$ -Wertes von 0,5:

$$h = 955 \text{ m} \quad \text{und} \quad v_{max} = 679 \text{ km/h}$$

(...immer noch sehr beachtliche Werte, die einen spektakulären Flug erwarten lassen)

Gesamtpunktzahl:

Erreichte Punkte:

L-J