unterstrass.edu
WO WERTE SCHULE MACHEN

NAME: _____ PUNKTE: ____ NOTE: ____

PHYSIKMATUR PROMOTION 146

Gymnasium Unterstrass Zürich

Termin:	Mo 28. August 2017	
Zeit:	8.00 – 11.00 Uhr (3 Stunden)	
Material:	eigenes:	Taschenrechner TI-30X Pro MultiView, Schreibzeug, bis zu 2 Übersichtsblätter (A4, vorne und hinten)
	vorhanden:	*Formelsammlung Physik* (A. Gertsch), zusätzliches Schreibpapier
Bewertung:	Bei jeder Aufgabe ist die maximal mögliche Punktzahl angegeben. Total sind 64 Punkte möglich. Für die Maximalnote werden allerdings nicht alle Punkte benötigt. **Geben Sie alle Resultate mit passenden SI-Vorsätzen und der korrekten Anzahl signifikanter Ziffern an. Diese Aspekte fliessen in die Bewertung mit ein.**	
Examinator:	Alexander Gertsch	
Experte:	Dr. Rainer Mertens	

Lösen Sie alle Aufgaben auf den mitverteilten karrierten Blättern.
Verwenden Sie für jede Aufgabennummer ein neues Blatt.
Bei vorbereiteten Diagrammen und Kräfteskizzen dürfen Sie direkt auf den Aufgabenblättern arbeiten.

Viel Erfolg bei Ihrer Physikmatur!

1 Ein zukunftsträchtiger Wert – die Solarkonstante (2 Punkte)

Die nachhaltige Energieversorgung der Zukunft soll durch erneuerbare Energieformen, also im Wesentlichen durch die Sonnenenergie gewährleistet werden.

Die sogenannte **Solarkonstante S** beschreibt die Stärke der Leistung der Sonnenstrahlung, die hier auf der Erde ankommt. Sie beträgt:

$$S \approx 1400 \, \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{m}^2 \cdot \mathrm{s}}$$

Betrachten Sie die Einheiten der Solarkonstante und folgern Sie daraus, wie dieser wichtige Wert wohl zu verstehen ist.

Geben Sie Ihre Überlegungen in maximal 4 fachlich präzise formulierten Sätzen wieder.

2 Ein Sprint mit Usain Bolt von A bis Z (8 Punkte)

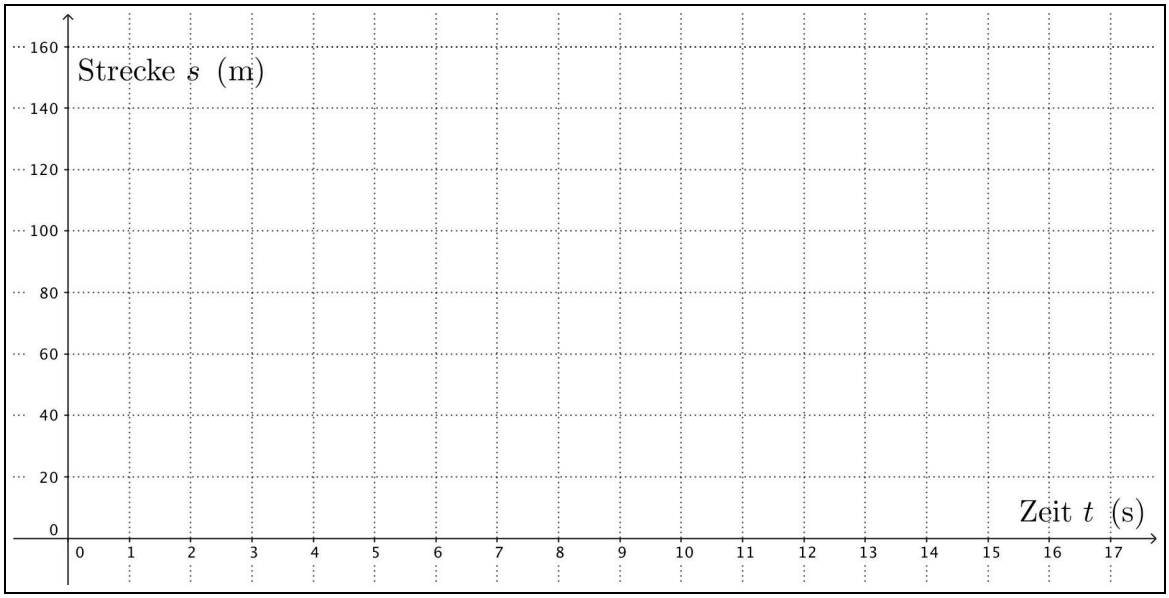
In dieser Aufgabe analysieren Sie die Kinematik bei einem $100\,\mathrm{m}$-Sprint, z.B. von *Usain Bolt*. Dazu vereinfachen wir das reale Geschehen mit den folgenden Annahmen: Bolt beschleunige während der ersten $3.0\,\mathrm{s}$ gleichmässig mit $4.1\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$ und lege dann den Rest der $100.0\,\mathrm{m}$ langen Strecke mit konstanter Spitzengeschwindigkeit zurück.

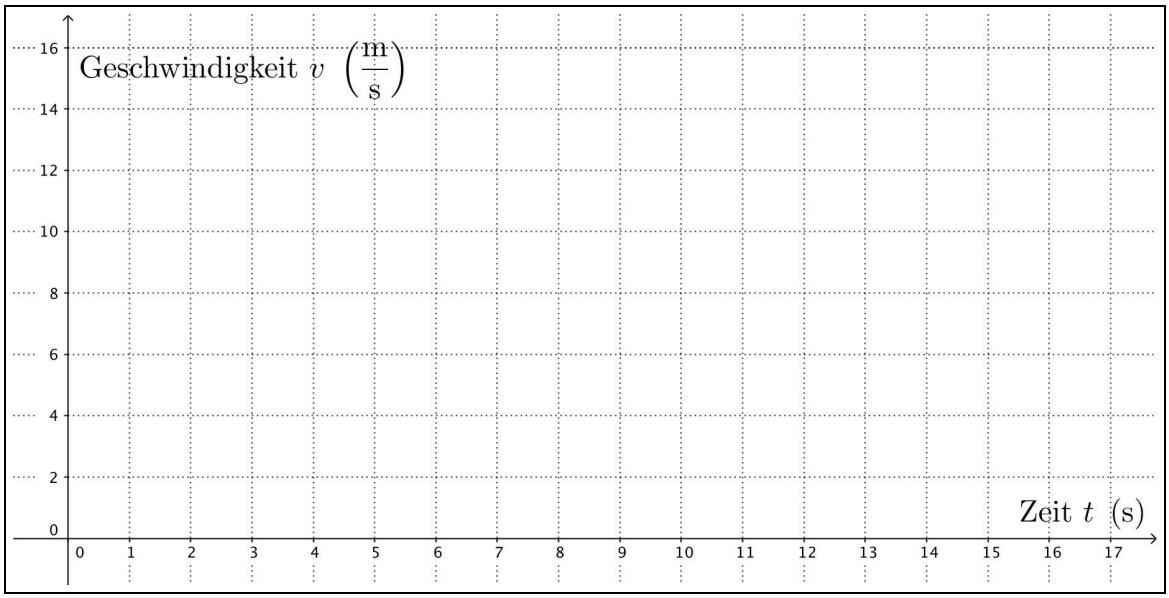
Zeichnen Sie die drei Bewegungsdiagramme zu diesem Sprint. Die Koordinaten aller relevanten Punkte berechnen Sie aus den gegebenen Daten.

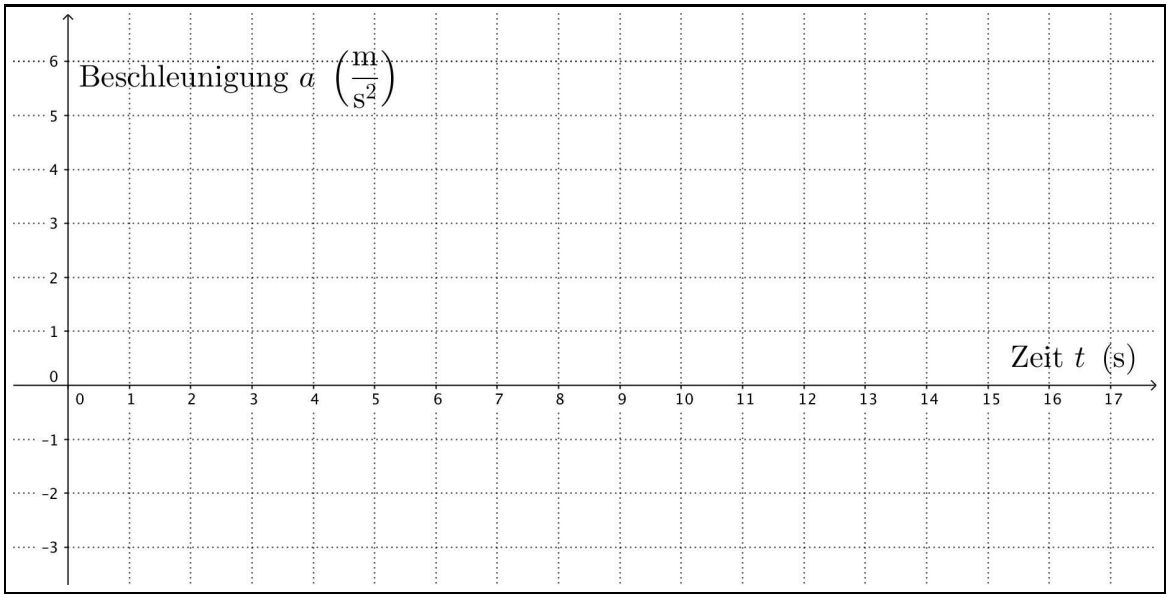
Die Aufgabe geht noch ein wenig über die ersten $100\,\mathrm{m}$ hinaus: Nach dem Überqueren der Ziellinie bremst Bolt – der das Rennen natürlich gewonnen hat – auf weiteren $35\,\mathrm{m}$ auf die nachher wieder konstante Geschwindigkeit von $12\,\frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}}$ für seine Ehrenrunde ab.

Tipps und Hinweise:

- Verwenden Sie die Diagrammvorlagen auf der nächsten Seite. Eine weitere Kopie dieser Diagrammseite dürfen Sie bei Bedarf von der Aufsichtsperson beziehen.
- Arbeiten Sie allenfalls zuerst mit Bleistift und zeichnen Sie die endgültige Version am Ende mit Kugelschreiber ein. (Keine Leuchtstifte oder dicken Filzer verwenden – eine klare Linie ist erwünscht.)
- Zur Zeit $t = 0$ startet Bolt am Ort $s = 0$.


Strecke s (m)
160
140
120
100
80
60
40
20
0
Zeit t (s)
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17


Geschwindigkeit v $\left(\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}\right)$
16
14
12
10
8
6
4
2
0
Zeit t (s)
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17


Beschleunigung a $\left(\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}\right)$
6
5
4
3
2
1
0
-1
-2
-3
Zeit t (s)
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17

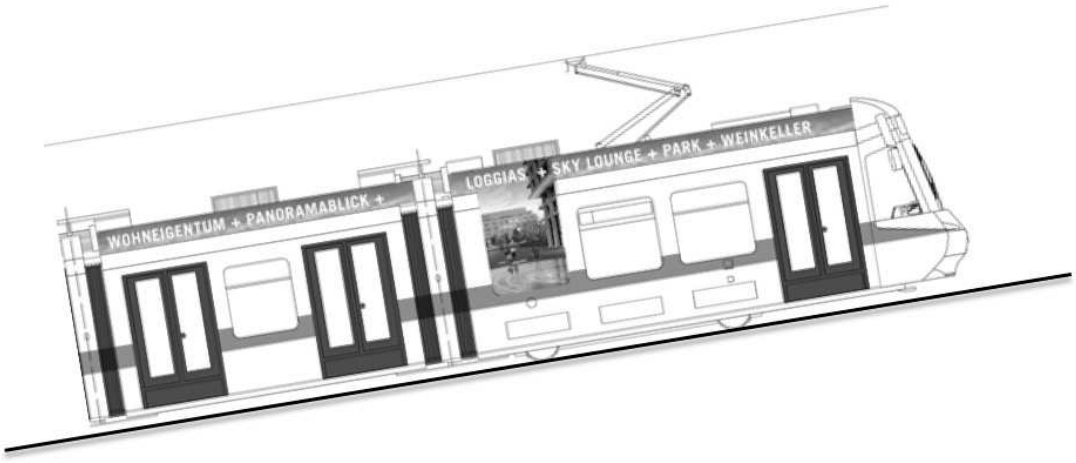
3 Die Cobra im Berggang (6 Punkte)

Die **Cobra** – das Tram – fährt vom Central Richtung Haldenegg hoch. Gerade beschleunigt sie.

Zeichnen Sie die Kräfteskizze und berechnen Sie die Motorenkraft F_{M}.

Daten:	Masse des Trams (inkl. Passagiere):	$45\,\mathrm{t}$
	Rollreibungszahl zwischen Rädern und Schienen:	0.0072
	Steigung der Strecke Central-Haldenegg:	$6.4\,\%$
	Aktuelle Geschwindigkeit:	$18\,\frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}}$
	Aktuelle Beschleunigung:	$1.3\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$

Der Luftwiderstand ist vernachlässigbar.



4 Vor- und Nachteile von Spoilern in der Formel 1 (9 Punkte)

Situation (Bild): Gerade befindet sich *Lewis Hamilton* mit konstanter Geschwindigkeit in einer Hochgeschwindigkeitskurve (gleichförmige Kreisbewegung):

- Geschwindigkeit: $179\,\frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}}$.
- Automasse (inkl. Hamilton): $799\,\mathrm{kg}$.
- Kurvenradius: $87\,\mathrm{m}$.
- Die Haftreibungszahl zwischen den "weichen Reifen" und dem Asphalt beträgt 1.17.
- Aufgrund seiner Spoiler ($\widehat{=}$ Flügel) erfährt das Rennauto einen Abtrieb F_{ab}, der es zusätzlich zur Gewichtskraft gegen den Boden drückt.

(a) Erst durch den Abtrieb kann ein Formel-1-Auto so schnell durch Kurven fahren.

Wie gross muss $\boldsymbol{F_{\mathrm{ab}}}$ in der beschriebenen Situation mindestens sein? (6.5 Punkte)

- Berechnen Sie den aktuellen Minimalwert für F_{ab},
- drücken Sie das Resultat als Prozentsatz der Gewichtskraft F_{G} aus und
- kommentieren Sie dieses Ergebnis kurz in einem Satz.

Tipp: Das Bild oben ist eine gute Vorlage für eine **Kräfteskizze**.

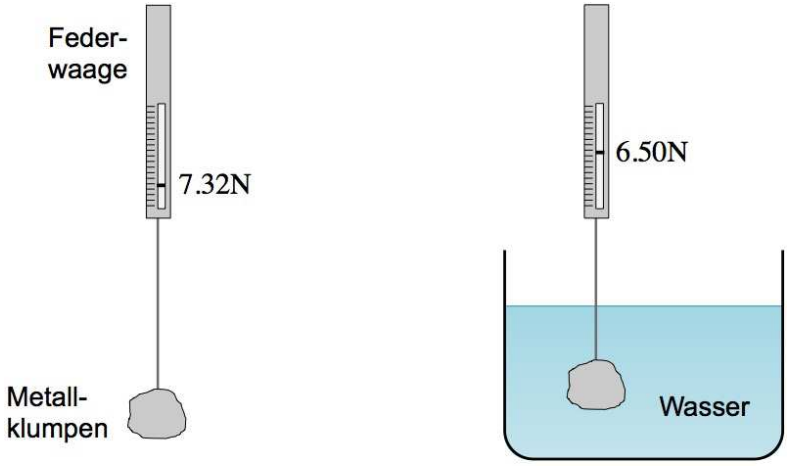
(b) Ein "Dilemma" der Auto-Konstrukteure: Spoiler sind zwar hilfreich fürs Kurvenfahren, aber...

Welche Auswirkungen von Spoilern sind denn nicht so wünschenswert? (2.5 Punkte)

Untermauern Sie Ihre kurze Beantwortung der Frage mit einer zusätzlichen Betrachtung der auf das Auto wirkenden Kräfte auf einer Geraden.

5 Materialbestimmung mit Wasser (5 Punkte)

Im Schulzimmer hänge ich einen Metallklumpen an eine Federwaage und messe einen Wert von $7.32\,\mathrm{N}$. Danach tauche ich den Klumpen in Wasser, wodurch sich der Messwert auf $6.50\,\mathrm{N}$ verringert:



Um welches Metall dürfte es sich gemäss der Dichtetabelle unten wohl handeln?

Tipp: Kraftgleichungen aufstellen. Gesucht sind die Masse und das Volumen des Klumpens!

Tabelle: Dichten verschiedener Stoffe

Feste Stoffe (bei $20°\mathrm{C}$)

Stoff	in $10^3\,\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3}$
Aluminium	2.70
Blei	11.34
Diamant	3.51
Eis (bei $0°\mathrm{C}$)	0.917
Eisen	7.86
Gold	19.29
Graphit	2.24
Kork (typischer Wert)	0.3
Kupfer	8.92
Messing	8.47
Nickel	8.90
Platin	21.45
Quarzglas	2.2
Silber	10.5
Stahl V2A	7.9
Zink	7.14
Zinn (weiss)	7.29

Flüssige Stoffe (bei $20°\mathrm{C}$)

Stoff	in $10^3\,\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3}$
Ethanol	0.789
Glycerin	1.261
Heizöl (typischer Wert)	0.86
Olivenöl (typischer Wert)	0.92
Quecksilber	13.546
Wasser	0.998

Gasförmige Stoffe (bei $0°\mathrm{C}$ und $1.013\,\mathrm{bar}$)

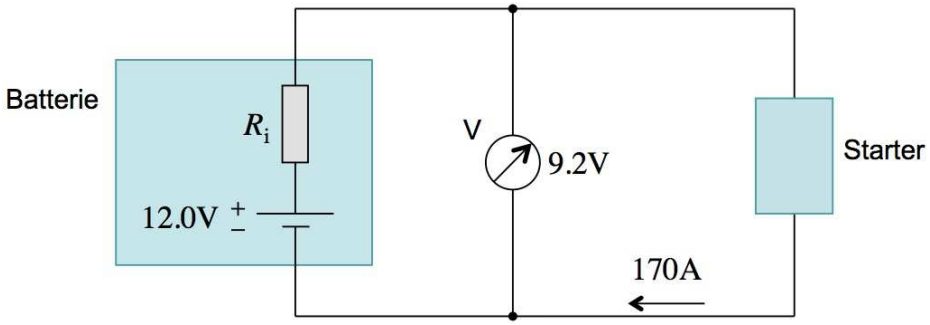
Stoff	in $\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3}$
Erdgas (typischer Wert)	0.83
Helium	0.1785
Kohlendioxid	1.977
Luft	1.293
Sauerstoff	1.429
Stickstoff	1.250
Wasserstoff	0.0899

6 Autobatterie und Starter (4 Punkte)

Obwohl **Autobatterien** nur eine Spannung von $12\,\mathrm{V}$ bereitstellen, sind sie im Gegensatz zu handelsüblichen $9\,\mathrm{V}$-Batterien geradezu riesig:

Ein Grund für diesen Grössenunterschied ist die beträchtliche Ladungskapazität einer Autobatterie. Diese ist notwendig, damit die Batterie problemlos und mehrmals hintereinander die Stromstärke liefern kann, die es für das Starten des Automotors benötigt – ein starker Elektromotor muss den Verbrennungsmotor "anschieben", bis dieser von alleine weiterläuft.

Bei einer Autobatterie messen wir zwischen den Anschlüssen eine Spannung von $12.0\,\mathrm{V}$, solange noch kein Strom fliesst. Beim Betrieb des Starters fliessen während beispielsweise $3.5\,\mathrm{s}$ bemerkenswerte $170\,\mathrm{A}$ und man misst an der Batterie eine Spannung von nur noch $9.2\,\mathrm{V}$. Diese Absenkung der Batteriespannung ist auf den **Innenwiderstand** R_i der Batterie zurückzuführen. Im Schaltschema sieht das folgendermassen aus:



(a) **Wie gross wäre der Kurzschlussstrom, der sich ergeben würde, wenn ich die beiden Batteriepole direkt miteinander verbinden würde?** (2.5 Punkte)

Hinweis: Der Widerstand der Drahtleitungen sei vernachlässigbar.

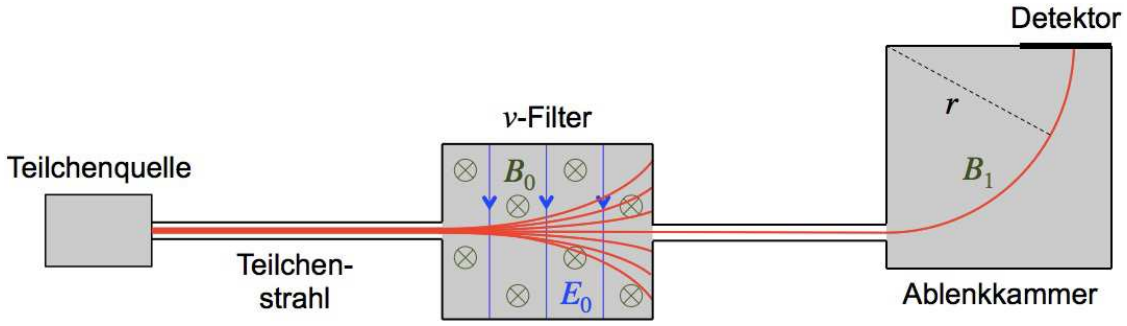
Tipp: Als Zwischenresultat ist der Innenwiderstand R_i zu berechnen!

(b) Die Autobatterie oben enthält gemäss Aufschrift im vollen Zustand eine Ladung von $60\,\mathrm{Ah}$.

Wie lange könnte man damit im Prinzip den Starter betreiben? (1.5 Punkte)

7 Elektromagnetismus im Massenspektrometer (9 Punkte)

Das **Massenspektrometer** ist ein Präszisionsinstrument, mit dem sich die Massen elektrisch geladener Teilchen sehr genau bestimmen lassen. Hier der schematische Aufbau einer solchen Apparatur:



Die **Teilchenquelle** links erzeugt einen Strahl der zu untersuchenden Teilchen (**Ionen**). D.h., sie beschleunigt die Teilchen in eine bestimmte Richtung. Allerdings können die Geschwindigkeiten der einzelnen Teilchen im Strahl noch variieren.

Das von uns betrachtete Teilchen sei ein einfach ionisiertes **Methan-Molekül** CH_4^+.

(a) Das v-Filter ist ein Geschwindigkeitsfilter. Es lässt nur Teilchen mit ganz bestimmter Geschwindigkeit v_0 passieren – und zwar unabhängig von deren Masse!

Wie geht das? Im v-Filter sind zwei Felder vorhanden: ein Magnetfeld B_0 (grün) und ein elektrisches Feld E_0 (blau). Das Teilchen erfährt somit eine Lorentzkraft F_L und eine elektrische Kraft F_el. Nur ein Teilchen, bei dem sich die beiden Kräfte gegenseitig aufheben, fliegt geradeaus weiter und gelangt schliesslich in die Ablenkkammer.

Zeigen Sie, dass die Passiergeschwindigkeit v_0 ausschliesslich von den beiden Feldstärken B_0 und E_0 abhängt. (2 Punkte)

Hinweis: Positiv geladene Teilchen erfahren im elektrischen Feld E_0 eine elektrische Kraft in Feldrichtung. Ist q die Teilchenladung, so ist der Kraftbetrag gegeben durch:

$$F_\mathrm{el} = q \cdot E_0$$

(b) **Was geschieht im v-Filter mit einem CH_4^+-Molekül, das langsamer als v_0 unterwegs ist?** (1 Punkt)

Beziehen Sie sich bei Ihrer Antwort auf das Bild oben.

(c) Unser CH_4^+-Molekül erreiche die Ablenkkammer und wird im dort vorhandenen Magnetfeld B_1 wie gezeigt zum Detektor hin abgelenkt.

Welche Richtung hat das Magnetfeld B_1 in der Ablenkkammer im Schema oben? (2 Punkte)

Begründen Sie Ihre Antwort in Stichworten.

(d) Die Teilchengeschwindigkeit beträgt $2.433 \cdot 10^5 \,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$ und das Magnetfeld in der Ablenkkammer hat eine Flussdichte von $B_1 = 151.3\,\mathrm{mT}$. Wie wir aus dem Auftreffpunkt unseres CH_4^+-Moleküls im Detektor schliessen können, hat es sich in der Kammer auf einer Kreisbahn mit Radius $r = 28.4\,\mathrm{cm}$ bewegt.

Zu welchem Kohlenstoff-Isotop gehört das C-Atom in unserem Molekül? (4 Punkte)

Hinweis: Gehen Sie davon aus, dass die vier Wasserstoffatome im CH_4-Molekül je eine Masse von $1.01\,\mathrm{u}$ besitzen.

8 “D’Energie im Brot us em Gnä” (5 Punkte)

In dieser Aufgabe geht es um folgende Abschätzung:

Wie teuer ist die elektrische Energie, die in jedem Kilogramm Brot aus der Bäckerei Gnädinger steckt?

Gehen Sie dabei von folgenden Annahmen aus:

- Herr Gnädinger hat mir kürzlich gesagt, dass die Bäckerei Gnädinger pro Jahr etwa $100\,\mathrm{t}$ Brot (in allen möglichen Formen) produziert.
- In der Backstube stehen insgesamt 18 Öfen, von denen im Schnitt während der Arbeitszeit stets etwa 15 am laufen sind. Jeder einzelne Ofen hängt an der Starkspannung von $400\,\mathrm{V}$ und zieht im Mittel einen Strom von $9\,\mathrm{A}$.
- Pro Arbeitstag (Mo-Sa) wird in der Backstube im Schnitt 14 Stunden gearbeitet.
- Vom Gesamtstromverbrauch der Bäckerei Gnädinger entfallen $65\,\%$ auf den Betrieb der elektrischen Backöfen. Der restliche Strom wird für diverse andere Notwendigkeiten gebraucht: Kälteanlagen, Warmwasser, Beleuchtung, etc. Aber auch für diesen Strom bezahlen wir ja, wenn wir beim “Gnä” Brot kaufen.
- Das Elektrizitätswerk der Stadt Zürich verlangt von gewerblichen Betrieben einen Preis von $7.1\,\mathrm{Rp.}$ pro Kilowattstunde.

Denkanstoss: Wie viele Arbeitstage gibt es pro Jahr etwa?

Nebenbei: Nehmen Sie die jährliche Stromrechnung der Bäckerei Gnädinger zur Kenntnis!

9 Gallium–68 – ein PET-Radiopharmakon (7 Punkte)

Beim **Positronen-Emissions-Tomographen (PET)** können unterschiedliche β^+-Strahler zum Einsatz kommen. Typisch sind beispielsweise $\mathrm{F}\text{–}18$, aber auch $\mathrm{Ga}\text{–}68$. Die Halbwertzeit des Radiopharmakons darf dafür nicht allzu klein, aber auch nicht allzu gross sein: Einerseits braucht man genügend Zeit zur Durchführung des bildgebenden Verfahrens, andererseits soll die Aktivität des Radiopharmakons danach relativ rasch abklingen.

Bei Gallium–68 beträgt die Halbwertzeit $67.629\,\mathrm{min}$. Für ein PET wird einer Patientin ein Präparat eingespritzt, das $0.300\,\mathrm{ng}$ (Nanogramm) dieses Radiopharmakons enthält.

(a) Wie gross ist die Aktivität der eingespritzten $^{68}\mathrm{Ga}$-Menge 57 Minuten nach der Einspritzung, also zum Zeitpunkt der eigentlichen Untersuchung? (4 Punkte)

Geben Sie die Antwort in MBq (Megabecquerel).

(b) Wie viele Stunden nach der Einspritzung ist die Aktivität auf 1.0 ‰ (1 Promille) ihres Wertes bei der Einspritzung zurückgegangen? (3 Punkte)

10 Ein physikalischer Streifzug durch das KKW Gösgen (9 Punkte)

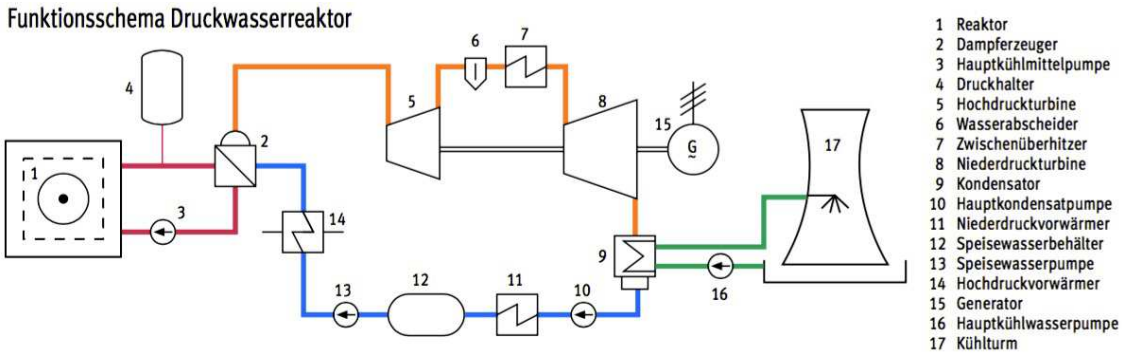
So umstritten ein Kernkraftwerk ist, so beeindruckend sind seine technischen Daten. Im Jahr 2016 hat beispielsweise das **KKW Gösgen** im Kanton Solothurn bei einer mittleren elektrischen Leistungsabgabe von $992\,\mathrm{MW}$ eine elektrische Energie von insgesamt $8167\,\mathrm{GWh}$ ins Stromnetz eingespiesen ($\approx$ ca. $\frac{1}{7}$ des Schweizer Gesamtstrombedarfs, Geschäftsbericht KKW Gösgen 2016).

(a) **Wie lange war der Reaktor des KKWs Gösgen im Jahr 2016 in Betrieb?** (1.5 Punkte)

Geben Sie die Antwort in Monaten (1 Monat $\widehat{=}$ 30.4 Tage).

(b) **Beschreiben Sie in Stichworten die Energieumwandlungen vom Reaktor bis zur wegführenden Stromleitung.** (2 Punkte)

Achten Sie auf die Verwendung **korrekter Fachbegriffe** (Energieformen, Orte der Energieumwandlungen)! Das folgende Schema des KKWs mag helfen...



(c) Eine Spaltungsreaktion im Kernreaktor lautet beispielsweise:

$$^{235}_{92}\mathrm{U} + n \quad \longrightarrow \quad ^{141}_{56}\mathrm{Ba} + ^{92}_{36}\mathrm{Kr} + 3 \cdot n$$

Annahme: Die gesamte thermische Leistung des Reaktors (etwa $3000\,\mathrm{MW}$) sei auf genau solche Spaltungsreaktionen zurückzuführen.

Wie viele Reaktionen finden demnach pro Sekunde im Reaktor statt? (4 Punkte)

Benötigte Angaben: Massen der beteiligten Nuklide:

$$m_\mathrm{A}(^{235}\mathrm{U}) = 235.043\,928\,\mathrm{u}$$
$$m_\mathrm{A}(^{141}\mathrm{Ba}) = 140.914\,404\,\mathrm{u}$$
$$m_\mathrm{A}(^{92}\mathrm{Kr}) = 91.926\,173\,\mathrm{u}$$

Tipp: Berechnen Sie die bei einer einzelnen solchen Reaktion freigesetzte Energiemenge. Anschliessend bringen Sie diesen Wert mit der thermischen Reaktorleistung in Verbindung.

(d) Bei der jährlichen Revision des KKWs wird das älteste Viertel der Brennelemente aus dem Reaktor entfernt und durch frisches Material ersetzt. Bevor die entfernten Brennelemente tatsächlich aus dem KKW abtransportiert werden, lagern sie allerdings noch ein ganzes Jahr im Abklingbecken und müssen weiterhin gekühlt werden.

Woher stammt diese Hitze im ausgemusterten Spaltmaterial genau? (1.5 Punkte)