

# **50. Internationale PhysikOlympiade**

## **Tel Aviv, Israel 2019**



### **Wettbewerbsleitung**

Dr. Stefan Petersen

Tel.: 0431 / 880 - 5120

email: [petersen@ipho.info](mailto:petersen@ipho.info)

Sabrina Borchert

Tel.: 0431 / 880 - 5387

email: [sekretariat@ipho.info](mailto:sekretariat@ipho.info)

Anschrift: IPN an der Universität Kiel

Olshausenstraße 62

24118 Kiel

Fax: 0431 / 880 - 3148

Webseite: [www.ipho.info](http://www.ipho.info)

## **Klausur der 2. Runde im Auswahlwettbewerb zur 50. IPhO 2019**

**Beachte unbedingt die Regeln und Hinweise für die Klausur!**

Ich versichere, die Klausur entsprechend der Regeln und Hinweise, ohne fremde Hilfe und innerhalb von 180 Minuten geschrieben zu haben.

**Name:** *Name*

**Schülercode:** *Code*

**Unterschrift:** \_\_\_\_\_

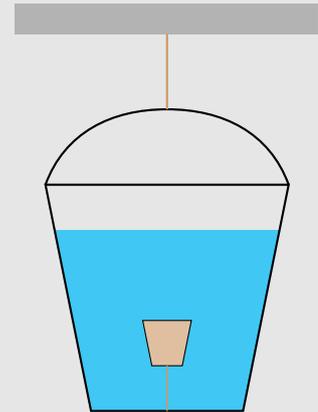
## Multiple-Choice Aufgaben

Finde zu jeder der folgenden zehn Fragen den richtigen Lösungsbuchstaben und begründe physikalisch, warum dies die korrekte Lösung ist. Es ist jeweils nur eine Antwortmöglichkeit richtig. Nutze den Platz in der Box für Rechnungen sowie Begründungen und notiere deinen Antwortbuchstaben an der vorgesehenen Stelle am Ende jeder Box.

### Aufgabe 1 Korken im Eimer (MC-Aufgabe)

**(5 Pkt.)**

Ein mit Wasser gefüllter Eimer ist an einem Seil aufgehängt. In dem Eimer befindet sich, wie nebenstehend abgebildet, ein Korken, der mit einem Faden am Boden des Eimers befestigt ist. Wenn der Faden durchtrennt wird, steigt der Korken an die Wasseroberfläche. Wird das Seil am Eimer durchtrennt, fällt dieser mit Inhalt nach unten.



Wie bewegt sich der Korken relativ zu dem Eimer, unmittelbar nachdem das Seil und der Faden gleichzeitig durchtrennt worden sind?

- A Der Korken steigt schneller zur Wasseroberfläche.
- B Der Korken steigt genau so schnell an die Wasseroberfläche.
- C Der Korken bleibt in Ruhe.
- D Der Korken sinkt zum Boden des Eimers.

### Antwortteil

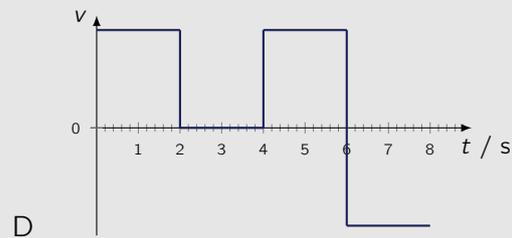
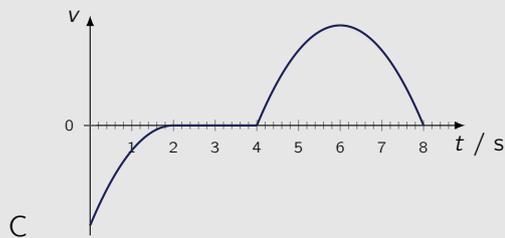
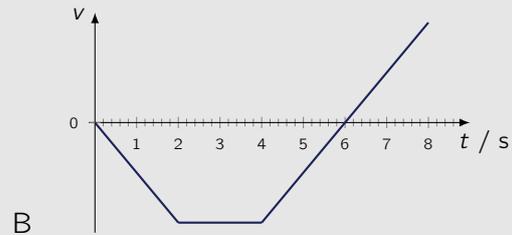
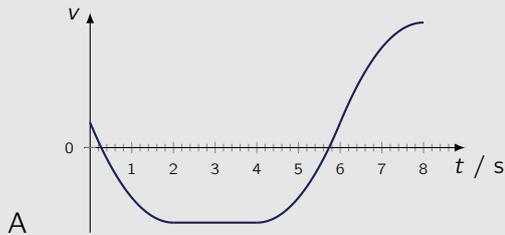
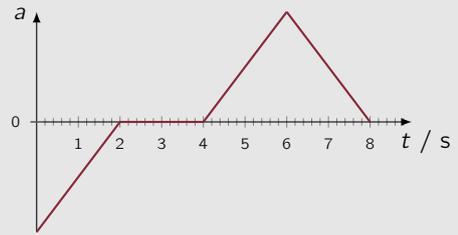
Rechnungen und Erläuterungen

Korrekte Antwort:

**Aufgabe 2 Bewegung! (MC-Aufgabe)**
**(5 Pkt.)**

Der nebenstehende Graph zeigt die Beschleunigung  $a$  eines Körpers bei einer eindimensionalen Bewegung als Funktion der Zeit  $t$ .

Welche der nachfolgenden Graphen stellt die Geschwindigkeit  $v$  des Körpers als Funktion der Zeit korrekt dar?


**Antwortteil**

Rechnungen und Erläuterungen

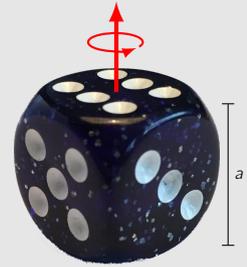
Korrekte Antwort:

**Aufgabe 3 Rotierender Würfel (MC-Aufgabe)**
**(5 Pkt.)**

Bezeichne mit  $I$  das Trägheitsmoment des nebenstehend abgebildeten Würfels bei Drehung um die eingezeichnete Achse durch die Mittelpunkte zweier gegenüberliegender Seiten.

Wie groß ist das entsprechende Trägheitsmoment eines Würfels aus dem gleichen Material aber mit doppelt so großer Kantenlänge  $a$ ?

- A  $2I$                       B  $4I$                       C  $16I$                       D  $32I$


**Antwortteil**

Rechnungen und Erläuterungen

Korrekte Antwort:

**Aufgabe 4 Leistung von Gravitationswellen (MC-Aufgabe)****(5 Pkt.)**

Die allgemeine Relativitätstheorie sagt die Existenz von Gravitationswellen, also Wellen in der Struktur der Raumzeit voraus. Diese Wellen werden von beschleunigten Massen erzeugt und breiten sich mit Lichtgeschwindigkeit aus.

Für zwei Körper mit gleicher Masse  $m$ , die sich in einem Abstand  $r$  umkreisen, lässt sich die durch Gravitationswellen abgestrahlte Leistung  $P$  mit Hilfe der Gravitationskonstante  $G$  und der Vakuumlichtgeschwindigkeit  $c$  ausdrücken.

Welcher der folgenden Ausdrücke könnte einen passenden Ausdruck für die Leistung  $P$  darstellen?

A  $P = \frac{32}{5} \frac{G^5 m^5}{c^5 r^4}$

B  $P = \frac{32}{5} \frac{G^5 m^5}{c^4 r^5}$

C  $P = \frac{32}{5} \frac{G^5 m^4}{c^5 r^5}$

D  $P = \frac{32}{5} \frac{G^4 m^5}{c^5 r^5}$

**Antwortteil**

Rechnungen und Erläuterungen

Korrekte Antwort:

**Aufgabe 5 Linsensammlung (MC-Aufgabe)****(5 Pkt.)**

Aus den Tiefen der Physiksammlung hat dein Physiklehrer eine Kiste mit drei dünnen Linsen zu Tage befördert, die mit I, II und III beschriftet sind. Die Linsen I und II sind bikonvex, wohingegen Linse III auf beiden Seiten konkav geformt ist. Zur Bestimmung der Brennweiten der Linsen hast du deiner Lehrkraft beim Durchführen einiger Abbildungsversuche geholfen.

Dazu habt ihr einen Gegenstand in einer Entfernung von 50,0 cm zu einer der Linsen oder zu einer Kombination von zwei dicht hintereinander stehenden Linsen positioniert und den Abstand zwischen der Linse bzw. dem Linsensystem und dem entstehenden reellen Bild des Gegenstandes gemessen. Die nebenstehende Tabelle gibt die in den einzelnen Versuchen gemessenen Bildweiten an. Dummerweise hat dein Lehrer ab dem zweiten Versuch vergessen aufzuschreiben, welche der Linse(n) jeweils verwendet wurde(n), aber vielleicht kannst du trotzdem die folgende Frage beantworten:

Versuch	Linse(n)	Bildweite
①	I	21,4 cm
②		50,2 cm
③		11,6 cm
④		30,9 cm
⑤		175,0 cm

Welche der Linse(n) wurde(n) in den einzelnen Versuchen verwendet?

- A ②: I & III      ③: I & II      ④: II      ⑤: II & III  
B ②: I & III      ③: II      ④: II & III      ⑤: I & II  
C ②: II      ③: I & II      ④: I & III      ⑤: II & III  
D ②: II & III      ③: II      ④: I & II      ⑤: I & III

**Antwortteil**

Rechnungen und Erläuterungen

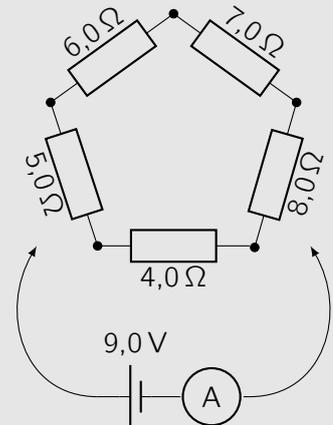
Korrekte Antwort:

**Aufgabe 6 Fünfeck aus Widerständen (MC-Aufgabe)**
**(5 Pkt.)**

Eine Batterie mit einer Spannung von  $9,0\text{V}$  ist mit einem idealen Amperemeter in Reihe geschaltet. Die Reihenschaltung kann an zwei beliebige Ecken des abgebildeten Widerstandfünfecks angeschlossen werden.

Wie groß ist die betragsmäßig kleinste Stromstärke, die dabei durch das Amperemeter fließt?

- A  $0,30\text{ A}$       B  $0,60\text{ A}$       C  $1,2\text{ A}$       D  $2,3\text{ A}$


**Antwortteil**

Rechnungen und Erläuterungen

Korrekte Antwort:

**Aufgabe 7 Felder (MC-Aufgabe)****(5 Pkt.)**

Ein sehr leichtes, geladenes Teilchen wird durch eine Spannung  $U$  beschleunigt. Anschließend fliegt es in einen Bereich, der von einem konstanten Magnetfeld senkrecht zur Bewegungsrichtung des Teilchens durchsetzt ist. Das Teilchen beschreibt in diesem Bereich einen Kreisbogen mit einem Kreisradius von  $r = 1,50$  cm.

Nun wird ein elektrisches Feld der konstanten Feldstärke  $E = 4,40 \cdot 10^4 \text{ V m}^{-1}$  eingeschaltet, das senkrecht sowohl zum magnetischen Feld als auch zur momentanen Bewegungsrichtung des Teilchens orientiert ist. Das Teilchen bewegt sich daraufhin geradeaus weiter.

Wie groß ist die Spannung  $U$  mit der das Teilchen anfänglich beschleunigt wurde?

A 110 V

B 220 V

C 330 V

D 440 V

**Antwortteil**

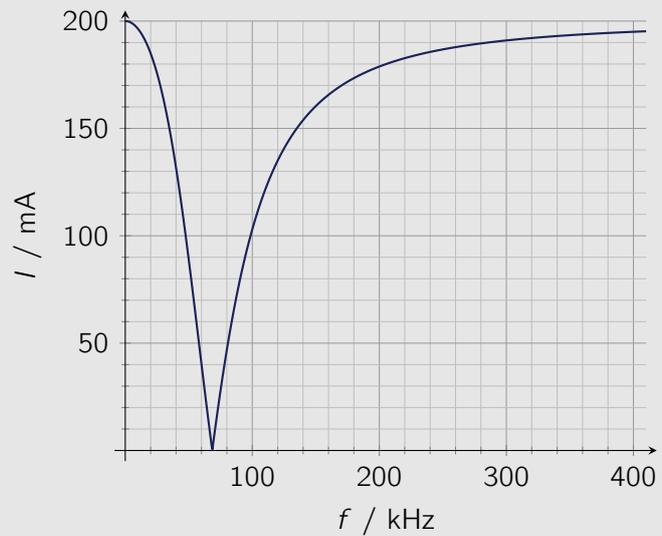
Rechnungen und Erläuterungen

Korrekte Antwort:

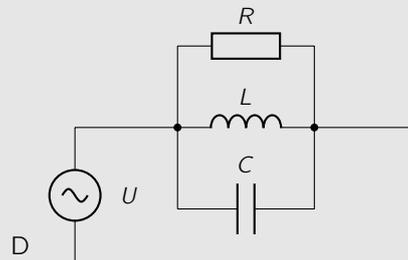
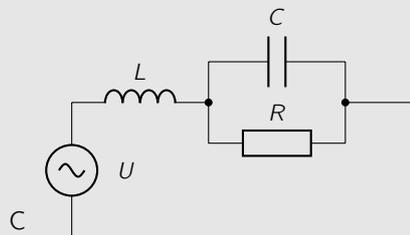
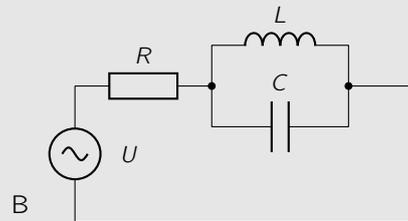
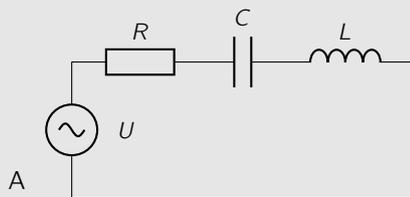
**Aufgabe 8 Wechselstromschaltkreis (MC-Aufgabe)**
**(5 Pkt.)**

Ein Widerstand mit Widerstandswert  $R$ , ein Kondensator der Kapazität  $C$  und eine Spule der Induktivität  $L$  werden an eine Wechselspannungsquelle angeschlossen. Die Amplitude der Wechselspannung beträgt  $U$  und die Bauteile können als ideal angenommen werden.

Der folgende Graph zeigt die Amplitude  $I$  der Stromstärke in dem Stromkreis als Funktion der Frequenz  $f$  der sinusförmigen Wechselspannung.



Welche der folgenden Schaltskizzen stellt die verwendete Schaltung korrekt dar?


**Antwortteil**

Rechnungen und Erläuterungen

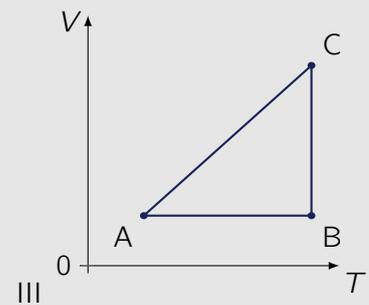
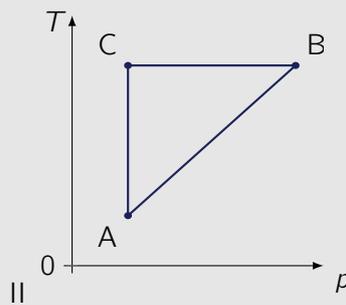
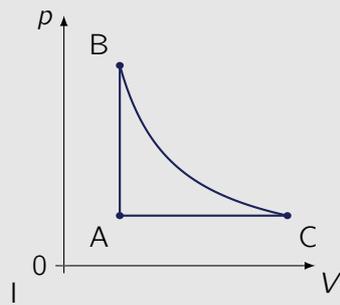
Korrekte Antwort:

**Aufgabe 9 Kreisprozess (MC-Aufgabe)**
**(5 Pkt.)**

Ein ideales Gas durchläuft einen Kreisprozess. Ausgehend von dem Zustand A wird es zunächst bei konstantem Volumen bis zu einem Zustand B erwärmt, anschließend expandiert es ohne Temperaturänderung bis zu einem Zustand C und wird schließlich isobar wieder zum Ausgangszustand A komprimiert.

Bezeichne mit  $p$ ,  $V$  und  $T$  den Druck, das Volumen und die Temperatur des Gases.

Welche der nachfolgenden Graphen stellen den Kreisprozess korrekt dar?



- A Nur die Graphen I und II.
- B Nur die Graphen I und III.
- C Nur die Graphen II und III.
- D Alle drei Graphen.

**Antwortteil**

Rechnungen und Erläuterungen

Korrekte Antwort:

**Aufgabe 10 Eis schmelzen (MC-Aufgabe)****(5 Pkt.)**

An einem kalten Wintertag stehen drei identische, nicht isolierte Holzkisten vor dem Haus, die jeweils mit der gleichen Menge Eis der Temperatur  $0,0^\circ\text{C}$  befüllt werden. Um das Eis zu schmelzen, wird in jede der Boxen ein elektrisches Heizelement platziert. Die Heizelemente sind identisch, werden aber mit unterschiedlichen Spannungen betrieben.

In der ersten Kiste wird das Heizelement mit einer Spannung von  $80\text{ V}$  betrieben. Das gesamte Eis in der Kiste schmilzt dann in  $20,0$  Minuten. An das Heizelement der zweiten Kiste wird eine Spannung von  $120\text{ V}$  angelegt, woraufhin das Eis in nur  $4,0$  Minuten vollständig schmilzt. In der dritten Kiste wird für das Heizelement eine Spannung von  $40\text{ V}$  verwendet.

Die Heizelemente sind so konstruiert, dass sie die gesamte Eismasse in der jeweiligen Kiste gleichzeitig heizen. Nimm an, dass das Schmelzwasser nicht durch das Heizelement erwärmt wird.

Welche der folgenden Aussagen ist dann für das Schmelzen des Eises in der dritten Kiste zutreffend?

- A Zum Schmelzen des gesamten Eises in der dritten Kiste werden etwa  $80$  Minuten benötigt.
- B Zum Schmelzen des gesamten Eises in der dritten Kiste werden etwa  $100$  Minuten benötigt.
- C Zum Schmelzen des gesamten Eises in der dritten Kiste werden etwa  $130$  Minuten benötigt.
- D Mit der verwendeten Spannung ist es nicht möglich, das gesamte Eis zu schmelzen.

**Antwortteil**

Rechnungen und Erläuterungen

Korrekte Antwort:

## Langaufgaben

Bearbeite die folgenden drei Aufgaben ebenfalls in den dafür vorgesehenen Boxen. Anders als bei den Multiple-Choice Aufgaben sind keine Lösungsmöglichkeiten gegeben. Beschreibe deinen Lösungsweg so, dass er gut nachvollziehbar aber nicht unnötig lang ist. Wenn Du also zum Beispiel den Energieerhaltungssatz verwendest, schreibe dies kurz hin.

### Aufgabe 11 Kondensatorentladung

**(20 Pkt.)**

Ein geladener Kondensator wird über einen unbekanntem Widerstand entladen. In der linken der unten stehenden Tabellen ist der Entladestrom  $I$  des Kondensators in Abhängigkeit von der Zeit  $t$  aufgeführt.

In einem zweiten Versuch wird der erneut geladene Kondensator über den unbekanntem Widerstand in Reihe mit einem Vorwiderstand von  $5,1\text{ M}\Omega$  entladen. Die entsprechenden Werte für den Entladestrom sind in der rechten Tabelle aufgeführt.

**Entladung ohne Vorwiderstand**

$t / \text{s}$	$I / \mu\text{A}$
0	0,96
10	0,81
20	0,69
30	0,59
40	0,50
60	0,36
80	0,26
100	0,19
120	0,13

**Entladung mit Vorwiderstand**

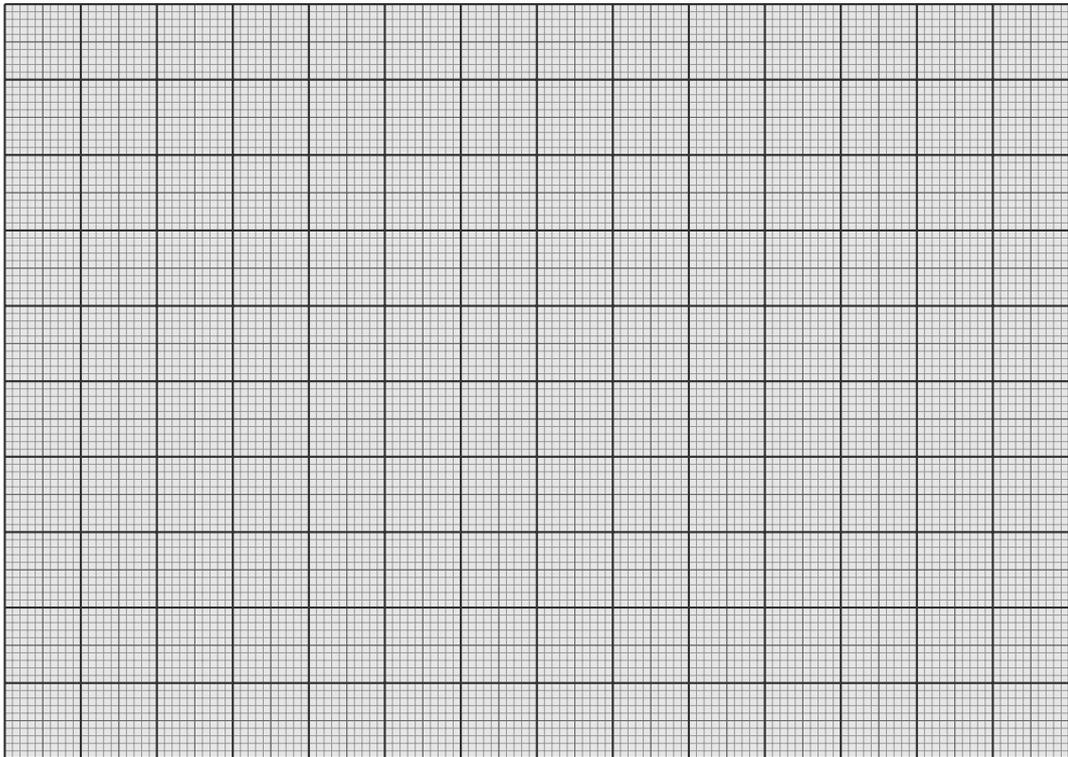
$t / \text{s}$	$I / \mu\text{A}$
0	0,63
10	0,56
20	0,51
30	0,46
40	0,42
60	0,34
80	0,27
100	0,22
120	0,18

Bestimme aus den Messwerten sowohl die Kapazität des Kondensators als auch den Widerstandswert des unbekanntem Widerstandes. Erstelle dazu einen geeigneten Graphen.

*Hinweis:* Es ist nicht bekannt, auf welche Spannungen der Kondensator in den beiden Versuchen aufgeladen wurde. Insbesondere können die Spannungen in beiden Versuchen unterschiedlich sein.

**Antwortteil**

Graph



Rechnungen und Erläuterungen

Rechnungen und Erläuterungen (Fortsetzung)

Ergebnis für die Kapazität und den Widerstandswert:

**Aufgabe 12 Wettlauf zwischen Photon und Proton****(10 Pkt.)***(Idee: Richard Reindl, Thomas Hellerl)*

Bei einer Supernova in Barnards Galaxie, einer Nachbargalaxie unserer Milchstraße, gehen ein Photon und ein Proton gleichzeitig auf die Reise zur Erde. Dort wird das Proton 72 Stunden später registriert als das Photon. Die Gesamtenergie des Protons beträgt  $9,38 \text{ TeV} = 9,38 \cdot 10^{12} \text{ eV}$ .

- 12.a) Zeige, dass die Gesamtenergie des Protons etwa das 10.000-fache seiner Ruheenergie beträgt. (3,0 Pkt.)
- 12.b) Berechne, in welcher Entfernung von der Erde die Supernova stattfand. Gib dein Ergebnis in Lichtjahren an. (5,0 Pkt.)
- 12.c) Bestimme, wie lange die Reise des Protons in seinem Bezugssystem gedauert hat. (2,0 Pkt.)

**Antwortteil**

12.a)

Rechnungen und Erläuterungen

12.b) Rechnungen und Erläuterungen

Ergebnis für die Entfernung von der Erde in der die Supernova stattfand:

12.c) Rechnungen und Erläuterungen

Ergebnis für die Dauer der Reise des Protons in seinem Bezugssystem:

**Aufgabe 13 Wolkenbildung****(20 Pkt.)***(Idee: Fabian Bühler)*

Früh an einem Sommermorgen beträgt die Lufttemperatur am Boden  $\vartheta_0 = 13^\circ\text{C}$ . Mit der Höhe über dem Boden nimmt die Temperatur ab und zwar näherungsweise um  $0,50$  Kelvin pro  $100$  Höhenmeter. Nimm an, dass diese Temperaturschichtung der Umgebungsluft über den gesamten Tag konstant bleibt.

Durch die Sonneneinstrahlung werden im Laufe des Vormittages Luftpakete am Boden erwärmt und steigen nach oben. Beim Aufsteigen dehnen sich diese Pakete aus und kühlen durch die dabei verrichtete Arbeit ab. Die Abkühlungsrate der Luftpakete beträgt  $\Gamma_d = 0,0098 \text{ K m}^{-1}$ . Die Luftpakete steigen nicht weiter auf, wenn ihre Temperatur gleich der Temperatur der umgebenden Luft ist.

- 13.a) Betrachte ein Luftpaket, das am Boden eine Temperatur von  $\vartheta_1 = 18^\circ\text{C}$  besitzt. Zeichne in einem gemeinsamen Graphen sowohl die Temperatur der Umgebungsluft als auch die des aufsteigenden Luftpaketes in Abhängigkeit von der Höhe über dem Erdboden ein. Trage dabei die Höhe auf der vertikalen Achse auf. Bestimme aus dem Graphen oder rechnerisch, bis in welche Höhe das Luftpaket aufsteigt. (8,0 Pkt.)

Wenn die Temperatur in den Luftpaketen den sogenannten Taupunkt erreicht, beginnt die in der Luft enthaltene Feuchtigkeit zu kondensieren und es bilden sich Wolken. Der Taupunkt ist dabei die Temperatur, auf die man Luft einer bestimmten Luftfeuchtigkeit bei konstantem Druck abkühlen muss, damit Kondensation einsetzt. Der Taupunkt ist druckabhängig und ändert sich daher ebenfalls mit der Höhe über dem Boden. Nimm an, dass der Taupunkt in den Luftpaketen an der Erdoberfläche bei  $\vartheta_T = 7,0^\circ\text{C}$  liegt und mit der Höhe um  $\Gamma_T = 0,0018 \text{ K m}^{-1}$  abnimmt.

- 13.b) Im Verlauf des Vormittags zeigen sich die ersten Quellwolken. Bestimme die Temperatur der Luftpakete am Boden bei Auftreten der ersten Quellwolken. (5,0 Pkt.)

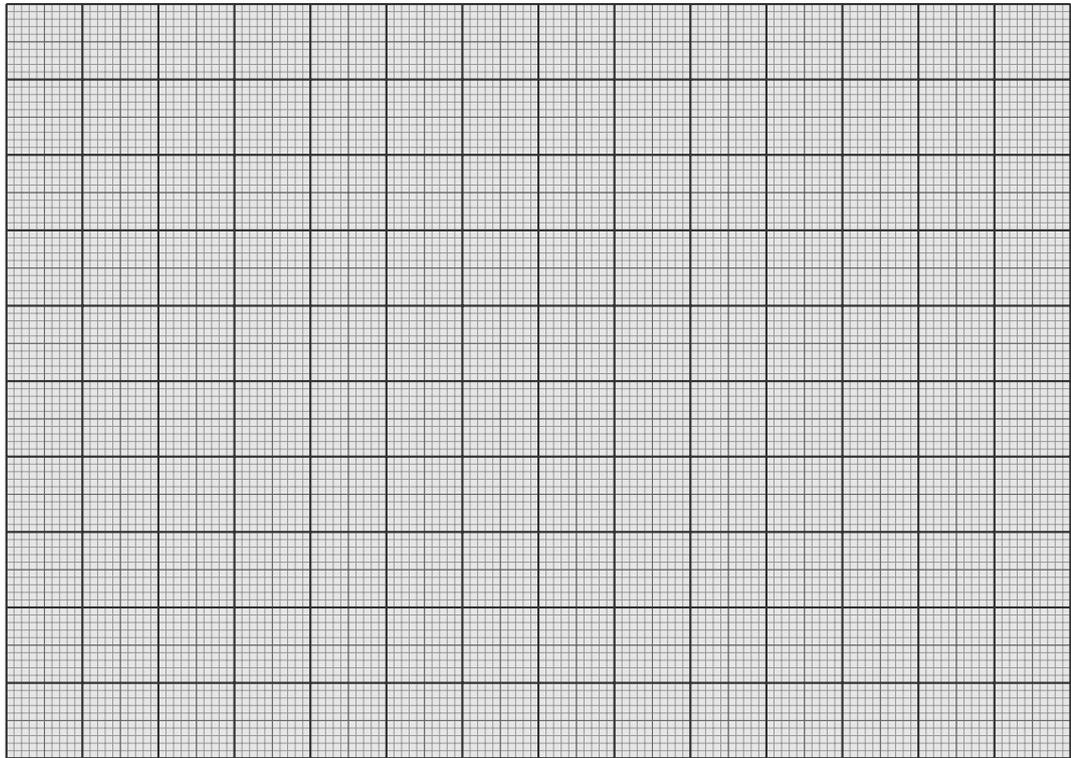
Durch die bei der Kondensation frei werdende Kondensationswärme verringert sich die Abkühlungsrate der aufsteigenden Luftpakete auf  $\Gamma_m = 0,0060 \text{ K m}^{-1}$ . Am Nachmittag beträgt die Temperatur der Luftpakete an der Erdoberfläche  $\vartheta_2 = 26^\circ\text{C}$  und der Taupunkt liegt immer noch bei  $7,0^\circ\text{C}$ . Am Himmel sind nun einige Quellwolken zu sehen.

- 13.c) Bestimme, in welcher Höhe sich die Unterseite der Wolken befindet und bis in welche Höhe die Oberseiten der Wolken reichen. (7,0 Pkt.)

**Antwortteil**

13.a)

Graph



Rechnungen und Erläuterungen

Ergebnis für die Höhe, bis in die das Luftpaket aufsteigt:

13.b) Rechnungen und Erläuterungen

Ergebnis für die Temperatur der Luftpakete am Boden bei Auftreten der ersten Quellwolken:

13.c) Rechnungen und Erläuterungen

Ergebnis für die Höhen der Unter- und der Oberseite der Wolken:

**Zusätzliches Arbeitspapier**

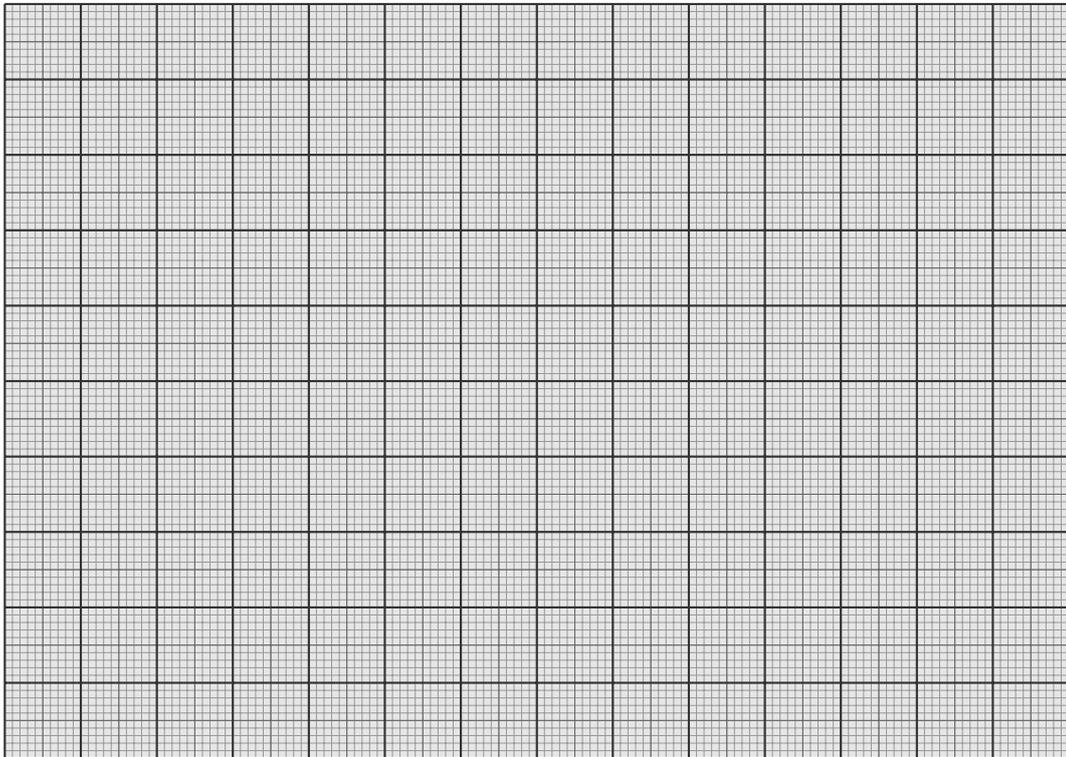
**Zusätzliches Arbeitspapier**

**Zusätzliches Arbeitspapier**

**Zusätzliches Arbeitspapier**

**Zusätzliches Arbeitspapier**

**Graph**



**Graph**

