

## Lösungen Teil A:

1. Wie ändert sich die Schwingungsdauer eines Federpendels, wenn die Masse vervierfacht? (2P)

$$T = 1/2\pi\sqrt{m/D} \Rightarrow T \propto \sqrt{m} \Rightarrow T \text{ verdoppelt wenn } m. \text{ vervierfacht.}$$

2. Wie kann man herausfinden, ob ein Stern sich von uns entfernt oder ob er sich uns nähert? (2P)

Durch Analyse der Verschiebung der Spektrallinien des emittierten Lichts: bei Rotverschiebung entfernt sich, bei Blauverschiebung nähert sich der Stern.

3. Ein Atomkern macht einen  $\alpha$ -Zerfall. Wie ändert sich dabei seine Zusammensetzung? (2P)

$$\text{Ein } \alpha\text{-Teilchen ist ein } {}^4\text{He}^{++}\text{-Kern} \Rightarrow Z_{\text{neu}} = Z - 2 \quad ; \quad N_{\text{neu}} = N - 4$$

4. Zwei Punktladungen ziehen sich mit einer Kraft von 100 mN an. Wie gross wird die Kraft, wenn der Abstand halbiert wird? (2P)

$$F_C \propto 1/r^2 \Rightarrow F_{C2} = F_{C1} \cdot \frac{r_1^2}{r_2^2} = 4F_{C1} = 400 \text{ mN}$$

5. Welche Kraft ist nötig, um von einem evakuiertem Gefäss einen kreisrunden Deckel von 10 cm Durchmesser abzuheben? (3P)

$$F = pA = \pi p r^2 = \pi 10^5 \text{ N/m}^2 (5 \cdot 10^{-2} \text{ m})^2 = 780 \text{ N}$$

6. Wie lauten die zwei Postulaten, die Einstein am Anfang der Speziellen Relativitätstheorie gestellt hat? (2P)

-Alle Inertialsysteme sind gleichberechtigt

-Die Lichtgeschwindigkeit ist für alle Beobachter eine absolute konstante.

7. Ein Motor erbringt die erste Hälfte einer Arbeit mit der Leistung  $P$ , die zweite Hälfte mit der Leistung  $2P$ . Wie gross ist die Durchschnittsleistung für die gesamte Arbeit? (2P)

$$\bar{P} = \frac{W_{\text{tot}}}{t_{\text{tot}}} = \frac{W}{t_1 + t_2} = \frac{W}{\frac{W}{2P} + \frac{W}{4P}} = \frac{4}{3}P = 1.3P$$

8. Um wie viel Prozent ändert sich die kinetische Energie eines Autos, wenn die Geschwindigkeit von 50 auf 60 km/h erhöht wird? (3P)

$$\left(\frac{Ek_2}{Ek_1} - 1\right) \cdot 100\% = \left(\frac{v_2^2}{v_1^2} - 1\right) \cdot 100\% = \left(\left(\frac{60}{50}\right)^2 - 1\right) \cdot 100\% = \left(\frac{36}{25} - 1\right) \cdot 100\% = 44\%$$

9. Eine Panflöte hat eine Länge von 15 cm. Welche Wellenlänge und Frequenz hat der Grundton? (2P)

$$\text{mit } \lambda = 4l \text{ und } \lambda f = c \Rightarrow f = \frac{c}{4l} = \frac{340 \text{ m/s}}{4 \cdot 0.15 \text{ m}} = 0.57 \text{ km/s}$$

10. Der Genfer "Jet d'eau" ist ca. 140 m hoch. Mit welcher Geschwindigkeit spritzt das Wasser durch die Düsenöffnung? (4P)

$$\frac{1}{2}mv^2 = mgh \quad \Rightarrow \quad v = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \cdot 9.81 \text{ m/s}^2 \cdot 140 \text{ m}} = 53 \text{ m/s}$$

11. Wie viel Energie ist mindestens nötig, um die 200 g Milch für eine Ovomaltine zum Kochen zu bringen? (3P)

$$q = cm\Delta T = 4.2 \text{ kJ/(kg K)} \cdot 0.2 \text{ kg} \cdot 100 \text{ K} = 8.4 \cdot 10^4 \text{ J}$$

12. Nach welcher Zeit ist Ihr Jauchzer von der 170 m entfernten Felswand zurück? (2P)

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad \Rightarrow \quad \Delta t = \frac{\Delta s}{v} = \frac{2 \cdot 170 \text{ m}}{340 \text{ m/s}} = 1 \text{ s}$$

13. Wie weit bewegt sich eigentlich das Licht in einer Nanosekunde? (2P)

$$\Delta s = c \cdot \Delta t = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s} \cdot 1 \cdot 10^{-9} \text{ s} = 0.3 \text{ m}$$

14. Ein langer, gerader, stromdurchflossener Draht erzeugt ein Magnetfeld. Was passiert mit der Feldstärke, wenn man (je 2P)

$$\text{mit } B = \frac{\mu_0}{2\pi r} I$$

a) den Strom verdoppelt?  $\Rightarrow B \propto I \Rightarrow B$  verdoppelt

b) den Abstand verdoppelt?  $\Rightarrow B \propto \frac{1}{r} \Rightarrow B$  halbiert

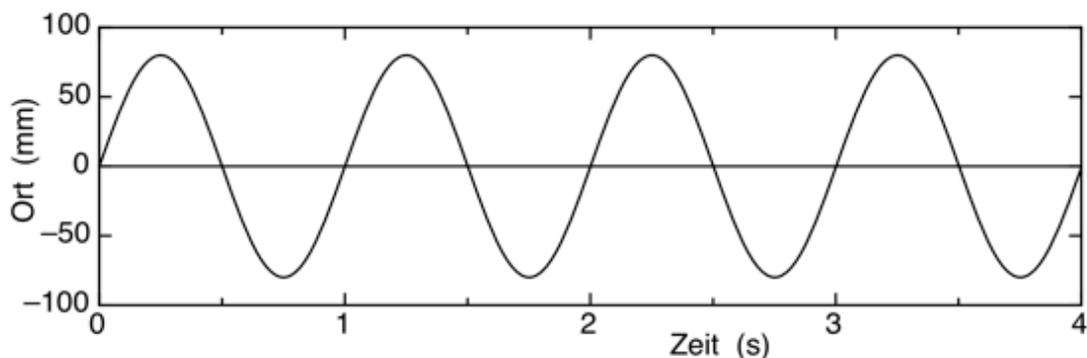
15. Zwei Widerstände ( $R_1 = 120 \Omega$ ,  $R_2 = 240 \Omega$ ) sind parallel geschaltet. In welchem Verhältnis stehen (je 2P)

a) die Spannungen: da in parallel, gilt  $U_1 = U_2 \Rightarrow \frac{U_1}{U_2} = 1$

b) die Ströme:  $\frac{I_2}{I_1} = \frac{U/R_2}{U/R_1} = \frac{R_1}{R_2} = 2$

c) die Leistungen:  $\frac{P_2}{P_1} = \frac{U \cdot I_2}{U \cdot I_1} = \frac{I_2}{I_1} = 2$

16. Bezeichnen Sie in folgendem Diagramm Stellen mit maximaler und minimaler Geschwindigkeit (Betrag) sowie maximaler und minimaler Beschleunigung (Betrag). Die Bezeichnungen müssen eindeutig sein. Wie gross ist die maximale Geschwindigkeit etwa? (6P)



Maximale Geschwindigkeit bei Nulldurchgängen, minimale bei Maximalausschlägen. Beschleunigung umgekehrt.

Maximale Geschwindigkeit  $\equiv$  Maximale Steigung im  $s(t)$ -Diagramm:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{100/1.8 \cdot 4.5 \text{ mm}}{0.5 \text{ s}} = 0.5 \text{ m/s}$$

17. Setzen Sie bei den folgenden Zahlenpaaren einen Vergleichsoperator ( $>$ ,  $=$ ,  $<$ ) ein. Falls ein Vergleich keinen Sinn macht (z.B. wegen nicht passender Einheiten), verwenden Sie das Ungleichheitszeichen ( $\neq$ ). (6P)

a)  $12 \mu\text{m}^2 < 13 \cdot 10^{-8} \text{m}^2$       b)  $2 \text{kWh} = 7.2 \text{MJ}$       c)  $3.7 \text{ ml} = 3.7 \text{cm}^3$

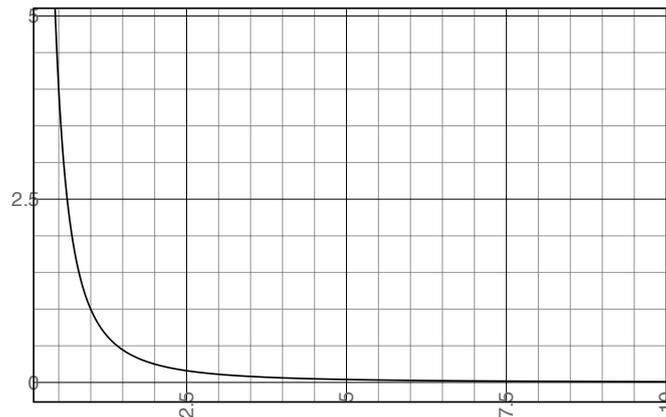
d)  $5 \text{ m/s} > 5 \text{ km/h}$       e)  $3.5 \cdot 10^5 \text{ VAs} > 35 \text{ kJ}$       f)  $3.7 \text{ mg/ml} < 370 \text{ kg/m}^3$

18. Wo liegt der Unterschied zwischen optischem und akustischem Dopplereffekt? (2P)

Der Schall breitet sich mit einer bestimmten Geschwindigkeit gleichförmig in alle Richtungen im Medium aus. Beim Licht kann man nicht absolut feststellen, wer ruht und wer sich bewegt, da es kein Medium braucht, um sich auszubreiten.

19. Skizzieren Sie in ein Diagramm die Coulombkraft in Funktion des Abstandes zwischen zwei gleichen Ladungen. (2P)

$$F_c \propto \frac{1}{r^2}$$



20. Welche Geschwindigkeit erreicht ein Elektron nach einer Beschleunigungsspannung von 9.1 V? (3P)

$$eU = \frac{1}{2}mv^2 \quad \Rightarrow \quad v = \sqrt{\frac{2eU}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 9.1 \text{ V}}{9.1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}}} = 1.8 \cdot 10^6 \text{ m/s}$$

## Lösungen Teil B:

### 1 Protonenbeschleunigung am PSI

1. Welche Geschwindigkeit haben die Protonen beim Eintreten ins Ringzyklotron? (4P)

$$E = \frac{1}{2}mv^2 \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2E}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 72 \text{ MeV}}{1.67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}}} = 1.2 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

2. Welche Potentialdifferenz müssen die Teilchen bei jeder Kavität durchlaufen, wenn relativistische Effekte vernachlässigt werden? (5P)

$$4neU = \Delta E \Rightarrow U = \frac{\Delta E}{4ne} = \frac{(590-72) \text{ MeV}}{4 \cdot 186 \cdot e} = 0.70 \text{ MV}$$

3. Um wie viel Prozent nimmt die Geschwindigkeit pro Umdrehung zu? (3P)

$$\text{Pro Umdrehung: } \Delta E = \frac{(590-72) \text{ MeV}}{186} = \frac{518}{186} \text{ MeV}$$

Beim ersten Durchgang:

$$\left(\frac{v_2}{v_1} - 1\right) \cdot 100\% = \left(\sqrt{\frac{E+\Delta E}{E}} - 1\right) \cdot 100\% = \left(\sqrt{\frac{72 \text{ MeV} + \frac{518 \text{ MeV}}{186}}{72 \text{ MeV}}} - 1\right) \cdot 100\% = 1.9\%$$

Beim letzten Durchgang: 0.27%

4. Welche minimale magnetische Feldstärke muss in der Anlage wirken und welche Richtung hat das Feld, wenn die Teilchen von oben gesehen im Gegenuhrzeigersinn drehen? (5P)

Richtung: Nordpol oben, Südpol unten.

$$F_z = F_L \Rightarrow \frac{mv^2}{R} = qvB \Rightarrow (\text{mit } U = 2\pi R)$$

$$B = \frac{mv}{qR} = \frac{2\pi mv}{Uq} = \frac{2\pi m}{Ue} \sqrt{\frac{2E}{m}} = \frac{\pi}{U} \sqrt{\frac{8Em}{e^2}} = \frac{\pi}{48 \text{ m}} \sqrt{\frac{8 \cdot 590 \text{ MeV} \cdot 1.67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}}{e^2}} = 0.46 \text{ T}$$

5. Wie viele Protonen treten pro Sekunde aus der Anlage aus? (3P)

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{n e}{\Delta t} \Rightarrow \frac{n}{\Delta t} = \frac{I}{e} = \frac{2200 \mu\text{A}}{e} = 1.373 \cdot 10^{16} \text{ Protonen/s}$$

6. Welche Leistung hat der austretende Protonenstrahl? (3P)

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{nE}{\Delta t} = \frac{IE\Delta t}{e\Delta t} = \frac{IE}{e} = \frac{590 \text{ MeV} \cdot 2200 \mu\text{A}}{e} = 1.30 \text{ MW}$$

### 2 Erdgaspipeline

1. Welche Leistung wird mit der Leitung übertragen? (4P)

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{HV}{\Delta t} = \frac{38 \cdot \text{MJ/m}^3 \cdot 31 \cdot 10^9 \text{ m}^3}{365 \cdot 24 \cdot 3600 \text{ s}} = 37 \text{ GW}$$

2. Welches Volumen haben die 31 Mia.  $\text{m}^3$  Gas beim Druck in der Pipeline? (3P)

$$V_2 = \frac{P_1}{P_2} V_1 = \frac{1 \text{ bar} \cdot 31 \cdot 10^9 \text{ m}^3}{90 \text{ bar}} = 3.4 \cdot 10^8 \text{ m}^3$$

3. Wie schnell (in m/s) strömt das Gas in der Pipeline? (4P)

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{V_2}{A \Delta t} = \frac{4V_2}{\pi d^2 \Delta t} = \frac{4p_1 V_1}{\pi d^2 \Delta t p_2} = \frac{4 \cdot 1 \text{ bar} \cdot 31 \cdot 10^9 \text{ m}^3}{\pi (1.400 \text{ m})^2 \cdot 3.16 \cdot 10^7 \text{ s} \cdot 90 \text{ bar}} = 7.2 \text{ m/s}$$

4. Sie finden den spezifischen Heizwert von Methan in der FoTa. Rechnen Sie ihn in MJ/m<sup>3</sup> um. (2P)

$$H_{\text{methan}} = 50 \cdot 10^7 \text{ J/kg}$$

$$H_V = H \cdot \rho = 50 \cdot 10^7 \text{ J/kg} \cdot 0.717 \text{ kg/m}^3 = 36 \text{ MJ/m}^3$$

5. Vergleichen Sie die letzte Antwort mit dem in der Einleitung angegebenen Wert sowie mit dem spezifischen Heizwert von Erdgas in der FoTa. Woher könnten die Unterschiede kommen? (3P)

Verunreinigung (Propan, Butan), Temperatur ....

### 3 Lok 2000

1. Wie viel Arbeit kann die Lokomotive bei einer Fahrt mit 150 km/h über eine Strecke von 4.7 km höchstens verrichten? (4P)

$$W = F s = 140 \text{ kN} \cdot 4.7 \text{ km} = 0.66 \text{ GJ}$$

2. Der Kurvenabschnitt zwischen 80 km/h und 200 km/h entspricht einer Beschleunigung mit konstanter Leistung.

- a) Um welchen Kurventyp handelt es sich in diesem Abschnitt und warum? (3P)

Hyperbel:  $P = F \cdot v \Rightarrow F = \frac{P}{v}$  wobei  $P$  konstant.

- b) Handelt es sich beim gezeichneten Diagramm um eine Re 460 oder eine Re 465? Überprüfen Sie mit einer Fehlerrechnung, ob das andere Modell im Rahmen der Ablesegenauigkeit ausgeschlossen werden kann. (4P)

$$v = (200 \pm 5) \text{ km/h} \text{ und } F = (110 \pm 5) \text{ kN}$$

$$P = 200 \text{ km/h} \cdot 110 \text{ kN} = 6.11 \text{ MW} \quad \text{und} \quad P_{\text{max}} = 205 \text{ km/h} \cdot 115 \text{ kN} = 6.55 \text{ MW}$$

mit Fehlerrechnung:  $P = (5.83 \pm 0.44) \text{ MW}$

Wenn man bei  $P_{465}$  die gleiche Fehlerschranken anwendet, ist  $P_{\text{min}} = (7 - 0.44) \text{ MW} = 6.56 \text{ MW}$  und das andere Modell kann nicht 100% ausgeschlossen werden.

3. Die Masse einer typischen Zugkomposition (angehängte Wagen mit Inhalt) beträgt 650 t. Wie gross ist die maximale Beschleunigung, welche die Lok 2000 auf horizontaler Schiene erreichen kann? Wie gross ist die maximale Steigung, welche sie mit konstanter Geschwindigkeit bewältigen kann? (6P)

$$F = M \cdot a \Rightarrow a = \frac{F}{m} = \frac{300 \text{ kN}}{(650+84) \cdot 10^3 \text{ kg}} = 0.41 \text{ m/s}^2$$

$$mg \sin \alpha = F \Rightarrow \alpha = \arcsin \frac{F}{mg} = \arcsin \frac{300 \text{ kN}}{(650+84) \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot 9.81 \text{ m/s}^2} = 2.4^\circ$$

## 4 Interferenz am Gitter

1. Finden Sie die Liniendichte des Gitters (Anzahl Spalten pro cm). (6P)

Interferenzminima bei  $(n + 1/2)\lambda = g \sin \alpha \simeq g \frac{a}{e}$

mit  $g$  Gitterkonstante,  $n = 1$ ,  $e$  Bildschirmabstand,  $a$  Achsenabstand. Gesucht ist  $1/g$ .

$$\frac{1}{g} = \frac{2a}{3\lambda e} = \frac{2 \cdot 12.5 \text{ cm}}{3 \cdot 532 \text{ nm} \cdot 6.25 \text{ m}} = 251 \text{ cm}^{-1} \quad \text{und} \quad \left(\frac{1}{g}\right)_{max} = \frac{2a}{3\lambda e} = \frac{2 \cdot 13 \text{ cm}}{3 \cdot 529 \text{ nm} \cdot 6.2 \text{ m}} = 264 \text{ cm}^{-1}$$

$$\frac{1}{g} = (251 \pm 13) \text{ cm}^{-1}$$

2. Wie viele Ordnungen von Interferenzmaxima sind auf jeder Seite des Zentralmaximums sichtbar? (6P)

Interferenzmaxima bei  $n\lambda = g \sin \alpha \leq g$  (bei  $\alpha = 90$  kaum sichtbar)

$$n\lambda = g \Rightarrow n = \frac{g}{\lambda} = \frac{3e}{2a} = \frac{3 \cdot 6.25 \text{ m}}{2 \cdot 12.5 \text{ cm}} = 75 \quad \text{und} \quad n_{max} = \frac{3e}{2a} = \frac{3 \cdot 6.3 \text{ m}}{2 \cdot 12 \text{ cm}} = 79$$

$$n = 74 \pm 4 \text{ Ordnungen}$$

3. Unter welchem Winkel ist das letzte Intensitätsmaximum zu beobachten? (6P)

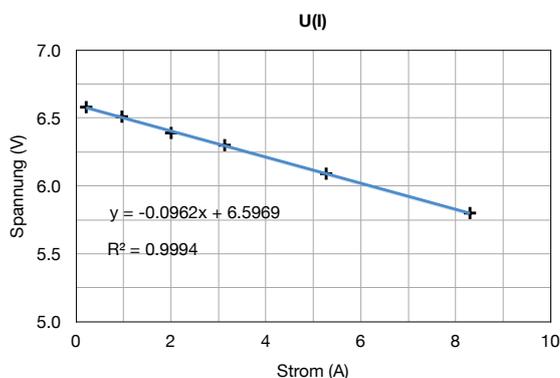
$\alpha = \arcsin \frac{2na}{3e} = \arcsin \frac{2 \cdot 74 \cdot 12.5 \text{ cm}}{3 \cdot 6.25 \text{ m}} = 81^\circ$  während  $\alpha_{max}$  mit  $n = 78$  undefiniert ist.

$$\alpha_{min} = \arcsin \frac{2 \cdot 70 \cdot 12 \text{ cm}}{3 \cdot 6.3 \text{ m}} = 63^\circ$$

$$\alpha = (81 \pm 18)^\circ$$

## 5 Netzgerät

1. Zeichnen Sie die Spannung als Funktion des Stromes auf. (4P)
2. Führen Sie eine lineare Regression  $U(I)$  mit dem Taschenrechner durch (Befehl 'LinReg'). Notieren Sie die Werte der Regressionsparameter. Falls Sie das nicht können, zeichnen Sie mit Lineal eine zu den Messwerten passende Gerade und bestimmen Sie von dieser Ordinatenabschnitt und Steigung. (4P)



Koordinatenabschnitt bei 6.6 V, Steigung  $-96 \text{ m}\Omega$ . Gerade:  $U(I) = 6.6 \text{ V} - 96 \text{ m}\Omega \cdot I$

3. Bestimmen Sie die Nullstelle der Geraden. Welche Bedeutung hat sie? (3P)

$$U(I) = 0 \Rightarrow I = \frac{6.6\text{V}}{96\text{m}\Omega} = 68.7\text{A} \text{ (Kurzschlussstrom } I_K)$$

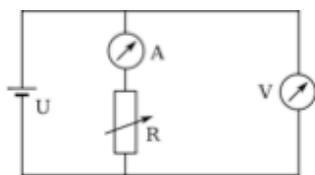
4. Wie muss man den variablen Widerstand einstellen, damit das Netzgerät möglichst viel Leistung abgibt? Wie gross ist diese Leistung? (4P)

Fläche eines Vierecks im  $U(I)$ -Diagramm muss maximal sein, also:

$$P_{max} = 1/2 \cdot I_K \cdot 1/2 \cdot U_0 = 1/4 \cdot 6.6\text{V} \cdot 68.7\text{A} = 113\text{ W}$$

$$R = \frac{U_0}{I_K} = \frac{6.6\text{V}}{68.7\text{A}} = 96\text{ m}\Omega$$

5. Zeichnen Sie die elektrische Schaltung, die im Experiment verwendet wurde. (4P)



6. Der Drahtwiderstand besteht aus einem Zylinder von 5.0 cm Durchmesser und 35 cm Länge, die einlagig mit Konstantandraht von  $30\ \Omega$  Gesamtwiderstand belegt wurde. Man kann 9 Windungen pro Zentimeter zählen. Wie stark ist das Magnetfeld im Innern des Zylinders beim maximalen Strom? (4P)

$$B = \mu_0 \frac{N}{l} I = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \text{Vs} \cdot 9 \cdot 8.3\text{A}}{\text{A} \cdot 10^{-2} \text{m}} = 9\text{ mT}$$

## 6 Energie Utzenstorf AG

Mögliche Antwort (erwartet 200-300 Worte, hier 202):

Der Bau von Gaskombikraftwerken brächte den politischen Vorteil, dass nicht auf Kernenergie gesetzt werden müsste. Kernenergie hat politisch einen schlechten Stand, denn es wird sehr aktiv dagegen demonstriert. Gaskombikraftwerke sind technologisch auf dem neuesten Stand: der Wirkungsgrad von 58% ist fast doppelt so hoch wie bei einem Kernkraftwerk. Sicherheitstechnisch erscheint die Anlage für die Bevölkerung unbedenklich: Bei einem Unfall wäre höchstens eine Gasexplosion zu befürchten, nicht eine radioaktive Verseuchung wie bei einem Kernkraftwerk. Die internen Sicherheitsmassnahmen müssten lange nicht das Niveau eines Kernkraftwerks erreichen. Die Anlage müsste auch nicht so stark gegen Angriffe von Aussen geschützt werden wie ein Kernkraftwerk, denn sie beherbergt kein spaltbares Material, das für Terroristen brauchbar sein könnte. Ein Gaskombikraftwerk käme also viel billiger zu stehen als ein Kernkraftwerk gleicher Leistung.

Nachträglich wäre, dass man sich langfristig an einen Erdgaslieferanten binden muss. Gasfelder und Pipelines liegen teilweise in politisch unsicheren Gegenden. Erdgas ist keine erneuerbare Energiequelle. Die Verbrennung fossiler Kohlenwasserstoffe würde den  $\text{CO}_2$ -Ausstoss der Schweiz stark erhöhen. Dagegen wird sich sicher politischer Widerstand bilden. Anders als ein Kernkraftwerk ist ein Gaskraftwerk an einen kontinuierlichen Nachschub von Brennstoff angewiesen. Kurzfristige Schwankungen im Gasangebot können durch Zwischenspeicherung ausgeglichen werden, aber langfristige Lieferengpässe hätten die Abschaltung der Anlage zur Folge.