

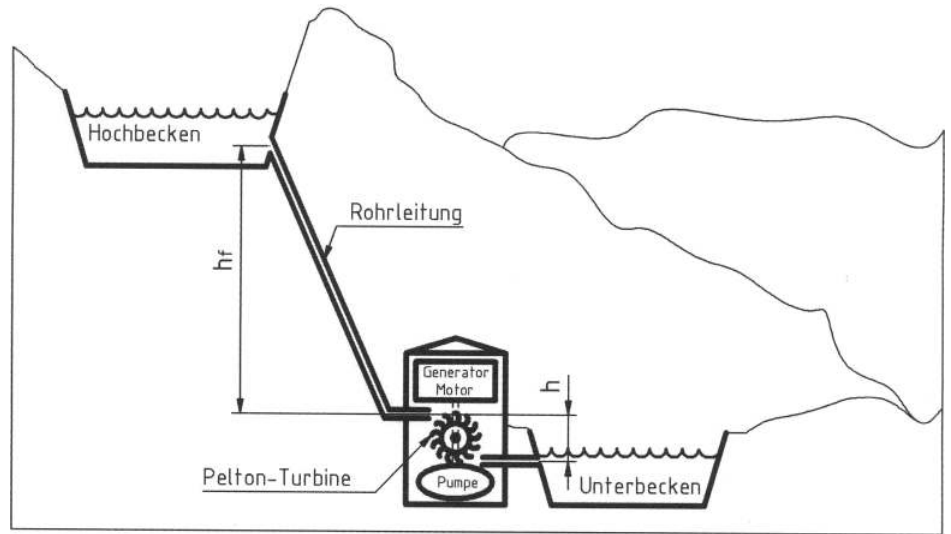
**Pumpspeicherkraftwerk**

Ein Pumpspeicherkraftwerk besitzt über dem Maschinenhaus ein Hochbecken mit  $4 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  Wasser.

Punkte

Daten:

|             |                       |
|-------------|-----------------------|
| Fallhöhe    | $h_f = 480 \text{ m}$ |
| Höhe        | $h = 3 \text{ m}$     |
| Rohrleitung | $\eta_R = 0,96$       |
| Turbine     | $\eta_T = 0,93$       |
| Generator   | $\eta_G = 0,98$       |
| Pumpe       | $\eta_P = 0,95$       |
| Motor       | $\eta_M = 0,92$       |



- 1 Zeichnen Sie das Energiefluss-Schaubild (Sankey-Diagramm) für das Hochpumpen des Wassers. 5,0
- 2 Berechnen Sie den Gesamtwirkungsgrad  $\eta_{ges}$  bei der Stromerzeugung. 1,5
- 3 Zehn Prozent des Speichervolumens werden in das Hochbecken gepumpt. Wie viel elektrische Energie in MWh muss dazu aus dem Netz entnommen werden? 4,0
- 4 Die Wassermenge  $V = 4 \cdot 10^5 \text{ m}^3$  strömt während der Zeit von 5 Stunden über die Turbine in das Unterbecken. Berechnen Sie die hierbei durchschnittlich abgegebene elektrische Leistung des Pumpspeicherkraftwerks. 3,5
- 5 Mit welcher Geschwindigkeit prallt das herabfließende Wasser auf die Pelton-Turbine? 3,0
- 6 Die Antriebswelle des Generators besteht aus dem Werkstoff C60.
  - 6.1 Skizzieren Sie die Abkühlungskurve, ausgehend von der Schmelze bis zur Raumtemperatur und geben Sie die jeweiligen Gefügestandteile sowie die Gitterstrukturen mit den entsprechenden Temperaturbereichen an. 3,5
  - 6.2 Beschreiben Sie den Verlauf der Abkühlungskurve vom Bereich der Schmelze bis zur Temperatur von  $1000^\circ\text{C}$ . 2,0
  - 6.3 Skizzieren und beschriften Sie das Schliffbild des Werkstoffs bei Raumtemperatur. 1,0
  - 6.4 Geben Sie das Verhältnis der Gefügebestandteile des Werkstoffs der Antriebswelle bei Raumtemperatur an. 2,5
- 7 Um den Verschleiß der Antriebswelle zu mindern, werden die Lagerstellen rand-schichtgehärtet.
  - 7.1 Nennen Sie hierfür zwei Verfahren und geben Sie für jedes dieser Verfahren die Faktoren an, welche die Einhärtetiefe beeinflussen. 2,5
  - 7.2 Begründen Sie, warum die Antriebswelle nicht durchgehärtet werden darf. 1,5

$\Sigma = 30,0$

Lösungsvorschläge

| Teilaufgaben:   | Punkte |
|---|--------|
| <p>1</p> <p>Energie im Hochbecken<br/> <math>0,874 \cdot 96\% = 0,839</math></p> <p>Rohre<br/>         3,5%<br/> <math>= 0,874 \cdot (1-96\%)</math></p> <p>Pumpe<br/>         4,6%<br/> <math>= 0,92 \cdot (1-95\%)</math></p> <p>Motor<br/>         8%<br/> <math>= 1 \cdot (1-92\%)</math></p> <p>0,92 • 95% = 0,874</p> <p>1 • 92% = 0,92</p> <p>Elektr. Energie zum Pumpen<br/>         100% = 1</p>   | 5,0    |
| <p>2 <math>\eta_{ges} = \eta_R \cdot \eta_T \cdot \eta_G = 0,96 \cdot 0,93 \cdot 0,98 = 0,875</math></p>  | 1,5    |
| <p>3 Verlustfrei:</p> $W_{pot} = m \cdot g \cdot (h_f + h) = V \cdot \rho \cdot g \cdot (h_f + h) = 10\% \cdot 4 \cdot 10^6 m^3 \cdot \frac{1000kg}{m^3} \cdot 9,81(10) \frac{m}{s^2} \cdot (480 + 3) m$ $= 1,895(1,932) \cdot 10^6 MJ \cdot \frac{h}{3600s} = 526,5(536,7) MWh$ <p>mit Verlusten:</p> $W_{elektr} = \frac{W_{pot}}{\eta_{hoch}} = \frac{W_{pot}}{\eta_M \cdot \eta_P \cdot \eta_R} = \frac{1,895(1,932) \cdot 10^6 MJ}{0,92 \cdot 0,95 \cdot 0,96} = \frac{1,895(1,932) \cdot 10^6 MJ}{0,839}$ $= 2,26(2,30) \cdot 10^6 MJ \cdot \frac{h}{3600s} = 627,5(639,6) MWh$ | 4,0    |
| <p>4 Verlustfrei:</p> $W_{pot} = m \cdot g \cdot h_f = V \cdot \rho \cdot g \cdot h_f = 4 \cdot 10^5 m^3 \cdot \frac{1000kg}{m^3} \cdot 9,81(10) \frac{m}{s^2} \cdot 480m$ $= 1,884(1,920) \cdot 10^6 MJ \cdot \frac{h}{3600s} = 523,2( ) MWh$ $P_{pot} = \frac{W_{pot}}{t} = \frac{1,884(1,920) \cdot 10^6 MJ}{5h}$ $= 0,377(0,384) \cdot 10^6 \frac{MJ}{h} = 104,6(106,7) MW$ <p>mit Verlusten:</p> $P_{elektr} = P_{pot} \cdot \eta_{ges} = 104,6(106,7) MW \cdot 0,875 = 91,5(93,3) MW$   | 3,5    |

5 3,0

$$W_{pot} \cdot \eta_R = W_{kin}$$

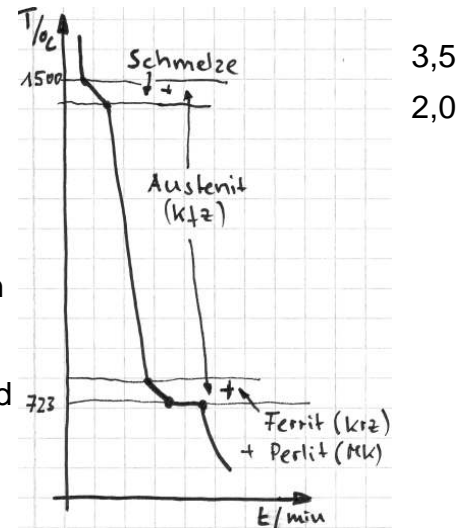
$$m \cdot g \cdot h_f \cdot \eta_R = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h_f \cdot \eta_R} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} \cdot 480 m \cdot 0,96}$$

$$= 95,1 (96,0) \frac{m}{s}$$

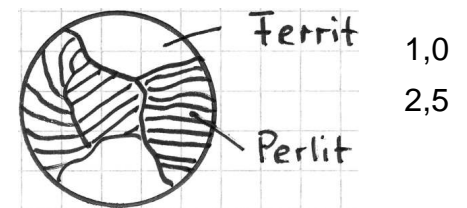
6  
6.1 siehe Bild rechts

6.2 Beschreibung des Verlaufes der Abkühlungskurve:  
 Oberhalb der Soliduslinie A-C: steil (asymptotisch zur RT)  
 Zwischen Solidus- und Liquiduslinie: flacher  
 Unterhalb Soliduslinie A-E bis 1000°C: steil  
 Begründung, Erklärung o.ä. ist in dieser Formulierung der Aufgabe nicht verlangt. Wer aber befürchten muss, dass sein Korrektor dies anders interpretiert, sollte etwas ausführlicher antworten. Man könnte erklären, dass zwischen Solidus- und Liquiduslinie der geschmolzene Stahl zu Austenit erstarrt und die frei werdende Kristallisationsenergie den Temperaturverlust verlangsamt.



6.3 siehe Bild rechts

6.4 C60 besteht aus:  
 0,6% C und Rest Fe  
 bzw.  
 $\frac{0,8\% - 0,6\%}{0,8\% - 0\%} = 25\%$  Ferrit und  $\frac{0,6\% - 0\%}{0,8\% - 0\%} = 75\%$  Perlit  
 bzw.  
 $\frac{6,67\% - 0,6\%}{6,67\% - 0\%} = 91\%$  Ferrit und  $\frac{0,6\% - 0\%}{6,67\% - 0\%} = 9\%$  Zementit.



7  
7.1 C60 enthält genügend Kohlenstoff, um martensitisch gehärtet zu werden. 2,5  
 Verfahren:  
 Flammhärtung: Härtetiefe hängt ab von der Stärke der Flamme am Werkstoff und von der Dauer ihres Einwirkens  
 Induktionshärtung: Härtetiefe hängt ab von der Stärke und Frequenz des induzierenden Magnetfeldes und von der Dauer des Einwirkens.  
 Einsatzhärten ist nicht möglich, da C60 dafür zu viel Kohlenstoff enthält.  
 Nitrierhärten ist nicht möglich, da C60 keine Nitrid-bildenden Legierungselemente enthält.  
 7.2 Vermutlich treten im Betrieb hohe und auch wechselnde Belastungen auf. Diese 1,5  
 erfordern Zähigkeit, die beim Durchhärten stark verringert würde.

Σ = 30,0