



## tgt HP 2008/09-2: Aluminiumerzeugung

Punkte

1 Aluminium wird durch Elektrolyse aus geschmolzener Tonerde ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) gewonnen. Tonerde bildet mit dem Aluminiumsalz Kryolith ein Kristallgemisch. Dies nutzt man bei der Elektrolyse aus, um den Schmelzpunkt der Tonerde zu senken. Tonerde schmilzt bei  $2050^\circ\text{C}$ , Kryolith bei  $1000^\circ\text{C}$ , ihr Eutektikum liegt bei 18,5% Tonerde und schmilzt bei  $935^\circ\text{C}$ .

1.1 Zeichnen Sie das Zustandsschaubild, und beschriften Sie die Linien und Phasenfelder. 4,0

2 Das erzeugte Aluminium wird zu hochfestem Aluminium verarbeitet. Die Eigenschaften werden im Zugversuch untersucht. Zugprobe: DIN 50125-E5x10x40  
Messprotokoll

Messung Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
F in kN	0	4,8	9,6	14,4	19,2	24,0	26,2	27,2	25,2
$\Delta L$ in mm	0	0,06	0,12	0,18	0,24	0,5	1,2	1,8	3,2

2.1 Zeichnen Sie das Spannungs-Dehnungs-Diagramm. 4,0

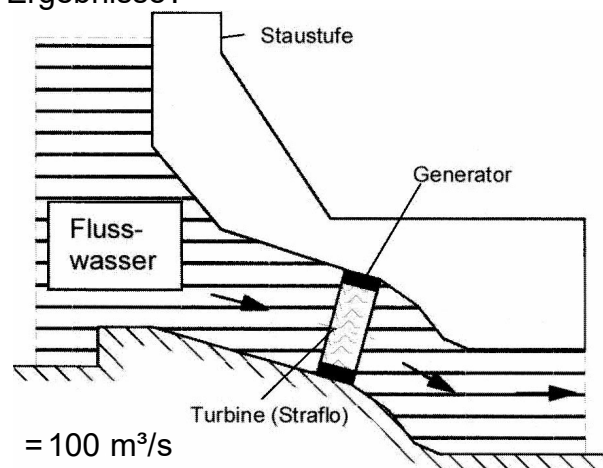
2.2 Ermitteln Sie aus dem Spannungs-Dehnungs-Diagramm folgende Kennwerte: Dehngrenze, Zugfestigkeit, Bruchdehnung, E-Modul 4,0

2.3 Welche Zugprobe der Form A liefert gleiche Ergebnisse? 2,0

3 Zur Aluminiumerzeugung wird die elektrische Energie von einem Laufwasserkraftwerk (LWK) bereitgestellt.

3.1 Skizzieren Sie das Blockschaltbild eines Laufwasserkraftwerkes mit den auftretenden Energieformen. 2,0

3.2 Wie viel Aluminium kann jährlich mit der Leistung des Laufwasserkraftwerkes erzeugt werden? 2,0



Daten:

Turbinendurchsatz:  $\dot{V} = 100 \text{ m}^3/\text{s}$

Mittlere Fallhöhe des Wassers:  $h = 5 \text{ m}$

Wirkungsgrad des Kraftwerkes  $\eta_{\text{LWK}} = 0,92$

Für 1 kg Aluminium sind 15 kWh elektrische Energie erforderlich.

3.3 Laufwasserkraftwerke tragen zur Deckung der Grundlast bei. Erläutern Sie den Begriff der Grundlast und nennen Sie eine weitere Kraftwerksart, welche diese Aufgabe erfüllt. 2,0

4 Aluminiumhütten beziehen zusätzlich elektrische Energie aus Steinkohlekraftwerken (SKK). Der Dampfprozess ist im Arbeitsblatt näherungsweise dargestellt.

4.1 Kennzeichnen Sie die zugeführte spezifische Wärme  $q_{\text{zu}}$  auf dem Arbeitsblatt. 2,0

4.2 Berechnen Sie näherungsweise die zugeführte spezifische Wärme  $q_{\text{zu}}$ . 4,0

4.3 Zur Erzeugung von 1 kg Aluminium werden 15 kWh an elektrischer Energie benötigt. 2,0

Welche Masse an Steinkohle wird je Tonne Aluminium benötigt, wenn das Steinkohlekraftwerk einen Wirkungsgrad von  $\eta_{\text{SKK}} = 0,38$  hat?

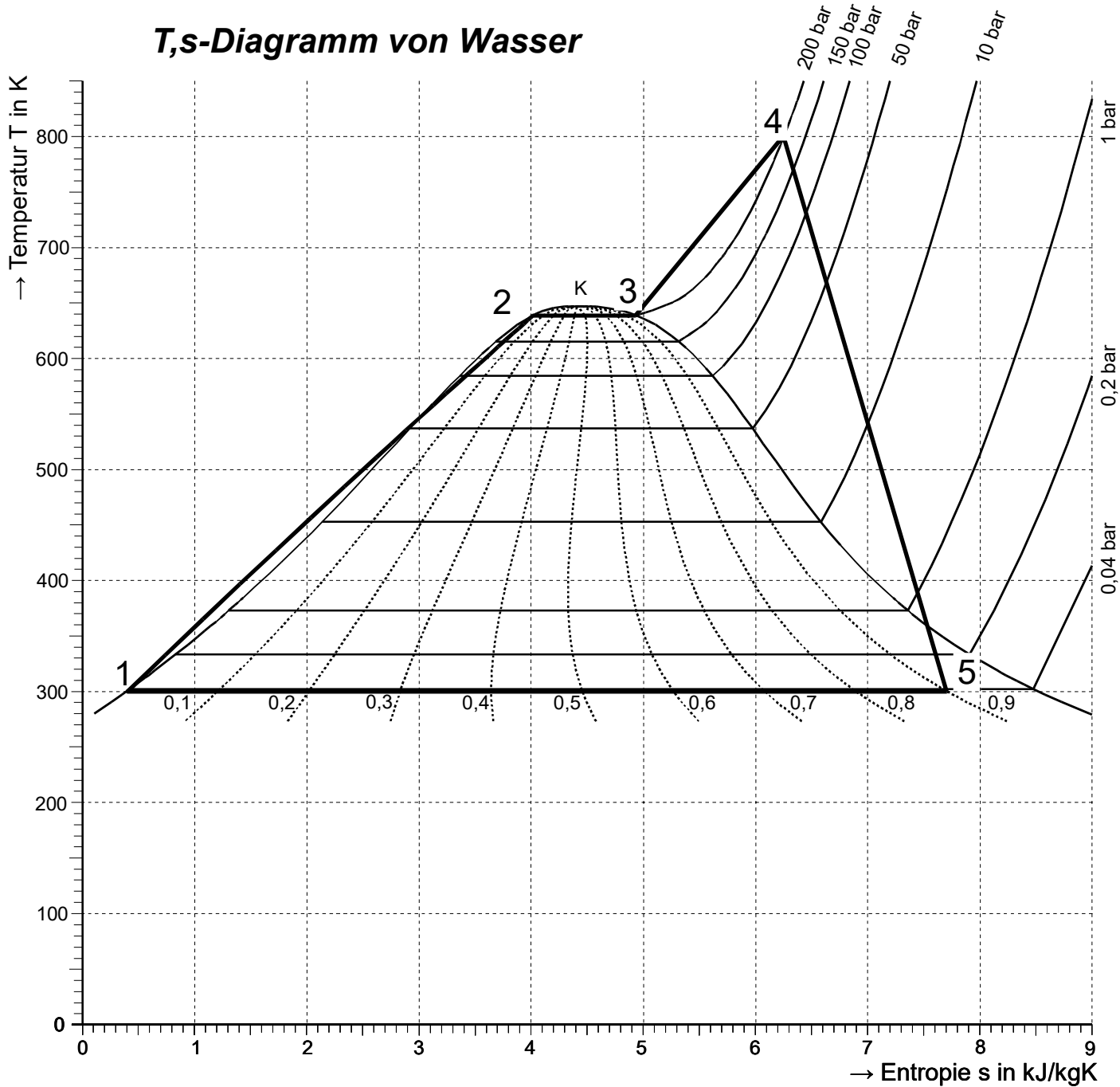
$\Sigma = 30,0$



Arbeitsblatt

Zu den Aufgaben 4.1 und 4.2

**T,s-Diagramm von Wasser**





## Lösungsvorschläge

Teilaufgaben:

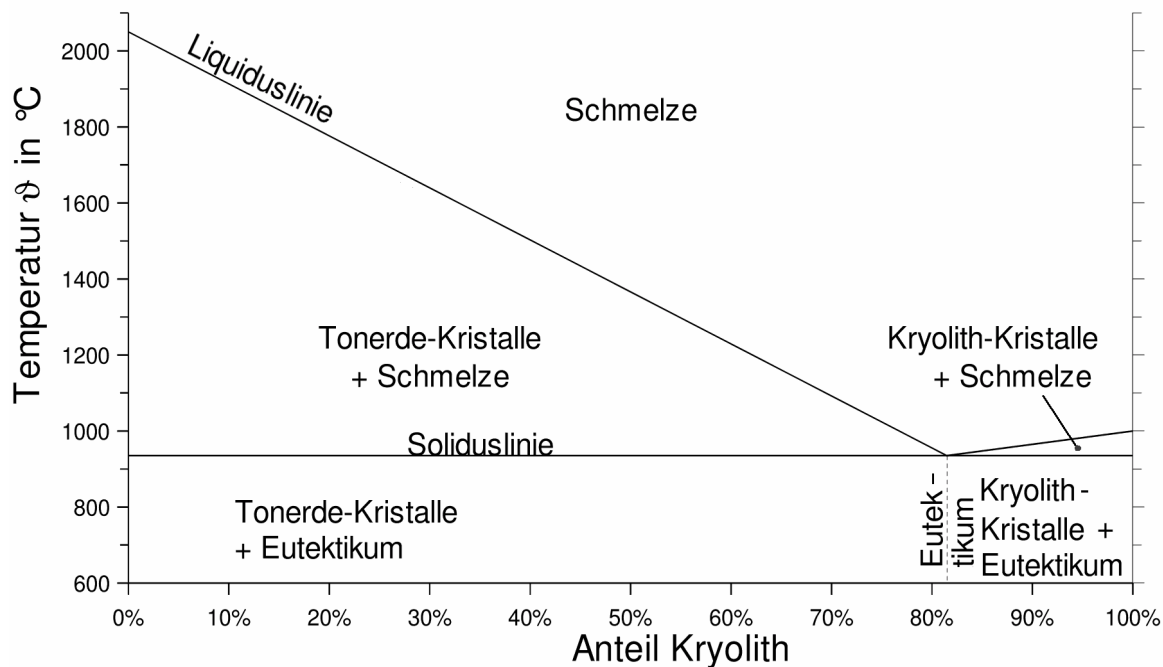
Punkte

1

1.1

### Zustandsdiagramm Tonerde - Kryolith

4,0





2

## 2.1 Beispielrechnung für das zweite Wertepaar

4,0

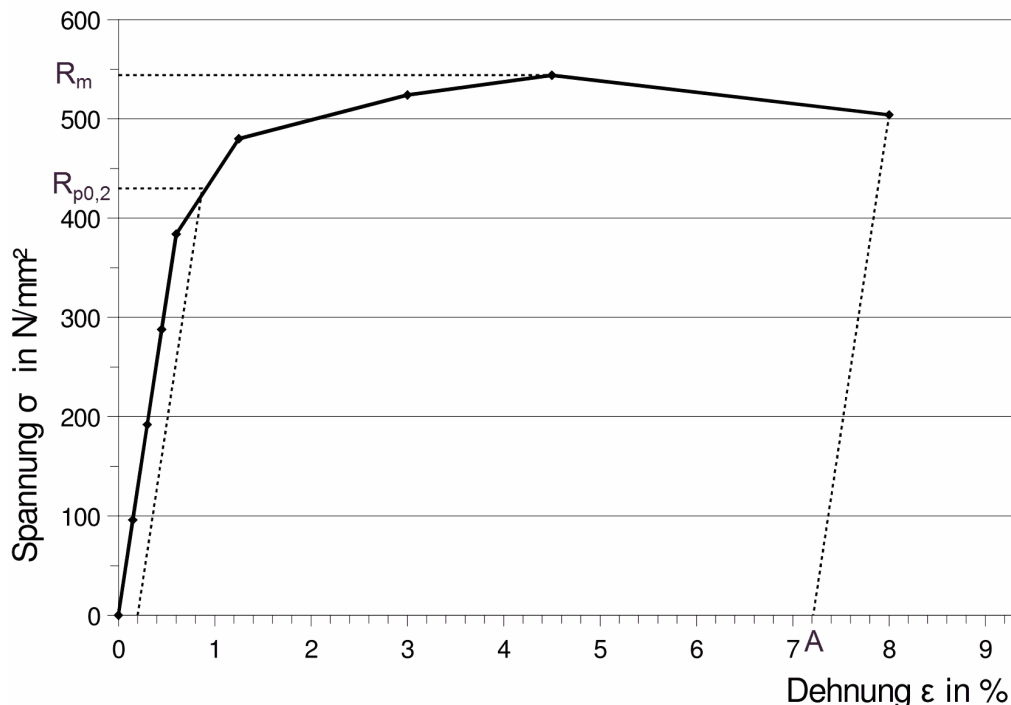
$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{0,06 \text{ mm}}{40 \text{ mm}} = 0,0015 = 0,15\%$$

$$\sigma_z = \frac{F}{S_0} = \frac{4,8 \text{ kN}}{50 \text{ mm}^2} = 96 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{mit} \quad S_0 = a \cdot b = 5 \text{ mm} \cdot 10 \text{ mm} = 50 \text{ mm}^2$$

Wertetabelle

Messung Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\sigma_z$ in N/mm <sup>2</sup>	0	96	192	288	384	480	524	544	504
F in kN	0	4,8	9,6	14,4	19,2	24,0	26,2	27,2	25,2
$\Delta L$ in mm	0	0,06	0,12	0,18	0,24	0,50	1,20	1,80	3,20
$\epsilon$ in %	0	0,15	0,30	0,45	0,60	1,25	3,00	4,50	8

Spannungs-Dehnungs-Diagramm



## 2.2 Aus dem Diagramm abgelesene Werte

4,0

Dehngrenze  $R_{p0,2} = 430 \text{ N/mm}^2$

Zugfestigkeit  $R_m = 540 \text{ N/mm}^2$

Bruchdehnung  $A = 7,2\%$

Mit einem Wertepaar des elastischen Bereiches aus der Wertetabelle

$$E = \frac{\sigma_{z5}}{\epsilon_5} = \frac{384 \text{ N/mm}^2}{0,60\%} = 64 \frac{\text{kN}}{\text{mm}^2}$$

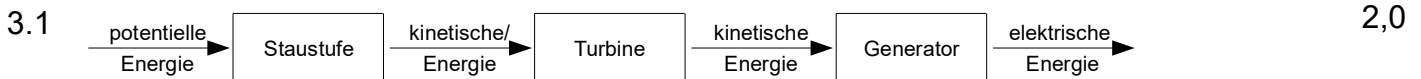
## 2.3 Form A steht für eine runde Probe. Für vergleichbare Ergebnisse muss der Anfangsquerschnitt $S_0$ und die Länge $L_0$ übereinstimmen:

$$S_0 = \frac{\pi \cdot d_0^2}{4} \rightarrow d_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot S_0}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 50 \text{ mm}^2}{\pi}} = 8 \text{ mm}$$

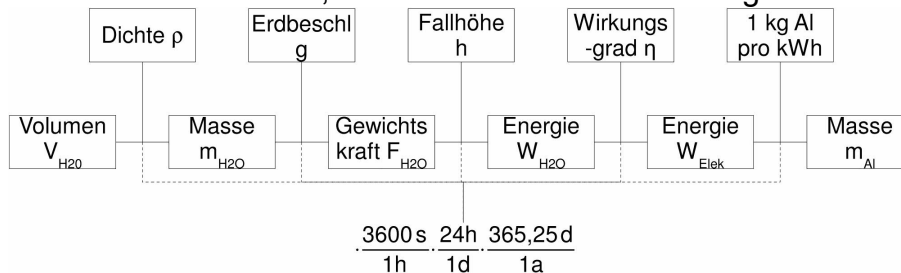
Ergebnis: Zugprobe DIN 50125 - A8x40



3



3.2 Bevor man losrechnet, sollte man sich über den Weg im Klaren sein: 4,0



Eine elegante Rechnung verwendet die zeitbezogenen Größen  $\dot{V}$  (Volumenstrom),  $\dot{m}$  (Massenstrom) und  $P$  (Leistung = Energiestrom). ( $\dot{F}$  ist nicht üblich.)

$$\dot{m}_{\text{H}_2\text{O}} = \dot{V}_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \rho_{\text{H}_2\text{O}} = 100 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 1 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} = 100 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$P_{\text{H}_2\text{O}} = \dot{m}_{\text{H}_2\text{O}} \cdot g \cdot h = 100 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 5\text{m} = 4,905 \cdot 10^6 \text{W}$$

$$P_{\text{el}} = \eta_{\text{LWK}} \cdot P_{\text{H}_2\text{O}} = 0,92 \cdot 4,905 \cdot 10^6 \text{W} = 4,513 \cdot 10^6 \text{W}$$

$$\dot{m}_{\text{Al}} = P_{\text{el}} \cdot \frac{1 \text{kg}}{15 \text{kWh}} = 4,513 \cdot 10^6 \text{W} \cdot \frac{1 \text{kg}}{15 \text{kWh}} = 300,8 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$\dot{m}_{\text{Al}} = 300,8 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot \frac{24 \text{h}}{\text{Tag}} \cdot \frac{365,25 \text{ Tage}}{\text{Jahr}} = 2637 \frac{\text{t}}{\text{Jahr}}$$

oder:

Schüler haben oft Probleme, in Strömen (=Größen pro Zeit) zu denken. In diesem Fall empfehle ich, die Zeit aus den Formeln herauszunehmen (z.B. "Ich rechne für 1 Sekunde .."). Im Vorschlag stehen die gewählten Zeiträume im Index: Sekunde s, Stunde h (*lat. hora*), Tag d (*lat. dies*) und Jahr a (*lat. annus*).

$$m_{\text{H}_2\text{O};1\text{s}} = V_{\text{H}_2\text{O};1\text{s}} \cdot \rho_{\text{H}_2\text{O}} = 100 \text{m}^3 \cdot 1 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} = 100 \cdot 10^3 \text{kg}$$

$$F_{\text{H}_2\text{O};1\text{s}} = m_{\text{H}_2\text{O};1\text{s}} \cdot g = 100 \cdot 10^3 \text{kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 0,981 \cdot 10^6 \text{N}$$

$$W_{\text{H}_2\text{O};1\text{s}} = F_{\text{H}_2\text{O};1\text{s}} \cdot h = 0,981 \cdot 10^6 \text{N} \cdot 5\text{m} = 4,905 \cdot 10^6 \text{J}$$

$$W_{\text{H}_2\text{O};1\text{h}} = W_{\text{H}_2\text{O};1\text{s}} \cdot 3600 = 4,905 \cdot 10^6 \text{J} \cdot 3600 = 4,905 \cdot 10^6 \text{Wh} = 4,905 \cdot 10^3 \text{kWh} (= 17,66 \cdot 10^9 \text{J})$$

$$W_{\text{H}_2\text{O};1\text{a}} = W_{\text{H}_2\text{O};1\text{h}} \cdot 24 \cdot 365,25 = 4,905 \cdot 10^3 \text{kWh} \cdot 8766 = 43,00 \cdot 10^6 \text{kWh} (= 154,8 \cdot 10^{12} \text{J})$$

$$W_{\text{el};1\text{a}} = W_{\text{H}_2\text{O};1\text{Jahr}} \cdot \eta_{\text{LWK}} = 43,00 \cdot 10^3 \text{kWh} \cdot 0,92 = 39,56 \cdot 10^6 \text{kWh} (= 142,4 \cdot 10^{12} \text{J})$$

$$m_{\text{Al};1\text{a}} = \frac{1 \text{kg}}{15 \text{kWh}} \cdot W_{\text{el};1\text{a}} = \frac{1 \text{kg}}{15 \text{kWh}} \cdot 39,56 \cdot 10^6 \text{kWh} = 2637 \text{t}$$

oder: Dreisatz ...

Pro Jahr können 2637 t Aluminium erzeugt werden.

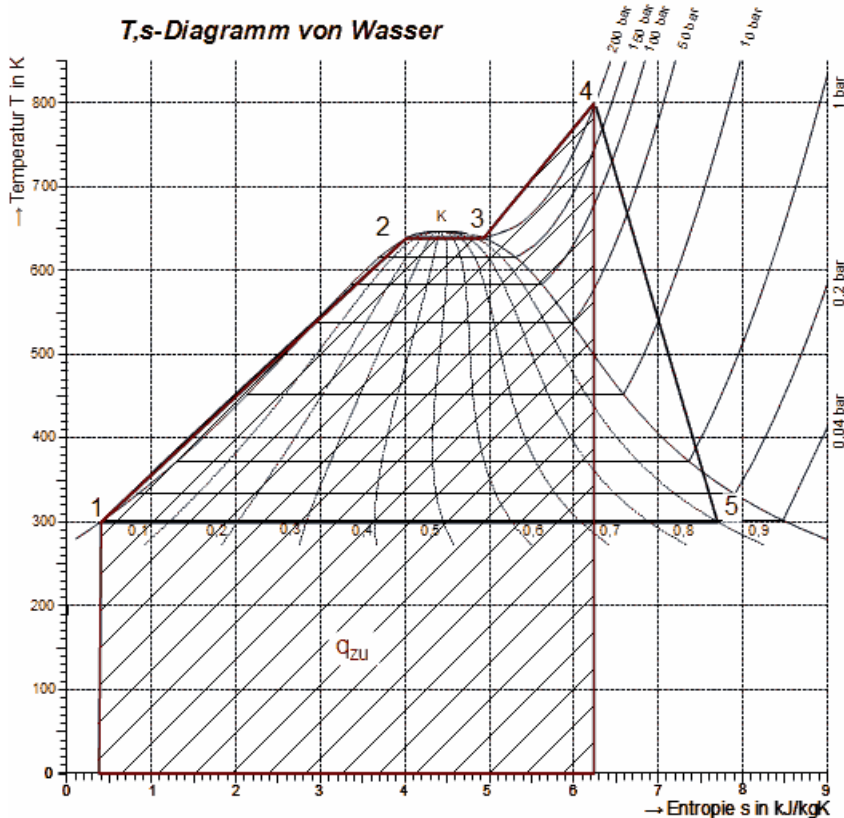
3.3 Grundlast ist der Bedarf an elektrischer Leistung, der im Tagesverlauf nicht unterschritten wird. Sie ist niedriger als das Angebot aus Kraftwerken, die nicht kurzzeitig abgeschaltet werden können, oder deren Primärenergie ungenutzt bliebe (Laufwasser, Wind, Gezeiten, Erdwärme..). Die Grundlast wird auch von Kern- und Kohlekraftwerken gedeckt. 2,0



4

4.1

2,0



Dampfprozess im T,s-Diagramm (Wasser)

4.2 Die Werte für die Entropie s stammen aus einer Wasserdampf tabel. Aus dem Diagramm abgelesene Werte können etwas abweichen.

4,0

$$q_{12} = \frac{T_1 + T_2}{2} \cdot (s_2 - s_1) = \frac{300 + 640}{2} \text{ K} \cdot (4,0 - 0,4) \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} = 1692 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$q_{23} = T_{2/3} \cdot (s_3 - s_2) = 640 \text{ K} \cdot (4,9 - 4,0) \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} = 576 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$q_{34} = \frac{T_3 + T_4}{2} \cdot (s_4 - s_3) = \frac{640 + 800}{2} \text{ K} \cdot (6,25 - 4,9) \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} = 972 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$q_{zu} = q_{12} + q_{23} + q_{34} = (1692 + 576 + 972) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 3240 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Dampfprozess berechnen (Wasser)

4.3

$$m_{Sk} = \frac{W_{tAl}}{H_u \cdot \eta_{SKK}} = \frac{1000 \cdot 15 \text{ kWh}}{\frac{2,93 \cdot 10^{10} \text{ Ws}}{t_{Sk}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \cdot 0,38} = \frac{39,47 \text{ MWh}}{8,14 \text{ MWh}} = 4,85 \text{ t}_{\text{Steinkohle je t Al}}$$

2,0

oder

spezifischer Energiebedarf für die Elektrolyse von Aluminium

$$w_{el} = \frac{15 \text{ kWh}}{\text{kg}_{Al}} = \frac{15 \text{ kW} \cdot 3600 \text{ s}}{\text{kg}_{Al}} = 54 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}_{Al}}$$

$$q = \frac{w_{el}}{\eta_{SKK}} = \frac{15 \text{ kWh/kg}_{Al}}{0,38} = 39,47 \frac{\text{kWh}}{\text{kg}_{Al}} = 39,47 \frac{\text{kW} \cdot 3600 \text{ s}}{\text{kg}_{Al}} = 142,1 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}_{Al}}$$

$$H_u = \frac{Q}{m_{Sk}} = \frac{q \cdot m_{Al}}{m_{Sk}} \rightarrow \frac{m_{Sk}}{m_{Al}} = \frac{q}{H_u} = \frac{142,1 \text{ MJ/kg}_{Al}}{29,3 \text{ MJ/kg}_{Sk}} = 4,850 \frac{\text{kg}_{Sk}}{\text{kg}_{Al}} = 4,850 \frac{t_{Sk}}{t_{Al}}$$

Pro Tonne Aluminium werden 4,85 t Steinkohle benötigt.

Σ = 30,0



## Anlage 4: Kreditangebot der Hausbank:

....können wir Ihnen folgendes Kreditangebot unterbreiten:

Darlehensarten:

Abzahlungsdarlehen	Zinssatz 5 %, Auszahlung 100 %, Kreditlaufzeit 4 Jahre, Zinsbindung 4 Jahre fest jährliche Tilgung am Jahresende
Annuitätendarlehen	Zinssatz 5 %, Auszahlung 100 %, Kreditlaufzeit 4 Jahre, Zinsbindung 4 Jahre fest, Tilgung im 1.Jahr 97.444,97 €.

### Zu Aufgabe 4.5.1:

Abzahlungsdarlehen

Jahr	Kreditsumme am Jahresanfang in €	Tilgung in €	Zinsen in €	Mittelabfluss / Liquiditätsbelastung in €
	Summe In €			

Annuitätendarlehen

Jahr	Kreditsumme am Jahresanfang in €	Tilgung in €	Zinsen in €	Mittelabfluss / Liquiditätsbelastung in €
	Summe In €			



## Lösungen

CNC (20 P): Einstellwerte aus vorgegebenen Schnittdaten, Werkzeugauswahl, Arbeitsplan für Sonderfall, Teilkreiszyklus, Unterprogramm für Kontur

### 1 Einstelldaten

$$v = \pi \cdot n \cdot d \Rightarrow n = \frac{v_c}{\pi \cdot d} = \frac{70 \text{ m/min}}{\pi \cdot 80 \text{ mm}} = 278 \frac{1}{\text{min}}$$

$$v_f = f_z \cdot z \cdot n = 0,1 \frac{\text{mm}}{\text{U} \cdot \text{Zahn}} \cdot 12 \text{ Zahn} \cdot 278 \frac{\text{U}}{\text{min}} = 334 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$$

### 2 Gewinde

#### 2.1 Werkzeuge (→ [EuroTabM] „Gewinde“)

T05: d = 14 mm (= BohrerØ für Gewindekernloch M16)

T07: f = 2 mm (= Steigung eines Gewindes M16)

#### 2.2 Arbeitsplan

Normalfall	Sonderfall HM-Spiralbohrer und 90°-Senker (ist gegeben)
1) Zentrieren + Ansenken mit T08 Senker 2) Vorbohren Ø14 mit T05 Spiralbohrer 3) Gewindebohren M16 mit T07	1) Vorbohren Ø14 mit T05 2) Zentrieren mit T08 3) Gewindebohren M16 mit T07

Hinweis 1: Hartmetall-Spiralbohrer vertragen sich nicht mit 90°-Senkungen, deshalb wird bei dieser Kombination ohne Zentrieren vorgebohrt und danach gesenkt.

Ein Korrektor sollte m.E. die Bedeutung solchen fachspezifischen Spezialwissens für die Allgemeine Hochschulreife in die Bewertung einfließen lassen.

#### 2.3 Gewindebohrung

N.. G00 X-150 Y-150 Z-150 T08 S509 F71 M3 ; 90°-Kegelsenker  
 N.. G00 X50 Y80 ; etwa 1. Bohrung  
 N.. G00 ;  
 N.. G81 ZA-10 V2 ; Bohrzyklus  
 N.. G77 Z0 R55 AN115 AP205 AI45 O3 IA100 JA100 ; Teilkreiszyklusaufruf

N.. G00 X-150 Y-150 Z-150 T07 S219 F2 M3 ; Gewindebohrer  
 N.. G00 X50 Y80 ; etwa 1. Bohrung  
 N.. G00 ;  
 N.. G84 ZA-20 V2 ; Gewindebohrzyklus  
 N.. G77 Z0 R55 AN115 AP205 AI45 O3 IA100 JA100 ; Teilkreiszyklusaufruf

N.. G00 X-150 Y-150 Z-150 M15 ; Heimflug

Bemerkungen:

Im Teilkreiszyklus G77 entfällt eine der Adressen AN205, AP115, AI45 oder O3. Statt des Teilkreiszyklus G77 kann man die Zyklen auch einzeln aufrufen:

Polare Zyklusaufrufe:

N.. G78 IA100 JA100 Z0 RP55 AP205  
 N.. G78 IA100 JA100 Z0 RP55 AP160  
 N.. G78 IA100 JA100 Z0 RP55 AP115

Kartesische Zyklusaufrufe (Koordinaten müssen berechnet werden):

N.. G79 X50,153 Y77,756 Z0  
 N.. G79 X48,317 Y118,811 Z0  
 N.. G79 X76,756 Y149,847 Z0





- 3 Grundsätzlich sind für die Rechtecktasche 40x60 mit den Ecken R8 die Bohrnutenfräser Ø6 und der Schafffräser Ø12 geeignet. Die Bohrnutenfräser haben den Vorteil, dass sie senkrecht eintauchen können, aber das ist in der Rechtecktasche nicht zwingend erforderlich.

Das Werkzeug T04 aus HM erlaubt wegen der 2,7fach möglichen Vorschubgeschwindigkeit  $v_f$  etwas schnelleres Arbeiten als T02 Schafffräser mit dem doppelten Durchmesser, die kleinere Schnitttiefe spielt hier keine Rolle. Für T03 und insbesondere T02 sprechen der geringere Preis der Werkzeuge.

Hinweis 2: Bei solchen Fragen kommt es nicht darauf an, die einzig richtige Antwort zu geben, sondern eine vernünftige Begründung für seine Wahl zu finden, die mit der Aufgabe zusammenhängt. Welches die wirklich beste Wahl ist, stellt sich auch in der Praxis oft erst dann heraus, wenn die realen Probleme auftreten ...

## 4 Außenkontur

4.1  $P3_x = 100 + R70 \cdot \cos 46,40^\circ = 148,273 \text{ mm}$   
 $P3_y = 100 + R70 \cdot \sin 46,40^\circ = 150,692 \text{ mm}$

## 4.2

### Hauptprogramm

N.. G00 X-10 Y-45 ; Verlängerung P1-P2  
 N.. G00 Z1 ;  
 N.. G22 L100 H2 ; ruft 2x das Unterprogramm L100 auf

### Unterprogramm L100 (hier in absoluten Werten, ist auch inkremental möglich)

N.. G41 ; Bahnkorrektur links  
 N.. G00 ZI-13 ; In 2 Schnitten von ZA1 auf ZA-25  
 N.. G01 X30 Y40 ; P1  
 N.. G01 Y100 ; P2  
 N.. G02 X148,273 Y150,692 R70 ; P3  
 N.. G01 X170 Y130 ; P4  
 N.. G01 Y40 ; P5  
 N.. G01 X-2 ; P6 und weiter  
 N.. G01 X-10 Y45 ; Startpunkt  
 N.. G40  
 N.. M17 ; Unterprogramm Ende