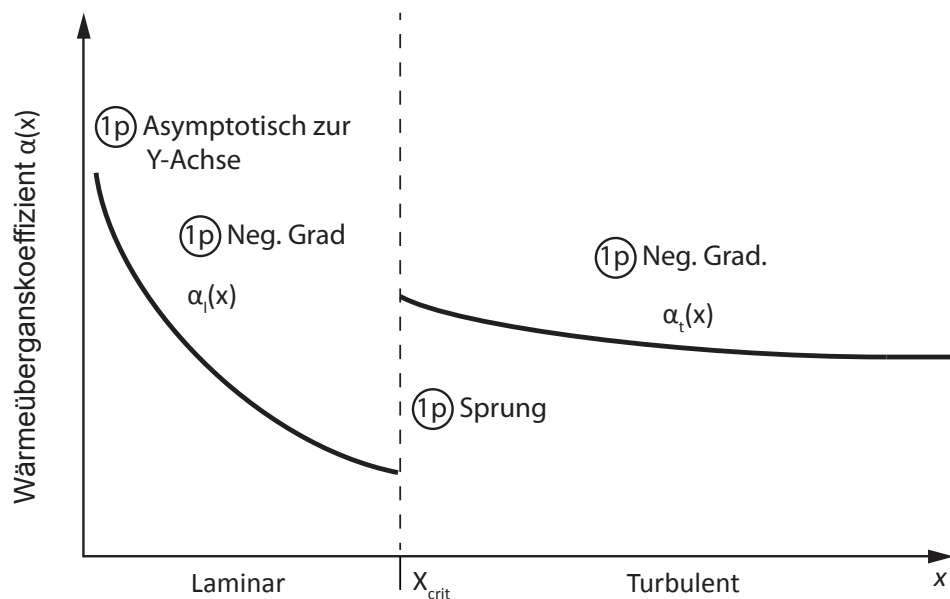


- b) Skizzieren Sie im gegebenen Diagramm (Abbildung 2) qualitativ die Werte der örtlichen Wärmeübergangskoeffizienten $\alpha_l(x)$ und $\alpha_t(x)$ über die Lauflänge der Grenzschicht. (4 P)

Qualitatively plotting the values from $\alpha_l(x)$ and $\alpha_t(x)$ obtained in the previous task are shown in the following figure:

Abbildung 2: Diagramm für den örtlichen Wärmeübergangskoeffizienten $\alpha(x)$



A detailed description of the point criteria is shown below on the list.

At x_{crit} a discontinuity is expected. Nevertheless, given that in real cases the laminar-turbulent transition is not a discontinuity but a transition zone, it could alternatively be sketched as a linear profile connecting the two regions with a significantly positive step gradient.

The accuracy of the curvature of the profiles is not evaluated given its complexity, nevertheless a linear curve is not a valid solution. Some sort of curvature with negative gradient is expected.

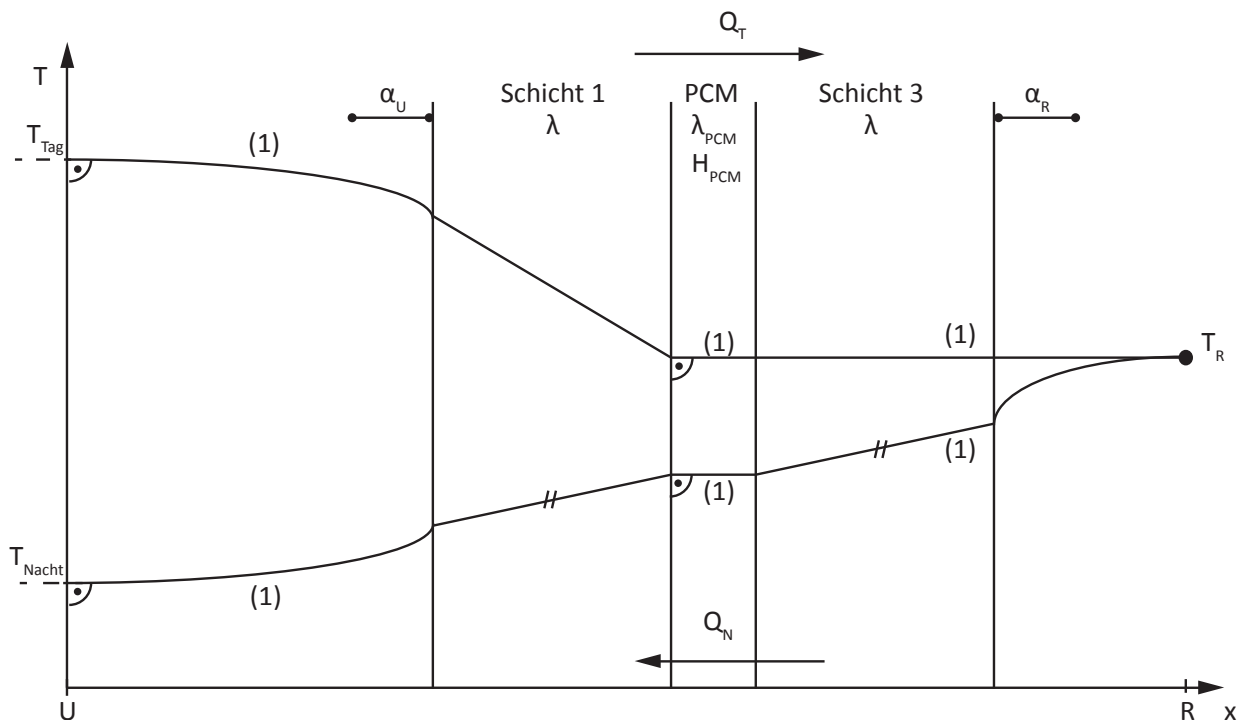
Only one plot is to be shown at each of the two flow regions. If the profile corresponding to the laminar flow is extended into the turbulent part or vice versa point, then points 2 and/or 4 will be discounted

- d) Eine Hauswand besteht aus drei Schichten. Die Schichten 1 und 3 bestehen aus dem selben Material (λ). Die mittlere Schicht besteht aus einem Phasenwechselmaterial (PCM). Das PCM wechselt bei einer bestimmten Temperatur T_{Ph} seinen Aggregatzustand. Zum vollständigen Verflüssigen des Materials muss dieses auf T_{Ph} erwärmt werden und anschließend die Schmelzenthalpie H_{PCM} zugeführt werden. Erst wenn das Material vollständig verflüssigt ist, kann es weiter erwärmt werden (siehe Abbildung). Zum Verfestigen des PCM wird der Vorgang umgekehrt und Energie wird abgeführt.

Fall Tag: Über den gesamten Tag wird der Wand eine Wärmeenergie $Q_T < H_{PCM}$ zugeführt.

Fall Nacht: Über die Nacht gibt die Wand die Wärmeenergie $Q_N > H_{PCM}$ ab.

Zeichnen sie zunächst den Temperaturverlauf von Umgebung (U) bis Raum (R) zum **Ende des Tages** mit der Anfangsbedingung, dass das PCM vollständig entladen ist und die Temperatur T_R hat. Zeichnen Sie anschließend den Temperaturverlauf, der sich am **Ende der Nacht** einstellt. (6 P)

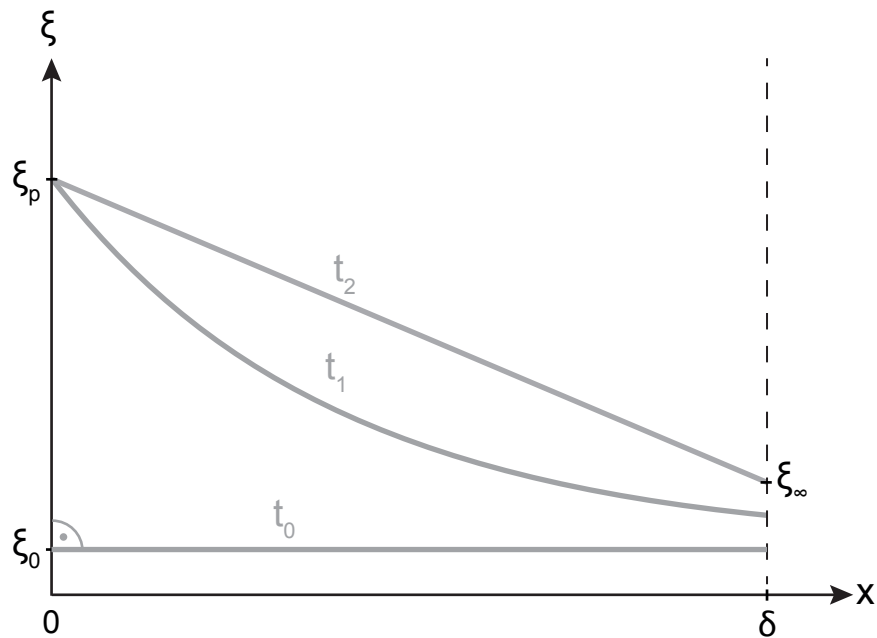


Erläuterungen zu den Kurvenverläufen:

Fall Tag:

- Da zum Anfang des Tages die Temperatur des PCM der Phasenwechseltemperatur entspricht und die der Wand zugeführte Energie kleiner als der Phasenwechselenthalpie des PCM ist, hat das PCM am Ende des Tages immer noch die Temperatur T_R . (1 P)
Daher ist der Wärmestrom und damit die Steigung von der äußeren Oberfläche bis in den Raum null. (1 P)
- Von der äußeren Oberfläche des PCM bis zur Außenfläche von Schicht 1 stellt sich ein linearer Temperaturverlauf ein. Der konvektive Verlauf zwischen Wandoberfläche und Umgebung nähert sich asymptotisch der Temperatur T_{Tag} an. (1 P)

Aufgabenteil c)



(4 P)

Aufgabenteil d)

$$m_{\text{Gift}} = \rho \cdot A \int_0^\delta \xi(x) dx \quad (1 \text{ P})$$

mit...

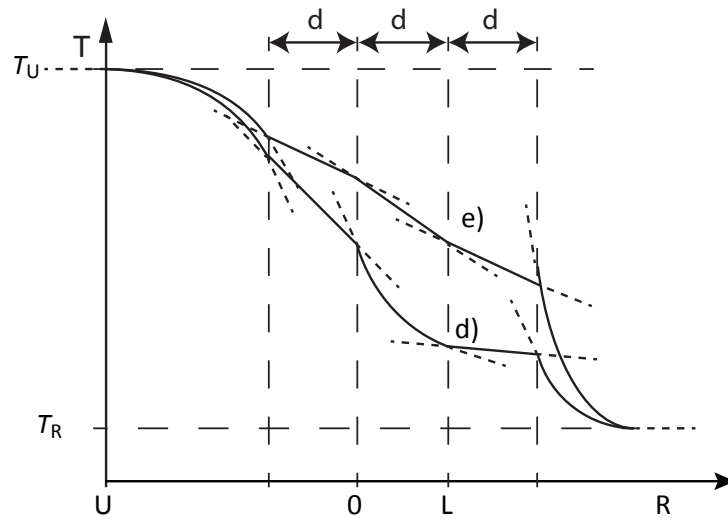
$$\xi(x) = \xi_p - x \left(\frac{\xi_p - \xi_\infty}{\delta} \right) \quad (1 \text{ P})$$

führt zu:

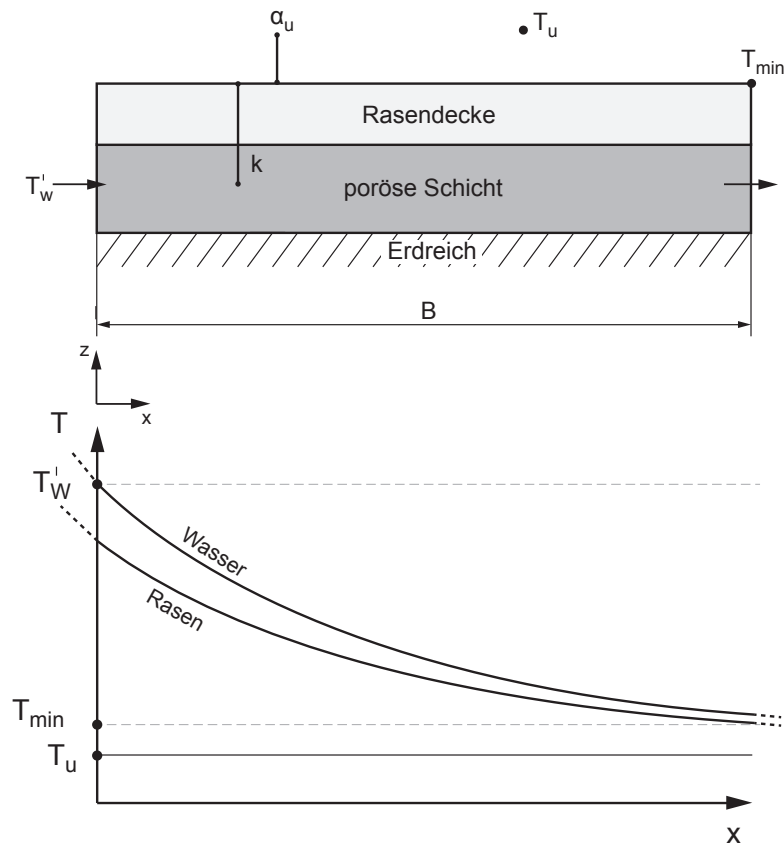
$$m_{\text{Gift}} = \rho \cdot A \left[x \cdot \xi_p - x^2 \left(\frac{\xi_p - \xi_\infty}{2\delta} \right) \right]_{x=0}^{x=\delta}$$

 $m_{\text{Gift}} =$

$$\rho \cdot \delta \cdot A \left(\frac{\xi_p + \xi_\infty}{2} \right) \quad (1 \text{ P})$$

Aufgabenteil d),e)

Aufgabenteil b)



Aufgabenteil c)

$$Re_u = \frac{\rho_u \cdot u_u \cdot b}{\eta_u} \quad (1P)$$

$$\overline{Nu}_u = 0,664 \cdot Re_u^{(1/2)} \cdot Pr_u^{(1/3)} \frac{\left[1 - \left(\frac{x_0}{b}\right)^{3/4}\right]^{2/3}}{\left[1 - \frac{x_0}{b}\right]} \quad (WÜK 4) \quad (1P)$$

mit $x_0 = 0$

$$\bar{\alpha}_{el} = \frac{\overline{Nu}_u \cdot \lambda_u}{b} \quad (1P)$$

- c) Bestimmen Sie die Temperatur \tilde{T} , bei welcher die zeitlichen Änderungen von $T_i(t)$ ($i = 1, 2$) beider Fälle identisch sind. Ergänzen Sie das gegebene Diagramm um eine qualitative Zeichnung der zeitlichen Entwicklung der Babybreitemperatur $T_1(t)$ im ersten Fall. (3 P)

Die zeitliche Änderung (Gradienten) der Babybreitemperaturen der jeweiligen Fälle ist genau dann identisch, wenn die auftretenden Wärmeströme identische sind. Für Fall 1 sind dies $\dot{Q}_W(t)$ (Wasser \leftrightarrow Brei) und $\dot{Q}_L(t)$ (Luft \leftrightarrow Brei), für Fall 2 nur $\dot{Q}_W(t)$ (Wasser \leftrightarrow Brei). Die ergibt

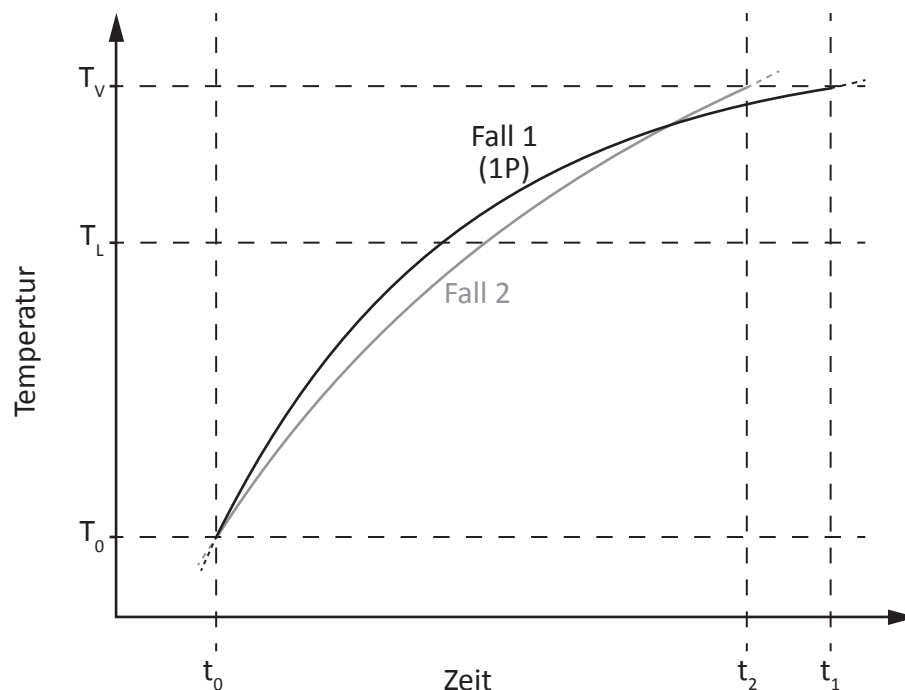
$$\alpha_W \cdot \pi \cdot D \cdot H \cdot [T_W - T(t)] = \alpha_W \cdot \pi \cdot D \cdot H \cdot [T_W - T(t)] + \alpha_L \cdot \pi \frac{D^2}{4} \cdot [T_L - T(t)] \quad (1P)$$

Diese Bedingung trifft zu wenn

$$\alpha_L \cdot \pi \frac{D^2}{4} \cdot [T_L - T(t)] = 0$$

Daraus ergibt sich, dass

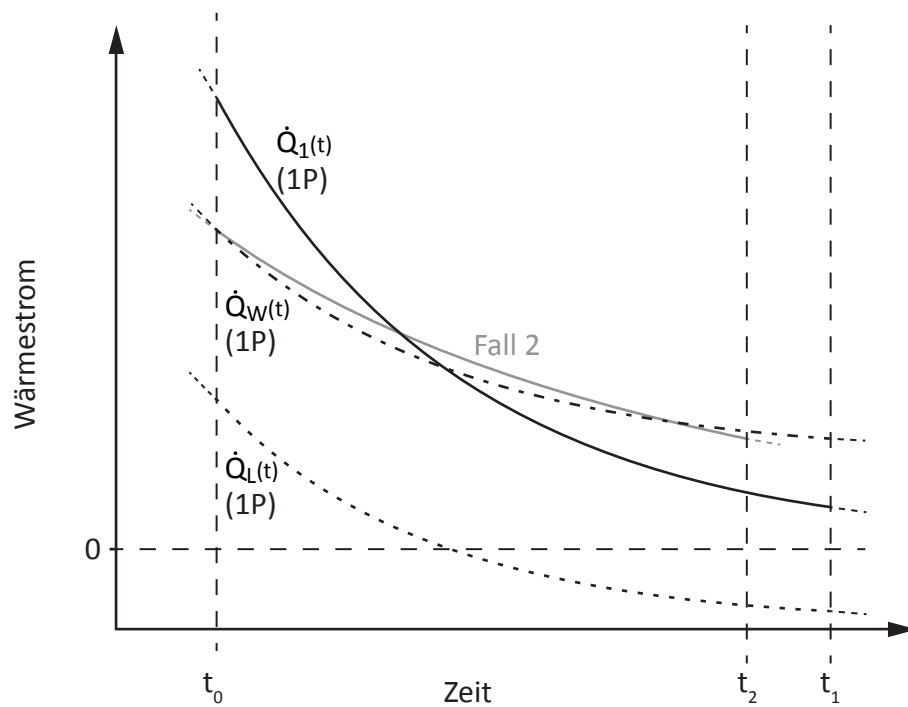
$$\tilde{T} = T_L \quad (1P)$$



- d) Ergänzen Sie das gegebene Diagramm um eine qualitative Zeichnung der zeitlichen Entwicklungen des Gesamtwärmestroms $\dot{Q}_1(t)$ im ersten Fall, sowie dessen Einzelkomponenten $\dot{Q}_W(t)$ (Wasser \leftrightarrow Brei) und $\dot{Q}_L(t)$ (Luft \leftrightarrow Brei). (3P)

Für den Fall 1 findet Wärmeübertragung zwischen Luft und Babybrei statt. Da die Anfangstemperatur des Babybrei unterhalb der Lufttemperatur liegt, wird der Babybrei sowohl über das Wasser \dot{Q}_W als auch die Luft \dot{Q}_L erwärmt. Daraus ergibt sich das $\dot{Q}_1(t) > \dot{Q}_2(t)$ solange $T(t) < \tilde{T}$.

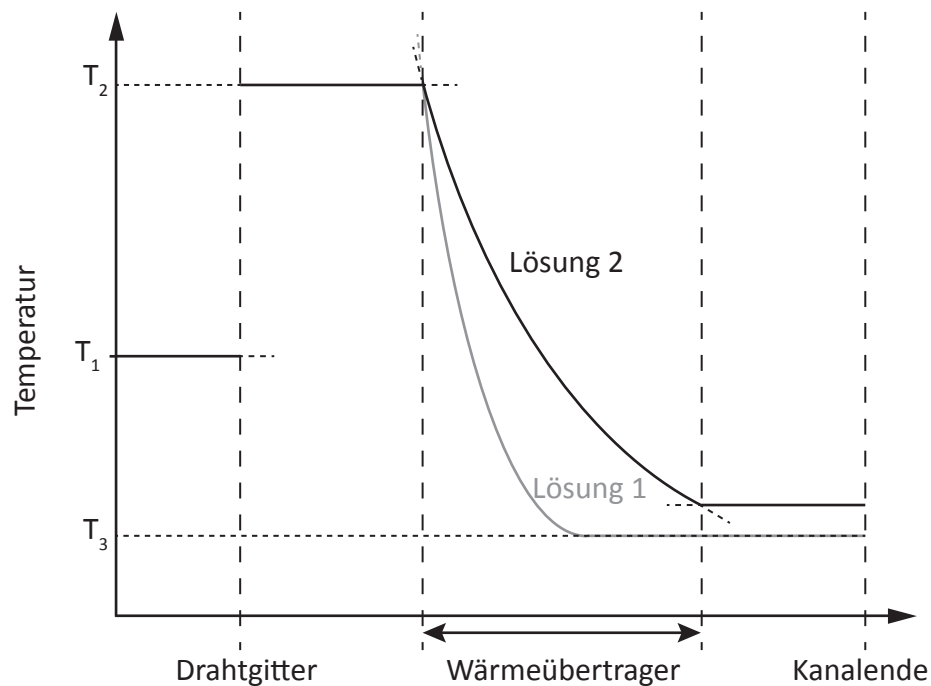
Im Verlauf des Aufheizvorgangs verringert sich die zugeführte Wärme mit steigender Temperatur des Babybreis. Sobald im Fall 1 die Babybreitemperatur die Temperatur der Umgebungsluft überschreitet ($T(t) > \tilde{T}$), gibt der Babybrei Wärme an die Umgebung ab $\dot{Q}_L < 0$ und die Aufheizung wird verzögert.



- e) *Skizzieren Sie qualitativ den Verlauf der örtlichen Lufttemperatur vom Eintritt bis zum Ende des Kanals.* (4 P)

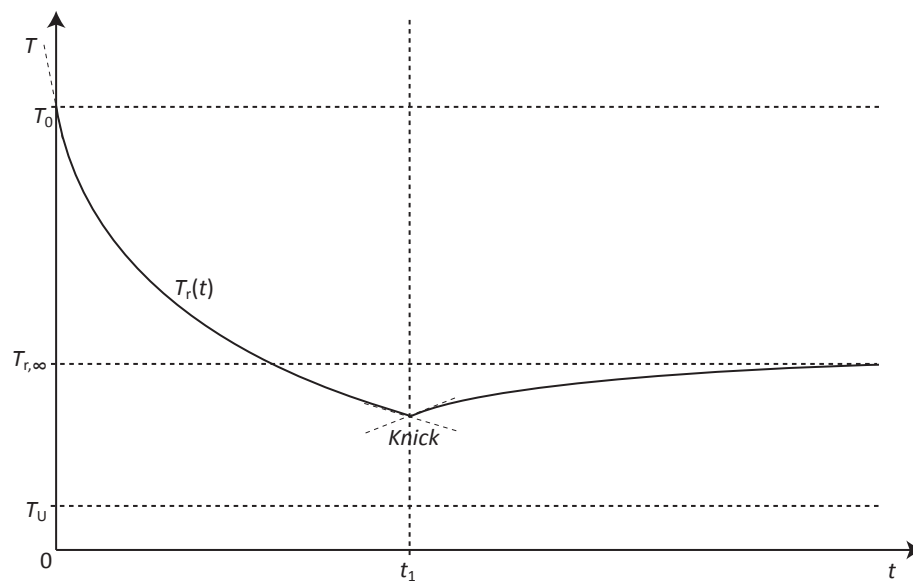
Erläuterungen zum Temperaturverlauf (vernachlässigte Wärmeleitung gemäß Hinweis!):

- Bis zum Drahtgitter bleibt die Temperatur konstant bei T_1 , da der Kanal adiabatisch ist.
- Am Drahtgitter erfolgt Sprung auf die Temperatur T_2 durch die Wärmezufuhr (siehe Aufgabenteil a)).
- Zwischen Drahtgitter und Beginn des Wärmeübertragers bleibt die Temperatur wieder konstant (adiabater Kanal).
- Im Wärmeübertrager erfolgt ein logarithmischer Temperaturabfall (Knick am Eintritt).
- Die Temperatur darf nicht unter die Temperatur T_3 fallen, kann sich aber im Wärmeübertrager dieser asymptotisch annähern (Lösung 1) oder am Austritt noch über dieser liegen (Lösung 2).
- Nach dem Wärmeübertrager bleibt die Temperatur konstant bei der Austrittstemperatur des Wärmeübertragers (adiabater Kanal).



- d) Skizzieren Sie qualitativ den zeitlichen Verlauf der Oberflächentemperatur $T_r(t)$ für den Zeitraum $t = 0$ bis t_1 und für den Zeitraum von t_1 bis $t \rightarrow \infty$. (4 P)

Der zeitliche Verlauf kann folgendermaßen in das Diagramm eingetragen werden:

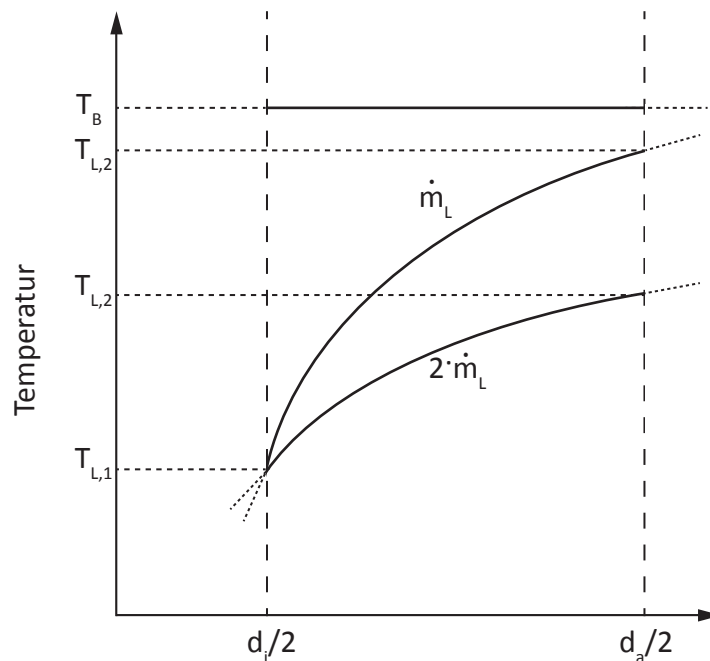


- b) Skizzieren Sie qualitativ den Temperaturverlauf der Luft und der Bremsscheibe entlang eines Kanals. Wie verändert sich die Temperatur der Luft bei einer Erhöhung des Luftmassenstroms \dot{m}_L ? Skizzieren Sie den Temperaturverlauf auch für diesen Fall im selben Diagramm. (3 P)

Die Temperatur der Bremsscheibe ist laut Aufgabenstellung homogen und konstant. Demnach ist im Diagramm für den radialen Verlauf der Bremsscheibentemperatur eine horizontale Gerade mit der Temperatur T_B einzuzeichnen.

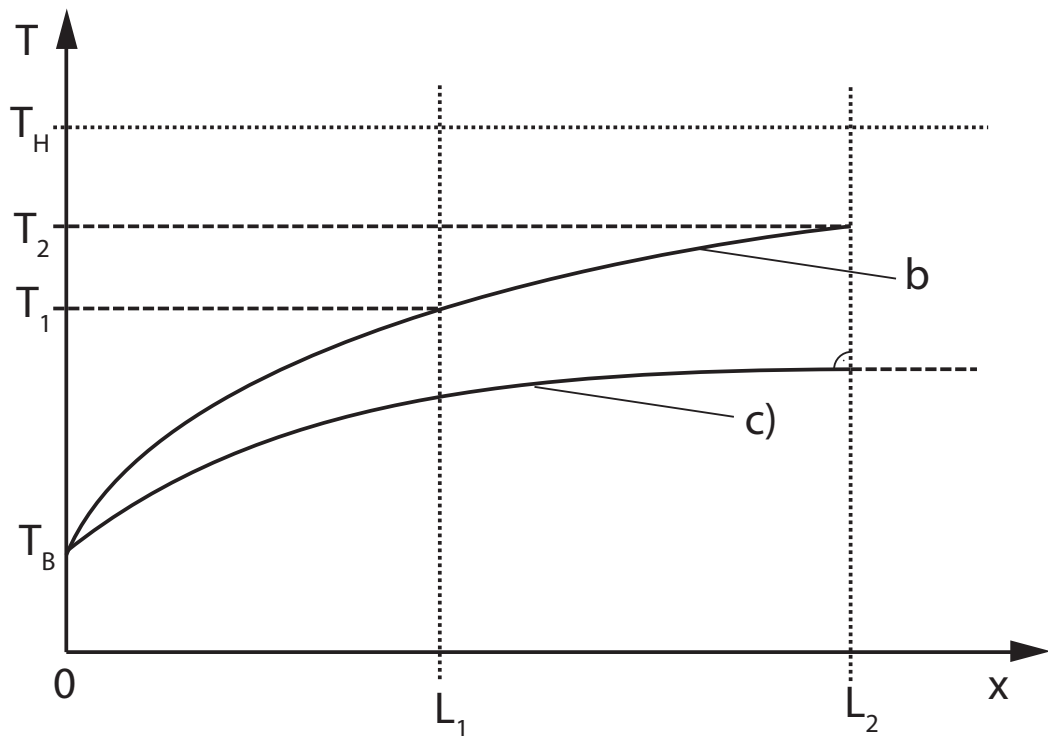
Die Temperatur der Luft nimmt vom Eintrittspunkt in den Kanal ($\frac{d_i}{2}$) bis zum Austritt kontinuierlich ($\frac{d_a}{2}$) zu. Der Verlauf weist dabei einen abnehmenden Gradienten auf, welcher typisch für einen Aufheizvorgang durch eine isotherme Oberfläche ist. Die Gradienten sind an den Rändern ungleich null und positiv. Die Temperatur der Luft liegt stets unterhalb der Temperatur der Bremsscheibe.

Eine Verdopplung des Massenstroms führt zu einer geringeren Steigung und einer niedrigeren Austrittstemperatur der Luft. Die Eintrittstemperatur $T_{L,1}$ bleibt identisch.



- b) Zeichnen Sie den Temperaturverlauf $T(x)$ innerhalb der Stange für den Bereich $0 \leq x \leq L_2$ in das beigegefügte Diagramm. (4 P)

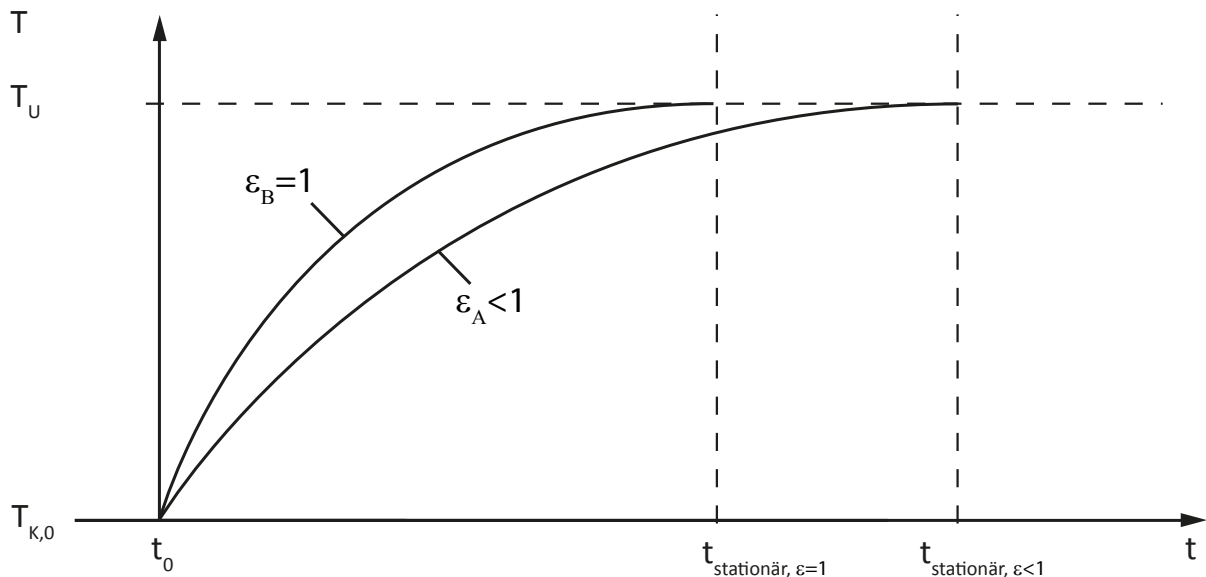
Laut Hinweisen in der Aufgabenstellung handelt es sich um einen quasi-stationären Temperaturverlauf. Weiterhin ist bekannt, dass $T_B < T_1 < T_2 < T_H$. Somit ergibt sich ein exponentieller Verlauf (vgl. Aufgabenteil a)). Dabei muss gelten, dass am Fuß der Rippe die Temperatur T_B vorliegt. An den Stellen L_1 und L_2 herrscht die Temperatur T_1 bzw. T_2 . Die Temperatur der heißen Umgebung T_H wird an der Stelle L_1 noch nicht erreicht:



- d) Zum Zeitpunkt t_0 werden gleichzeitig eine transparente Kugel A der Temperatur $T_{K,0}$ mit $\tau_A, \rho_A, \varepsilon_A \neq 0$ sowie eine schwarze Kugel B ebenfalls mit der Temperatur $T_{K,0}$ mit $\varepsilon_B = 1$ in eine Umgebung der Temperatur T_U mit $T_U > T_{K,0}$ eingebracht. Zeichnen Sie die zeitliche Entwicklung der Temperatur beider Kugeln in das bereitgestellte Diagramm ein. (3 P)

Zur Erklärung des Verlaufs:

- Die Endtemperatur ist durch T_U begrenzt.
- Die Kugel mit dem höheren Emissionsgrad weist nach Kirchhoff ebenfalls einen höheren Absorptionsgrad auf und erwärmt sich folglich auch schneller.
- Die Verläufe sind degressiv, da der Wärmeübergang bei kalten Kugeln stärker ausgeprägt ist, als bei bereits aufgewärmten Kugeln.



b) Zum Schwarzfärben grüner Oliven, werden diese mit Eisen-II-Gluconat behandelt. Nehmen Sie an, dass zwei Oliven in ein unendlich großes Bad einer Flüssigkeit mit einem Eisen-II-Gluconat-Massenanteil ξ_{F1} eingelegt wird. Zum Zeitpunkt t_0 liegt in beiden Oliven der Eisen-II-Gluconat-Massenanteil bei $\xi_{\text{Olive},0} = 0$. Zeichnen Sie die zeitliche Entwicklung des Eisen-II-Gluconat-Massenanteils der unterschiedlich großen Oliven

i) mit dem Radius r_a (3 P)

ii) mit dem Radius $r_b > r_a$ (1 P)

in das bereitgestellte Diagramm ein.

Zur Erklärung des Verlaufs:

- ξ_{Olive} ist typischerweise von ξ_{F1} verschieden. Der Grund dafür ist, dass ξ als Verhältnis der Partialdichte des übergehenden Stoffs bezogen auf die jeweilige Gesamtdichte definiert ist. ρ_{partial} dieses Stoffs ist in beiden Medien (Flüssigkeit, Olive) gleich. Da aber die Gesamtdichten verschieden sind, ergeben sich unterschiedliche Verhältnisse in den beiden Medien.
- Aufgrund des größeren Transportwegs bei der größeren Olive dauert es länger, bis ξ auf den gleichen Wert angestiegen ist.
- Die Verläufe sind degressiv, da der Stoffübergang bei höheren Werten für ξ_{Olive} weniger ausgeprägt ist, da die Differenz $\xi_{F1} - \xi_{\text{Olive}}$ abnimmt.

