Gleichgewichtssysteme

T Gleichgewichte spielen in der Natur in verschiedensten Zusammenhängen eine ganz wesentliche Rolle Dabei unterscheidet man stabile, labile und indifferente Gleichgewichte (informiere dich über die Bedeutung der Begriffe !)
Aus physikalischer Sicht soll hier exemplarisch ein Beispiel näher behandelt werden, welches in unseren Breiten eine wichtige technische Rolle spielt (beinahe 50 % der Gesamtenergie in Österreich wird zum Beheizen der Häuser verwendet !) :
Das Gleichgewicht zwischen Energiezufuhr und Energieabfluss eines Raumes mit und ohne Isolierung Aus der Analyse der Messdaten kann man wichtige Größen wie die Wärmeleitfähigkeit λ von Materialien und ihre sogenannten k - Werte berechnen

F Nenne mindestens drei möglichst konkrete Gleichgewichtssysteme:

EIP (Teil des Landeswettbewerbes der 20 Österreichischen Physikolympiade 2001) Der Innenraum einer Kunststoffbox wird durch eine Glühlampe, betrieben mit 4 V Gleichspannung (Trafo), erwärmt und deren Innentemperatur in Minutenabständen gemessen Nach einer bestimmten Zeit steigt die Temperatur nicht mehr, da die gesamte zugeführte Energie durch die Wände nach außen abfließt
Für diesen Gleichgewichtszustand gelten (vereinfacht, ohne Berücksichtigung der Wärmeübergänge an Innen- und Außenwand) folgende Zusammenhänge:

Die von der Glühlampe abgegebene Leistung P (in Watt) kann bei gleichbleibender Temperatur im Innenraum mit dem Wärmestrom I (ebenfalls in Watt) nach Außen gleichgesetzt werden

$$I \quad P \quad k \quad \Delta T \qquad\qquad k \quad \lambda \, I \, d$$

k Wärmedurchgangskoeffizient, gemessen in W/m2K
λ Wärmeleitfähigkeit der Wände, gemessen in W/mK
ΔT Temperaturdifferenz zwischen Innen- und Außenraum
A Gesamte Außenwandfläche in m2
d Wanddicke in m

Besteht eine Wand aus mehreren Schichten, kann der gesamte k - Wert k_{ges} durch folgenden Zusammenhang bestimmt werden:

$$1 \, I \, k_{ges} \qquad 1 \, I \, k_1 + 1 \, I \, k_2 + \ldots$$

Baue eine geeignete Schaltung auf, um während des Betriebes der Glühlampe sowohl U als auch I bestimmen zu können Lege die Box zur Wärmeentkopplung nicht auf die Tischplatte, sondern auf ein geripptes Blatt Papier (zick - zack - Faltung), führe folgende Schritte durch und mache sorgfältige ufzeichnungen für die spätere uswertung Zeichne alle Diagramme auf Millimeterpapier !

a) Bestimme die Raumtemperatur und stecke das Thermometer etwa 1,5 cm in die Box (sorge durch Umwickeln des Thermometers mit Tixo für einen dichten Verschluss der Öffnung) Miss ab Einschalten der Glühlampe in Minutenabständen die Innentemperatur bis zum Erreichen des thermischen Gleichgewichtes Zeichne ein T - t - Diagramm !

b) Schalte nach Erreichen des Gleichgewichtes die Glühlampe aus (sie wird noch etwa eine Minute Wärme abgeben) und miss weiterhin in Minutenabständen die Temperatur während der folgenden bkühlphase mindestens bis zur "Halbwertstemperatur" $\Delta T_{1/2}$, d h wenn ΔT mindestens auf die Hälfte gesunken ist Zeichne ebenfalls ein Diagramm

c) Isoliere die Box durch allseitiges Aufkleben von Isoliermaterial (schneide die Rechtecke möglichst genau zurecht und klebe sie mit Tixo fest) und wiederhole den ersten Teil Achte darauf, dass die Box vor Beginn der Messungen wieder Zimmertemperatur hat (der Deckel kann zum Lüften geöffnet werden)
Zeichne erneut ein T - t - Diagramm !

R us den Messdaten der Experimente sollen folgende Werte bestimmt und im Protokoll festgehalten werden:

a) Berechne die elektrische Leistung U I während des Betriebes, den k - Wert k_1 der Kunststoffwand und ihre Wärmeleitfähigkeit λ_1 mit d = 2 mm, A = $6{,}8\cdot 10^{-3}$ m2

b) Die Abkühlung der Box ist wie viele Vorgänge in der Natur mit einer Exponentialfunktion berechenbar Bestimme mit Hilfe der gemessenen Zeit $t_{1/2}$ bis zur Erreichung der "Halbwertstemperatur" (d h $\Delta T_{1/2} = \Delta T_0 / 2$) die " bkühlkonstante" c der exponentiellen Abkühlkurve, die mit folgender Formel beschrieben werden kann :

$$\Delta T = \Delta T_0 \cdot e^{-c\cdot t} \qquad \text{(Zusatzpunkt)}$$

c) Berechne aus der neuen Gleichgewichtstemperatur den gemeinsamen k - Wert k_{ges} von Wand und Isolierung und anschließend den k - Wert k_2 sowie die Wärmeleitfähigkeit λ_2 des Isoliermateriales allein (d = 2 mm, neue und vergrößerte Außenfläche A = $7{,}7\cdot 10^{-3}$ m2)

d) Wie groß wäre der k - Wert k_3 des Isoliermateriales, wenn die Isolierschicht eine Dicke von d = 5 cm hätte ?

nleitung zu den Berechnungen

a) $U =$ V | $I =$ A

$P = U \cdot I =$ W | $\Delta T_1 =$

$I = P = k \cdot A \cdot \Delta T$ | $k_1 =$ W/m2K

$\lambda_1 = k_1 \cdot d$ | $\lambda_1 =$ W/mK

b) Abkühlkonstante:

$\Delta T_{1/2} = \Delta T_0 / 2$ | $t_{1/2} =$ min

$1/2 = e^{-c \cdot t}$ | $c =$ min^{-1}

c) $P = U \cdot I =$ W | $\Delta T_2 =$

Gesamt:

$P = k_{ges} \cdot A_2 \cdot \Delta T_2$ | $k_{ges} =$ W/m2K

Isoliermaterial allein (d = 2 mm):

$1/k_{ges} = 1/k_1 + 1/k_2$ | $k_2 =$ W/m2K

$\lambda_2 = k_2 \cdot d =$ W/mK

5 cm Isolierschicht:

$k_3 = \lambda_2 / d =$ W/m2K | $k_3 =$ W/m2K