

# WÄRMELEITUNG UND STRAHLUNGSGESETZE

## – eine Reihe alter Prüfungsaufgaben

Die folgenden Aufgaben oder Teile davon könnten in ähnlicher Weise auch an der mündlichen Matur vorkommen. Nutzen Sie sie als gute Übungsgelegenheit

### 1. Naos – ein stellares "Monster"

Der Stern **Naos** im Sternbild *Achterdeck des Schiffs* gehört der Spektralklasse O5 Ia an. Solche Sterne weisen gigantische Leuchtkräfte auf. Diejenige von Naos ist 1.2 Millionen-mal so gross wie diejenige der Sonne ( $L_{\odot} = 3.846 \cdot 10^{26} \text{ W}$ )!

- (a) Auf Höhe der Erde empfangen wir von Naos eine Strahlungsintensität von  $I = 340 \frac{\text{nW}}{\text{m}^2}$ .

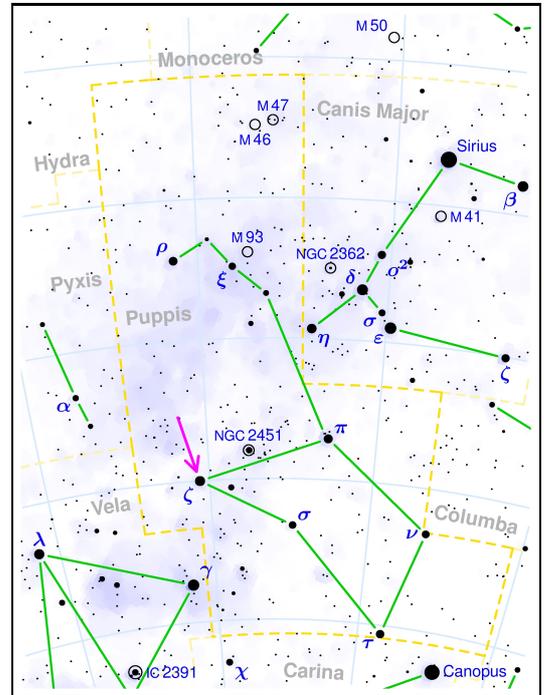
**Wie viele Lichtjahre ist Naos demnach von uns entfernt?**

**Hinweis:**  $c = 3.0 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ .

- (b) Auch die Ausdehnung von Naos ist beachtlich. Sein Radius ist 20-mal so gross wie derjenige der Sonne ( $R_{\odot} = 700\,000 \text{ km}$ )!

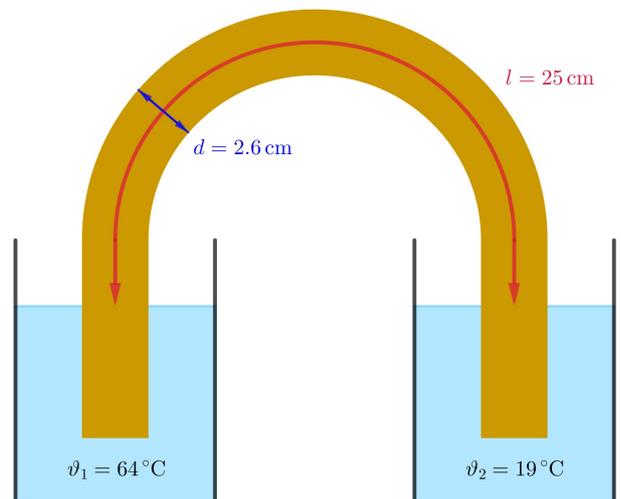
**Welche Oberflächentemperatur muss Naos folglich aufweisen?**

**Tipp:** Sterne darf man ohne grossen Fehler als schwarze Körper ansehen.



### 2. Wärmeleitung im Versuch

In einem Versuch stelle ich zwei Gefässe mit Wasser unterschiedlicher Temperatur auf und verbinde sie über einen Kupferbügel (Länge 25 cm, runder Querschnitt mit Durchmesser 2.6 cm) miteinander. Nach einiger Wartezeit hat sich im Kupferbügel ein gleichmässiger Temperaturverlauf eingestellt und die Situation so aus, wie sie auf dem Bild rechts dargestellt ist: Im einen Gefäss herrschen  $64^{\circ}\text{C}$ , im anderen  $19^{\circ}\text{C}$ .



- (a) **Wie gross sind derzeit der Wärmestrom durch und die Wärmestromdichte im Kupferbügel?**

Gib die Antworten in W resp.  $\frac{\text{W}}{\text{cm}^2}$ .

Die **Wärmeleitfähigkeit von Kupfer** beträgt  $\lambda_{\text{Cu}} = 390 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot^{\circ}\text{C}}$ .

- (b) Die Wärmestromdichte des Golfstroms kann mit etwa  $1.5 \frac{\text{kW}}{\text{cm}^2}$  beziffert werden. Das Resultat für den Wärmestrom im Kupferbügel aus Aufgabe (a) ist im Vergleich dazu sehr viel kleiner.

Das mag erstaunen, denn beim Golfstrom gibt es ja niemals so grosse Temperaturunterschiede wie in meinem Versuch.

**Worin besteht der entscheidende Unterschied, dass der Golfstrom im Vergleich zu meinem Kupferbügel eine so viel grössere Wärmestromdichte aufweist?**

### 3. Abstrahlung eines Bügeleisens

Aus Neugier messe ich das Emissionsspektrum der heißen **Bügelsohle** eines **Bügeleisens** aus.

- (a) **Woran erkenne ich im Spektrum rechts, dass das Bügeleisen sicher nicht (optisch sichtbar) leuchtet?**
- (b) **Welche Celsius-Temperatur weist die Bügelsohle auf?**

**Tipp:** Wien!

- (c) Bei Betrieb bezieht das Bügeleisen eine elektrische Leistung von 800 W.

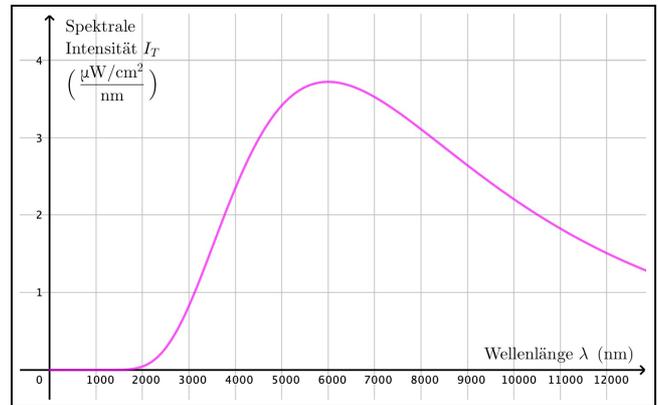
Man könnte nun vermuten, dass diese Leistung vor allem dafür verwendet wird die Temperatur der Bügelsohle aufrecht zu erhalten, weil diese ja Wärme abstrahlt. . .

**Berechne die ungefähre Strahlungsleistung der Bügelsohle und äussere dich danach zu obiger Vermutung.**

**Hinweis:** Benutze für deine Rechnung die Angaben im Bild rechts. Die Bügelsohle besteht aus poliertem Edelstahl mit einem Emissionskoeffizienten von 0.11.

- (d) **Weshalb ist es sinnvoll, dass die Bügelsohle einen geringen Emissionskoeffizienten aufweist?**

**Hinweis:** Es gibt zwei gute Gründe. Der eine hat mit der Energieeffizienz des Bügeleisens zu tun, der andere mit seinem Verwendungszweck – was soll denn das Bügeleisen beim Bügeln machen (und was nicht)?



### 4. Kühlung eines Labor-Netzgerätes

Auf dem Bild rechts siehst du die Rückseite eines Labor-Netzgerätes. Dort sind zur Gerätekühlung sogenannte **Kühlrippen** angebracht.

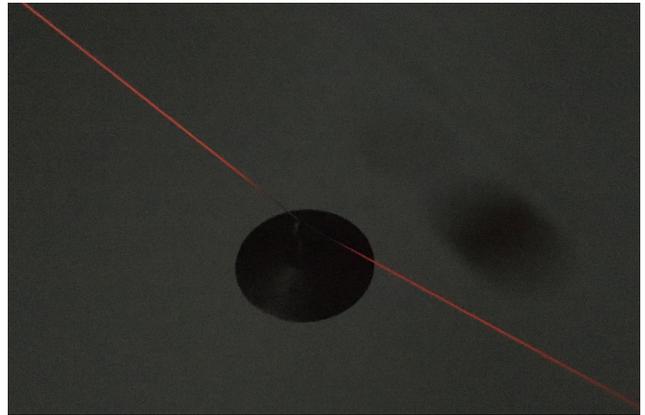
**Erläutere, wie die Kühlung über diese Kühlrippen physikalisch funktioniert und weshalb sie so auszusehen haben, wie man das auf dem Bild erkennen kann. Stichworte genügen!**



5. Ein glühender Draht

Durch einen 0.50 mm dicken und 75 cm langen **Metalldraht** fließen bei 30.0 V angelegter Spannung 3.9 A Strom. Wie wir im Unterricht beobachtet haben, wird der Draht dabei so heiss, dass er **orange-rot** glüht (vgl. Bild).

Da das Glühen eine konstante Farbe und Helligkeit aufweist, schliessen wir auf ein **Gleichgewicht** zwischen der zugeführten **elektrischen Leistung** und der vom Draht emittierten **Strahlungsleistung**.



- (a) Welche **Celsius-Temperatur** weist der Draht demnach auf?

**Hinweis 1:** Die Oberfläche des Drahtes beträgt  $A = \pi \cdot d \cdot h$  (= Formel für die Zylinderoberfläche mit  $d$  = Durchmesser und  $h$  = Zylinderhöhe resp. Drahtlänge).

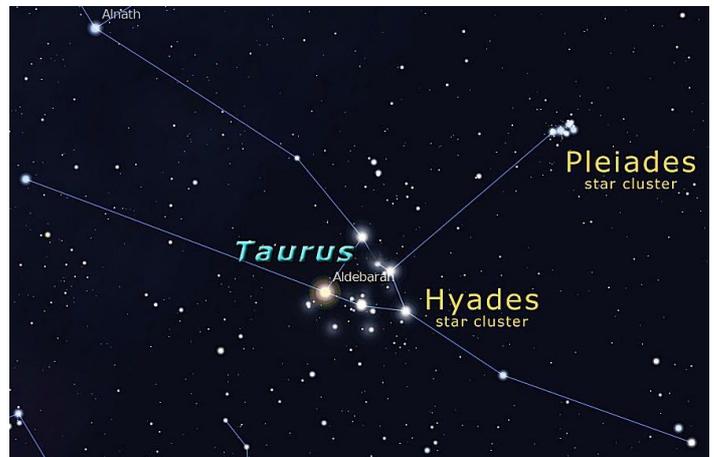
- (b) Die Tabelle rechts führt die Wellenlängen in einem Ausschnitt des elektromagnetischen Spektrums auf.

- i. In welchem **Farbbereich** liegt die **Wellenlänge maximaler Intensität**, die vom glühenden Draht ausgesendet wird?
- ii. Begründe knapp und präzise, weshalb die Antwort zu i. nicht im Widerspruch zum beobachteten orange-roten Glühen des Drahtes steht?

Spektrale Wellenlängenbereiche	
ultraviolett	3.9 nm – 390 nm
violett	390 nm – 430 nm
blau	430 nm – 490 nm
grün	490 nm – 570 nm
gelb	570 nm – 600 nm
orange	600 nm – 620 nm
rot	620 nm – 780 nm
infrarot	780 nm – 30 000 nm

6. Der Rote Riese von Aldebaran

**Aldebaran** ist ein Doppelsternsystem im Sternbild Stier. Seine Entfernung zur Erde beträgt etwa 67 Lichtjahre. Der Hauptstern ist ein **Roter Riese** der Spektralklasse K5. Das bedeutet, seine Oberflächentemperatur liegt auf ca. 3600 °C.



- (a) **Bei welcher Wellenlänge liegt das Maximum der spektralen Intensität im Spektrum des Roten Riesen von Aldebaran?**

Kommentiere das Resultat kurz.

- (b) Auf der Erde beträgt die Strahlungsintensität dieses Roten Riesen  $11.4 \frac{nW}{m^2}$ .

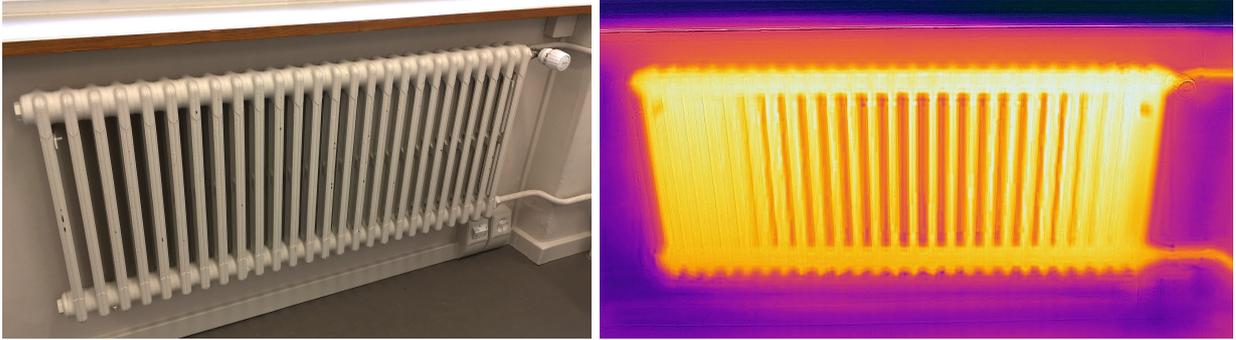
**Gib die Leuchtkraft des Roten Riesen als Vielfaches der Sonnenleuchtkraft an.**

**Angabe:** Die Leuchtkraft der Sonne beträgt  $L_{\odot} = 3.846 \cdot 10^{26}$  W.

- (c) **Berechne unter Verwendung des Resultates aus (b) auch den Radius des Roten Riesen und gib ihn als Vielfaches des Sonnenradius an.**

**Angabe:** Der Radius der Sonne beträgt  $R_{\odot} = 696\,340$  km.

7. Im Physikzimmer



In einer Lektion über Wärmestrahlung werde ich gefragt, weshalb Heizradiatoren (siehe Bild) eigentlich weiss angestrichen sind, wo doch eine weisse Oberfläche schlechter Strahlung abgibt als eine schwarze.

**Gib eine kurze, aber hinreichend differenzierte Antwort auf diese berechnete Frage, wobei du Fachbegriffe verwendest und diese auch kurz erläuterst. (Stichworte erlaubt!)**

8. Ein Lötkolben als IR-Lampe

Ein Lötkolben sei seit längerer Zeit am Strom und an seiner Spitze habe sich eine konstante Temperatur eingestellt. Er beziehe eine elektrische Leistung von 24 W.



- (a) Wir nehmen an, dass der Lötkolben seine Temperatur behält, weil er gleich viel Leistung abstrahlt, wie er elektrisch aufnimmt.

**Welche Temperatur hat der Lötkolben folglich?**

**Angaben:** Die abstrahlende Oberfläche des Lötkolbens habe eine Grösse von etwa  $22 \text{ cm}^2$ . Der Emissionsgrad der Oberfläche betrage 76 %.

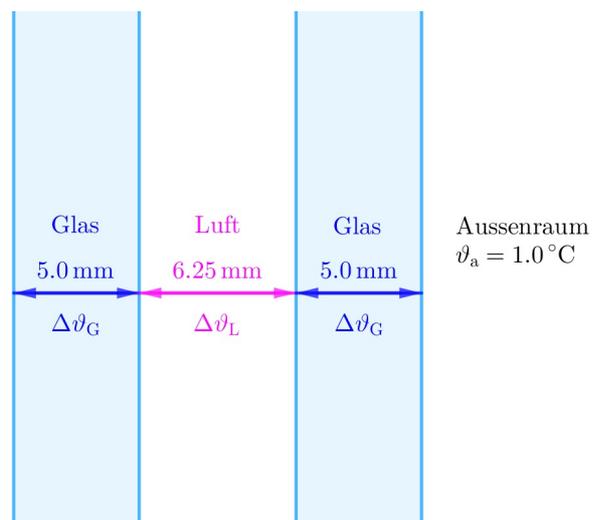
- (b) **Benenne zwei Effekte, aufgrund derer wir die Rechnung unter (a) etwas korrigieren müssten.** Sage bei jedem Effekt, wie er das Resultat unter (a) beeinflussen würde, und erkläre, weshalb die Korrektur eher klein ausfallen dürfte.

9. Doppelverglasung

Ein Fenster mit **Doppelverglasung** besteht aus zwei Glasscheiben, zwischen denen sich ein mit Luft gefüllter Hohlraum befindet. Rechts ein konkretes Beispiel dazu.

- (a) **Berechne den Temperaturunterschied  $\Delta\vartheta_G$  über einer Glasscheibe.**

Innenraum  
 $\vartheta_i = 22^\circ\text{C}$



Wärmeleitfähigkeiten von Glas und Luft:

$$\lambda_G = 0.80 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}} \quad \lambda_L = 0.025 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}}$$

**Tipp:** Die Summe über die drei Temperaturunterschieden  $\Delta\vartheta_G$ ,  $\Delta\vartheta_L$  und nochmals  $\Delta\vartheta_G$  entspricht der Gesamttemperaturdifferenz  $\Delta\vartheta = \vartheta_i - \vartheta_a$ !

- (b) **Fasse mit Fachausdrücken kurz in Worte, worin der "physikalische Trick" der Doppelverglasung besteht. Weshalb isoliert sie viel besser als die Einfachverglasung?**

### 10. Die Trans-Alaska-Pipeline

Die über 1000 km lange **Trans-Alaska-Pipeline** (siehe Bild) führt über weite Strecken durch Permafrostgebiet. Deshalb wurde mehr als die Hälfte der Pipeline oberirdisch mit aufwändig isolierten Stützen konstruiert. Eine Stütze besteht aus einem Rohr mit Aussendurchmesser 46 cm. Die Wanddicke beträgt 2.5 cm. Rechts unten siehst du den Querschnitt einer Stütze. Ihre Höhe beträgt im Schnitt 3.2 m. Das Öl in der Pipeline hat eine Temperatur von rund  $60^\circ\text{C}$ .



Angenommen, die Stützen wären gegenüber Pipeline und Boden nicht isoliert. . .

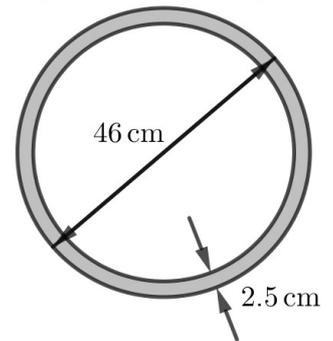
- (a) **Welcher Wärmestrom würde durch eine Stütze auf den gefrorenen Boden ( $0^\circ\text{C}$ ) übertragen?**

**Hinweis:**  $\lambda_{\text{Stahl}} = 65 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot^\circ\text{C}}$ .

**Hilfsfrage:** Wie berechnet sich die Querschnittsfläche, die dem Wärmestrom durch die Wand der Stütze zur Verfügung steht?  
⇒ Überlege dir die Antwort anhand der Skizze rechts.

- (b) **Wie gross wäre die Wärmestromdichte in den Wänden der Stütze? Gib die Antwort in  $\frac{\text{W}}{\text{cm}^2}$ .**

Stützenquerschnitt  
(hohles Stahlrohr)



### 11. Ein Gedankenexperiment im Weltraum

Eine Raumfähre habe ein schwarz eingefärbtes, flaches, quadratisches Blech mit einer Fläche von  $2.5 \text{ m}^2$  in eine Umlaufbahn um die Erde gebracht. Es sei stets so ausgerichtet, dass die eine Seite direkt gegen die Sonne zeigt.

- (a) **Berechne die Celsius-Temperatur, die sich bei diesem Blech aufgrund der Sonnenstrahlung einstellt.**

**Hinweis:** Zu Berechnung wird die Solarkonstante benötigt. Falls du selber über keinen genaueren Wert verfügst, so verwende dafür  $S = 1350 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$ .

**Tipp:** Hat sich die Temperatur auf einen fixen Wert eingestellt, so herrscht ein Gleichgewicht zwischen emittierter und absorbierter Strahlung. . .

- (b) Die unter (a) errechnete Temperatur ist nicht gerade günstig, wenn man bedenkt, dass dann ja wohl auch Objekte wie Raumkapseln, in denen sich Menschen befinden, solche Temperaturen annehmen.

**Schlage eine sinnvolle und technisch machbare Massnahme vor, die für akzeptable Temperaturen an resp. in einer Raumkapsel sorgen könnten.**