

## Serie 1

### 1. Dicker Pulli - bald kommt der Winter

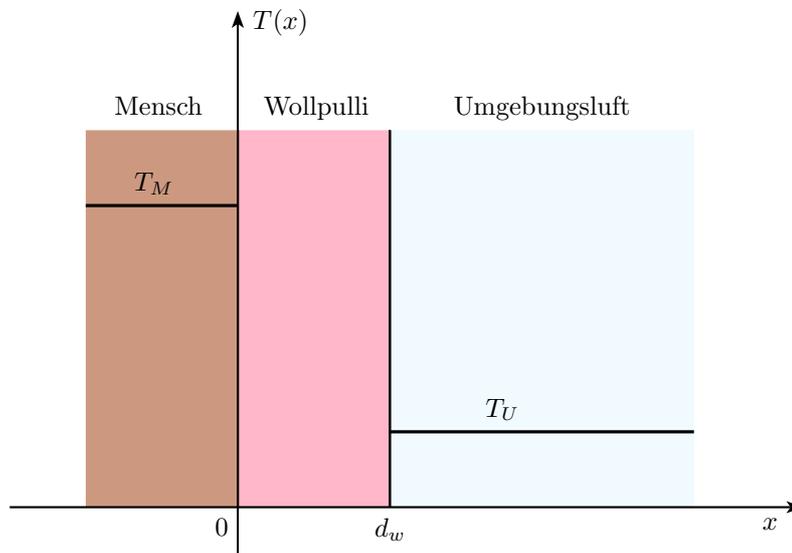
Um eine Körpertemperatur von  $T_M = 37^\circ\text{C}$  auch bei kühlerem Wetter halten zu können, muss der Mensch sich isolierende Kleidung anziehen. Wir untersuchen, wie viele Wollpullis ein Mensch braucht, um bei winterlichen Umgebungstemperaturen nicht frieren zu müssen. Der Wärmefluss durch die Kleidung lässt sich durch folgendes Gesetz beschreiben:

$$F = -\gamma \frac{dT}{dx}$$

mit einem materialabhängigen Wärmeleitkoeffizienten  $\gamma$  in  $[\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}]$ .

- a) Skizzieren Sie in der untenstehenden Figur den Verlauf der Temperatur zwischen Mensch und Umwelt bei einer Umgebungstemperatur von  $T_U < T_M$ . Sowohl Mensch als auch Umwelt seien vollständig durchmischt, und das System sei im Gleichgewicht.

*Hinweis:* Überlegen Sie, warum der Wärmefluss in jedem Punkt  $x$  der Kleidung gleich gross sein muss.

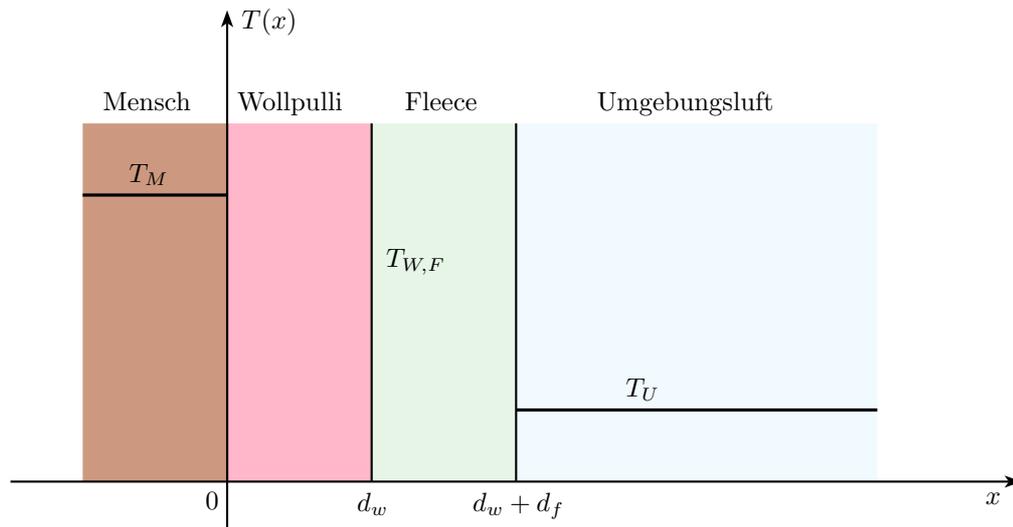


- b) Berechnen Sie den Wärmefluss  $F$  pro Fläche durch den Pulli. Wärmeleitkoeffizient von Wolle:  $\gamma_w = 0.04 \text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$ , Dicke des Pullis:  $d_w = 1 \text{cm}$  (Norwegerpulli), Aussen-temperatur  $T_U = -3^\circ\text{C}$ .

**Bitte wenden!**

- c) Ein Mensch gibt in Ruhe etwa  $90 \text{ W m}^{-2}$  an Wärme über die Haut ab. Wird der Hautoberfläche mehr Wärme entzogen als abgegeben wird, so friert der Mensch. Welche Dicke  $d_f$  müsste eine über den Wollpulli gezogene Fleecejacke haben, damit der Mensch nicht bei  $-3^\circ\text{C}$  im Freien friert (siehe Skizze unten)? Rechnen Sie mit einem Wärmeleitfähigkeitskoeffizienten von Polyester  $\gamma_f = 0.2 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ .

*Hinweis:* Bestimmen Sie zunächst aus dem Wärmefluss durch den Wollpulli die Temperatur  $T_{W,F}$  an der Grenzfläche zwischen Pulli und Fleece. Runden Sie diesen Wert auf die nächste ganze Zahl, um runde Zahlen zu erhalten. Skizzieren Sie in der untenstehenden Figur wiederum den Verlauf der Temperatur zwischen Mensch und Umwelt.



## 2. Scuba Diving

Eine der grossen Herausforderungen beim Tauchen ist, dass der Partialdruck von Sauerstoff im Gasgemisch, das man einatmet, weder zu hoch noch zu tief sein darf. Fällt er unter  $0.16 \text{ bar}$  ( $16 \text{ kPa}$ , absolut), dann läuft man Gefahr zu ersticken. Wenn der Druck zu hoch ist, wird der Sauerstoff mit der Zeit toxisch, was Krämpfe verursacht. Die NOAA Tauchvorschrift gibt ein Maximum von  $1.6 \text{ bar}$  vor (bei  $45 \text{ Minuten}$ ). Eine zweite Herausforderung ist der Tiefenrausch, der verursacht wird, wenn narkotische Gase, wie z.B. molekularer Stickstoff ( $\text{N}_2$ ), bei zu hohem Druck eingeatmet werden. Als Grenzwert gilt ein  $\text{N}_2$  Partialdruck von  $4.5 \text{ bar}$ .

*Zusatzinformationen:* Vereinfacht ausgedrückt, besteht Luft aus  $78\%$  Stickstoff,  $21\%$  Sauerstoff, und  $1\%$  anderer Gase. Der Partialdruck  $p_i$  eines bestimmten Gases  $i$  im Gasgemisch ist gleich dem Gesamtdruck  $p$  des Gasgemischs multipliziert mit dem Anteil  $x$  des Gases  $i$ , also  $p_i = px$ . So hat z.B. der Sauerstoff in der Luft den Partialdruck  $p^{\text{O}_2} = 0.21p$ . Der Gesamtdruck wird durch das Ventil am Druckregulator so eingestellt, dass es demjenigen Druck entspricht, welcher der Körper von aussen in einer bestimmten Tiefe erfährt. An der Oberfläche gehen wir von einem Druck von  $1 \text{ atm}$  ( $\approx 1 \text{ bar}$ ) aus. Unter der Wasseroberfläche nimmt der Druck mit  $1 \text{ atm}$  pro  $10 \text{ m}$  zu. Der Henry-Koeffizient für Stickstoff ist  $1639 \text{ l bar mol}^{-1}$  und für Sauerstoff ist er  $769 \text{ l bar mol}^{-1}$ . Der Henry-Koeffizient ist hier das Verhältnis zwischen dem Partialdruck des Gases in der Atemluft und der Konzentration des Gases im Blut.

- a) Was ist die maximal sichere Tiefe, in der komprimierte Luft mit der normalen Zusammensetzung ohne Risiko eingeatmet werden kann? *Hinweis:* Da der Gesamtdruck die Summe

**Siehe nächstes Blatt!**

der Partialdrücke ist und das Mischungsverhältnis konstant bleibt, steigen die Partialdrücke mit zunehmender Tiefe ebenfalls linear an.

- b) Was ist die maximale sichere Tiefe, in der 30-prozentiger Sauerstoff eingeatmet werden kann? (Annahme: Ein Teil des Stickstoffs wurde durch Sauerstoff ersetzt, um die gewünschte Prozentzahl zu erreichen?)
- c) Trimix ist ein spezielles Gasgemisch, mit dem man in tieferen Tiefen tauchen kann. Es enthält 10% Sauerstoff, 70% Helium und 20% Stickstoff. Wie tief kann man mit Trimix im Tank tauchen?
- d) Wie gross ist die Konzentration von Sauerstoff/Stickstoff im Blut eines Tauchers (i) an der Oberfläche und (ii) in 66 m (Sauerstoff), respektive 48 m (Stickstoff) Tiefe, wenn der Taucher komprimierte Luft wie in Aufgabe (a) einatmet?

### 3. Online-Abgabe

1. Durch Blutdurchfluss mit Durchflussrate  $k_{BL}$  gelangt ein Medikament  $M$  mit der Konzentration  $C_{in,M}$  in ein Organ  $O$ . Dort reagiert  $M$  mit der Rate  $k_{MB}$  zum Stoff  $B$ . Letzterer wird mit der Rate  $k_B$  in  $O$  abgebaut.

Angenommen, die Konzentrationen  $C_M$  und  $C_B$  von  $M$  und  $B$  seien durch folgendes System beschrieben:

$$\begin{cases} C'_M &= k_{BL}C_{in,M} - (k_{MB} + k_{BL})C_M \\ C'_B &= k_{MB}C_M - (k_B + k_{BL})C_B \end{cases}$$

und die Werte sind

- $C_{in,M} = 1000 \frac{mg}{m^3}$
- $k_{BL} = 0.1 \frac{1}{min}$
- $k_B = 0.7 \frac{1}{min}$
- $k_{MB} = 0.4 \frac{1}{min}$

Welche stationären Konzentrationen  $C_M^\infty$  und  $C_B^\infty$  werden sich im Laufe der Zeit einstellen?

- (a)  $C_M^\infty = 100 \frac{mg}{m^3}$
- (b)  $C_M^\infty = 200 \frac{mg}{m^3}$
- (c)  $C_B^\infty = 100 \frac{mg}{m^3}$
- (d)  $C_B^\infty = 200 \frac{mg}{m^3}$
- (e) Es gibt keine stationäre Konzentrationen.

**Abgabe der schriftlichen Aufgaben:** Montag, den 03. Oktober 2016 in der Vorlesung oder bis 12.00 Uhr im Vorraum vom HG G 53.2.