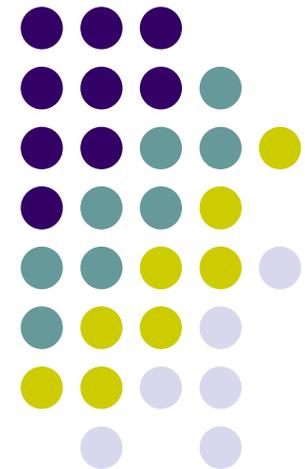


# Biophysik für Pharmazeuten II

11.04.2023

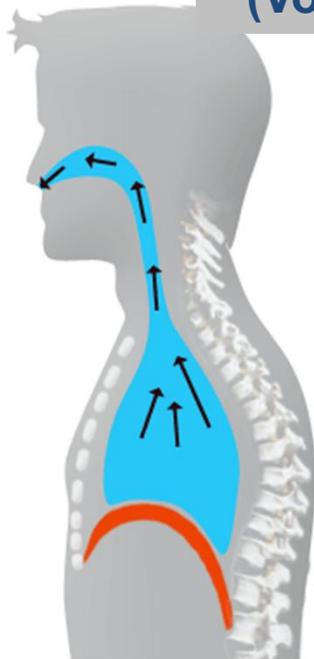
## Transportprozesse 4

Wärmeleitung  
Verallgemeinerung

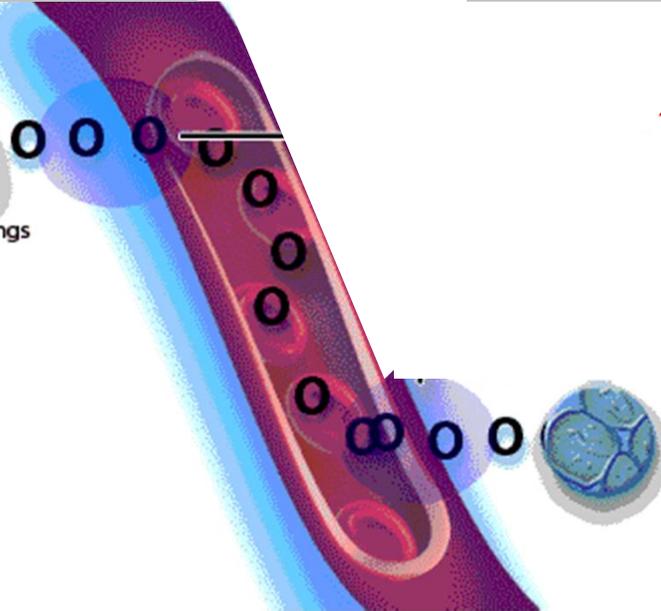


# Transportprozesse

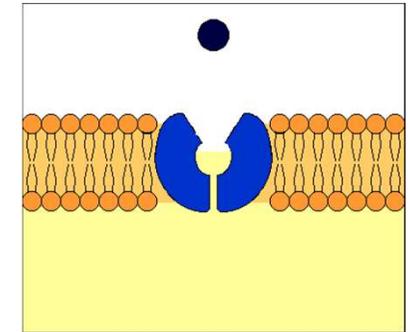
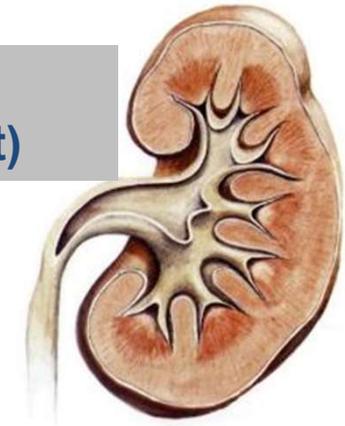
**Strömung  
(Volumentransport)**



entspannt



**Diffusion  
(Stofftransport)**



**III. Elektrischer Strom  
(el. Ladungstransport)**



**IV. Wärmeleitung  
(Energietransport)**



**V. Verallgemeinerung**

# IV. Wärmeleitung (Energietransport)



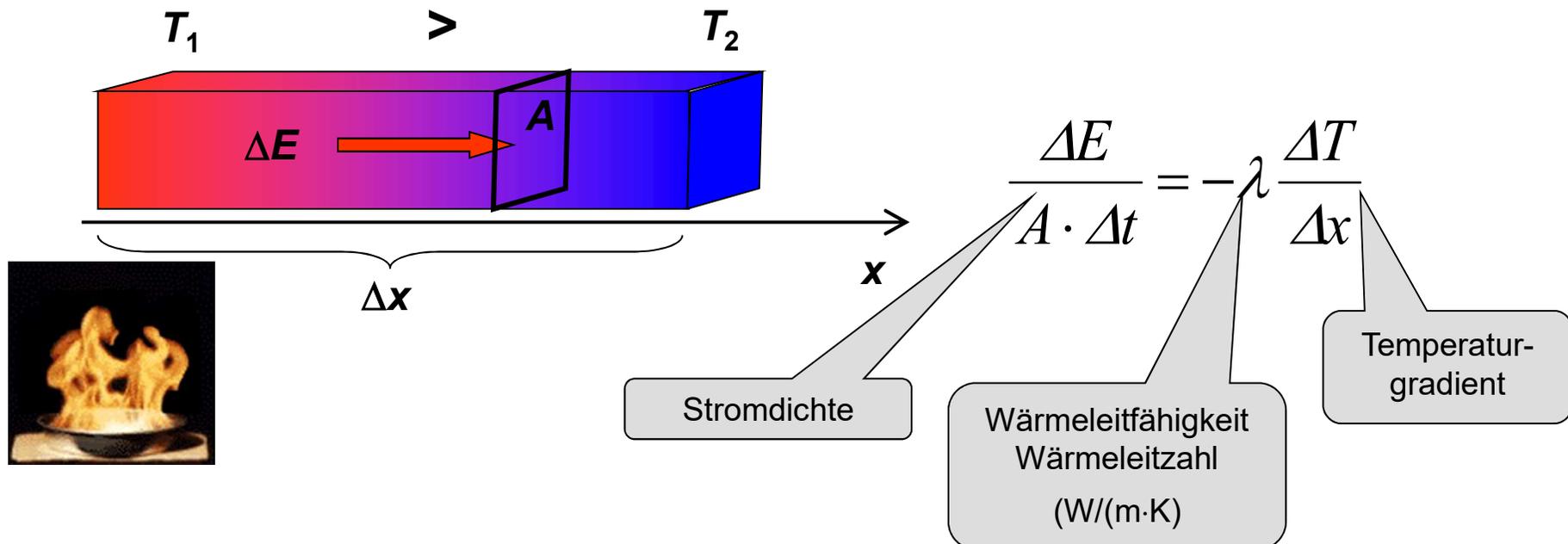
J. B. J. Fourier  
1768-1830  
Mathematiker  
und Physiker

**0. Mechanismus:** Stöße zw. Atomen und Molekülen + freie Elektronen = **Konduktion**

## 1. Grundbegriffe

- Energiestromstärke ( $I$ ):  
(Wärmestromstärke)  $I = \frac{\Delta E}{\Delta t} \quad \left( \frac{\text{J}}{\text{s}} = \text{W} \right)$
- Energiestromdichte ( $J$ ):  
(Wärmestromdichte)  $J = \frac{\Delta E}{A \cdot \Delta t} \quad \left( \frac{\text{J}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} = \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right)$

## 2. Transportgesetz = Fourier-Gesetz

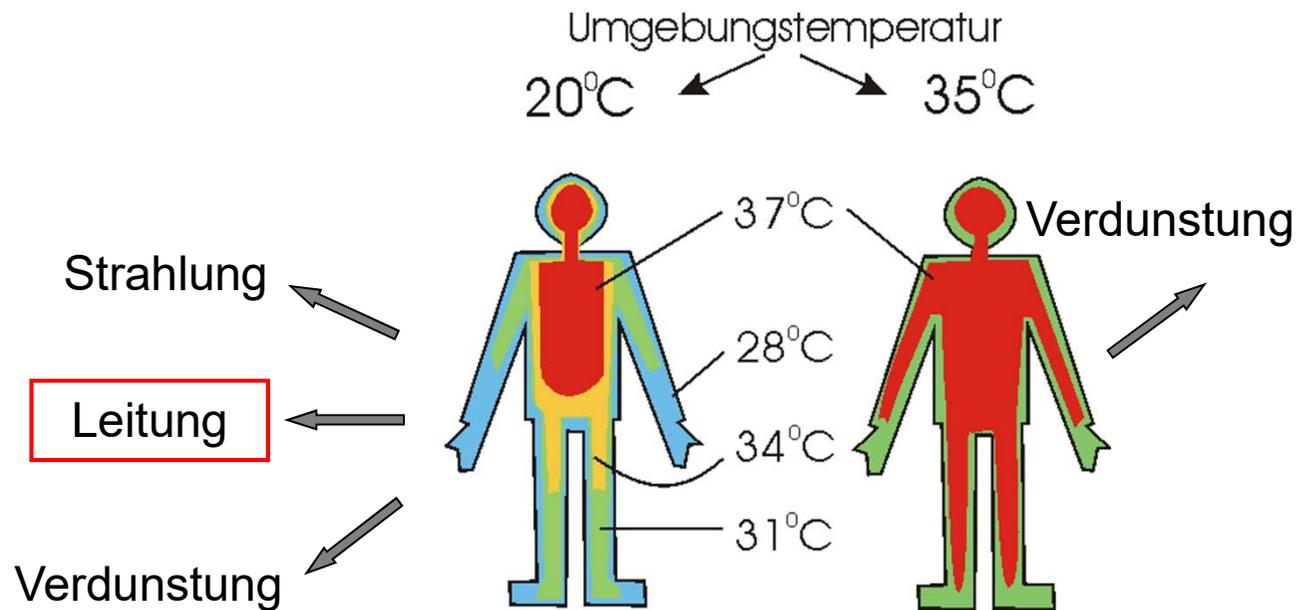


- Wärmeleitfähigkeit: ➤ stoffspezifisch

Stoff	$\lambda$ (W/(m·K))
Silber	420
Glas	1
Wasser	0,6
Muskel	0,4
Fett	0,2
Luft	0,025

### 3. Anwendung: **Wärmebildung und -abgabe**

Aktivität	Wärmebildung (W)
In Ruhe	115
Langsames Spazieren	260
Radfahren (15 km/h)	420
Treppensteigen (2/s)	700
Laufen (15 km/h)	1150



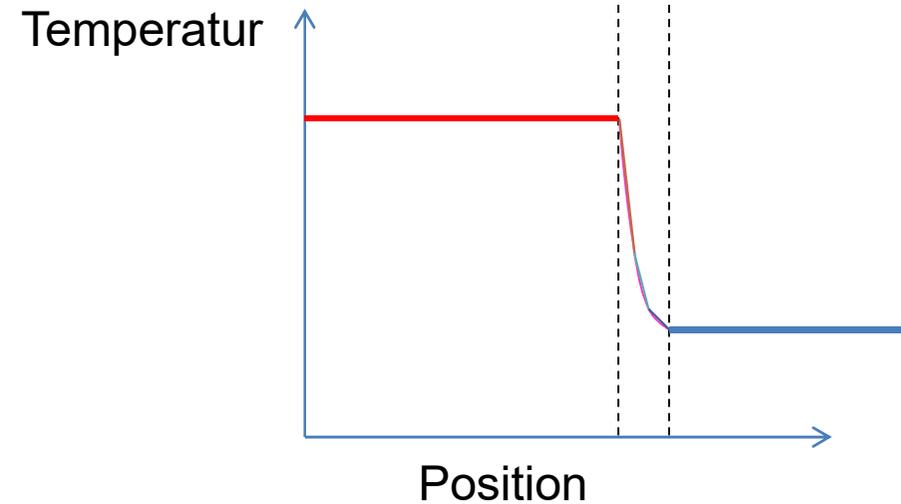
## ■ Wärmeleitung

Die durch Wärmeleitung abgegebene Energie

$$P = -\lambda A \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

$$\begin{aligned} T_{\text{Körper}} &= 28^\circ\text{C} \\ T_{\text{Umgebung}} &= 20^\circ\text{C} \end{aligned} \quad \Rightarrow \quad P \approx 40 \text{ W}$$

- Luft ↔ Wasser als Umgebung
- Strömungen! (z. B. Wind)



# Analogie => Verallgemeinerung der Transportgesetze

	Was „strömt“?	Stärke?	Was treibt die „Strömung“?	Zusammenhang?
<b>Volumen-transport</b>	$V$	$J_V = \frac{\Delta V}{A \cdot \Delta t}$	$p$	$J_V = -\frac{R^2}{8\eta} \frac{\Delta p}{\Delta l}$
<b>Stoff-transport</b>	$v$	$J_v = \frac{\Delta v}{A \cdot \Delta t}$	$c^*$	$J_v = -D \frac{\Delta c}{\Delta x}$
<b>Ladungs-transport</b>	$q$	$J_q = \frac{\Delta q}{A \cdot \Delta t}$	$\varphi$	$J_q = -\sigma \frac{\Delta \varphi}{\Delta l}$
<b>Energie-transport</b>	$E$	$J_E = \frac{\Delta E}{A \cdot \Delta t}$	$T$	$J_E = -\lambda \frac{\Delta T}{\Delta x}$
<b>allgemein</b>	$x_{\text{ext}}$	$J = \frac{\Delta x_{\text{ext}}}{A \cdot \Delta t}$	$y_{\text{int}}$	$X = -\frac{\Delta y_{\text{int}}}{\Delta x}$
	<b>extensive Gr.</b>	<b>Strom-dichte</b>	<b>intensive Gr.</b>	<b>thermo-dynamische Kraft</b>
				<b><math>J = LX</math></b>
				<b>onsagersche Beziehung</b>

\* Im allgemeinen Fall  $\mu$

**Extensive Größe:**

- additiv
- Im Gleichgewicht proportional zur Ausbreitung des Systems
- In Transportprozessen: die transportierte Größe

**Intensive Größe:**

- nicht-additiv
- Im Gleichgewicht überall gleich in dem System
- In Transportprozessen: die sich ausgleichende Größe

**Gleichgewicht:** es gibt keine Transportprozesse.

**0. Hauptsatz der Thermodynamik:** Gleichgewicht  $\Leftrightarrow$  homogene Verteilung der intensiven Größen

inhomogene Verteilung der intensiven Größen  $\Rightarrow$  **Transportprozesse**

**Stärke und Richtung des Transportprozesses:**

$$J = LX$$

Onsagersche Beziehung



Richtung: homogene Verteilung

**2. Hauptsatz der Thermodynamik**

**Irreversibilität**