
Wärme- und Stoffübertragung I

Einführung in das Thema Wärmeleitung

Prof. Dr.-Ing. Reinhold Kneer
Dr.-Ing. Dr. rer. pol. Wilko Rohlfs

- Einführung in die Wärmeleitung

- Stationäre und instationäre Wärmeleitung
- Wärmeleitung mit Wärmequelle und Senke

- Fouriersches Gesetz

- Berechnung des Wärmeflusses innerhalb eines Objektes
- Temperaturverteilung innerhalb eines Objektes



[1]

[1] Quelle: Joseph Fourier

Definition

Wärme

Thermische Energie:

- ⇒ Kinetische Energie zufälliger und ungerichteter Molekularbewegungen
- ⇒ Je höher die thermische Energie, desto höher die Molekularbewegung

Wärmestrom: Übertragene Energie zwischen zwei Systemen aufgrund verschiedener Temperaturen

Temperatur

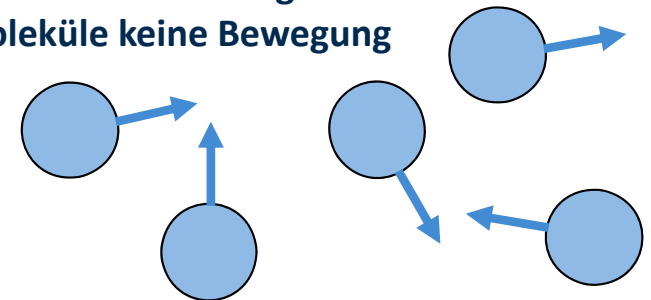
- Ein technisches Maß für das Potential der thermischer Energie in einem Körper

Wärmeleitung

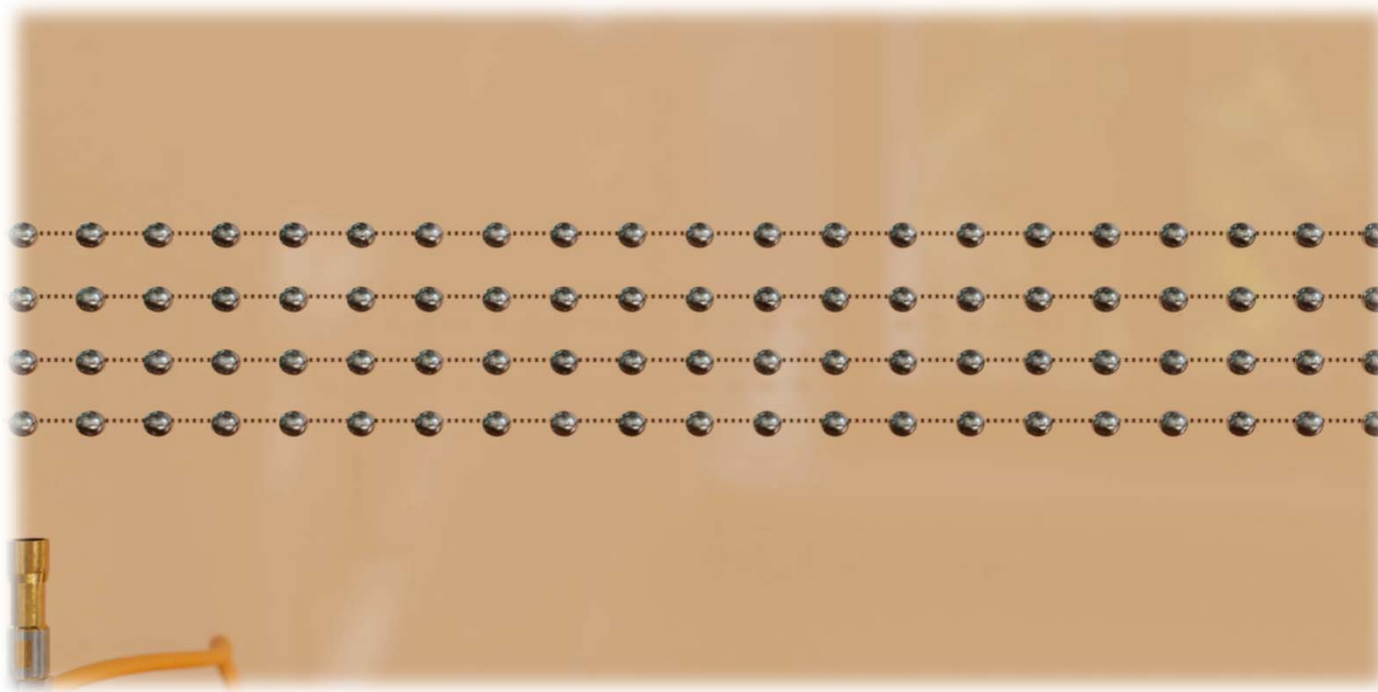
Übertragung von thermischer Energie innerhalb eines Materials infolge eines Temperaturunterschiedes durch:

- Molekülkollisionen für Gas/Flüssigkeitsformen
- Gitterschwingungen für Festkörper
- Leitungselektronen für Metalle

Ohne thermische Energie haben
Moleküle keine Bewegung



Wärmeleitung in Feststoffen durch Schwingung der Atome

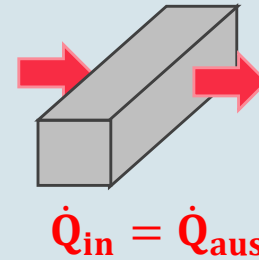


<https://www.tec-science.com/de/thermodynamik-waermelehre/waerme/waermeleitung-in-feststoffen/>

Wärmeleitung

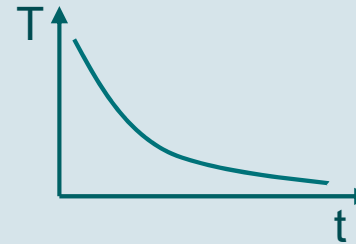
- **Stationäre Wärmeleitung** → **Zeitunabhängig**

Zeitlich konstante Temperaturverteilung innerhalb des Objekts

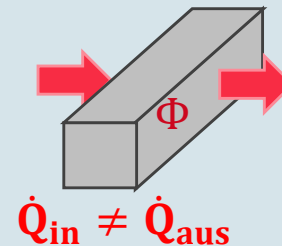


- **Instationäre Wärmeleitung** → **Zeitabhängig**

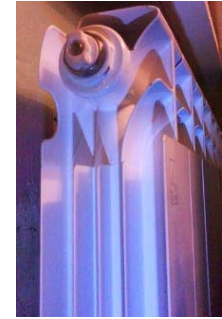
Zeitliche Temperaturänderung an jedem festen Ort im Körper



- **Wärmeleitung mit Quelle oder Senke**



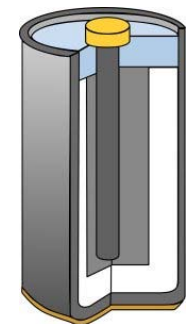
Heizung



Kaffee-Abkühlung



Batteriezellen



Fouriersches Gesetz: Wärmestrom im Metallstab

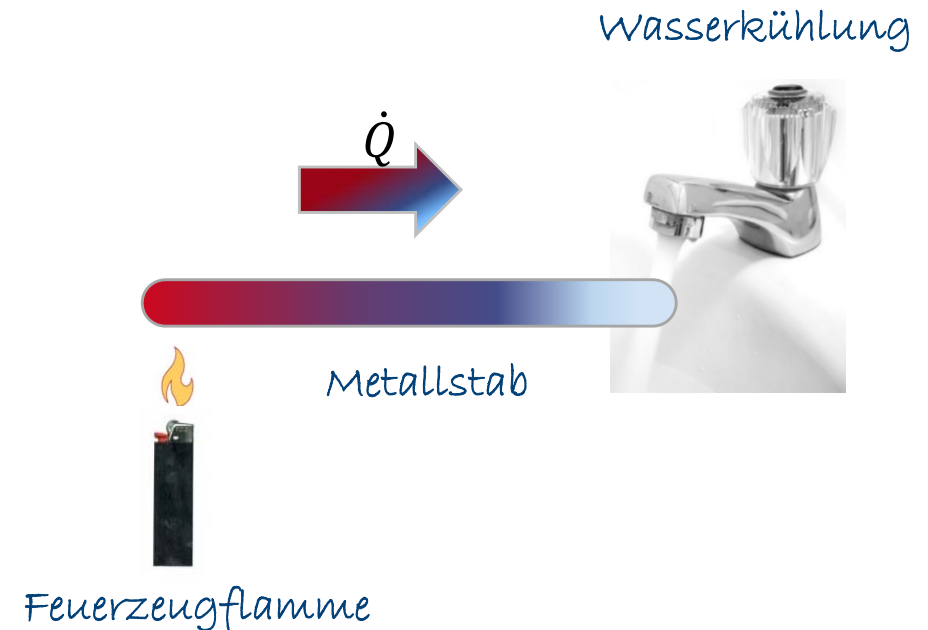
Welche Wärmemenge fließt durch den Metallstab von der heißen Flamme zur kalten Seite?

Wie ändert sich die Temperatur im Metallstab zwischen der heißen und der kalten Seite?

Analogie: Strom \Leftrightarrow Wärmestrom

$$\text{Strom} = \frac{\text{Potentialdifferenz}}{\text{Widerstand}}$$

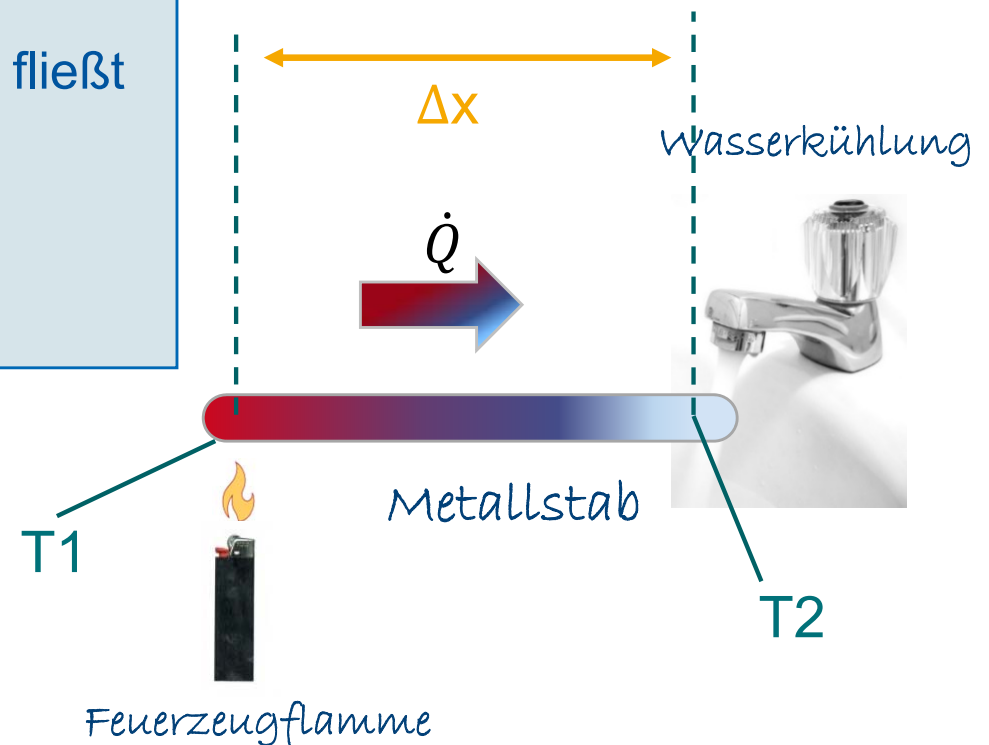
$$\text{Wärmestrom} = \frac{\text{Temperaturdifferenz}}{\text{Wärmewiderstand}}$$



Fouriersches Gesetz: Wärmestrom im Metallstab

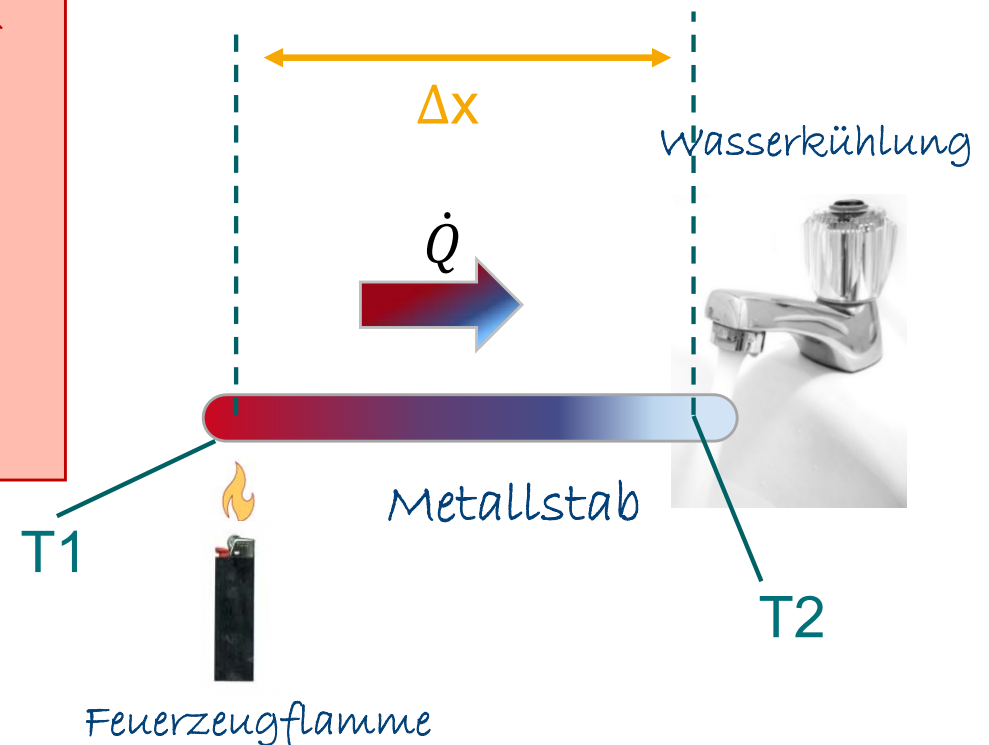
Einflussparameter auf den Wärmestrom:

- Temperaturdifferenz ΔT [K]
- Materialeigenschaft (Wärmeleitfähigkeit λ [W/mK])
- Querschnittsfläche, durch die der Wärmestrom fließt (Fläche A [m²])
- Der Abstand zwischen Wärmequelle und Wärmesenke Δx [m]



Fouriersches Gesetz: Wärmestrom im Metallstab

Wie wird der Wärmestrom beeinflusst?	\dot{Q}
Temperaturdifferenz ΔT [K] \uparrow	\uparrow
Materialeigenschaft (Wärmeleitfähigkeit λ [W/mK]) \uparrow	\uparrow
Querschnittsfläche, durch die der Wärmestrom fließt (Fläche A [m ²]) \uparrow	\uparrow
Der Abstand zwischen Wärmequelle und Wärmesenke Δx [m] \uparrow	\downarrow



Fouriersches Gesetz: Wärmestrom im Metallstab

Wie wird der Wärmestrom beeinflusst?

Temperaturdifferenz ΔT [K] \uparrow

Materialeigenschaft
(Wärmeleitfähigkeit λ [W/mK]) \uparrow

Querschnittsfläche, durch die der
Wärmestrom fließt (Fläche A [m²]) \uparrow

Der Abstand zwischen Wärmequelle und
Wärmesenke Δx [m] \uparrow

\dot{Q}

\uparrow

\uparrow

\uparrow

\downarrow

\dot{Q}_x : Wärmestrom in 1-D [W]

$\frac{\Delta T}{\Delta x}$: Temperaturgradient [K/m]

$\dot{Q}_x =$

Δx

Wasserkühlung

\dot{Q}

T1

Metallstab

T2

Feuerzeugflamme

Fouriersches Gesetz: Wärmestrom im Metallstab

Wie wird der Wärmestrom beeinflusst?

Temperaturdifferenz ΔT [K]	↑
Materialeigenschaft (Wärmeleitfähigkeit λ [W/mK])	↑
Querschnittsfläche, durch die der Wärmestrom fließt (Fläche A [m ²])	↑
Der Abstand zwischen Wärmequelle und Wärmesenke Δx [m]	↑

\dot{Q}

↑

↑

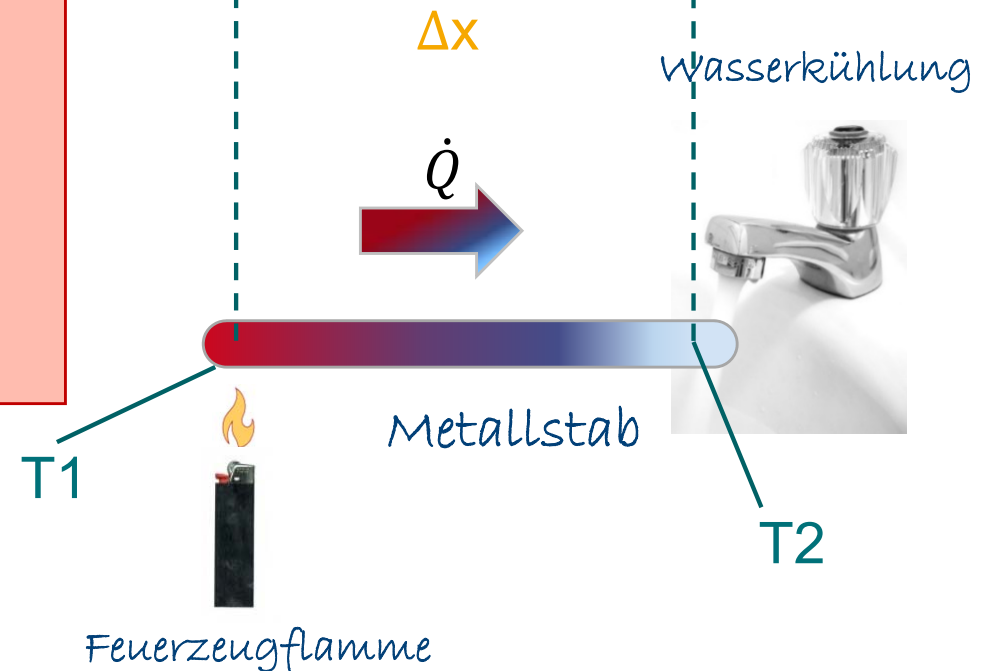
↑

↓

\dot{Q}_x : Wärmestrom in 1-D [W]

$\frac{\Delta T}{\Delta x}$: Temperaturgradient [K/m]

$$\dot{Q}_x = -A \lambda \frac{\Delta T}{\Delta x}$$



Fouriersches Gesetz: Wärmestrom im Metallstab

Fouriersches Gesetz :

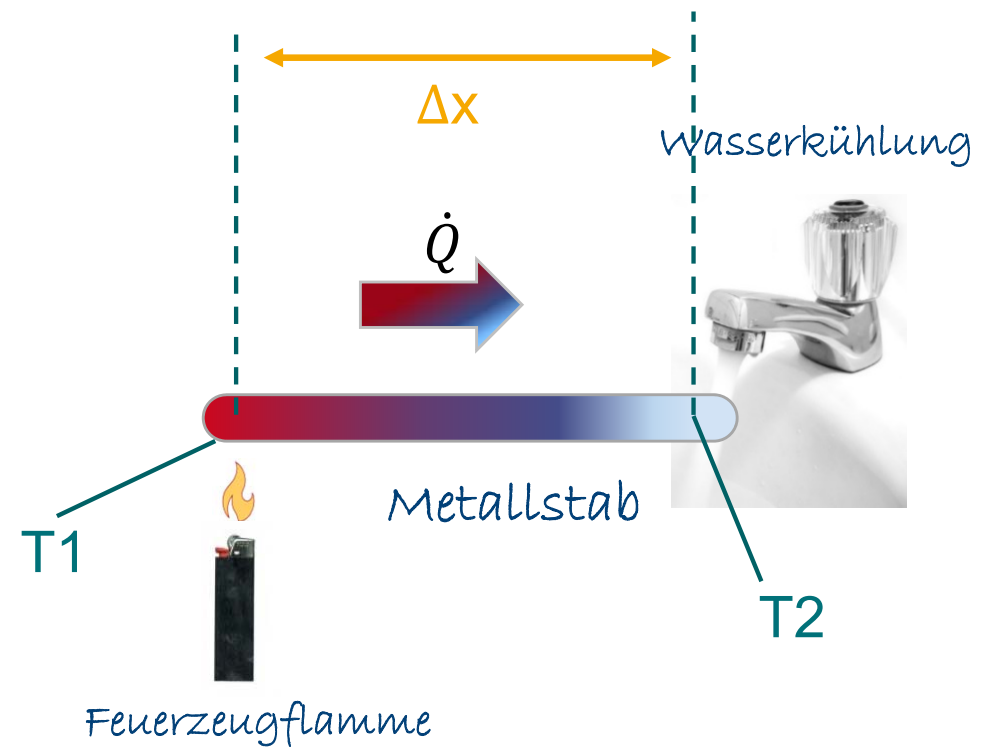
$$\dot{Q}_x = -A \lambda \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

\dot{Q}_x : Wärmestrom in 1-D [W]

A : Fläche [m²]

λ : Wärmeleitfähigkeit [W/mk]

$\frac{\Delta T}{\Delta x}$: Temperaturgradient [K/m]



Fouriersches Gesetz: Wärmestrom im Metallstab

Fouriersches Gesetz :

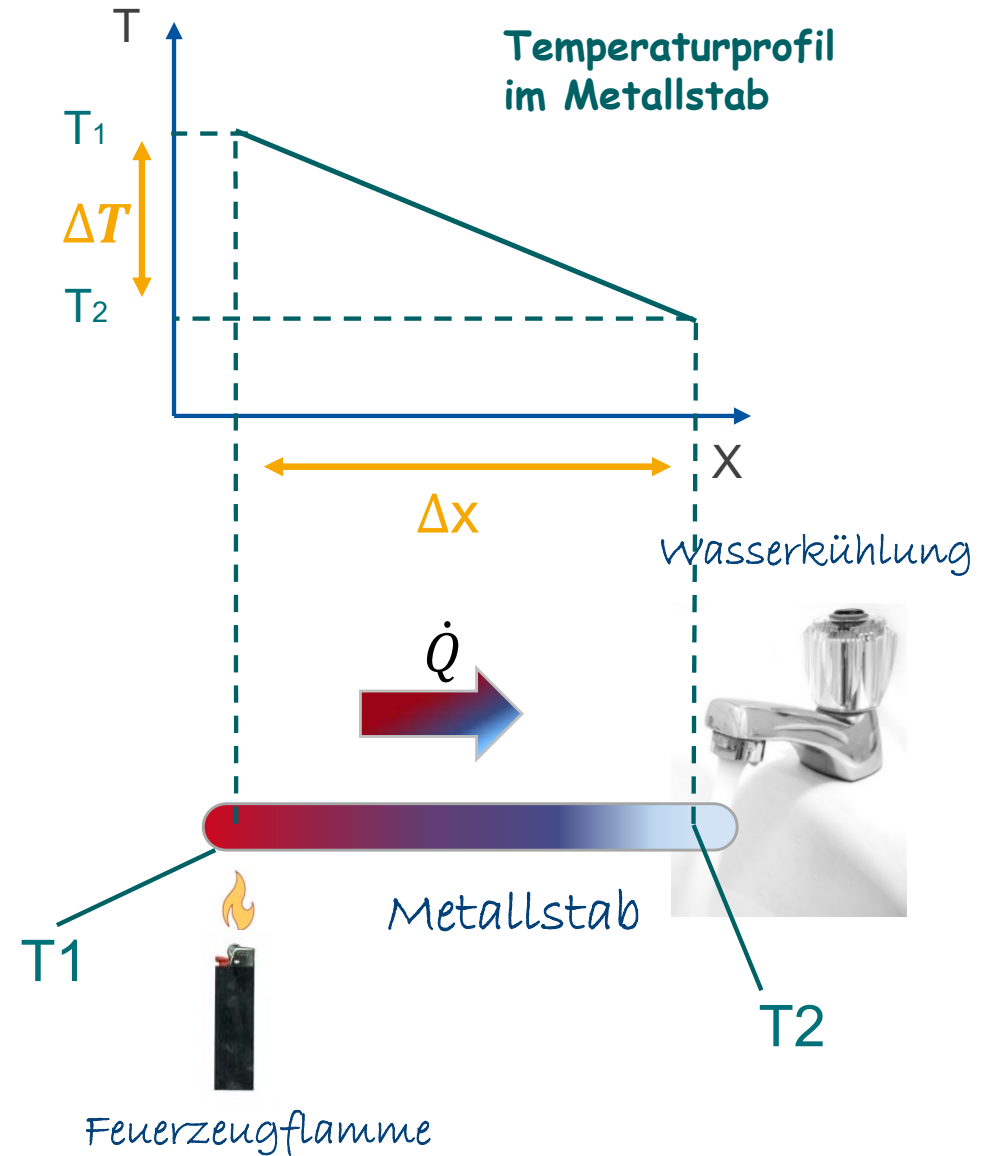
$$\dot{Q}_x = -A \lambda \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

\dot{Q}_x : Wärmestrom in 1-D [W]

A : Fläche [m²]

λ : Wärmeleitfähigkeit [W/mk]

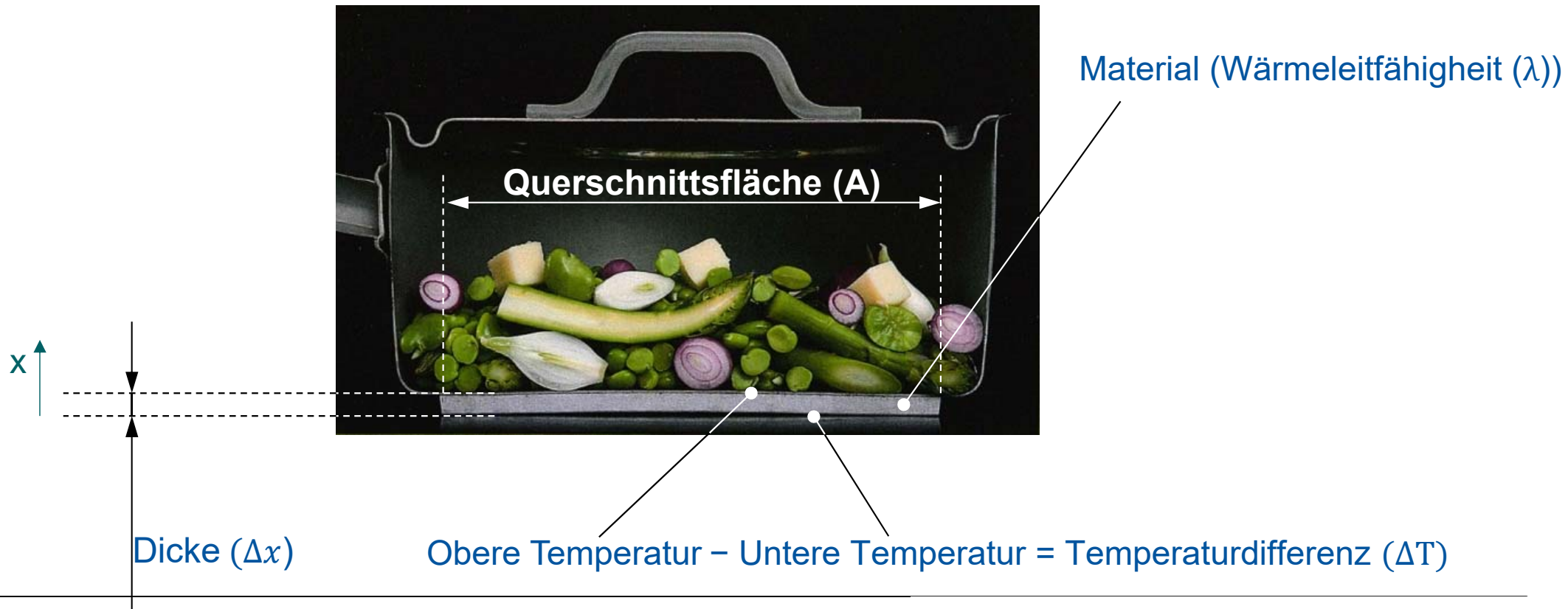
$\frac{\Delta T}{\Delta x}$: Temperaturgradient [K/m]



Beispiel: Wärmeleitung beim Kochen

Wärmestrom = Fläche · Wärmeleitfähigkeit · Temperaturgradient

$$\dot{Q}_x = -A \lambda \frac{\Delta T}{\Delta x}$$



Die perfekte Pfanne zum Kochen

s. Anhang im Skript

Materialeigenschaften

Kupfer

Sehr hohe Wärmeleitfähigkeit

$$\lambda_{Cu} = 350 \frac{W}{m \cdot K}$$

Aluminium

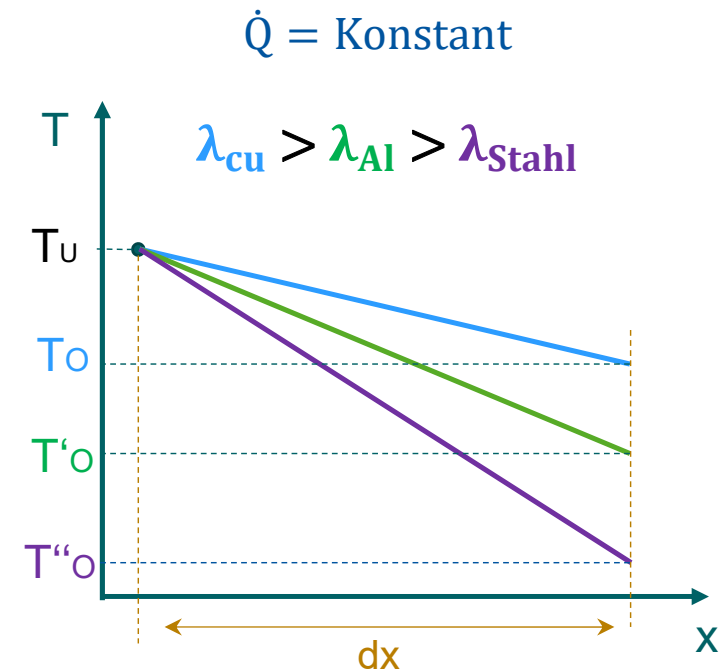
Gute Wärmeleitfähigkeit

$$\lambda_{Al} = 236 \frac{W}{m \cdot K}$$

Edelstahl

Geringe Wärmeleitfähigkeit

$$\lambda_{Stahl} \approx 15 \frac{W}{m \cdot K}$$



Instationäre Prozesse: Wann sollte ich die Milch in den Kaffee geben?

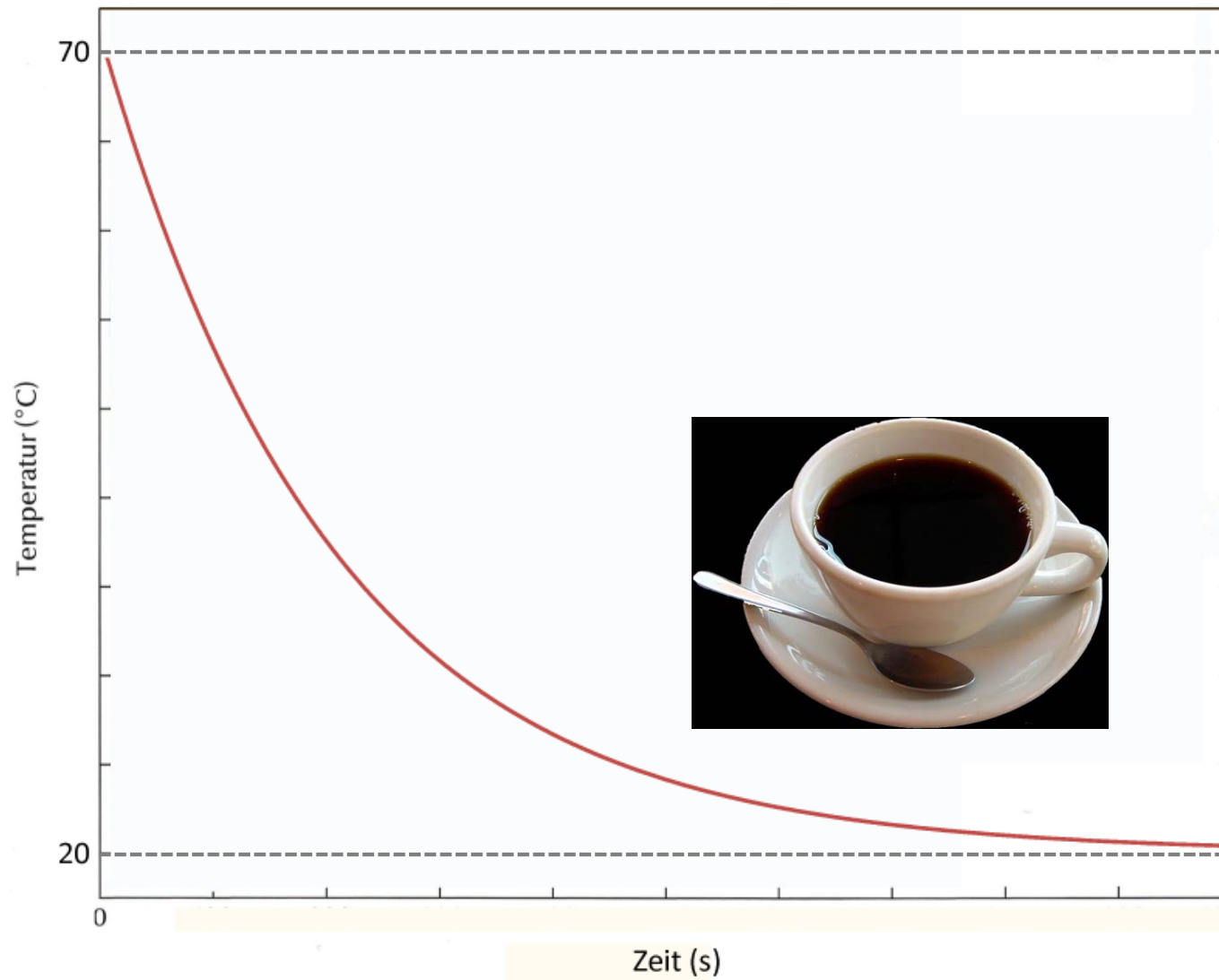
Milch vor dem Trinken hinzufügen?



Milch sofort nach dem Kochen hinzufügen?



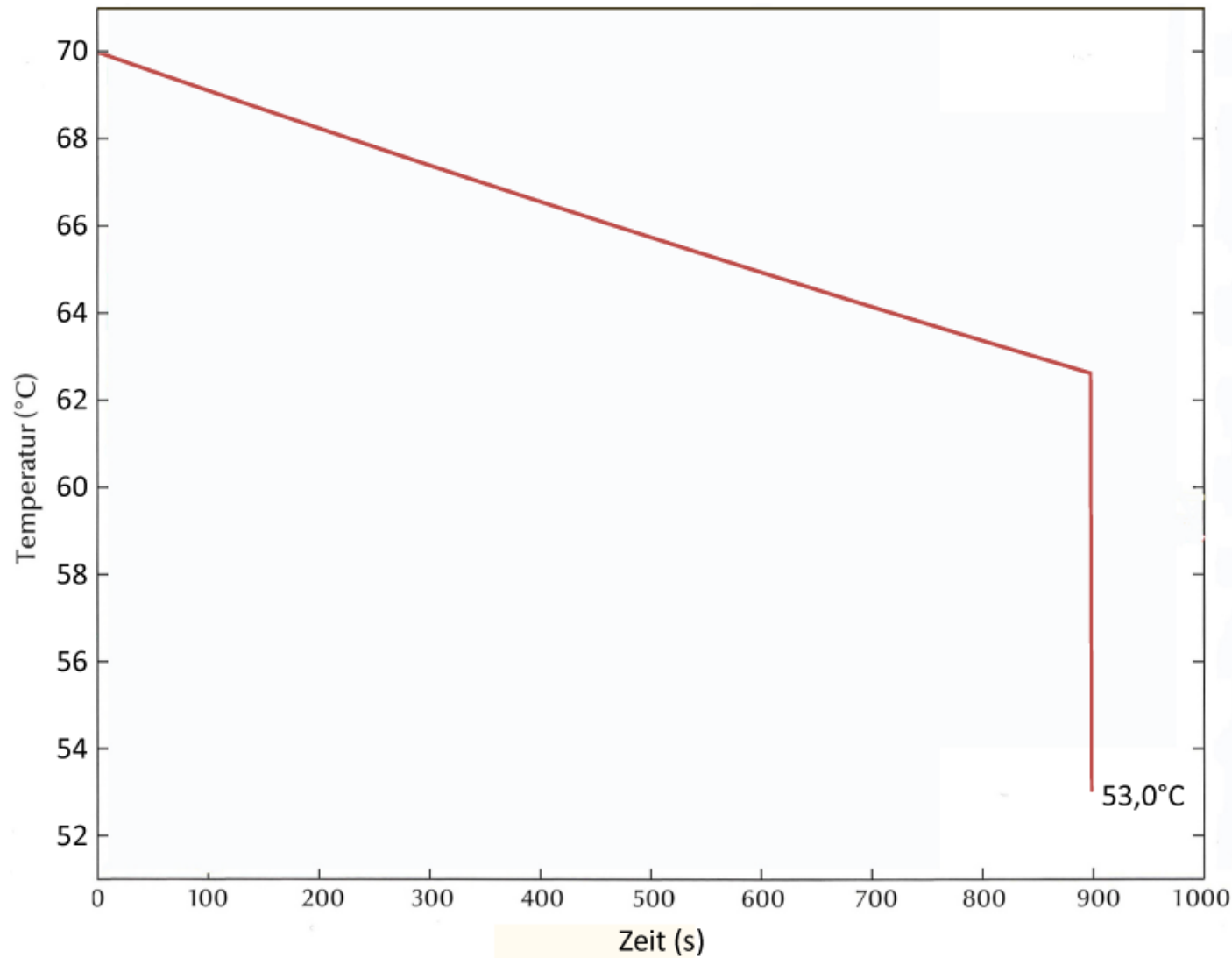
Instationäre Prozesse: Milch wann hinzufügen ?



Heißer Kaffee (70°C)

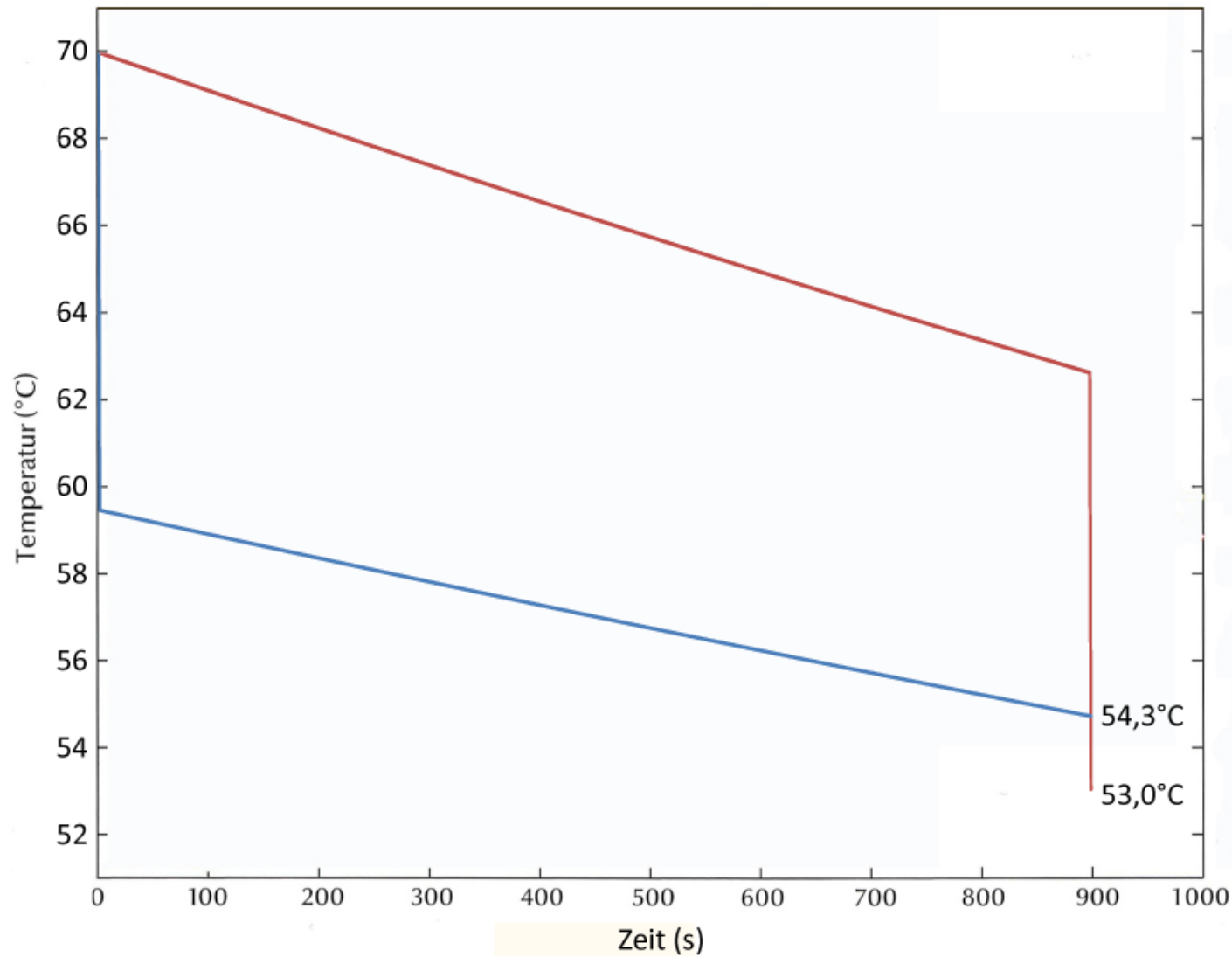
Umgebung (20°C)

Instationäre Prozesse: Milch wann hinzufügen ?



$T = 53^{\circ}\text{C}$

Instationäre Prozesse: Die Milch vor dem Trinken hinzufügen



$T = 54^{\circ}\text{C}$



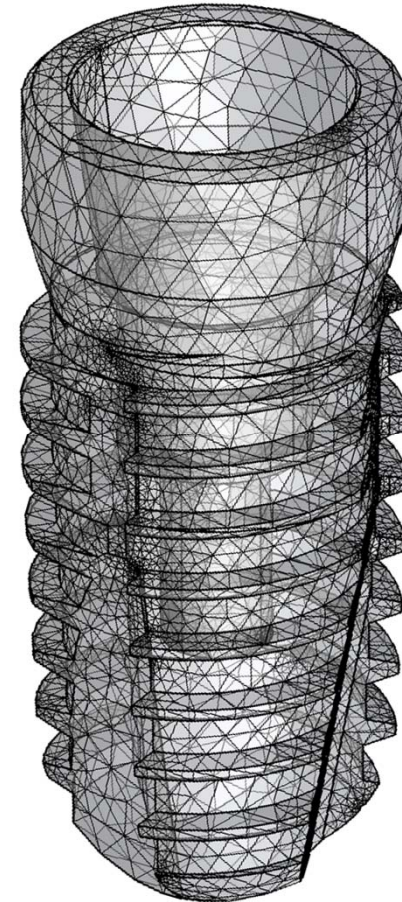
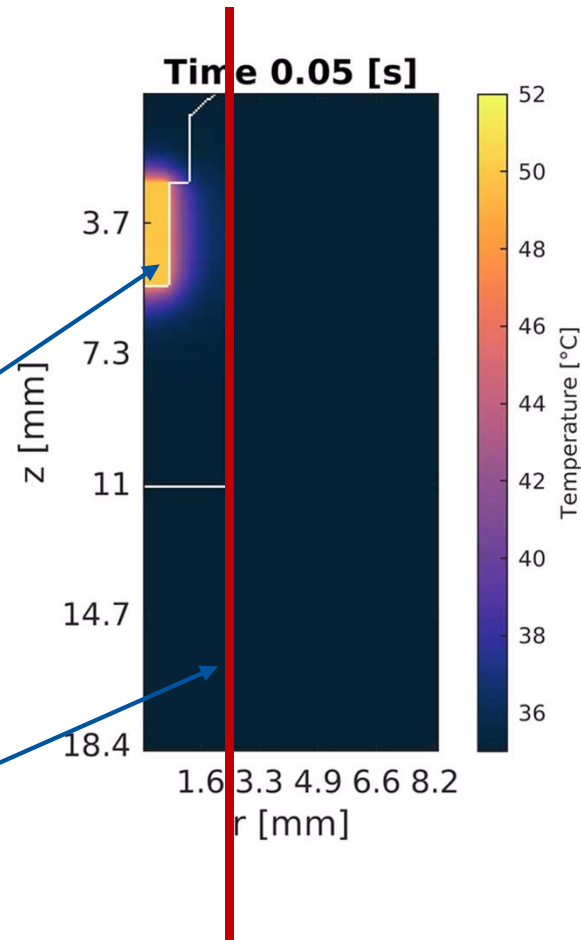
$T = 53^{\circ}\text{C}$

Instationäre Wärmeleitung mit Quelle

Aufheizen eines Festkörpers

Hohe
Wärmeleitfähigkeit

Geringe
Wärmeleitfähigkeit



Menschliche Wahrnehmung von Temperatur und Wärmestrom

Menschen spüren keine Temperaturen, Menschen spüren Wärmeströme



Kaltes Leitungswasser fühlt sich beim Händewaschen nach einem Winterspaziergang warm an

$$\dot{Q} = -A \lambda \frac{dT}{dx}$$

Warum fühlt sich Metall wärmer/kälter an als Holz?



Bei Raumtemperatur fühlt sich der Türgriff kälter an als die Holztür

$$\lambda_{\text{Holz}} \ll \lambda_{\text{Metall}}$$

Verständnisfragen

Was ist das treibende Potential der Wärmeleitung?

Welche drei Einflussgrößen bestimmen einen durch Wärmeleitung übertragenen Wärmestrom gemäß dem Fourier-Gesetz?

Weshalb muss der Temperaturgradient in einem positiven Koordinatensystem ein negatives Vorzeichen besitzen?

Welche Stoffeigenschaft ist für die Wärmeleitung ausschlaggebend?