
Wärme- und Stoffübertragung I

Einführung in das Thema Wärmeleitung

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

Lernziele

- 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

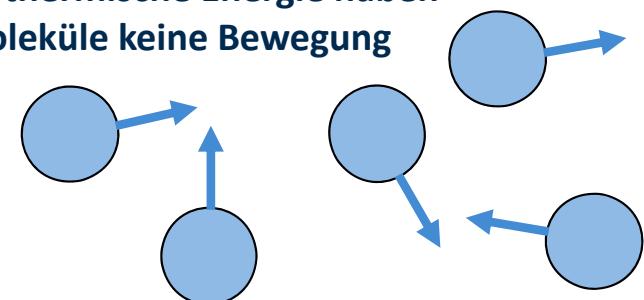
- Ein technisches Maß für das Potential der thermischen Energie in einem Körper

Wärmeleitung

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

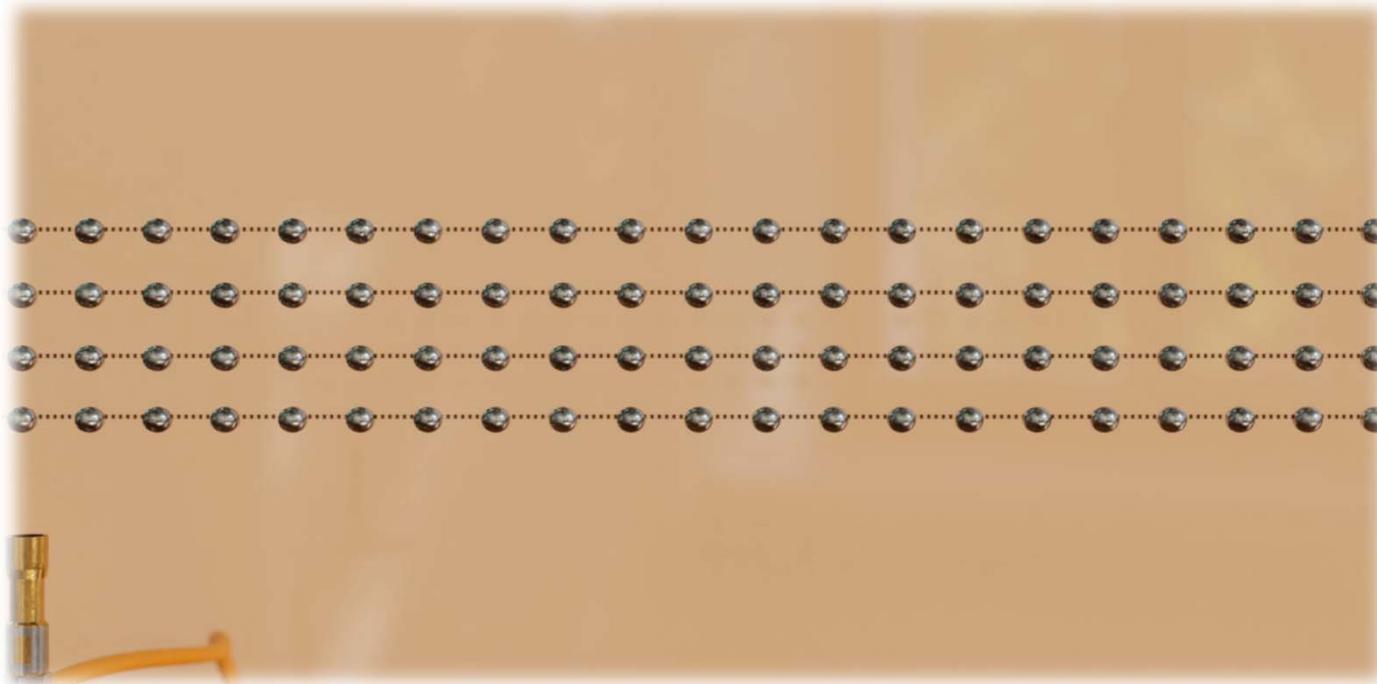
- Molekulkollisionen für Gas/Flüssigkeitsformen
- Gitterschwingungen für Festkörper
- Leitungselektronen für Metalle

Ohne thermische Energie haben
Moleküle keine Bewegung



Wärmeleitung in Feststoffen

Wärmeleitung in Feststoffen durch Schwingung der Atome

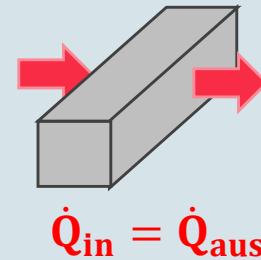


<https://www.tec-science.com/de/thermodynamik-waermelehre/waerme/warmeleitung-in-feststoffen/>

Wärmeleitung

- Stationäre Wärmeleitung → Zeitunabhängig

Zeitlich konstante Temperaturverteilung innerhalb des Objekts



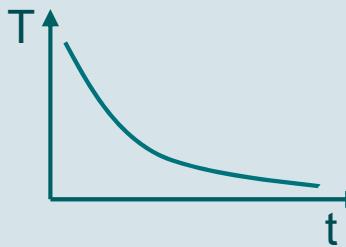
$$\dot{Q}_{\text{in}} = \dot{Q}_{\text{aus}}$$

Heizung



- Instationäre Wärmeleitung → Zeitabhängig

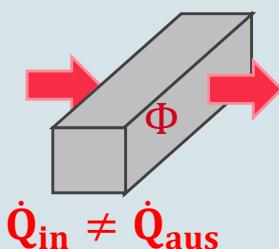
Zeitliche Temperaturänderung an jedem festen Ort im Körper



Kaffee-Abkühlung

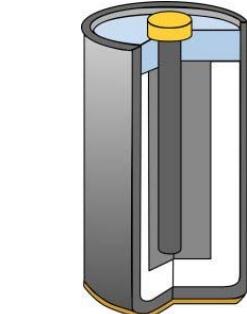


- Wärmeleitung mit Quelle oder Senke



$$\dot{Q}_{\text{in}} \neq \dot{Q}_{\text{aus}}$$

Batteriezellen



Fouriersches Gesetz: Wärmestrom im Metallstab

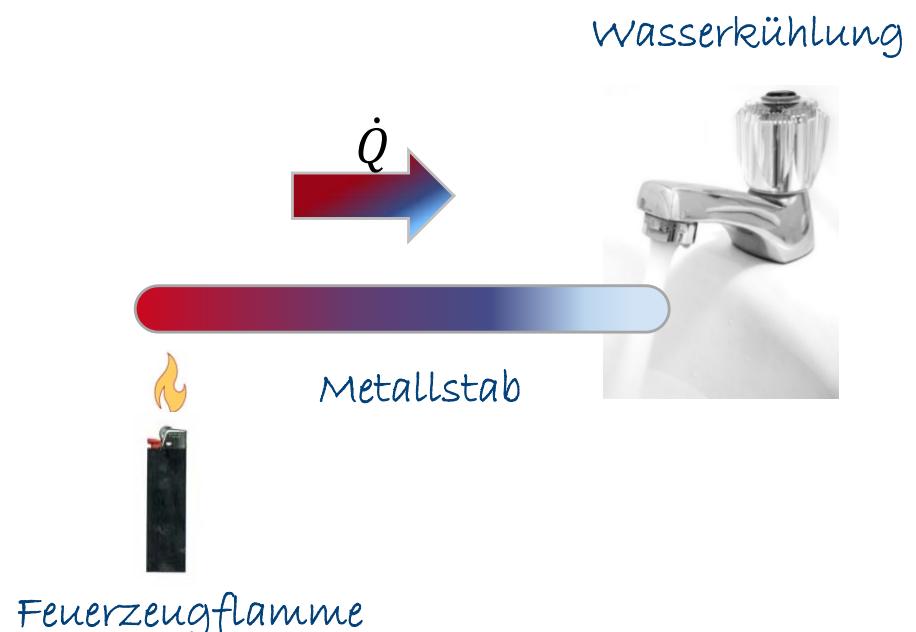
Welche Wärmemenge fließt durch den Metallstab von der heißen Flamme zur kalten Seite?

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

Analogie: Strom \Leftrightarrow Wärmestrom

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

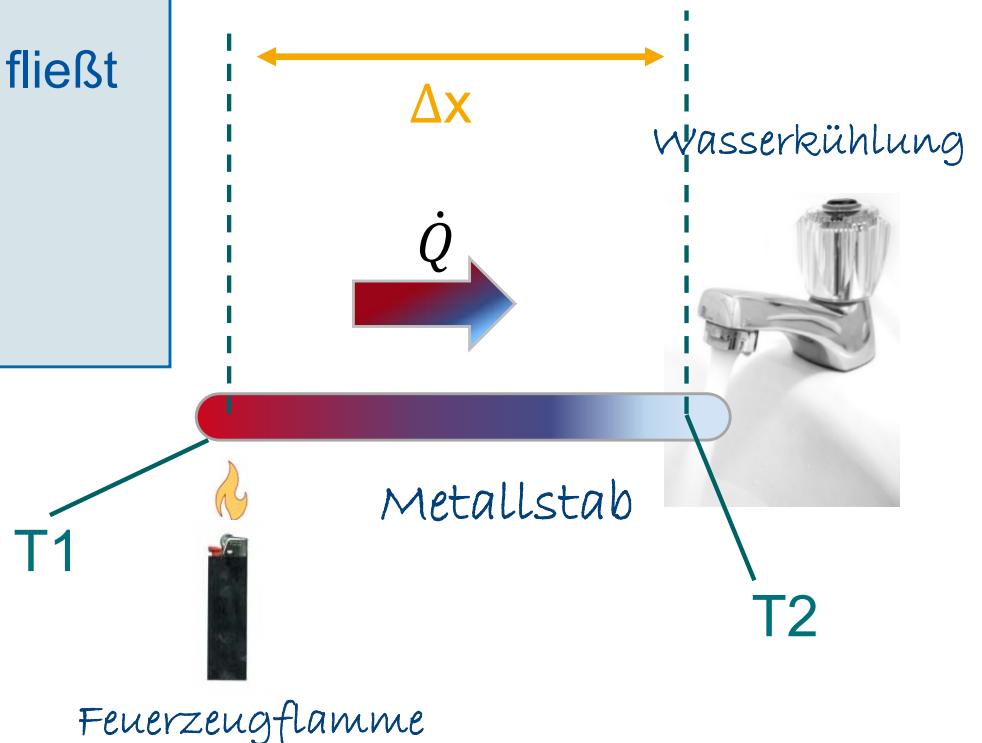
$$\text{Wärmestrom} = \frac{\text{Temperaturdifferenz}}{\text{Wärmewiderstand}}$$



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 [m^2])
- Der Abstand zwischen Wärmequelle und Wärmesenke Δx [m]



Fouriersches Gesetz: Wärmestrom im Metallstab

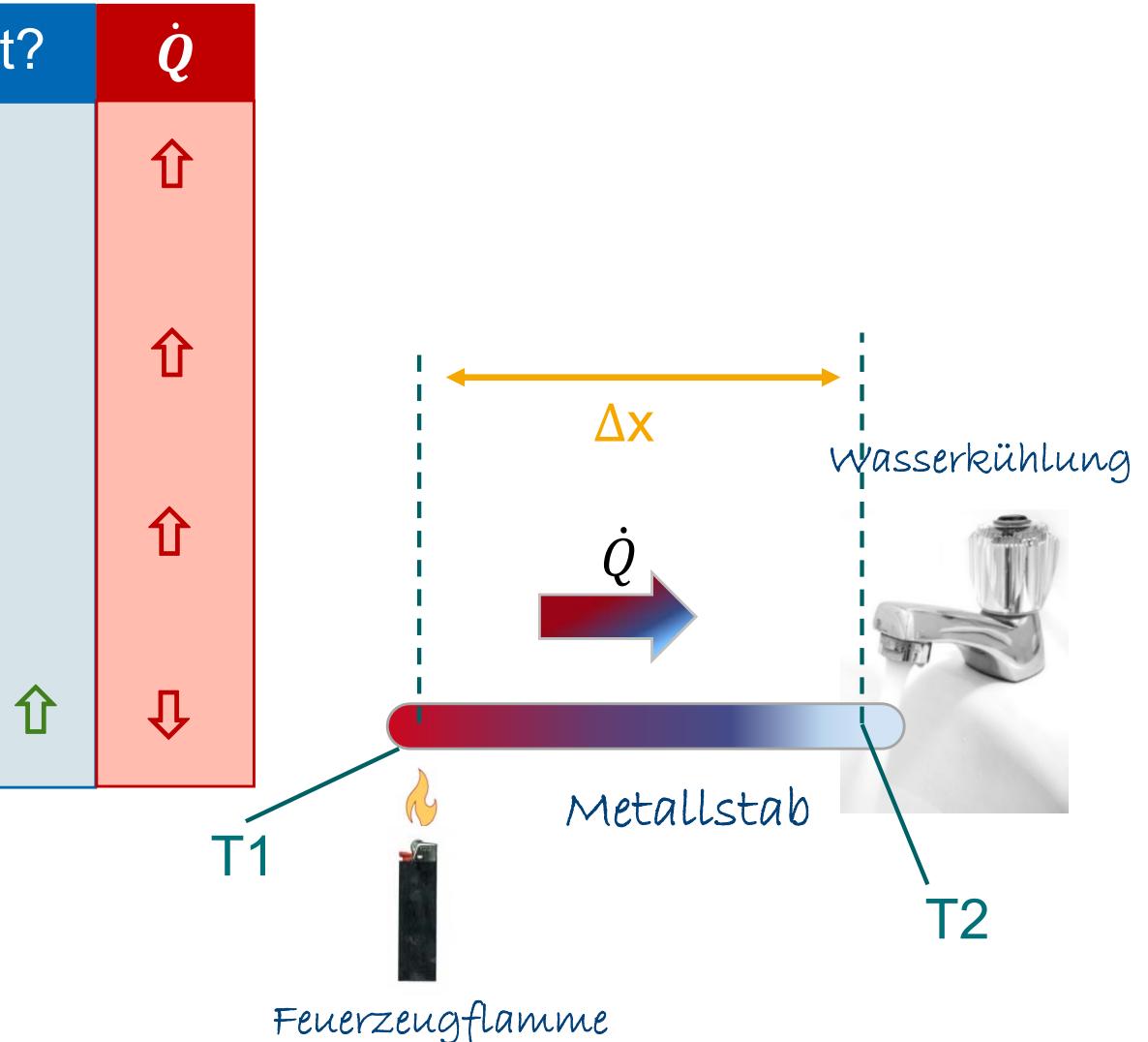
Wie wird der Wärmestrom beeinflusst?

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] 



Fouriersches Gesetz: Wärmestrom im Metallstab

Wie wird der Wärmestrom beeinflusst?

Temperaturdifferenz ΔT [K] 

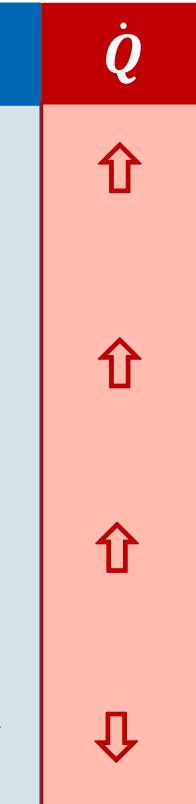
Materialeigenschaft
(Wärmeleitfähigkeit λ [W/mk]) 

Querschnittsfläche, durch die der
Wärmestrom fließt (Fläche A [m^2]) 

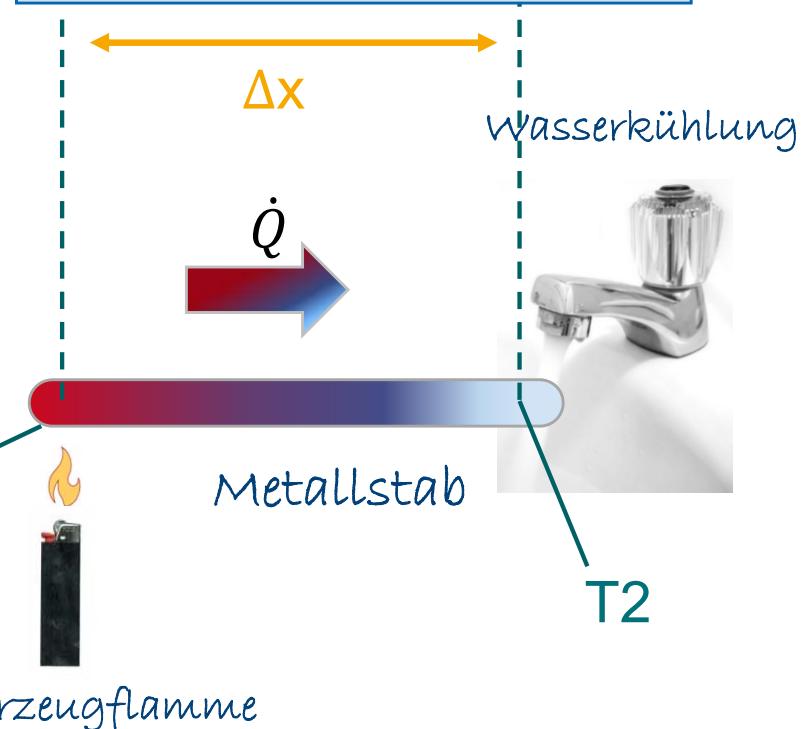
Der Abstand zwischen Wärmequelle und
Wärmesenke Δx [m] 

\dot{Q}_x : Wärmestrom in 1-D [W]

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



$$\dot{Q}_x =$$



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}_x : Wärmestrom in 1-D [W]

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

$$\dot{Q}$$

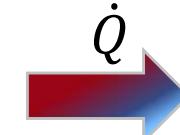


T1

Feuerzeugflamme

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

Δx



Metallstab



T2

Fouriersches Gesetz: Wärmestrom im Metallstab

Fouriersches Gesetz :

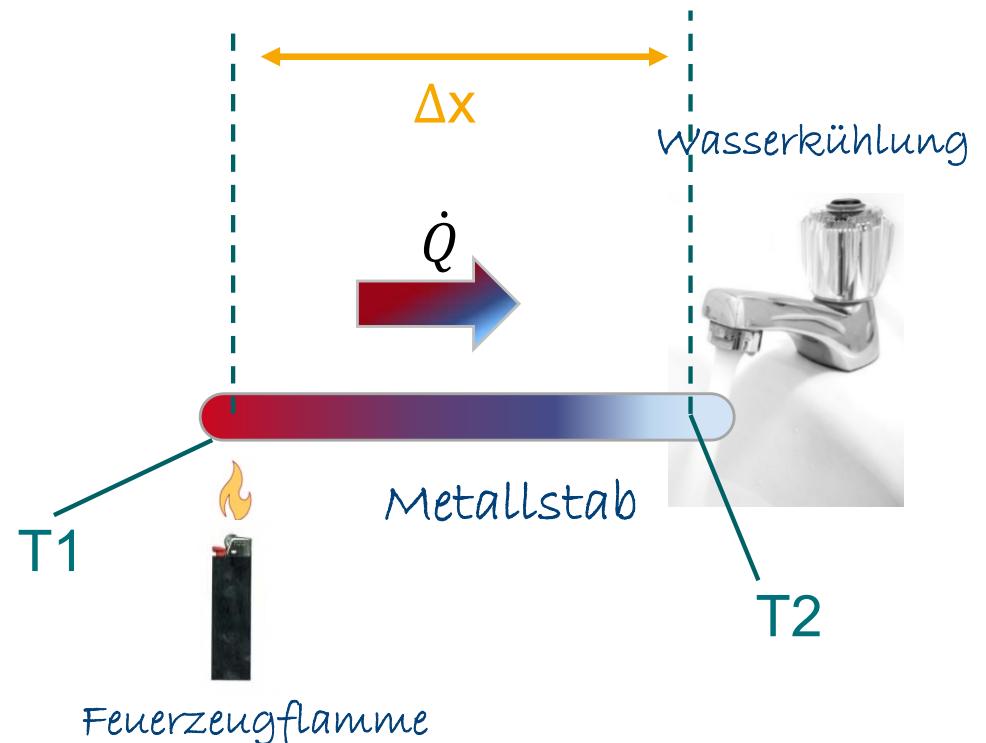
$$\dot{Q}_x = -A \lambda \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

\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 :

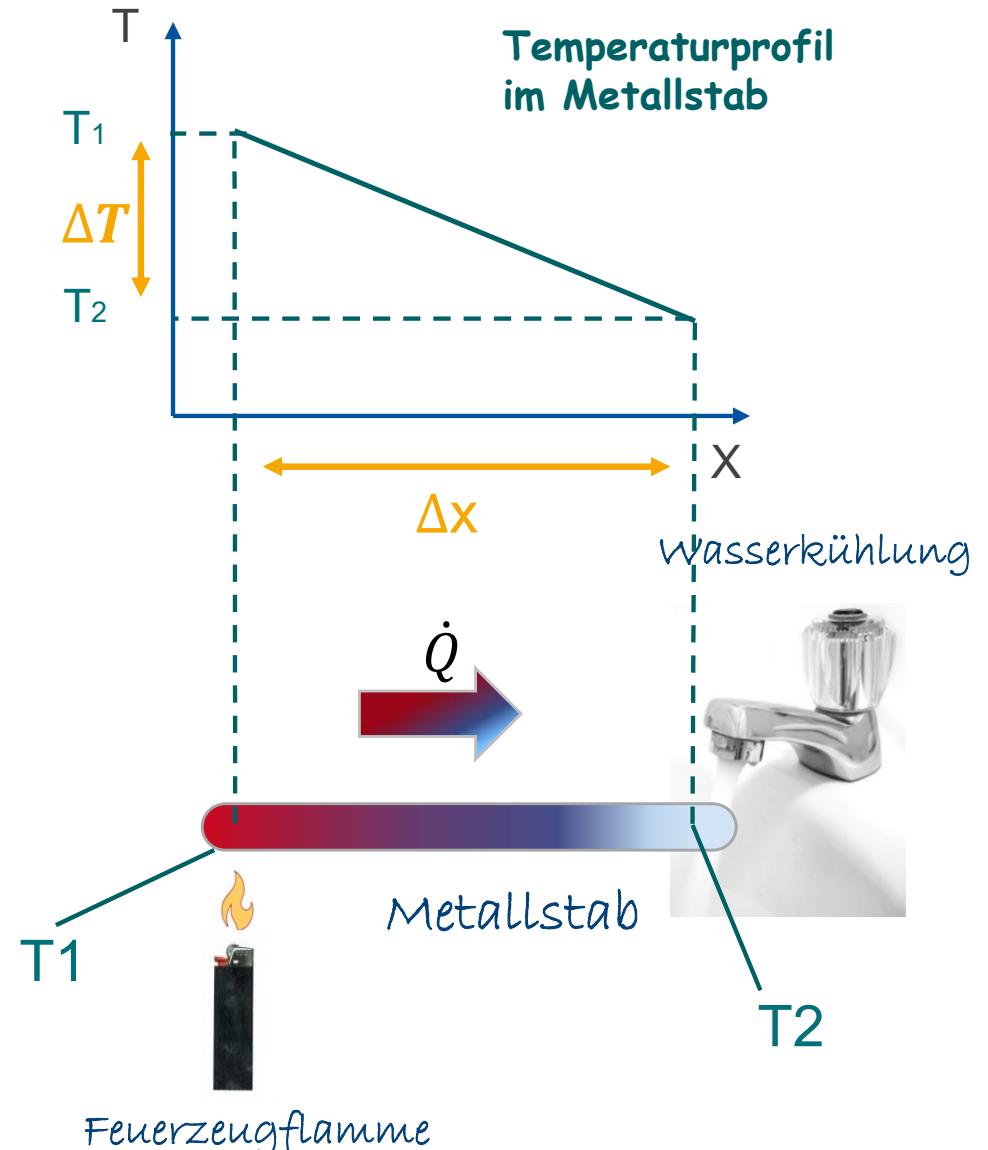
$$\dot{Q}_x = -A \lambda \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

\dot{Q}_x : Wärmestrom in 1-D [W]

A : Fläche [m²]

λ : Wärmeleitfähigkeit [W/mk]

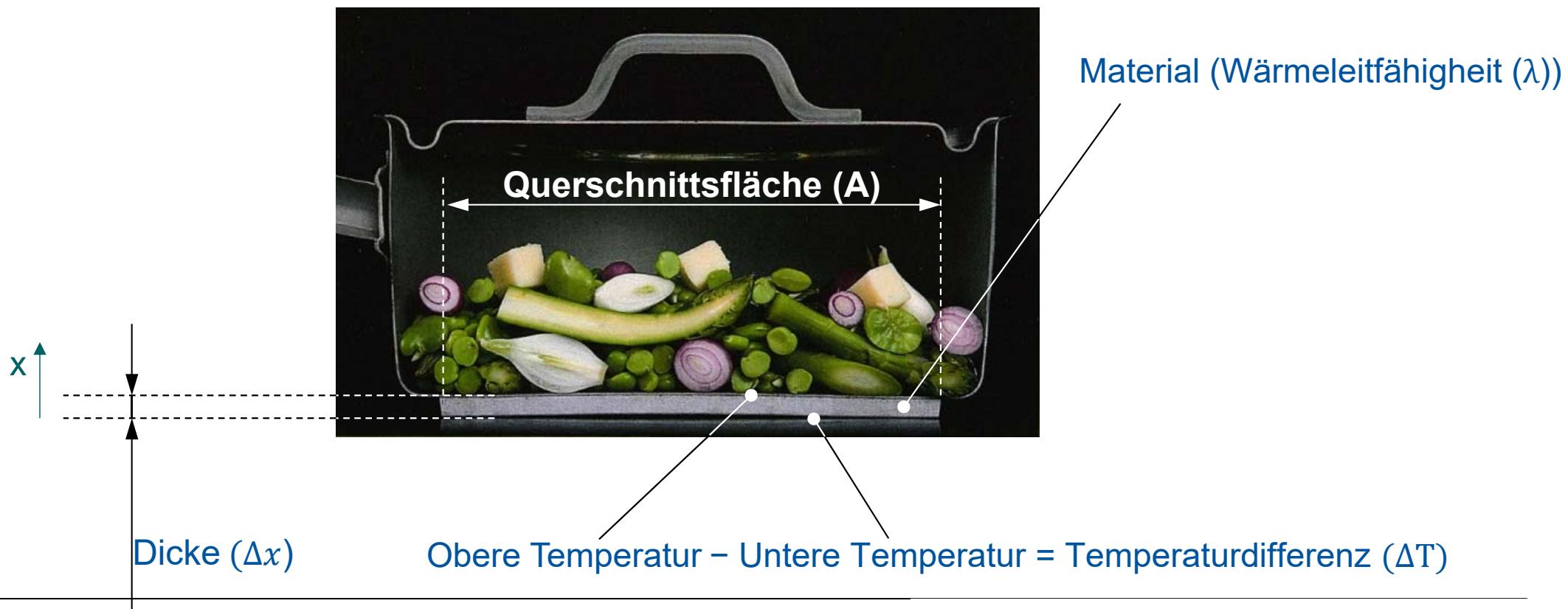
$\frac{\Delta T}{\Delta x}$: Temperaturgradient [K/m]



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

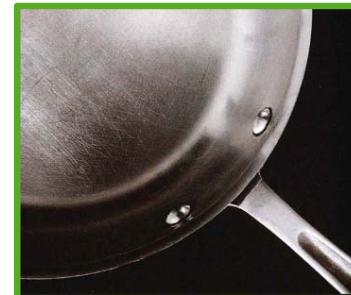
$$\lambda_{Cu} = 350 \frac{W}{m K}$$



Aluminium

Gute Wärmeleitfähigkeit

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



Edelstahl

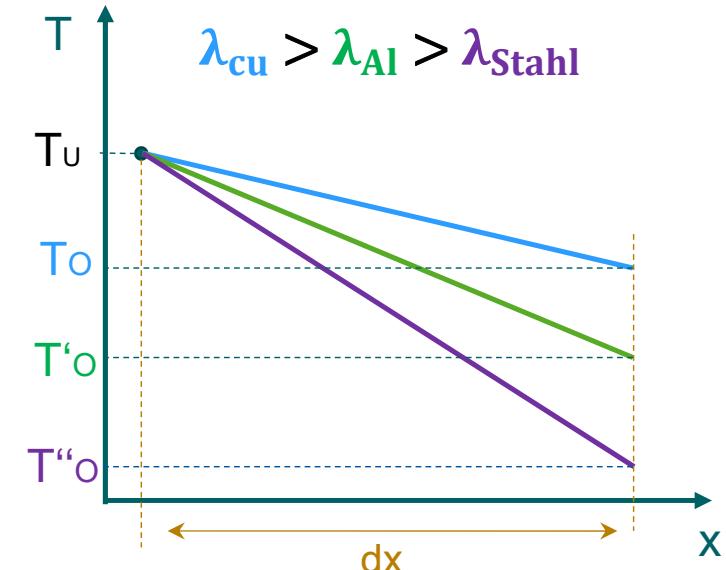
Geringe
Wärmeleitfähigkeit

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



$$\dot{Q} = \text{Konstant}$$

$$\lambda_{Cu} > \lambda_{Al} > \lambda_{Stahl}$$



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

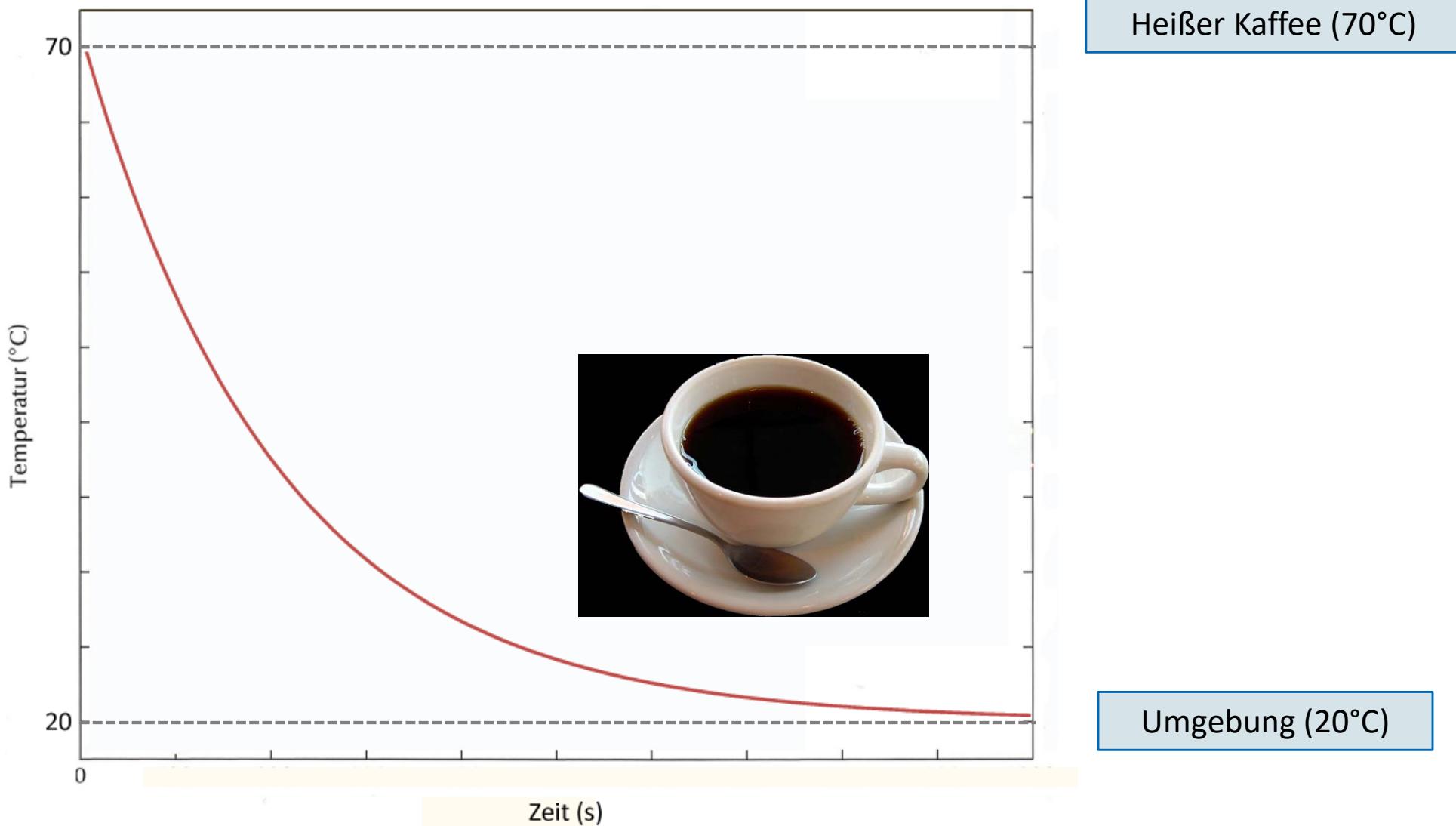
Milch vor dem Trinken hinzufügen?



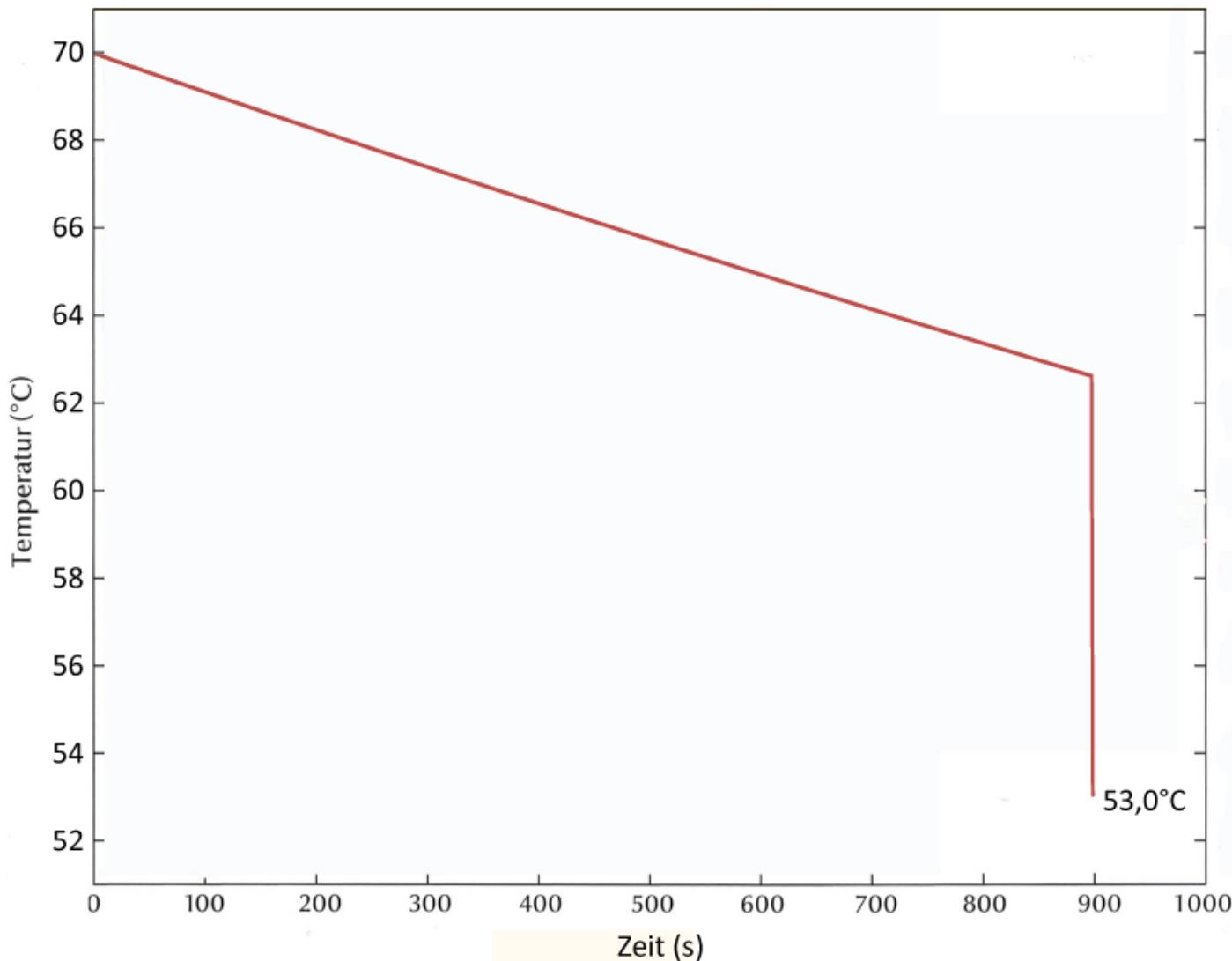
Milch sofort nach dem Kochen hinzufügen?



Instationäre Prozesse: Milch wann hinzufügen ?

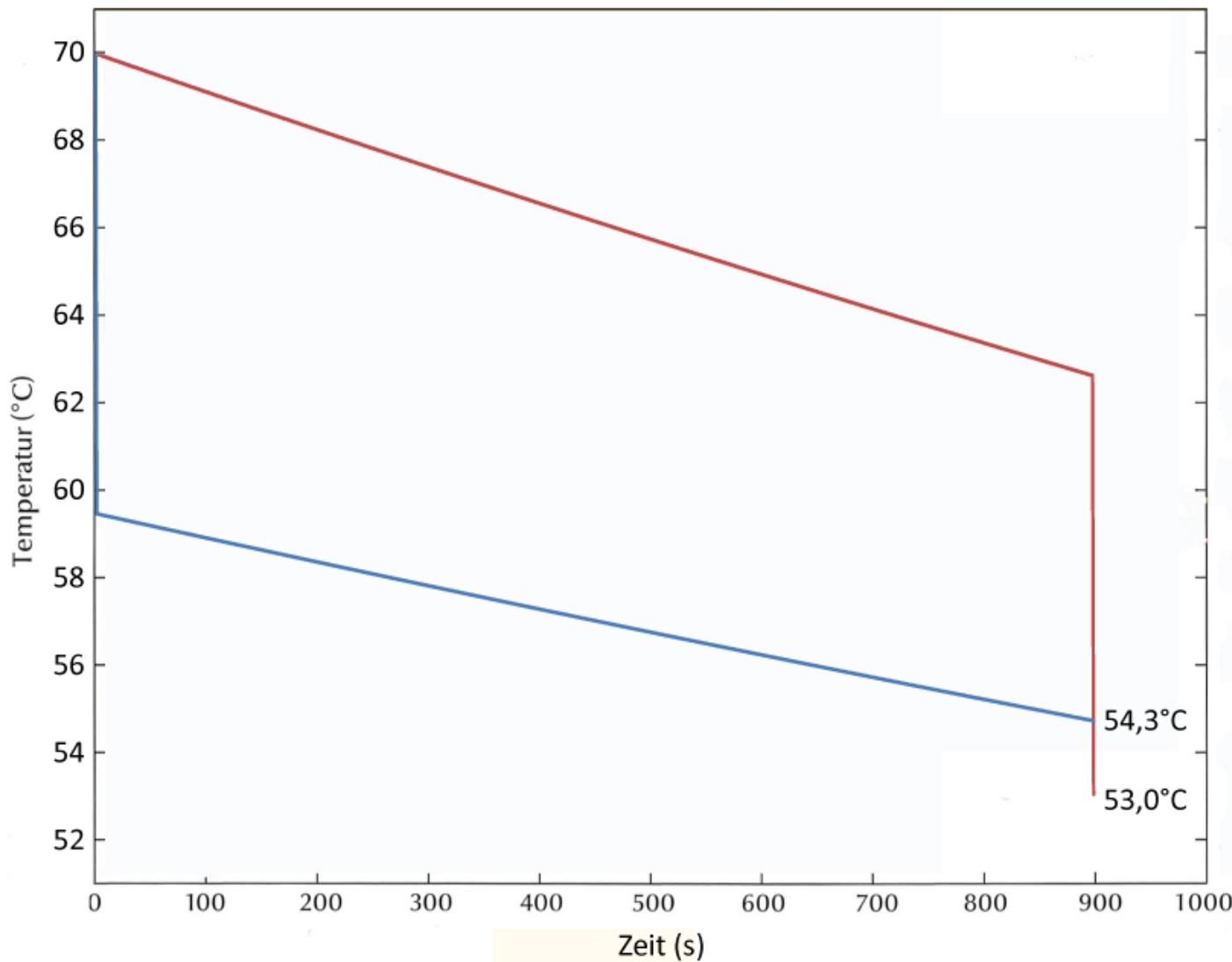


Instationäre Prozesse: Milch wann hinzufügen ?



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

Instationäre Prozesse: Die Milch vor dem Trinken hinzufügen



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



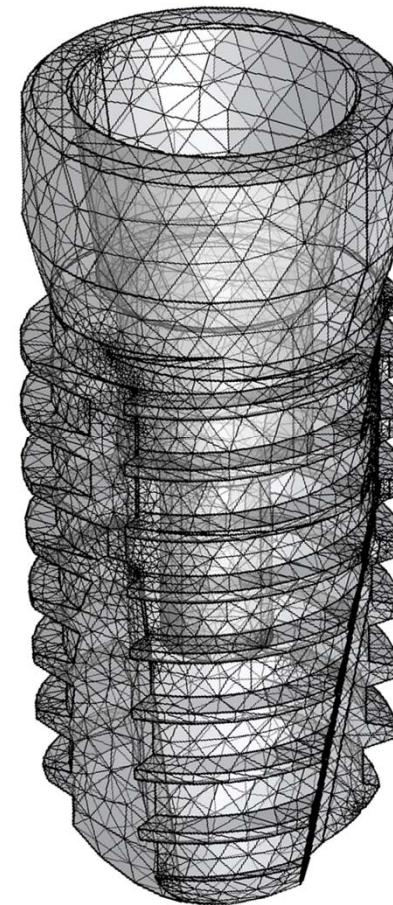
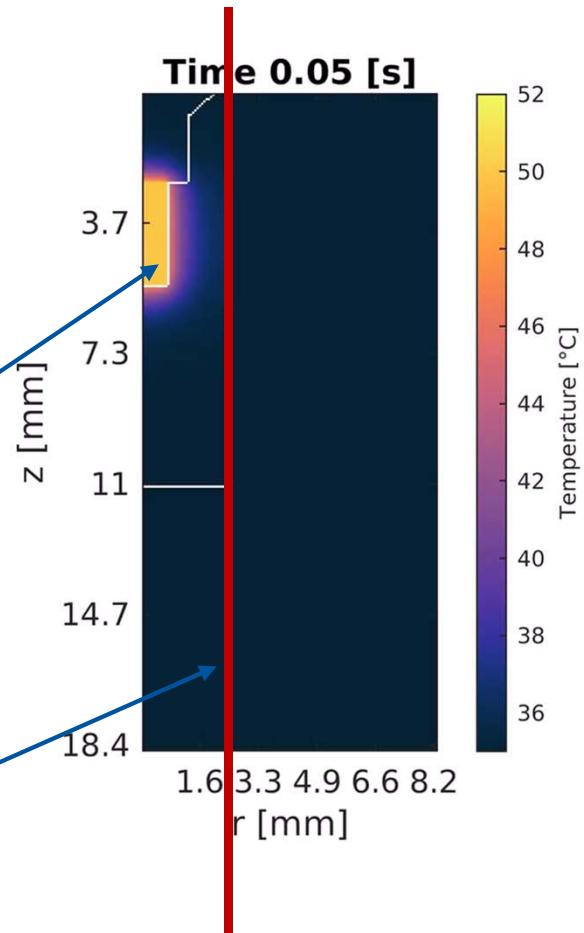
$T = 53^{\circ}\text{C}$

Instationäre Wärmeleitung mit Quelle

Aufheizen eines Festkörpers

Hohe
Wärmeleitfähigkeit

Geringe
Wärmeleitfähigkeit



Menschliche Wahrnehmung von Temperatur und Wärmestrom

Menschen spüren keine Temperaturen, Menschen spüren Wärmeströme



Warum fühlt sich Metall wärmer/kälter an als Holz?



Kaltes Leitungswasser fühlt sich beim Händewaschen nach einem Winterspaziergang warm an

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

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?