

## Merkmale von Kreisprozessen:

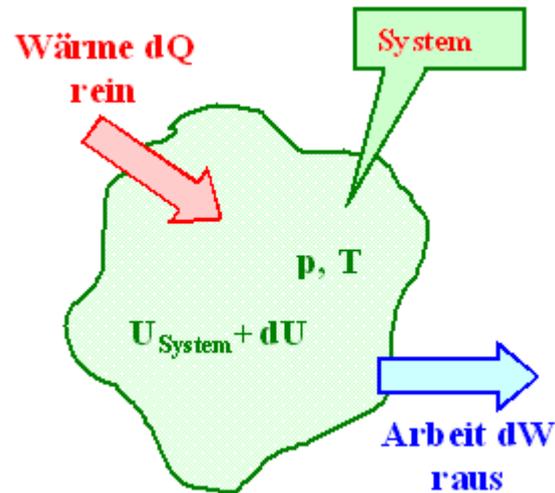
- (1) Periodischen Durchlauf von sich wiederholenden Zustandsänderungen
- (2) Infolge der Zustandsänderung eines Arbeitsstoffes wird mechanische Arbeit verrichtet.
- (3) Die verrichtete mechanische Arbeit ergibt sich aus der zugeführten Wärme.

Nach dem ersten Hauptsatz der Wärmelehre ergibt sich:

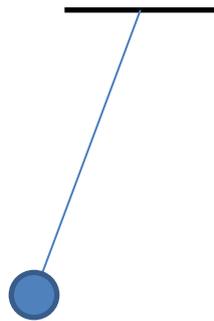
$$\Delta U = 0 \quad \sum Q = \sum W \quad W < 0$$

- Unvollständige Aussage, da keine Aussage über die Richtung des Energietransportes erfolgt.

# Der 2. Hauptsatz der Thermodynamik

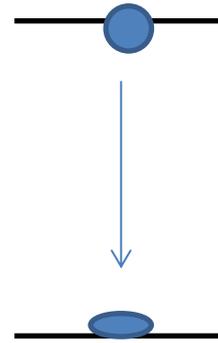


## Umkehrbarkeit von Vorgängen:



*ein schwingendes  
Pendel ist (fast) ein  
reversibler Vorgang*

$E_{\text{pot}} \leftrightarrow E_{\text{kin}}$



$E_{\text{pot}} \rightarrow E_{\text{kin}}$

Verformung  
→ Wärme



Ein Prozess heißt **reversibel** (umkehrbar), wenn er ohne äußeren Einfluss (Energiezufuhr) wieder in seinen Anfangszustand versetzt werden kann.

Ein Prozess heißt **irreversibel** (nicht umkehrbar), wenn er nicht ohne äußeren Einfluss in umgekehrter Richtung abläuft.

*Die Umkehrung eines irreversiblen Prozesses ist nur durch  
Aufwendung zusätzlicher Energie möglich.*

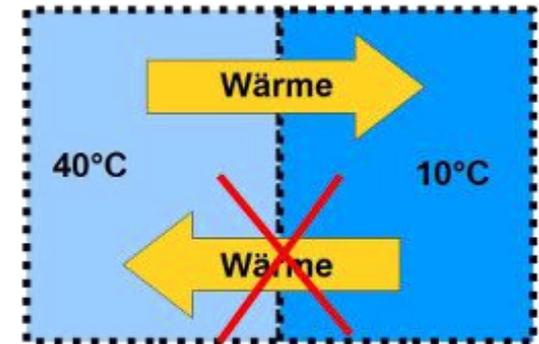
► Alle in der Natur ablaufenden Prozesse sind irreversibel !

Der **zweite Hauptsatz** der Thermodynamik beschreibt die **IRREVEVERSIBILITÄT** von (thermischen) Vorgängen.

Er ist ein Erfahrungssatz und trifft eine Aussage zur Richtung Energieaustauschs.

Robert Clausius (1850) → Entdecker des 2.HS

*„Wärme geht niemals von selbst von einem kalten zu einem warmen Körper über und in einem gleichmäßig temperierten Körper stellt sich niemals von selbst ein Temperaturunterschied ein“.*



William Thomson (1851) → Lord Kelvin

*Es gibt keine periodisch arbeitende Maschine (Kreisprozess), die Wärme aus einer Wärmequelle aufnimmt und vollständig in mechanische Arbeit umwandelt.*

Eine periodisch arbeitende Maschine, die die aus der Umgebung aufgenommene Wärme vollständig in mechanische Arbeit umwandelt, wäre ein **Perpetuum mobile 2. Art.**

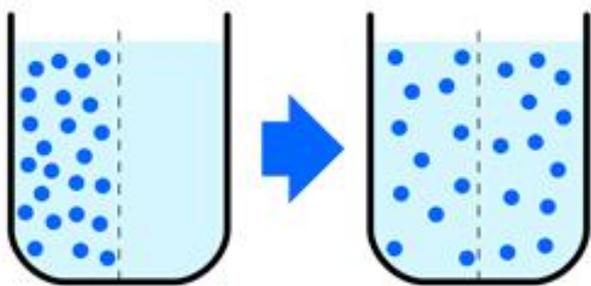
→ *kein Widerspruch zum 1. Hauptsatz der Thermodynamik !*

Max Planck

*“Es gibt keine Perpetuum mobile 2.Art“*

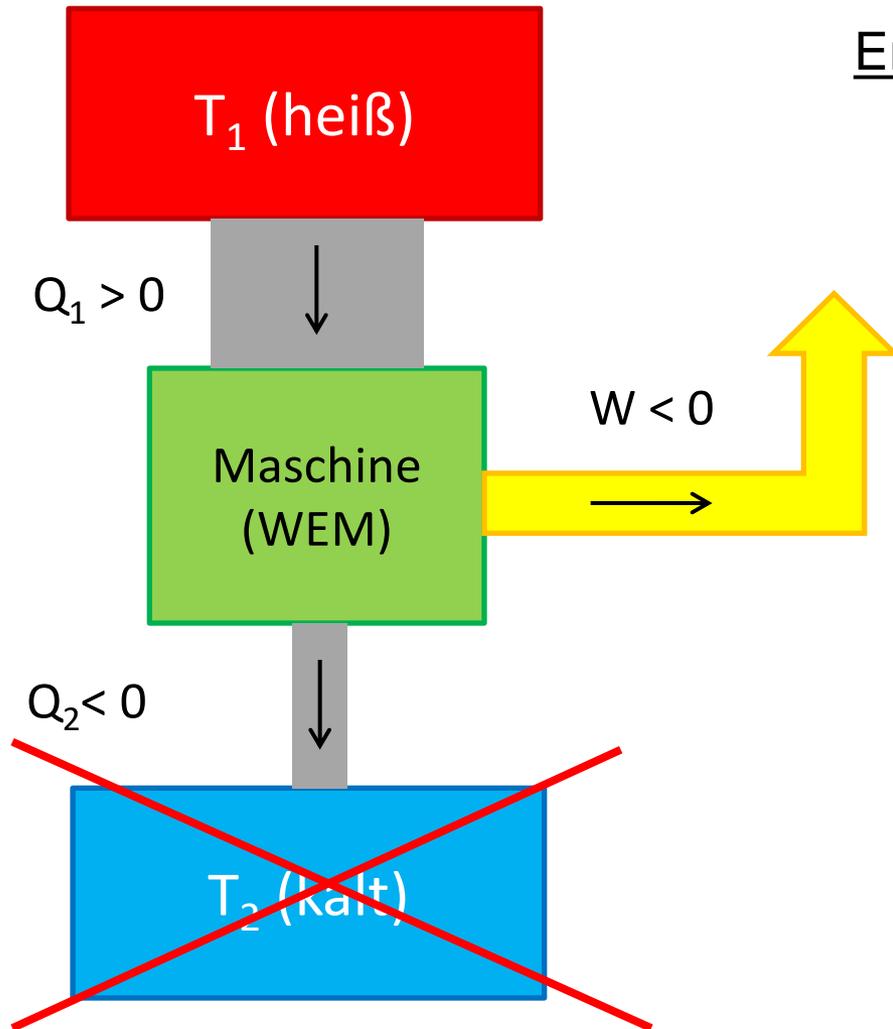
Ludwig Boltzmann (1866)

*Die Natur stirbt aus einem unwahrscheinlicheren Zustand dem wahrscheinlicheren Zustand zu.*



► *Der Zustand der (molekularen) Unordnung, der Gleichverteilung, ist am Wahrscheinlichsten.*





Energiefluss:

$$Q_1 \longrightarrow W + Q_2$$

zugeführte Wärme
Arbeit
abgegebene Wärme

*Alles was entsteht,  
ist wert,  
das es zugrunde geht.*

- Goethe -



$Q_2=0$   
nicht möglich !

Die zugeführte Wärme ( $Q_1$ ) kann nie vollständig in mechanische Arbeit ( $W$ ) umgewandelt werden.

$Q_2$  geht als **Abwärme** (ungenutzt) verloren.

