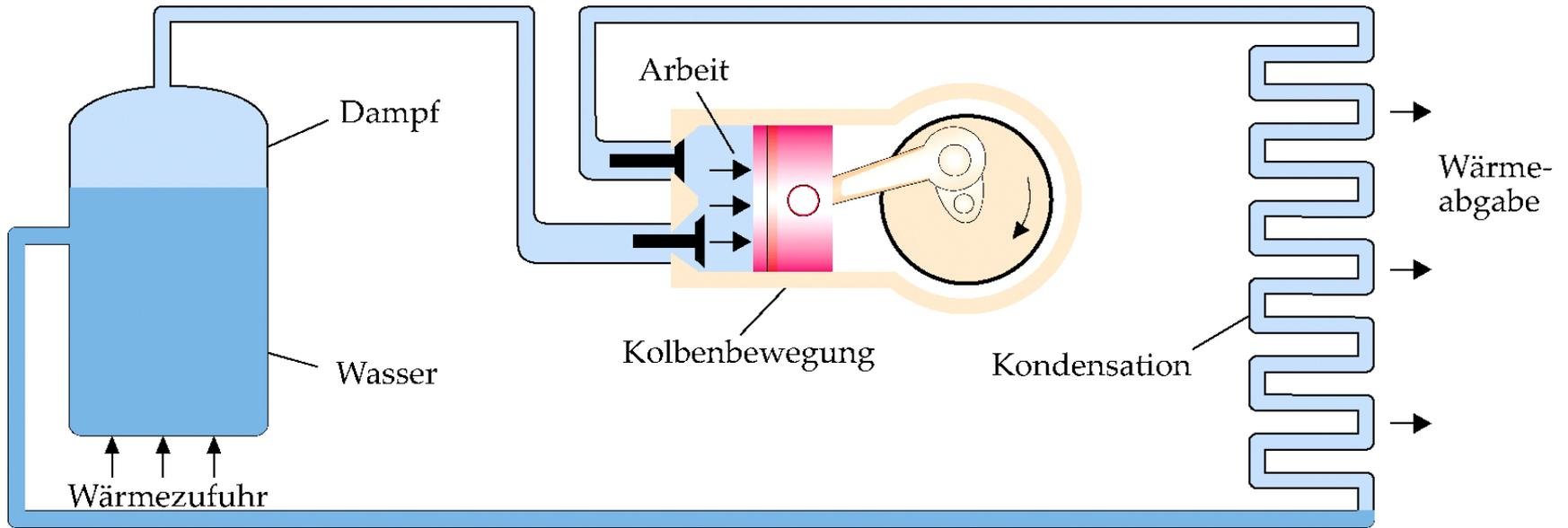


16. Der zweite Hauptsatz der Wärmelehre

16.1 Der Carnot-Kreisprozess

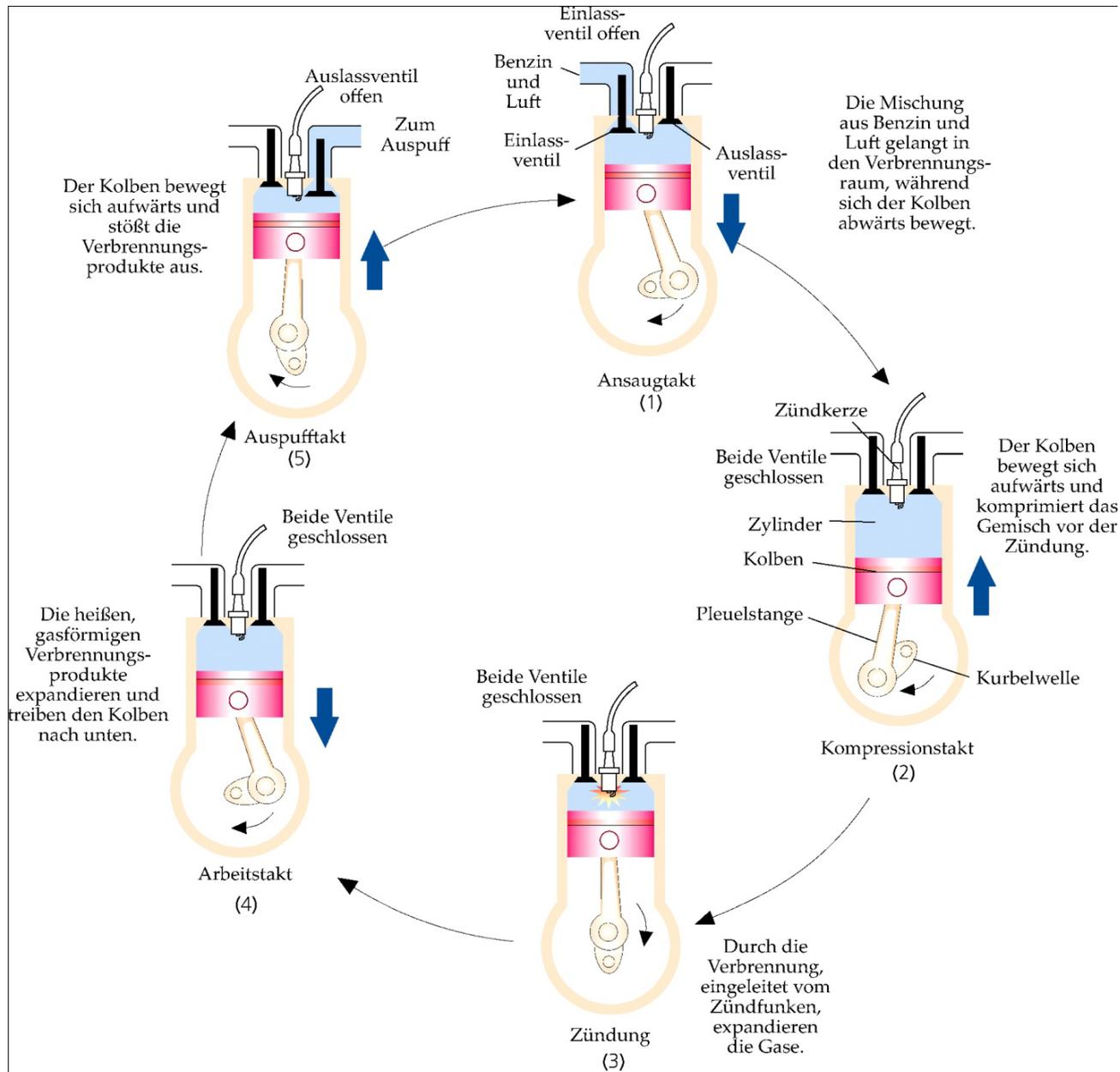
16.2 Der zweite Hauptsatz

16.3 Entropie

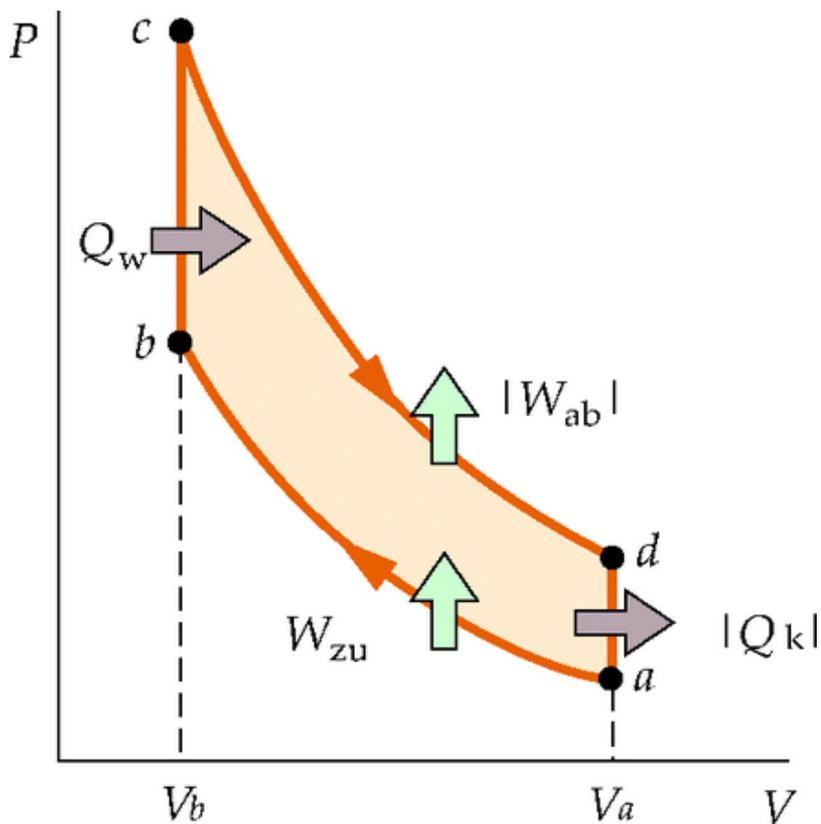


Aus: Tipler/Mosca: Physik, 6. Auflage © Spektrum Akademischer Verlag 2009

Das Prinzip der Dampfmaschine. Der unter hohem Druck erzeugte Dampf verrichtet Arbeit am Kolben.

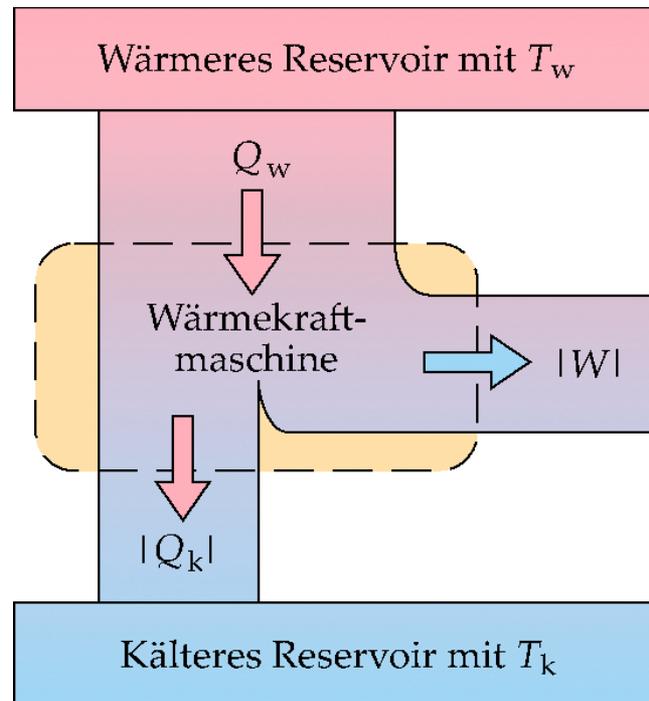


Die Funktionsweise eines Viertakt-Ottomotors



Aus: Tipler/Mosca: Physik, 6. Auflage © Spektrum Akademischer Verlag 2009

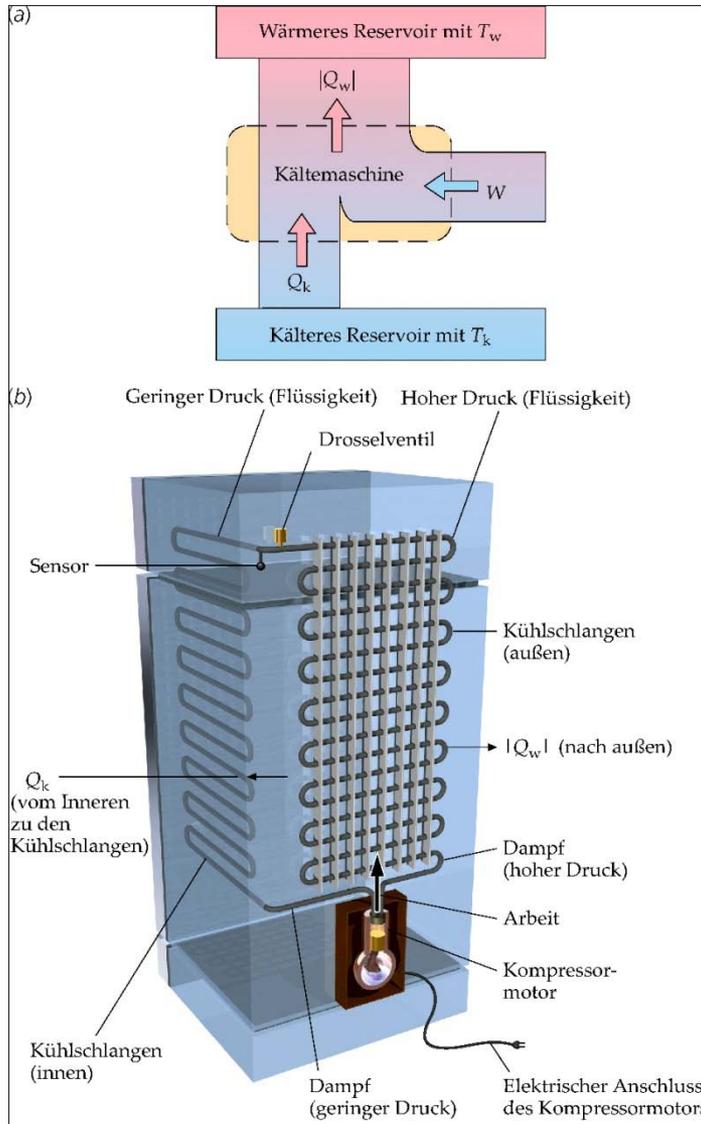
Das schematische P-V-Diagramm für die Vorgänge im Ottomotor („Otto-Kreisprozess“). Das Benzindampf-Luft-Gemisch tritt bei a ein und wird adiabatisch komprimiert bis b . Nach der durch die Zündkerze herbeigeführten Zündung wird es bei konstantem Volumen bis c durch die Verbrennung aufgeheizt. Dabei wird ihm die Wärmemenge zugeführt. Im Arbeitstakt wird es von c nach d adiabatisch expandiert. Während der Abkühlung bei konstantem Volumen (von d nach a) wird die Wärmemenge abgegeben. Nicht gezeigt sind der Ausstoß der Verbrennungsprodukte und die Zufuhr neuen Benzindampf-Luft-Gemischs bei konstantem Volumen. Während der adiabatischen Kompression wird Arbeit (W_{zu}) am System verrichtet, und das System verrichtet seinerseits Arbeit (W_{ab}) während der adiabatischen Expansion.



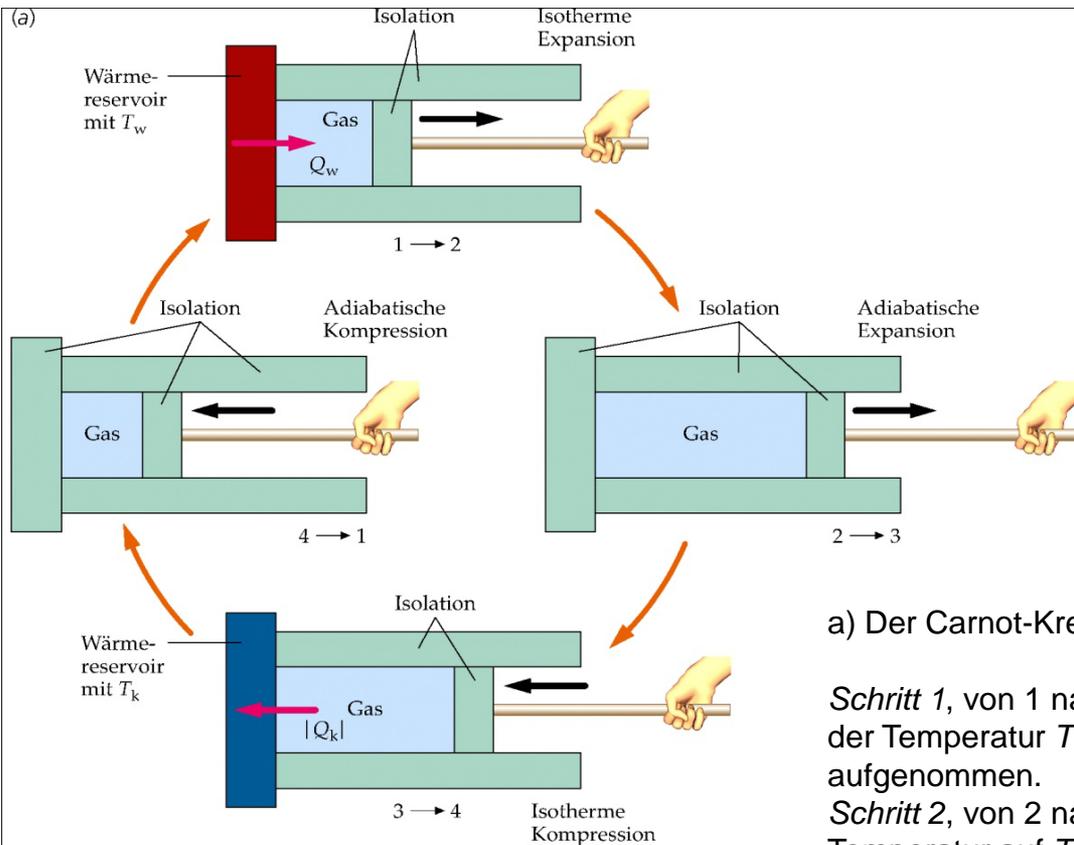
Aus: Tipler/Mosca: Physik, 6. Auflage © Spektrum Akademischer Verlag 2009

Das Prinzip der Wärmekraftmaschine.

Sie nimmt die Wärmemenge Q_w aus einem Wärmereservoir mit der höheren Temperatur T_w auf und gibt die Arbeit $|W|$ an die Umgebung ab. Außerdem gibt sie die Wärmemenge Q_k an ein kälteres Reservoir mit der Temperatur T_k ab.



- a) Das Prinzip der Kältemaschine. Sie nimmt die Wärmemenge Q_k aus einem Wärmereservoir mit der tieferen Temperatur T_k auf und gibt unter Ausnutzung der zugeführten Arbeit W die Wärmemenge $|Q_w|$ an das wärmere Reservoir mit der Temperatur T_w ab.
- b) Der Aufbau eines Kühlschranks und die beiden an ihm übertragenen Wärmemengen.



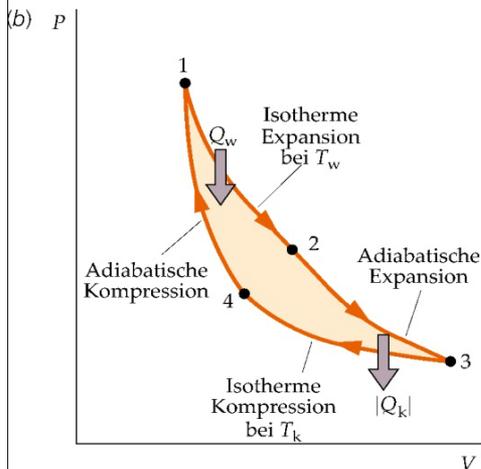
a) Der Carnot-Kreisprozess, durchgeführt mit einem idealen Gas:

Schritt 1, von 1 nach 2: Während der isothermen Expansion wird bei der Temperatur T_w die Wärmemenge Q_w vom wärmenden Reservoir aufgenommen.

Schritt 2, von 2 nach 3: Das Gas wird adiabatisch expandiert, bis die Temperatur auf T_k gesunken ist.

Schritt 3, von 3 nach 4: Das Gas wird bei der Temperatur T_k isotherm komprimiert, wobei die Wärmemenge $|Q_k|$ an das kältere Reservoir abgegeben wird.

Schritt 4, von 4 nach 1: Das Gas wird adiabatisch komprimiert, bis wieder die Temperatur T_w erreicht ist.



b) Bei jedem der Schritte von 1 nach 2 und dann nach 3 wird Arbeit vom Gas verrichtet, und bei den Schritten von 3 nach 4 und dann nach 1 wird Arbeit am Gas verrichtet. Der Betrag der im gesamten Zyklus netto zugeführten Arbeit entspricht der getönten Fläche im P - V -Diagramm. Der gesamte Prozess ist reversibel, denn alle Schritte laufen quasistatisch bzw. reversibel ab.

Formulierungen des zweiten Hauptsatzes des Wärmelehre:

- Der Wirkungsgrad $\eta = \Delta W / \Delta Q$ jeder Wärmekraftmaschine ist immer kleiner als 1, d.h. Wärme kann nicht vollständig in mechanische Arbeit umgewandelt werden.

$$\eta = 1 - T_2 / T_1 < 1 \quad (\text{da } T_2 = 0 \text{ nicht erreicht werden kann})$$

- Es gibt keine periodisch wirkende Maschine, die ohne äußere Energiezufuhr ein Wärmereservoir abkühlt und die dabei gewonnene Energie vollständig in mechanische Energie umwandelt. Dies wäre nach dem ersten Hauptsatz der Wärmelehre zulässig.

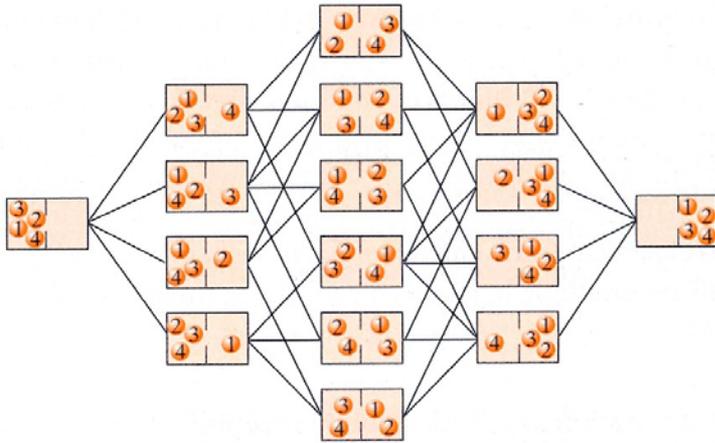
(Eine solche Maschine heißt *perpetuum mobile* zweiter Art)

↔ Es gibt kein perpetuum mobile zweiter Art

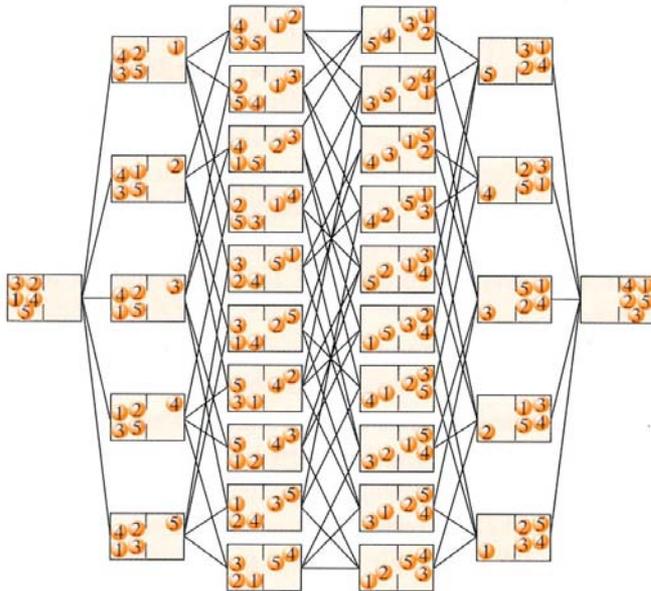
- Moderne Formulierung:

Ein System geht nie von selbst in einen bedeutend unwahrscheinlicheren Zustand über. Seine Entropie kann durch Fluktuationen höchstens vorübergehend um einige k erniedrigt werden.

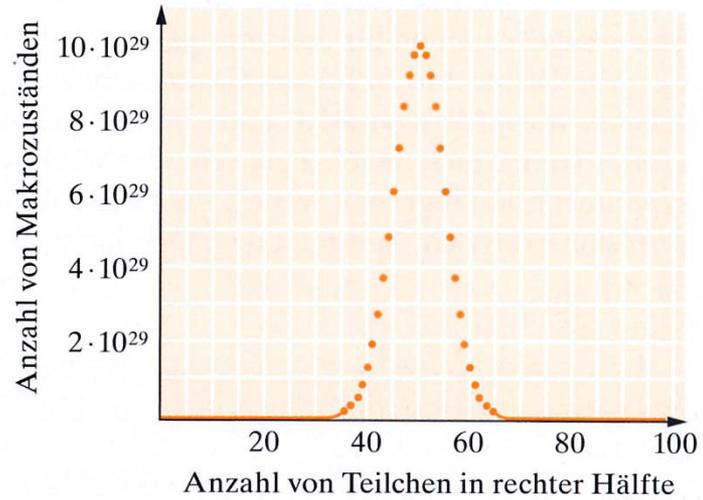
Es gibt irreversible Vorgänge; bei diesen findet immer eine Zunahme der Entropie statt.



Schon bei vier Teilchen ist eine gleichmäßige Verteilung über beide Hälften eines Volumens viel wahrscheinlicher als eine ungleichmäßige.



Bei fünf Teilchen überwiegt die gleichmäßige Verteilung noch viel stärker



Wahrscheinlichkeiten der Verteilungen von 100 Teilchen über zwei gleiche Teilvolumina

Binomialverteilung:

$$P(k; p, n) = \binom{n}{k} \cdot p^k \cdot (1 - p)^{n-k}$$

$$\binom{n}{k} := \frac{n!}{k!(n-k)!}$$