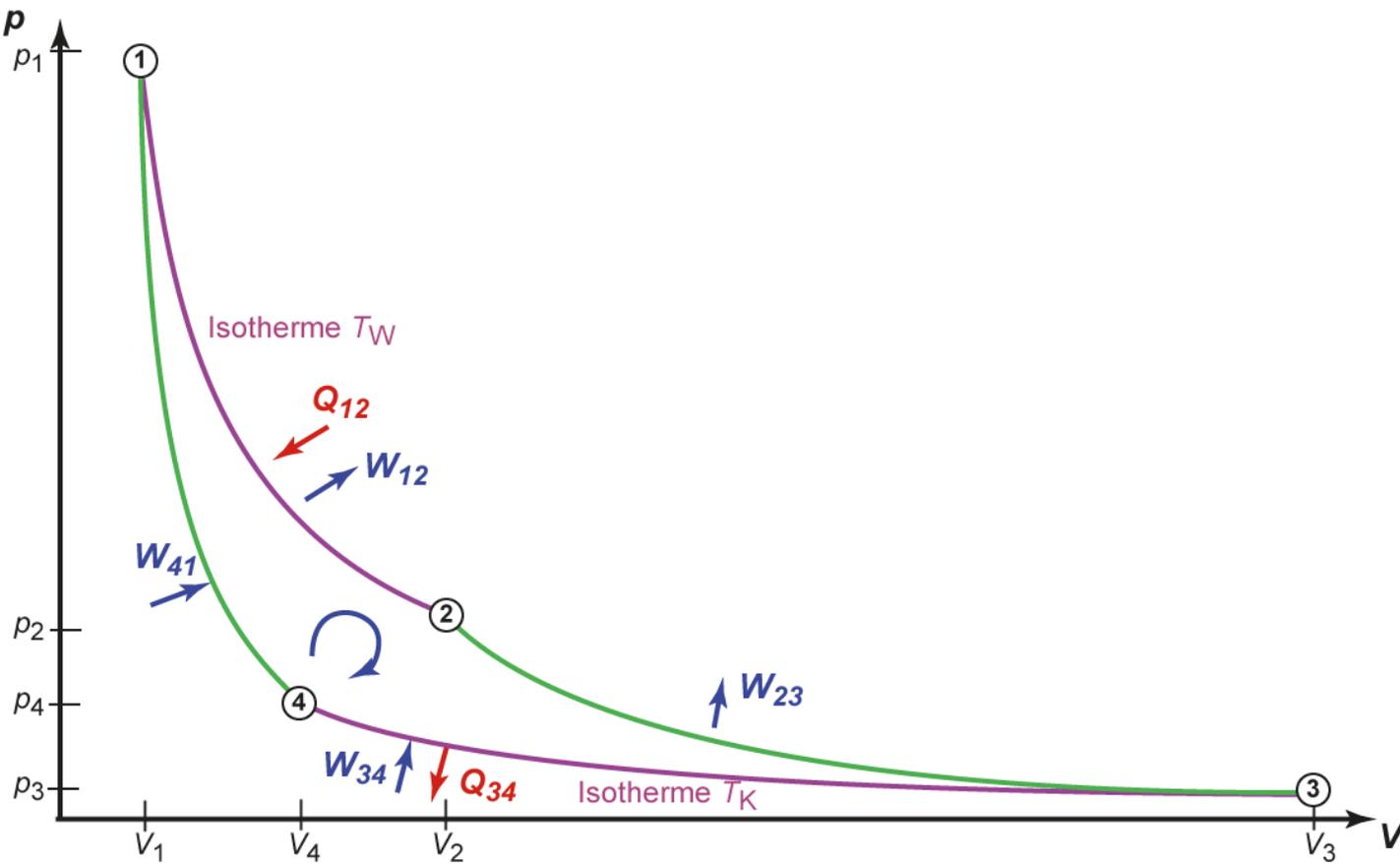




Entropie als Zustandsgröße (und) dritter Hauptsatz der Thermodynamik





Wärmebilanz im reversiblen Kreisprozess (Carnot-Prozess):

$$\text{Zufuhr: } Q_w \quad \text{Abgabe: } Q_k \quad Q_w \neq Q_k$$

bereits bekannt (siehe vorne):

$$\frac{Q_k}{T_k} = n \cdot R \cdot \ln \frac{V_4}{V_3} ; \quad \frac{Q_w}{T_w} = n \cdot R \cdot \ln \frac{V_2}{V_1} ; \quad \text{und} \quad \frac{V_4}{V_3} = - \frac{V_2}{V_1}$$

deshalb:

$$\frac{Q_k}{T_k} = - \frac{Q_w}{T_w} ;$$

$$\frac{Q_k}{T_k} + \frac{Q_w}{T_w} = 0 ; \quad \text{allg.: } \sum_o \frac{Q_i}{T_i} = 0 ;$$

wenn wieder im Ausgangszustand



Die Entropie als thermodynamische Zustandsgröße

allgemein für Kreisprozesse:

$$\int_0 \frac{dQ_i}{T_i} = 0 ;$$



Definition:

$$dS = \frac{dQ_{rev}}{T}$$



Die Entropie als thermodynamische Zustandsgröße

$$\int_o dS = 0 ;$$

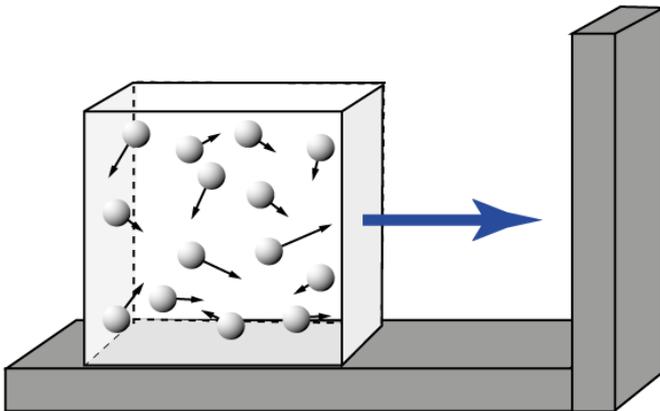
S erreicht im Endzustand (\equiv Ausgangszustand) wieder den Ausgangswert.

\Rightarrow **S, die Entropie** eignet sich als **Zustandsgröße**.

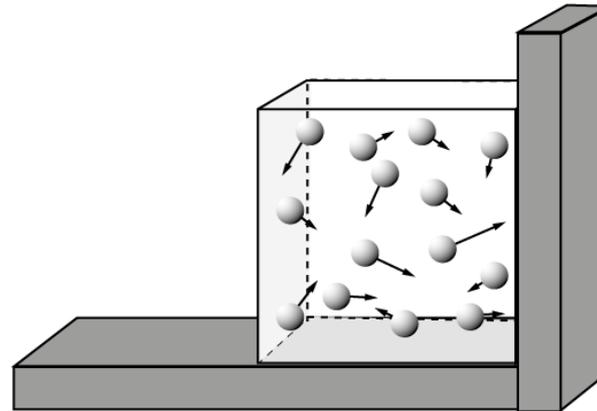
- Eine Zustandsgröße charakterisiert den Zustand eines Systems und ist unabhängig von dem Weg, auf dem der Zustand erreicht wurde.

Die Entropie S als Maß für die "Unordnung"

$$\vec{v}_{\text{Gas}} = \sum_{\text{alle Teilchen}} \vec{v}_i = \vec{v}_{\text{Behälter}};$$



$$\vec{v}_{\text{Gas}} = \vec{v}_{\text{Behälter}} = 0;$$



Die Entropie nimmt zu, ΔS ist positiv.

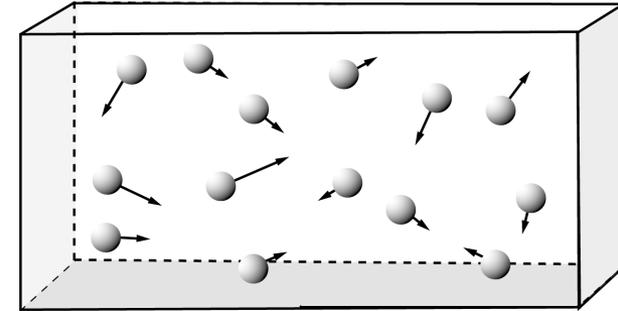
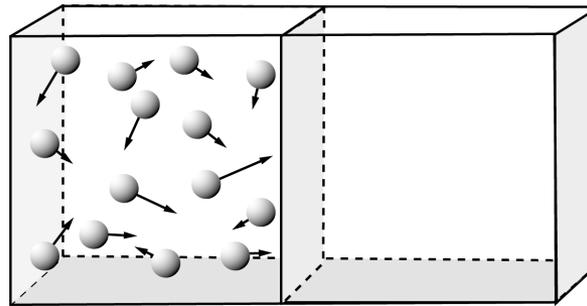
Die Entropie ist ein Maß für die "Unordnung".
(gilt allgemein)

Entropieänderung bei freier Expansion eines idealen Gases

ideales Gas

völlige Wärmeisolierung $\delta Q = 0$;

freie Expansion: $\delta W = 0$;



$$\Delta U = 0 ;$$

die innere Energie ändert sich nicht

aber:

$$\Delta S \neq 0 ;$$

die Entropie ändert sich

– die Änderung ist so groß wie die Arbeit zum rev. "Zurückschieben"

$$\Delta S = \frac{\Delta Q}{T} = \frac{\Delta W}{T} \text{ für isotherme Kompression – und damit:}$$

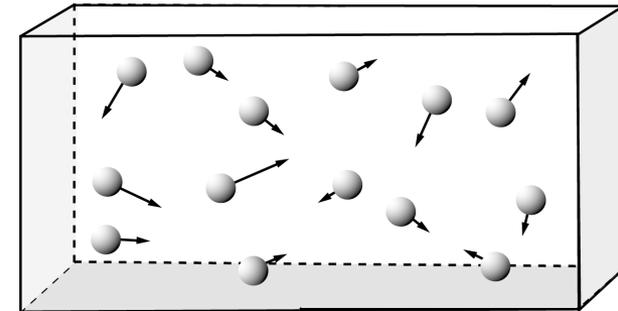
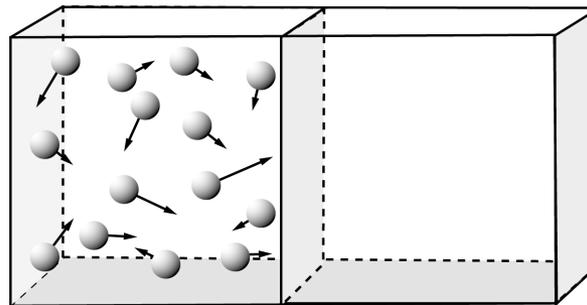
$$\Delta S = n \cdot R \cdot \ln \frac{V_2}{V_1} ;$$

Entropieänderung bei freier Expansion eines idealen Gases

ideales Gas

völlige Wärmeisolierung $\delta Q = 0$;

freie Expansion: $\delta W = 0$;



$$\Delta U = 0 ;$$

die innere Energie ändert sich nicht

aber:

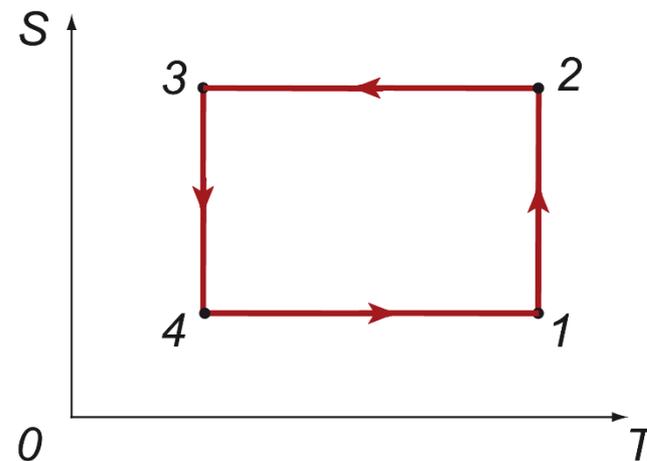
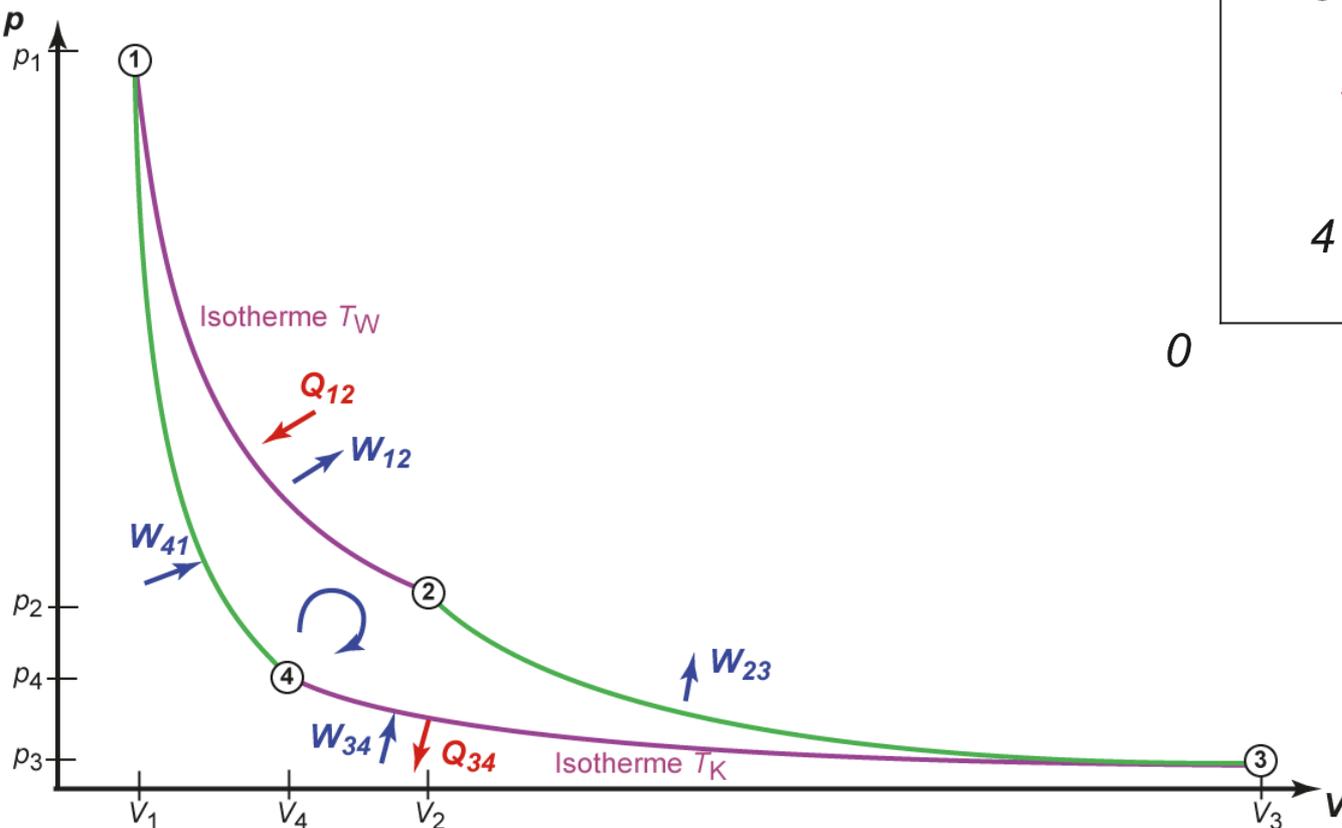
$$\Delta S \neq 0 ;$$

die Entropie ändert sich

**Allgemein gilt:
Bei irreversiblen Prozessen nimmt
die Entropie des Universums zu.**



Entropieänderung beim Carnot-Prozess

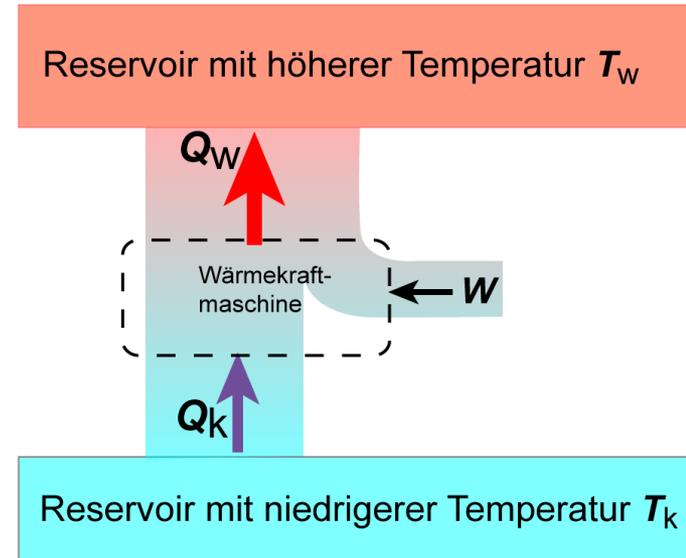




Der dritte Hauptsatz der Thermodynamik

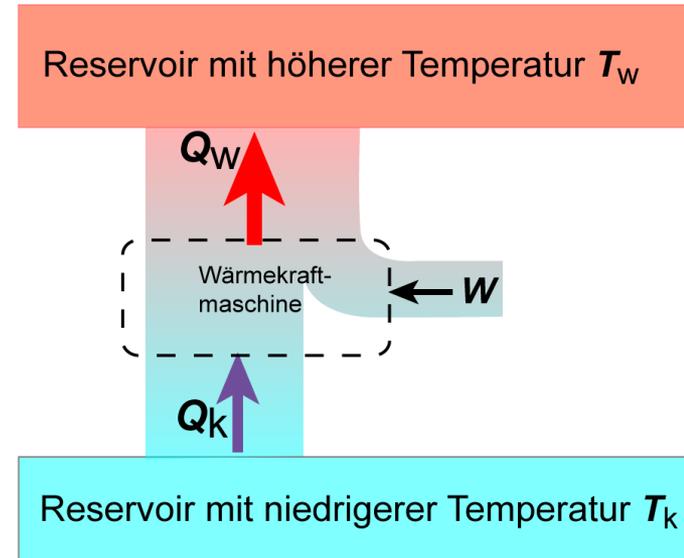


Kältemaschine (Carnot-Prozess)



Kältemaschine

$$\varepsilon_{KM} = \frac{T_k}{T_w - T_k} ;$$



wenn $T_k \rightarrow 0$; dann $\varepsilon_{KM} \rightarrow 0$; "nutzlose Maschine"

=>

Der absolute Temperaturnullpunkt ist unerreichbar!
(3. Hauptsatz der Wärmelehre)