

F. Herrmann

Drei Beschreibungsebenen der Thermodynamik

1. Molekularkinetische Ebene

2. Statistische Ebene

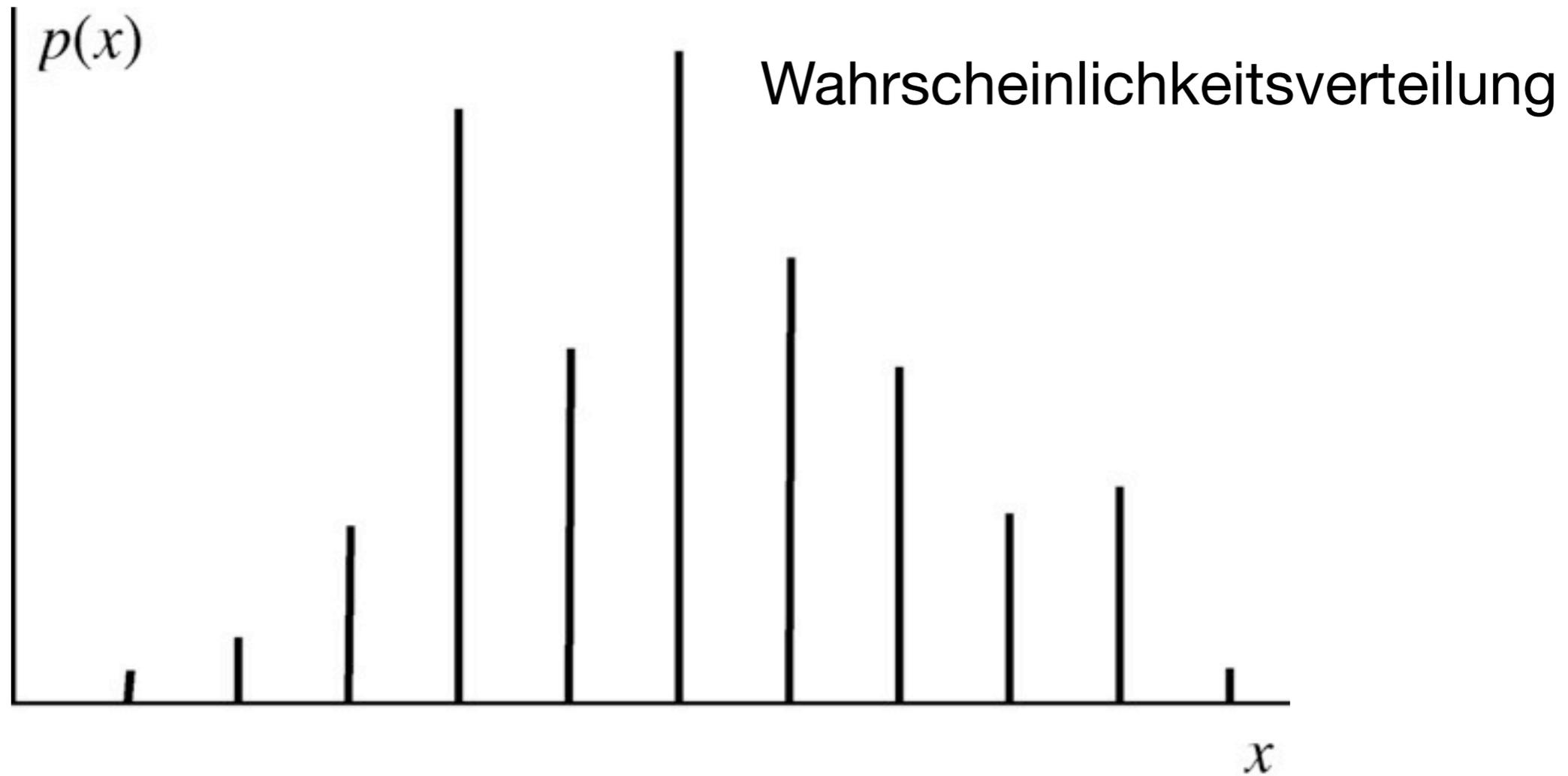
geeignet, wenn alle Teilchen dasselbe machen

3. Phänomenologische Ebene

4. Folgerungen

1. Molekularkinetische Ebene
2. Statistische Ebene
3. Phänomenologische Ebene
4. Folgerungen

2. Statistische Ebene



Mittelwert: $\bar{x} = \sum_i p(x_i) x_i$

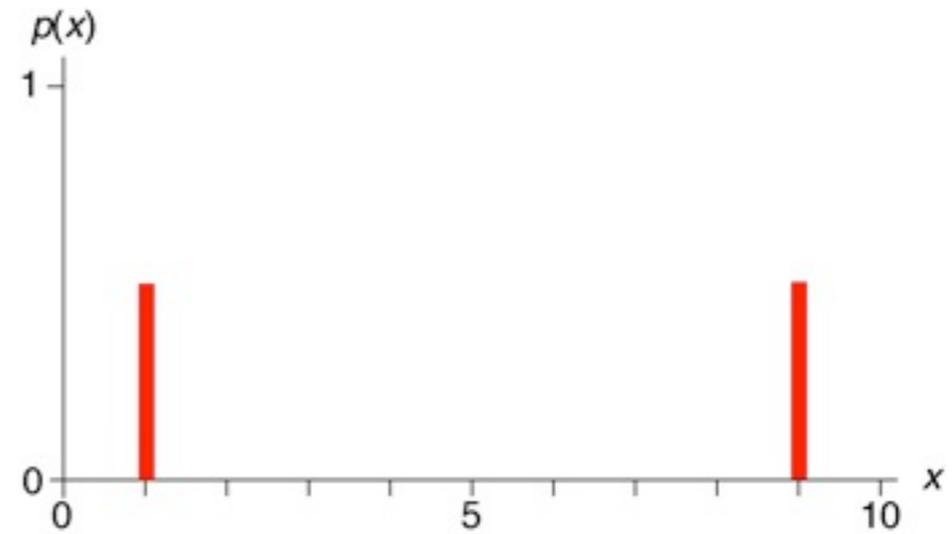
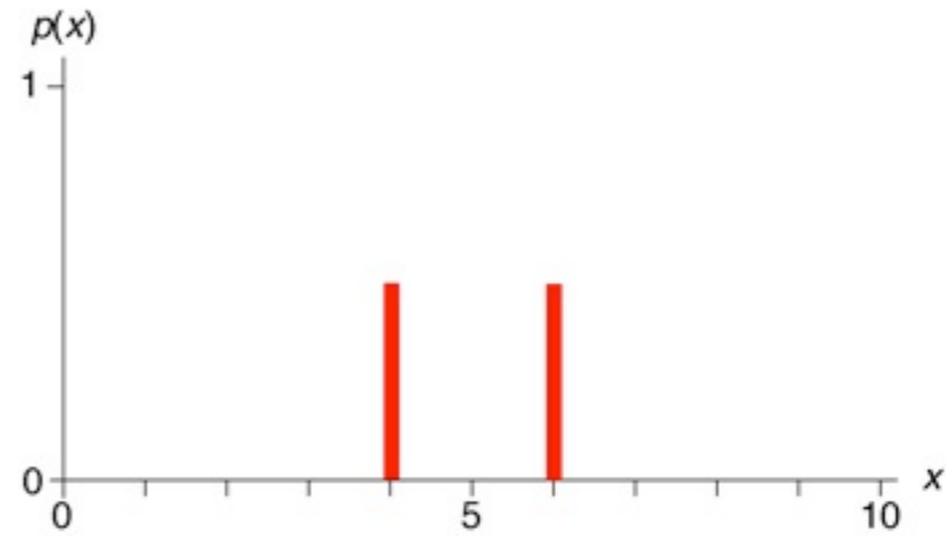
Streuung: $\overline{(\Delta x)^2} = \sum_i p(x_i) (x_i - \bar{x})^2$

$$\eta = -\sum_i p(x_i) \ln p(x_i)$$

Mittelwert: $\bar{x} = \sum_i p(x_i) x_i$

Streuung: $\overline{(\Delta x)^2} = \sum_i p(x_i) (x_i - \bar{x})^2$

$$\eta = -\sum_i p(x_i) \ln p(x_i)$$



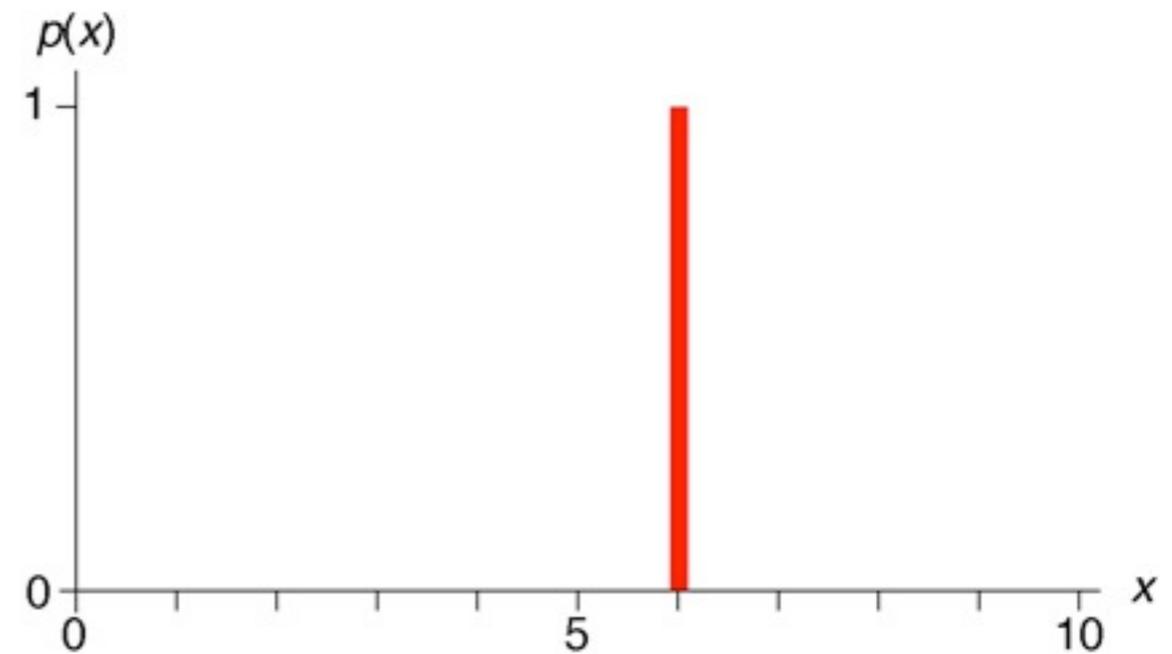
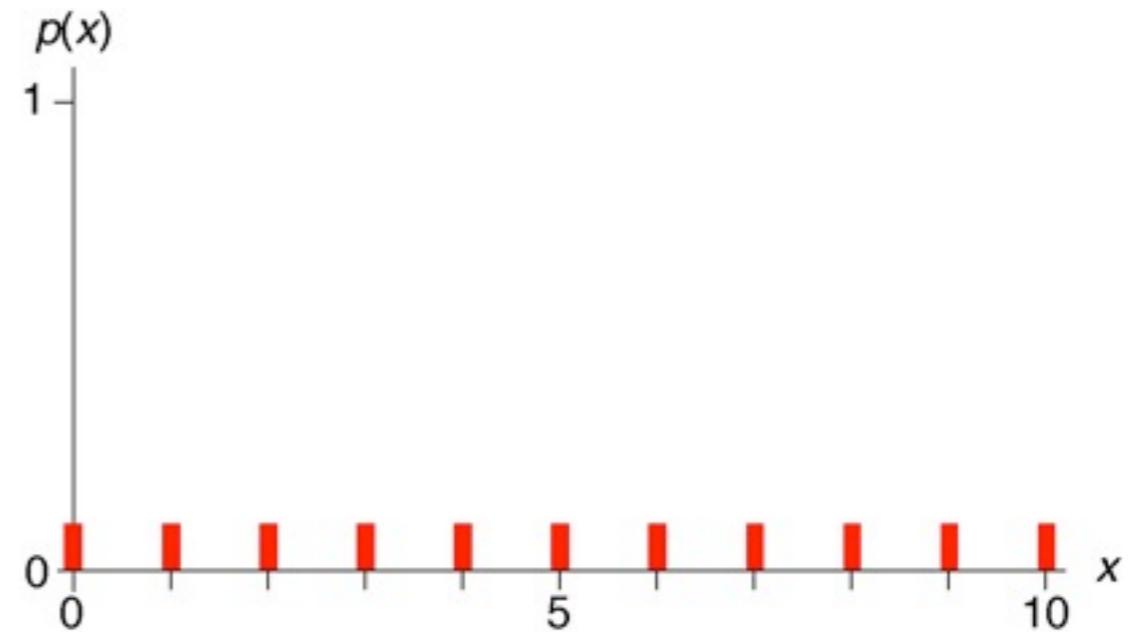
$$\eta = -\sum_i p(x_i) \ln p(x_i)$$

Zwei Spezialfälle:

$$p_1 = p_2 = p_3 = \dots = p_\Omega = 1/\Omega$$

$$\eta = -\sum_{i=1}^{\Omega} \frac{1}{\Omega} \ln \frac{1}{\Omega} = -\ln \frac{1}{\Omega} = \ln \Omega$$

$$\eta = \underbrace{0 \cdot \ln 0}_{=0} + \dots + \underbrace{1 \cdot \ln 1}_{=0} + \underbrace{0 \cdot \ln 0}_{=0} + \dots = 0$$



Makrozustand: definiert durch p, T, V, \dots

Mikrozustand: definiert durch mikroskopische Koordinaten aller Teilchen (Ort, Impuls, Drehimpuls, ...)

Gibbssches Ensemble: sehr große Zahl gleichartig präparierter Systeme
statt mit Wahrscheinlichkeiten operiert man mit Häufigkeiten

η ist bis auf einen Faktor gleich der physikalischen Entropie.

$$S = -k \sum_{i=1}^{\Omega} p_i \ln p_i$$

$k = 1,380 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$ (Boltzmann-Konstante)

Summieren über alle *Mikrozustände*

Falls

$$p_1 = p_2 = p_3 = p_4 = \dots = p_{\Omega}$$

„thermodynamisches Gleichgewicht“

$$S = k \ln \Omega$$

$$\frac{dn}{dE} = \frac{2n_0}{\sqrt{\pi}} \sqrt{\frac{E}{(ka)^3}} \cdot e^{-\frac{E-b}{ka}}$$

1. Verteilung hängt von nur zwei Parametern ab: a und b

$$\frac{dn}{dE} = \frac{2n_0}{\sqrt{\pi}} \sqrt{\frac{E}{(kT)^3}} \cdot e^{-\frac{E-\mu}{kT}}$$

2. Die Parameter haben eine einfache Entsprechung auf der dritten Ebene:

a = Temperatur

b = chemisches Potenzial

Verfahren der statistischen Physik:

Man steckt eine Verteilung hinein: Gleichverteilung über die zugänglichen Mikrozustände (A-priori-Wahrscheinlichkeit)

Man berechnet daraus Verteilung anderer Größen.

Zusammenfassung statistische Ebene:

kein thermodynamisches Gleichgewicht:

$$S = -k \sum_{i=1}^{\Omega} p_i \ln p_i$$

keine Temperatur

kein chemisches Potenzial

thermodynamisches Gleichgewicht:

$$S = k \cdot \ln \Omega$$

Verteilung wird durch zwei Parameter beschrieben:
Temperatur und chemisches Potenzial

1. Molekularkinetische Ebene
2. Statistische Ebene
3. Phänomenologische Ebene
4. Folgerungen

3. Phänomenologische Ebene

Wie viel Energie bekommt man über die Welle aus einer Gasturbine heraus?

Um wie viel nimmt die Temperatur ab, wenn man in der Atmosphäre 500 m nach oben geht?

Wie viel Entropie wird erzeugt, wenn man zwei Wassermengen unterschiedlicher Temperatur mischt?

Wie viel Wärme wird bei einer gegebenen chemischen Reaktion erzeugt?

$$\frac{dn}{dE} = \frac{2n_0}{\sqrt{\pi}} \sqrt{\frac{E}{(ka)^3}} \cdot e^{-\frac{E-b}{ka}}$$

$$\eta = -\sum_i p(x_i) \ln p(x_i)$$

$$\frac{dn}{dE} = \frac{2n_0}{\sqrt{\pi}} \sqrt{\frac{E}{(kT)^3}} \cdot e^{-\frac{E-\mu}{kT}}$$

$$S = -k \sum_{i=1}^{\Omega} p_i \ln p_i$$

Temperatur T

chemisches Potenzial μ

Entropie S

Stoffmenge n

Druck p

Volumen V

kein thermodynamisches Gleichgewicht  thermodynamisches Gleichgewicht

Entropie

1. Molekularkinetische Ebene
2. Statistische Ebene
3. Phänomenologische Ebene
4. Folgerungen

4. Folgerungen

Beschreibung der Natur auf verschiedenen Größenskalen oder Komplexitätsebenen.

Im Kleinen:

Man sucht nach dem Unteilbaren („atomos“), dem Elementaren („Elementarteilchen“)

Man hofft, dass die Beschreibung einfacher wird.

Reduktionismus

Illusion

immer neue Strukturen

Im Großen:

Man erwartet das Unübersichtliche Durcheinander.

Man befürchtet, dass die Beschreibung komplizierter wird.

Irrtum

Emergenz

immer neue Gesetzmäßigkeiten

Robert Laughlin, Physiknobelpreis 1998,
Abschied von der Weltformel