F. Herrmann

Drei Beschreibungsebenen der Thermodynamik

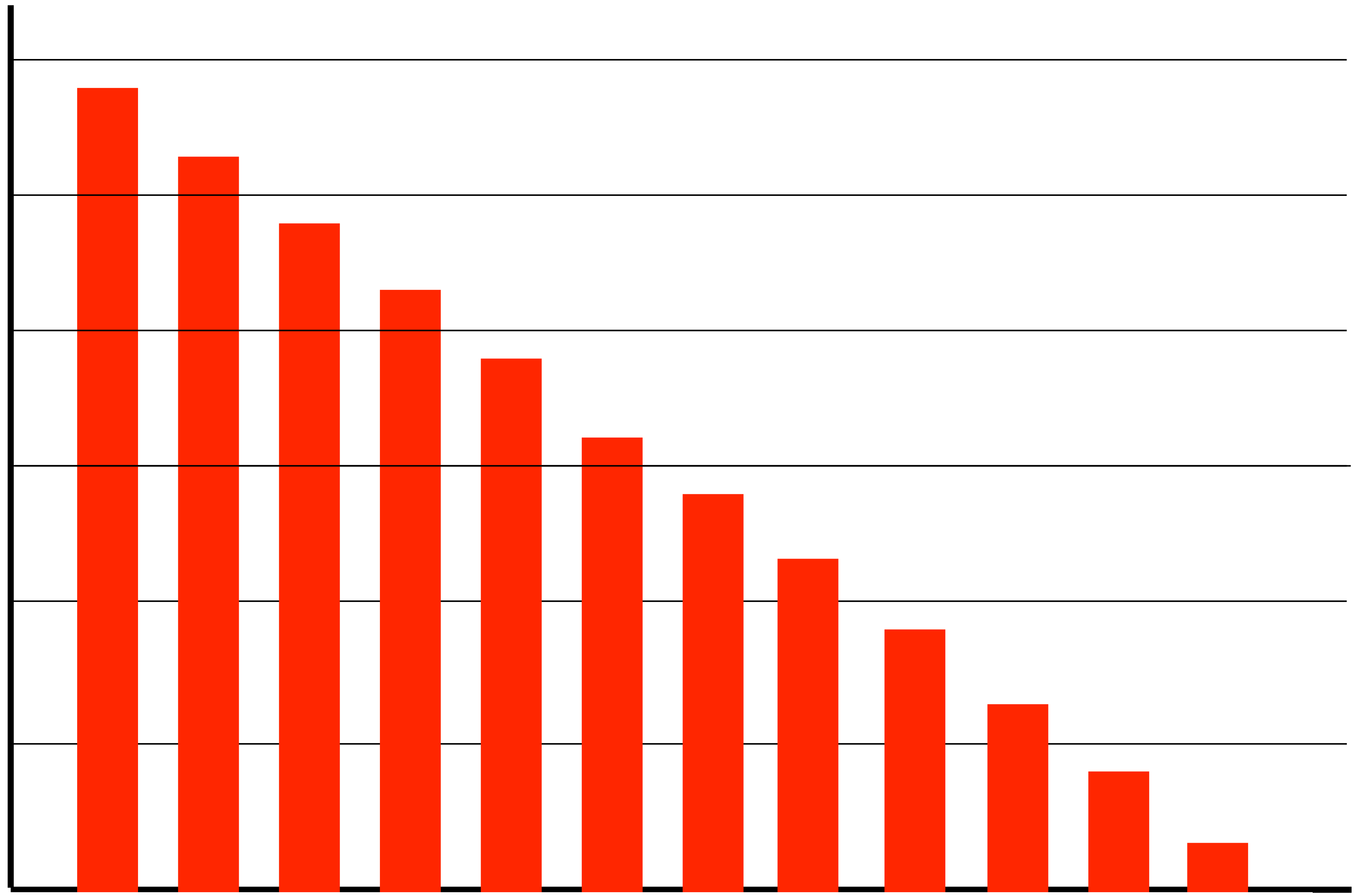
1. Molekularkinetische Ebene
2. Statistische Ebene
3. Phänomenologische Ebene
4. Folgerungen

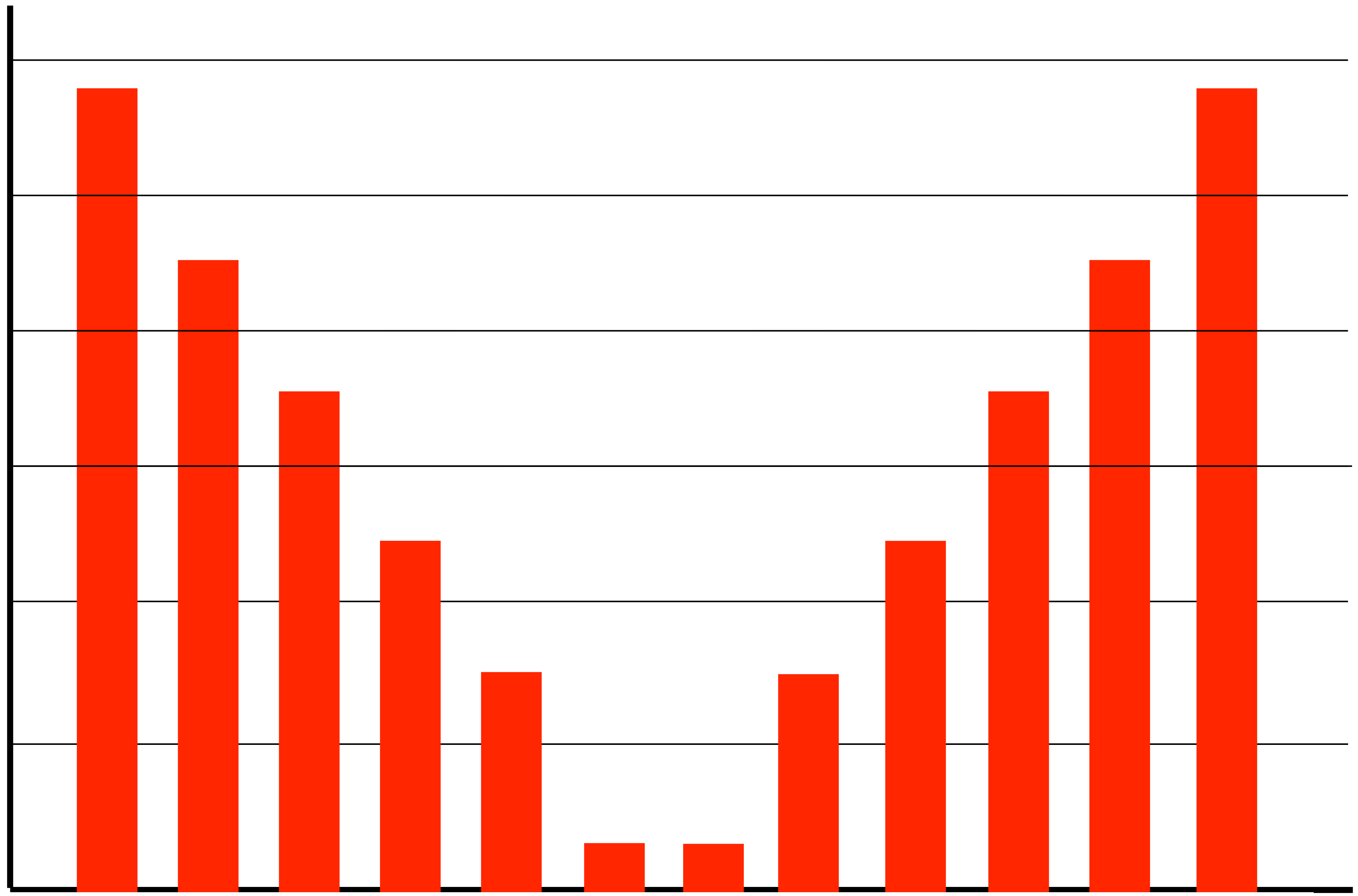
1. Molekularkinetische Ebene

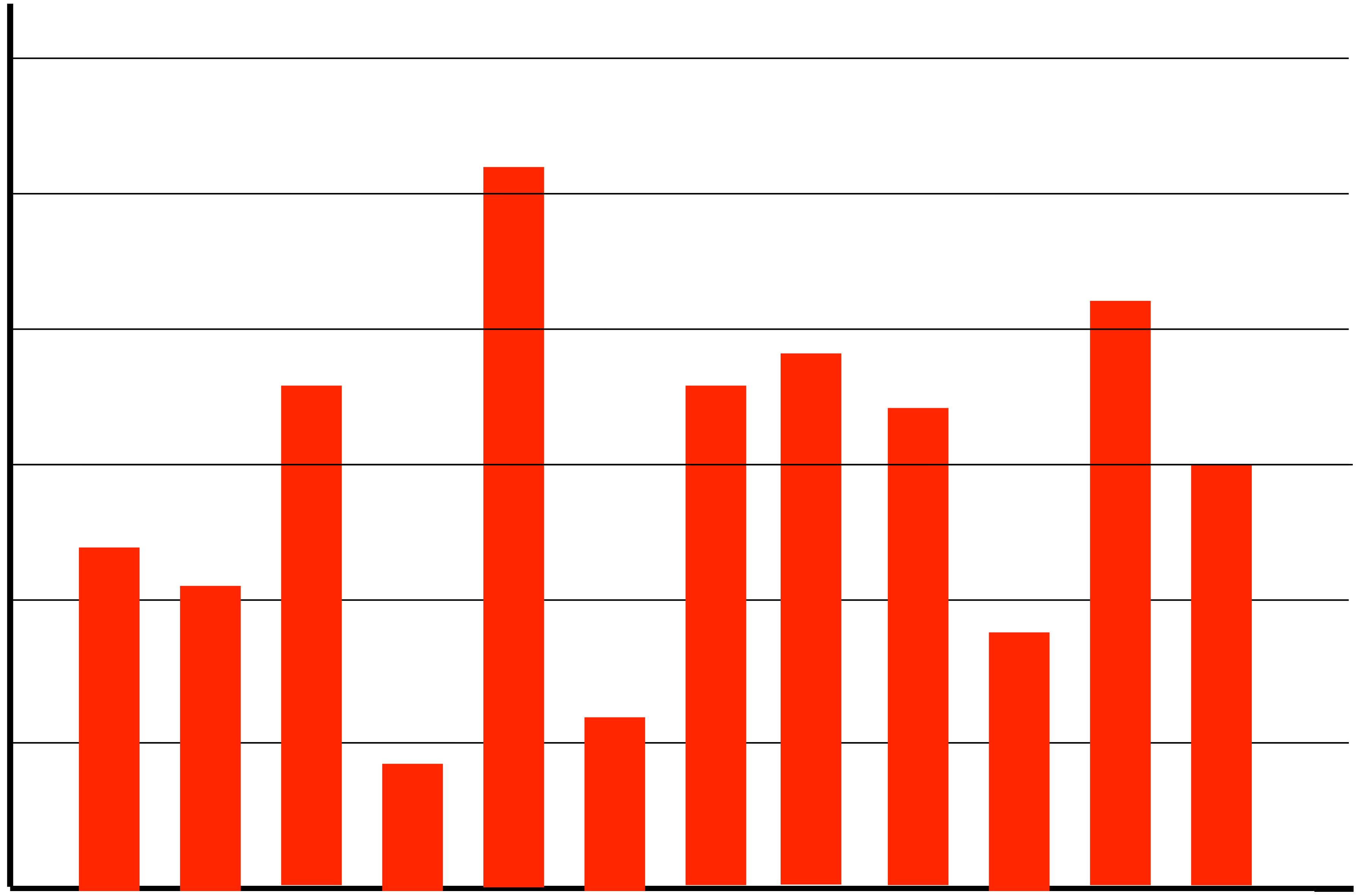
geeignet, wenn alle Teilchen dasselbe machen

2. Statistische Ebene

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







Ordnung im Reich der Entropie Januar 2010

5

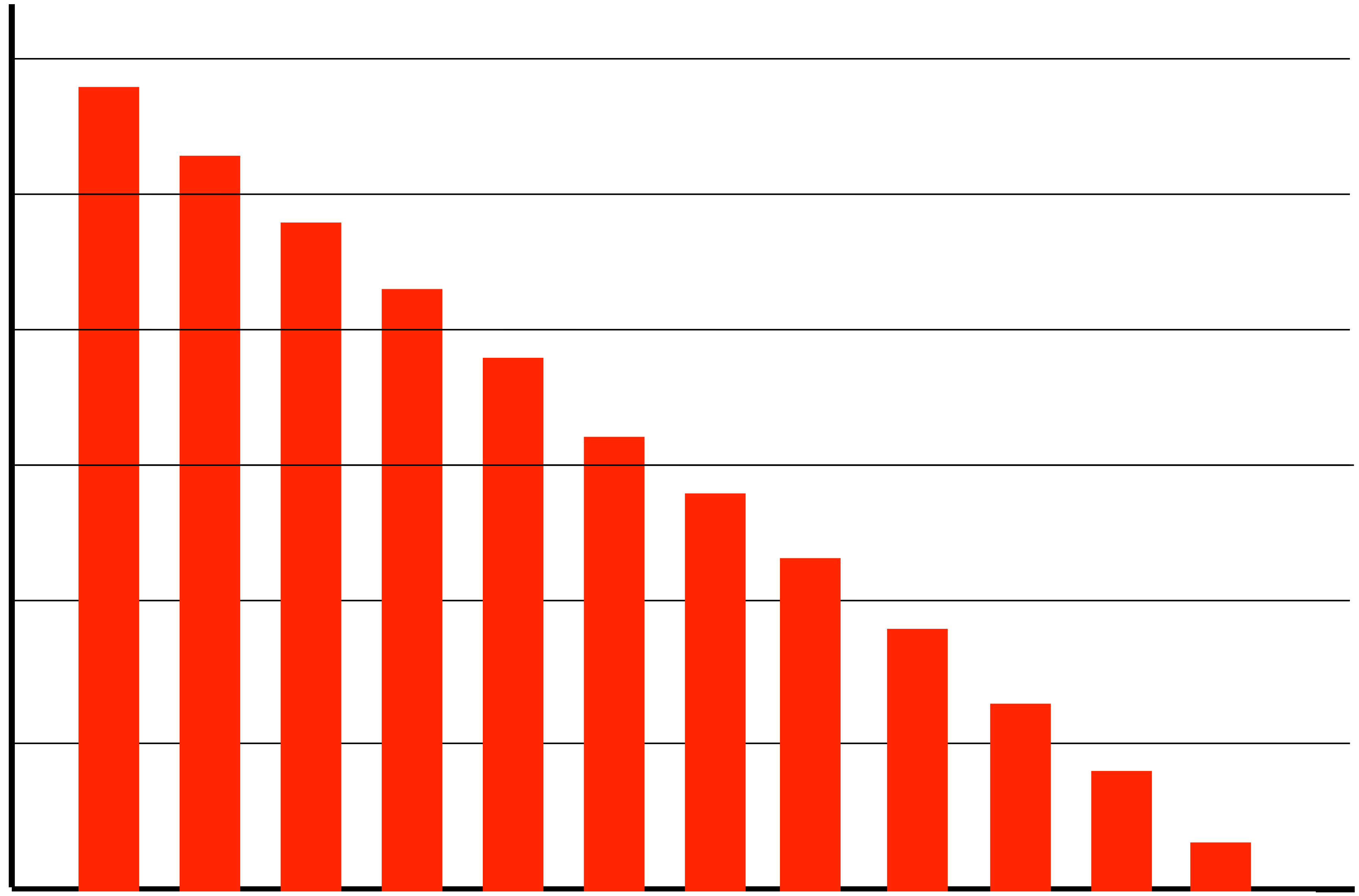
2. Statistische Ebene

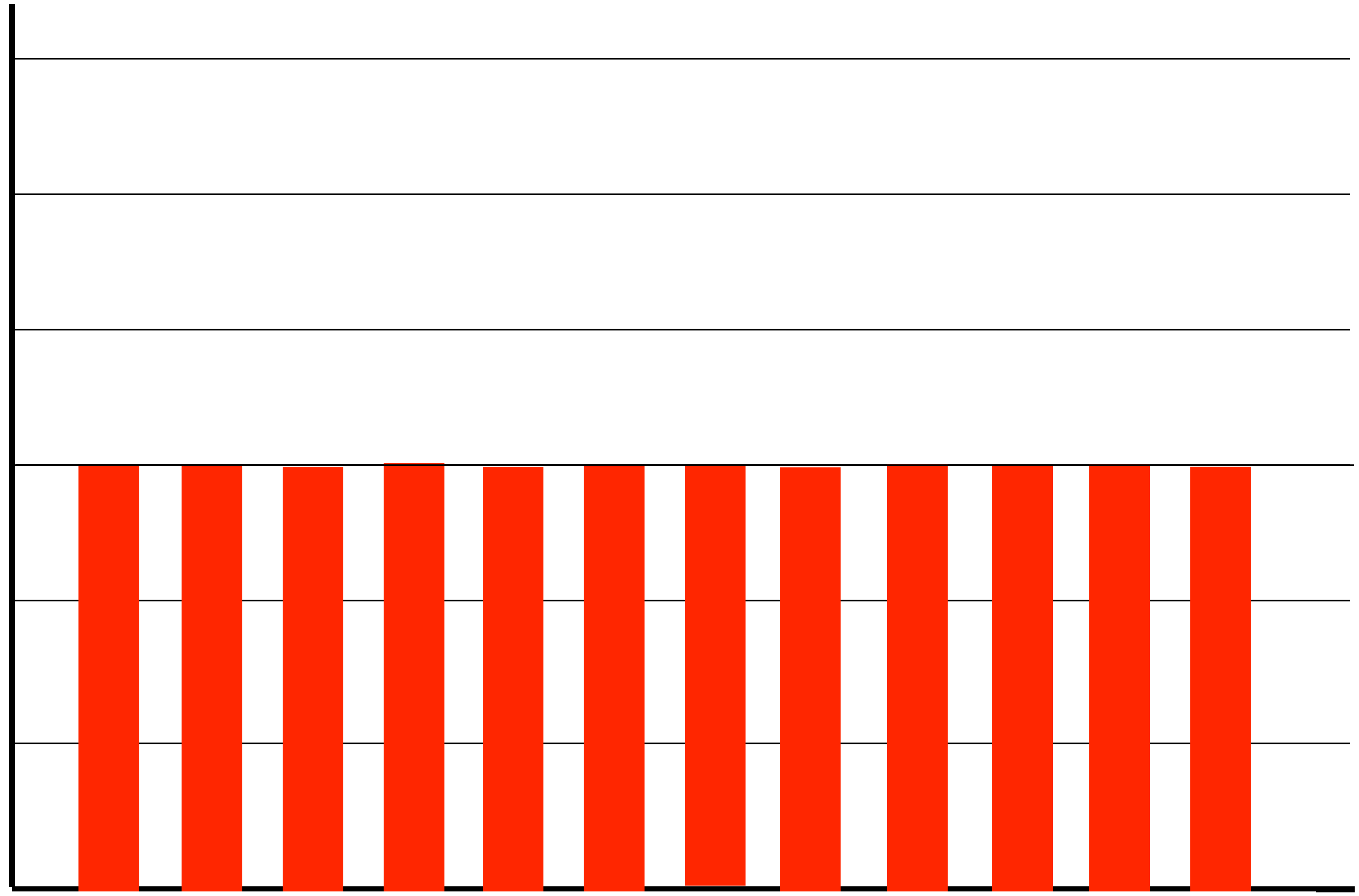
eines isolierten Systems die gleiche Besetzungswahr-
wird mit der Einführung des folgenden grundlegenden Postulates über die gleichen a priori-Wahrscheinlichkeiten geführt:

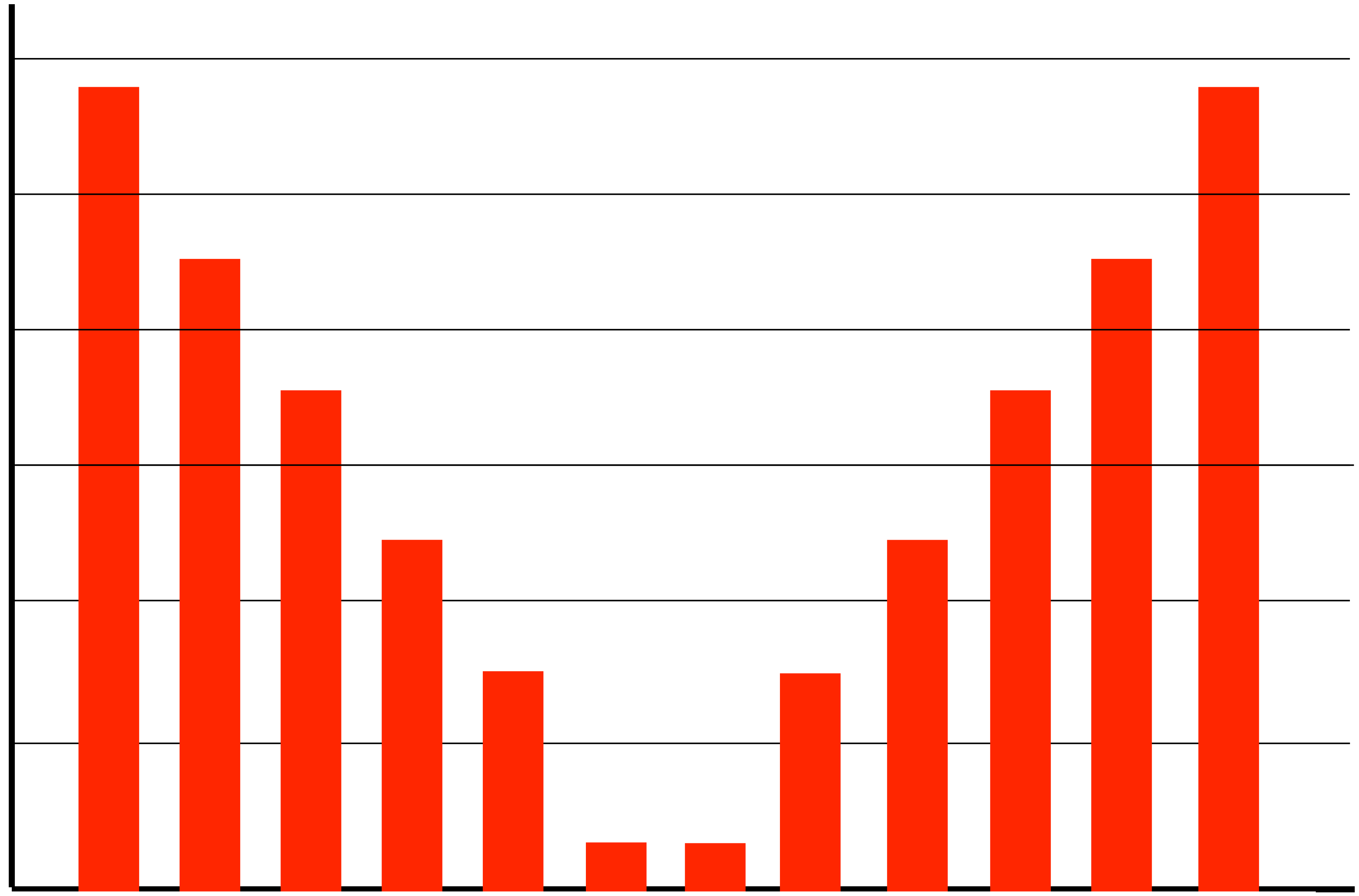
▶ Ein isoliertes System im Gleichgewicht ist gleichwahrscheinlich in jedem seiner zugänglichen Zustände [7+].

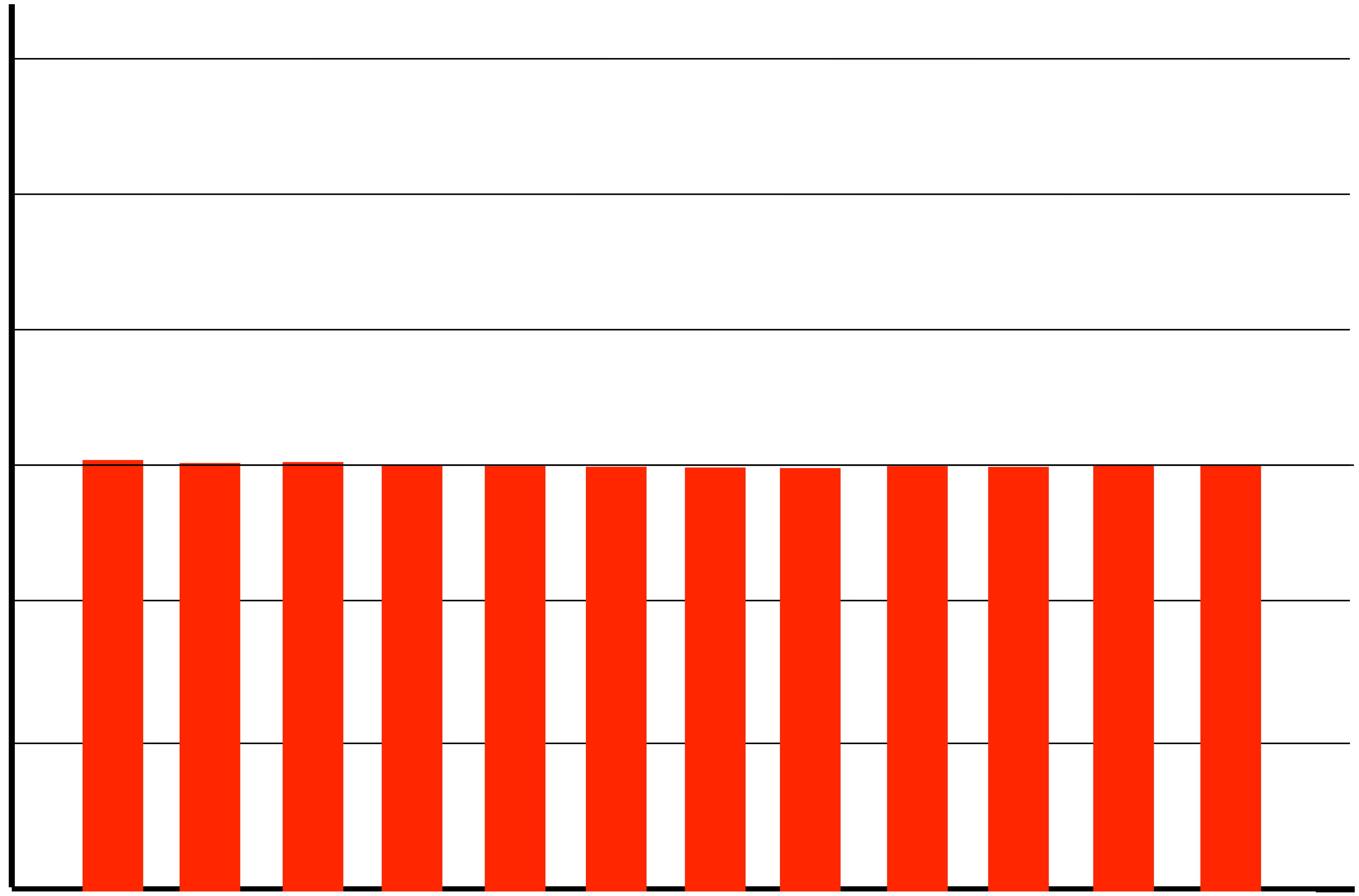
Dasselbe Postulat wird im Fall der klassischen Mechanik aufgestellt, in dem die Zustände einer Zelle im Phasenraum entsprechen. Das bedeutet bei einer Einteilung des Phasenraums in kleine Zellen gleicher Größe, daß ein isoliertes System im Gleichgewicht gleichwahrscheinlich in jeder seiner zugänglichen Phasenzellen ist [8*].

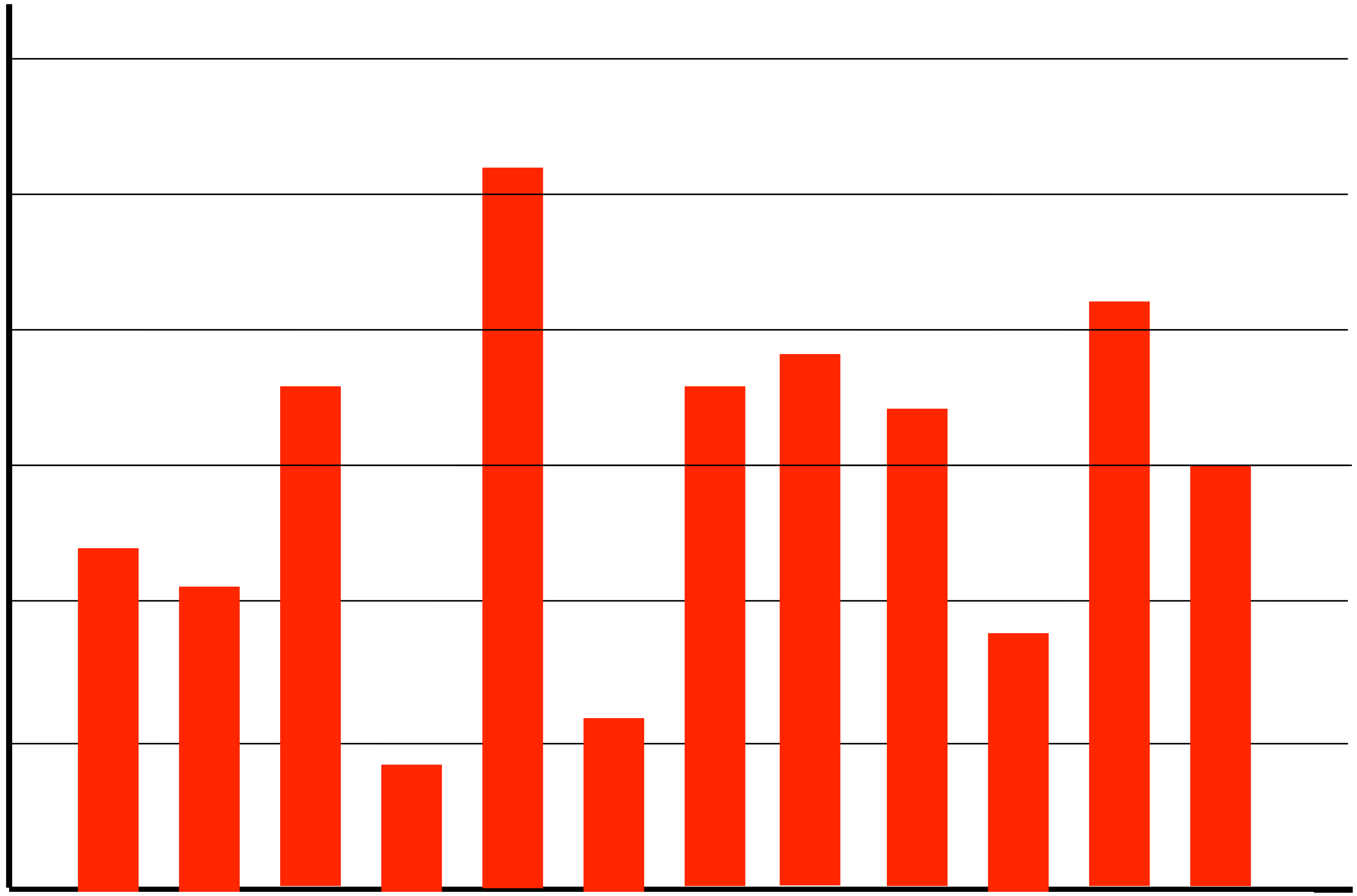
Dieses grundlegende Postulat ist außerordentlich einsichtig und widerspricht zweifellos keinem der Gesetze der Mechanik. Ob das Postulat wirklich gilt, kann na-

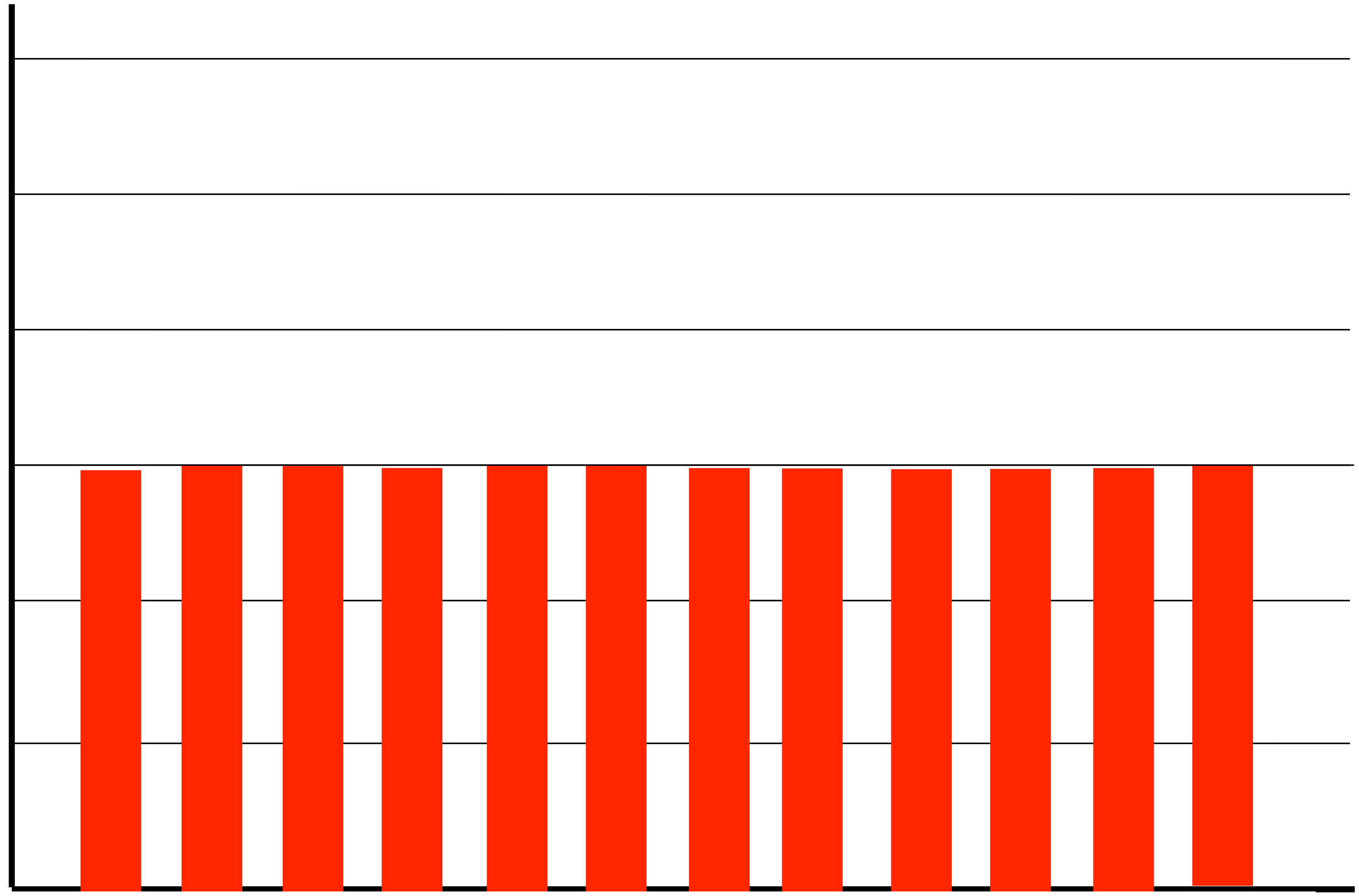


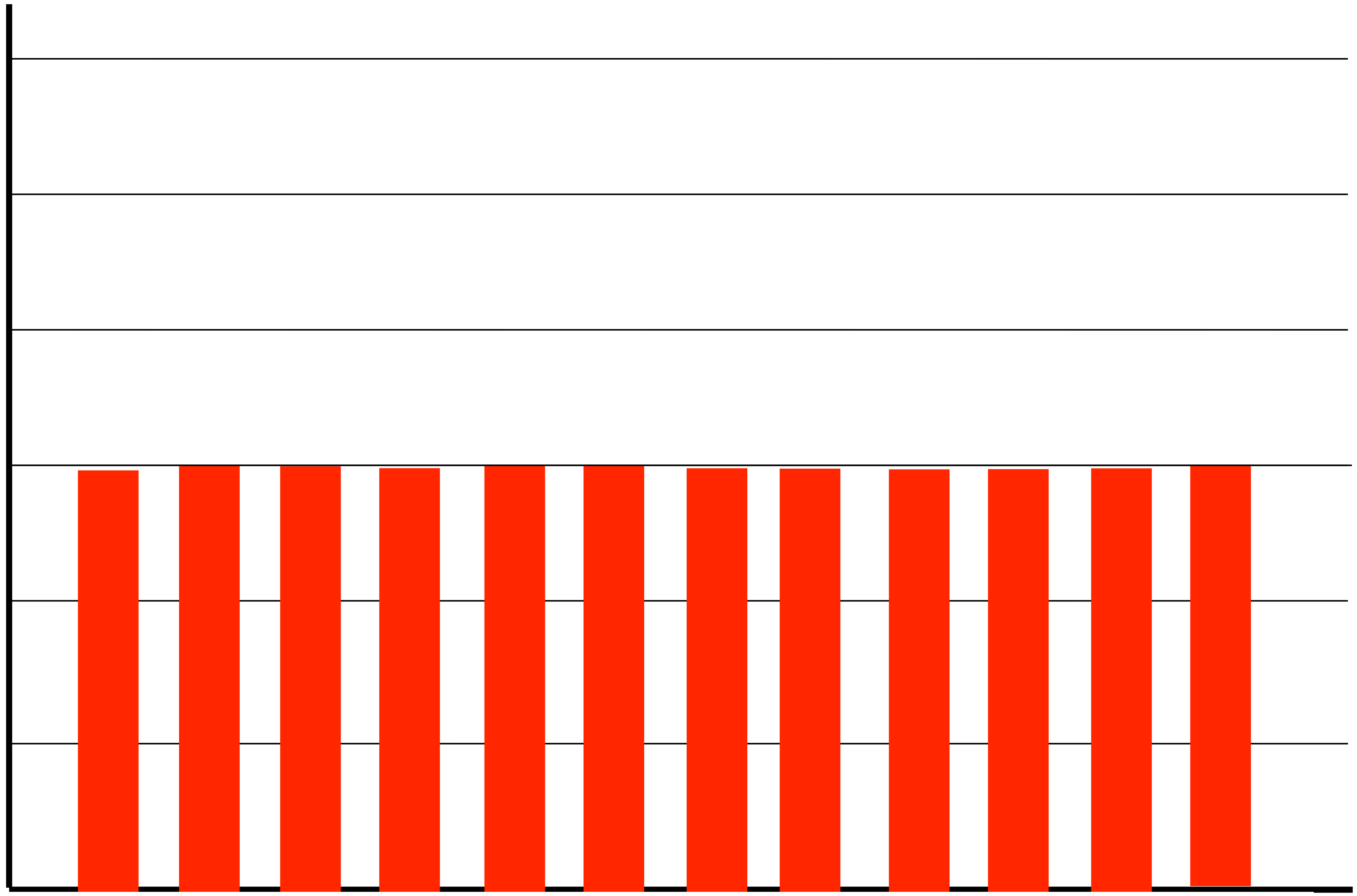












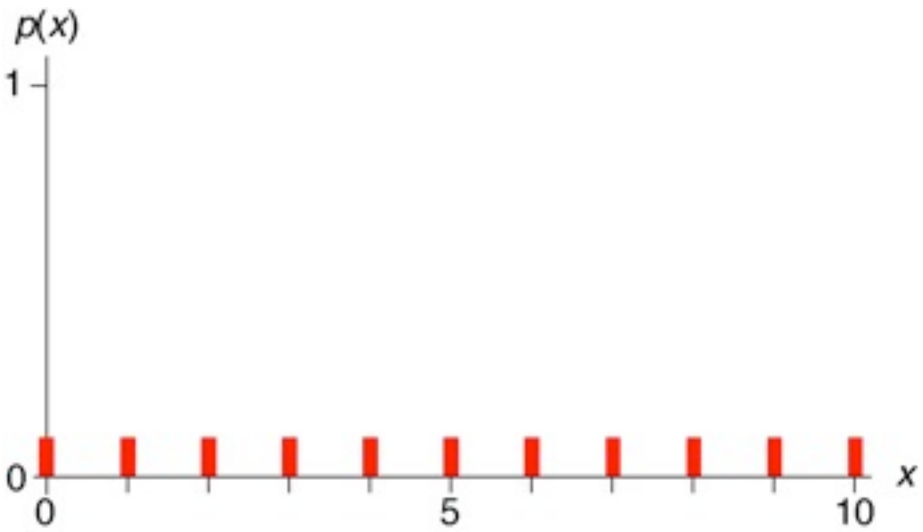
thermodynamisches Gleichgewicht

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

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

Summieren über alle *zugänglichen Zustände*

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

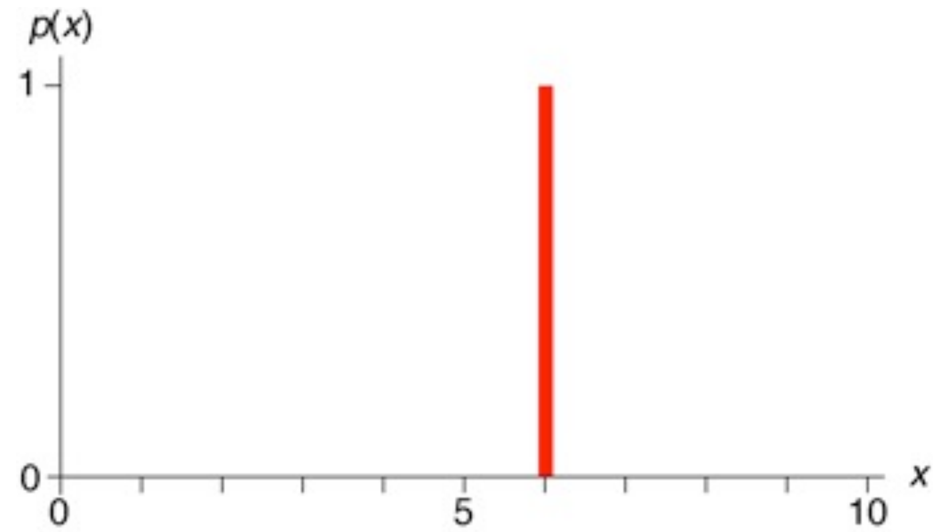


$$p_1 = p_2 = p_3 = p_4 = \ldots = p_\Omega$$

thermodynamisches Gleichgewicht

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

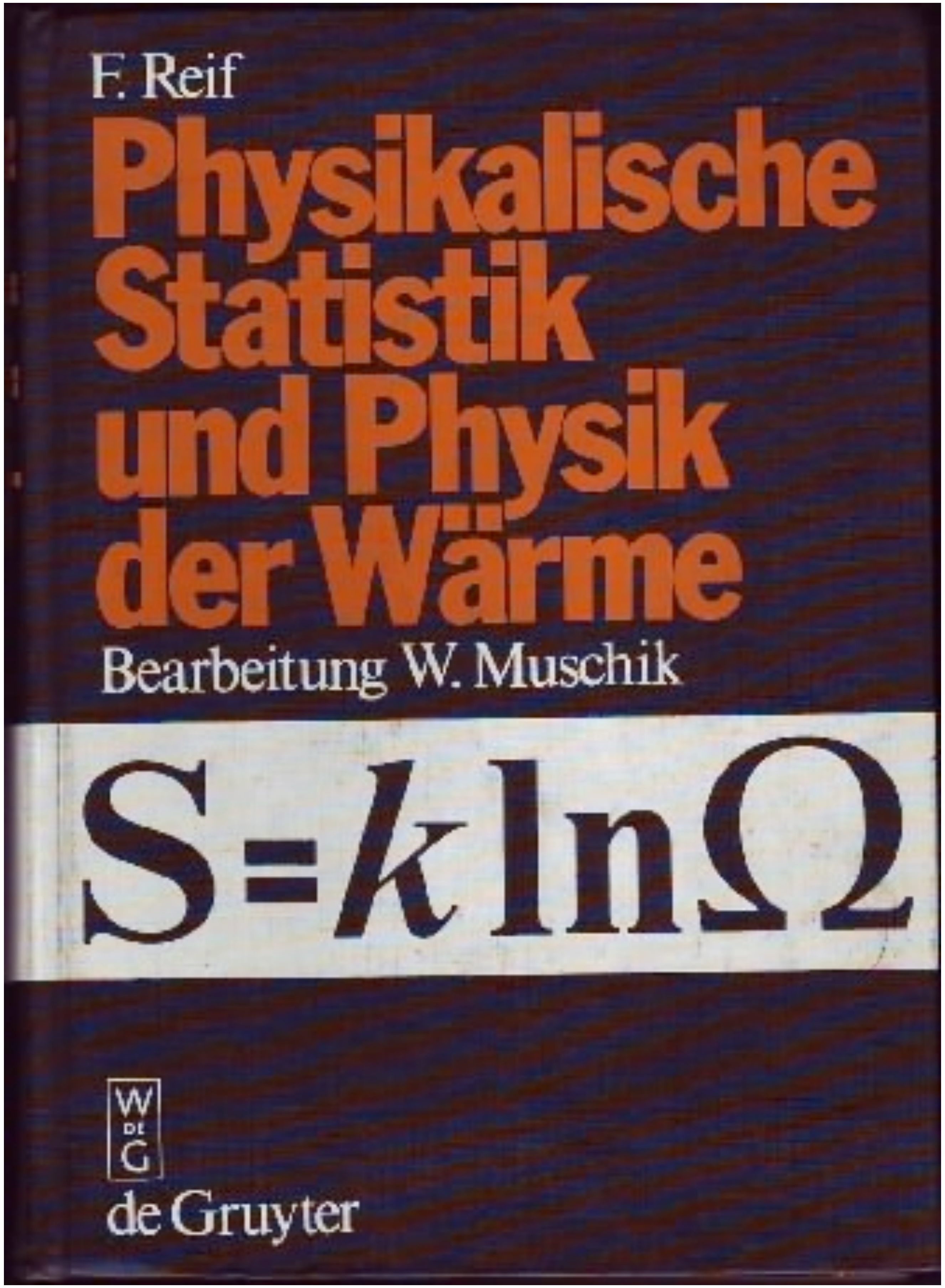
$$S = k\ln\Omega$$

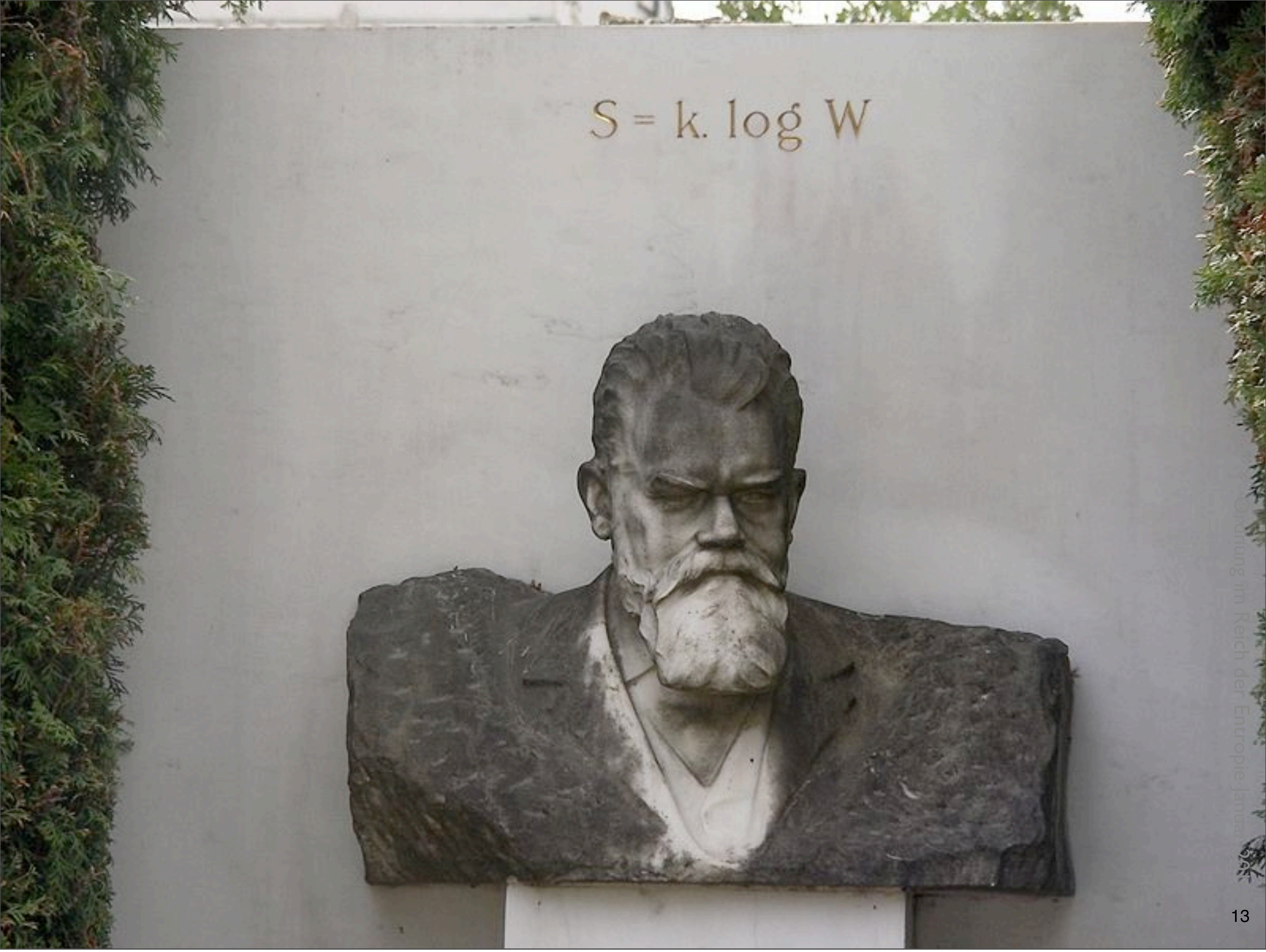


$$p_1 = p_2 = \ldots = p_{k-1} = 0$$
$$p_k = 1$$
$$p_{k+1} = p_{k+2} = \ldots = p_\Omega = 0$$

$$S = k(\underbrace{0\cdot\ln 0}_{=0} + \ldots + \underbrace{1\cdot\ln 1}_{=0} + \underbrace{0\cdot\ln 0}_{=0} + \ldots) = 0$$

$$S = 0$$


F. Reif
Physikalische Statistik und Physik der Wärme
Bearbeitung W. Muschik
S = k ln Ω
W de G
de Gruyter


S = k. log W

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

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

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

2. Die Parameter haben einen 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

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?

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.

Illusion

immer neue Strukturen

Reduktionismus

Im Großen:

Man erwartet das Unübersichtliche Durcheinander.

Man befürchtet, dass die Beschreibung komplizierter wird.

Irrtum

immer neue Gesetzmäßigkeiten

Emergenz

Robert Laughlin, Physiknobelpreis 1998,
Abschied von der Weltformel

ENDE