

## **Zwei-Niveau-Systeme, Mischungsentropie und kritische Überprüfung negativer Temperaturen**

Hans-Juergen Hoffmann  
Institut für Materialwissenschaften und –technologien : Glaswerkstoffe  
Technische Universität Berlin  
Hardenbergstraße 40  
10623 Berlin  
Deutschland

**Tel.:** 030/314-22352      **Email:** hoffmann.glas@tu-berlin.de

**Schlüsselwörter:** Zwei-Niveau-Systeme / spezifische Entropiekapazität / Entropie / Mischungsentropie / negative Temperaturen

### **Zusammenfassung**

Der Zusammenhang zwischen Thermodynamik und statistischen Eigenschaften von Quantensystemen kann mit vergleichsweise geringem mathematischem Aufwand an Hand von Zwei-Zustands-Systemen bzw. Teilchen mit zwei Zuständen gezeigt werden. Es werden grundlegende Ergebnisse für dieses Modellsystem zusammengestellt. Die Entropie solcher Systeme kann zwanglos als Mischungsentropie der Teilchen in ihrem Grundzustand und angeregten Zustand gedeutet werden. Somit wird ein Ein-Komponenten-System aus Teilchen mit zwei Zuständen als Zwei-Komponenten-System mit variablen Teilchenzahlen betrachtet. Dieses Ergebnis kann auf Systeme oder Teilchen mit mehreren unterschiedlichen angeregten Zuständen erweitert werden. In diesem Fall müssen ebenso viele verschiedene Komponenten wie die Anzahl an inneren Zuständen der Teilchen berücksichtigt werden. Die Anzahl der Teilchen jeder Komponente ist jedoch nicht konstant und hängt im thermodynamischen Gleichgewicht entsprechend der statistischen Erfordernisse von der Temperatur ab.

Aus der Literatur ist das Konzept interner negativer Temperaturen zur Beschreibung spezieller invertierter Besetzungszahlen im Fall des Nicht-Gleichgewichts bekannt. Diese Deutung wird am Beispiel von Kernspin-Systemen kritisch überprüft. Die Interpretation invertierter Besetzungszahlen durch negative absolute Temperaturen ist nicht gerechtfertigt, da von der Temperatur unabhängige Beiträge zur inneren Energie infolge des Invertierungsprozesses missachtet werden. Danach ist bei Systemen außerhalb des thermischen Gleichgewichts die Annahme negativer Temperaturen nicht gerechtfertigt. Diese Annahme ist irreführend und verwirrend. Stattdessen stellen die verschiedenen Zustände unterschiedliche Komponenten mit unterschiedlichen chemischen Potentialen, magnetischen

Momenten oder anderen Eigenschaften dar. Die vorliegende Arbeit beseitigt die Unsicherheit über negative Temperaturen. Sie zeigt, dass Prozesse außerhalb des thermischen Gleichgewichts durch Bilanzierung der unterschiedlichen Teilchensorten zusammen mit ihrer Energie und der Entropiezunahme zwanglos im Rahmen der Thermodynamik verstanden und beschrieben werden können.