



---

## Altlasten der Physik (78): Entropie und Leben

F. Herrmann

### Gegenstand

Biologische Systeme sind hoch geordnete Systeme, die spontan entstehen. Hier wird oft ein Problem gesehen. Man könnte glauben, so wird gesagt, dass die Entstehung lebender Or-

ganismen dem zweiten Hauptsatz widerspricht, demzufolge die Entropie in einem abgeschlossenen System nicht abnehmen kann. Tatsächlich, so wird dann erklärt, wird der zweite Hauptsatz aber nicht verletzt, denn biologische Systeme sind offene Systeme. Ihre Entropie könne durchaus abnehmen, wenn dabei die Entropie der Umgebung zunimmt.

## Mängel

Es wird zunächst als ein Problem, manchmal gar als Paradoxon hingestellt, dass die Ordnung eines biologischen Systems von selbst zunimmt, und dann wird das Rätsel gelöst: Wir können beruhigt sein, es geht alles mit rechten Dingen zu. Nun kann man das Thema allerdings schon in einem früheren Stadium aus der Welt schaffen, und zwar noch bevor es zum Problem oder zum Paradoxon wird. Tatsächlich ist nämlich der Entropieinhalt biologischer Systeme in keiner Weise auffällig. Ein Mensch zum Beispiel besteht zu etwa 60 % aus Wasser. Bei 25 °C hat Wasser eine Entropie von  $3,9 \text{ J}/(\text{K} \cdot \text{g})$ , bei der mittleren Körpertemperatur ist es etwas mehr. Den Rest des menschlichen Körpers bilden im Wesentlichen Proteine, Lipide und Kohlenhydrate, deren Entropie pro Masse nicht sehr verschieden ist von der anderer kondensierter organischer Verbindungen. Sie liegt also zwischen 1 und  $3 \text{ J}/(\text{K} \cdot \text{g})$ . Es ist daher nicht schwer, ein nichtbiologisches „Vergleichssystem“ zu konstruieren, das mit dem Menschen nicht nur in Masse, Volumen und Temperatur, sondern auch noch in der Entropie übereinstimmt. Eine Besonderheit des biologischen Systems ist an der Entropie nicht zu erkennen.

Vergleicht man den Menschen gar mit einem Haufen Sand derselben Masse und derselben mittleren Temperatur, so schneidet er, was die Entropie betrifft, sogar viel schlechter ab. Die Entropie des Sandes beträgt, da er aus kristalliner Materie besteht, nur etwa  $1/4$  der des Menschen.

Beim Wachsen eines biologischen Systems nimmt die Entropie übrigens nicht ab, sondern zu, und zwar weil die Masse des Systems zunimmt. Wenn ein Mensch um 2 kg zunimmt, so wächst seine Entropie um etwa  $4 \text{ kJ}/\text{K}$ . Die Entropie ist also keine Größe, deren Werte sich an leben-

den Systemen auffälliger verhalten, als die von Masse oder Volumen.

## Herkunft

Es kommt wohl einiges zusammen. Erstens: Die nichtwissenschaftlichen Konnotationen der Entropie. Ihr wird offenbar zugetraut, sich im Zusammenhang mit einem so komplexen Vorgang wie dem organischen Leben irgendwie charakteristisch zu verhalten. Zweitens: Die Unkenntnis ihrer Werte (die man übrigens leicht in Tabellenwerken oder im Internet findet). Drittens: Der Versuch, sich von der Entropie eine Anschauung über die Unordnung zu bilden, was im Prinzip durchaus korrekt, aber offenbar keine besonders praktische Methode zur Abschätzung der Größenordnung ihrer Werte ist.

## Entsorgung

Man führe die Entropie ein als Wärmemaß, sodass der Lernende eine klare Vorstellung von den Werten der Größe erhält. Die Vermutung, dass die Entropie von biologischen Systemen irgendeine Besonderheit zeigt, stellt sich dann erst gar nicht ein.

---

### Anschrift des Verfassers:

Prof. Dr. *Friedrich Herrmann*, Abteilung für Didaktik der Physik, Universität, 76128 Karlsruhe

---