

---

## Thermodynamik und Indeterminismus

### 2.1 Entropie und die Unumkehrbarkeit der Zeit

Die Anfänge der Wärmelehre, der *phänomenologischen Thermodynamik*, wie man seit dem Entstehen der statistischen Thermodynamik sagt, bilden Arbeiten von N. L. S. Carnot am Beginn des 19. Jahrhundert. Darin geht es um den Zusammenhang von Größen wie Temperatur, Druck und Volumen eines Gases, vorwiegend in Gleichgewichtszuständen und ohne Beachtung der atomaren Strukturen und Vorgänge. Für uns ist hier nur der zweite Hauptsatz dieser Theorie von Interesse, den Rudolf Clausius 1865 mit Hilfe des Begriffs der Entropie formuliert hat. Von dieser Größe interessiert uns wiederum nicht die inhaltliche Bestimmung, sondern allein, dass sie eine Größe ist, die bei der Entwicklung abgeschlossener Systeme nicht abnehmen kann.

Die Prozesse, welche die klassische Mechanik der Massenpunkte beschreibt, sind umkehrbar. Ihre Gleichungen zeichnen keine Richtung aus, in der die Vorgänge ablaufen. Anders sieht es in der Mechanik von Flüssigkeiten aus. Wir beobachten, dass ein Tropfen Wasser in einen Teich fällt, dort Wellen erzeugt, die sich kreisförmig und mit abnehmender Amplitude ausbreiten bis die Bewegung endlich zur Ruhe kommt. Es kommt aber nicht vor, dass sich in einem ruhigen Teich kreisförmige Wellen bilden, deren Amplitude zum Zentrum hin zunimmt, bis sich aus dem Wasser plötzlich ein Tropfen in die Luft erhebt. Solche Oberflächenwellen werden zwar durch Differentialgleichungen beschrieben, die für jeden Punkt der Oberfläche und jeden Zeitpunkt seine Verschiebung aus der Ruhelage, seine Geschwindigkeit, die Amplitude und Frequenz seiner Schwingung angeben, die Unumkehrbarkeit des Vorgangs ergibt sich aber daraus, dass der Wassertropfen eine gedämpfte Schwingung auslöst, bei der durch Reibung ein Energieverlust eintritt. Bei einer Umkehrung des Vorgangs wäre also in höchst kompli-

zierter Weise Energie zuzuführen. Auch nach den Gleichungen der klassischen Elektrodynamik können alle Prozesse auch in umgekehrter Richtung ablaufen. Auch sie bilden keinen Anhalt für die Unumkehrbarkeit der Zeit. Nach dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik ist die Entwicklung abgeschlossener thermodynamischer Systeme hingegen nicht umkehrbar, da ihre Entropie nicht abnehmen kann. Das ist der historisch erste physikalische Grund für die Annahme einer Unumkehrbarkeit der Zeit.

Bei der Umkehrbarkeit der Zeit geht es nicht um eine Umkehrung der zeitlichen Ordnung, so dass der 24. März auf den 25. März folgt, sondern um die Umkehrbarkeit aller Vorgänge, die Möglichkeit, dass ihre Stadien auch in umgekehrter Reihenfolge auftreten. Die Zeit ist umkehrbar, wenn alle Prozesse umkehrbar sind, unumkehrbar, wenn es einige unumkehrbare Prozesse gibt. Thermodynamische Prozesse belegen also die Unumkehrbarkeit der Zeit.

## 2.2 Die kinetische Gastheorie

Die kinetische Theorie der Gase versucht deren Verhalten vom atomaren Geschehen in ihnen her zu verstehen. Sie setzt damit den Atomismus voraus, der sich dann auch aufgrund ihrer Erfolge durchgesetzt hat. Sie ist eine Anwendung der statistischen Mechanik, die Wahrscheinlichkeitsaussagen über mechanische Massenzustände und Massenvorgänge macht, die sich nicht im Detail erfassen lassen. Die statistische Mechanik insgesamt und die kinetische Gastheorie im Besonderen ist von James Clerk Maxwell und Josiah William Gibbs und vor allem von Ludwig Boltzmann entwickelt worden. Von ihm stammt insbesondere die statistische Deutung der Entropie.<sup>11</sup> In der statistischen Thermodynamik wird die Temperatur eines Gases z. B. als mittlere kinetische Energie seiner Moleküle

---

<sup>11</sup> Vgl. seine Arbeit »Über die Beziehung zwischen dem zweiten Hauptsatz der mechanischen Wärmelehre und der Wahrscheinlichkeitsrechnung respektive den Sätzen über das Wärmegleichgewicht« in den Sitzungsberichten der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften zu Wien von 1877.