

Zur Entstehung Thermodynamischer Gesetze

Martin Janßen

(Dated: December 31, 2020)

Die thermodynamischen Gesetze geben u.a. zwei ganz universelle Erfahrungen wieder: (1.) Energie ist stets erhalten, kann sich aber in viele Formen umwandeln. (2.) Vorgänge laufen von alleine nur in einer bestimmten Reihenfolge ab. Die in (2.) beschriebene Irreversibilität wird in den eigentlich dynamischen Gesetzen der Physik (Newton, Maxwell, Einstein, Schrödinger) gerade nicht auf offensichtliche Weise erfasst - ja sie stehen scheinbar im direkten Widerspruch dazu.

Deshalb ist man an einer möglichst allgemeingültigen Formulierung der Thermodynamischen Gesetze interessiert - ohne Rückgriff auf eine eigentlich dynamische Theorie. Das gelingt in der axiomatischen Thermodynamik (Clausius, Caratheodory, Lieb u. Yngvason), in der die Entropie als Zustandsgröße zur Ordnung von alleine ablaufenden Prozessen dient und damit auch als Zustandsgröße, die den umgangssprachlichen Begriff der Wärme erfasst.

Mit der statistischen Deutung (Boltzmann, Einstein, Gibbs) der Entropie als extensives Maß der Verteiltheit von Energie auf mögliche Zustände wurde eine neue Interpretation eröffnet sowie Berechnungsmöglichkeiten für Zustandsgleichungen der Materie. Vorgänge verlaufen natürlich in der überwältigenden Mehrheit der Fälle so, dass dabei die Verteiltheit der Energie auf mögliche Zustände zunimmt. Eine Begründung dieser statistischen Thermodynamik im Rahmen eigentlicher dynamischer Gesetze steht dabei weiter aus bzw. erscheint widersprüchlich.

Man kann die Irreversibilität aus einer Dynamik für offene Systeme als dynamischen Phasenübergang mit Brechung der Zeitumkehrsymmetrie deuten. Ein System ist an eine "Umgebung" (die sich räumlich auch innerhalb befinden kann) aus sehr vielen Variablen gekoppelt, deren Dynamik nicht mehr im Detail aufgelöst werden kann und nur mit einer Energiedichte in die effektive Dynamik des offenen Systems eingeht. Das erzeugt einen Relaxator-Anteil in der Dynamik, der die Irreversibilität erfasst. Der Zugang beschreibt, dass i.A. offene Systeme nach einer jeweils charakteristischen Relaxationszeit in einen eindeutigen Grundzustand relaxieren, der sta-

tionär ist und sowohl die Energieerhaltung respektiert als auch eine Verteiltheit der Energie erfasst. Der Grundzustand ergibt sich aus einer stationären klassischen Master-Gleichung, die dem Relaxator zugeordnet ist. Die kanonischen Verteilungen der statistischen Thermodynamik lassen sich damit begründen.

Zur Einstimmung in die Vorlesung sollten Sie sich die folgenden Fragen stellen und versuchen sie für sich zu beantworten:

1. Wieso baut man bei Wärmekraftwerken eigentlich Kühltürme, wenn man doch soviel Energie zum Heizen aufwendet?
2. Was verstehen Sie unter dem Begriff Irreversibilität?
3. Welche Temperatur hat ein Gas aus drei Neutrinos?
4. Haben Sie den Eindruck, Thermodynamik gut zu verstehen?
5. Wie würden sie die Stellung der Thermodynamik im Gefüge der Theoretischen Physik charakterisieren?
6. Wie würden Sie im Rahmen der Newtonschen oder Schrödinger Mechanik das Streben eines makroskopischen Systems ins Gleichgewicht beschreiben?

Zwei Leseempfehlungen zum Einstimmen

- L.D. Landau, E.M. Lifshitz: In Lehrbuch der Theoretischen Physik, Statistische Physik Teil 1, Grundprinzipien der Statistik, Realisationszeit S. 5
- A. Thess: Was ist Entropie? Eine Antwort für Unzufriedene. Forschung im Ingenieurwesen. 72. 11-17. 10.1007/s10010-007-0063-7 (2008)

Weiterführende Literatur

- [1] M. Janßen, Generated dynamics of Markov and quantum processes, Springer, Berlin (2016).
- [2] M. Janßen, On Generated Dynamics for Open Quantum Systems: Spectral Analysis of Effective Liouville , arXiv:1707.09660 [quant-ph] (2017).

- [3] M. Janßen, Equation of Motion for Open Quantum Systems incorporating Memory and Initial Correlations , arXiv:1810.06458 [quant-ph] (2018).
- [4] N.G. van Kampen, *Stochastic Processes in Physics and Chemistry*, 2nd edn., North-Holland, Amsterdam (1997).
- [5] H. Risken, *The Fokker-Planck Equation*, 2nd. edn., Springer, Berlin, (1989).
- [6] R. Alicki, Invitation to quantum dynamical semigroups, arXiv:quant-ph/0205188v, (2002).
- [7] R. Alicki, R. Kosloff, Introduction to Quantum Thermodynamics: History and Prospects. In: Binder F., Correa L., Gogolin C., Anders J., Adesso G. (eds) *Thermodynamics in the Quantum Regime. Fundamental Theories of Physics*, vol 195. Springer (2018)