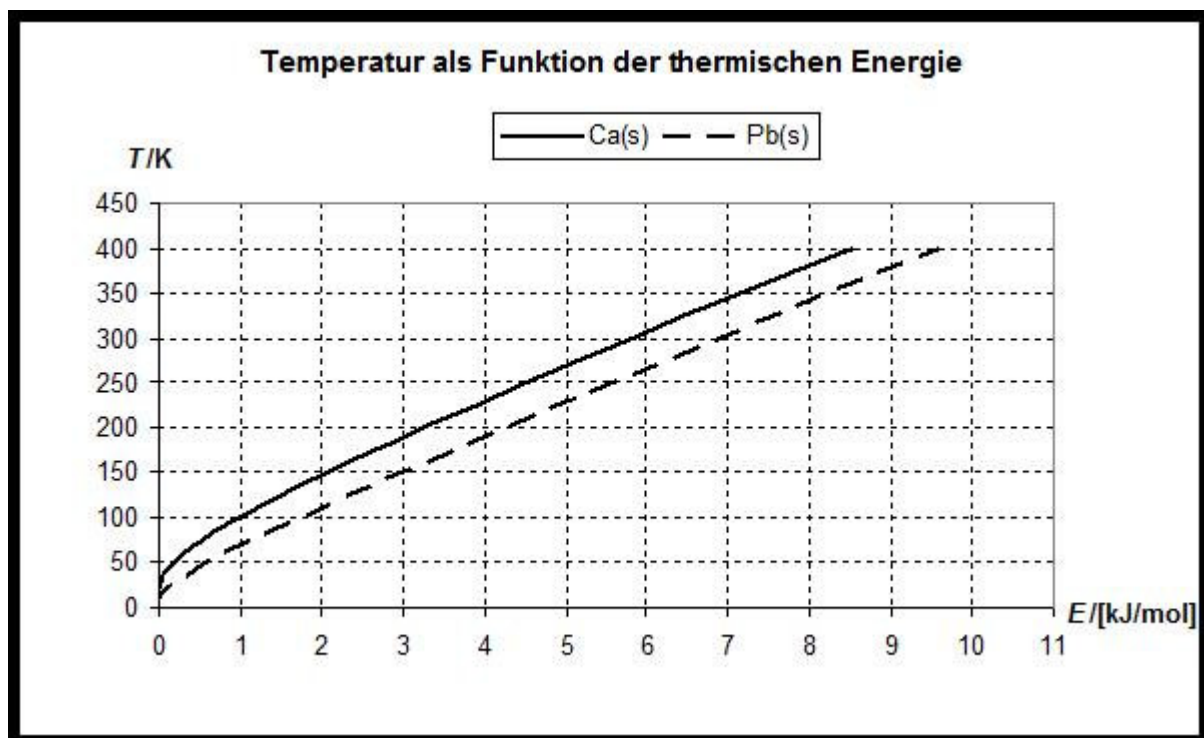


6 „Wärme“ als Entropiedeutung?

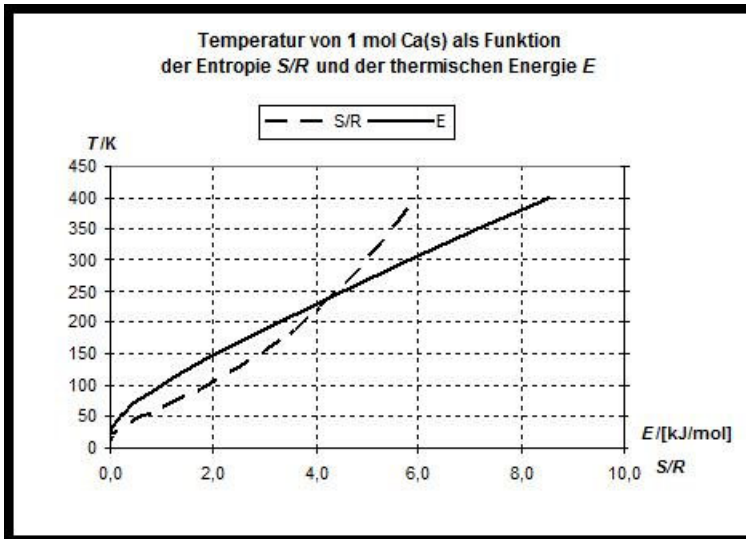
Nach eigener Aussage vermisst der KPK keinen Begriff für das Fassungsvermögen für die thermische Energie, weil es ja angeblich „*nichts zu fassen gibt*“. Da aber m. E. die Phänomene diesen Begriff unabdingbar erforderlich machen, empfinde ich es beim KPK als Erklärungsnot, dass der Begriff, der tatsächlich das Fassungsvermögen meint, nämlich die Entropie, in den alltagssprachlichen Begriff „Wärme“ ohne physikalische Präzisierung umbenannt wird. Die Verwechslung von thermischer Energie mit dem Fassungsvermögen für thermische Energie ist wohl auch mit einem Teil der Entropiephänomene kompatibel, aber eben nicht durchgängig.

Hierzu ein konkretes Beispiel: Vergleichen wir die beiden Hauptgruppenmetalle Calcium und Blei. Werden beide von 0 auf 300 K erwärmt, so benötigt man für 1 mol Calciumatome 5,8 kJ an thermischer Arbeit, während man beim Blei für die gleiche Atomanzahl 6,9 kJ braucht. Bei dieser Temperatur ist beim Calcium die Entropie $S/R=5,01$ und beim Blei $S/R=7,82$. Bei der gleichen Temperatur ist also beim Blei die Entropie um 56% größer als beim Calcium. Ins „Energiefass“ Blei passt bis zur gleichen Füllhöhe (Temperatur, 300K) mehr Energie (6,9kJ) als ins „Energiefass“ Calcium (5,8kJ). Die Deutung der Entropie als das eigentliche Fassungsvermögen für thermische Energie wird durch eine zweite Rechnung bestätigt: Wird an der gleichen Bleiportion auch nur (wie beim Calcium) 5,8 kJ an thermischer Arbeit verrichtet, so wird das Blei von 0 K auf nur 260 K erwärmt (es fließt nicht so leicht über) und es hat dort eine Entropie von $S/R=7,37$. Diese Befunde (Daten aus dem Gmelin-Handbuch entnommen) legen die Deutung der Entropie als Fassungsvermögen für thermische Energie nahe. Die größere Entropie, das größere Fassungsvermögen des Bleis für thermische Energie hält bei gleicher Energiemenge die Temperatur im Blei um 40 K niedriger. Das Flüssigkeitsspeichermodell gibt diese Verhältnisse qualitativ sehr gut wieder. (Näheres dazu www.quantenthermodynamik.com 3.1 ff)



Im Oberstufenheft Thermodynamik des KPK wird ein Schaubild gezeigt, bei dem man die Temperatur von 1 mol Kupfer als Funktion der Entropie ablesen kann. Die Achsenverteilung ist ungewöhnlich, weil in der üblichen Thermodynamik zumeist die Temperatur wie eine unabhängige Variable behandelt wird, was sie nach meinem Empfinden tatsächlich nicht ist. Bei dem obigen Diagramm habe ich die Temperatur auch auf die Ordinate gestellt, allerdings nicht die Entropie, sondern die thermische Energie liegt bei mir auf der Abszisse. Trotzdem stört mich etwas an dieser Achsenverteilung: Weder die Thermische Energie noch die Entropie haben die Qualität einer unabhängigen Variablen. Wenn der Experimentator überhaupt etwas unabhängig steuern kann, so ist es die thermische Arbeit beim Hochheizen. Wie das System allerdings auf die verrichtete Arbeit reagiert, d. h. welche Temperatur und welche Entropie sich im Metall einstellen, hat der Experimentator nicht in der Hand. Das $T(S)$ -Schaubild hat für mich etwas Suggestives: es soll suggerieren, dass die größere Temperatur von der größeren Entropie verursacht wird. Das empfinde ich als unfair gegenüber dem Schüler und deshalb ist das Schaubild für mich suboptimal.

Als besser empfände ich das unten folgende Diagramm. Es zeigt beide Zusammenhänge:



Sowohl mit zunehmender Energie E , wie mit zunehmender Entropie S/R lese ich eine höhere Temperatur ab. Einen vergleichbaren Fall haben wir in der Mechanik: Gibt man eine Stoffportion auf eine Waagschale und vergrößert nach dem Stillstand der Waage die Stoffportion, so wird ein größerer Wert angezeigt. Danach stellt sich die Frage, ob nun die vergrößerte Masse oder das vergrößerte Volumen der Stoffportion für den größeren Anzeigewert verantwortlich ist. Mit Experimenten zum Auftrieb lässt sich diese Frage in dem Sinne klären, dass der Auftrieb tendenziell den Anzeigewert verkleinert.

Im thermodynamischen Fall steigt die Temperaturanzeige ähnlich wie die Waagenanzeige auch mit zwei Größen monoton an, nämlich mit der Entropie und der thermischen Energie (s. obiges Diagramm). Welches Phänomen jedoch für den Anstieg tatsächlich verantwortlich ist, muss – wie oben – mit einem zweiten Experiment geklärt werden:

In einem Kalorimeter können wir unter der Bedingung konstanter Energie sowohl exotherme, wie endotherme Vorgänge durchführen. (Videos mit Experimenten dazu finden sich in Abschnitt 7.2 meiner Webseite.) In beiden Fällen steigt die Entropie, während die Energie konstant bleibt; aber einmal steigt die Temperatur und einmal sinkt sie. Wir können mit diesem Experiment die Frage zwar nicht allgemeingültig entscheiden, aber wir können ausschließen, dass Entropiezunahme stets eine Temperaturerhöhung mit sich bringt, dass also Entropie das wäre, was „warm“ macht. Tatsächlich ist es das Zusammenspiel von Entropie und Energie, das die Endtemperatur festlegt. Es würde an dieser Stelle zu weit führen, dies ausführlich zu beschreiben. Dazu möchte ich auf meine Internetseite und meine Publikationen verweisen. Das folgende Schaubild zeigt, dass es ähnlich ist wie bei Masse und Volumen: Die größere Entropie wirkt bei gleicher Energie tendenziell Temperatur senkend.

