

## **Die Temperaturschichtung der Atmosphäre**

### *Gegenstand:*

In großen Höhen ist es kalt. Auf den Bergen treibt man noch Wintersport, während im Tal schon die Krokusse blühen. Die auch sommers schneebedeckten Berggipfel sind ein jedermann geläufiges Bild. Aufsteigende schwüle, überwärmte Luft kann kilometerhohe Gewitterwolken auftürmen mit eisigem Regen und Hagelschlag als Folge. Wolken, Schnee und Regen danken ihre Entstehung der Kühle in der Höhe, einer Kühle, die sich trotz des ständigen Durchrührens der Luft dauerhaft erhält. Warum?

### *Mängel:*

Die Antwort darauf suchen wir in der Schulphysik vergeblich. Obwohl sie durchaus ein waches Auge für Effekte in der Größenordnung von Promillen haben kann wie die thermische Ausdehnung fester Körper, fehlt ihr der Blick für das tägliche Schauspiel in der Atmosphäre. Dabei ist der fragliche Effekt leicht zu benennen, leicht vorzuführen und leicht einsichtig zu machen und außer für Wintersport und Wettergeschehen auch anderweitig höchst bedeutsam: Kühlschränke, Wärmepumpen, Dampfturbinen, Automotoren und pneumatische Feuerzeuge nutzen ihn. Das Aufglühen von Sternschnuppen und Meteoren, die Notwendigkeit von Hitzeschilden für rückkehrende Raumkapseln und die sogenannte Hitzemauer, die die Geschwindigkeit von Luftfahrzeugen beschränkt, sind spektakuläre Folgen dieses Effektes. Es ist der Tatbestand, dass Gase, aber auch Flüssigkeiten und Feststoffe, beim Verdichten warm werden und beim Entspannen wieder kalt, ohne dass dazu Wärme ab- oder zugeführt werden muss. Die Wirkung ist drastisch. Sternschnuppen verglühen durch die Hitze der vor ihrem Bug aufgestauten Luft. Dieselmotoren zünden hierdurch das Ölnebel-Luft-Gemenge im Zylinder. Auch die Lufthülle der Erde verdankt ihre stabile Temperaturschichtung mit  $+15^{\circ}\text{C}$  am Boden und  $-50^{\circ}\text{C}$  in 10 km Höhe diesem Effekt. Ursache ist, dass aufsteigende Luft sich wegen des Druckabfalls ausdehnt, damit abkühlt und, wenn sie feucht genug ist, Wolken bildet, während absinkende Luft sich infolge der Druckzunahme erwärmt. Selbst bei dickster Wolkendecke und stürmischem Wetter herrscht am Boden klare Sicht, weil heruntergewirbelte Wolkenfetzen sich in der erwärmten Luft auflösen. Luftumwälzung behindert die Ausbildung der Temperaturschichtung nicht, sondern im Gegenteil, sie befördert sie.

### *Herkunft:*

In Gasblasen von 1 cm Durchmesser gleichen sich Temperaturunterschiede innerhalb 1 s aus. Die Abklingzeit nimmt jedoch mit dem Quadrat des Durchmessers zu, so daß bei 100 m bereits Abklingzeiten von  $10^8$  s herauskommen. Mit wachsenden Abmessungen tritt der Wärmeaustausch mit der Umgebung mehr und mehr in den Hintergrund. Adiabatische oder besser gesagt, isentrope Vorgänge beherrschen daher im Großraum Atmosphäre die Szene, während es im Kleinraum Labor die isothermen Vorgänge sind. Die physikalische Beschreibung ist an der Laborerfahrung ausgerichtet mit der Temperatur  $T$  als dominanter Größe, während die Entropie  $S$  dort als Folge ihrer verspäteten Einführung und schwerfälligen Handhabung möglichst ausgeklammert wird und mit ihr eine Reihe von Erscheinungen und Begriffen, die sich ohne die Entropie nur schwer fassen lassen. So heißt eine Kurve konstanter Temperatur Isotherme, eine Kurve konstanter Entropie aber Adiabate. Einzelne Isothermen lassen sich durch die zugehörigen Temperaturen  $T_1$ ,  $T_2$  kennzeichnen, während wir uns bei Adiabaten mit Umschreibungen behelfen müssen. Die Druckverteilung wird mittels der barometrischen Höhenformel nur für die unrealistische isotherme Atmosphäre diskutiert.

### *Entsorgung:*

Zur Behandlung isentroper Vorgänge sind wir schlecht gerüstet, wenn wir mit der Entropie auf Kriegsfuß stehen. Die größten Hindernisse lassen sich beseitigen, wenn wir bedenken, dass das umgangssprachliche

Wort Wärme (im Sinne eines wärmenden Etwas) sehr genau das Merkmal trifft, welches in der Physik durch die Größe Entropie quantifiziert wird. Wenn wir von der Entropie reden wie von der Wärme im Alltag, bekommen wir bereits eine weitgehend richtige und trotzdem anschauliche Beschreibung.

*G. J.*