

Altlasten der Physik (76): Negative Entropie und Negentropie

F. Herrmann

Gegenstand

In manchen Lehrbüchern der Biologie oder verwandter Fachrichtungen findet man Aussagen, in denen von negativen Werten der Entropie die Rede ist: „Die lebendigen Systeme produzieren beständig positive Entropie. Um dem Zerfall ins thermodynamische Gleichgewicht zu entgehen, bedürfen sie der beständigen Zufuhr *negativer Entropie*. Die einzige ergiebige Quelle negativer Entropie, die den lebenden Systemen zur Verfügung steht, ist die Anregungsenergie der [...] Pigmente. Die Anregung erfolgt durch die Lichtquanten. Die einzige natürliche Quelle für Lichtquanten ist die Sonne.“

Manchmal wird negative Entropie auch Negentropie genannt, und diese wiederum, so wird gesagt, sei identisch mit der *Shannon'schen* Datenmenge (Information).

Mängel

Zum Teil verstoßen solche Aussagen nur gegen physikalische Gewohnheiten, zum Teil sind sie falsch.

1. Wenn der Betrag einer mengenartigen Größe X in einem System A zu- und in einem anderen System B abnimmt, weil zwischen A und B ein Strom der Größe X fließt, so hat man zunächst einmal die Wahl, diesen Sachverhalt auf zwei Arten in Worte zu fassen: Entweder man sagt, es fließe ein Strom von positivem X von A nach B oder man sagt, es fließe negatives X von B nach A. Die Theorie (genauer: die Kontinuitätsgleichung) gestattet uns nicht, zwischen diesen beiden Sprechweisen zu unterscheiden. Nur in dem besonderen Fall, dass sich dem Strom eindeutig eine Geschwindigkeit zuordnen lässt, d. h. dass man die Stromdichte j_X als Produkt aus Dichte ρ_X und Geschwindigkeit v schreiben kann, also

$$j_X = \rho_X v,$$

ist eine solche Unterscheidung zu rechtfertigen. Ist nämlich die Dichte ρ_X an den Stellen, wo der Strom fließt negativ, so kann man mit einem gewissen Recht sagen, es fließe negatives X von B nach A. Ist ρ_X positiv, so würde man sagen, es fließt positives X von A nach B. Notwendig ist diese Unterscheidung allerdings nicht (siehe [1]).

Wenn nun aber die Größe X grundsätzlich nur positive Werte annehmen kann, wie etwa die Masse oder die Entropie, so ist die Aussage, negatives X fließe von B nach A einfach unpassend, denn sie legt nahe, es gebe eine negative Massen- bzw. Entropiedichte.

Wenn man in dem anfangs zitierten Zusammenhang von negativer Entropie spricht, so verfolgt man natürlich eine bestimmte Absicht: Man möchte das Verdienst für das Nichtanwachsen der Entropie gern der Sonne zuschreiben. Und hier wird nun der Fehler gemacht. Denn wenn man sich schon darüber hinwegsetzt, dass es keine negative Entropiedichte gibt, so müsste doch der Strom der negativen Entropie, der in das System hineinfließen soll, denselben Weg durchlaufen (nur in entgegengesetzter Richtung), wie der Strom der positiven Entropie, der tatsächlich aus dem System herausfließt. Da die positive Entropie in die Umgebung abfließt, könnte man also bestenfalls sagen, es fließe negative Entropie aus der Umgebung in das lebende System hinein. Die Aussage, die negative Entropie komme von der Sonne, ist also sicher falsch. Da der betrachtete Gegenstand sehr komplex ist, fällt dieser Fehler offenbar nicht auf.

Um die Unstimmigkeit noch etwas deutlicher zu machen, wollen wir die Aussage auf ein System übertragen, bei dem die Verhältnisse durchsichtiger sind: auf den Glühdraht einer elektrischen Heizung. Die normale (und korrekte) Beschreibung der Entropiebilanz lautet so: Im Glühdraht wird Entropie erzeugt. Diese ver-

lässt den Draht und geht in die Umgebung. Die zu der oben zitierten Beschreibung analoge Behauptung würde etwa so lauten: Mit der elektrischen Energie wird dem Draht negative Entropie zugeführt. Durch die Entropieerzeugung im Draht wird diese kompensiert. Diese Aussage ist gewiss nicht zutreffend.

2. Wenn die negative Entropie oder Negentropie mit der Information oder Datenmenge identifiziert wird, so macht man einen Fehler anderer Art. Es sei zunächst daran erinnert, dass man die Entropie S und die Datenmenge H nach derselben Formel berechnet:

$$S = -k \sum_i p_i \ln p_i \quad H = -f \sum_i p_i \ln p_i$$

Hier ist p_i die Wahrscheinlichkeit dafür, das System in dem (Mikro-)Zustand mit der Nummer i zu finden. k ist die Boltzmannkonstante und f ein konstanter Faktor, der so gewählt ist, dass H in der Maßeinheit bit herauskommt. Beide Größen werden also, bis auf den konstanten Vorfaktor, nach demselben Verfahren bestimmt. Es muss sich daher bei beiden um dieselbe physikalische Größe handeln. Die Entropie eines Systems und die in seinem Mikrozustand gespeicherte Datenmenge sind (bis auf einen konstanten Faktor) identisch.

Nun wird manchmal die folgende Ungeschicklichkeit begangen: Statt zu sagen, die Daten seien in dem betrachteten System, nennen wir es S , gespeichert oder enthalten, sagt man, H sei der Betrag der Datenmenge, der dem Beobachter fehlt. Und man geht noch einen Schritt weiter: Man sagt nicht nur, ihm *fehlt* die Datenmenge H , sondern er *hat* die Negentropie

$$N = -H.$$

Statt dem System S , für das der Wert von H berechnet wurde, diesen Wert zuzuordnen, nimmt man das Negative davon und ordnet es dem Komplement von S zu, nämlich der Umgebung oder dem Beobachter, der Teil ja der Umgebung ist. Es ist so, als würde man die Masse m eines Gegenstandes dadurch beschreiben, dass man sagt, die Umgebung habe die „Negmasse“ $n = -m$. Eine solche Beschreibungsweise lässt sich sicher eine Weile lang durchhalten, aber es besteht wohl kein Zweifel daran, dass sie äußerst unbequem ist.

Herkunft

Die negative Entropie hat eine lange Tradition. Schon der Thermodynamiker und Freund von Lord Kelvin, Peter Guthrie Tait, hat daran gedacht, eine negative Entropie einzuführen, sah aber noch davon ab [2]: „Es wäre wünschenswert, ein Wort für die Verfügbarkeit von Arbeit der Wärme eines gegebenen Speichers zu haben [...]. Leider wird das sehr schöne Wort Entropie, das Clausius in diesem Zusammenhang eingeführt hat, von ihm auf das Negative von dem angewendet, was wir natürlicherweise ausdrücken möchten.“

Wirklich in die Physik Einzug gehalten hat die negative Entropie dann wohl durch Schrödinger. In seinem Büchlein „Was ist Leben?“ aus dem Jahr 1944, das weitgehend frei von Mathematik ist, schreibt er: „Was ist denn dieses kostbare Etwas in unserer Nahrung, das uns vor dem Tode bewahrt? Das ist leicht zu beantworten. Jeder Vorgang, jedes

Ereignis, jedes Geschehen – man kann es nennen, wie man will, – kurz alles, was in der Natur vor sich geht, bedeutet eine Vergrößerung der Entropie jenes Teiles der Welt, in welchem es vor sich geht. Damit erhöht ein lebender Organismus ununterbrochen seine Entropie – oder, wie man auch sagen könnte, er produziert eine positive Entropie – und strebt damit auf den gefährlichen Zustand maximaler Entropie zu, der den Tod bedeutet. Er kann sich ihm nur fernhalten, d.h. leben, indem er seiner Umwelt fortwährend negative Entropie entzieht – welche etwas sehr Positives ist, wie wir gleich sehen werden. Das wovon ein Organismus sich ernährt, ist negative Entropie. Oder, um es etwas weniger paradox auszudrücken, das Wesentliche am Stoffwechsel ist, daß es dem Organismus gelingt, sich von der Entropie zu befreien, die er, solange er lebt, erzeugen muss.“

Diese Aussagen stießen bei seinen Fachkollegen sofort auf Widerstand. Schrödinger verteidigte sich dagegen, allerdings etwas halbherzig.

Die Bezeichnung Negentropie wurde 1956 von Brillouin eingeführt [3]. Das war die Zeit, in der viel über den Zusammenhang zwischen der thermodynamischen Größe Entropie und der kurz zuvor von Shannon eingeführten Datenmenge publiziert wurde. Brillouin hielt seine Idee für so wichtig, dass er sie als „Negentropie-Prinzip der Information“ bezeichnete. Brillouins Ungeschicklichkeit besteht, wie schon erläutert wurde, darin, die Information dem Beobachter zuzuordnen und nicht dem System, für das sie berechnet wird.

Mit Schuld an dieser unpassenden Zuordnung ist möglicherweise auch der Name, der für die Größe oft verwendet wird: Information. Nehmen wir an, für einen Computerspeicher (oder für die Mikrozustände eines idealen Gases) sei berechnet worden $H = x$ MByte. Wenn man die Größe H Information nennt, so ist es sicher nahe liegend zu sagen: „Mir fehlt die Information x MByte über den Speicher (oder über das ideale Gas).“ Bezeichnet man H dagegen als Datenmenge, so ist eine andere Aussage passender: „Die Menge der Daten, die im Speicher oder in dem idealen Gas enthalten sind, beträgt x MByte.“ Bei Verwendung der Bezeichnung Datenmenge ordnet man also die Größe automatisch dem richtigen System zu.

Entsorgung

1. Man braucht keine negative Entropie. Alles ist klarer, wenn man sich mit der positiven bescheidet.
2. Man ordne die Information dem Datenspeicher zu (oder den thermodynamischen Mikrozuständen) und nicht dem Beobachter.

Literatur

- [1] F. Herrmann: Die konventionelle Stromrichtung in Altlasten der Physik, Aulis Verlag Deubner Köln, 2002, S. 145.
- [2] P. G. Tait: Sketch of Thermodynamics, Edmonston & Douglas, Edinburgh 1868, p. 100: „It is very desirable to have a word to express the Availability for work of the heat in a given magazine; a term for that possession, the wast of which is called Dissipation. Unfortunately the excellent word Entropy, which Clausius has introduced in this connection, is applied by him to the negative of the idea we most naturally wish to express.“
- [3] L. Brillouin: Science and Information Theory, Academic Press, New York 1962, p. 152f.

Anschrift des Verfassers:

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