

209 Der Antrieb von Stoffströmen – Stoffströme über Phasengrenzen hinweg

ZUSAMMENFASSUNG

Stoffströme oder -transporte sind allgegenwärtige Vorgänge. Oft geschieht der Transport von der höheren zur niedrigeren Konzentration. Der Konzentrationsgradient scheint in diesen Fällen die zugehörige Antriebsgröße zu sein. Tatsächlich laufen aber Stofftransporte auch von Stellen niedrigerer zu Stellen höherer Konzentration. Der Konzentrationsgradient kann also nicht das korrekte Antriebsmaß sein.

Gegenstand

Stoffströme oder -transporte sind allgegenwärtige Vorgänge. Eine bestimmte Klasse solcher Transporte bildet die Diffusion. In Physikschulbüchern wird sie selten angesprochen – manchmal nur im Zusammenhang mit der Halbleiterdiode. In Chemiebüchern wird sie durchweg behandelt. Man lernt etwa:

Diffusion ist das selbständige Durchmischen zweier Stoffe. Diese Durchmischung erfolgt durch die ständige regellose Bewegung der Teilchen der Stoffe.

Oder auch:

Ein Stoff diffundiert von Orten hoher zu Orten niedrigerer Teilchenzahldichte.

Mängel

Es ist schade, dass Stofftransporte, vor allem im Physikunterricht, so beiläufig abgetan werden. Dass ein Stoff (oder seine Teilchen) von selbst von der hohen zur niedrigen Konzentration gehen, gilt nur für den Sonderfall homogener Systeme. Tatsächlich kann es auch andersherum gehen.

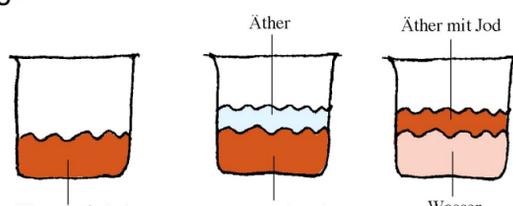


Abb. 1. Das Jod geht vom Wasser in den Äther, dem chemischen Potentialgefälle folgend, aber gegen das Konzentrationsgefälle.

Ein einfaches Experiment, das einen Stofftransport von der niedrigen zur hohen Konzentration („Teilchenzahldichte“) zeigt, geht so (Abb. 1): Man löst etwas Jod in Wasser; die Lösung ist braun. Man überschichtet nun mit etwas Äther; der Äther ist farblos. Rührt man die beiden Flüssigkeiten kräftig durcheinander und wartet eine Weile, so trennen sie sich wieder und bilden dieselbe Schichtung wie vorher: oben der Äther, unten das Wasser – allerdings mit einem Unterschied: Jetzt ist der Äther dunkelbraun und das Wasser nur noch hellbraun. Das Jod ist jetzt zum größten Teil im Äther gelöst. Es ist zunächst mit, dann aber gegen das Konzentrationsgefälle vom Wasser in den Äther gegangen. In diesem Endzustand ist sein chemisches Potenzial im Äther und im Wasser gleich, obwohl die Konzentration im Äther höher ist.

Man sieht: Nicht ein Konzentrationsgefälle ist das für einen Stofftransport entscheidende Antriebsmaß, sondern das chemische Potenzialgefälle. Konzentrationsgefälle und chemisches Potenzialgefälle können in Sonderfällen durchaus korrelieren – aber eben nur in Sonderfällen.

Wenn man diese Regel, die weiß Gott nicht kompliziert ist, kennt, so eröffnet sich die Möglichkeit, viele Erscheinungen zu erklären, die man sonst eher nur beschreibt.

- Wie können die Fische über ihre Kiemen atmen? Wie kommt es, dass Sauerstoff im Wasser ist? Was hat er dort überhaupt zu suchen? Wird er durch die Fische nicht nach und nach verbraucht? Zwischen dem Sauerstoff im Wasser und dem in der Luft besteht in guter Näherung chemisches Gleichgewicht: das chemische Potenzial des Sauerstoffs im Wasser ist gleich dem in der Luft. Wenn die Fische welchen verbrauchen, kommt aus der Luft neuer Sauerstoff nach. Es ist also immer Sauerstoff im Wasser, die Fische brauchen sich keine Sorgen zu machen.
- Warum geht der Sauerstoff in der Lunge aus der Luft ins Blut? Weil sein chemisches Potenzial in der Luft ($-3,88$ kJ/mol) höher ist als im Blut das durch die Lungenarterien in die Lunge eintritt ($-7,30$ kJ/mol). Dadurch steigt das Potenzial im Blut, sodass es beim Austritt in die Lungenvenen $-5,03$ kJ/mol beträgt.
- Man öffnet eine Flasche, die Mineralwasser mit Kohlensäure enthält, aber nur etwa halb voll ist, bläst das CO_2 , das sich oberhalb des Wassers befindet weg, verschließt die Flasche wieder und schüttelt. Wenn man sie wieder öffnet zischt es, denn es hat sich ein Überdruck aufgebaut, weil CO_2 aus dem Wasser in den Gasraum ausgetreten ist. Die Konzentration in der Gasphase ist höher als in der flüssigen. Welches war der Antrieb für diesen Stofftransport? Wieder die chemische Potenzialdifferenz.

Es ist die Stärke des chemischen Potenzials, dass es nicht nur die Diffusion innerhalb homogener Phasen, sondern auch den Stofftransport unter beliebig komplizierten Randbedingungen beschreibt. Und nicht nur das: Auch die Richtung in die eine chemische Reaktion läuft, wird durch das chemische Potenzial bestimmt, dieselbe Größe, die auch für die Diffusion, für jeden Phasenübergang und für jeden Stofftransport über eine Phasengrenze hinweg zuständig ist.

Herkunft

1. Das chemische Potenzial ist eine der einfachsten, anschaulichsten Größen überhaupt. Trotzdem hatte es ein schweres Schicksal. In der Chemie, weil man sich dort nun mal in die unanschaulichen thermodynamischen Potenziale verliebt hat, d.h. die Legendre-Transformierten der Funktion $U(n, V, S)$. Während die Energie als Funktion der extensiven Größen noch eine recht anschauliche Funktion darstellt, sind die anderen, nämlich H , F , G und etliche weitere, so unanschaulich, dass man sich ihnen nur im Blindflug anvertrauen kann: d.h. man überlässt die Lösung des Problems der Mathematik und hofft, dass das Ergebnis stimmt.

2. Dass das chemische Potenzial von den Physikern nicht gemocht wird, hat vielleicht noch einen anderen Grund: Es hat den falschen Namen. Warum soll ein Physiker eine Größe mit einem solchen Namen verwenden?

Entsorgung

Etwas salopp gesagt: So wie man das elektrische Potenzial einführt als Energie pro Ladung oder die absolute Temperatur als Energie durch Entropie, so kann man auch das chemische Potenzial einführen als Energie pro Stoffmenge. Es passt völlig in das Bild, das man auch anderswo verwendet.