

## II.

### *Ueber die Strömungen, die vorgeblich in erwärmten Flüssigkeiten statt finden,*

von

THOMAS THOMSON,

M. D. u. Lehrer der Chemie in Edinburg. \*)

Bei keinen Untersuchungen ist es wohl leichter, uns zu täuschen, als bei Nachforschungen über die innern Bewegungen der Theilchen eines Körpers. Da die einzelnen Theilchen zu klein sind, um wahrgenommen zu werden, so können auch ihre Bewegungen nicht unmittelbar in die Sinne fallen, und es läßt sich auf sie nur aus gewissen sichtbaren Veränderungen schliessen, die wir als die Folgen, oder höchstens als die beständigen Begleiter dieser Bewegungen ansehen. Leider sind aber die Erscheinungen, auf die wir unsre Schlüsse bauen, selten von der Art, daß sich für sie nur eine einzige Ursach und keine andere denken liesse. Sie lassen sich mehrentheils von verschiednen Urfachen herleiten; um die wahre aufzufinden, wird nicht wenig Fleiß, Geduld und besondere Geschicklichkeit erfordert; und selbst alle mögliche Vorsicht schützt uns nicht immer vor Irrthum. Die Erscheinung, mit der sich diese Abhandlung beschäftigt, giebt ein sehr in

\*) Nicholson's Journ., Febr. 1802, p. 81 f. d. H.

die Augen fallendes Beispiel, wie nöthig die größte Vorsicht bei unsern Folgerungen ist, selbst wenn sie auf den ersten Blick mit unumgänglicher Nothwendigkeit aus den Erscheinungen zu fließen scheinen.

Graf Rumford wurde auf die Vermuthung, daß Flüssigkeiten Nichtleiter der Wärme sind, durch das Auf- und Niedersteigen einiger undurchsichtiger Theilchen geführt, welches er in Flüssigkeiten wahrnahm, die zum Abkühlen in einem von der Sonne beschienenen Fenster standen. \*) Es war sehr natürlich, daß er schloß, diese Bewegung werde durch Strömungen in der Flüssigkeit, welche gleiche Richtung mit den dunkeln Körperchen haben, hervorgebracht; und daraus folgerte er, daß jedes einzelne Theilchen der Flüssigkeit nur dadurch abgekühlt werde, daß er seinen Wärmestoff an der Oberfläche oder an den Seiten des Gefäßes absetze, daß also diese Theilchen unfähig seyen, einander selbst die Wärme mitzuthemen. Die Vorrichtung, durch die er diese Bewegungen dem bloßen Auge sichtbar machte, ist sehr einfach und sinnreich. Er vermischte kleine Bernsteinkörnchen mit einer Kaliauflösung, die mit Wasser verdünnt wurde, bis ihr specifisches Gewicht dem des Bernsteins gleich war, und bis daher die Bernsteinkörnchen überall in der Auflösung schwebten. Sobald die Flüssigkeit erwärmt wurde, stiegen die Körner auf und ab, und zeigten dem Zuschauer die Strömungen in der

\*) Vergl. *Annalen*, I, 216 f.

d. H.

Flüssigkeit, deren Daseyn hierdurch so vollgültig bewährt zu seyn scheint, daß bis jetzt, so viel ich weiß; noch niemand auch nur einmahl vermutet hat, diese Bewegung könne auf einer andern Ursach beruhen. Ich habe den Versuch häufig wiederholt, ihn auch andern gezeigt; und obgleich die Bewegungen nicht ganz so waren, wie Graf Rumford sie beschreibt, so verfehlten sie doch nie, bei jedem die vollkommene Ueberzeugung von der Wirklichkeit der Strömungen, wie sie dieser Naturforscher angiebt, hervorzubringen. Und doch wird die Bewegung des Bernsteins in der That nicht durch die Strömungen in der Flüssigkeit erzeugt, und ist oft vorhanden, wenn dergleichen Strömungen durchaus fehlen. Diese Behauptung scheint auf den ersten Anblick vielleicht sehr sonderbar, allein die Beweise, worauf sie sich gründet, lassen keinen Zweifel übrig.

Mehrere Umstände bei diesen vorgeblichen Strömungen sind, wenn wir genauer darüber nachdenken, nicht leicht zu erklären. Die Bewegung des Bernsteins ist sehr schnell, indess der Unterschied des specifischen Gewichts der warmen und kalten Theilchen der Flüssigkeit, worauf, nach Graf Rumford, die Ursach der Strömungen beruhen soll, nur eine so langsame Bewegung hervorbringen könnte, daß sie kaum wahrzunehmen wäre. Noch mehr setzt uns das völlige Mifsverhältniß zwischen diesen schnellen Strömungen und der Langsamkeit, mit der sich die Flüssigkeit abkühlt, in Verlegenheit. Be-

wegte sich das Wasser wirklich mit derselben Schnelligkeit wie der Bernstein, und verlöre, [an der Oberfläche und den Seiten,] auch immer nur den zehnten Theil des Wärmestoffs, der nöthig ist, um diese Geschwindigkeit hervorzubringen, so müßte sich die ganze Flüssigkeit fast in einem Augenblicke bis zur Temperatur der Atmosphäre abkühlen, statt daß dazu immer einige Stunden erforderlich sind.

Diese auffallenden Anomalien ließen vermuthen, daß wohl eine andere Urfach, als die Strömungen in der Flüssigkeit, die Bewegung des Bernsteins hervorgebracht haben könne, und machte eine aufmerksamere Prüfung dieses Gegenstandes nothwendig. - Folgende Versuche schienen mir die einfachsten, um zu bestimmen, ob jene Strömungen wirklich statt finden oder nicht.

Ich goß in das gläserne Gefäß *A*, (Taf. II, Fig. 2,) Wasser, welches mit dem Saft von rothem Kohle blau gefärbt war, bis es bis *m* stand. Dann füllte ich reines Wasser bis *n* darüber, so daß es unvermischt mit der blauen Infusion blieb, was mir erst nach mehreren mißlungenen Versuchen glückte, mit Hülfe eines Stückchens Kork, das auf der Oberfläche der blauen Flüssigkeit schwamm, und eines Trichters, der sich in ein langes Haarröhrchen endigte. So hatte ich in dem Gefäße *A* zwei Flüssigkeiten, beide von fast gleichem specifischen Gewichte, die untere blau, die obere ungefärbt, und bei *m* deutlich von einander geschieden. Mehrere dunk-

le Theilchen schwebten in dem blauen Aufgusse, und diese dienten statt der Bernsteinkörnchen.

Meine Absicht war, den Boden des Gefäßes *A* zu erhitzen, wodurch die vorgeblichen Strömungen hervorgebracht, und die dunkeln Körperchen in Bewegung gesetzt werden mußten. Wurden nun die in der Flüssigkeit schwebenden Theilchen wirklich durch Strömungen bewegt, so mußten sie offenbar Theile des blauen Infusums mit sich hinaufnehmen, und indem sie durch die Fläche *m* in das ungefärbte Wasser stiegen, hätte ein blauer, dem Auge bemerkbarer Strom sie begleiten müssen. Waren dagegen bloß die im Wasser schwebenden Körperchen in Bewegung, das Wasser selbst aber in Ruhe, so mußten sie durch die Fläche *m* steigen, ohne von einem Strome des blauen Infusums begleitet zu werden.

Ich setzte nun eine brennende Lampe in einer solchen Entfernung unter das Gefäß *A*, daß einige Zeit verstrich, ehe die Körperchen in Bewegung kamen, und stellte mich so, daß sich das Gefäß gerade zwischen meinem Auge und dem Fenster befand. Allmählig begannen die Körperchen durch die Fläche *m* anzusteigen, und kamen in das ungefärbte Wasser, *ohne von Theilen des blauen Infusums begleitet zu seyn*. Darauf stiegen sie, wie gewöhnlich, wieder herab, und diese Wechselbewegungen dauerten einige Zeit fort, ohne eine Vermischung beider Flüssigkeiten zu bewirken. Dieses war ein offener Beweis, daß die Bewegung der Körper-

chen nicht die Strömungen in der Flüssigkeit zur Ursach hatte, sondern von ihr ganz unabhängig war. Jedes Mahl, als ein solches Körperchen über die Linie *m* hinausging, erhob sich die Oberfläche der blauen Flüssigkeit wellenförmig. Durch die beständige Wiederholung dieser wellenförmigen Bewegung wurde die Linie *m* endlich undeutlich, und stieg immer höher und höher, bis endlich alles Wasser bläulich gefärbt war; doch verstrichen wohl 10 Minuten, ehe dieses geschah, und die Bewegung der schwebenden Körperchen, welche die ganze Zeit hindurch ununterbrochen fort dauerte, war immer noch ganz deutlich.

Es war noch nöthig, diesen Versuch mit Bernsteinkörnchen zu wiederholen, um gewiß zu werden, ob auch ihre Bewegungen von derselben Art waren, wie die jener schwebenden Körperchen, oder nicht. Ich füllte zu dem Ende das Glas *A* bis an *m* mit einer Kalialuflösung, in der Bernsteinkörnchen schwammen, erhitze es bis zum Sieden über einem Feuer, und liefs es selbst einige Zeit sieden. Das Gefäfs wurde in einem Zimmer, wo die Luft eine Temperatur von 50° hatte, aufgehangen, so dafs sich die Kalialuflösung um 150° abkühlen konnte. \*) Ich färbte darauf die Oberfläche der Auflösung mit einem oder zwei Tropfen des Infusums von rothem Kohle, so dafs eine gefärbte Schicht

\*) Vorläufige Versuche hatten mich gelehrt, dafs der Versuch bei einer höhern Temperatur mißglückt.

von etwa  $\frac{1}{4}$  Zoll Höhe auf der Auflösung schwamm. \*) Die Abkühlung dauerte ohne Unterbrechung fort, und die Flüssigkeit erreichte die Temperatur der Luft, ohne die geringste Veränderung in dem gefärbten Theile, oder eine Vermischung desselben mit dem untern ungefärbten Theile zu bewirken. In der ersten Zeit des Abkühlens stieg der Bernstein auf und nieder; einzelne Stückchen kamen selbst bis an die Oberfläche, und stiegen dann wieder bis auf den Boden hinab. — Dieser Versuch zeigt ganz entscheidend, daß Strömungen die Bewegung des Bernsteins *nicht* hervorbrachten, und daß während der ganzen Zeit, daß sich die Flüssigkeit von 150 bis 50° abkühlte, in der That in ihr gar keine Strömungen statt gefunden hatten.

Da auf diese Art dargethan war, daß der Bernstein sich durch die Flüssigkeit bewegt, und nicht von ihr in Bewegung gesetzt wird; so kam es nun darauf an, wo möglich, die Ursach dieser Bewegung auszumitteln. Vielleicht, daß folgende Beobachtungen einiges Licht hierüber verbreiten.

1. Wird eine Kaliauflösung mit Bernsteinkörnchen von gleichem specifischen Gewichte mit ihr, in einem Glase bis nahe zum Siedepunkte erbitzt, und dann in der Luft aufgehangen, um sich abzukühlen, so sinkt aller Bernstein zu Boden. Daraus sehen wir, daß der Bernstein, der mit der kalten Auflösung gleiches specifisches Gewicht hatte, spe-

\*) Die Farbe ist, wenn man wenig Kohlsaft nimmt, gelb; zu viel macht eine grüne Farbe. Th.

cifisch schwerer ist, als die heiße Auflösung, dafs folglich der Bernstein sich in der Wärme weniger, als die Kalialuflöfung, ausdehnt.

2. Der Bernstein bleibt aber nicht lange auf dem Boden. Die Körner steigen, eins nach dem andern, allmählig in die Höhe bis an die Oberfläche, und zwar mit sehr verschiedner Geschwindigkeit, einige schnell, andre langsam. Haben sie die Oberfläche erreicht, so fallen sie immer wieder zu Boden. Die Wechselbewegungen dauern einige Zeit fort; nach und nach vermindert sich aber die Zahl der auf- und absteigenden Körner, und endlich setzen sie sich alle zu Boden. Zuweilen stossen zwei Bernsteinkörnchen, ein auf- und ein absteigendes, in irgend einem Theile der Auflösung auf einander. In diesem Falle tauschen sie zuweilen ihre Bewegungen um; das, welches vorher aufstieg, sinkt zu Boden, und das herabsteigende kehrt zur Oberfläche zurück. Wird der Versuch mit einer durchsichtigen Auflösung und bei hellem Lichte angestellt, so bemerkt man an jedem aufsteigenden Bernsteinkörnchen ein Luftbläschen, welches das Körnchen mit in die Höhe nimmt. Dieses Bläschen trennt sich an der Oberfläche, und der Bernstein, seines Hilfsmittels zum Steigen beraubt, fällt wieder zu Boden. Zuweilen, wenn zwei Bernsteinkörnchen sich begegnen, geht das Luftbläschen von dem einen auf das andre über, was die Umwechselung ihrer Bewegungen veranlaßt. Diese Luftbläschen sind von verschiedner Gröfse; daher die ver-



schiedne Schnelligkeit der aufsteigenden Bernsteinkörnchen.

3. Hat man die Kalialuflösung einige Minuten in dem Glase kochen lassen, und dann unmittelbar in der Luft zum Abkühlen aufgehängt, so machen sich Dampfblasen in grosser Menge eine geraume Zeit lang von den Bernsteinstückchen los, und verursachen eine sehr lebhaftc Bewegung derselben. Daraus sieht man, dafs der Bernstein eine höhere Temperatur, als  $212^{\circ}$  F. erreicht, und dafs er nach und nach dieses Uebermaafs von Wärmestoff an die umgebende Flüssigkeit abtritt.

4. Auch nachdem die Dampfentwicklung ganz aufgehört hat, fährt der Bernstein fort, schnell herauf- und herabzusteigen, auf eine sehr regelmässige Weise. Allmählig nimmt die Schnelligkeit der Bewegungen ab, und wenn die Auflösung sich bei einer Lufttemperatur, von  $50^{\circ}$  bis auf etwa  $140^{\circ}$  abgekühlt hat, setzt sich der Bernstein zu Boden. \*) Diese Bewegungen sind zu geschwind, als dafs sie

\*) Der Bernstein, mit dem man diesen Versuch anstellen will, mufs wie ein feiner Sand seyn, sonst fällt er sogleich zu Boden. Aber selbst dann können die Strömungen mit blosscm Auge bemerkt werden, wenn das Glas durchsichtig ist. Dieses Factum ist merkwürdig, und kann bloss dadurch erklärt werden, dafs man ein gröfseres Intervall als gewöhnlich zwischen den Strömungen und dem übrigen Wasser annimmt, oder dafs man ein verschiednes specifisches Gewicht bei ihnen voraussetzt.

durch die Abkühlung der Flüssigkeit hervorgebracht werden sollten; sie hängen indeß bestimmt von der hohen Temperatur derselben ab. Ich würde glauben, daß sie die Strömungen, welche das Sieden in der Flüssigkeit hervorbringt, anzeigen, da sie denen sehr ähnlich sind, die bei einer heftigen Bewegung einer Flüssigkeit entstehen, wenn sie nicht weit längere Zeit dauerten, und alle Mal dann aufhören, wenn der Unterschied der Temperatur der Flüssigkeit und der äußern Luft etwa  $90^{\circ}$  beträgt.

5. Nachdem der Bernstein sich zu Boden gesetzt hat, dauert die Abkühlung ohne merkwürdige Erscheinungen fort, bis, bei einer äußern Temperatur von  $50^{\circ}$ , die Flüssigkeit etwa auf  $100^{\circ}$  kommt. Bei dieser Temperatur zeigen sich einige Stückchen Bernstein nur eben über den Boden des Gefäßes erhoben, und je kühler nun die Flüssigkeit wird, desto höher steigt allmählig der Bernstein. Zwar läßt sich in demselben keine Bewegung wahrnehmen; beobachtet man aber von Zeit zu Zeit die Lage einzelner Stückchen, so sieht man offenbar, daß sie ihren Platz verändert und sich der Oberfläche genähert haben. Hat endlich die Flüssigkeit die Temperatur der Luft erreicht, so sieht man einige Stückchen Bernstein an der Oberfläche schwimmen, andere nicht weit unter der Oberfläche, und kurz, den Bernstein durch alle Theile der Flüssigkeit vertheilt. Man mag die Flüssigkeit in diesem Zustande lassen, so lange man will, so verändern die Bernsteinkörnchen in ihr ihre Lage nicht, wenn sich

nicht die Temperatur der äussern Luft beträchtlich verändert. — Wir sehen hieraus, dass das Wasser sich schneller als der Bernstein abkühlt; so dass in einer Periode der Bernstein specifisch leichter wird als das Wasser, und deshalb doch nur höchst langsam steigt, da die Differenz der specifischen Schwere beider Körper äusserst geringe ist. Zuerst glaubte ich, der Bernstein steige dadurch, dass die obern Lagen der Flüssigkeit herabsinken, und die untern, worin sich der Bernstein befindet, hinaufdrücken. Allein ich irrte mich. Denn als ich die Oberfläche der Auflösung gelb färbte, blieb die gelbe Schicht rein abgeschnitten, und veränderte ihre Stelle während des ganzen Processes nicht.

---

*Bemerkung von Nicholson.* Atwood beweist in seiner *Treatise on Motion*, Sect. 5, Prop. 12, dass eine Kugel von verschwindendem Gewichte in jeder dichten Flüssigkeit mit gleichförmiger Bewegung ansteigen müsse, mit einer Geschwindigkeit, welche sie beim Fallen im luftleeren Raume durch  $\frac{4}{3}$  ihres Durchmessers erlangt haben würde. Dieses ist die grösst-möglichste Geschwindigkeit, die beim Aufsteigen einer Kugel in einer Flüssigkeit statt findet. Es kann ungereimt scheinen, da eine Berechnung zu versuchen, wo der Durchmesser eines integrirenden Theilchens zu den Datis gehört. Allein wenn wir für den Durchmesser eines Wassertheilchens bei dessen grösster Ausdehnung durch die Hitze irgend eine sehr kleine Grösse, z. B.

den millionsten Theil eines Zolls, annehmen, und danach die Geschwindigkeit desselben beim Aufsteigen berechnen, (sie würde in diesem Falle kaum 0,02 eines Zolles in *einer* Minute betragen,) so finden wir wenig Grund, anzunehmen, daß aufsteigende Strömungen durch die bloße Ausdehnung der Wassertheilchen, die nur durch die Berührung mit dem sie umgebenden Gefäße erwärmt werden, hervorgebracht werden können. Und dieses muß doch nothwendig angenommen werden, wenn Flüssigkeiten die Wärme nicht von Theilchen zu Theilchen zu leiten vermöchten.

Vorliegender trefflicher Aufsatz leitet unsere Aufmerksamkeit auf die mechanische Ursach der Circulation, die ohne allen Streit in Flüssigkeiten, während sie von unten erhitzt werden, statt findet, und welche den Hauptgrund zu der weit schnellern Erhöhung der Temperatur auf diesem Wege abgeben. Die Entwicklung und das Aufsteigen elastischer Flüssigkeiten scheint in den meisten, und wahrscheinlich in allen Fällen, vorauszugehen, und zuletzt diesen Kreislauf in dichtern Flüssigkeiten hervorzubringen. In dieser Hinsicht ist hier noch ein weites Feld zu Nachforschungen, die Art und Weise, wie sich die Wärme durch Flüssigkeiten verbreitet, betreffend. Keineswegs aber würde es gut seyn, durch unbestimmte Meinungen den Aufschlüssen vorzugreifen, welche wir durch die Versuche Anderer zu erwarten haben.

---