III.

VERSUCHE UND BEOBACHTUNGEN über den Durchgang der Wärme durch Flüssigkeiten herabwärts,

von

JOHN MURRAY,
Lehrer der Chemie in Edinburg. *)

I. Ungewissheit durch das Gefäß bewirkt, und Methode, ihr abzuhelpfen.

Die Behauptung des Grafen Rumford, daß Flüssigkeiten Nichtleiter des Wärmestoffs sind, ist noch immer sehr streitig. Zwar stützt sie sich auf eine Menge von Versuchen, die mit Scharf sinn ausgedacht und mit Geschicklichkeit ausgeführt sind, doch wird sie noch immer von Vielen bezweifelt. Die Versuche, welche ich darüber angestellt habe, beweisen mir, daß diese Untersuchungen wichtiger und schwerer zu vermeidenden Quellen des Irrthums unterworfen sind, als man *a priori* glauben möchte, und daß wir noch keine Versuche haben, die hinlänglich über Einwürfe erhaben sind, um die streitige Frage entscheiden zu können. Die folgenden Beobachtungen werden diese Behauptung rechtfertigen.

*) Ausgezogen aus zwei weitläufigen Abhandlungen in Nicholson's *Philosophical Journal*, Vol. I, p. 165 und p. 241. d. H.

Wird der Wärmestoff der Oberfläche irgend eines festen Körpers mitgetheilt, so erhöht sich die Temperatur der ganzen Masse mehr oder minder schnell und wird gleichförmig. Der Wärmestoff geht in diesem Falle von einem Theilchen des festen Körpers zu dem andern über, und vertheilt sich so gleichförmig durch das Ganze. Wird der Wärmestoff einer Masse Flüssigkeit mitgetheilt, so wächst ebenfalls deren Temperatur gleichförmig; daher man annahm, daß auch in diesem Falle der Wärmestoff durch den flüssigen, wie vorher durch den festen Körper von Theilchen zu Theilchen durchgehe. Graf Rumford leugnet indess die Möglichkeit eines solchen Durchganges, und glaubt, die Veränderung der Temperatur werde in der Flüssigkeit auf eine andere Art erzeugt.

Wird ein Theil einer Flüssigkeit erhitzt, so muß er ausgedehnt, und seine specifische Schwere verringert werden, und er muß wegen seiner Verschiebbarkeit seinen Platz ändern. Wird daher einer Flüssigkeit der Wärmestoff durch die Oberfläche eines festen Körpers mitgetheilt, so muß der Theil derselben, der den festen Körper unmittelbar berührt, sobald dieser erwärmt ist, ein geringeres specifisches Gewicht als der übrige Theil der Flüssigkeit annehmen. Findet die Erhitzung von unten statt, so muß daher der erhitzte Theil der Flüssigkeit in die Höhe steigen; sein Platz wird von einem andern Theile eingenommen, und die ganze Masse muß nach und nach mit der erhitzten Oberfläche

des festen Körpers in Berührung kommen und eine Temperaturerhöhung erleiden. Nach Graf Rumford kann die Temperatur flüssiger Körper allein auf diese Art verändert werden. Jeder feste Körper, der mit ihnen in Berührung ist, kann ihnen Wärme mittheilen, aber der erhitzte Theil der Flüssigkeit theilt der übrigen Masse nichts von seinem Wärmestoffe mit, und nur die innere Bewegung der Theile bewirkt die Temperaturveränderung des Ganzen.

Dafs diese grofsen Theils dadurch bewirkt wird, haben Graf Rumford's Versuche deutlich gelehrt. Er zeigte, dafs bei der Erhitzung eines flüssigen Körpers Bewegungen seiner Theile statt finden, und dafs alles, was diese Bewegungen aufhält oder verhindert, auch die Schnelligkeit vermindert, mit welcher die Temperatur erhöht wird. Doch ist es offenbar, und Graf Rumford selbst hat es zugegeben, dafs die Versuche, welche dies beweisen sollen, an sich betrachtet, *den* Satz nicht beweisen, dafs *nur diese* Urfach die Temperaturveränderung in der Flüssigkeit hervorbringen könne, und dafs sie nicht zum Theil auch durch den Uebergang des Wärmestoffs von einem Theile der Flüssigkeit zu einem andern erzeugt werde.

Ein andrer Grund scheint entscheidend für Graf Rumford's Meinung zu sprechen. Ist sie richtig, so kann keine Flüssigkeit von oben herab erhitzt werden. Wird ein heifser Körper an die Oberfläche derselben gebracht, so wird blofs die Temperatur

ratur ihrer obersten Lage erhöht, indem sie keinen Theil des Wärmeloffs, den sie empfangen hat, nach unten mittheilen, und auch kein Theil der specifisch leichtern erwärmten Flüssigkeit herab sinken kann, daher die Temperatur des untern Theils der Flüssigkeit unverändert bleiben muß. Graf Rumford hat, um darzuthun, daß dieses wirklich statt finde, eine Menge Versuche angestellt, unter denen mir der stringenteste der zu seyn scheint, dem zu Folge ein erhitzter eiserner Cylinder, der in Olivenöhl aufgehangen wurde, von einem nur 6, Zoll entfernten, auf dem Boden des Gefäßes befestigten Eisstücke nichts zu schmelzen vermochte. Um diese Sache näher zu prüfen, bediente ich mich des Taf. II, Fig. 3, abgebildeten Apparats.

Das Thermometer *A* ist so gebogen, daß der Schenkel *ac*, der von der Kugel ausläuft, länger ist als der Schenkel *bc*, an dem sich die Scale befindet, und es ist so weit mit Quecksilber gefüllt, daß bei jeder mäßigen natürlichen Wärme der Schenkel *a* vollkommen gefüllt bleibt. Unten an der Röhre *b* fängt sich die Scale mit 20° Fabr. an. Dieses gebogene Thermometer ist an einem Glasstabe, und dieser Stab in einer hölzernen Scheibe befestigt, welche dem Cylinderglase *B* zum Fusse dient. Dieses Glas ist 3 Zoll weit und 9 Zoll hoch, und auf dem hölzernen Fusse mit Wachs aufgekittet. Mit diesem Apparate wurden folgende Versuche angestellt:

Versuch 1. In das Gefäß *B* wurde bis $\frac{1}{4}$ Zoll hoch über der Kugel des Thermometers Wasser

von einer Wärme von 46° Fahr. gegossen. Dieselbe Temperatur hatte die Luft in dem Zimmer. Ich goß nun eine Unze Olivenöhl, das bis auf 140° erhitzt war, auf ein kleines Stück Karte, legte dieses auf die Oberfläche des Wassers, zog die Karte langsam zurück, und vermied nun möglichst alle Bewegung des Wassers. In Zeit von einer Minute fing das Thermometer an, langsam zu steigen, fünf Minuten nach dem Anfange des Versuchs war es 4° gestiegen, in zehn Minuten $6\frac{1}{2}^{\circ}$, in funfzehn Minuten 8° . Nun stand es sieben Minuten auf diesem Punkte, ehe es wieder anfieng, ganz langsam zu fallen.

Versuch 2. In das Gefäß *B* wurde wieder, bis 1 Zoll hoch über der Thermometerkugel, Wasser von 49° Wärme gegossen, und darauf eine kupferne Kugel von $1\frac{1}{2}$ Zoll Durchmesser in siedendem Wasser bis 212° erhitzt und mittelst eines Metalldrahts über der Thermometerkugel so aufgehangen, daß der Zwischenraum $\frac{1}{2}$ Zoll betrug. $2\frac{1}{2}$ Minute nach dem Einlenken der Kugel schien noch keine Wirkung auf das Thermometer geschehn zu seyn; in fünf Minuten war es $1\frac{1}{2}^{\circ}$, in zehn Minuten vom Anfange des Versuchs an, $4\frac{1}{2}^{\circ}$, in funfzehn Minuten $7\frac{1}{2}^{\circ}$, in zwanzig Minuten $8\frac{1}{2}^{\circ}$ gestiegen. Nun blieb es stehen, und fing erst nach funfzehn Minuten wieder an zu fallen. Ein Thermometer, (*C* in Fig. 1,) das ich so aufhing, daß die Kugel desselben nur eben unter der Oberfläche des Wassers getaucht war, stieg in wenig Minuten auf 82° , und von diesem

Punkte an fiel es wieder allmählig. Folgende Tabelle zeigt die Resultate dieses Versuchs noch genauer.

Die Temperatur der Luft im Zimmer und des Wassers im Gefäße war 49° . Es stand nach Einsenkung der erhitzten Kugel

	das Therm. A	das Therm. C
3 Minuten	auf $49\frac{1}{2}^{\circ}$	auf 78°
5	$50\frac{1}{2}$	82
10	$53\frac{1}{2}$	73
15	$56\frac{1}{2}$	69
20	$57\frac{1}{2}$	65
30	$57\frac{1}{2}$	62
40	57	60
50	$56\frac{1}{2}$	$58\frac{1}{2}$
65	56	56

Beide Versuche gaben, als ich sie wiederholte, dieselben Resultate, mit nur unbedeutenden Abweichungen.

In diesen Versuchen ging offenbar eine Quantität Wärmestoff durch einen Theil der Flüssigkeit herab, so daß sie eine beträchtliche Temperaturerhöhung in dem Thermometer bewirkte, welche beim ersten Versuche in 15 Minuten 8° , im zweiten in 20 Minuten $8\frac{1}{2}^{\circ}$ betrug. Und hieraus würde folgen, daß Flüssigkeiten allerdings Wärmeleiter sind, würde nicht in allen Versuchen dieser Art eine Quantität Wärmestoff durch die Wände des Gefäßes herabgeleitet. Diese Quantität läßt sich nicht mit einiger Genauigkeit bestimmen, daher bleiben die Resultate jener Versuche immer zweifelhaft.

Dafs bei diesen Versuchen dem Thermometer wirklich durch das Gefäfs, worin die Flüssigkeit enthalten ist, Wärmestoff zugeführt wurde, läfst sich leicht zeigen. Bei dem ersten Versuche kam das heisse Oehl, das über die Oberfläche des Wassers verbreitet wurde, unmittelbar mit den Wänden des Gefäßes in Berührung. Daher mußte das Glas erhitzt werden und nach jeder Richtung den Wärmestoff ausbreiten. Der Antheil desselben, der sich nach unten ausbreitete, mußte sich den Wassertheilen, die das Gefäfs unmittelbar berührten, mittheilen, und dadurch, nach des Grafen von Rumford Idee, Strömungen veranlassen, die an den Seiten heraufwärts, in der Achse des Gefäßes aber herabwärts stiegen; hierdurch mußte die Schicht des erwärmten Wassers sich immer mehr vergrößern, und der Thermometerstand früher oder später verändert werden, je nachdem die Kugel tiefer in die Flüssigkeit herabreichte, und das Thermometer konnte nur erst aufhören zu steigen, wenn die Temperatur der ganzen Lage der Flüssigkeit, die sich oberhalb desselben befand, ziemlich gleichförmig war. — Einen ähnlichen Erfolg mußte der zweite Versuch haben, da die erhitzte Kugel einen Theil ihres Wärmestoffs unmittelbar dem Wasser, mit welchem sie in Berührung kam, mittheilen, und dieses den Seiten des Gefäßes zufließen und ihnen Wärmestoff überlassen mußte. Man könnte glauben, dafs die Menge des so durch das Gefäfs zugeführten Wärme-

stoffs nicht hinreichend sey, die beobachtete Temperaturerhöhung hervorzubringen. Allein wie kann man darüber gewiß werden? und bleiben nicht, ehe dieses erwiesen ist, eben deshalb die Versuche unvollständig und zweifelhaft?

Wollte man das Gefäß mit Wasser umgeben, damit dieses den Seiten des Gefäßes den ihnen zugeleiteten Wärmestoff entzöge, so würde dadurch doch nur ein Theil desselben abgeleitet werden, der wahrscheinlich nur um wenig grösser seyn würde, als der Theil, der in den vorigen Versuchen von der das Gefäß umgebenden Luft abgeleitet wurde. Ich glaubte indess, dieser Versuch könne in gewisser Hinsicht belehrend seyn, und stellte ihn daher an, auf die Art, wie es in Fig. 2 abgebildet ist.

Versuch 3. Der beim vorigen Versuche angewandte Apparat wurde in ein 6 Zoll weites Cylinderglas *D* gesetzt, und dieses so weit voll Wasser gegossen, bis das Wasser mit dem im innern Gefäße gleiche Höhe hatte. Ueberdies wurde ein Thermometer *E* so hineingehängt, daß sich die Kugel genau so weit unter der Oberfläche befand, als die Kugel des gebogenen Thermometers im Gefäße *A*. Nun hing ich die bis auf 212° erhitzte kupferne Kugel in den Apparat, in eben der Entfernung von dem Thermometer wie bei dem vorigen Versuche. Beide Thermometer standen beim Anfange des Versuchs auf 46° .

nach	stand das innere Therm. A	das äußere Therm. E
3 Minuten	auf $46\frac{1}{2}^{\circ}$	auf 46°
5	$47\frac{1}{2}$	$46\frac{1}{2}$
10	$48\frac{1}{2}$	$47\frac{1}{2}$
15	$49\frac{1}{2}$	$48\frac{1}{2}$
20	$49\frac{1}{2}$	$48\frac{1}{2}$
30	49	48

Dieter Versuch beweist nichts mehr, als daß eine Quantität Wärmestoff durch die Wände des Gefäßes geleitet wird. Man könnte vielleicht glauben, daß aus der Vergleichung der Veränderungen beider Thermometer sich auf die Art, wie die Wände des Gefäßes den Wärmestoff leiten, schließen lasse; allein dabei kommen zu viel Umstände, die wir weder in unsrer Macht haben noch ganz übersehen können, mit in Anschlag.

Man sieht hieraus, daß die vorhergehenden und alle ähnlichen Versuche nicht hinreichen, die Frage zu entscheiden, ob die Flüssigkeiten Wärmeleiter sind oder nicht, weil in ihnen die Wände des Gefäßes eine nicht bestimmbare Menge Wärmestoff herableiten. Durch kein Mittel läßt sich diese Quelle des Irrthums verstopfen. Alle Maafsregeln dagegen schwächen zugleich die Wirkung, die aus der leitenden Kraft der Flüssigkeit, wenn es eine solche giebt, entsiehn müßten, und es muß also ungewiß bleiben, welchem Umstände man die verminderte Wirkung, die bei Anwendung jener Mittel statt findet, zuschreiben soll. Dieses ist z. B. der Fall, wenn man die Thermometerkugel von dem

den Wärmestoff mittheilenden Körper beträchtlich entfernt, oder wenn man statt des schmalen Cylinders ein weites Gefäß nimmt.

Und doch zweifle ich nicht, daß es mir gelingen werde, alle diese Ungewißheit zu verbannen, obgleich ich ehemahls daran verzweifelte. Und das zwar durch ein sehr einfaches Mittel: durch Anwendung eines Gefäßes von Eis, statt des Glasgefäßes, in welches eine Flüssigkeit von 32° F. Wärme gegossen wird. Denn Eis kann keine höhere Temperatur als 32° annehmen, und daher ein solches Gefäß keinen Wärmestoff herableiten.

Es wird nicht überflüssig seyn, zu bemerken, daß obige Versuche im vorigen Winter im Laufe meiner Vorlesungen angestellt wurden, und daß eine kurze Nachricht davon in meinen Anfangsgründen der Chemie steht. Jetzt habe ich sie zum Theil genauer angestellt, um ihre Unzulänglichkeit zur Bestätigung oder Widerlegung von Graf Rumford's Meinung außer Streit zu setzen.

Edinburg den 20ten Januar 1802.

II. *Durchgang der Wärme herabwärts durch Quecksilber und durch Oehl in Gefäßen aus Eis, woraus erhellet, daß diese Flüssigkeiten Wärmeleiter sind.*

Bei den in der vorigen Abhandlung beschriebenen Versuchen, eine Flüssigkeit dadurch von oben herab zu erwärmen, daß man einen erhitzten Kör-

per in Berührung mit ihrer Oberfläche bringt, entstand jedes Mal ein Irrthum durch die wärmeleitende Eigenschaft des Gefäßes, worin die Flüssigkeit enthalten war; und man mag den Versuch in Glasgefäßen anstellen, wie man will, so kann man doch diesen Irrthum weder durchaus vermeiden, noch den Einfluß desselben so bestimmen, daß sich genau angeben liesse, in welchem Grade die beobachtete Temperaturerhöhung der Flüssigkeit jenem Umstande zuzuschreiben sey.

Diesen Irrthum kann man indess, meiner Meinung nach, völlig vermeiden, wenn man die Flüssigkeit in einen hohlen Cylinder von Eis gießt. Man denke sich ein Thermometer in einem solchen Gefäße horizontal so angebracht, daß die Thermometerkugel in der Achse des Cylinders und mit Wasser von 32° Wärme bedeckt ist. Bringt man nun einen erhitzten Körper mit der Oberfläche der Flüssigkeit in Berührung, oder taucht ihn so in dieselbe ein, daß er die Thermometerkugel noch nicht berührt, — und das Thermometer steigt: so muß man schließen, daß die Flüssigkeit den Wärmestoff leitet, da dieser dann nur durch die Flüssigkeit zu der Kugel gelangen kann. Der Wärmestoff verbreitet sich durch Flüssigkeiten nicht strahlend; der Versuch läßt sich ferner leicht so anstellen, daß das Thermometer vor aller Erwärmung gesichert ist, die ihm durch Bewegung, in welche die Flüssigkeit beim Eintauchen des erhitzten Körpers geräth, zugeführt werden könnte; und überdies lassen die

Wände des Gefäßes keinen Wärmestoff durch, da Eis nicht über 32° F. erwärmt zu werden, und folglich auch den Wärmegrad der eingeschlossenen Flüssigkeit nicht zu erhöhen vermag. Wenn daher bei diesem Versuche das Thermometer steigt, so darf man sicher schliessen, der Wärmestoff werde von der Flüssigkeit vom erhitzten Körper zu dem Thermometer herabgeleitet.

Ob indeß auch der umgekehrte Satz gilt und ob, wenn das Thermometer nicht steigt, dieses beweist, daß die Flüssigkeit ein vollkommener Nichtleiter der Wärme ist, das scheint zweifelhaft zu seyn. Es läßt sich *a priori* weder bestimmen, ob eine Flüssigkeit in einem Eisgefäße über 32° erwärmt werden, noch, ob sie, falls sie auch wirklich ein Wärmeleiter wäre, doch keinen höhern Wärmegrad auf irgend eine bemerkbare Weite durch sich hindurchleiten könne. Die Theilchen der Flüssigkeit, die den erhitzten festen Körper berühren, werden erwärmt, und bilden einen aufsteigenden Strom, der den Wänden des Gefäßes zufließen muß. Das Eis entzieht diesen Theilchen das Uebermaas von Wärmestoff, und sie nehmen wieder die Temperatur von 32° an. Ob bei diesen Umständen die Temperatur eines Theiles der Flüssigkeit unterhalb des erhitzten Körpers, auch wenn sie ein Wärmeleiter ist, erhöht werden könne, läßt sich nicht übersehn, und es bleibt daher auch ungewiß, ob man, wenn das Thermometer bei diesem Versuche nicht

steigt, schliessen dürfe, die Flüssigkeit sey ein vollkommner Nichtleiter der Wärme.

Zweierlei machte es mir indess wahrscheinlich, dafs, falls Flüssigkeiten Wärmeleiter sind, der Wärmestoff von dem erhitzten festen Körper durch eine dünne Schicht der Flüssigkeit dem Thermometer schneller werde zugeführt werden, als dafs diese inzwischen durch das Eis abgekühlt werden könnte. Erstens ist Eis ein unvollkommner Leiter, und entzieht andern Körpern daher nur langsam den Wärmestoff. Wirft man ein Stück Eis in Wasser von $40 - 50^{\circ}$ Wärme, so vergeht eine beträchtliche Zeit, ehe das Wasser auf 52° erkältet wird. Zweitens verhält sich unter gleichen Umständen die Geschwindigkeit, mit der ein heisser Körper einem kalten Wärmestoff abtritt, wie der Unterschied zwischen den Temperaturen beider, und ist z. B. bei 100° Temperaturunterschied weit gröfser als bei 5° . Da nun in diesem Falle die Temperatur des festen erhitzten Körpers so viel höher als die des Thermometers und der Flüssigkeit ist, so mufs die Mittheilung des Wärmestoffs an die Flüssigkeit schnell vor sich gehn, indess die erwärmte Flüssigkeit dem Eise ihren Wärmestoff, wegen des viel geringern Temperaturunterschiedes, nur sehr langsam abtritt. Ist daher die Flüssigkeit ein Wärmeleiter, so wird dieses Umstandes wegen das Thermometer allerdings steigen müssen, ungeachtet das Eis Wärmestoff verschluckt.

Ist dagegen die Flüssigkeit kein Wärmeleiter, so kann die Wärme auf keine Art durch die Flüssigkeit

zum Thermometer herabkommen. Es steigt dann von dem erhitzten festen Körper ein erwärmender Strom auf, und an den Wänden des Gefäßes wieder herab, wo er seine erhöhte Temperatur ganz oder zum Theil verliert. Dieser absteigende Strom kann aber nicht tiefer heruntergehen, als wo der aufsteigende Strom beginnt, und daher auf keinen Fall die Thermometerkugel erreichen.

Man sieht daher, daß aus allen diesen Gründen der Versuch in einem Eisgefäße entscheidend seyn muß. Steigt das Thermometer, so ist die Flüssigkeit unbezweifelt ein Wärmeleiter. Steigt es nicht, so kann man, wenn nicht mit gleicher Gewissheit, doch mit der größten Wahrscheinlichkeit, schließen, daß sie den Wärmestoff nicht leiten kann.

Ich ließ Wasser in einer zinnernen Form zu einem cylindrischen Gefäße aus Eis gefrieren, das im Lichten 3 Zoll weit und $3\frac{1}{2}$ Zoll tief, und das durchgehends $1\frac{1}{2}$ Zoll dick war. (Taf. II, Fig. 5.) Ein horizontal liegendes Thermometer *B* war in der Seitenwand so mit eingefroren, daß die Thermometerkugel sich in der Achse des Cylinders befand, und daß von einer hineingegossnen Flüssigkeit hier nichts herauslickerte. In diesem Gefäße stellte ich nun die Versuche auf die oft erwähnte Art an.

Zu diesen Versuchen ist indess *Wasser* ganz unbrauchbar, weil es die sonderbare Eigenschaft hat, sich auszudehnen, wenn sich die Temperatur von 40° bis 32° Fahr. vermindert, anstatt sich zusam-

menzuziehn. Man denke sich den Eiscylinder mit Wasser von 32° Wärme angefüllt; und in dasselbe einen erhitzten festen Körper aufgehangen, so wird die Temperatur des mit demselben in Berührung stehenden Wassers unmittelbar 2 bis 3° erhöht, dadurch aber das Volumen desselben nicht vermehrt, sondern vermindert werden, daher es schwerer wird und sich nach der Thermometerkugel hinabsenken muß. So entsteht eine absteigende Strömung, die das Thermometer zum Steigen bringt.

Oehl und *Quecksilber* zeigen diese Erscheinung nicht. Crawford und de Lüc haben bewiesen, daß bei diesen Flüssigkeiten mit Verminderung der Temperatur auch das Volumen gleichförmig abnimmt, oder daß sie sich wenigstens bei der Temperatur, welche zur Anstellung der Versuche dieser Art erfordert wird, hinreichend regelmäÙig zusammenziehn. Schon ihre Anwendung zu Thermometern spricht hierfür hinreichend. Ich stellte daher die folgenden Versuche mit diesen Flüssigkeiten an.

Versuch 1. Es wurde in das Eisgefäß *Mandelhöl* gegossen, so daß es die Thermometerkugel $\frac{1}{4}$ Zoll hoch bedeckte, und darüber eine kleine cylindrische eiserne Schale C, die 2 Unzen Wasser faßte, so aufgehangen, daß ihr flacher Boden die Oberfläche des Oehls berührte. Ich zog sie einer massiven Kugel vor, weil sie das Oehl in einer größern Fläche berührte, und weil an ihr die Tiefe, bis zu welcher sie eingetaucht war, sich genauer bestimmen ließ. Beim Anfange des Versuchs stand

das Thermometer auf 32° . Ich goß die Schale voll kochenden Wassers, und nun stieg das Thermometer in $1\frac{1}{2}$ Minute auf $32\frac{3}{4}^{\circ}$, in 3 Minuten auf $34\frac{1}{2}^{\circ}$, in 5 Minuten auf $36\frac{1}{2}^{\circ}$, in 7 Minuten auf $37\frac{1}{2}^{\circ}$. Hier blieb es stehen; es war folglich in 7 Minuten um $5\frac{1}{2}^{\circ}$ Fahr. gestiegen. Die Temperatur des Wassers in der Schale war in dieser Zeit bis 96° gesunken. Nachdem das Thermometer 6 Minuten auf $37\frac{1}{2}^{\circ}$ gestanden hatte, fing es an zu fallen, um etwa 1° in anderthalb Minuten, bis es wieder auf 32° stand. Am Ende des Versuchs zeigte sich, daß während desselben der obere Theil der Wände des Cylinders theilweise war ausgehöhlt worden, am meisten an der Oberfläche des Oehls; weniger, tiefer herab, etwas inlets selbst unter dem Niveau der Thermometerkugel; ein Beweis, daß die Flüssigkeit bis zu dieser Tiefe herunter erwärmt war. Das Oehl bedeckte das Thermometer noch immer $\frac{1}{4}$ Zoll hoch.

Darauf goß ich so viel Oehl in das Gefäß, daß das Thermometer $\frac{1}{2}$ Zoll hoch davon bedeckt wurde, und wiederholte den Versuch wie zuvor. Jetzt stieg das Thermometer in 3 Minuten von 32° auf $32\frac{3}{4}$, in 6 Minuten auf $32\frac{3}{4}$, in 8 Minuten auf 33 , in 12 Minut. auf 34 , in 15 Min. auf $34\frac{1}{2}^{\circ}$, und hier stand es still. Es war also in 15 Minut. $2\frac{1}{2}^{\circ}$ gestiegen, und fiel so langsam wie beim ersten Versuche.

Bei einer dritten Wiederholung dieses Versuchs wurde das Thermometer $\frac{3}{4}$ Zoll mit Oehl bedeckt, und nun stieg es in derselben Zeit nur $1\frac{1}{2}^{\circ}$.

Versuch 2. Ich stellte darauf in einem andern Eiscylinder, der dem vorigen in allem ähnlich war, dieselben Versuche mit *Quecksilber* an. Die kleine eiserne Schale wurde jetzt nicht aufgehangen, sondern ich liefs sie auf dem Quecksilber schwimmen, und füllte sie vorsichtig mit kochendem Wasser. Als die Thermometerkugel nur $\frac{1}{4}$ Zoll hoch mit Quecksilber bedeckt war, stieg das Thermometer augenblicklich, und zwar in 1 Minute von 52° bis 36° ; diesen Stand behielt es 1 Minute lang, oder stieg eher noch um $\frac{1}{2}^{\circ}$, und dann fiel es in 3 Minuten bis 35° herab, während die Temperatur des Wassers in der Schale sich bis auf 102° vermindert hatte. Das Thermometer fiel langsam fort, bis es wieder auf 52° stand. — Durch das Aufschmelzen der obern Theile der Seiten des Eiscylinders, das auch in diesem Versuche, wie im vorigen statt hat, wird der Durchmesser der Höhlung vermehrt, und dadurch die Höhe des Quecksilberstandes etwas vermindert. In dem Versuche mit Oehl findet etwas ähnliches nicht statt, weil das vom Eise abschmelzende Wasser, das schwerer als das Oehl ist, sich zu Boden senkt und, (indem Wasser nahe einerlei Raum mit dem Eise einnimmt,) die Oberfläche des Oehls genau auf einerlei Höhe erhält. Daher fand man bei genauen Messungen, die am Ende jedes Versuchs mit Oehl angestellt wurden, dafs der Stand desselben nicht merklich tiefer, und so die Thermometerkugel noch eben so hoch wie zu Anfang mit Oehl bedeckt war. Bei dem Quecksilber aber

bleibt das Wasser auf der Oberfläche desselben. Die Oberfläche des Quecksilbers sank indess doch selbst während dieses Versuchs nur so wenig, daß die Thermometerkugel am Ende desselben noch mit so viel Quecksilber bedeckt blieb, daß die Schale ungehindert schwamm, und ich fand sowohl durch Messung, als mittelst eines in der Wand des Cylinders eingefrorenen Maassstabes, daß die Thermometerkugel noch $\frac{1}{2}$ Zoll tief unter Quecksilber stand. Die unmittelbar erwärmten Quecksilbertheile konnten daher nicht mit ihr in Berührung gekommen seyn. Das beweisen auch die Erscheinungen des Versuchs selbst. Anfangs, ehe die Quecksilberläule merklich gesunken seyn konnte, stieg das Thermometer plötzlich, und gegen das Ende, als sie so tief gesunken war, als sie sinken konnte, blieb es stehen, ungeachtet das Wasser noch warm war. Als ich nun die Schale niederdrückte, um sie mit der Thermometerkugel in Berührung zu bringen, stieg das Thermometer plötzlich; ein offener Beweis, daß sie die Thermometerkugel vorher nicht berührt hatte. Noch weniger fand dieses bei den folgenden Versuchen statt, wo die Menge der Flüssigkeit zwischen dem erwärmten Körper und dem Thermometer vermehrt wurde.

Die Thermometerkugel wurde nun im Eisgefäße $\frac{1}{2}$ Zoll hoch mit Quecksilber von 32° Wärme übergossen, und die auf dem Quecksilber schwimmende eiserne Schale voll kochenden Wassers gegossen. Das Thermometer stieg in 1 Minute auf $32\frac{1}{4}$,

in 2 Minuten auf $33\frac{1}{4}$, in 3 Minuten auf $33\frac{1}{4}^{\circ}$, blieb dann stehen, und nach 6 Minuten fing es an zu fallen. Das Quecksilber in dem Gefäße war nicht ganz um $\frac{1}{4}$ Zoll gesunken, und das Thermometer blieb daher am Ende des Versuchs noch mit $\frac{1}{2}$ Zoll Quecksilber bedeckt.

Bei einer dritten Wiederholung des Versuchs, wobei die Thermometerkugel mit 1 Zoll Quecksilber bedeckt war, betrug die Temperaturerhöhung $\frac{1}{4}^{\circ}$.

Jeder dieser Versuche wurde wiederholt mit möglichster Genauigkeit angestellt, wobei mich mehrere Freunde unterstützten. Sie stimmten genau zusammen, und die oben angegebenen Zahlen sind im Mittel aus allen Wiederholungen genommen. Dabei wurden jedes Mal einzelne Umstände abgeändert, z. B. der Eis-cylinder wurde so weit gemacht, daß ein kleines Thermometer ganz und gar horizontal hineingebracht und mit Oehl bedeckt werden konnte; oder es wurde statt der Schale eine massive Kupferkugel in der Flüssigkeit aufgehangen u.s.f.; und doch blieben die Resultate dieselben. Man muß in diesen Versuchen darauf sehen, daß das Eis, woraus das Gefäß besteht, durchaus dicht gefroren ist, damit es die Flüssigkeit aufnehmen kann, ohne etwas hindurchsintern zu lassen. Bei dem Versuche mit Quecksilber ließ ich den Eis-cylinder in der äußern zinnernen Form stehn, um ihm Stärke genug zu geben, das Quecksilber ohne Gefahr zu halten. Dies konnte in dem Versuche keinen Unterschied machen; auch waren, wenn
ich

ich den Zinncylinder wegliess, die Resultate dieselben.

In allen Versuchen fand zuverlässig eine Temperaturerhöhung im Thermometer statt, eine grössere oder geringere, je nachdem sich eine höhere Lage von Flüssigkeit zwischen demselben und dem erhitzten Körper befand. Nach der Natur dieses Versuches selbst liess sich kein beträchtliches Steigen erwarten, da die erwärmte Flüssigkeit ihren Wärmestoff schnell an den Eiscylinder abtreten musste, der sie umschloss, woraus es sich auch erklärt, warum das Thermometer schon zu einem festen Stande kam, und selbst zu fallen anfing, wenn der darüber aufgehängene erwärmte Körper noch eine beträchtlich hohe Temperatur hatte. Die Flüssigkeit nimmt nämlich den Wärmestoff weit langsamer in sich auf, als das Eis ihn einfängt.

Dieses Steigen lässt sich, wie mir dünkt, unmöglich einem andern Grunde, als *der Eigenschaft der Flüssigkeiten, den Wärmestoff zu leiten*, zuschreiben. Von jeder andern Ursach, die man annehmen möchte, lässt sich die Nichtexistenz beweisen.

Erstens ist es klar, dass die Wände des Gefässes der Flüssigkeit, die mit der Thermometerkugel in Berührung war und eine Temperatur von 32° F. hatte, keinen Wärmestoff abtreten konnten. Eis kann zwar, wie andere feste Körper, Wärmestoff leiten, wenn die Temperatur unter dem Frierpunkte ist; aber da es selbst nicht mit einer Wärme über 32° besteht, so kann es auch keiner Flüssigkeit

Wärmestoff über diesen Punkt hinaus zuführen, und daher auch in obigen Versuchen zum Steigen des Thermometers über diesen Punkt hinaus nichts beigetragen haben.

Zweitens wurde der Versuch so angestellt, daß alle Bewegung, welche einen Theil der unmittelbar erwärmten Flüssigkeit hätte der Thermometerkugel zuführen können, sorgfältig vermieden wurde. Daß eine solche nicht statt gefunden habe, beweist überdies das regelmäßige, und bei einigen Versuchen das langsame Steigen des Thermometers.

Drittens konnten die Strömungen, welche in der Flüssigkeit durch die Berührung mit dem erhitzten Körper entstanden, den Wärmestoff nicht abwärts leiten. Denn gesetzt, die Flüssigkeiten sind Nichtleiter der Wärme, so konnten sie durch einen erhitzten Körper, der an ihrer Oberfläche blieb, keine Temperaturerhöhung leiden, da auch die Wände des Gefäßes durchaus keine Temperaturerhöhung durch Mittheilung des Wärmestoffs hervorbringen vermögen. Selbst wenn der erhitzte Körper bis zu einiger Tiefe in die Flüssigkeit eingetaucht wird, können nur von den Seiten und der untern Fläche desselben Strömungen entstehen, und die Flüssigkeit unter dieser Ebene kann daher nicht erwärmt werden.

Viertens habe ich gezeigt, daß das Steigen des Thermometers nicht davon hergeleitet werden kann, daß etwa die unmittelbar von dem festen

Körper erwärmten Theile dadurch bis zur Thermometerkugel herabkämen, daß bei Erweiterung des Gefäßes durch das Schmelzen des Eises die Höhe der Oehl- oder Quecksilberfäule abnimmt. In dem Versuche mit Oehl findet dieses gar nicht statt, da vermöge des erzeugten Wassers das Oehl in derselben Höhe bleibt, und diese Abnahme ist selbst in den Versuchen mit Quecksilber nicht so beträchtlich, als sie hätte seyn müssen, um die an der Oberfläche erwärmten Theile mit dem Thermometer in Berührung zu bringen; dies lehrten wirkliche Messungen und die Erscheinungen bei den Versuchen selbst.

Endlich kann auch der Wärmestoff, der die Thermometerkugel erreichte, nicht durch Strahlung zu ihr verbreitet worden seyn. Der Wärmestoff verbreitet sich durch durchsichtige Flüssigkeiten nicht auf diese Weise, und daß er undurchsichtige, wie Quecksilber, auf diese Art durchdringen könnte, läßt sich gar nicht einmahl annehmen, wie sogleich in die Augen fällt. Daß der Wärmestoff sich auch durch durchsichtige Flüssigkeiten nicht strahlend verbreitet, ist durch die Versuche des Grafen Rumford hinlänglich bewiesen. Dasselbe beweist der folgende Versuch, den ich mit dem obigen Apparat angeestellt habe. Das Thermometer in dem Eiscylinder wurde $\frac{1}{4}$ Zoll hoch mit Oehl bedeckt, und nahe über der Oehlfläche die Schale so aufgehängt, daß der Boden derselben die Oehlfläche selbst nicht berührte. Als kochendes Wasser hin-

eingegossen wurde, stieg das Thermometer in 5 Minuten und darüber kaum um einen Grad, statt daß es in Versuch 1, als die mit warmen Wasser gefüllte Schale die Oehlfläche selbst berührte, unter völlig gleichen Umständen in 7 Minuten um $5\frac{1}{2}$ Grad stieg. Verbreitete sich der Wärmestoff durch die Flüssigkeit durch Strahlung, so hätte die angeführte Abänderung des Versuchs das Resultat nicht ändern können. Die Mittheilung der Temperatur vermittelt des *Leitungsvermögens* der Flüssigkeiten, muß durch Berührung der Flüssigkeit mit dem erwärmten Körper erhöht und erleichtert werden. Die Mittheilung der Wärme vermöge der *Strahlung* bedarf dagegen eines solchen Hilfsmittels nicht, und kann dadurch nicht befördert werden. Dieser Versuch beweist daher deutlich, daß der Wärmestoff selbst durchsichtige Flüssigkeiten nicht durchstrahlt. Die geringe Temperaturerhöhung, welche stattfand, ist dem Wärmestoffe zuzuschreiben, der theils durch Strahlung, theils durch Mittheilung durch die Luft an die Oberfläche des Oehls kam, und von da dem Thermometer von der Flüssigkeit zugeleitet wurde. Dieses wird dadurch bestätigt, daß selbst das Quecksilber, wenn damit der Versuch auf gleiche Weise angestellt wurde, eine geringe Temperaturerhöhung anzeigte. Wurde die Schale mit heißem Wasser über dem Quecksilber, welches die Thermometerkugel $\frac{1}{4}$ Zoll bedeckte, so aufgehangen, daß sie es nicht berührte, so stieg das Thermometer einen Grad.

Hiernach folgt aus allen unsern Versuchen der Schluss, daß die beobachtete Temperaturerhöhung aus der Eigenschaft der Flüssigkeit, *den Wärmestoff zu leiten*, zu erklären ist. Denn eine andre Ursache läßt sich dafür nicht annehmen. Zwar habe ich mit keinen andern Flüssigkeiten, als mit Oehl und Quecksilber, Versuche angestellt, weil es schwer war, eine Flüssigkeit von hinlänglich verschiedener Natur von diesen zu finden, die das Eis hätte halten können. Ist es indeß bewiesen, daß Oehl und Quecksilber Wärmeleiter sind, so wird es höchst wahrscheinlich, daß die übrigen Flüssigkeiten dieselben Eigenschaften besitzen. Quecksilber ist diesen Versuchen zu Folge wahrscheinlich ein besserer Wärmeleiter als Oehl, weil das Thermometer darin weit schneller stieg, als in dem Oehle. *) Daß

*) Dieses bestätigen einige Versuche, welche Nicholson in Gesellschaft mit mehreren Physikern über die streitige Frage, ob Flüssigkeiten Wärmeleiter sind oder nicht, hauptsächlich in der Absicht anstellte, um auszumachen, ob auch nicht das Gefäß die Wärme in Flüssigkeiten herableite. Das Gefäß war ein Cylinder aus Mahagonyholz und wurde ganz mit der zu untersuchenden Flüssigkeit gefüllt. Darauf passte eine Stahlplatte, die bei jedem Versuche genau mit der Oberfläche der Flüssigkeit in Berührung gebracht wurde, und so groß war, daß sie die ganze Oberfläche bedeckte. Von ihr ging ein Arm aus, der bis über eine daneben stehende Lampe reichte, und auf die Stahlplatte wurde ein Zinngefäß mit Wasser gesetzt. Die Lam-

die Temperaturerhöhung nicht beträchtlicher war, als im Oehle, scheint seinen Grund theils in der größern Mobilität der Quecksilbertheilchen zu haben, vermöge deren sie sich geschwinder zu dem Ei-

pe erhitze die Platte so, daß das Wasser im obern Gefäße in stetem Kochen blieb, wodurch die Platte selbst beständig bei einer Wärme von 212° F. erhalten wurde. Durch den Boden des Mahagonygefäßes gingen zwei umgekehrt hängende Thermometer, deren eines sich in der Achse, das andere 0,2 Zoll von der innern Wand des Holzcyinders befand und deren Kugeln $\frac{1}{4}$ Zoll vom Boden abstanden. Das Gefäß selbst war im Lichten 3,5 Zoll weit und 2 Zoll tief. Als das Mahagonygefäß mit *Quecksilber* gefüllt war, stieg das Thermometer in der Achse um 20° , (von 77° bis 98° ,) in 7 Minuten. Als es mit *Baumöhl* gefüllt war, erfolgte dieselbe Wirkung erst binnen 34 Minuten, erforderte also beinahe eine fünffache Zeit. Der Versuch mit *Baumöhl* wurde auf dieselbe Art in einem Glascyylinder angestellt, und ein Beobachter gab während desselben auf die Bewegung der kleinen undurchsichtigen Theilchen im Oehle Acht. Während 30 Minuten, als das Kochen im obern Gefäße fortgesetzt wurde, war *kein* Strömen im Oehle wahrzunehmen. Ueber Wasser kochte das Wasser im obern Gefäße sehr heftig, über Quecksilber nur mäßig, über dem Baumöhle mit viel Geräusch und Stößen. Dieses waren die merkwürdigsten Resultate der Versuche, die man in Nichollson's *Journal*, Vol. 5, p. 197, (Aug. 1801,) findet.

d. H.

fe hin und wieder zurück bewegen, theils in dem höhern Grade des Wärmeleitungsvermögens des Queckfilbers, vermöge dessen es den Wärmestoff der umgebenden Eisfläche schneller als das Oehl abtritt, womit der Umstand zusammenstimmt, daß die Wände des Eiscylinders in dem Versuche mit Queckfilber tiefer, als in dem Versuche mit Oehl, ausgehöhlt wurden.

Edinburg den 27sten Febr. 1802.