

## V.

## BEMERKUNGEN

über

*das eigenthümliche Gesetz, wonach erkaltendes Wasser nahe beim Frostpunkte seine Dichtigkeit ändert, und über die auffallenden Wirkungen dieses Gesetzes in der Oekonomie der Natur, sammt Vermuthungen über die Endursache der Salzigkeit des Meers,*

v o n

Herrn Grafen RUMFORD

in London. \*)

- 
1. Alle Körper sind einer immer zunehmenden Verdichtung durch die Kälte unterworfen; *nur das Wasser mache hiervon eine Ausnahme.* — 2. Wunderbare Wirkungen, die in der Natur aus dem befondern Gesetze entspringen, wonach sich das Wasser verdichtet. — 3. Dieses Gesetz findet man nicht bei der Verdichtung des Salzwassers. — Endursache der Salzigkeit der See. Der Ocean ist, wahrscheinlich vom Schöpfer bestimmt, die Wärme auf eine mehr gleichförmige Art in der Luft zu vertheilen. Dieser Absicht entspräche er nicht, wäre sein Wasser süß. — 4. Endursache der Süßigkeit der stehenden Gewässer und der ins feste Land eintretenden Seen in den Ländern unter höhern Breiten.
- 

\*) Das dritte Kapitel seines *Essay VII über die Fortpflanzung der Wärme in Flüssigkeiten* u. s. w., und in so fern Fortsetzung von Stück III, Nr. V.

## I.

Die unmittelbare Ursache der Bewegung, die beim Wechsel der Temperatur in flüssigen Körpern entsteht, liegt, wie wir gesehen haben, in der Veränderung des specifischen Gewichts der einzelnen Theilchen, welche entweder wärmer oder kälter als die übrige Masse werden. Da nun bei einem gegebenen Wechsel der Temperatur, in einigen Flüssigkeiten das specifische Gewicht sich mehr als in andern verändert; so muß schon dieser Umstand, (unabhängig von ihrer mehr oder minder vollkommenen Fluidität,) in der leitenden Kraft der flüssigen Körper einen merklichen Unterschied bewirken. Je mehr eine Flüssigkeit bei einem gegebenen Wechsel der Temperatur ausgedehnt wird, desto schneller müssen die zuerst erwärmten Theile darin aufsteigen; und da sogleich wieder kältere Theile in ihre Stellen treten, die eben so erwärmt werden, so theilt ein heißer Körper seine Wärme derselben natürlich sehr schnell mit. Aendert sich dagegen bei einem gegebenen Wechsel der Temperatur das specifische Gewicht einer Flüssigkeit nur wenig, so ist die innere Bewegung derselben nur geringe, und die Wärme theilt sich ihr nur langsam mit.

Obleich die Ausdehnung des Wassers durch die Wärme in einer, die Blutwärme übersteigen-

den Temperatur sehr beträchtlich ist; so hört sie doch in der Nähe des Gefrierpunkts fast ganz auf. Und was, als eine Ausnahme von einem der allgemeinsten Naturgesetze, noch sonderbarer ist: wenn das Wasser bis zum achten oder neunten Fahrenheitischen Grade über dem natürlichen Gefrierpunkte erkaltet ist, so wird es, statt bei fernerer Abnahme der Wärme verdichtet zu werden, alsdann wirklich ausgedehnt, und fährt fort, sich auszudehnen, je kälter es wird.

Theilt man die ganze Verdichtung einer gegebenen Quantität kochenden Wassers, das bis zum Gefrierpunkte erkaltet, in eine gegebene Anzahl gleicher Theile, z. B. in 80; so werden die Grade der Verdichtung, die gleichen Abnahmen der Temperatur entsprechen, in den verschiedenen Temperaturen, sehr verschieden seyn. Nämlich für Zwischenräume von  $22\frac{1}{2}$  Grad nach Fahrenheit, (d. h.,  $\frac{1}{8}$  der ganzen Scale vom Siede- bis zum Gefrierpunkte,) beträgt diese Verdichtung

von	$212^{\circ}$	bis	$189\frac{1}{2}^{\circ}$	folcher Theile	18	—
von	$189\frac{1}{2}^{\circ}$	bis	$167^{\circ}$	—	—	16 . 2
von	$167^{\circ}$	bis	$144\frac{1}{2}^{\circ}$	—	—	13 . 8
von	$144\frac{1}{2}^{\circ}$	bis	$122^{\circ}$	—	—	11 . 5
von	$122^{\circ}$	bis	$99\frac{1}{2}^{\circ}$	—	—	9 . 3
von	$99\frac{1}{2}^{\circ}$	bis	$77^{\circ}$	—	—	7 . 1
von	$77^{\circ}$	bis	$54\frac{1}{2}^{\circ}$	—	—	3 . 9
von	$54\frac{1}{2}^{\circ}$	bis	$32^{\circ}$	—	—	0 . 2

Woraus erhellet, daß in der Siedhitze die Verdichtung des Wassers, oder die Vermehrung seiner specifischen Schwere, während es  $22\frac{1}{2}^{\circ}$  erkalter wird,  $\frac{18}{0,2}$ , das ist, 90 Mal größer ist, als in der Temperatur von  $54\frac{1}{2}^{\circ}$ , oder  $22\frac{1}{2}^{\circ}$  über dem Gefrierpunkte.

Es ist wahr, alle Flüssigkeiten werden im Erkalten, bei einem gegebenen Wechsel der Temperatur, mehr verdichtet, wenn sie sehr heiß, als wenn sie kalt sind; aber diese Unterschiede sind im Vergleiche mit denen, die wir im Wasser bemerken, ganz unbedeutend. Nach den Versuchen des Herrn de Luc verhält sich die Verdichtung beim Erkalten von  $212^{\circ}$  bis  $189\frac{1}{2}^{\circ}$ , zu der beim Erkalten von  $54\frac{1}{2}^{\circ}$  bis  $32^{\circ}$ , nach Fahrenheit

in Olivenöhl	—	—	wie 1,14 zu 1
in starkem Weingeiste,	—	—	wie 1,29 zu 1
in Wasser, gesättigt mit Seefalz,	—	—	wie 1,38 zu 1
in reinem Wasser,	—	—	wie 90 zu 1

Der Unterschied zwischen dem Gesetze der Verdichtung des reinen Wassers und desselben Fluidi, wenn es eine Quantität Salz aufgelöst hat, ist auffallend. Spüren wir aber den Wirkungen nach, die diese Vorkehrung auf der Erde hervorbringt, so werden wir uns in Verwunderung und Erstaunen verlieren.

## 2.

Beim Wechsel der Jahreszeiten, der auf der bewundernswürdig einfachen Vorrichtung beruht, daß die Erdachse gegen die Sonnenbahn geneigt ist, würde, wie ich nachher zeigen werde, diese bloß mechanische Veranstaltung nicht hinreichen, die wirklich existirende und für die Erhaltung des thierischen und vegetabilischen Lebens sehr unentbehrliche, stufenweise Veränderung der Temperatur, in den verschiedenen Klimaten zu bewirken, und diese innerhalb bestimmter Grenzen zu erhalten.

Bei der so großen Ungleichheit der Tage in Ländern, die nach den Polen zu liegen, war, (sollten anders diese Gegenden bewohnbar werden und eine Vegetation erhalten,) eine besondere Einrichtung nöthig, um eine gleiche Vertheilung der Wärme zu bewirken und die Extreme in den beiden entgegengesetzten Jahreszeiten zu mildern. Wir wollen sehen, in wie fern das *Wasser* und das bei seiner Verdichtung durch die Kälte obwaltende, merkwürdige Gesetz hierzu mitwirken.

Der weite Umfang des Oceans, seine große Tiefe, und noch mehr, seine unzähligen Ströme, und die Fähigkeit des Wassers, eine sehr beträchtliche Menge von Wärme in sich aufzunehmen,

machen das Meer vorzüglich geschickt, die Wärme auf eine gleichförmigere Weise zu vertheilen.

So bald die Sonne, nach Erreichung ihrer größten Höhe, ihre Rückkehr beginnt, stürmen aus den Regionen des ewigen Frostes die kalten Winde herein, die beständig gegen den Aequator hinstreben. Denn zugleich mit der Länge der Tage nimmt in den höhern Breiten die Kraft der Sonne sehr schnell ab, die Oberfläche der Erde und die Luft zu erwärmen, so daß die Spannkraft der Luft dort bald zu schwach wird, um die dichtere Luft, die von den Polen her drückt, zurückzuhalten. Die Kälte stellt sich mithin dort plötzlich ein. Doch werden die schnellen Fortschritte des Winters anfangs dadurch gehemmt, daß die Erde, und noch mehr das Wasser, die Wärme, die sie während der langen Sommertage verschluckt haben, der kalten Luft mittheilen, sie erwärmen, und dadurch die Gewalt, mit der die Luft andringt, und ihre schneidende Kälte vermindern.

Ist die aufgesammelte Wärme des Sommers erschöpft, so nehmen alle feste und flüssige Körper die Temperatur des gefrierenden Wassers an, und in diesem Zustande wächst die Kälte der Atmosphäre sehr schnell. Doch würde sie noch höher steigen, wenn nicht eine so große Menge

von Wärme in die Luft überginge, indem sich die wässrigen Dünfte verdichten und frieren, um als Schnee herabzufallen, und noch mehr, indem sich das Wasser in Flüssen, Seen und im Erdboden in Eis verwandelt. In sehr kalten Gegenden frieren Boden, Seen und Flüsse häufig schon im Anfange des Winters zu, und werden mit Schnee bedeckt. Die Kälte wird dann sogleich sehr heftig, und nun scheint keine Quelle der Wärme übrig zu seyn, die sie in einem merklichen Grade zu mildern vermöchte.

Wäre hierbei die Vorsehung nicht auf eine bewundernswürdige Weise ins Mittel getreten; wäre, so zu sagen, alles seinem natürlichen Laufe überlassen worden; und befolgte nicht die Verdichtung des Wassers beim Erkalten das wunderbare Gesetz, welches wir in keiner andern Flüssigkeit, selbst nicht im Salzwasser, wiederfinden: so hätte innerhalb der Polarkreise, ganz unvermeidlich in einem einzigen Winter, alles süsse Wasser zu einer sehr großen Tiefe gefrieren und Pflanzen und Bäume hätten verderben müssen. Ja, es ist mehr als wahrscheinlich, daß die Gegenden des ewigen Frostes, rings um die Pole herum, sich würden erweitern, und ihre todte graufenvolle Herrschaft über einen großen Theil der fruchtbarsten

barsten und jetzt am stärksten bewohnten Länder der Erde verbreitet haben.

Das Mittel ist sehr einfach, wodurch die Erde gegen diese Verheerung geschützt wird. Da alle lebende Wesen ohne liquides, fließendes Wasser nicht ihre Nahrung erhalten, noch leben können; so war es nothwendig, eine große Quantität desselben, sowohl im Winter als Sommer, in diesem Zustande zu erhalten. Es mußte daher eine Einrichtung getroffen werden, die gänzliche Verwandlung desselben in Eis zu verhindern, die sonst in den kalten Klimaten, wo mehrere Monate hindurch die Temperatur unter dem Gefrierpunkte ist, unvermeidlich erfolgt wäre und alles Leben vernichtet hätte. Und diese Einrichtung, um so viel Wasser, als die Erhaltung des thierischen und vegetabilischen Lebens erfordert, im liquiden Zustande zu erhalten, beruht auf einem Mittel, wodurch es verhindert wird, seine Wärme der kältern Atmosphäre mitzutheilen.

Diese Mittheilung der Wärme geschieht, wie ich bewiesen habe, allein durch die innerliche Bewegung im Wasser: je heftiger diese ist, desto schneller geht sie vor sich, und diese Bewegung richtet sich wieder nach der Größe der Veränderung, welche ein gegebener Wechsel der Temperatur in der specifischen Schwere des Fluidi

bewirkt. Sie ist daher bei Temperaturen unterhalb der mittlern Temperatur der Luft nur sehr geringe, und vollends unbedeutend, wenn die Temperatur des Wassers sich dem Gefrierpunkte nähert, weshalb das Wasser im Gefrieren sich nur sehr langsam von seiner Wärme trennt.

Aber auſer dieſem iſt noch ein anderer in ſeinen Folgen bewundernswürdiger Umſtand zu bemerken. Wenn das Waſſer bis zum achten oder neunten Grade über dem Gefrierpunkte erkalter, ſo hört es nicht allein auf, ferner verdichtet zu werden, ſondern es dehnt ſich im Gegentheile bei der fernern Abnahme ſeiner Wärme aus, und zwar nicht bloß ſo lange es noch liquid bleibt, ſondern ſelbſt indem es in Eis verwandelt wird; weshalb auch das Eis in dem nicht gefrorenen Fluido ſchwimmt. Und dieſe ſonderbare Einrichtung iſt es vornehmlich, welche das Gefrieren des Waſſers, das der kältern Atmoſphäre ausgeſetzt iſt, verzögert.

Es iſt bekannt, daß keine Mittheilung der Wärme zwiſchen zwei Körpern ſtatt findet, ſo lange ſie beide eine gleiche Temperatur haben und keine chemiſche Vereinigung eingehen, und daß die Strebſamkeit der Wärme, aus einem warmen Körper in einen kalten, mit dem er in Berührung iſt, überzugehen, ſich nach der grö-

fsern oder geringern Verschiedenheit ihrer Temperaturen richtet.

Angenommen nun, daß eine Masse sehr kalter Luft auf der stillen Oberfläche eines großen Sees ruhe, dessen süßes Wasser die Temperatur von 55° nach Fahrenheit habe. Während die obersten Wassertheilchen ihre Wärme der kalten, sie berührenden Luft zum Theil abtreten, und mithin specifisch schwerer werden, als die wärmern Theilchen, über welchen sie stehen; so müssen sie natürlich sinken. Statt ihrer steigen die wärmern zur Oberfläche herauf, setzen dort gleichfalls einen Theil ihrer Wärme ab, und sinken darauf ebenfalls; und auf diese Weise bleibt die ganze Masse des Wassers in Bewegung, so lange der Prozeß des Erkaltens währt. Warum aber die Wassertheilchen an der Oberfläche, wo die sehr kalte Luft sie bestreicht, nicht gleich so erkalten, daß sie unmittelbar zu Eis werden, da doch keine Mittheilung der Wärme zwischen ihnen und den übrigen Wassertheilchen statt findet; das liegt hauptsächlich an zwei Ursachen, welche der Bildung des Eises an der Oberfläche entgegen stehen. — Erstlich wird die specifische Schwere des Wassers an der Oberfläche, in dem Augenblicke, da es sich von seiner Wärme scheidet, vermehrt, und es senkt sich nieder, ehe die

Luft Zeit hat, es aller seiner Wärme zu berauben. — Zweitens ist die Luft ein zu schlechter Leiter der Wärme, um diese mit der Geschwindigkeit aufzunehmen und fortzupflanzen, die erforderlich wäre, sollte dadurch die Oberfläche des Wassers so plötzlich abgekühlt werden, daß die innere Bewegung der Theilchen des Liquidi ins Stocken gerieth.

Erst wenn das ganze Wasser beim Erkalten die Temperatur von ungefähr  $40^{\circ}$  erreicht hat, hören die Theilchen an der Oberfläche auf, ferner verdichtet zu werden, indem sie ihre Wärme fahren lassen, und mithin auch die innere Bewegung des Wassers. Sie bleiben oben, und nur erkalten sie sehr bald bis zum Gefrieren, da sich denn ihre gebundene Wärme entbinder und das Eis sich zu bilden beginnt. Ist die Oberfläche mit Eis überzogen, so wird, da das Eis ein sehr schlechter Wärmeleiter ist, dadurch der Uebergang der Wärme aus dem Wasser in die Luft sehr erschwert, und die Eisdecke selbst dient dem Wasser zu einer sehr warmen Bekleidung, die es zugleich gegen die Beunruhigung durch den Wind schützt. Da ferner das Eis an seiner untern Fläche beinahe dieselbe Temperatur hat, als das berührende Wasser, (denn die wärmern Wassertheilchen nehmen, zufolge ihrer größern spe-

cifischen Schwere, mehr unterwärts ihren Platz,) so ist auch deshalb die Mittheilung der Wärme zwischen dem Wasser und dem Eise sehr unbedeutend. Wird nun vollends die Oberfläche des Eises mit Schnee bedeckt, so kommt noch ein neues und sehr wirksames Mittel hinzu, welches das Verfliegen der Wärme aus dem Wasser verhindert; so daß, wenn auch die intensivste Kälte in der Atmosphäre herrscht, doch die Dicke des Eises nur in einem sehr geringen Grade zunehmen wird.

Dabei verliert die ungefrorene Wassermasse keinen Theil ihrer Wärme; im Gegentheile erhält sie beständig neue aus dem Erdboden. Diese, während des Sommers in der Erde aufgesammelte Wärme ersetzt einigermaßen diejenige, die durch das Eis in die Atmosphäre übergeht, und macht dadurch, daß dem mit dem Eise in Berührung stehenden Wasser die gebundene Wärme nur schwer entzogen wird. Ist die Temperatur der Luft nicht viel unter dem Gefrierpunkte, so reicht dieser Ausfluß der Wärme aus dem Boden völlig hin, die Wärme zu ersetzen, welche die Luft mit sich fortführt, und die Dicke des Eises nimmt daher dann nicht zu. Ja, das Eis wird durch sie gar an seiner untern Fläche geschmolzen, und vermindert sich, wenn die Luft nicht

kälter als gefrierendes Wasser ist. Dieses eignet sich auch wohl, wenn das Eis sehr dick ist, und besonders wenn tiefer Schnee darauf liegt, selbst dann, wenn die Temperatur der Atmosphäre beträchtlich unter dem Gefrierpunkte ist.

Wenn die untern Theilchen des Wassers vom Erdhoden bis über  $40^{\circ}$  erwärmt werden, so dehnen sie sich aus, werden specifisch leichter und steigen zu der Oberfläche des flüssigen Wassers hinauf. Hier treten sie zwar ihre freie Wärme der untern Fläche des Eises ab, kehren deshalb aber doch nicht zu dem Boden des Wassers zurück, da sie sich auch beim Erkalten unter  $40^{\circ}$  wieder ausdehnen; die aus der Erde ausdünstende Wärme bringt daher nur eine sehr geringe Bewegung in der Masse des Wassers hervor, und dieser Umstand trägt gewiß sehr viel dazu bei, dem Wasser seine Wärme zu erhalten.

Wird das Wasser durch Stürme beunruhigt, so entsteht kein Eis, wenn auch gleich, bei langer Fortdauer der Kälte, die ganze Wassermasse bis zu dem Grade erkaltet ist, wo die innere Bewegung aufzuhören pflegt. Denn ob nun gleich die obern Theilchen beim fernern Erkalten nicht mehr herabzusinken streben und deshalb zum Gefrieren geneigt sind; so besitzen sie doch noch 8 bis  $10^{\circ}$  freier Wärme, die ihnen entzogen werden muß,

ehe die Eisbildung anfängt; und da die Störung des Wassers durch den Wind kein Theilchen lange genug in Berührung mit der kalten Luft läßt, um ihr auf einmahl diese Wärme abtreten zu können, so kommt es nicht so bald zum Frieren. Da aber doch das Wasser in diesem Falle eine große Quantität Wärme verliert, und zwar bei dem Winde mehr, als in stiller Luft; so entsteht, so bald der Wind aufhört und die Kälte noch anhält, das Eis desto schneller.

Kehrt der Frühling zurück, so schmilzt der Schnee von der Wärme der steigenden Sonne; und indeß die aus der Erde ausdünstende Wärme das Eis an der untern Fläche schmilzt, zergeht es auf der Oberfläche an den viel wirksamern Strahlen der Sonne. Denn obgleich das Eis durchscheinend ist, so ist es doch nicht vollkommen durchsichtig, und die Lichtmaterie muß nothwendig da, wo sie auf ihrem Durchgange durch dasselbe aufgehalten oder verschluckt wird, Wärme erzeugen.

Deshalb darf man sich auch nicht wundern, daß der den Sonnenstrahlen ausgesetzte Schnee selbst dann schmilzt, wenn die Temperatur der Luft im Schatten beträchtlich unter dem Gefrierpunkte ist; daß der Schnee an der Sonne schon fortschmilzt, ehe noch die glatte Oberfläche des

Eises merklich erweicht wird; und daß er gewöhnlich schon ganz verschwunden ist, bevor die mit Eis bedeckten Flüsse und Seen aufgehen. Die auf eine Schneelage fallenden Strahlen dringen, indem sie oft gebrochen und zurückgeworfen werden, tief in sie ein und setzen ihre Wärme hier ab, wo die kalte Luft der Atmosphäre sie nicht leicht an sich reißen kann. Die Strahlen hingegen, welche auf eine glatte und horizontale Eisfläche fallen, prallen meist aufwärts in die Atmosphäre zurück; und werden auch einige von der Oberfläche des Eises verschluckt, so wird doch die hierdurch erzeugte Wärme augenblicklich wieder von der kalten Luft fortgeführt; und kaum ist ein Wassertheilchen fluid geworden, so gefriert es schon wieder. Man sieht hieraus, daß der Schnee, welcher in kalten Ländern die Eisdecke des fursen Gewässers bedeckt, nicht allein hindert, daß dem Wasser im Winter die Wärme von der kalten Luft entzogen werde, sondern daß er auch im Frühlinge wirksam zur frühern Aufthauung des Eises beiträgt.

Ganz anders würde sich dieses alles verhalten, wenn bei der Verdichtung des Wassers durch Kälte dasselbe Gesetz statt fände, dem andere Flüssigkeiten unterworfen sind.

Da die innere Bewegung des Wassers dann so lange fortdauern müßte, als die specifische Schwere desselben durch den Austritt der Wärme sich vermehrte; so entstände das Eis nicht eher, als bis die ganze Masse des Wassers zu der Temperatur von  $32^{\circ}$  nach Fahrenheit gekommen wäre. Um sich von der ungeheuern Quantität Wärme einen Begriff zu machen, die ein tiefes Wasser, bei der Erkaltung seiner ganzen Masse bis zu diesem Grade, verlieren müßte, darf man nur berechnen, wie viel Eis eine solche Quantität Wärme schmelzen, oder wie viel gefrierenden Wassers sie bis zum Sieden erhitzen könnte.

Nach den bekannten Versuchen gehört, um eine gewisse Quantität Eis zu schmelzen, so viel Wärme, als ein gleiches Gewicht von Wasser verliert, indem es um  $140$  Grade erkaltet. Mithin würde durch jeden Grad Wärme, der aus einer Wassermasse tritt, eine Eismasse, die  $\frac{1}{140}$  so viel wiegt, geschmolzen werden. Wasser, das vom  $40$ sten bis zum  $32$ sten Grade erkaltet, verliert mithin eine Quantität Wärme, die eine  $\frac{8}{140}$  oder  $\frac{2}{35}$  so schwere Eismasse schmelzen könnte. Aus einem  $35$  Fuß tiefen Wasser entwickelt sich daher bei diesem Erkalten eine Wärme, die eine Eislage von  $2$  Fuß Dicke schmelzen könnte.

Dies ist aber noch nicht alles; denn da die erkalteten, folglich specifisch schwerer gewordenen Wassertheilchen von der Oberfläche des Wassers unmittelbar auf seinen Grund sinken müssen, so würde der größte Theil der im Sommer dort aufgehäuften Wärme ihnen mitgetheilt werden und verloren gehen, ehe das Wasser zu frieren anfinge. Hätte sich dann einmahl das Eis gebildet, so würde seine Dicke sehr schnell, und so lange der Winter dauerte, zunehmen. Wahrscheinlich würde dann das Wasser großer Seen, in unserm gemäßigten Klima, bei einem strengen Winter, zu einer solchen Tiefe zufrieren, daß die Wärme des folgenden Sommers es nicht wieder aufzuthauen vermöchte. Und ereignete sich dies erst ein Mahl, so würde gewiß der folgende Winter die ganze Wassermasse in einen festen Eiskörper verwandeln, der in alle Ewigkeit seine liquide Form nicht wieder erhalten könnte. Herr von Sauffüre fand im Februar, nach einem Monat langen Froste, bei der Luft-Temperatur von  $38^{\circ}$ ; das Wasser des Genfer Sees an der Oberfläche von  $41^{\circ}$ , und in einer Tiefe von 1000 Fuß von  $40^{\circ}$  Wärme. Hätte der Frost noch etwas weniges länger angehalten, so hätte sich das Eis gebildet. Erforderte aber die Natur des Wassers, daß die ganze Masse des Fluidi in

diesem See erst bis zum 32sten Grade hätte erkalten müssen, ehe es zur Erzeugung des Eises fähig geworden wäre; so würde die Eisbildung nur dann erfolgt seyn, wenn das Wasser so viel Wärme verloren hätte, als zur Schmelzung einer über 57 Fufs dicken Eisdecke hingereicht hätte. Und diese Quantität Wärme ist groß genug, um eine Masse eiskalten Wassers, vom Umfange dieses Sees und 49 Fufs Tiefe, bis zum Sieden zu erhitzen.

Die Einfachheit der Einrichtung, durch die alle diese Wärme dem Wasser erhalten wird, ist nicht genug zu bewundern, so wenig als die wohlthätigen Folgen des einfachen Gesetzes, das bei der Verdichtung des Wassers statt findet.

## 3.

Noch war es nöthig, in den vom Aequator entfernten Gegenden die Kälte der Polar-Winde zu mäßigen, um die Gewässer, den Erdboden und die Gewächse gegen ihre zu große Kälte zu schützen; und dieses geschieht durch das Wasser des Oceans, der nicht allein hierzu vorzüglich geschickt, sondern auch dazu besonders bestimmt zu seyn scheint.

Das Wasser des Oceans enthält einen großen Antheil aufgelöstes Salz, und wir haben gesehen, daß die Verdichtung der Salzauflösung, bei ih-

rem Erkalten, sich nach einem ganz andern Gesetze, als die Verdichtung des reinen Wassers richtet. Gerade dieses macht das Meer vorzüglich geschickt, der kalten über dasselbe hinwegenden Luft Wärme mitzutheilen. Da das Seewasser im Erkalten fortfährt, sich zu verdichten, selbst noch jenseits des Punktes, wo süßes Wasser gefriert; so hört die innere Bewegung hier nicht, wie im reinen Wasser, bei einer Temperatur von  $40^{\circ}$  auf. Die obern Theilchen sinken nach dem Verluste ihrer Wärme immerfort von der Oberfläche hinab, statt ihrer steigen wieder wärmere herauf, und bei diesem beständigen Zuflusse der wärmern Theilchen nach der Oberfläche wird der Luft ohne Vergleich mehr Wärme, als von süßem Wasser bei derselben Temperatur mitgetheilt, wie das die folgende Rechnung beweiset.

Das Meerwasser und das frische Wasser mögen beide eine Temperatur von  $40^{\circ}$  haben, und wir wollen annehmen, sie hätten auch denselben Gefrierpunkt bei  $32^{\circ}$ , (ob dieser gleich beim Meerwasser tiefer liegt und die Luft über dem Meere daher länger gewärmt wird;) auch finde die Mittheilung der Wärme nicht weiter statt, sobald eine Eisdecke gebildet ist. Das süße Wasser hört in dieser Temperatur auf, verdichtet zu wer-

den; die innere Bewegung stockt; und das Eis bildet sich sogleich an der Oberfläche: das Meerwasser dagegen verdichtet sich immerfort, so lange es Wärme verliert; die innere Bewegung desselben hält an; und das Eis kann hier schlechterdings nicht eher entstehen, als bis die ganze Masse des Wassers bis zu  $32^{\circ}$  erkaltet ist. Das Meerwasser tritt daher vor der Entstehung des Eises zum wenigsten 8 Grad mehr Wärme, als das süsse Wasser, der darüber stehenden Luft ab; eine außerordentliche Quantität Wärme, die, unfrer vorigen Rechnung zufolge, hinreichen mußte, eine über das ganze Meer verbreitete Eisdecke zu schmelzen, deren Dicke  $\frac{3}{4}$ tel der Seetiefe betrüge. In der Nordsee, unter  $67^{\circ}$  Breite, wo Lord Mulgrave das Meer 4680 Fuß tief fand, würde diese Eisdecke 265 Fuß dick seyn. Ein Grad Wärme, der aus dem Wasser in die Luft übergeht, vermag aber eine Luftschicht, die 44 Mahl so hoch, als das Wasser tief ist, 10 Grad zu erwärmen. Bei der Bildung des Eises entwickelt sich vollends so viel Wärme, daß eine darüber gebildete Luftschicht 2220 Mahl so dick als das gebildete Eis, (die also im letztern Beispiele 265 · 2220 Fuß, oder 180 Meilen hoch wäre,) dadurch in ihrer Temperatur um  $28^{\circ}$ , oder vom Frostpunkte bis  $50^{\circ}$  nach Fahrenheit erhöht

werden würde, d. h., bis zur mittlern Temperatur des nördlichen Deutschlands. Hieraus mag man beurtheilen, wie wirksam das Wasser des Oceans, der nirgends als in sehr hohen Breiten zufriert, zur Erwärmung der kalten hinabdringenden Polar Winde ist.

Der Ocean mildert indess nicht bloß die außerordentliche Kälte der Polar-Gegenden, sondern er ist auch nicht minder wirksam, um die übertriebene Hitze in den heißen Zonen zu mäßigen; beides bewirkt er durch eine und dieselbe Einrichtung, nämlich durch seine Salzigkeit.

Da beim Erkalten des Salzwassers die innere Bewegung der Theilchen noch lange, selbst über die Temperatur hinaus fortwährt, in welcher süßes Wasser gefriert; so sinken die Theilchen, die durch die unmittelbare Berührung der kalten Winde an der Oberfläche erkalten, immerfort zum Grunde der See hinab, wo sie bleiben müssen, bis neue ihnen zukommende Wärme ihre specifische Schwere wieder vermindert und sie nach der Oberfläche hinauftreibt. Aber die verlorne Wärme kann ihnen in den Polar-Gegenden nie wieder ersetzt werden, da unzählige Versuche es außer allen Zweifel gesetzt haben, daß *kein Wärme-Princip sich in den innern Theilen des Erdballs befindet*, welches durch den Boden des

Oceans dem darauf ruhenden Wasser Wärme zuführen könnte. Man hat gefunden, daß in einer großen Tiefe unter der Oberfläche die Temperatur der Erde in den verschiedenen Breiten sehr von einander abweicht, und es ist außer Zweifel, daß dieses auch mit der Temperatur in der Tiefe des Meeres der Fall ist, in so fern die Meeresströme darin keine Veränderung hervorbringen. Auch dieses ist mit ein Beweis, daß die Wärme, die wir im Sommer und Winter ohne merkliche Veränderung, in großen Tiefen, an einem und demselben Orte finden, der Einwirkung der Sonne, und nicht einem *Central-Feuer*, wie Einige zu voreilig vermutheten, zuzuschreiben sey. \*)

\*) Aber woher rührt diese Wärme? Darüber äußert Herr von Humboldt in einer Abhandlung über den Einfluß der Wärme aus chemischen Zersetzungen auf die Temperatur, in Moll's Jahrbüchern für die Berg- und Hüttenkunde, B. 3, S. 1, Salzburg 1799, folgende interessante Vermuthung. Unser Erdkörper ist, nach allen Beobachtungen, aus dem flüssigen in den festen Zustand übergegangen. Dieses konnte nicht ohne Freiwerdung von Wärme geschehen, und daher rühren, wie er glaubt, nicht bloß die Erdwärme, sondern auch die Spuren von südlichen Pflanzen und Thieren in den Nordländern, da diese freiwerdende Wärme der in den festen Zustand übergehenden Erde sich auf mannigfaltige Art auch in der Atmosphäre verbreiten

Aber wenn das Meerwasser, das nach dem Verlusfe eines großen Theils feiner Wärme hinabsinkt, da, wo dieses geschieht, nicht wieder erwärmt werden kann; so muß es, weil seine specifische Schwere größer, als die des Wassers in derselben Tiefe unter wärmern Breiten ist, augenblicklich anfangen, sich auf dem Grunde des Meeres nach dieser Gegend hin auszubreiten, und folglich gegen den Aequator hinzufießen; und dieses muß nothwendig einen Strom von entgegengesetzter Richtung auf der Oberfläche hervorbringen. Von dem Daseyn dieser beiden Ströme giebt es unwiderlegbare Beweise; auch wird die Existenz des einen schon durch die des andern dargethan.

Das, was man im atlantischen Meere den Strom des Meerbusens von Mexiko, (*Gulph-stream*,) nennt, ist nichts anderes, als einer dieser Ströme;  
nämlich

mußte, dort aber sich nicht so, wie in der Erde, gleichmäßig vertheilt erhalten konnte, da denn die Nordländer erkalteten und ihre südliche Vegetation größtentheils zerstört wurde; eine Erklärung, die durch das gänzliche Unhaltbare der bisherigen Hypothesen, (deren vorzüglichste, aus der Veränderung der Lage der Ekliptik, la Place hinlänglich widerlegt hat,) noch mehr gehoben wird.

nämlich der Strom der Oberfläche, der vom Aequator gegen den Nordpol fließt, und auf dessen Richtung die Muffons und die Gestalt des festen Landes von Nord-Amerika Einfluß haben. Der Lauf des untern entgegengesetzten Stroms beweiset unmittelbar die Kälte, die man in großen Meerestiefen in den heißen Gegenden findet, die um vieles niedriger, als die mittlere jährliche Temperatur der Erde in diesen Gegenden ist, und deshalb aus den kältern Regionen herkommen muß. Herr Kirwan hat, in seiner vortrefflichen Abhandlung über die Temperatur der verschiedenen Breiten, die mittlere Temperatur der Breite von  $67'$  auf  $39^\circ$  angegeben. Lord Mulgrave fand aber den 20ten Junius bei der Temperatur der Luft von  $48\frac{1}{2}^\circ$ , die Temperatur der See, in einer Tiefe von 4680 Fufs, 6 Grad unter dem Gefrierpunkte, oder  $26^\circ$  nach Fahrenheit's Thermometer. — Den 31ten August war in der Breite von  $69^\circ$ , wo die mittlere Temperatur ungefähr  $38^\circ$  zu seyn pflegt, die Temperatur der See, in einer Tiefe von 4038 Fufs,  $32^\circ$ , während die Temperatur der Atmosphäre, (und wahrscheinlich auch die des Wassers auf der Seeoberfläche,)  $59\frac{1}{2}^\circ$  betrug.

Einen noch auffallendern Beweis für das Daseyn der kalten Ströme, die auf dem Boden des

Meeres von den Polen gegen den Aequator zu fließen, giebt der sehr bemerkbare Unterschied, der sich in der Gegend der Wendekreise zwischen den Temperaturen der See an der Oberfläche und in einer großen Tiefe findet. Denn obgleich die Temperatur der Atmosphäre daselbst so beständig ist, daß die größten, durch die Jahreszeiten hervorbrachten Veränderungen sich selten über 5 oder 6 Grad belaufen; so findet sich doch zwischen der Wärme des Wassers auf der Oberfläche der See, und in einer Tiefe von 3600 Fuß, ein Unterschied von 31 Graden, indem gewöhnlich die Temperatur auf der Oberfläche 84°, und in der erwähnten Tiefe 53° ist. \*) Diese Kälte in der Meeres-tiefe der heißen Zone scheint sich auf keine andere Art, als aus den kalten Strömen, die von den Polar-Gegenden hinabdringen, erklären zu lassen. Und die Nützlichkeit dieser Ströme zur Milderung der außerordentlichen Hitze dieser Gegenden springt daher in die Augen.

Da sie durch die Verschiedenheit in der specifischen Schwere des Seewassers bei verschiedenen Temperaturen bewirkt werden, so müssen sie eine desto größere Geschwindigkeit annehmen, je

\*) *Philosophical Transactions for 1792.*

mehr die specifische Schwere der Theilchen durch dieselben verändert wird. Es läßt sich daher leicht abnehmen, wie viel größer sie im salzigen als im süßen Wasser seyn muß, und wie viel wirksamer diese Abkühlung durch das Meer als durch süßes Wasser erreicht wird.

## 4.

Es ist merkwürdig, daß das Wasser aller großen Landseen, und in den kalten Klimaten selbst das Wasser der meisten inländischen Meere, die, (gleich dem baltischen,) nur durch enge Kanäle mit dem Ocean zusammenhängen, *süß ist*. Die Folgen, welche aus der entgegengesetzten Einrichtung entstehen würden, können uns leicht überführen, daß dieses nicht ohne Zweck ist. Zwar würden diese weit in das feste Land tretenden Seen, der kalten Klimate, wenn sie eben so salzig als das Meer wären, die Winde, die zu Anfang des Winters über sie fortwehen, stärker erwärmen, und die Temperatur der Luft, an der den Winden entgegengesetzten Seite des Sees, mehr mildern, als bei süßen Gewässern geschieht: da aber dann das Wasser eine unermessliche Quantität Wärme von sich geben müßte, ehe es an seiner Oberfläche geföre, so würde es bei der Rückkehr der warmen Jahreszeit so erkaltet

feyn, daß der Frühling, vielleicht auch ein Theil des Sommers, darüber hingehen könnte, ehe es durch die Sonne die verlorne Wärme wieder erhielte. Durch die Kälte dieser Gewässer müßte auch die Temperatur der Atmosphäre erniedrigt, und dadurch die Vegetation der umliegenden Gegend, in einer beträchtlichen Entfernung, ins Stocken gebracht werden. Sollte daher auch im Winter die Luft, an der Seire des Sees, die den Winden entgegengesetzt ist, etwas gemildert werden, (welches jedoch immer nur in einer sehr kleinen Ausdehnung der Fall seyn könnte;) so würde doch dieser Vortheil auf keine Weise den schädlichen Wirkungen das Gegengewicht halten, die aus einer so großen, kalten Wassermasse, im Sommer, entspringen müßten.

Wenn dagegen jetzt, da diese Gewässer fließ sind, der Winter einmahl recht eingetreten, Flüsse und Seen zugefroren sind, und alles mit Schnee bedeckt ist; so können einige Grade von Kälte mehr, keine dauernden, schlimmen Folgen hervorbringen. Haben sie ja einigen Einfluß auf den künftigen Sommer, so machen sie ihn eher wärmer, als kälter. Seen mit Salzwasser würden also in kalten Gegenden, im Winter von keinem reellen Nutzen, aber von sehr großem Schaden

für den Sommer feyn: da hingegen küſſe Seen, die zu Anfang des Winters ſchon zufrieren und den größten Theil ihrer Wärme den Winter hindurch behalten, in dieſer Jahreszeit zwar wenig oder gar nichts nutzen, für den Sommer aber auch von keinem ſchädlichen Einfluſſe ſind.

---