

# Die Sonnenwärme

## und ihre Bewegung auf der Erde.



Die am meisten bekannte und auch die grossartigste Entfaltung des Sonnenlichtes in seine verschiedenen Strahlen ist der Regenbogen. Nicht immer sind bei fallendem Regen die Bedingungen erfüllt, unter denen allein die prachtvolle Erscheinung entsteht. Directes, ungeschwächtes Sonnenlicht muss die einzelnen Wassertropfen erreichen. Dies tritt nie bei allgemein bedecktem Himmel, wohl aber bei Gewittern und Strichregen ein. Allgemein bekannt ist auch die Erfahrung, dass der Standort des Regenbogens von der Tageszeit abhängig ist. Morgens sehen wir ihn nur im Westen, Abends nur im Osten. Es geht also bei seiner Bildung das Sonnenlicht über uns weg zur Regenwolke, und wird erst von dort aus nach unserem Auge zurückgeworfen. Die blosse Reflexion des Lichtes bringt aber keine Farbenentwicklung hervor. Damit die verschiedenen im weissen Lichte vereinigten Lichtstrahlen sich von einander trennen, ist es nöthig, dass das Sonnenlicht in die einzelnen Regentropfen eindringt, bevor es reflectirt wird.

Im Allgemeinen können wir die Vorgänge, welche bei dem einzelnen Wassertropfen eintreten, an jeder ungefähr kugelförmig gebauchten Wasserflasche leicht beobachten. Lassen wir das Licht einer Lampe aus einiger Entfernung auf eine gefüllte kugelige Flasche fallen und treten wir vor die letztere hin, so erblicken wir mehr oder minder von der Mitte der Flasche aus einen hellen aber ungefärbten Lichtpunkt uns entgegenstrahlen. Es ist dies von der convex gewölbten vordern Glasfläche zurückgeworfenes Licht. Genau betrachtet ist es ein verkleinertes Bild unserer Lichtquelle. Ebenso entdecken wir an der hintern Wand der Flasche einen Lichtpunkt. Treten wir etwas seitwärts, so sehen wir dieses von der concaven hintern Fläche zurückgeworfene Licht sich mit uns bewegen. Je mehr wir seitwärts treten, desto mehr nähert sich dieses Licht dem Rande, bis wir auf einmal auf kleiner Fläche die schönsten Regenbogenfarben erblicken. Ohne die Erscheinung zu beeinträchtigen, können wir jetzt die Vorderseite der Flasche mit der Hand bedecken. Erst wenn wir den entgegengesetzten Rand beschatten, verschwindet die Farbenpracht. Dort also auch nur trifft dasjenige Lampenlicht, welches uns die Farben liefert, die Flasche und tritt aus der Luft in das durchsichtige Glas und Wasser. Bei diesem Uebergange aus der Luft in das durchsichtige Glas und Wasser wird das Licht gebrochen, d. h. von seinem bisherigen Wege plötzlich abgelenkt, und zwar nach der Mitte der hintern Wand der Flasche. Von hier aus wird das Licht nach dem uns nahen Rande der Flasche gespiegelt und hier bei seinem Austritt in die Luft wiederum gebrochen, und zwar nach unserem Auge zu. Der Winkel, welchen der ausgetretene Lichtstrahl mit seiner Richtung bildet, ehe er in die Flasche eintritt, beträgt nicht ganz die Hälfte eines rechten Winkels. Halten wir die Farbenerscheinung am Rande der Flasche fest im Auge und führen wir die Flasche mit einiger Vorsicht in einem Bogen vor unserm Auge auf und ab, so werden wir die Farben an immer anderen und zwar uns nahen Punkten des Umrisses der Flasche sehen können; stets aber werden wir durch theilweises Beschatten der Flasche finden, dass die Farben von Licht herrühren, welches an der entgegengesetzten Stelle des Umfangs der Flasche eingetreten ist, sowie dass der ursprüngliche Strahl mit dem ausgetretenen ungefähr einen halben rechten Winkel bildet. Befänden sich nun überall vor uns Wasserkugeln, so würden sämtliche Punkte, an welchen die Farben erscheinen, einen Kreis bilden.

Ebenso verhält es sich beim Regenbogen. Der Sonnenstrahl, welcher den obern Theil des einzelnen Tropfens trifft, wird beim Uebergang aus der Luft in das Wasser nach unten gebrochen, stösst auf die hintere Wand, wird von derselben nach unten und vorn gespiegelt und dann bei seinem Uebertritt aus dem Wasser in die Luft wiederum von seinem Wege abgelenkt und so zum zweiten Mal gebrochen. Auch hier bildet der

ausgetretene Lichtstrahl mit dem ursprünglichen ungefähr einen halben rechten Winkel. Bildet daher unser Auge den Scheitel eines Winkels von anderthalb rechten, von dem ein Schenkel nach der Sonne gerichtet ist, so kann man mit dem andern Schenkel am Himmel einen Kreis beschreiben, welcher stets mit dem Regenbogen zusammenfällt. Die Breite des Regenbogens beträgt das vier- und einhalbfache des scheinbaren Sonnendurchmessers. Davon kömmt die einfache Breite auf die Sonne selbst; die übrigen drei und eine halbe Breite fallen der eigentlichen Zerstreuung oder Auflösung des Sonnenlichtes in seine farbigen Strahlen zu. Diese Trennung der verschiedenen Strahlen findet immer statt, wenn das Licht von seinem bisherigen Wege in eine andere Richtung abgelenkt wird, und dieses geschieht, wenn das Licht aus einem Medium in ein anderes übertritt, z. B. aus Luft in Wasser oder aus Wasser in Luft. Da nämlich die Brechung für das rothe Licht kleiner ist, als für das violette, so trennen sich die verschiedenen Lichtstrahlen im Momente der Ablenkung, und jede Farbe wird für sich sichtbar.

Es war im Jahre 1675, dass Isaac Newton der Royal Society seine denkwürdige Abhandlung über die Optik überreichte. Die beiden ersten Lehrsätze dieser Abhandlung lauten: „Lichtstrahlen, welche von verschiedener Farbe sind, sind auch von verschiedener Brechbarkeit.“ „Das Licht der Sonne besteht aus Strahlen von verschiedener Brechbarkeit.“ Die Richtigkeit dieser Sätze zeigte Newton, indem er die Sonne durch eine kleine Oeffnung in das dunkle Zimmer scheinen liess und das Sonnenlicht mit einem dreiseitig geschliffenen Stück Glas, welches Prisma genannt wird, auffing. Wenn das Sonnenlicht durch das Prisma tritt, so wird es bedeutend von seinem Wege abgelenkt und erscheint auf der gegenüberliegenden Wand zu einem farbigen Streifen erweitert, welcher alle Farben des Regenbogens von Roth an durch Orange, Gelb, Grün, Blau und Indigo bis zum Violett zeigt. Newton nannte dieses farbige Band das Sonnenspectrum. Die stärksten Lichtstrahlen, welche als solche auf unser Auge wirken, gehen von dem gelben Theil des Spectrums aus; von da aus nimmt die Lichtstärke sehr rasch nach dem rothen Ende, weniger rasch nach der violetten Grenze zu, ab.

Es ist wunderbar, wie wenig unter sich verschieden die Ursachen sind, welche in unserm Innern den Eindruck der sehr verschiedenen Farben bilden. Alles Licht beruht nur in Bewegungen des ungemein elastischen, den ganzen Weltenraum erfüllenden Aethers. Die Sonne, wie auch jede andere Lichtquelle, versetzt diesen Aether in Schwingungen. Diese pflanzen sich in der Secunde 42,000 Meilen weit fort, treffen unser Auge, gelangen durch dessen verschiedene Flüssigkeiten hindurch zur Netzhaut und werden von dem Sehnerv unserm Gehirne zugeführt, wo sie als Licht empfunden werden. Die Aetherwellen sind aber von verschiedener Länge. Während von den einen Wellen etwa 1000 auf einen Centimeter gehen, nehmen von den andern 1500 denselben Raum ein. Im umgekehrten Verhältniss zu den Längen steht die Zahl der Wellen, welche in einer Secunde unser Auge treffen. Von den längern Wellen treffen etwa 433 Millionen von Millionen in einer Secunde unsere Netzhaut, und diese 433 Billionen Erregungen einer Secunde rufen die Erscheinung des rothen Lichtes hervor. Violettes Licht hat die kürzeste Länge, aber die grösste Zahl der Wellen; es verdankt seine Entstehung einer 700 billionenfachen Erregung unseres Sehnerven in einer Secunde. Oranne, Gelb, Grün, Blau, Indigo haben eine mittlere Anzahl von Schwingungen, und zwar so, dass die Anzahl vom Rothen bis zum Violetten stetig zunimmt. Bei der Brechung des Lichtes wird nun das aus langen Wellen bestehende Roth am wenigsten, das kurzschwingende Violett am meisten von der früheren Richtung abgelenkt. Roth und Violett erscheinen daher an den Grenzen des sichtbaren Sonnenspectrums.

Ausgegangen von der Betrachtung des Regenbogens als der bekanntesten Erscheinung, in welcher die von der Sonne ausgehenden Schwingungen des Aethers nach ihrer verschiedenen Brechbarkeit von einander getrennt werden, haben wir bis jetzt auch nur diejenige Wirksamkeit der Strahlen betrachtet, welche Licht und Farbe hervorruft. Es bergen aber ausserdem die Sonnenstrahlen eine chemisch wirksame und eine erwärmende Kraft. Die erstere benutzt jeder Photograph zur Herstellung der sogenannten Lichtbilder, die zweite fühlen wir, wenn die Schwingungen des Aethers auf unsern Körper einwirken. Diese beiden Wirkungen sind ebenso wie die verschiedenen Farben von der Brechbarkeit oder der damit verbundenen grösseren oder geringeren Länge der einzelnen Aetherwellen abhängig. Der gelbe Theil des Spectrums ist am leuchtendsten, enthält aber wenig chemische Kraft; die letztere wächst sehr rasch nach dem Violetten zu, wo sie am stärksten ist, und nimmt dann allmählig ab, ohne aber mit dem sichtbaren Ende des Spectrums aufzuhören. Vielmehr reicht die chemische Kraft des Spectrums über seinen sichtbaren Theil hinaus. Es gibt also Aetherschwingungen, die zu klein sind und deshalb zu rasch auf einander folgen, um den Eindruck des Lichtes noch hervorrufen zu können. Wenn diese ultravioletten Strahlen auf fluorescirende Körper einwirken, so werden die Aetherschwingungen verlangsamt und daher sichtbar.

Im violetten Lichte hat bis jetzt eine erwärmende Kraft noch nicht nachgewiesen werden können, selbst im gelben ist dieselbe noch schwach. Sie wächst jedoch allmählig nach dem rothen Lichte zu, erreicht aber ihr

Maximum erst jenseits des Roth, also in ultrarothem Strahlen, deren Schwingungen so langsam erfolgen, dass sie den Gesichtsnerven nicht mehr anregen. Wir können daher die Wärmestrahlen in sichtbare und unsichtbare unterscheiden.

Das Verhältniss der dunkeln Strahlen zu den leuchtenden ist für verschiedene Wärmequellen verschieden. Melloni schätzt bei der Oelflamme die dunkeln Strahlen auf 90 Procent, beim weissglühenden Platin auf 98 und bei der Weingeistflamme auf 99 Procent der im Ganzen ausgestrahlten Wärme. Wenn wir einen Körper allmählig erhitzen, so treten anfangs nur die dunkeln Wärmestrahlen auf. Bei erhöhter Temperatur werden die Schwingungen der kleinsten Theilchen des Körpers selbst rascher, und dieser entsendet alsdann auch schnellere Schwingungen. Der Körper fängt an zu glühen, und zwar ist sein erstes Licht roth. Bei steigender Temperatur treten Orange, Gelb, Grün und Blau hinzu, und der Körper wird weissglühend. Der Eintritt der sichtbaren Strahlen ist aber nicht mit einer Abnahme der frühern dunkeln Strahlen verbunden. Vielmehr zeigen sich mit jeder neuen Farbe nach dem Blauen zu die früheren weniger brechbaren Strahlen bedeutend verstärkt, so dass die Strahlen einer dunkeln Quelle in ihrer Intensität weit hinter den dunkeln Strahlen einer leuchtenden Quelle zurückstehen.

Die raschere Bewegung der kleinsten Theilchen eines Körpers, wie sie durch erhöhte Temperatur hervorgerufen wird, verbreitet sich von der Oberfläche des erwärmten Körpers allmählig mit verschiedener Schnelligkeit nach dem Innern, jedoch ungemein viel langsamer, als auf dem Wege der Strahlung durch Erregung von Aetherschwingungen. Es ist diese Bewegung der kleinsten Theile von wesentlichem Einflusse auf das Volumen der Körper. Nach einem allgemeinen Gesetze dehnen sich die Körper durch Wärme aus. Die Kraft, mit welcher sich die Körper bei einer Temperaturveränderung ausdehnen oder zusammenziehen, ist oft so bedeutend, dass sie die Cohäsion überwindet und die Körper auseinander sprengt. Giessen wir heisses Wasser in kalte Gläser, so werden dieselben an den vom heissen Wasser direct berührten Stellen sehr energisch ausgedehnt. Die entfernteren Glasmassen, denen sich bei der geringen Wärme-Leitungsfähigkeit des Glases die Wärme sehr langsam mittheilt, verharren in dem ihrer geringen Temperatur entsprechenden Zustand und werden dann gewaltsam auseinandergerissen. Die Gläser springen. Gläser, welche einem raschen grössern Temperaturwechsel unterworfen werden sollen, müssen daher möglichst dünne Wände haben. Ein Lampenglas ist um so besser, je dünner es ist.

Die Grösse der Ausdehnung durch Wärme ist für verschiedene Körper sehr verschieden, und auf diesem Umstande beruhen alle unsere Wärmemesser oder Thermometer. Das gewöhnliche Thermometer besteht aus einer Glaskugel, welche in eine enge Röhre ausläuft. Die Kugel und ein Theil der Röhre sind mit Quecksilber gefüllt. Würden sich Glas und Quecksilber bei der Erwärmung gleich viel ausdehnen, so bliebe der Stand der Quecksilbersäule in der Röhre stets unverändert. Wäre die Ausdehnung des Glases stärker, als die des Quecksilbers, so müsste das Quecksilber in der Glasröhre sinken. Beide Fälle finden nicht statt. Vielmehr dehnt sich das Quecksilber bei zunehmender Wärme stärker aus als das Glas und steigt deshalb in der engen Röhre.

Ein anderes Verhalten der Körper der Wärme gegenüber gestattet gleiche Temperaturen mit grosser Genauigkeit herzustellen. Es beruht nämlich der Aggregatzustand der Körper auf der Wärme, welche sie besitzen. Wasser, abgekühlt, erstarrt zu Eis; erhitzt, verwandelt es sich in Wasserdämpfe. Diese Uebergänge aus dem flüssigen Zustande in den festen oder luftförmigen finden jedoch nicht plötzlich, sondern nur ganz allmählig statt. Wenn nämlich das flüssige Wasser bis zum Gefrieren abgekühlt ist, muss ihm noch eine bedeutende Menge Wärme entzogen werden, damit es wirklich erstarre, und während dieses ganzen Vorgangs der Erstarrung zeigt das Eis für unser Gefühl und unser Thermometer stets dieselbe Temperatur. Alle Wärme nämlich, welche weggenommen wird, dient nur dazu, um das Wasser in festes Eis derselben Temperatur überzuführen. Erst wenn alles Wasser gefroren ist, zeigt sich bei weiterem Wärmeverlust grössere Kälte. Kehren wir den Process um: Wir halten ein Thermometer in sehr kaltes Eis oder kalten Schnee und erwärmen die Masse. Das Quecksilber steigt allmählig in der Röhre. Sobald aber das Eis anfängt zu schmelzen, bleibt das Quecksilber in der Röhre plötzlich stehen, und zwar so lange, bis alles Eis zu Wasser geworden ist. Diesen Punkt nennen wir den Eis- oder Gefrierpunkt. Alle Wärme, welche nun während der Zeit des Flüssigwerdens zugeführt worden ist, ist dazu verbraucht worden, um das feste Eis flüssig werden zu lassen. Sobald alles Eis geschmolzen ist, fängt das Quecksilber wieder an zu steigen, und dieses Steigen setzt sich fort bis zum Sieden des Wassers. Dann bleibt die Quecksilbersäule wieder stehen, mag das Wasser auch noch so sehr sieden. Diesen Punkt nennt man den Siedepunkt. Der schwedische Physiker Celsius theilte den Abstand vom Gefrierpunkt bis zum Siedepunkt in 100 gleiche Theile oder Grade, während der Franzose Réaumur denselben Abstand in 80 Grade theilte. Bei beiden Eintheilungen wird der Gefrierpunkt mit Null bezeichnet, dagegen der Siede-

punkt mit 100 oder mit 80. Für niedrigere Temperaturen wird die angewandte Theilung über Null hinausgeführt und diese Grade werden als Kältegrade oder mit minus bezeichnet.

Die Wärme, welche nun nöthig ist, damit die Temperatur von einem Kilogramm Wasser um 1 Grad des hunderttheiligen Thermometers erhöht werde, ist stets dieselbe. Wenn wir daher ein Kilogramm Wasser von 20° mit einem Kilogramm Wasser von 50° zusammengiessen, so erhalten wir zwei Kilogramm Wasser von 35,5°. Ein Kilogramm Wasser von 20° und zwei Kilogramm Wasser von 50° liefern 3 Kilogramm von 40°. Anders gestalten sich die Verhältnisse, wenn Eis und Wasser zusammengebracht werden. Ein Kilogramm Eis von 0° und ein Kilogramm Wasser von 20° geben nicht zwei Kilogramm Wasser von 10°, sondern überhaupt nur etwa  $1\frac{1}{4}$  Kilogramm Wasser und  $\frac{3}{4}$  Kilogramm Eis, und zwar beides von Null Grad. Die Wärmemenge des bis zu 20 Grad erwärmten Wassers hat nur ausgereicht, um ein Viertel der Eismasse zu schmelzen. Wenn wir dagegen 1 Kilogramm Eis von 0° in ein Kilogramm Wasser von 79° bringen, so erhalten wir 2 Kilogramm Wasser von 0°. Grade so viel Wärme, als hinreicht, um Wasser bis zu 79° zu erhitzen, ist also auch nöthig, um eine gleiche Masse Eis in Wasser überzuführen. Daher erklärt sich auch, weshalb bei schmelzendem Eis trotz der anhaltenden Mittheilung von Wärme das Thermometer dennoch unverrückt Null Grad zeigt. Die Wärmemenge, welche dazu dient, um das Eis zu schmelzen, und welche nach Aussen ohne jede Einwirkung auf unser Gefühl oder auf das Thermometer ist, wird die gebundene Wärme des Wassers genannt.

Viel grösser, als die zum Schmelzen verbrauchte Wärmemenge, ist diejenige, welche das Wasser beim Sieden in Wasserdampf verwandelt. Dieselbe Wärmemenge, welche ein Kilogramm Wasser von 100° in Wasserdampf von 100° überführt, würde 6,8 Kilogramm Eis von 0° schmelzen oder 6,8 Kilogramm Wasser um 79° erhöhen oder auch eine entsprechend geringere Menge Wasser, nämlich 5,37 Kilogramm, von 0° bis zum Sieden erhitzen. Wenn wir daher die gebundene Wärme des Wassers mit 79 bezeichnen, so beträgt dieselbe für den Wasserdampf 537. Bei fortwährend gleicher Zufuhr von Wärme würde Wasser, welches von Eis von 0° in 79 Minuten geschmolzen wäre, in 100 Minuten anfangen zu sieden und nach weitem 537 Minuten verdampft sein. Durch blosser Einwirkung der Sonnenwärme wird das Wasser der Erde nun nie zum Sieden gebracht. Es verdunstet das Wasser aber auch bei den niedrigern Temperaturen, selbst als Eis. Die Wärmemenge, welche beim Entstehen von Dünsten gebunden wird, ist eben so gross, als die, welche beim Sieden gebunden wird. Daher kömmt die rasche Abkühlung, welche im Sommer durch das Besprengen der Strassen und Zimmer mit Wasser oder auch gleich nach einem Platzregen eintritt. Ueberhaupt beruht auf dem Verhalten des Wassers der Wärme gegenüber die grosse Rolle, welche dasselbe bei allen klimatischen Verhältnissen unserer Erde spielt.

Von der Sonne aus gesehen, nimmt unsere Erde den 2300 millionten Theil der ganzen Oberfläche des Himmels ein. Von allen Wärmestrahlen, welche die Sonne aussendet, ist es also auch nur der 2300 millionte Theil, welcher unsere Erde trifft. Und dennoch würde die von der Erde aufgefangene Wärmemenge, gleichmässig über die Erdoberfläche vertheilt, genügen, um im Laufe eines Jahres eine Schicht Eis von 40 Meter Dicke, welche die ganze Erde bedeckte, zu schmelzen. Daraus lässt sich berechnen, wieviel Wärme überhaupt von der Sonne ausgestrahlt wird. Wirkte alle von der Sonne ausgestrahlte Wärme auf eine Eisschicht, welche die Oberfläche der Sonne selbst bedeckte, so würde das Eis jede Stunde in einer Dicke von 0,1 Meile abschmelzen. Sollte eine gleiche Wärme durch die Verbrennung an Kohle erzielt werden, so wäre dazu stündlich eine die ganze Sonne umgebende Kohlschicht von 3 Meter Dicke nöthig. Das machte für das Jahr den Verbrauch einer Kohlschicht von 3,6 Meilen. In 500 Jahren würde eine Kohlenmasse, so gross wie die Sonne selbst, verbrannt sein.

Von den Sonnenstrahlen, welche in den Bereich unserer Erde kommen, werden ungefähr vier Zehntel von der wasserhaltigen Atmosphäre absorbirt, und nur die übrigen sechs Zehntel sind es, welche auf der Erdoberfläche ihre erwärmende Kraft ausüben. Ohne die Absorption durch die feuchte Luft würde die Wirkung der von der Sonne erregten Aetherschwingungen doppelt so gross sein, wie jetzt, und diese erhöhte Thätigkeit würde zu doppelt grossen Temperaturunterschieden für die einzelnen Tages- und Jahreszeiten führen. Von unserer Atmosphäre werden vorzugsweise die dunkeln Sonnenstrahlen absorbirt. Das Verhalten der Körper ist nämlich gegen sichtbare und dunkle Wärmestrahlen sehr verschieden. Steinsalz lässt fast alle Wärmestrahlen ungehindert durch, so dass ein Ofenschirm von einer Steinsalzplatte schon aus diesem Grunde unpractisch wäre. Glas ist dagegen für dunkle Wärmestrahlen fast ganz undurchdringlich und verhält sich ungefähr wie unsere Atmosphäre, indem nämlich beide die sichtbaren Wärmestrahlen durchlassen, dagegen nicht die dunkeln. Wenn wir daher die Sonnenstrahlen mit einem Brennglase auffangen, so wird das Glas der Linse sehr wenig erwärmt, weil die dunkeln Wärmestrahlen, für welche es besonders absorptionsfähig ist, schon beim Durchgange durch unsere Atmosphäre absorbirt worden sind. Die ganze Wirkung, welche wir durch die Brechung und Concen-

tration der Sonnenstrahlen durch ein Brennglas erzielen, rührt deshalb fast nur von den sichtbaren Wärmestrahlen der Sonne her.

Auf der Eigenschaft des Glases, nur die sichtbaren Wärmestrahlen durchzulassen, beruht der bedeutende Effect, den wir in unsern mit Glas bedeckten Treibhäusern und Gartenbeeten erzielen. Die sichtbaren Wärmestrahlen treten ungehindert durch das Glas und erwärmen den Boden, ohne aber Glühhitze hervorzurufen. Der erwärmte Boden strahlt daher nur dunkle Wärme wieder aus, und gerade für diese ist das Glas undurchlässig. Durch die Umwandlung der sichtbaren Wärmestrahlen in dunkle ist somit der einmal eingetretenen Wärme der Rückweg abgeschnitten. Dieselbe Eigenschaft des Glases veranlasst uns in heissen Sommertagen die Fenster zu öffnen. Wir wollen eben die dunkle Wärme sich in unsern Wohnungen nicht ansammeln lassen.

Ohne jene unschätzbare Eigenthümlichkeit des Glases würde die Wirkung unserer Stubenöfen, welche, so lange sie nicht glühen, nur dunkle Wärmestrahlen liefern, im Winter ungefähr dieselbe sein, als wenn wir unter den jetzigen Verhältnissen die Fenster offen halten. Es würde uns an kalten Wintertagen nicht gestattet sein, das Sonnenlicht durch unsere Fenster treten zu lassen, ohne dass wir einen bedeutenden Verlust an Ofenwärme herbeiführten. Wo immer wir uns wärmen wollten, müssten wir auf das Tageslicht verzichten.

Es gibt nun wenige Körper, welche, dem Sonnenlichte ausgesetzt, selbstleuchtend werden. Diamant, Flussspat und einige andere Körper zeigen die Eigenschaft, dass sie nach längerer Beleuchtung auch selbst Licht ausstrahlen. Anders ist es bei der Wärme. Alle Körper, welche auf irgend eine Weise erwärmt worden sind, besitzen das Vermögen, nun auch an andere Körper Wärme abzugeben. Wir bemerken dies sofort an dem Einfluss, welchen die erwärmten Körper auf das Thermometer ausüben. Wenn wir Körper von den verschiedensten Temperaturen zusammenbringen, so beginnt sofort eine Ausgleichung der Wärme. Jeder Körper gibt an den andern Wärme ab, nur der wärmere an den kältern mehr, als er von dem kälteren empfängt. Schliesslich zeigen alle Körper dieselbe Temperatur. Die Wärmemenge aber, welche die Körper aufnehmen müssen, damit bei gleicher Masse ihre Temperatur um einen Thermometergrad steigt, ist sehr verschieden. Wenn wir ein Kilogramm Gold, welches bis  $36^{\circ}$  erwärmt ist, in ein Kilogramm Wasser von  $5^{\circ}$  werfen, so werden Wasser und Gold eine Temperatur von  $6^{\circ}$  Grad annehmen. Bringen wir ein Kilogramm Gold von  $5^{\circ}$  und ein Kilogramm Wasser von  $36^{\circ}$  zusammen, so wird die Temperatur des Goldes um  $30^{\circ}$  Grad steigen, diejenige des Wassers aber um einen Grad fallen, so dass beide Körper  $35^{\circ}$  warm werden. Dieselbe Wärmemenge also, welche die Temperatur des Goldes um  $30^{\circ}$  Grad ändert, bringt bei einer gleichen Menge Wasser nur eine Temperaturveränderung von einem Grad hervor. Gold bedarf zur Erwärmung einer dreissigmal geringern Wärmezufuhr, als Wasser, und man sagt daher, die spezifische Wärme des Goldes sei ein Dreissigstel von der des Wassers.

Glücklicher Weise ist die spezifische Wärme der Gesteine, welche die Oberfläche unserer Erde bedecken, nicht so klein. Wir würden an warmen Sommertagen mitten in unserer gemässigten Zone eine Temperatur haben, welche selbst das tropische Klima unter den jetzigen Verhältnissen nicht bietet. Ein annäherndes Beispiel liefern die Zinkdächer, welche im Sommer oft so erhitzt werden, dass man sie fast nicht mit der Hand berühren kann. Der Erdboden hat durchgängig ein Viertel von der spezifischen Wärme des Wassers, aber dennoch ist der wärmende Einfluss des Landes und des Wassers auf die Atmosphäre so verschieden, dass an den Küsten des Meeres sich die Windrichtung nach den Tageszeiten richtet. Das Land wird rascher erwärmt, als das Wasser. Die auf dem Lande ruhende Luftschicht dehnt sich stärker aus und steigt empor, während die kältere und deshalb schwerere Luft des Meeres seitwärts einströmt. Es erhebt sich daher Morgens gegen 8 oder 9 Uhr der Seewind; derselbe wird nach Mittag stärker und verschwindet gegen 5 Uhr Nachmittags. Dies ist die Zeit, wo Land und Wasser ungefähr die gleiche Temperatur zeigen. Wie aber das Land unter dem Einflusse der Sonnenstrahlen sich rascher erwärmt, als das Wasser, so kühlt es sich auch hinterher rascher ab. Bald ist das Wasser wärmer, als das rasch gekühlte Land. Es erhebt sich gegen 6 Uhr der Landwind, welcher bis zum Morgen dauert.

Wasser mildert sowohl durch seine grosse Wärmecapazität als auch durch seine Verdunstung ungemein die Tageshitze. Wasserarme Gegenden zeigen sehr hohe Temperaturgrade. Winterbottom fand einmal in der Sierra Leone die Bodenoberfläche  $50^{\circ}$  warm; Nouet mass bei Theben in Aegypten  $67,5^{\circ}$  und Herschel in Südafrika sogar  $70^{\circ}$ . Der grossen Hitze des Tages entspricht eine starke nächtliche Abkühlung. Daher kömmt es in der afrikanischen Wüste vor, dass der Tag eine Erwärmung der Atmosphäre von  $40^{\circ}$  zeigt und der Boden so warm ist, dass er nicht zum Sitz gewählt werden kann, die Nacht dagegen eine so tiefe und anhaltende Abkühlung unter Null bringt, dass das Wasser in den Schläuchen gefriert. Solche grosse Temperaturunterschiede können aber nur da auftreten, wo bei vollständiger Abwesenheit von Wasser während des Tages der sterile Boden der vollen, ungeschwächten Einwirkung der Sonnenstrahlen ausgesetzt ist und während der Nacht die

vollkommen trockene Luft selbst die dunkeln Wärmestrahlen ungehindert entweichen lässt. Das Verhalten der Luft gegen die dunkle Wärme ist nämlich ungemein vom Wassergehalte der Atmosphäre abhängig. Trockene Luft hält die dunkle Wärme, um welche es sich bei der Abkühlung der Erde handelt, gar nicht zurück, während die feuchte Luft für die dunkle Wärme fast undurchdringlich ist. Wasserreichtum mildert daher bei Tage nicht nur die Erhitzung durch Verdunstung, sondern liefert auch der Atmosphäre den nöthigen Wassergehalt, damit dieselbe während der Nacht hinreichenden Schutz gegen allzu starke Ausstrahlung bieten kann. Noch grösser ist die Wirkung einer Pflanzendecke. Eine Wiese verdunstet zwei bis dreimal so viel Wasser, als eine gleich grosse Wasserfläche. Die zahllosen Blätter und Halme bieten der Luft eine viel grössere Verdunstungsfläche dar, als der ebene Wasserspiegel. Von einer mittelgrossen Sommerblume nimmt man an, dass sie an einem warmen Sommertage ein Kilogramm Wasser verdunstet. Durch die Verdunstungsthätigkeit der Pflanzen geht für die Erwärmung des Bodens im Ganzen ungefähr ein Zehntel der Sonnenwirkung verloren.

Die zunächst auf der Oberfläche des Bodens erregte Wärme theilt sich allmählig den darunterliegenden Erdschichten mit. Die in dem Körper von einem Theile zum andern stattfindende Fortpflanzung der Wärme wird als Wärmeleitung bezeichnet. Metalle leiten die Wärme sehr gut. Ein Stück Eisen hat man an dem einen Ende bald so weit erhitzt, dass man es am andern nicht mehr anfassen kann. Ein wenige Centimeter langes Stück Kreide kann man dagegen an einem Ende weissglühend machen, ehe man am andern eine sonderbare Erwärmung spürt. Es hängt dies mit der verschiedenen Wärmeleitungsfähigkeit der Körper zusammen. Im Allgemeinen leitet ein Körper die Wärme um so besser, je wärmer oder kälter er sich anfühlt, wenn er eine von unserm eigenen Körper verschiedene Temperatur hat. An der direct berührten Stelle findet nämlich rasch eine Ausgleichung der Temperatur statt. Wird nun bei schwacher Leitungsfähigkeit der Wärme die Ausgleichung nicht sofort gestört, so macht die höhere oder tiefere Temperatur des angefassten Körpers auf unser Gefühl unbedeutenden Eindruck.

Die Wärmeleitungsfähigkeit der Erdschichten ist sehr gering. In unsern Gegenden gebraucht die Julihitze 5 Monate, um 8 Meter tief in den Boden zu dringen. Im Juli haben wir durchschnittlich die grösste Wärme, und zwar eine mittlere Temperatur von 15°. Der Januar ist der kälteste Monat, und seine Durchschnittstemperatur schwankt um den Gefrierpunkt. In einer Bodentiefe von nur  $\frac{3}{4}$  Meter zeigt der Februar die niedrigste Temperatur, und zwar 3°, der August die höchste mit 13,5°. Vier Meter tief ist es im April am kältesten, aber doch noch immer 10° warm, während es im October bis 12,5° warm ist. Acht Meter tief ist es im Juli am kältesten und im Januar am wärmsten, jedoch beträgt der Unterschied zwischen höchster Wärme und grösster Kälte nur etwa einen Grad über oder unter 12 Grad. In unserer Zone ist daher überall bei 25 Meter Tiefe eine constante, von Sommer und Winter ganz unabhängige Wärme anzunehmen. In einem Keller der Pariser Sternwarte befindet sich ein Thermometer, welches seit länger als einem halben Jahrhundert unverändert 11,8° Wärme zeigt. In der heissen Zone zeigt schon in weit geringerer Tiefe die Erde stets dieselbe Wärme. Boussingault fand im tropischen Südamerika bei einem Meter Tiefe eine von den Jahreszeiten unabhängige Temperatur. Jedoch ist es natürlich, dass die Sonnenwärme unter dem Aequator, wo die Hitze am grössten ist, auch am tiefsten in die Erde eindringt.

In den nördlichen Gegenden wirkt die Sonnenwärme nur sehr oberflächlich. Es bildet dort der Boden eine Jahr aus Jahr ein gefrorene Erdkruste, welche nur zur Sommerzeit in ihrer obersten Schicht schmilzt und eine rasche Vegetation ermöglicht. So thaut im Distrikt Nertschink in Sibirien während des Sommers der Boden etwa 3 Meter tief auf, bleibt aber von da bis zu einer Tiefe von 14 Metern stets gefroren. In grösserer Tiefe macht sich dann die Eigenwärme der Erde geltend.

So finden wir bei der geringen Leitungsfähigkeit der festen Erdrinde für Wärme die verschwindend dünne Schicht von 15 bis höchstens 30 Meter Dicke, in welcher eine vertikale Bewegung der Sonnenwärme von der Oberfläche nach dem Erdinnern zu stattfindet, und doch ist gerade diese Schicht der Hauptträger allen organischen Lebens. Unter dieser Erdschicht, welche durchgängig mit einer der mittleren Temperatur der darüberliegenden Gegend gleichen Temperatur abschliesst, beginnt die Eigenwärme der Erde allein zu herrschen. Diese Erdwärme wächst für je 30 bis 35 Meter um einen Grad.

Viel bedeutender, als die vertikale Bewegung der Sonnenwärme, ist die horizontale. Diese beruht jedoch nicht auf einer raschen eigenen Fortpflanzung, sondern nur in der grossen Beweglichkeit des Wassers und der Atmosphäre. In den tropischen Meerestheilen wird das Wasser in seinen obern Schichten bis zu 26 Grad durch die Sonne erwärmt. Durch gewaltige Meeresströme, welche die Oeane durchfurchen, wird ein grösserer Theil dieses erwärmten Wassers den nördlichen Gegenden zugeführt, während das kalte Wasser des Nordens, durchgängig in grösserer Tiefe, dem Aequator zufliesst. Alle Meere, auch diejenigen der heissen Zone, zeigen daher

in der Tiefe eine eisig kalte Temperatur. Unter den warmen Strömen ist für Europa der Golfstrom am einflussreichsten. Er verdankt seine Entstehung einer Aequatorialströmung, die sich von Süden her in den mexikanischen Meerbusen ergiesst. Von allen Theilen des atlantischen Oceans zeigt dieses Meer die höchste Temperatur, nämlich 30 Grad des hunderttheiligen Thermometers. Die warme Wassermasse fliesst nun durch die Meerenge von Florida in den freien atlantischen Ocean und bildet den majestätischen Golfstrom, welcher, ursprünglich 7 Meilen breit, sich allmählig ausdehnt und später mit einem Arme von über 140 Meilen Breite an der westlichen Küste Europas vorbei bis über Norwegen hinauszieht. An der engsten Stelle beträgt die Tiefe des strömenden Wassers etwa 360 Meter; dieselbe nimmt jedoch mit der zunehmenden Breite allmählig ab. Wegen der geringen Dichte hält sich das warme Wasser nicht nur an der Oberfläche, sondern erhebt sich sogar flach gewölbartig über das Niveau des angrenzenden Meeres, so dass ein Boot von der Mitte des Stromes aus östlich oder westlich treibt, je nachdem es sich auf der einen oder andern Abdachung befindet. Die Geschwindigkeit des Stromes sinkt von 7 auf 2 und 1 Kilometer per Stunde. Seine Wärme ist im Winter 15 bis 8 Grad höher, als die des stromfreien Meeres. Einen Gegensatz zu dem warmen Golfstrom bietet an der nordamerikanischen Westküste der Polarstrom, welcher aus der Baffinsbai herkömmt und im Sommer die colossalen Eisberge den südlichen Regionen zuführt. Die Wirkungen des Golfstroms einerseits und des Polarstroms andererseits bewirken allein den klimatischen Unterschied zwischen Norwegen und Grönland, welche beide dieselbe nördliche Lage haben. Nicht mit Unrecht hat man den Golfstrom als eine grossartige Wasserheizung Europas bezeichnet. Aber diese grosse im Westen unseres Continents angehäuften Wärme würde nur wenig frommen, wenn sie uns nicht durch die Bewegung der Atmosphäre zugeführt würde. Die directe Erwärmung der Atmosphäre über dem Golfstrom ist während des grössten Theiles des Jahres, von geringer Bedeutung. Viel wichtiger ist, dass dort die Luft eine grosse Menge Wasserdunst aufnimmt, bei dessen Bildung Wärme gebunden wird. Diese Wärme wird uns von den vorherrschenden Westwinden zugeführt. Es schwankt die Regenmenge in Deutschland zwischen 400 und 1000 Millimetern jährlich, d. h., wenn alles, als Regen zu uns herunterfallende Wasser auf dem Boden stehen bliebe, würde es im Laufe eines Jahres eine Schicht von 400 bis 1000 Millimeter Dicke bilden. Wie aber beim Verdunsten des Wassers eine Wärmemenge verbraucht wird, welche hinreichen würde, eine mehr als fünffache Wassermenge vom Eispunkt bis zum Sieden zu erhitzen, so wird beim Uebergange des Wassers aus dem luftförmigen Zustand in den flüssigen genau dieselbe Wärme wieder frei und wirkt erwärmend auf andere Körper. Ein Niederschlag von 400 bis 1000 Millimeter Höhe repräsentirt somit eine Wärmemenge, welche hinreicht, um eine 2 bis 5 mal dickere Wasserschicht zu verdampfen. Zum grossen Theil wird diese Wärme durch die Verdunstung des gefallenen Regens wieder gebunden und weiter geführt, aber der Wasserreichthum unserer Bäche und Flüsse bietet uns einen sichern Massstab für diejenige Wärmemenge, welche zur Temperaturerhöhung eines Stromgebiets wirksam geblieben ist.