

Von den isothermen Linien

und der Vertheilung der Wärme auf dem Erdförper.

(Diese Abhandlung erschien im 3ten Bande der Mémoires de physique et de chimie de la Société d'Arcueil, Paris 1817. p. 462—602.)

Die Vertheilung der Wärme auf dem Erdförper gehört zu der Gattung von Erscheinungen, deren allgemeine Verhältnisse man wohl seit langer Zeit kennt, die sich aber nur in so weit streng bestimmen oder einer genauen Rechnung unterwerfen lassen, als Erfahrung und Beobachtung die Data an die Hand geben, aus welchen die Theorie die Berichtigung der verschiedenen in Anwendung gebrachten Elemente schöpfen kann. Es ist der Zweck dieser Abhandlung: die Vereinigung dieser Data zu erleichtern; Resultate darzubieten, die aus einer großen Anzahl noch nicht veröffentlichter Beobachtungen gezogen; und sie nach einer Methode zu gruppiren, welche noch nicht versucht worden war: obgleich der Vortheil, den sie gewährt, seit einem Jahrhunderte anerkannt ist in der Darstellung der Erscheinungen der magnetischen Abweichung und Neigung (Declination und Inclination). Da die Arbeit, welche die Erörterung der partiellen Beobachtungen enthält, abgesondert veröffentlicht werden wird, so werde ich mich hier auf einen einfachen Ueberblick beschränken, der geeignet ist

die Vertheilung der Wärme auf dem Erdförper nach den neuesten und bestimmtesten Angaben erkennen zu lassen. Kann man verwickelte Erscheinungen nicht auf eine allgemeine Theorie zurückführen, so ist es schon ein Gewinn, wenn man das erreicht die Zahlen-Verhältnisse zu bestimmen, durch welche eine große Anzahl zerstreuter Beobachtungen mit einander verknüpft werden können, und den Einfluß localer Ursachen der Störung rein empirischen Gesetzen zu unterwerfen. Das Studium dieser Gesetze erinnert die Reisenden, auf welche Probleme sie vorzüglich ihre Aufmerksamkeit zu richten haben; und man kann Angesichts der fortschreitenden Vervollkommnung der verschiedenen Theile der allgemeinen Physik hoffen, die Theorie der Wärme-Vertheilung werde in dem Maße eben so an Ausdehnung wie an Schärfe gewinnen, in welchem die Beobachtungen werden vervielfältigt und auf die der Aufklärung vorzüglich bedürftigen Punkte gerichtet werden.

Da die Phänomene der Erdkunde, die Gewächse und überhaupt die Vertheilung der organisirten Wesen von der Kenntniß der drei Coordinaten: der Breite, Länge und Höhe, abhängen; so habe ich mich seit mehreren Jahren mit der genauen Schätzung der atmosphärischen Temperaturen beschäftigt. Ich konnte meine eigenen Beobachtungen nicht abfassen, ohne unaufhörlich auf die Werke von Cotte und Kirwan zurückzugehen: die einzigen, welche eine große Masse meteorologischer Beobachtungen enthalten, erlangt durch Instrumente und nach Methoden von sehr ungleicher Genauigkeit. Da ich lange die höchsten Bergebenen des neuen Continents bewohnt, hatte ich die Vortheile benutzt, welche sie darbieten, die Temperatur der über einander gelagerten Luftschichten zu untersuchen: nicht nach isolirten Angaben, der

Ausbeute einiger Ausflüge nach dem Gipfel eines Vulkans, sondern nach der Vereinigung einer großen Anzahl alltäglich und allmonatlich an bewohnten Orten angestellter Beobachtungen. In Europa und im ganzen Alten Continent sind die höchsten Punkte, deren mittlere Temperaturen man bestimmt hat, das Kloster Reichenberg in Baiern und das Hospiz des St. Gotthard.¹ Das erstere hat 995 Meter (511 Toisen), das zweite 2075 Meter (1065 Toisen) Erhebung über die Meeresfläche. In Amerika ist eine große Anzahl guter Beobachtungen zu Santa Fé de Bogota und zu Quito, auf 2660 Meter (1365 Toisen) und 2909 Meter (1492 Toisen) Höhe, gemacht worden. Eine Stadt von 10000 Einwohnern, welche alle Hülfsmittel der neuen Civilisation gewährt, Huancavelica, liegt in den Cordilleren der südlichen Hemisphäre in 3752 Meter (1925 Toisen) absoluter Erhebung; und die Grube Santa Barbara, von schönen Gebäuden umgeben und eine halbe geogr. Meile südlich von Huancavelica liegend, bietet einen geeigneten Ort dar, um regelmäßige Beobachtungen auf der Höhe von 4422 Metern zu machen, einer Höhe, welche das Doppelte von der des St. Gotthards-Hospizes ist.

Diese Beispiele beweisen, wie schnell unsre Kenntnisse über die höchsten Regionen des Luftkreises und die physische Erdkunde im allgemeinen wachsen werden, sobald die wissenschaftliche Cultur, so lange auf die gemäßigte Zone beschränkt, sich über den Wendekreis hinaus, in jene ungeheuren Länder-

¹ Man kennt nicht die mittlere Luft-Temperatur im Kloster des Großen St. Bernhard, dessen absolute Höhe 2426 Meter beträgt. Es gibt in Europa mehrere Dörfer, welche über 1700 Meter hoch liegen: z. B. St. Jacques 1670", Trinità Nuova bei Grassano 1620".

strecken verbreiten wird, wo die Einwohner des spanischen Amerika's sich schon so eifrig dem Studium der Natur- und Sternkunde widmen. Um mit der mittleren Wärme der gemäßigten Erdrücke die Resultate zu vergleichen, welche wir, Bonpland und ich, in den Aequinoctial-Gegenden, von den Ebenen aufwärts bis zu 5880 Meter (3016 Toisen) Höhe, erlangt hatten, mußte ich eine große Anzahl jenseits der Parallellkreise von 30 bis 35 Grad gemachter Beobachtungen vereinigen. Ich wurde bald gewahr, wie unbestimmt diese Vergleichung ausfiel, wenn ich Dexter wählte, die im Meridian der Cordilleren liegen oder eine viel östlichere Länge haben. Ich unternahm es nunmehr die in den neuesten Werken verzeichneten Ergebnisse sorgfältig zu erörtern. Ich bemühte mich, von 10 zu 10 Breitengraden, aber auf verschiedenen Meridianen, eine kleine Anzahl Dexter zu finden, deren mittlere Temperatur man genau kannte. Es sind dies eben so viele feste Punkte, durch die ich meine Isothermen Linien oder Linien gleicher Wärme gehen lasse. So weit die Materialien zur Deffentlichkeit gelangt sind, ging ich auf die Beobachtungen selbst zurück, deren Ergebnisse bekannt gemacht sind; und ich fand im Verlaufe dieser, zwar leichten, aber langwierigen und einförmigen Arbeit, daß es sich mit einer großen Anzahl mittlerer Temperaturen, welche in den meteorologischen Tafeln angezeigt sind, eben so verhält wie mit den astronomischen Positionen: welche man annimmt, ohne sie vorher zu discutiren. Bald sind die Resultate in geradem Widerspruche mit den neuesten Beobachtungen; bald ist es unmöglich zu entdecken, woher sie genommen wurden. Viele und sogar sehr gute Beobachtungen haben verworfen werden müssen, aus dem einzigen Grunde, weil die absolute

Höhe des Ortes, an welchem sie gemacht sind, unbekannt geblieben ist. Dies ist der Fall mit Kleinasien, Armenien, Persien und fast mit ganz Asien. Während allein der äquinoctiale Theil der Neuen Welt schon mehr als 500 durch ein barometrisches Nivellement bestimmte Punkte darbietet, von welchen die meisten bloße Dörfer und Weiler sind; kennen wir noch nicht die Höhe von Erzerum, Bagdad, Aleppo, Teheran, Ispahan, Delhi und Gassa über dem Niveau der benachbarten Meere. Ungeachtet des innigen Verkehrs, in dem man neuerdings mit Persien und Candahar gestanden, hat doch dieser Zweig unserer geographischen und thermischen Kenntnisse seit funfzig Jahren nicht gewonnen. Man darf jedoch nicht, wegen der Abnahme der Temperatur in den hohen Regionen des Luftkreises, die mittleren Temperaturen von Dertern vermischen, welche nicht auf einem und demselben Niveau liegen. Im Alten Continente beschränken sich die guten Beobachtungen, die einzigen, die man gebrauchen kann, um empirische Gesetze zu erkennen, auf eine Ausdehnung der Erdoberfläche, welche begrenzt wird durch die Parallellreise von 30° und 70° , und durch die Meridiane von 30° östlicher und 20° westlicher Länge von Paris. Die äußersten Punkte dieser Region sind die Insel Madera, Cairo und das Nordcap. Es ist eine Zone, welche von Osten nach Westen noch nicht tausend Seemeilen, 20 auf einen Grad, (also $\frac{1}{4}$ des Erdumfanges) ausmacht und welche, das Becken des Mittelmeeres einschließend, gleichsam das Centrum der uralten Civilisation von Europa darbietet. Die sonderbare Gestaltung dieses Theils der Erde, die inneren Meere und andere Verhältnisse, so geeignet die Keime der Bildung unter den Völkern zu entwickeln, haben Europa ein eigenthümliches

Klima gegeben, sehr verschieden von dem Klima der mit ihm unter gleicher Breite liegenden Gegenden. Da nun die physikalischen Wissenschaften fast immer das Gepräge der Dertlichkeit tragen, wo man ihren Anbau begonnen hat, so hat man sich gewöhnt die Vertheilung der Wärme, wie man sie in der von uns bezeichneten Region beobachtet hat, als das Urbild der Gesetze zu betrachten, welche den ganzen Erdkörper beherrschen sollen. Eben so hat man in der Geologie eine lange Zeit hindurch alle vulkanischen Erscheinungen auf die zurückzuführen versucht, welche die Vulkane Italiens darbieten. Statt auf methodischem Wege die Wärme-Vertheilung numerisch zu bestimmen, wie sie auf der Oberfläche der Continente und Meere sich findet, hat man entweder geglaubt alles, was sich von dem einmal angenommenen Typus entfernt, als Local-Ausnahmen betrachten zu müssen; oder man hat, einer noch gefährlicheren Methode bei der Auffuchung eines Naturgesetzes folgend, Temperatur-Mittel von 5 zu 5 Breitengraden genommen, indem man Dertter unter einander mengte, die unter sehr verschiedenen Meridianen liegen. Da diese letztere Methode den Einfluß der für fremdartig erachteten Ursachen auszuschließen scheint, so muß ich ihn hier in Kürze erörtern, ehe ich den eigenthümlichen Weg angebe, welchen ich glaubte bei meinen Untersuchungen einschlagen zu müssen.

Es verhält sich mit der Temperatur des Luftkreises und dem Erd-Magnetismus nicht wie mit jenen Erscheinungen, die, auf eine einzige Ursach oder eine Centralwirkung zurückgeführt, von dem Einflusse störender Verhältnisse befreit werden können, indem man sich an die mittleren Resultate einer großen Anzahl von Beobachtungen hält, in welchen diese

fremdartigen Wirkungen sich gegenseitig aufheben und zerstören. Die Wärme-Vertheilung, wie die Neigungen und Abweichungen der Magnetnadel oder die Intensität der magnetischen Erdkräfte werden ihrem Wesen nach bedingt durch Dertlichkeit, Beschaffenheit des Bodens, durch die besondere Eigenschaft der Erdoberfläche Wärme auszustrahlen. Man muß sich hüten zu eliminiren, was man finden will; man muß nicht unter dem Namen fremdartiger und störender Verhältnisse alles das begreifen, wovon die wichtigsten Erscheinungen in der Vertheilung und der schnelleren oder langsameren Entwicklung des organischen Lebens wesentlich abhängen. Welchen Nutzen würde eine Tabelle magnetischer Inclinationen darbieten, die, statt auf, dem magnetischen Aequator parallelen Kreisen gemessen zu sein, die Mittel von Beobachtungen wären, welche auf denselben Graden geographischer Breiten, aber unter verschiedenen Meridianen angestellt wurden! Wir wollen die Quantität der Jahreswärme angeben, die jeder Theil des Erdkörpers empfängt, und, was für den Ackerbau und das Wohlsein der Bewohner am wichtigsten ist, die Vertheilung dieser Wärmemenge unter die verschiedenen Theile des Jahres; nicht aber: was der Wirkung der Sonne allein, der Höhe des Gestirns über dem Horizont, der Dauer seines Einflusses, d. h. der Größe der halben Tagebögen (ares sémi-diurnes), angehört.

Diesem Ideengange folgend, werden wir beweisen, daß die Methode der mittleren Werthe nicht ausreicht, um zu erkennen, was ausschließlich der Sonne, in so fern ihre Strahlen einen einzelnen Punkt der Erdoberfläche erleuchten, und was zugleich der Sonne und dem Einflusse fremdartiger Ursachen angehört. Zu diesen Ursachen rechnen wir: das durch die

Winde hervorgebrachte Gemisch der Temperaturen verschiedener Breiten; die Nachbarschaft der Meere, welche ungeheure Behälter einer wenig veränderlichen Wärme sind; die Neigung, chemische Beschaffenheit, Farbe, Strahlung und Ausdünstung des Bodens; die Richtung der Gebirgsketten, welche das Spiel der niedersteigenden Luftströme begünstigen oder Schutz gegen erkältende Winde gewähren; die Gestalt der Länder, ihre Masse und ihre Horizontal-Ausdehnung gegen die Pole hin; die Schneemenge, die sie während des Winters bedeckt; ihre Temperatur-Zunahme und Reverberation in der Sommerzeit; endlich jene Eismassen, welche gleichsam pol-umgebende Festländer bilden, wandelbar in ihrer Ausdehnung: deren abgesonderte Theile, von den Meeresströmungen fortgerissen, auf das Klima der gemäßigten Zone merklich wirken.

Wenn man, wie es lange schon geschehen, das solare Klima von dem wirklichen (climat solaire et climat réel) unterscheidet, darf man nicht vergessen, daß die örtlichen und vielfältigen Ursachen, welche die Einwirkung der Sonne auf einen einzelnen Punkt des Erdkörpers modificiren, selbst nur Neben-Ursachen, Wirkungen der Bewegung sind, die das erwärmende Gestirn in dem Luftkreise hervorbringt und die sich auf große Entfernungen fortpflanzt. Betrachtet man einzeln, wie es in einer rein theoretischen Erörterung möglich sein würde, die durch die Sonne erzeugte Wärme, indem man sich die Erde in Ruhe und ohne Luftkreis denkt; und die Wärme, welche anderen, störenden Ursachen zugeschrieben wird: so findet man, daß dieser letztere Theil der Gesamtwirkung der Sonne nicht ganz fremd ist. Der Einfluß der kleinen Ursachen wird eben nicht verschwinden, wenn man das mittlere Resultat von einer großen Anzahl Beobachtungen

nimmt; denn dieser Einfluß ist nicht auf eine einzelne Gegend beschränkt. Durch die Beweglichkeit des Luftmeeres pflanzt er sich von einem Continent zum anderen fort. Ueberall in den den Polarkreisen nahen Gegenden wird die Strenge der Winter durch das Zurückströmen warmer Luftschichten gemindert, welche, sich über die heiße Zone erhebend, den Polen zustreben; überall bewirkt in der gemäßigten Zone die Häufigkeit der westlichen Winde, indem sie die Temperatur einer Breite auf einen anderen Parallelkreis übertragen, wichtige klimatische Veränderungen. Nimmt man ferner Rücksicht auf die Größe der Meere, auf die besondere Gestalt und Richtungs-Aren der Continente, sei es in beiden Hemisphären oder östlich und westlich unter den Meridianen von Canton und Californien; so wird man erkennen, daß, wäre auch die Zahl der Beobachtungen über die mittlere Temperatur unendlich groß, doch keine vollkommene Ausgleichung statt finden würde.

Der Theorie kommt es also allein zu die Vertheilung der Wärme auf dem Erdkörper zu bestimmen, so weit dieselbe von der unmittelbaren und augenblicklichen Wirksamkeit der Sonne abhängt. Sie zeigt nicht die durch die Ausdehnung des Quecksilbers in einem Thermometer ausgedrückten Temperatur-Grade an, sondern die Verhältnisse zwischen der mittleren Jahreswärme am Aequator, im Parallel von 45° und unter dem Polarkreise; sie bestimmt die Verhältnisse zwischen der Solstitial- und Aequinoctial-Wärme in den verschiedenen Zonen. Vergleiche man die Ergebnisse der Rechnung, nicht mit dem aus Beobachtungen in verschiedenen Längen gezogenen

¹ Vergl. Ramond, Mémoire sur la Formule barométr. p. 108 und 113.

Mittelwerthe, sondern mit der mittleren Temperatur eines einzelnen Punktes der Erdoberfläche; so würde man von einander scheiden, was der unmittelbaren Einwirkung der Sonne, und dem Inbegriff der anderen Einwirkungen gehört: der solaren und nicht solaren, der örtlichen oder auf große Entfernungen fortgepflanzten. Diese Vergleichung der Theorie mit der Erfahrung würde eine große Zahl wichtiger Beziehungen darbieten.

Lange ehe man vergleichbare Thermometer und eine bestimmte Vorstellung von der mittleren Temperatur eines Ortes hatte, entwarf Halley, im Jahre 1693, die ersten Elemente einer Theorie von der wärmenden Thätigkeit der Sonne in verschiedenen Breitengraden.¹ Er bewies, daß die Dauer der Thätigkeit die Wirkung von der Schiefe der Strahlen ausgleichen könnte. Die Verhältnisse, welche er angiebt, drücken nicht die mittlere Wärme der Jahreszeiten aus, sondern die Wärme eines Sommertages am Aequator und unter dem Polarkreise; ein Verhältniß, welches er findet wie 1,834 zu 2,310. Bei den Griechen schon hatte, nach des Geminus² Berichte, Polybius die Ursach geahndet, weshalb am Aequator weniger Wärme ist als unter dem Wendekreise. Auch der Gedanke einer gemäßigten, bewohnbaren und sehr hoch liegenden Zone mitten in der heißen wurde von Eratosthenes, Polybius und Strabo angenommen.

In zwei durch einen weiten Zeitraum getrennten Abhandlungen, 1719 und 1765³, versuchte Mairan die Probleme der solaren Wirkung auf eine vollständigere Weise zu lösen,

¹ Philosophical Transactions 1693 p. 878.

² Isag. in Aratum cap. 13; Strabo, Geogr. lib. II p. 97.

³ Mém. de l'Acad. 1719 p. 133, 1765 p. 145 und 210.

indem er dieselben umständlicher und nach allgemeineren Ansichten behandelte. Er war es, der zuerst die Ergebnisse der Theorie mit den wirklichen Beobachtungen verglich; und da er den Unterschied zwischen der Sommer- und Winterwärme viel größer fand, als er nach der Rechnung sein mußte, so erkannte er die permanente Wärme des Erdkörpers und die Wirkungen der Ausstrahlung. Ohne Mißtrauen in die Beobachtungen zu setzen, die er anwandte, entwickelte er eine wunderbare Theorie von Central-Emanationen, welche vom Aequator bis zum Pol die Wärme der Atmosphäre erhöhen sollten. Er glaubt, daß diese Ausströmungen bis zum Parallel von 74° abnehmen, wo die solaren Sommer ihr Maximum erreichen, und daß sie dagegen zunehmen vom 74ten Grade an bis zum Pole hin.

Lambert hat mit dem Scharfsinn, der ihn in allen seinen physisch-mathematischen Untersuchungen auszeichnet, in seiner Pyrometrie¹ die Irrthümer der Mairan'schen Theorie aufgedeckt. Er hätte hinzufügen können, daß dieser Mathematiker die Quantitäten Wärme, die ein Punkt des Erdkörpers unter dem 60ten Grade der Breite während der drei Sommermonate empfängt, mit dem Maximum verwechselt, zu welchem die Bewohner jener nördlichen Gegenden das Thermometer von Zeit zu Zeit an einem heiteren Tage steigen sehen. Die mittleren Sommer-Temperaturen, durchaus nicht vom Pole nach dem Wendekreise zu abnehmend, sind unter dem Aequator, dem Parallel von 45° , und unter dem von Stockholm, Upsala oder Petersburg: $27^{\circ},7$; 21° und $16^{\circ},2$. Réaumur hatte seine neuen Thermometer nach der heißen Zone, nach

¹ Pyrometrie oder vom Maas des Feuers und der Wärme. 1779, S. 342.

Syrien und dem Norden geschickt. Weil man sich damals damit begnügte die heißesten Tage aufzuzeichnen, so war man auf den Gedanken eines allgemeinen Sommers gekommen, welcher in allen Theilen des Erdkörpers derselbe sei. Man hatte, und zwar mit Recht, bemerkt, daß sehr hohe Temperatur-Grade häufiger und selbst stärker sind in der gemäßigten Zone, unter hohen Breiten, als in der heißen Zone. Ohne auf die mittlere Temperatur der Monate zu achten, nahm man auf's Gerathewohl an, daß in jenen nördlichen Gegenden die Sommer dem Verhältnisse der thermischen Extreme folgten. Dieses Vorurtheil hat sich noch in unserer Zeit fortgepflanzt: obgleich doch bewiesen ist, daß, ungeachtet der Länge der Tage im Norden, die mittleren Temperaturen der heißesten Monate zu Petersburg, Paris und unter dem Aequator $18^{\circ},7$; $20^{\circ},8$ und 28° des hunderttheiligen Thermometers sind. In Cairo kommen nach Rouet's Beobachtungen auf die drei Sommermonate $29^{\circ},3$; also 14° mehr Wärme als in Petersburg und 10° mehr als in Paris. Die Sommerhitze von Cairo ist beinahe der gleich, die ich zu Cumana und Guayra zwischen den Wendekreisen empfunden habe.

Was die centrale Ausströmung des Mairan'schen Systems oder die Wärmemenge anbetrifft, welche die Erde der umgebenden Luft mittheilt, so ist leicht einzusehen, daß sie nicht in allen Jahreszeiten wirken kann. Die Temperatur des Erdkörpers ist in den Tiefen, welche wir erreichen, im allgemeinen wenig verschieden von der mittleren Jahreswärme des Luftkreises. Ihre Wirksamkeit ist für die Erhaltung der Gewächse höchst wichtig; aber sie wird in der Luft nur da bemerkbar, wo die Oberfläche der Erdfugel sich nicht ganz