

mit Schnee bedeckt, und nur während der Monate, deren mittlere Temperatur unter der des ganzen Jahres ist. Im südlichen Frankreich z. B. kann die Ausstrahlung der Erde in den fünf Monaten, die dem April vorausgehen, auf den Lufkreis wirken. Wir reden hier von der dem Erdkörper eigenthümlichen Wärme, von der, welche bis zu großen Tiefen unveränderlich ist; nicht von jener Strahlung der Erdoberfläche, die selbst im Sommer-Solstitium vor sich geht und deren nächtliche Wirkungen Prevost ein annäherndes Maaß der directen Sonnen-Wirkung dargeboten haben.<sup>1</sup>

Mairan hatte gefunden, daß in der gemäßigten Zone sich die Wärme des solaren Sommers zu der des solaren Winters wie 16 zu 1 verhält. Prevost nimmt für Genf 7 zu 1 an. Gute Beobachtungen geben mir als Mittel-Temperatur der Sommer und Winter: für Genf  $10,5$  und  $18,3$ ; für Petersburg  $8,3$  und  $16,7$  des hunderttheiligen Thermometers. Diese Zahlenwerthe drücken weder absolute Verhältnisse noch absolute Quantitäten, sondern nur thermische Unterschiede aus, die als Gesamtwirkung der erwärmenden Einflüsse angesehen werden; die aus der Theorie abstrahirten Verhältnisse befreien die Sonnenwärme von jedem anderen mittelbaren Einflusse. Euler war nicht glücklicher als Mairan in seinen *Essais théoriques sur la chaleur solaire*. Er nimmt an, daß die negativen Sinus der Sonnenhöhe während der Nacht das Maaß der nächtlichen Erkaltung geben; und erhält das ungewöhnliche Resultat, daß unter dem Aequator um Mitternacht die Kälte heftiger sei als den Winter über unter dem Pol.<sup>2</sup> Glücklicherweise legt

<sup>1</sup> Du calorique rayonnant p. 271, 277 und 292.

<sup>2</sup> Comment. Petrop. T. II. p. 98.

dieser große Mathematiker selbst diesem Resultate und der Theorie, aus welcher es entspringt, wenig Wichtigkeit bei. Der zweite Aufsatz Mairan's gewährt, ohne für die Fragen etwas beizutragen, die man seit Halley's Zeit zu lösen suchte, wenigstens den Nutzen, daß er einige allgemeine Ansichten über die wirkliche Vertheilung der Wärme in den verschiedenen Continenten enthält. Leider sind darin unaufhörlich die extremen Temperaturen mit den mittleren verwechselt; aber es ist vor den Werken von Cotte und Kirwan hier zuerst der Versuch gemacht die Thatsachen zusammenzustellen und die entferntesten Klimate unter einander zu vergleichen.

Wenig zufrieden mit dem von seinen Vorgängern eingeschlagenen Wege, hat Lambert in seiner *Pyrometrie* seine Arbeiten auf zwei sehr verschiedene Ziele gerichtet: er hat analytische Ausdrücke für die Curven gesucht, welche die Temperatur-Veränderungen an einem Orte, wo er beobachtet hatte, angeben; und er hat den Satz von der Sonnen-Thätigkeit in der größten Allgemeinheit wieder aufgenommen. Er liefert Formeln, nach denen man die Wärme eines Tages unter einer gegebenen Breite finden soll; aber ängstlich besorgt die nächtliche Zerstreung der erhaltenen Wärme oder die Subtangente der nächtlichen Erkaltungen zu bestimmen<sup>1</sup>, giebt er Tafeln über die Wärme-Vertheilung unter verschiedenen Breitenkreisen und in verschiedenen Jahreszeiten<sup>2</sup>, welche sich so weit von den Ergebnissen der Beobachtung entfernen, daß es wohl schwer halten würde diese Abweichungen dem Einflusse der strahlenden Wärme des Erdkörpers oder anderen störenden Ursachen zuzuschreiben. Man

<sup>1</sup> *Pyrometrie* S. 141 und 179.

<sup>2</sup> *N. a. D.* S. 318 und 339.

verwundert sich über den geringen Unterschied, welchen die Theorie zwischen den mittleren Jahres-Temperaturen der unter dem Aequator und dem Polarkreise liegenden Dexter, zwischen den Sommern der heißen und der kalten Zone angeht. Man fordert von der Analyse nicht, daß sie die Vertheilung der Wärme so bestimmen solle, wie sie auf der Erdoberfläche statt hat. Wir wissen, daß die Theorie, ohne erfahrungsmäßige Gesetze anzuwenden, ohne Data aus den Ergebnissen der Beobachtung zu schöpfen, nur einen Theil der Gesamtwirkung, den die unmittelbare Wirksamkeit der Sonnenstrahlen betreffenden, der Rechnung unterwerfen kann; aber seit den glücklichen, neuen Anwendungen der Analyse: auf die Erscheinungen einer strahlenden Oberfläche, auf das Eindringen des Wärmestoffes in das Innere fester Körper, auf die Erkaltung dieser Körper in Mitteln, deren Temperatur nicht gleichförmig ist, kann man hoffen, daß man endlich dazu gelangen werde die Theorie der Sonnen-Einwirkung zu vervollkommen und die Vertheilung der in der äußeren Umhüllung unseres Planeten vorgefundenen Wärme zu berechnen.

Bei der Erörterung dessen, was man von den rein theoretischen Arbeiten der Mathematiker erwarten kann, habe ich unterlassen von einer berühmten, aber sehr gedrängt gehaltenen Abhandlung Mayer's, des Reformators der Mondtafeln, zu reden. Diese, im Jahre 1755 abgefaßte Arbeit ist erst zwanzig Jahre später veröffentlicht worden.<sup>1</sup> Es ist

<sup>1</sup> De variationibus therm. accuratius definiendis (Opera ined. Vol. I. p. 3—10). Dubuiffon hat in einer in das Journal de Physique T. LXII. p. 449 eingerückten Abhandlung eine Formel gegeben, welche den Beobachtungen mehr entspricht als die von Mayer. Er setzt voraus, daß die Temperatur vom Pole zum Aequator hin zunimmt wie die Cosinus der auf die Potenz von  $2\frac{1}{2}$

eine Methode und keine Theorie; es ist ein von den vorhin aufgeführten wesentlich verschiedener Versuch und, wie sein gelehrter Urheber selbst sagt, eine Bestimmung der mittleren Wärme, auf dem Wege der Erfahrung durch Benutzung der Coefficienten gefunden, welche die Beobachtungen an die Hand geben. Mayer's Verfahren ist dem gleichartig, das die Astronomen mit so vielem Glücke befolgen, wenn sie nach und nach den mittleren Ort eines Planeten von der Wirkung der Ungleichheiten seiner Bewegung befreien: es bietet das Resultat der solaren Action nicht frei gemacht von dem Einflusse fremdartiger Verhältnisse; es schätzt im Gegentheil die Temperaturen so, wie sie auf dem Erdbörper vertheilt sind, die Ursach dieser Vertheilung möge sein, welche sie wolle. Wenn die mittlere Wärme zweier unter verschiedenen Breiten liegender Dexter gegeben ist, findet man durch eine sehr einfache Gleichung die Temperatur jedes anderen Parallelkreises. Mayer's Bestimmungen, nach welchen die Temperaturen vom Aequator nach dem Pole zu abnehmen wie die Quadrate der Sinus der Breite, geben ziemlich genaue Resultate, wenn man sich in der Länge nicht sehr von den Gegenden entfernt, welche die empirischen Coefficienten geliefert haben. Aber sobald man, ohne die nördliche Halbkugel zu verlassen, die Formeln auf Orte anwendet, die 70 oder 80 Grade östlich oder westlich von dem Pariser Meridian liegen, stimmen die Berechnungen nicht mehr mit den Beobachtungen überein. Die Curve, welche durch die Punkte geht, deren Mittel-Temperatur null ist, fällt nicht mit einem Erd-Parallel zusammen; wenn wir erhobenen Breite; fügt aber treffend hinzu, daß diese Formel nur auf einen Strich des Alten Continents, dem nördlichen atlantischen Ocean nahe, anwendbar sei.

auf der scandinavischen Halbinsel diese Curve erst in  $65^{\circ}$  oder  $68^{\circ}$  Breite treffen, so steigt sie dagegen im Norden von Amerika und im östlichen Asien bis zum Parallellreise von  $53^{\circ}$  bis  $58^{\circ}$  herab. Die Richtung und Neigungen dieser Curve der Null-Temperatur wirken auf die benachbarten isothermen Linien auf dieselbe Art ein, wie die Einbiegungen des magnetischen Aequators die Richtung der magnetischen Neigungs-Linien abändern. Fragen, welche Mittel-Temperatur oder welche Neigung (Inclination) der Magnetnadel einem gewissen Breitengrade zukomme, heißt gleich unbestimmte Probleme aufstellen. Obgleich, selbst in hohen Breiten, die magnetischen und isothermen Linien dem magnetischen Aequator und der Curve der Null-Temperatur nicht streng parallel laufen, so bestimmt doch die Entfernung eines Ortes von dieser Curve die mittlere Temperatur, wie der Neigungsgrad der Nadel von der magnetischen Breite abhängig ist.

Diese Betrachtungen reichen hin, um zu beweisen, daß die empirischen Formeln Mayer's die Hinzunahme eines Coefficienten erfordern, welcher von der geographischen Länge, und folglich von der Richtung der isothermen Linien und ihrer mit den Erd-Parallellreisen gebildeten Knoten abhängt. Mayer hat nicht die Absicht gehabt die Resultate, welche er erhält, von dem Einflusse aller störenden Ursachen zu befreien; er hat sich darauf beschränkt die Wirkungen der Höhe über der Meeresfläche, der Jahreszeiten und der Tageslänge zu bestimmen. Er hat den Weg zeigen wollen, welchen die Physiker in der Nachahmung der Verfahrensweise der Astronomen nehmen müssen. Sein Aufsatz rührt aus einer Zeit her, wo man kaum die mittlere Temperatur von drei Punkten auf der Erde kannte; und die von mir nach dem Entwurfe der

isothermen Linien vorgeschlagenen Verbesserungen, weit entfernt mit Mayer's Methode unvereinbar zu sein, gehören zu denen, welche dieser Mathematiker unbestimmt geahndet zu haben scheint.

Kirwan versucht in seinem Werke über die Klimate und in einer gelehrten meteorologischen Abhandlung, die im 8ten Bande der Transactions of the Irish Academy abgedruckt ist, anfangs den von Mayer vorgeschlagenen Weg zu verfolgen; aber, reicher an Beobachtungen als Alle, die ihm vorangegangen, wird er bald gewahr, daß nach langen Rechnungen die erhaltenen Ergebnisse schlecht mit der Erfahrung zusammenstimmen. <sup>1</sup> Um eine neue Methode zu versuchen, wählt er in der ungeheuren Ausdehnung der Meere Gegenden aus, deren Temperatur nur aus permanenten Ursachen eine Veränderung erfährt: nämlich den Theil des Großen Oceans, welcher gemeiniglich das Stille Meer genannt wird, von  $40^{\circ}$  Süd bis  $45^{\circ}$  Nord; und den Theil des atlantischen Oceans zwischen den Breitenkreisen von  $45^{\circ}$  und  $80^{\circ}$ , von den englischen Küsten an bis zum Golfstrom, mit dessen hoher Temperatur Sir Charles Blagden uns zuerst bekannt gemacht hat. Kirwan versucht Monat für Monat die mittlere Temperatur dieser Meere in verschiedenen Breitengraden zu bestimmen, und diese Resultate bieten ihm Vergleichungspunkte mit den in dem continentalen Theile des Erdkörpers beobachteten Mittel-Temperaturen. Es ist leicht einzusehen, daß diese Methode keinen anderen Zweck hat als in der Klimatologie, in der Gesamtwirkung der erwärmenden Einflüsse (influences calorifiques), das abzusondern, was der

<sup>1</sup> Kirwan, An estimate of the Temperature of different latitudes chapt. III.

unmittelbaren Einwirkung der Sonne auf einen einzelnen Punkt des Erdförpers zugehört. Kirwan betrachtet zuerst die Erde als gleichmäßig von einer sehr starken Wasserschicht bedeckt; und dann vergleicht er die Temperaturen dieses Wassers in verschiedenen Breiten mit dem, was auf der Oberfläche der mit Bergen bedeckten und ungleich gegen die Pole hin ausgebreiteten Continente beobachtet wird.

Diese anziehende Arbeit wirft Licht auf den Einfluß örtlicher Ursachen, auf die Wirkung, welche aus der Lage der Meere, wegen der ungleichen Capacität des Wassers und der Erde für die Wärme-Absorption, entspringt; das Verfahren ist sogar geeigneter zu diesem Ziele zu führen als die Methode der Mittelwerthe, die aus einer großen Menge Beobachtungen unter verschiedenen Meridianen gezogen sind: aber bei dem gegenwärtigen Zustande unserer physikalischen Kenntnisse läßt der von Kirwan vorgeschlagene Weg sich nicht verfolgen. Eine kleine Anzahl von Beobachtungen, fern von den Küsten im Verlaufe eines Monats angestellt, bestimmt zwar die mittlere Jahres-Temperatur des Meeres an seiner Oberfläche; und wegen der Langsamkeit, mit der eine große Wassermenge den Temperatur-Veränderungen der umgebenden Luft folgt, ist die Ausdehnung der Variationen in dem Zeitraum eines Monats im Weltmeere geringer als in der Atmosphäre; aber es fehlt doch viel, daß wir durch unmittelbare Erfahrung in der gemäßigten Zone Breitenkreis für Breitenkreis und Monat für Monat die Mittel-Temperaturen des Oceans angeben könnten. Die große Uebersicht, die Kirwan für das weite Gebiet der Meere, das zum Vergleichungspunkte dienen soll, aufgestellt hat, ist zum kleinen Theil auf die Beobachtungen der Reisenden, zum weit größeren

Theile aus Mayer's Theorie gegründet. Es sind darin ebenfalls die über die Wärme des Oceans auf seiner Oberfläche gemachten Erfahrungen mit den Resultaten der meteorologischen Tagebücher oder mit den Angaben von der Temperatur der auf dem Meere ruhenden Luft verwechselt. Es ist ein fehlerhafter Kreis beschrieben worden, indem, bald nach theoretischen Voraussetzungen, bald nach Beobachtungen über die Luft, welche die Küsten der Continente umweht, die Temperaturen des Oceans modificirt worden sind, um nachher mit eben diesen, halb hypothetischen Resultaten die zu vergleichen, welche die Beobachtung allein im Innern der Continente darbietet.

Nach den Werken Kirwan's würde mir übrig bleiben die von Gotte zu nennen. Es sind einfache Compilationen, fleißig gearbeitet und oft nützlich, aber man darf sich ihrer nur mit vieler Umsicht bedienen. Der Geist der Kritik hat selten bei ihrer Abfassung gewaltet, und sie sind nicht so eingerichtet, daß sie zu allgemeinen Ergebnissen führen könnten.

Bei der Schilderung des gegenwärtigen Zustandes unserer Kenntnisse über die Wärme-Vertheilung habe ich dargethan, wie gefährlich es ist die aus den Beobachtungen gezogenen Resultate mit denen zu vermengen, welche man aus theoretischen Ideen ableitet. Die Wärme jedwedes Punktes auf dem Erdförper hängt ab von der Richtung der Sonnenstrahlen und der Dauer ihrer Thätigkeit, von der Höhe des Standortes, von der innerlichen Wärme und der Einstrahlung der Erde in ein Mittel veränderlicher Temperatur; endlich von der Gesamtheit der Ursachen, welche selbst Wirkungen sind von der Rotation der Erde und der ungleichen Vertheilung des Festen und Flüssigen (der Continente und der Meere). Ehe man es wagen kann ein System aufzuführen,

müssen die Thatsachen in Gruppen zusammengestellt, die Zahlenverhältnisse bestimmt und, wie ich gleich im Anfange dieser Schrift ausgesprochen habe, die Erscheinungen der Wärme, so wie es Halley für den Erd-Magnetismus geglättet ist, unter empirische Gesetze gebracht werden. Diesen Weg einschlagend, habe ich zuerst die Frage untersucht: ob die von den Physikern angewandte Verfahrungsweise, die Mittel-Temperaturen des Jahres, der Monate und Tage abzuleiten, beträchtlichen Irrthümern ausgesetzt ist. Ueber die Genauigkeit der mittleren Zahlenwerthe beruhigt, habe ich auf einer Karte die den Linien magnetischer Neigung und Abweichung entsprechenden isothermen Linien gezeichnet; ich habe sie betrachtet auf der Erdoberfläche in einem horizontalen und auf dem Abhange der Gebirge in einem senkrechten Durchschnitt. Ich habe untersucht die Zunahme der Temperatur vom Pole nach dem Aequator hin, wie sie ungleich ist unter verschiedenen Meridianen; die Theilung einer und derselben Wärmemenge unter verschiedene Jahreszeiten auf demselben isothermen Paralleltreife und in verschiedenen Breiten; die Curve des ewigen Schnees, welche keinesweges eine Linie gleicher Wärme ist; die Temperatur des Inneren der Erde, welche gegen den Norden und auf hohen Bergen etwas größer ist als die mittlere Temperatur des Luftkreises unter gleichem Parallel; endlich die Vertheilung der Wärme im Ocean und die Lage jener Zonen, die man mit dem Namen von Zonen der wärmsten Wasser belegen kann. Weil die Grenzen dieser Abhandlung mir nicht erlauben in das Einzelne dieser verschiedenen Erörterungen einzugehen, werde ich mich hier mit den Hauptresultaten begnügen.

In früherer Zeit nahm man das im Verlaufe eines

Jahres beobachtete Maximum und Minimum der Luftwärme, und sah die halbe Summe als die Mittel-Temperatur des ganzen Jahres an. So machten es Maraldi, Lahire, Muschenbroek, Celsius und selbst Mairan, als sie das sehr heiße Jahr 1718 mit den überaus kalten Jahren 1709 und 1740 vergleichen wollten. Lahire war überrascht von der Identität der beständigen Temperatur in den unterirdischen Steinbrüchen der Pariser Sternwarte (caves de l'observatoire) mit den Resultaten, welche ihm die beobachteten Jahres-Extreme gaben. Er scheint der Erste gewesen zu sein, der, im Jahr 1719, sich einen klaren Begriff gebildet hatte von der mittleren Wärmemenge, welche ein Punkt des Erdkörpers empfängt; und er fügt hinzu: „man könne die Luft der Steinbrüche als den mittleren Stand des Klima's ansehen“<sup>1</sup>. Réaumur folgte auch der Methode der Maxima, obgleich er eingestand, daß sie ungenau sei.<sup>2</sup> Er erkannte die Stunden, in denen man beobachten müsse, und machte von 1735 an in den Abhandlungen der Akademie die täglichen Temperatur-Extreme bekannt; er verglich sogar schon den Ertrag zweier Erndten mit der Summe der Wärmegrade, denen während zweier auf einander folgender Jahre die Cerealien ausgesetzt gewesen waren; doch wenn es auf die Mittel-Temperatur der Monate ankam, begnügte er sich, wie dreißig Jahre später noch Duhamel, 3 bis 4 höchste Thermometer-Stände anzugeben. Zur Beurtheilung der Irrthümer, welche diese unvollständige Methode herbeiführt, will ich daran erinnern, daß bis zum Jahre 1777 die mittlere Temperatur von Toulon von Cotte<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Mémoires de l'Acad. des Sciences 1719 p. 4.

<sup>2</sup> L. c. 1735 p. 559.

<sup>3</sup> Mémoires de la Soc. royale de Médecine 1777 p. 104.

zu  $25^{\circ},6$  berechnet wurde: wogegen der nämliche Gelehrte späterhin, bei Benutzung der Masse aller Beobachtungen, diese Temperatur auf das herabsetzte, was sie wirklich ist, auf  $15^{\circ},7$ .

Um die Irrthümer bei der Methode der Jahres-Extreme zu vermindern, hat man, freilich ziemlich spät, begriffen, daß die die Temperatur-Veränderungen ausdrückende Curve wieder zerlegt werden müsse. Vier-und-zwanzig Extreme, unter die 12 Monate des Jahres getheilt, geben schon ein genaueres Jahres-Mittel als zwei von der Gesamtheit aller Beobachtungen hergenommene Extreme. Die Ordinaten wachsen nicht gleichmäßig und ununterbrochen bis zum Maximum des Jahres; es kommen theilweise, ziemlich regelmäßige Einbiegungen vor. In je kleinere Theile man die Curve zerlegt: desto mehr fixe Punkte erhält man in der ganzen Reihe, desto näher werden diese Punkte einander liegen, und desto geringer wird der Irrthum sein in der Annahme einer arithmetischen Progression und in der Annahme des gleichen Abstandes der verschiedenen Maxima und Minima der Temperatur. Diese Betrachtungen lehren den Werth der drei Methoden erkennen, welchen heutiges Tages die Beobachtungen unterworfen werden: 1) Man beobachtet dreimal des Tages: bei Sonnen-Auf- und Untergang, und um zwei Uhr Nachmittags. So ist es zu Genf während der drei Jahre 1796, 1797 und 1798 geschehen. Auf den Sternwarten giebt man der Mittagsstunde den Vorzug vor der des Sonnen-Unterganges. 2) Man beobachtet zu zwei Epochen des Tages, von denen man voraussetzt, daß sie die des Minimums und des Maximums sind: nämlich bei Sonnen-Aufgang und um zwei Uhr Nachmittags. 3) Man beobachtet des Tages einmal: zu einer Stunde, von der man in den verschiedenen Jahreszeiten gefunden hat, daß

sie die mittlere Temperatur des Tages ausdrückt. So hat Ramond, durch eine scharfsinnige Induction, erwiesen, daß die Barometer-Höhe zur Mittagsstunde in unseren Erdstrichen den mittleren Luftdruck, befreit von der stündlichen Variation, darbietet.<sup>1</sup>

Ich habe bei der Berechnung von einer großen Anzahl zwischen den Breitenkreisen von  $46^{\circ}$  und  $48^{\circ}$  gemachter Beobachtungen gefunden, daß die bloße Epoche des Sonnen-Unterganges eine Mittel-Temperatur giebt, welche von der aus den Beobachtungen beim Aufgang und um zwei Uhr geschlossenen nur um einige Zehntel von Graden abweicht. Die unregelmäßigen Oscillationen einzelner Monate betragen nicht über einen Grad, und sie sind sehr regelmäßig positiv oder negativ, nach der Ordnung der Jahreszeiten. Arago hat für sieben Jahre die Mittags-Beobachtungen untersucht.<sup>2</sup> Sie geben für Paris drei Grade mehr als die Mittel-Temperatur des ganzen Jahres. Auf den hohen Gebirgen der gemäßigten Zone beträgt der Unterschied kaum einen Grad.<sup>3</sup> Man kann, indem man nach den Breiten und Höhen veränderliche Coefficienten anwendet, die wahren Mittel-Temperaturen aus Beobachtungen, die zu einer oder der anderen Tageszeit angestellt sind, schließen: etwa wie man aus den außerhalb des Meridians genommenen Sonnenhöhen die Breite eines Ortes ableiten kann.

<sup>1</sup> De la Formule barométr. p. 213.

<sup>2</sup> Mittel der Beobachtungen um Mittag; in Paris  $13^{\circ},8$ ; zu Clermont in der Auvergne (411 Meter)  $13^{\circ},5$ ; zu Strasburg (138 Meter)  $12^{\circ},9$ . Bulletin des Sciences, par la Soc. philomatique de Paris, Année 1814 p. 95.

<sup>3</sup> Im Hospize des St. Gotthard (Ephemerides Societatis meteorologicae Palatinae, Observ. anni 1785 p. 47).