

# Kommentierte Rohübersetzung von **Über die Temperaturen der Erdkugel und den Planetenräumen**

Jean-Baptiste Joseph Fourier

Kommentierung und Bearbeitung englisch

Raymond T. Pierrehumbert

Kommentierung und Bearbeitung deutsch

Dipl.-Physiker Jochen Ebel

19. April 2021

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>1</b>	<b>Kommentierung</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Anmerkung des englischen Übersetzers</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Fouriers Text</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>Verzeichnisse</b>	<b>22</b>
	Literaturverzeichniss . . . . .	22

# 1 Kommentierung

Im Zuge der industriellen Entwicklung wurde die Physik im 19. Jahrhundert (also ab 1800) eine bedeutende Wissenschaft und besonders Fragen der Wärme spielten eine große Rolle (z. B. Dulong-Petit, Fourier, Kirchhoff, Stefan, Boltzmann). Dabei konnte es nicht ausbleiben, daß man die neu gefundenen Gesetzmäßigkeiten auch auf die Erde anwandte. Den Anfang dafür machte weitgehend Fourier mit der vorliegenden Arbeit. Fourier wunderte sich über die vorgefundenen Temperaturen, so daß spätere Forscher die zunehmenden Kenntnisse (z. B. Tyndall) anwendeten, um diese Temperaturen zu erklären. Am Anfang der zutreffenden Erklärungen steht dabei weitgehend [Arrhenius, 1896].

Fourier wußte noch wenig über die Wärmestrahlung und ihre Charakterisierung. Deswegen spricht er von heller und dunkler (obscurer) Wärme. Nach heutigem Verständnis verstehen wir unter heller Wärme etwa den Bereich von  $0.4 \mu\text{m}$  bis  $0.8 \mu\text{m}$ . Dunkle Wärme ist Infrarot.

In einigen Punkten hatte Fourier auf unzureichende Kenntnis aufmerksam gemacht (siehe besonders die Absätze 85 auf Seite 19 und 93 auf Seite 20), diese Unkenntnis wurde später von [Arrhenius, 1896] beseitigt.

Wenn jemand glaubt, daß bestimmte Stellen zu frei oder falsch übersetzt sind, bitte eine Mitteilung an <mailto:JEbel@t-online.de>. Die Übersetzung wird erschwert, da einige altfranzösische Wörter heute weitgehend unbekannt sind und sich teilweise auch die Denkweise geändert hat<sup>1)</sup>. Das gilt z. B. für die altfranzösische Meile (lieue), was noch dadurch erschwert wird, daß es verschiedene Meilen gab [Padelt und Laporte, 1964]:

- 1 lieue commune = 2280.3 toises = 4445 m
- 1 lieue moyenne = 2534 toises = 5008 m
- 1 lieue marin = 2850.4 toises = 5556 m
- 1 lieue de poste = 2000 toises = 3898.1 m

In der Übersetzung wird die gewöhnliche Meile (lieue commune) verwendet. Die Unbekanntheit ergibt sich auch aus der Übersetzung von [Pierrehumbert, 2004] der für die alten Einheiten die entsprechenden SI-Einheiten angegeben hat - aber nicht für die »lieue« (leagues) im Absatz [101].

Für einen leichten Vergleich mit dem Original wurden allen Absätzen Nummern zugeordnet.

Der Originalartikel von Fourier wurde mit OCR gescannt und anschließend maschinell übersetzt. Dabei ergaben sich keine inhaltlichen Abweichungen zur englischen Übersetzung von [Pierrehumbert, 2004]. Wo die maschinelle Übersetzung sehr unverständlich war, wurde auf Pierrehumbert's Übersetzung zurückgegriffen.

Zur Unterscheidung der Kommentare zum übersetzten Text von Fourier sind die Kommentare (auch von Pierrehumbert) in [blau](#).

Es gibt weitere Übersetzungen von Fourier nach englisch z. B. [Burgess, 1837] und [Connolly, 2004]. In [Casey, 2010] (und weiteren Quellen) wird [Arrhenius, 1896] eine falsche Zitierung unterstellt, obwohl in den Absätzen 54 auf Seite 13 und 55 auf Seite 13 extra steht, daß ohne Konvektion der Treibhauseffekt höher wäre (allerdings hat Fourier für die Erscheinung noch nicht den Begriff »Treibhauseffekt« verwendet). Allerdings hat Fourier bereits die Grundlage des Treibhauseffekts erkannt - nämlich die Behinderung der Abstrahlung im Infrarotbereich. Sogar ein intelligenterer Versuch als der von [Wood, 1909] wurde schon ca. 130 Jahre früher gemacht (Absatz 52 auf Seite 12).

Fourier's Paper von 1827 ist eines, das infam durch Arrhenius falsch zitiert wird,

---

1) Die Übersetzung von [55 auf Seite 13] wurde von einem kritischem Dolmetscher übernommen.

der 1896 behauptete, »Fourier behauptet, dass die Atmosphäre wirkt wie das Glas eines Treibhauses, denn sie ermöglicht es, durch die Lichtstrahlen der Sonne, behält aber die dunklen Strahlen von der Erde.« Die Lektüre dieses Papier, werden Sie entdecken, dass Fourier so etwas nicht sagt, und tatsächlich weist er auf p. 586 darauf hin, dass ein solcher Fall würde die Atmosphäre erfordern, ohne dabei seine anderen physikalischen Eigenschaften zu verändern.

[Fourier's 1827 paper is the one that is infamously misquoted by Arrhenius, who in 1896 claimed, »Fourier maintained that the atmosphere acts like the glass of a hothouse, because it lets through the light rays of the sun but retains the dark rays from the ground.« Reading this paper, you'll discover that Fourier says no such thing, and actually points out, on p. 586, that such a case would require the atmosphere to solidify without altering any of its other physical properties.]

Infam ist es, mit dem heutigem Wissen früheren Autoren fehlerhafte Arbeit zu unterstellen. Eine zugängliche Übersetzung nach deutsch hat der Kommentator nicht gefunden.

## 2 Anmerkung des englischen Übersetzers

Dies ist eine Übersetzung von [Fourier, 1827]. Der ursprüngliche Text ist am leichtesten verfügbar in der bearbeiteten Ausgabe der Fourierschen Werke durch [Darboux, 1890]. Diese Arbeit ist online verfügbar aus der Bibliotheque Nationale de France (Suche [catalogue.bnf.fr](http://catalogue.bnf.fr) Autor für »Fourier, Jean-Baptiste-Joseph«). In der Veröffentlichung in den nachgedruckten Werken, wird bemerkt, dass dies eine sehr leicht veränderte Version des erschienenen Essays von [Fourier, 1824] ist.

Eine englische Übersetzung des Fourier Artikel ist seit mehr als einem Jahrhundert in gedruckter Form nicht erhältlich. Jedoch wird der Artikel häufig zitiert, es ist meine Erfahrung, dass der tatsächliche Inhalt auch in der anglophonen Gemeinde nicht gut bekannt ist (und er ist kaum besser unter Francophonen bekannt). Mein Ziel dabei ist, mit einer neuen Übersetzung zu helfen, diese Situation zu beheben, während die Bewertungen mit meinen eigenen Kenntnissen der Physik des Klimas helfen soll, Fourier's Argumente in ein so klares Licht wie möglich zu bringen. Ich habe der Lesbarkeit einen Vorzug statt der wörtlichen Übersetzung gegeben, und in einigen Fällen habe ich mir die Freiheit der Umformulierung einiger Sätze genommen um die Argumentation Fouriers deutlicher zu machen, ich glaube nicht, dass ich dabei mehr in den Text hineingelesen habe als es Fourier selbst dort sagte, aber Leser mit dem Ziel feinere Bedeutungsnuancen Fouriers zu erkennen - müssen natürlich das Original lesen. Ich habe nicht nach einer der vorhandenen Übersetzungen gefragt bei der Durchführung der vorliegenden Übersetzung, wenn ich kann, um die Aufmerksamkeit des Lesers auf die kommentierte Übersetzung von [Connolley, 2004] empfehlen, die online verfügbar ist.

Ich habe einige Kommentare in Form von Fußnoten gebracht, die alle durch meine Initialen markiert sind.

Beachten Sie, dass Vielfalt, verwendet Fourier oft *globe terrestre* für »Erde«. Diese dient dazu den Leser zu erinnern an Zusammenhänge mit früheren Fourier-Arbeiten über idealisiert Wärmediffusion in einer Kugel. Von seinem Titel habe ich dieses Gefühl erhalten als Ziel für die meisten Leser der Sätze - wurde einfach als »Erde« in den Text übersetzt.

R. T. Pierrehumbert  
1. September 2004

Chicago, IL, USA 2

### 3 Fouriers Text

ERINNERUNG ZU DEN TEMPERATUREN DER ERDE UND DER PLANETEN RÄUME.

VON HERRN FOURIER.

[01] Wie die Temperaturverteilung auf der Erde ist, ist eine der wichtigsten und schwierigsten Fragen der Naturphilosophie und besteht aus ganz verschiedenen Elementen, die aus einer allgemeinen Sicht betrachtet werden müssen. Ich halte es für sinnvoll, die wesentlichen Auswirkungen dieser Theorie in einem einzigen Dokument zusammenzuführen; die analytische Details, die hier verwendet werden, sind größtenteils in den Büchern enthalten, die ich bereits veröffentlicht habe. Vor allem Physikern wollte ich eine etwas erweiterte 'Zusammenstellung aller Phänomene geben und die mathematischen Zusammenhänge zwischen ihnen vorlegen.

[02] Die Wärme der Erde stammt aus drei Quellen, es ist zunächst notwendig diese zu unterscheiden:

- (1) [03] Die Oberfläche wird durch die Strahlen der Sonne erwärmt, deren ungleiche Verteilung die Vielfalt des Klimas produziert.
- (2) [04] ist beteiligt an der gemeinsamen Temperatur des planetarischen Raumes und ist der Bestrahlung durch unzählige Sterne ausgesetzt, die das Sonnensystem von allen Seiten umgeben.
- (3) [05] Die Erde hat im Inneren ihrer Masse einen Teil der Ur-Wärme konserviert, die sie hatte, als die Planeten ursprünglich gebildet wurden.

[06] Betrachtet man jede dieser drei Ursachen und die Phänomene, die sie produzieren, so werden wir, innerhalb der Grenzen des aktuellen Stands der Wissenschaft, die wesentlichen Merkmale dieser Phänomene deutlich verstehen. [Ergänzung 1827](#): Um einen Überblick über diese große Frage zu geben, und einen ersten Hinweis auf die Ergebnisse unserer Untersuchungen zu geben, präsentieren wir sie erstmals in zusammengefasster Form. Diese Zusammenfassung, dient als kommentiertes Inhaltsverzeichnis für meine Arbeit zu dem Thema.

[07] Unser Sonnensystem befindet sich in einer Region des Universums, deren Punkte alle eine gemeinsame und konstante Temperatur haben, die durch die Strahlen von Licht und Wärme bestimmt wird, die die umliegenden Sterne senden. Diese kalten Temperaturen des interplanetaren Himmels ist wenig geringer als die von den polaren Regionen der Welt<sup>2)</sup>. Die Erde müsste die gleiche Temperatur wie der Himmels haben, gäbe es nicht zwei zusammenwirkende Ursachen um sie zu erwärmen. Einer ist die innere Wärme der Erde aus der Zeit, als der Planetenkörper gebildet wurde, und nur etwas davon wurde durch die Oberfläche abgeführt. Die zweite Ursache ist kontinuierliche Wirkung des Sonnenlichtes, das in die ganze Masse der Erde eingedrungen ist, und welche zu Klimata führt, die in einzelnen Zonen unterschiedlich sind.

[08] Die Anfangswärme der Erde hat heute keine wesentliche Auswirkung an der Oberfläche; aber sie kann jedoch immens im Inneren der Erde sein. Die Oberflächentemperatur

---

2) [Hier stellt Fourier eine unbewiesene Behauptung auf, was er auch selbst im Absatz 85 auf Seite 19 feststellt und die nach modernen Wissen sogar falsch ist, denn die Temperatur des Weltalls als Hintergrundstrahlung ist ca. 2.7 K, also erheblich kälter als die Polarregionen.](#) - JE

kann den niedrigsten Zustand, den sie erreichen kann, keine 30/100 Grad<sup>3)</sup> überschreiten: sie sinkt zunächst sehr schnell; aber diese Änderung wird in ihrem aktuellen Zustand mit extremer Langsamkeit fortgesetzt.

[09] Bisher gesammelte Beobachtungen zeigen, dass an verschiedenen Punkten eine gleiche vertikale Temperaturzunahme im Erdkörper ist und zwar um so mehr, je größer Tiefe ist und dieser Anstieg ist bis zu 1° auf 30 bis 40 Meter. Ein solches Ergebnis erfordert eine sehr hohe innere Temperatur; sie kann nicht von der Wirkung der Strahlen der Sonne kommen: Sie wird natürlich erklärt durch die eigene Wärme der Erde aus der Zeit ihrer Entstehung.

[10] Diese Zunahme in der Größenordnung von einem Grad pro 32 Metern bleibt nicht immer die gleiche, sie verringert sich; aber es wird eine große Anzahl von Jahrhunderten dauern (viel mehr als dreißigtausend Jahre), bis sie auf die Hälfte ihres aktuellen Wertes reduziert ist.

[11] Es ist möglich, dass andere noch unbekannte Ursachen die gleichen Tatsachen erklären können, wenn es andere allgemeine oder zufällige Erdwärme gibt, entdecken wir sie durch den Vergleich der Ergebnisse dieser Theorie mit Beobachtungen.

[12] Die Wärmestrahlen, die die Sonne unaufhörlich auf die ganze Welt sendet, produzieren zwei sehr unterschiedliche Effekte - der erste ist periodisch und wirkt auf die Außenhülle des Planeten, die andere ist konstant, man beobachtet den Effekt in großen Tiefen z. B. bei 30 m unter der Oberfläche. Die Temperatur dieser Orte erfährt keine signifikante Veränderung im Laufe des Jahres, sie ist konstant, aber in unterschiedlichen Klimazonen sehr unterschiedlich: Sie ergibt sich aus der ewigen Aktion des Sonnenlichtes und ungleiche Belastung von Teilen der Fläche vom Äquator zu den Polen. Sie können die Zeit bestimmen, welche verstreichen musste, so dass dieser Eindruck von den Strahlen der Sonne, der die Vielfalt des Klimas hervorgebracht hat, wie wir es heute beobachten. Alle diese Ergebnisse stehen im Einklang mit denen der dynamische Theorien, die uns die Stabilität der Rotationsachse der Erde wissen lassen.

[13] Die periodische solare Wärme wirkt in den täglichen oder jährlichen Variationen. Diese Reihenfolge der Fakten wird genau und in allen Einzelheiten durch die Theorie vertreten. Der Vergleich der Ergebnisse mit Beobachtungen dient zur Messung der Wärmeleitfähigkeit der Materialien, aus denen die irdische Hülle gebildet wird.

[14] Das Vorhandensein von Atmosphäre und Oberflächenwasser führt im allgemeinen zu gleichmäßigerer Wärmeverteilung. Das Meer und die Seen, die kalten Moleküle, oder besser gesagt diejenigen, deren Dichte die größte ist, bewegen sich ständig in die unteren Regionen und Bewegungen der Wärme aus diesem Grund sind viel schneller als diejenigen, die in den festen Stoffen durch der Wärmeleitfähigkeit passieren. Die mathematische Überprüfung dieses Effekts erfordert genaue und viele Beobachtungen: sie dienen dazu, zu erkennen, wie diese inneren Bewegungen die Auswirkungen der inneren Wärme der Erde verhindern, die empfindlich auf die Tiefe des Wassers sind<sup>4)</sup>.

[15] Flüssigkeiten leiten Wärme sehr schlecht, aber sie haben - wie es auch gasförmige Materialien tun - die Eigenschaft diese schnell in bestimmte Richtungen durch Fluidbewegungen zu transportieren. Es ist dies die gleiche Eigenschaft, die in Kombination mit Fliehkraft alle Teile der Atmosphäre und des Ozeans bewegt und mischt, sie organisiert immense Strömungen.

[16] Die Zwischenschaltung der Luft ändert viele Wirkungen von Wärme auf die Oberfläche der Erde. Die Strahlen der Sonne verteilen die Wärme sehr ungleich, weil sie durch Luft-

---

3)  $30/100 \text{ Grad} = 1/15^\circ \text{ Fahrenheit (nach Burgess 1837)} = 1/27 \text{ K}$

4) Hier bezieht sich Fourier offenbar auf die Tatsache, dass die Temperatur im Ozean mit der Tiefe sinkt, während sie mit der Tiefe in der festen Kruste steigt. Die Problem wird später unzutreffend mit der Fourier-Diffusions-Gleichung erklärt, während diese Tatsachen eine ganz andere Erklärung erfordern. RTP

schichten, die durch ihr eigenes Gewicht komprimiert werden, gehen: diejenigen, die dünn sind, sind auch kühler, weil sie einen Teil dieser Strahlen weniger dämpfen und absorbieren<sup>5)</sup>. Die Wärme der Sonne, die in Form des Lichts ankommt, hat die Eigenschaft in Feststoffe oder durchscheinende Flüssigkeit einzudringen fast ganz verloren, wenn sie durch ihre Wechselwirkung mit irdischen Körpern, in dunkle Strahlungswärme fast vollständig umgesetzt wird.

[17] Dieser Unterschied zwischen heller und dunkler Wärme erklärt den Anstieg der Temperatur bei transparenten Körpern. Der Wasserkörper, der einen großen Teil der Welt umfasst, und das polare Eis stellen für die Ausbreitung von Lichtwärme ein geringeres Hindernis dar als für die dunkle Wärme, die in entgegengesetzter Richtung zurück in das Weltall strömt<sup>6)</sup>. Das Vorhandensein der Atmosphäre erzeugt einen ähnlichen Effekt, der aber noch nicht genau definiert werden kann - wegen des gegenwärtigen Standes der Theorie und weiter aus Mangel an Beobachtungen, die mit der Theorie verglichen werden können. Wie groß der Effekt auch sein mag, man kann nicht annehmen, dass die Temperatur, die durch den Einfall der Strahlen der Sonne auf einer sehr großen Festkörper entsteht erheblich die Größe übersteigt, die man beim Einfall des Licht dieses Sterns auf ein Thermometer beobachten kann.

[18] Die Strahlung der höchsten Schichten der Atmosphäre, deren Temperatur sehr kalt und nahezu konstant ist, wirkt auf alle Wetter-Fakten, die wir beobachten: diese Strahlung ist durch Reflexion an Hohlspiegeln leichter nachzuweisen. Das Vorhandensein von Wolken, die diese Strahlen fangen, mäßigt die Kälte der Nächte<sup>7)</sup>.

[19] Man sieht also: die Oberfläche der Erde befindet sich zwischen der festen Masse mit der zentralen Wärme, die mehr als weißglühend ist und dem umgekehrten Bereich, dessen Temperatur unterhalb des Gefrierpunkts von Quecksilber ist.

[20] Alle vorstehenden Überlegungen gelten auch für andere planetare Körper. Sie können als in einer Kammer befindlich betrachtet werden, deren gemeinsame und konstante Temperatur etwas niedriger ist als die der irdischen Polarregionen. Diese einheitliche Himmels-Temperatur würde an der Oberfläche der am weitesten entfernten Planeten gefunden, denn die Stärke der Sonnenstrahlen ist zu schwach, auch vergrößert vom Zustand der Oberfläche, um spürbare Wirkungen zu verursachen, aus dem Zustand der Erde wissen wir, dass auf anderen Planeten, deren Bildung kaum viel weniger später als die der Erde sein kann, die

---

5) Das ist Fourier's unzutreffender Versuch, die Tatsache zu erklären, dass die Lufttemperatur mit der Höhe abnimmt. Er versucht, diese durch den Effekt der Dichte auf die solarer Absorption erklären, während die richtige Erklärung der Aktion die vertikale Konvektion ist. Die Hebung von Luftpaketen mit der daraus resultierenden Expansion der Pakete führt zur Kühlung. Dennoch, der Rest des Absatzes macht deutlich, dass Fourier versteht, dass die Atmosphäre meist transparent Sonnenstrahlung ist. RTP

6) Fourier scheint zu implizieren, dass der Ozean einen Treibhauseffekt ähnlich dem der Atmosphäre hat. Dies ist rätselhaft, da Fourier weiß, dass der Ozean mit der Tiefe kälter wird anstatt wärmer. Es ist wahr, dass Wasser für sichtbares Licht transparenter ist als für Infrarot und daher scheinen diese Eigenschaften notwendig, um einen Treibhauseffekt zu erzeugen. Die Tiefe im Ozeans hat keinen Treibhauseffekt für das Sonnenlicht, die meist in der oberen 100 m absorbiert wird, und dass ein gut gemischten Zustand von Wasser ist isotherm, anstatt einer Temperaturabnahme mit der Höhe, wie es der Fall bei einer komprimierbaren Substanz wie Luft ist. Der Ozean bewirkt in der Tat einen Anti-Treibhauseffekt, die Temperatur des Bodens des Ozeans ist geringer als sie sein würde, wenn das Wasser entfernt ist. RTP

7) Dieser Absatz bezieht sich auf die Erwärmung der Oberfläche durch abwärtsgerichtete Infrarotstrahlung der Atmosphäre. Viele Artikel Fourier's über die Infrarotstrahlung beziehen auf Beobachtungen, die die Anwesenheit dieser Strahlung dokumentieren. RTP

Fourier geht offensichtlich noch von Kältestrahlung aus. Aber heute ist bekannt, daß es nur Wärmestrahlung gibt. Die Kälte entsteht dadurch, das die Abstrahlung von der Erdoberfläche nur von deren Temperatur abhängt, aber die wärmende Gegenstrahlung fehlt, die einen Teil der Ausstrahlung kompensiert. Durch Wolken kommt mehr Gegenstrahlung (z. B. »Langwellige Einstrahlung« in <http://wettermast-hamburg.zmaw.de/Zeitreihen8d.htm#STRAHLUNG>. - JE

innere Restwärme nicht mehr der Oberflächentemperatur signifikant erhöht.

[21] Es ist auch wahrscheinlich, dass für die meisten der Planeten die Temperatur der Pole etwas über der vom globalen Raum liegt. Welche Durchschnittstemperatur durch die Einwirkung der Sonne auf jedem Planeten herrscht, wissen wir nicht, weil sie sowohl vom Vorhandensein einer Atmosphäre als auch vom Zustand der Oberfläche abhängen kann. Sie können nur eine ungefähre Durchschnittstemperatur zuordnen, die die Erde erwerben würde, wenn sie an die gleiche Position wie die Planeten transportiert würde.

[22] Nach dieser Diskussion werden nacheinander die verschiedenen Punkte der Frage untersucht. Wir machen zunächst eine Bemerkung, die alle genannten Punkte erweitert, als eine Art der Differentialgleichungen für die Bewegung der Wärme. Die Bemerkung besteht aus der Frage: Können wir die Wirkung jeder der drei Ursachen auch separat berechnen, so als ob jede dieser Ursachen nur einzeln vorhanden wäre? Dann werden die partiellen Effekte einfach kombiniert überlagert, sie werden als Schwankungen des Körpers frei überlagert<sup>8)</sup>.

[23] Wir beschreiben in erster Linie, die wichtigsten Ergebnisse aufgrund der Langzeitwirkung des Sonnenlichts auf die Erde.

[24] Wenn wir ein Thermometer in einer beträchtliche Tiefe unter der Oberfläche der festen Erde stellen, z. B. 40 m, mißt dieses Instrument eine fixe Temperatur<sup>9)</sup>.

[25] Diese Tatsache ist an allen Punkten der Erde zu beobachten. Die Temperatur in der Tiefe ist für einen bestimmten Ort konstant, aber sie ist nicht die gleiche in verschiedenen Klimazonen. Sie verringert in der Regel, wenn man zu den Polen geht.

[26] Blickt man auf die Temperatur von Punkten, die näher an der Oberfläche sind, zum Beispiel 1 Meter oder 5 oder 10 Meter Tiefe, sehen wir sehr unterschiedliche Auswirkungen. Die Temperatur schwankt im Laufe eines Tages oder eines Jahres; aber für die Anfangsbetrachtung tun wir so, als ob diese Schwankung nicht vorhanden wäre - wir bestimmen die festen Temperaturen aller Punkte an verschiedenen Orten der Erde.

[27] Man kann sich vorstellen, dass der Zustand der Masse ständig schwankt in Übereinstimmung mit der empfangen Wärme von der Wärmequelle. Diese Variable Temperaturzustand wird nach und nach verändert, und nähert sich mehr und mehr einem Endzustand, die nicht mehr in der Zeit variiert. Also jeder Punkt der Erdkugel erwirbt und behält eine bestimmte Temperatur, die nur auf den Status dieses Punktes abhängt.

[28] Dieser Endzustand der Masse, bei der die Wärme in alle Teile eingedrungen ist, ist genau vergleichbar mit einer Vase die von oben Flüssigkeit aus einer konstanten Quelle erhält und genau die gleichen Menge durch eine oder mehrere Öffnungen verliert.

[29] So hat sich die Sonnenwärme in dem Inneren der Erde angesammelt und wird ständig erneuert. Sie dringt in Bereiche nahe des Äquators und zerstreut sich durch die polaren Regionen. Die erste Frage dieser Art, die der Berechnung unterzogen wurde, befindet sich in einer Dissertation, die ich am Institut de France Ende 1807, Artikel 115, Seite 167 gelesen habe: Diese Arbeit ist in den Archiven der Akademie der Wissenschaften hinterlegt<sup>10)</sup>. Ich behandelte dann diese Frage zunächst als ein herausragendes Beispiel für die Anwendung der neuen Theorie in der angebotenen Arbeit und zeigte, wie die Analyse des Weges ist, auf dem die solare Wärme ins Inneren der Erde gelangt.

[30] Betrachten wir jetzt Punkte näher an der Oberfläche, die nicht tief genug sind, damit ihre Temperaturen zeitunabhängig werden, gibt es eine Reihe vieler zusammengesetzter Erscheinungen, die mit unsere Analyse voll erklärt werden. In einer mittleren Tiefe, wie 3 bis

---

8) Damit bezieht sich Fourier hier auf die Linearität der Gleichungen der Wärmediffusion. Es ist ihm offenbar nicht bewusst, dass andere Teile der Gesamtheit, auf die er sich mit der Physik bezieht (insbesondere die Intensität der Infrarotstrahlung, wie sie von dem noch nicht entdeckten Stefan Boltzmann-Gesetz beschrieben wird) nichtlinear sein können. RTP

9) dh. unabhängig von der Tageszeit oder Zeit des Jahres. RTP

10) siehe Seite 3-28 des Gesamtwerkes, vol. 2. RTP



4 Meter schwankt die beobachtete Temperatur nicht im Laufe eines Tages; aber sie ändert sich sehr deutlich im Laufe eines Jahres - abwechselnd steigt und fällt sie. Das Ausmaß dieser Veränderungen, d. h. die Differenz zwischen der maximalen und minimalen Temperatur ist nicht in allen Tiefen gleich, die Differenz wird um so kleiner je größer der Abstand zur Oberfläche ist. Verschiedene Punkte der gleichen Vertikalen haben nicht gleichzeitig ihre extremen Temperaturen. Das Ausmaß der Veränderungen und die Zeit des Jahres, zu dem größte, mittlere oder kleinste Temperaturen vorliegen, variieren mit der Position des Punktes in der Vertikalen. Es gilt auch für die Wärmemenge, die abwechselnd steigt und sinkt: für all diese Werte wurden Beziehungen zwischen ihnen durch einige Experimente angegeben, was die Analyse sehr deutlich zum Ausdruck bringt. Die Ergebnisse sind konsistent mit denen von der Theorie, es gibt nichts, was die völlig natürliche Wirkung besser erklärt. Die durchschnittliche jährliche Temperatur an jedem Punkt der Vertikalen, d.h. die Mittelwerte dieser jahreszeitabhängigen Temperaturen ist unabhängig von der Tiefe. Das bedeutet die gleiche für alle Punkte der Vertikalen, und die ist auch unmittelbar unter der Oberfläche: Die ist die feste Temperatur in großen Tiefen.

[31] Es ist offensichtlich, daß wir bei den vorstehenden Ausführungen die innere Wärme der Erde ignoriert haben um stärker zufällige Ursachen für zugehörige Effekte zu finden, die dieses Ergebnis in einem bestimmten Ort ändern können. Unsere Hauptaufgabe ist es, die allgemeine Natur der Phänomene zu beleuchten.

[32] Wir haben oben gesehen, dass die verschiedenen Auswirkungen getrennt betrachtet werden können. Wir betrachten auch alle numerischen Auswertungen, die in dieser Vorlage zitiert sind, nur als Beispiele der Berechnung. Eigene Wetterbeobachtungen sind nötig, denn die Daten der Materialien, die den Globus bilden wie Wärmekapazität und die Durchlässigkeit, sind zu unsicher und zu beschränkt, als das genaue Ergebnisse berechnet werden können, aber wir zeigen diese Zahlen, um zu zeigen, wie die Formeln angewendet werden sollen. Obwohl deshalb die Auswertungen nur ungenau sein können, sie sind viel besser geeignet, einen guten Eindruck der Phänomene zu geben als allgemeine Ausdrücke mathematischer Anwendungen.

[33] In Tiefen unmittelbar unter der Oberfläche steigt und fällt das Thermometer im Laufe eines jeden Tages. Diese Tagesvariation ist vernachlässigbar nach Tiefen von 2 bis 3 Metern. Unterhalb dieser Tiefe beobachtet man nur die jährlichen Variationen, die aber in noch größeren Tiefen verschwinden.

[34] Wenn die Geschwindigkeit der Rotation der Erde um ihre eigene Achse unvergleichlich größer wäre, und gleich der Bewegung des Planeten um die Sonne, wären Tagesvariation und jährliche Schwankungen nicht länger zu beobachten und alle Punkte hätten die gleichen und festen Temperaturen wie sie die Tiefen behalten würden. Im Allgemeinen muss die Tiefe erreicht werden, wo die Variationen mit der Dauer der Periode vernachlässigbar werden gegenüber der Wirkung an die Oberfläche. Diese Tiefe ist genau proportional zur Quadratwurzel der Zeit. Aus diesem Grund dringt die Tagesvariation nur vor bis zu einer Tiefe, die neunzehn mal niedriger als die Tiefe<sup>11)</sup>, in der es noch die jährlichen Schwankungen gibt.

[35] Die Frage der periodischen Bewegung der Sonnenwärme wurde zum ersten Mal behandelt und gelöst in einem separaten Schreiben, dass ich im Oktober 1809 an das Institut de France ausgeliefert habe. Ich habe diese Lösung in einem Stück bis Ende 1811 gesendet und in dem gesammelten Werk gedruckt.

[36] Die gleiche Theorie bietet die Möglichkeit, die gesamte Menge an Wärme zu messen, die im Laufe eines Jahres die Wechsel der Jahreszeiten bestimmt. Sie wurde entwickelt um durch die Wahl dieses Beispiel zu zeigen sowohl die Anwendung der Formeln als auch dass es eine notwendige Beziehung zwischen dem Gesetz der periodische Änderungen und der

---

11)  $\sqrt{365 \text{ Tage/Jahr}} \approx 19$

Gesamtbetrag der Wärme gibt, die diese Schwingung begleitet. Dieses Gesetz verbindet die bekannten Beobachtungen, die in einem gegebenen Klima gemacht wurden und der Menge von Wärme, die die Erde absorbiert und später in die Luft zurückgibt.

[37] Durch ein Gesetz ähnlich dem, welches im Inneren des Planeten gilt, werden folgende Ergebnisse gefunden. Die Strahlen der Sonne dringen 6 Monate ein, beginnen die Erde zu erwärmen und die Wärme zu bewegen. Ein Achtel der Jahresdauer später nimmt die Oberfläche die Extremwerte an. 6 Monate nachdem der Wärmeeintrag begann, beginnt der umgekehrte Prozeß: Die Wärme verläßt die Erde und breitet sich in die Luft und den Weltraum aus - oder die Menge von Wärme, die mit den Schwingungen im Laufe eines Jahres bewegt werden, wird durch eine Berechnung ermittelt. Wenn der irdische Umschlag eine metallischen Substanz betrifft, wie Schmiedeeisen (ich wählte diese Substanz für das Beispiel, weil ihre Wärmekoeffizienten bereits gemessen sind), werden mit den Wechsel der Jahreszeiten folgende Wärmemengen pro  $m^2$  beim Klima von Paris produziert, die eine zylindrische Eissäule mit einem Querschnitt von  $1 m^2$  bis zu einer Höhe von ca.  $3.1 m$  schmilzt<sup>12)</sup>. Obwohl der Wert der thermischen Koeffizienten für Materialien, aus denen die Welt besteht, noch nicht gemessen wurde, kann man leicht sehen, dass das die Wärmemenge viel niedriger als die vorige Angabe sein wird. Die Wärmemenge ist proportional zur Quadratwurzel des Produktes aus Wärmekapazität und Wärmeleitfähigkeit.

[38] Nun betrachten wir die, nach unserer Meinung, zweite Ursache für die irdische Wärme, die der planetaren Räume. Wenn ein Thermometer irgendwo im Weltraum platziert werden könnte, so würde es eine genau definierte Temperatur anzeigen, wenn die Existenz der Sonne und aller begleitenden Himmelskörper aufhören würde.

[39] Die wichtigsten Fakten, die uns die Existenz dieser Wärme im interplanetaren Raum erkennen lassen, sollten mit der Anwesenheit der Sonne und unabhängig von der Ursprungswärme der Erdkugel bereits erkennbar sein. Nach Erwerb der Kenntnis von diesem einzigartigen Phänomen, müssen wir prüfen, wie würde die Temperaturverteilung der Landmasse sein, wenn sie nur die Wärme der Sonne empfängt. Um diese Bewertung zu erleichtern, können wir zunächst davon ausgehen, dass die Atmosphäre entfernt ist. Wenn es keinen Grund gäbe, der geeignet ist, den planetaren Räumen eine gemeinsame und ständige Temperatur zu geben, das heißt wenn die Erdkugel und alle Körper, die das Sonnensystem bilden, in eine Umgebung gestellt würden, der die ganze Wärme entzogen ist, würde man Wirkungen beobachtet, die völlig gegensätzliche zu denjenigen sind, die wir kennen. Die Polarregionen würden riesige Kälte zu leiden, und die Abnahme der Temperatur vom Äquator zu den Polen wäre unvergleichlich schneller und stärker als es die beobachtete Abnahme ist<sup>13)</sup>.

[40] Mit der Hypothese des absolut kalten Alls (wenn so etwas möglich ist) ist es vorstellbar, daß für alle Effekte von Wärme, wie wir an der Oberfläche der Erde beobachten, allein die Anwesenheit der Sonne ursächlich ist. Die geringste Abweichung der Entfernung der Erde von diesem Stern führt zu erheblichen Veränderungen in der Temperatur und die Exzentrizität der Umlaufbahn der Erde würde neue Formen der saisonalen Schwankungen ergeben.

[41] Die Wechsel zwischen Tagen und Nächten würden plötzliche wirken und zwar völlig anders als gegenwärtig. Die Oberfläche des Körpers wäre plötzlich, am Anfang der Nacht,

---

12) das entspricht einer Durchschnittswärmestrom von etwa  $60 W/m^2$  für eine Hälfte des Jahres, dem der gleiche Betrag in umgekehrter Richtung für die andere Hälfte des Jahres folgt. Das ist deutlich mehr als die meisten Schätzungen des Energie-Ungleichgewicht über Fläche, wahrscheinlich verwendet Fourier die Leitfähigkeit von Eisen in seiner Schätzung. RTP

13) Es ist seltsam, dass Fourier vernachlässigt die Wirkung der thermischen Trägheit und die Atmosphäre-Ozean-Wärme-Transporte, die leicht für die Moderation von polaren und Nachtkühlung zu berücksichtigen sind. Fourier erwähnt diese Effekte auch in diesem Paper, aber verwendet sie ohne jede quantitative Grund hier nicht. RTP

einer unendlich intensiven Kälte ausgesetzt. Die Lebewesen - sowohl Tiere als auch Pflanzen - könnten die schnelle und starke Wirkung nicht überleben, die dazu noch bei Sonnenaufgang entgegengesetzt ist.

[42] Die ursprüngliche Wärme, die im Erdinneren konserviert ist, kann nicht als Ersatz für die Außentemperatur des Alls dienen und die beschriebenen Wirkungen verhindern, weil wir mit Sicherheit - aus Theorie und Beobachtungen wissen - dass diese zentrale Wärme an der Oberfläche längst unwesentlich wurde, obwohl sie in einer mäßigen Tiefe sehr groß sein kann.

[43] Die verschiedenen Feststellungen und vor allem die mathematische Überprüfung der Frage lassen noch keinen Schluss zu auf eine physikalische Ursache der vorhanden, moderaten Temperaturen auf der Oberfläche der Erde und diesem Planeten grundlegende Wärme gibt, die unabhängig ist von den Wirkungen der Sonne und der im Erdinneren konservierten eigene Wärme. Dieses ist ein Problem, weil die Erde damit die Temperatur des Alls erhält, die sich wenig unterscheidet, die an den Polen der Erde zu messen ist. Sie ist unbedingt kleiner als die Temperatur, die zu den kälteren Regionen gehört; aber in diesem Vergleich muss man jedoch einige Wirkungen einer sehr intensiven Kälte, die durch Verdunstung, starke Winde oder eine außergewöhnliche Expansion der Luft verursacht wird, unberücksichtigt lassen.

[44] Nachdem die Existenz dieser grundlegenden Temperatur des Alls bestätigt ist, stellen wir aber eine Temperaturverteilung auf der Erdoberfläche fest, die mit den Auswirkungen dieser Wärmen auf die Erdoberfläche nicht erklärt werden kann und fügen deshalb hinzu, dass der Ursprung dieses Phänomens offensichtlich ist. Es ist die Strahlung aller Körper im Universum, deren Licht und Wärme uns erreichen. Von den Sternen sehen wir einzelne, im Fernrohr noch viel mehr und dunkle Stellen, die das Universum füllen und die Atmosphären, die diese riesigen Körper umgeben und dünn gestreutes Material in verschiedenen Teilen des Raumes, diese beeinflussen die Strahlen, die von allen Seiten die planetarischen Regionen durchdringen. Man kann nicht annehmen, dass ein solches System von leuchtenden oder erhitzten Körper existiert, ohne zuzugeben, dass jeder Punkt im Raum, der diese Körper enthält, eine bestimmte Temperatur annimmt<sup>14)</sup>.

[45] Die Vielzahl der Körper kompensiert die Ungleichheit ihrer Temperaturen und führt zu einer Bestrahlung, die im Wesentlichen gleichmäßig ist.

[46] Diese Temperatur des Alls ist in den verschiedenen Regionen des Universums nicht gleich, aber sie variiert nicht wesentlich in planetaren Längen, weil die Größe dieses Raumes unvergleichlich kleiner ist als die Entfernungen die zwischen den abstrahlenden Körpern sind. Deshalb ist an allen Punkten der Umlaufbahn der Erde die gleiche Temperatur des Himmels.

[47] Das gleiche gilt für die anderen Planeten in unserem System, sie befinden sich alle in der gemeinsamen Temperatur, die allerdings mehr oder weniger bei jeden von ihnen steigt, durch die Sonnenstrahlen - je nach der Entfernung des Planeten zu dieser Stern. Auf die Frage welche Temperatur jeder Planet zu erwarten hat, werden hier die Prinzipien einer genauen Theorie bereitgestellt. Die Intensität und Verteilung der Wärme an die Oberfläche dieser Körper ist das Ergebnis der Entfernung zur Sonne, der Neigung der Drehachse zur Umlaufbahn und dem Zustand der Oberfläche. Die Temperatur ist sehr unterschiedlich, auch in ihren durchschnittlichen Werten, die ein einzelnes Thermometer zeigen würde, das man anstelle des Planeten platzieren würde; denn im festen Stoff mit der sehr großen Abmessung und tragen zweifellos das Vorhandensein der Atmosphäre und die Art der Oberfläche dazu bei, diesen Durchschnittswert zu erhalten.

[48] Die ursprüngliche Wärme, die im Inneren der Masse gespeichert ist, hat längst aufgehört irgendeinen spürbaren Effekt an der Oberfläche zu haben, der gegenwärtige Stand der

---

14) Dieses Argument ist qualitativ gut, aber quantitativ falsch. Die eigentliche »Temperatur des Alls«, die mit der Mikrowellenhintergrundstrahlung identifiziert werden kann, ist eher 4 Grad Kelvin als 200 Grad Kelvin, die Fourier annimmt. RTP

irdischen Änderung hat uns die Gewissheit gegeben, dass die frühe Wärme der Oberfläche fast vollständig abgebaut ist. Entsprechend dem Aufbau unseres Sonnensystems sehen wir es als sehr wahrscheinlich an, daß die polaren Temperaturen jedes Planeten oder zumindest der meisten von ihnen sich kaum von der Temperatur des Alls unterscheidet, obwohl ihre Abstände zur Sonne sehr unterschiedlich sind.

[49] Bestimmen Sie eine relativ ungefähre Weise den Grad der Wärme, die die Erde erwerben würde, wenn sie bei jedem dieser Planeten ersetzt würde, aber die Temperatur des Planeten selbst kann nicht zugewiesen werden, dazu müßte man den Zustand seiner Oberfläche und seiner Atmosphäre kennen. Diese Unsicherheit ist größer für Körper, die sich am Ende des Sonnensystems befinden, wie der von Herschell entdeckte Planet. Die Wirkung der Sonnenstrahlen auf diesem Planeten ist fast unmerkbar. Seine Oberflächentemperatur ist sehr wenig anders als die der planetarische Räume. Wir haben dieses letzte Ergebnis in einer Rede vor kurzem im Beisein der Akademie veröffentlicht. Wir sehen, dass dieses Ergebnis auf Planeten angewendet werden kann die weiter entfernt sind. Wir kennen keine Möglichkeit mit einiger Präzision die durchschnittliche Temperatur für die übrigen Planetenorte zuzuweisen.

[50] Das Ausmaß der Bewegungen von Luft und Wasser dessen Menge, die Höhe und die Form des Oberfläche, die Auswirkungen der menschlichen Industrie und alle versehentliche Änderungen der Oberflächen der Erde ändern die Temperaturen in jedem Klima. Die Ursachen für Phänomene erzeugen beobachtbare Wirkungen, aber es sind die Auswirkungen auf die Temperatur zu beobachten, die sich von denen unterscheiden, die ohne den Einfluss der zusätzlichen Ursachen auftreten würden.

[51] Die Mobilität von Wasser und Luft verändern in der Regel die Auswirkungen von Wärme und Kälte, sie verursachen eine gleichmäßigere Temperaturverteilung, aber es wäre unmöglich mit der Wirkung der Atmosphäre der universellen Ursache zu verdrängen, wie die gemeinsame Temperatur vom planetaren Raum, und wenn es diese Ursache nicht gäbe, würde, ungeachtet der Wirkung von Atmosphäre und Meer, große Unterschiede zwischen äquatorialen und polaren Temperaturen geben.

[52] Es ist schwierig zu wissen, in welchem Umfang die Atmosphäre die Erdtemperatur beeinflusst, und hier die Anleitung mit einer strengen mathematischen Theorie aufhört. Eine folgt aus den Experimenten des berühmten Reisenden M. de Saussure<sup>15)</sup>, die sehr gut scheint dieses Problem zu beleuchten. Er schickte Sonnenstrahlen durch eine oder mehrere Schichten aus Klarglas, die in einiger Entfernung darüber platziert waren, auf eine Box. Das Innere der Box war mit einer dicken Schicht aus geschwärztem Kork bedeckt, der geeignet erscheint, Wärme zu absorbieren und zu halten. Die erwärmte Luft wird in allen Teilen der Vorrichtung gehalten, entweder im Inneren der Box oder in jedem Zwischenraum zwischen zwei Glasplatten. Thermometer, die in der Box und in den Räumen zwischen den Platten angeordnet sind, registrieren den entstehenden Grad der Wärme in diesen Hohlräumen. Die Anordnung wurde bei oder nahe bei Mittag der Sonne ausgesetzt, und es wurde in verschiedenen Experimenten beobachtet, dass die Temperatur<sup>16)</sup> im Behälter stieg, bis zu 70°, 80°, 100°, 110° oder sogar noch höher (80°-Teilung). Thermometer, die in den Abständen zwischen den Glasscheiben platziert

---

15) Horace Benedict de Saussure, 1740-1799, ein Wissenschaftler und Bergsteiger, der sich in erster Linie für die Faktoren interessierte, die Wetter und Klima der Berge beeinflussen. Er ist weithin angesehen als erster Berg-Meteorologe, und ist auch als Großvater des berühmten Sprachwissenschaftlers Ferdinand de Saussure bekannt.

16) In 80-teiliger Skala, die auch als Réaumur Skala bekannt ist, wird der Temperaturbereich zwischen dem Gefrierpunkt und dem Siedepunkt von Wasser in gleichem Abstand von 80 Grad geteilt. Ein Vergleich mit den Daten von de Saussure legt nahe, dass Fourier dessen Meßwerte umgesetzt hat in Celsius-Werte, sie aber fälschlicherweise weiter als 80-gradig bezeichnet. RTP

waren, erreichten eine viel geringere Temperatur, die stetig abnimmt von der Unterseite der Box bis an die Spitze der Zwischenräume.

- [53] Die Wirkung von der Sonnenwärme auf die Luft, die in einem transparenten Gehäuse enthalten ist, ist seit langem bekannt ([Gärtnertreibhaus](#)). Mit der gerade beschriebene Anordnung soll die Wärme ihren Maximalwert erreichen und damit vor allem den solaren Effekt auf einem hohen Berg mit dem vergleichen, was auf einer niedrigeren Ebene stattfand. Diese Beobachtung ist bemerkenswert aufgrund der genauen und umfangreiche Schlussfolgerungen, die der Erfinder der Anordnung gezogen hat: Er hat die Versuche mehrmals in Paris und Edinburgh wiederholt und den Einklang der Ergebnisse festgestellt.
- [54] Die Theorie dieses Instrument ist leicht zu formulieren. Es genügt, zu bemerken, dass: (1) die gewonnene Wärme behalten wird, weil sie nicht sofort durch Luftaustausch mit der Umgebung abgeführt wird, (2) die Wärme, die von der Sonne ausging hat Eigenschaften, die sich von denen der dunklen Wärme unterscheiden. Die Strahlen des Sterns werden größtenteils durch das Glas ohne Dämpfung übertragen und erreichen den Boden der Box. Sie erwärmt die Luft und die Wände in der Box: dann hört ihre so verbreitete Wärme auf Licht zu sein, sie erhält die allgemeinen Eigenschaften der dunklen Strahlungswärme. In diesem Zustand kann die Wärme nicht ungehindert die Glasschichten durchqueren, die die Box bedecken, sie sammelt sich mehr und mehr in den Hohlräumen, die von Materialien eingeschlossen sind, die die Wärme schlecht leiten, und die Temperatur steigt bis zu dem Punkt an, an dem die einfallenden Wärme genau durch die Verlustwärme ausgeglichen wird. Man könnte diese Erklärung überprüfen und die Folgen noch deutlicher machen, wenn man die Bedingungen des Experiments variiert durch Verwendung von farbigen oder dunklen Glas und indem man die Thermometer in luftleeren Hohlräumen benutzt. Wenn man diesen Effekt durch quantitative Berechnungen untersucht, findet man Ergebnisse, die ganz denen entsprechen, was die Beobachtungen ergaben<sup>17)</sup>. Es ist notwendig diese Reihen der Fakten und Ergebnisse der Berechnung sorgfältig zu prüfen, wenn man den Einfluss der Atmosphäre und des Wasser auf die Temperaturzustand der Erde wissen will.
- [55] In der Tat, wenn alle Luftschichten, aus denen die Atmosphäre gebildet wird, ihre Dichte und ihre Transparenz behielten und nur die Mobilität verlören ([d.h. keine Konvektion oder Zirkulation entstehen kann](#)), die ihnen eigen ist, so brächte diese auf diese Weise festgewordene Luftmasse, wenn sie den Sonnenstrahlen ausgesetzt würde, eine solche Wirkung [[effet](#)] hervor, wie wir sie gerade beschrieben haben. Die Wärme verlöre, indem sie im Zustand von Licht bis zur festen Erde herabkäme, mit einem Schlage und fast vollständig die Fähigkeit<sup>18)</sup>, die durchsichtigen Feststoffe zu durchqueren, die sie hatte; sie würde sich ansammeln in den unteren Luftschichten der Atmosphäre, die so erhöhte Temperaturen erlangen würden. Man würde gleichzeitig ausgehend von der Erdoberfläche eine Abnahme des Grades der erworbenen Wärme beobachten. Die Mobilität der

---

17) [Fourier bezieht sich auf die Existenz solcher Berechnungen, aber ich habe sie nicht alle gefunden in seinen veröffentlichten Werken. In seiner Diskussion der Varianten auf de Saussure Experiment beschreibt Fourier wahrscheinlich was er als Ergebnisse solcher Experimente erwartet als die Bezugnahme auf Experimente, die tatsächlich durchgeführt und gemeldet wurden. Dies ist durch seinen Gebrauch des Konjunktivs im Original unterstrichen. In jedem Fall konnte de Saussure Experimente mit einem evakuierten Feld nicht durchgeführt haben, da ihm diese Technologie nicht zur Verfügung stand. Auf der anderen Seite haben viele andere Forscher de Saussure's Ergebnisse reproduziert, so bleibt der Frage, ob Fourier tatsächliche Kenntnis einiger Ergebnisse aus Experimenten hat, die er beschreibt. RTP](#)

18) [Heutige Beschreibung: Die Wärme wird in Infrarot umgewandelt. - JE](#)

Luft, die sich schnell in alle Richtungen bewegt und die, wenn sie erhitzt wird, aufsteigt (**Konvektion**), und das Strahlen der dunklen Wärme in der Luft verringern die Intensität dieser Wirkungen, die in einer durchsichtigen und festen Atmosphäre stattfinden würden, aber sie heben diese Wirkungen keineswegs vollständig auf. Das Abnehmen der Wärme in den oberen Luftschichten hört nicht ganz und gar auf<sup>19)</sup>; auf diese Weise wird die Temperatur durch das Dazwischentreten der Atmosphäre erhöht, weil das Hindernis, das die Wärme, wenn sie im Zustand des Lichts ist, beim Durchdringen der Luft findet, geringer ist als das Hindernis (**besser: die Behinderung**), das sie, um die Luft wieder zu passieren, findet, wenn sie in dunkle Wärme verwandelt worden ist.

[56] Wir betrachten nun die Wärme der Erde, die sie in der Epoche erhielt als die Planeten gebildet wurden und die die Erde weiterhin an der Oberfläche unter dem Einfluss der niedrigen Temperatur des interplanetaren Raum verliert.

[57] Die Vorstellung von einem inneren Feuer, als ewige Ursache von mehreren großen Phänomenen, wird in allen Zeitaltern der Philosophie erneuert. Dazu habe ich Gesetze vorgeschlagen, genau nachweisen sollen, wie eine Kugel, die durch langes Eintauchen in ein Medium erhitzt wurde, diese Anfangswärme verlieren würde, wenn sie in einem Raum von einer konstanten Temperatur unterhalb der erstes Medium transportiert wurde. Dieses schwierige Problem, das durch bisher bekannte mathematische Techniken nicht behandelbar war, wurde durch eine neue Berechnungsmethode gelöst, die auch für eine Vielzahl anderer Phänomene angewandt wird.

[58] Die inneren Schichten der Erdkugel sind regelmäßig angeordnet (gesichert durch den Pendel-Experimente) haben eine mit der Tiefe zunehmende Dichte und verschiedene andere Überlegungen beweisen, dass eine sehr intensiven Wärme einmal in alle Teile der Welt eingedrungen ist. Diese Wärme zerstreut sich durch Bestrahlung in den umgebenden Raum, wo die Temperatur der Gefrierpunkt von Wasser sehr unterschreitet. Jedoch zeigt die Mathematik des Gesetzes der Abkühlung für diese ursprünglichen Wärme in einer kugelförmige Masse großen Ausmaßes wie der Erde an der Oberfläche schneller sinkt als in Gebieten mit großer Tiefe. Letztere behalten ihre Wärme für eine lange Zeit, und es besteht kein Zweifel an der Wahrheit der Folgen, da ich mal diese Zeit für metallische Substanzen berechnet habe, die eine viel höhere Wärmeleitfähigkeit haben als die Stoffe, aus denen die ganze Welt besteht.

[59] Aber es ist offensichtlich, dass dies einzige Theorie ist, die uns die Gesetze lehren kann, denen die Phänomene unterliegen. Es bleibt um zu prüfen, ob in den Erdschichten, in die wir eindringen können, es Anhaltspunkte für diese zentrale Wärme gibt. Es ist z. B. zu prüfen, ob sich bei Entfernungen unter der Oberfläche die täglich oder jährliche Schwankungen ganz aufgehört haben, sich die vertikale Temperatur der festen Erde mit der Tiefe erhöht: Alle Tatsachen, die erfahrene Beobachter gesammelt und diskutiert haben, sagen uns, dass diese Zunahme bleibt: Sie wird mit ungefähr einem Grad auf 30 auf 40 m geschätzt.

---

19) Diese Argumentation ist teilweise richtig für eine Atmosphäre, die sich nicht bewegt, aber sie erfasst nicht den wahren Grund dafür, dass Lufttemperatur mit der Höhe abnimmt. In der Tat verringert die durch den Auftrieb angetriebene Bewegung die Temperatur, durch die adiabatische Kühlung der aufsteigenden Luftpakete, die sich ausdehnen. Es ist klar, dass Fourier versteht, dass sich die Luft abkühlt, wenn sie sich ausdehnt (siehe seine Bemerkung über episodische Anfälle von extremer Kälte), aber er scheint diesen Effekt bei der allgemeinen Abnahme der Lufttemperatur mit der Höhe nicht eingeschlossen zu haben. Er erkennt auch nicht die wichtige Rolle dieser Temperaturabnahme für die Größe der Infrarotstrahlung ins All, die sich reduziert, wenn die Temperatur der »strahlenden Oberfläche« abnimmt. RTP

Dabei war dieser Effekt schon seit 1817 bekannt (Dulong, MM. and Petit: Des Recherches sur la Mesure des Temperatures et sur les Lois de la communication de la chaleur. Annales de Chimie et de Physique, p. 225 - 265 und 337 - 368. Aber auch ohne Konvektion sinkt die Temperatur mit der Höhe - dieser Sachverhalt liegt in der Stratosphäre vor. Allerdings wird dieser Sachverhalt von der starken UV-Absorption in der Ozonschicht überdeckt. - JE)

[60] Die mathematische Frage ist, die Folgen zu finden, die sich aus diesen Tatsachen der direkten Beobachtung ergeben, kann allein durch Ableitung bestimmt werden: (1) die Position der Wärmequelle, (2) die an der Oberfläche verbleibende Temperaturerhöhung.

[61] Es ist leicht als Folge einer genauen Analyse zu schließen, dass der Anstieg der Temperatur mit der Tiefe nicht durch die längere Einwirkung von Sonnenstrahlen produziert werden kann. Die Wärme von diesem Stern ausgeht ist im Inneren der Erde gesammelt, aber die Anhäufung existiert schon lange nicht mehr, würde die Sammlung noch weiterhin geschehen, würde man einen Temperaturanstieg in genau entgegengesetzter Richtung beobachtet wie derjenige, der tatsächlich beobachtet wird.

[62] Die Ursache, dass tiefere Schichten eine höhere Temperatur haben, ist daher eine konstante oder variable Wärmequelle im Innern, die irgendwo platziert ist unter Punkten der Erde, wo es möglich war die Schichten zu durchdringen. Diese Ursache erhöht die Temperatur der Erdoberfläche über dem Wert, den sie unter der Wirkung der Sonne allein haben würde. Aber diese Erhöhung der Temperatur der Oberfläche ist fast unmerklich und wir können dieses sagen, weil es gewährleistet ist: Es existiert eine mathematische Beziehung zwischen dem Wert des Temperaturanstiegs pro Meter und dem Betrag, um den die Oberflächentemperatur den Wert übersteigt, den sie haben würde, wenn es keine innere Wärmequelle gäbe. Für uns ist die Messung der Anstiegsrate der Temperatur mit der Tiefe das gleiche wie die Messung der Temperaturerhöhung an der Oberfläche.

[63] Bei einer Erdkugel aus Eisen würde bei dem derzeitigen Anstieg von einem Dreißigstel Grad pro Meter (= 33 m pro Grad) nur einen Anstieg der Oberflächentemperatur von einem Viertel Hundertstel Grad geben. Diese Erhöhung ist die direkte Folge der Leitfähigkeit der Substanz, die die Schale der Erde bildet, wenn alle anderen Bedingungen gleich bleiben. Somit ist die Erhöhung der Temperatur der Erdoberfläche als Folge der tief unten sitzenden Quelle sehr klein, wahrscheinlich unter einem Dreißigstel Hundertstel Grad. Es sollte darauf hingewiesen, dass diese letzte Konsequenz gilt für alle Annahmen, die in der Natur der Sache getan werden können, ganz gleich ob als lokale, allgemeine, konstante oder variable Annahmen<sup>20)</sup>.

[64] Wenn man sorgfältig nach den Prinzipien der dynamischen Theorie alle Beobachtungen untersucht, die die Form der Erde betreffen, kann man nicht daran zweifeln, dass die Planeten bei ihrer Entstehung eine sehr hohe Temperatur erhielten und auf der anderen Seite zeigen die Wärmebeobachtungen, dass die aktuelle Wärmeverteilung der Erdhülle die ist, die beobachtet werden würde, wenn die Kugel in einem Medium mit einer sehr hohen Temperatur gebildet worden war und sich seitdem ständig abkühlt.

[65] Die Frage der Erdtemperaturen erschien mir immer als eines der größten Objekte der kosmologischen Studien und ich habe dieses Thema hauptsächlich im Hinblick auf die Schaffung der mathematischen Theorie der Wärme bearbeitet. Ich bestimmte zuerst die zeitliche Änderung des Zustandes einer festen Kugel, die, nachdem sie für eine lange Zeit in einem erwärmten Medium gehalten wurde, in einen kalten Raum transportiert wird. Ich habe auch die zeitliche Änderung des Zustandes einer Kugel analysiert, die nacheinander und jeweils eine Zeit lang zwei oder mehr Medien unterschiedlicher Temperatur unterworfen wurde, mit anschließender Abkühlung in einem Raum konstanter Temperatur. Nach der allgemeinen Lösung dieser Frage untersuchte ich insbesondere den Fall, wenn die ursprüngliche - im beheizten Medium - erworbene Temperatur in der ganzen Masse einheitlich wäre, habe außerdem angenommen, dass die Kugel extrem groß ist und habe die progressive Abnahme der Temperatur in Schichten ausreichend nahe an der Oberfläche analysiert. Mit den Ergebnissen dieser Analyse der ganzen Erdkugel weiß man, was die nachfolgenden Auswirkungen

---

20) Die heutige Sicht ist etwas komplizierter - aber die Größenordnung bleibt. Die Abstrahlung ist nichtlinear (Stefan-Boltzmann-Gesetz) und Änderung der Konvektion.

einer Anfangsausbildung ähnlich der wäre, die wir gerade beobachten, sieht man, dass der Anstieg von einem Dreißigstel Grad pro Meter das Ergebnis der Innenwärme ist, die einst viel größer war. Man sieht weiterhin, dass dieser Temperaturgradient jetzt sich extrem langsam ändert. Die Übertemperatur der Oberfläche wird von dem nachfolgenden Gesetz beschrieben: der säkularen Rückgang bzw. die Größe, wie die Übertemperatur in einem Jahrhundert fällt ist gleich dem aktuellen Wert dividiert durch doppelt so viele Jahrhunderte, wie seit Beginn der Kühlung verstrichen sind. Das Alter der historischen Denkmäler bietet eine Untergrenze diese Zahl und man kommt zu dem Schluss, dass seit der griechischen Schule von Alexandria bis heute, die Oberflächentemperatur der Erde nicht von diesen drei hundertsten Teil eines Grades zurückgegangen ist. Hier finden wir den stabilen Charakter aller wichtigen Phänomene des Universums präsentiert. Diese Stabilität ergibt sich notwendig - unabhängig vom Ausgangszustand - als eine notwendige Folge, da die aktuelle Übertemperatur extrem klein ist und man kann nichts anderes tun, als weiterhin eine unbestimmte Zeit für die Abnahme anzunehmen.

[66] Die Wirkung der frühen Wärme, die die Erdkugel bewahrt hat, ist daher werden an der Oberfläche der Erde im wesentlichen nicht wahrnehmbar, aber sie manifestiert sich in den zugänglichen Tiefen, da die Temperatur der Schichten mit ihrer Entfernung zur Oberfläche ansteigt. Dieser Anstieg ist tiefenabhängig, in viel größeren Tiefen gemessen nimmt er ab, aber die gleiche Theorie zeigt uns, dass die Übertemperatur, die an der letzten Oberfläche fast Null ist, riesig sein kann ist im Abstand von mehreren zehn Kilometern, es folgt daraus, dass die Wärme der tiefen Zwischenschichten könnte die Temperatur von glühenden Materialien weit übertreffen.

[67] Der Lauf der Jahrhunderte bringt große Veränderungen dieser Temperaturen im Erdinneren, aber an der Oberfläche, haben diese Änderungen durch den kontinuierlichen Verlust der eigenen Wärme können heute keine Kühlung des Klimas verursachen.

[68] Es ist wichtig zu beachten, dass für Temperaturänderungen an einem bestimmten Ort andere Ursachen ungleich mehr Bedeutung haben als solche, die sich aus der Abkühlung des Erdinneren ergeben.

[69] Der Aufbau und der Fortschritt der menschlichen Gesellschaften und die Wirkung der natürlichen Kräfte können insbesondere den Zustand der Bodenoberfläche über weite Regionen ändern, wie sowie die Verteilung der Gewässer und große Bewegungen in der Luft. Solche Wirkungen haben die Fähigkeit, im Laufe mehrere Jahrhunderte den Durchschnittsgrad der Wärme zu verändern, da die analytische Ausdrücke Koeffizienten enthalten, die abhängig vom Zustand der Oberfläche und die die Temperatur stark beeinflussen<sup>21)</sup>.

[70] Obwohl der Effekt der inneren Wärme an der Oberfläche der Erde nicht mehr wahrnehmbar ist, ist die Gesamtmenge dieser Wärme messbar, die in einem bestimmten Zeitraum, z. B. ein Jahr oder ein Jahrhundert abgeführt wird, und wir haben festgestellt: die Wärmemenge, die während eines Jahrhunderts einen Quadratmeter Fläche durchquert und sich in den himmlischen Räumen ausbreitet, könnte von einer Eis-Säule mit einer Basis von einem

---

21) Obwohl Fourier im Absatz 55 auf Seite 13 auf die Bedeutung der Behinderung der dunklen Wärme (Infrarot) durch die Atmosphäre hinweist, fehlt dieser Hinweis hier, aber diese Tatsache ist heute wesentlich für die Größe des Treibhauseffektes. - JE



Quadratmeter ca. 3 Meter Höhe abschmelzen<sup>22)</sup>.

[71] Diese Schlussfolgerung ergibt sich aus der grundlegenden These, die zu allen Fragen in Bezug auf die Bewegung der Wärme gehört und gilt vor allem für die Erdtemperatur: Ich beziehe mich auf die Differentialgleichung, die den Zustand der Oberfläche für jeden Moment ausdrückt. Diese Gleichung, deren Wahrheit greifbar und leicht zu demonstrieren ist, stellt eine einfache Beziehung her zwischen der Temperatur eines Oberflächenelementes und der Bewegung der Wärme in der Richtung der Normalen dieser Oberfläche. Das macht dieses theoretische Ergebnis sehr wichtig, und ist besser geeignet als alle anderen, die Fragen, die zu klären, die Gegenstand dieses Artikels sind, diese Beziehung gilt unabhängig von der Form und die Abmessungen des Körpers und unabhängig von der Art der Substanzen - homogene oder gemischt - aus das Innere der Masse zusammengesetzt ist. Folglich sind auch die Konsequenzen, die man aus dieser Gleichung ableitet, absolut, sie gelten gleich - unabhängig von den Materialeigenschaften oder dem Anfangszustand der ganzen Welt.

[72] Wir haben im Laufe des Jahres 1820 eine Zusammenfassung eines Artikels auf der weltlichen Abkühlung der Erdkugel veröffentlicht (Bulletin des sciences, Société philomatique, 1820, S. 58ff) veröffentlicht. Sie nannte die wichtigsten Formeln, insbesondere diejenigen, die den zeitveränderlichen Zustand eines extrem großen Festkörper auszudrücken, der gleichmäßig bis zu einer bestimmten Tiefe erwärmt wird. Wenn die Anfangstemperatur, statt gleich bis zu einem sehr großen Abstand von der Oberfläche zu sein, das Ergebnis aufeinander folgender Einwirkungen in mehrerer Umgebungen ist, sind die Folgen weder weniger einfach oder nicht weniger bemerkenswert. Darüber hinaus sind diesem Fall und viele andere, wie wir gesehen haben, in den allgemeinen Ausdrücken enthalten, auf die wir hingewiesen haben.

[73] Die Lektüre dieser Passage gibt mir die Gelegenheit darauf hingewiesen, dass die angegebenen Formeln (1) und (2) nicht korrekt transkribiert wurden. Ich werde diese Lücke später ergänzen, die die übrigen anderen Formeln oder Konsequenzen, die der Extrakt enthält, nicht ändert

[74] Um die thermischen Haupteffekte infolge der Anwesenheit der Ozeane zu beschreiben, nehmen wir zuerst an, dass das Wasser der Ozeane aus den Becken, die diese enthalten, abgelassen wird, das hinterlässt immense Hohlräume in der festen Erde. Wenn dieser Zustand von der Oberfläche der Erde, ohne Atmosphäre und Wasser, für sehr viele Jahrhunderte andauert, würde die Solarwärme Temperaturänderungen produzieren die ähnlich denen sind, die wir auf den Kontinenten beobachten und sie unterliegen den gleichen Gesetzen. Die Tages- oder Jahres-Änderungen nicht mehr in bestimmten Tiefen, es würde sich in den inneren Schichten ein zeitlich unveränderlicher Zustand bilden, der ständig Wärme in Richtung von äquatorialen Regionen zu Polarregionen transportiert<sup>23)</sup>.

[75] Zur gleichen Zeit wird die Ursprungswärme der Kugel durch die äußere Oberfläche des Beckens verloren gehen, es wäre zu beobachten, wie in allen anderen Teilen der Oberfläche, eine Temperaturerhöhung beim Vordringen in größere Tiefen, einer Linie folgend, die senkrecht zur Bodenfläche ist.

[76] Es ist hier zu beachten, dass der Anstieg der Temperatur der Schmelze Ursprungs richtet sich vor allem auf die normale Tiefe notwendig. Wenn Ihre Außenfläche war horizontal, mit gleichen Temperaturen würden in einer unteren horizontalen Schicht zu finden: aber wenn der festen Erdoberfläche konkav ist, diese Schichten der gleichen Temperatur sind horizontale und verschiedene Schichten der Ebene vollständig. Sie folgen die gewundenen Formen der

---

22) Dieser Wert ist das Äquivalent zu 318 mW/m<sup>2</sup>, das ist 3 - 4 fache moderner Schätzungen des geothermischen Wärmeflusses. Von Fourier impliziert, ergibt sich diese Überschätzung aus der benutzten Leitfähigkeit des Eisens.

23) Dieser Wärmestrom ist zwar vorhanden, aber er ist genau so unbedeutend, wie der Wärmestrom aus dem Erdinneren. In der Hauptsache würde die Wärme an dem Ort emittiert werden, wo jeweils die Sonnenwärme absorbiert wird. - JE

Gegend: Es ist aus diesem Grund, dass im Inneren der Berge, die zentrale Hitze bis zu einer großen Höhe eindringen kann. Es ist eine Verbindung, die durch mathematische Analyse, gestützt auf die Form und die absolute Höhe der Massen bestimmt wird.

[76] Es ist notwendig, hier zu bemerken, daß die Temperaturerhöhung der aufgrund der ursprüngliche Wärme hängt hauptsächlich vom senkrechten Abstand zur Oberfläche ab. Wenn die Außenfläche horizontal war, würden die Flächen gleicher Temperatur auch in den unteren Schichten horizontalen sein, aber wenn die Oberfläche der festen Erde konvex ist, dann würden die Flächen gleicher Temperatur nicht alle horizontal sein, und sie würde sich von ebenen Flächen unterscheiden. Sie folgen dem gewundenen Form der Oberfläche: Aus diesem Grund, kann im Inneren der Berge die zentrale Wärme bis zu großen Höhe vordringen. Dies ist eine komplexe Wirkung, die man durch mathematische Analyse unter Berücksichtigung der Form und der absoluten Höhe der Massen bestimmen kann.

[77] Wenn die Oberfläche konkav war, würde man eine analoge Wirkung in entgegengesetzter Richtung beobachten, und dieser Fall gilt für die hypothetischen wasserfreien Ozeane, die wir betrachten. Die Flächen gleicher Temperatur wären konkav, und dieser Zustand würde gefunden werden, wenn die Erde nicht von Wasser bedeckt ist.

[78] Nehmen wir nun an, dass nach diesem Zustand, der viele Jahrhunderte dauerte, der Zustand das Wasser am Boden der Ozeane und Seen ist, wiederhergestellt wird und dass sie dem Wechsel der Jahreszeiten ausgesetzt bleiben. Wenn die Temperatur der oberen Schichten der Flüssigkeit geringer wird als die der unteren Teile und obwohl sie mit wenigen Grad nur wenig über Gefrierpunkt des Wassers liegt, ist die Dichte dieser oberen Schichten erhöht, sie werden mehr und mehr absinken ([im Original steht: steigen](#)) und kommen zum Boden der Becken, den sie dann durch den Kontakt zu kühlen: in der gleichen Zeit, wird Wasser erwärmt, leichter werden und steigen, um das obere Wasser zu ersetzen, und es in flüssigen Massen wieder stufenlos Bewegungen machen mit dem Gesamteffekt des Transport von Wärme in den höheren Bereiche.

[79] Diese Phänomene sind komplexer im Inneren der großen Ozeane, da die Inhomogenität der Temperatur Ströme in entgegengesetzter Richtung verursacht und dadurch das Wasser von weit entfernten Regionen verschiebt.

[80] Die kontinuierliche Wirkung dieser Ursachen wird eine andere Eigenschaft des Wasser modifizierten, welche das Wachstum der Dichte begrenzt und bewirkt, dass sie sich umkehrt, wenn die Temperatur nahe dem Gefrierpunkt. Der feste Boden der Ozeane unterliegt daher einer Sonderaktion, die sich für immer trägt, und welche hat ständig den Boden gekühlt seit jeher, durch den Kontakt mit eine Flüssigkeit mit einer Temperatur oberhalb von nur wenigen Grad, bei der das Eis schmilzt ([Temperaturanomalie des Wassers<sup>24\)</sup>](#)). Man findet in der Folge, daß die Temperatur des Wassers abnimmt, mit der Tiefe, ist diese tiefe Temperatur in der Größenordnung von 4° an der Unterseite der meisten Seen in unser Klima. Im Allgemeinen, wenn man die Temperatur des Ozeans an beobachtet immer größeren Tiefen, diese Grenze, die dem größten entspricht nähert sich ein Dichte, aber man muss, in Fragen dieser Art im Auge behalten, die Art der das Wasser, und vor allem die Kommunikation durch die Ströme gegründet: Diese letzte Ursache kann die Ergebnisse völlig ändern.

[81] Diese Zunahme der Temperatur, die wir in Europa mit dem Thermometer im Inneren der Erdkörper in großen Tiefen beobachten, kann nicht im Inneren der kann daher nicht im Innern der Ozeane existieren, und generell muß die Größenordnung von Temperaturschwankungen umgekehrt sein.

[82] Durch den ständigen Kontakt des Meeresbodens mit einer Flüssigkeit, die stets die gleiche Temperatur hält, hat der Meeresboden - wie bereits gesagt wurde - eine besondere Art

---

24) Die Temperatur der Anomalie ist abhängig vom Salzgehalt. Bei den Salzgehalten in den Ozeanen tritt in der Regel keine Anomalie mehr auf. - JE

der Kühlung. Damit entspricht das Gesetz der Zunahme der Wärme für Abschnitte unmittelbar unterhalb der Unterseite der Ozeane, nicht dem, das für das Festland gilt. Die Frage der Festland-Temperaturen habe ich in der analytischen Theorie der Wärme (Kapitel IX, S. 495ff) beleuchtet, indem ich den Ausdruck für den zeitvariablen Zustand eines Festkörpers bestimmt habe, der ursprünglich auf diese Weise geheizt ist, und dessen Oberfläche während einer unbestimmten Zeit auf einer unveränderlichen Temperatur gehalten wird. Die Analyse dieses Problems erlaubt uns, genau das Gesetz zu wissen, wie der Außeneinfluss die Temperatur des Festkörpers veranlasst, sich zu ändern. Im Allgemeinen sind die grundsätzlichen Gleichungen der Bewegung der Wärme und die Methode der Berechnung geschaffen, die dazu dient, die Gleichungen zu integrieren, danach habe ich mich der Lösung den Fragen zugewandt, die für die Studie der Landtemperaturen sachdienlich sind, und habe mit dieser Studie die Beziehungen zum systematischen Verhalten der Erde erkannt.

[83] Nachdem man die Prinzipien der irdischen Temperaturen einzeln geklärt hat, muss man unter einer allgemeinen Sicht alle Wirkungen zusammenbringen, die man gerade beschrieben hat und da wird man sich eine gerechte Vorstellung von der Gesamtheit der Phänomene bilden.

[84] Die Erde empfängt die Sonnenstrahlen, die ihre Masse durchdringen und sich dann in dunklen Wärme umwandeln und die Erde besitzt auch eigenen Wärme die sie von ihrem Ursprung behalten hat und die ständig an der Oberfläche zerstreut wird und schließlich empfängt dieser Planet Strahlen von Licht und Wärme von unzähligen Sternen, unter denen das Sonnensystem befindet. Dies sind die drei Hauptursachen, die die irdische Temperaturen bestimmen. Die dritte Ursache (der Einfluss der Sterne) wirkt auf alle Teile, das ist gleichbedeutend mit der Präsenz einer riesigen Region konstanter Temperatur, die nur wenig geringer ist als die, die wir in polaren Gebiete beobachten.

[85] Man kann ohne Zweifel annehmen, dass die Strahlungswärme noch unbekannte Eigenschaften hat, die in irgendeiner Weise die Temperatur, die wir dem All zuweisen grundsätzlich ändern können - aber im aktuellen Zustand der physikalischen Wissenschaft können wir ohne Rückgriff auf andere Eigenschaften als die aus Ableitung von Beobachtungen verwendeten, alle bekannten Tatsachen natürlich erläutert werden. Es genügt zu postulieren, dass die Planetenkörper in einem All sind, dessen Temperatur konstant ist. Wir haben daher die Frage untersucht, wie diese Temperatur sein muss, damit die Wärmeeffekte ähnlich denen sind, die wir beobachten, aber die jetzt prognostizierten Auswirkungen unterscheiden sich völlig von den Beobachtungen, wenn man annimmt, dass der Raum absolut kalt ist, aber wenn man schrittweise erhöht die gemeinsame Temperatur der Umgebung, die diesen Raum umschließt, die Ergebnisse kommen zu Ansatz die Beobachtungen. Man kann behaupten, dass die vorliegenden Phänomene sind solche, die erzeugt würde, wenn die Bestrahlung durch die Sterne gibt jedem Punkt der Planeten Raum eine Temperatur von etwa  $40^\circ$  unter Null ( $80^\circ$ -Teilung - Réaumur-Skala, also  $-50^\circ\text{C}$ ).

[86] Die ursprünglichen inneren Wärme, die nicht noch abgeführt wird, produziert nur eine sehr geringe Wirkung auf die Erdoberfläche, sie manifestiert sich durch eine Erhöhung der Temperatur in tieferen Schichten. In größeren Entfernungen von der Oberfläche können sie die höchsten Temperaturen, die noch gemessen werden, übertreffen.

[87] Die Wirkung der Sonnenstrahlen ist periodisch in den oberflächlichen Schichten des irdischen Wechsels, sie wird in allen tiefen immer schwächer. Dieser feste Temperatur der unteren Teile ist nicht überall gleich, sie hängt hauptsächlich vom Breitengrad des Platzes des Ortes ab.

[88] Die Solarwärme sammelt sich im Innern der Erdkugel, deren Zustand wird zeitunabhängig. Das, was in äquatorialen Regionen eindringt, wird genau ausgeglichen durch die Wärme, die aus den Polarregionen fließt. So kehrt all die Wärme die Erde, die sie von der Sonne erhält, in den Himmelsraum zurück und dazu einen Teil, der aus der eigenen Ursprungswärme stammt.

[89] Alle irdischen Auswirkungen der Sonnenwärme werden durch die Wirkung der Atmosphäre und die Anwesenheit des Wassers geändert. Die großen Bewegungen dieser Flüssigkeiten machen die Temperaturverteilung gleichmäßiger.

[90] Die Transparenz des Wassers und der Luft wirken zusammen und vergrößern der Grad der erworbenen Wärme, weil einfallenden Licht Wärme relativ leicht in das Innere der Masse dringt, aber die dunklen Wärme hat auf dem entgegengesetzten Weg Schwierigkeiten.

[91] Die Wechsel der Jahreszeiten werden durch eine riesige Menge an Solarwärme unterhalten, die in der irdischen Hülle schwingt, die unter die Oberfläche sechs Monate lang geht und in die Luft während des anderen Hälfte des Jahres zurückkehrt. Nichts kann dieses Thema besser beleuchten als alle die Experimente, die zum Ziel haben, die Wirkung der Sonnenstrahlen auf der Erdoberfläche präzise zu messen.

[92] Ich habe in diesem Artikel alle wesentlichen Elemente der Analyse der Oberflächentemperatur zusammengefasst. Er besteht aus mehreren Ergebnissen meiner Forschung, die vor langer Zeit veröffentlicht wurden. Als ich versuchte, diese Art von Fragen zu behandeln, gab es keine mathematische Theorie der Wärme und es konnten sogar Zweifel an einer solchen Theorie möglich sein. In Artikeln und Büchern sind die grundlegenden Probleme enthalten die exakten Lösungen begründet. Das wurden geliefert und öffentlich freigegeben oder gedruckt und analysiert in wissenschaftlichen Sammlungen mehrere Jahre lang.

[93] In der vorliegenden Schrift, habe ich mir noch ein weiteres Ziel gesetzt, die Aufmerksamkeit auf eines der größten Objekte der Naturphilosophie zu lenken und eine Übersicht über die allgemeinen Schlussfolgerungen dargelegt. Ich habe gehofft, dass die Gutachter in dieser Forschung nicht nur die Fragen der Berechnung sehen würde sondern auch die Bedeutung des Themas. Man kann derzeit nicht alle Unsicherheiten eines so großen Themas mit wenigen vorliegenden Hinweisen lösen, die neben den Ergebnissen einer neuartigen und schwierigen mathematischen Analyse auch überaus abwechslungsreiche physikalische Konzepte umfasst. Für die Zukunft sind viele genauere Beobachtungen zu machen, eine wird auch die Bewegung der Wärme in Flüssigkeiten und Luft studieren. Möglicherweise werden zusätzliche Eigenschaften der Strahlungswärme entdeckt, sowie weitere Verfahren, das kann die Temperaturverteilung der Erde ändern. Doch alle die grundsätzlichen Gesetze für die Bewegung der Wärme sind bereits bekannt; dieser Theorie, die auf unveränderlichen Grundlagen beruht, bildet einen neuen Zweig der mathematischen Wissenschaft: er besteht gegenwärtig in den Differentialgleichungen für die Bewegung der Wärme in Feststoffen und Flüssigkeiten, die Lösungen dieser ersten Gleichungen und Sätze in Bezug auf die Gleichgewichtseigenschaften der Strahlungswärme.

[94] Einer der Hauptpunkte der Analyse ergibt die Verteilung von Wärme in Festkörpern mit einfachen Lösungen und der Lösung von komplexen Problemen durch Überlagerung der einfachen Lösungen. Diese Eigenschaft ergibt sich aus der Art der Differentialgleichungen für die Bewegung von Wärme, und das gilt auch das Problem der langfristigen Schwingung der Körper, aber die Überlagerungs-Eigenschaft gehört insbesondere die Theorie der Wärme, da die komplexesten Effekte wirklich in einfachen Bewegungsgleichungen gelöst werden können. Dieser Satz drückt nicht ein Gesetz der Natur aus, und ich glaube nicht, dass irgendetwas dieser Art bedeutet, es drückt eine dauerhafte Eigenschaft keine Ursache aus. Finden Sie

das gleiche Ergebnis zu dynamischen Fragen, wo man Widerstandskräfte als Ursache eine schnelle Beendigung der Wirkung hält.

[95] Die Anwendungen der Theorie der Wärme erforderten umfangreiche analytische Forschung, und es war zunächst notwendig, die Methode zur Berechnung zu formulieren als konstant für die spezifischen Koeffizienten, die in die Gleichungen eingehen, wenn diese Bedingung etabliert ist und eine unendliche Zeit genommen wird sind die Temperaturunterschiede recht klein geworden sind, wie man es bei den irdischen Temperaturen beobachtet. Außerdem ist in diesem Aufsatz die wichtigste Anwendung [der Theorie der Wärme](#), nämlich die Hauptergebnisse als unabhängig von Homogenität und Natur der inneren Schichten zu demonstrieren.

[96] Die analytische Theorie der Wärme kann nach Bedarf erweitert, um unterschiedlichsten Anwendungen bestens zu behandeln. Die Liste der Prinzipien, um die die Theorie zu verallgemeinern ist folgende:

- (1) [97] Die Koeffizienten sind sehr kleine Variationen unterworfen, was aus Beobachtungen bekannt ist. Man kann dann durch das Verfahren von aufeinander folgenden Substitutionen, die Korrekturen, in die Ergebnisse der erste Berechnung einführen.
- (2) [98] Wir haben einige allgemeine Sätze gar nicht gezeigt bezüglich der Form des Körpers oder seiner Homogenität. Die allgemeine Gleichung über Bereich ist ein Satz von diesem Typ. Man findet andere sehr bemerkenswert, wenn man beispielsweise die Bewegung der Wärme in ähnlichen Körper vergleicht, was auch immer kann die Natur dieser Organe sein kann.
- (3) [99] Während die komplette Lösung dieser Differentialgleichungen, von Ausdrücke abhängt, die schwer zu entdecken sind oder von Tabellen, die noch nicht erstellt wurden, kann man dennoch Grenzen zu bestimmen, zwischen denen die Unbekannten notwendigerweise liegen muß. Man kann damit Rückschlüsse auf das Objekt in bestimmten Fragen ziehen.
- (4) [100] In der Forschung über die Temperaturverteilung der Erde erlaubt deren Größe vereinfachte Form der Gleichungen annehmen und vereinfacht die Auslegung. Obwohl die Natur der inneren Massen und deren thermischen Eigenschaften unbekannt sind, kann man allein aus Beobachtungen an zugänglichen Tiefen Schlussfolgerungen ableiten, die größte Bedeutung für die Stabilität des Klimas haben, das Vorliegenden der Übertemperatur der Oberfläche aufgrund der Ursprungswärme, und die säkulare Variation der Temperatur Wachstum mit der Tiefe. Auf diese Weise ist es uns gelungen zu zeigen, dass diese Zunahme, die in der Größenordnung von  $1^\circ$  ist pro 32 m in verschiedenen europäischen Standorten, einmal einen viel größeren Wert hatte. Zur Zeit ist die Rate seiner Abnahme so langsam, dass sie nicht wahrnehmbar ist, und es wird länger als dreißigtausend Jahre dauern bevor der Temperaturgradient die Hälfte des derzeitigen Wertes reduziert ist. Diese Schlussfolgerung ist überhaupt nicht unsicher, trotz des Mangels an Wissen über den inneren Zustand der Erde, für die inneren Massen, was ihren Zustand und Temperatur kann nur durch Kommunikation signifikanter Mengen an Wärme an der Oberfläche über immense Zeitstrecken gefunden werden. Zum Beispiel wollte ich wissen, was wäre der Effekt für einen Ort sein, bei einer extrem erhitzte Masse mit der gleichen Größe der Erde, der zig km unter der Oberfläche liegt. Hier ist das Ergebnis dieser Untersuchung.

[101] Wenn man unterhalb von zwölf altfranzösischen Meilen<sup>25)</sup> Tiefe, die untere Landmasse ins Zentrum der Erde setzte, mit einem Material dessen Temperatur gleich wäre wie

25) 1 altfranzösische Meile (Lieue) = 4452.263 m <http://de.academic.ru/dic.nsf/meyers/89728/Meile>. Daher sind 12 altfranzösische Meilen etwa 53 km.

fünf hundert Mal kochendes Wasser (= 50 000 K), so würde die Wärme, die von dieser Masse auf bewohnten Regionen übertragen wird, sehr lange Zeit nicht bemerkt werden, es könnten mehr als 200 000 Jahre vergehen, bevor eine Erhöhung des Wärmegrades der Oberfläche zu beobachten ist. Wärme dringt so langsam durch feste Massen, vor allem derjenigen, aus denen die irdische Hülle gebildet wird, so daß ein Abstand von wenigen zig km genügen würde, damit die intensivste Wärme zwanzig Jahrhunderten braucht um von einem unbemerkbaren Wert fühlbar zu werden.

[102] Eine sorgfältige Prüfung der Bedingungen, denen das Planetensystem unterliegt, führt zu dem Schluss, dass diese Körper ein Teil der Masse der Sonne waren, und wir können sagen, dass es keine beobachteten Phänomene gibt, die keine Basis diese Meinung tragen. Wir wissen nicht, wie viel das Erdinnere von dieser ursprüngliche Wärme verloren hat, man kann nur bestätigen, dass an der Oberfläche der Wärmeüberschuss aufgrund dieser Ursache im Wesentlichen nicht nachweisbar ist, der Temperaturzustand der Erde ändert sehr extrem langsam. Man kann begreifen, dass beim Ersatz der Massen in Tiefen von mehr als paar Kilometern unter der Erdoberfläche im Zentrum der Welt, entweder durch Eis, Teile der Sonne sogar Substanz, mit der Temperatur der Sterne, vergeht eine große Anzahl von Jahrhunderten, bis eine spürbare Änderung der Oberflächentemperatur zu beobachten wäre. Die Mathematik der Wärme Theorie bietet mehrere andere Konsequenzen dieser Art, wobei die Sicherheit der Konsequenzen unabhängig von jeder Vermutung vom Zustand im Erdinneren ist.

[103] Diese Theorien erhalten in der Zukunft viele Verbesserungen, und nichts wird sie mehr verbessern als eine zahlreiche Reihe von präzisen Experimenten. Aus der mathematische Analyse (und wir wiederholen hier das noch einmal)<sup>26)</sup> können wir Ergebnisse für allgemeine Phänomene und einfache Ausdrücke von den Gesetzen der Natur ableiten, aber die Anwendung dieser Gesetze auf sehr komplexe Effekte erfordert eine lange Reihe von genauen Beobachtungen.

## 4 Verzeichnisse

### Literaturverzeichnis

[Arrhenius 1896]   ARRHENIUS, S.: On the influence of carbonic acid in the air upon the temperature of the ground [Über den Einfluss der Kohlensäure in der Luft auf die Temperatur des Bodens.]. In: *Phil. Mag.* 41 (1896), S. 237–276 2

[Burgess 1837]   BURGESS, E.: Translation from the French ... [Übersetzung aus dem Französischen von [Fourier, 1824]]. In: *American Journal of Science* 32 (1837), S. 1 – 20. – URL [http://nsdl.org/archives/onramp/classic\\_articles/issue1\\_global\\_warming/n1-Fourier\\_1824corrected.pdf](http://nsdl.org/archives/onramp/classic_articles/issue1_global_warming/n1-Fourier_1824corrected.pdf). – <http://burgess1837.geologist-1011.mobi/> 2

[Casey 2010]   CASEY, Timothy: *The Most Misquoted and Most Misunderstood Science Papers in the Public Domain [Die meisten falsch zitierten und am meisten missverstandenen Wissenschaftsartikel auf öffentlichen Seiten]*. 2010. – URL <http://geologist-1011.mobi/> 2

---

26) Rede-Vorbereitung zur Theorie der Wärme.

- [Connolley 2004] CONNOLLEY, W. M.: *Traduction of [Fourier, 1827] [Übersetzung von [Fourier, 1827]]*. 2004. – URL [http://www.wmconnolley.org.uk/sci/fourier\\_1827/fourier\\_1827.html](http://www.wmconnolley.org.uk/sci/fourier_1827/fourier_1827.html). – <https://courses.seas.harvard.edu/climate/eli/Courses/EPS281r/Sources/Greenhouse-effect/more/Fourier-1827.pdf> 2, 3
- [Darboux 1890] DARBOUX, Gaston: *Oeuvres de Fourier [Gesammelte Werke von Fourier]*. Bd. 2. Gauthier-Villars et Fils. Paris : Bibliothèque nationale de France, 1890. – URL [http://portail.mathdoc.fr/cgi-bin/oetoc?id=OE\\_FOURIER\\_\\_2](http://portail.mathdoc.fr/cgi-bin/oetoc?id=OE_FOURIER__2). – <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k33707/f102.image>, S. 97 - 131; <http://catalogue.bnf.fr/ark:/12148/cb30454506h> 3
- [Dulong und Petit 1817] DULONG, MM. ; PETIT: Des Recherches sur la Mesure des Temperatures et sur les Lois de la communication de la chaleur [Untersuchungen über die Temperaturmessung und die Gesetze der Ausbreitung von Wärme]. In: *Annales de Chimie et de Physique* (1817), S. 225 – 265, 337 – 368
- [Fourier 1824] FOURIER, J.: Remarques Générales Sur Les Températures Du Globe Terrestre Et Des Espaces Planétaires [Allgemeine Hinweise auf die Temperatur der Erdkugel und des planetaren Raumes]. In: *Annales de Chimie et de Physique* 27 (1824), S. 136 – 167. – URL <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k33707/f102.image> 3, 22
- [Fourier 1827] FOURIER, J.: Mémoire sur les températures du globe terrestre et des espaces planétaires [Erinnerung an die Temperatur der Erdkugel und des planetaren Raumes]. In: *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences* 7 (1827), S. 569 – 604. – URL [http://www.academie-sciences.fr/activite/archive/dossiers/Fourier/Fourier\\_pdf/Mem1827\\_p569\\_604.pdf](http://www.academie-sciences.fr/activite/archive/dossiers/Fourier/Fourier_pdf/Mem1827_p569_604.pdf). – <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k32227.image.r=memoires+de+l%27academie+des+sciences.f808.langEN> 3, 23
- [Padelt und Laporte 1964] PADELDT, Erna ; LAPORTE, Hansgeorg: *Einheiten und Größenarten der Naturwissenschaften*. Leipzig : VEB Fachbuchverlag, 1964 2
- [Pierrehumbert 2004] PIERREHUMBERT, Raymond T.: Translation of [Fourier, 1827] [Übersetzung von [Fourier, 1827]]. In: *Nature* 432 (2004), S. online supplementary. – URL <http://geosci.uchicago.edu/~rtp1/papers/Fourier1827Trans.pdf> 2
- [Pierrehumbert 2011] PIERREHUMBERT, Raymond T.: Infrared radiation and planetary temperature [Infrarot-Strahlung und planetarische Temperatur]. In: *Physics Today* 64 (2011), Januar, S. 33 – 38. – URL <http://geosci.uchicago.edu/~rtp1/papers/PhysTodayRT2011.pdf>. – Kommentierte Übersetzung <http://www.ing-buero-ebel.de/Treib/Pierrehumbert.pdf>
- [Wood 1909] WOOD, R. W.: Note on the Theory of the Greenhouse [Anmerkungen zur Theorie des Treibhauses]. In: *Philosophical magazine* 17 (1909), S. 319 – 320 2