

Andreas Kleinert

Camille Flammarion und der Zweite Hauptsatz der Thermodynamik

Summary: In Camille Flammarion's book *La fin du monde*, published in 1894, we find the picture shown in fig. 2: Some poorly dressed people, including a mother with her child, are shivering with cold in an extremely hostile environment of ice and snow. In two wide-spread German history of science textbooks, this picture is given as an illustration of the pessimistic conclusions that some nineteenth century physicists (among them Hermann von Helmholtz) had drawn from the Second Law of Thermodynamics. They believed that in a remote future, the entropy of the universe would grow to a maximum, and all available energy would be transformed into heat. This apocalyptic vision was often called „heat death“, but as the average temperature would then be very low, the expression „cold death“ was used as well.

By analysing Flammarion's text, it is shown that he was **not** a supporter of this vision of the end of the world. According to Flammarion, mankind would die of cold as a consequence of the lack of water vapour in the atmosphere, and this would occur about twenty million years before the exhaustion of the sun as a source of energy. The use of this picture as an illustration of the heat death (or cold death) theory derived from thermodynamics is a misinterpretation that reminds of the erroneous assumptions that were expressed with regard to another picture by Flammarion (fig. 1). This illustration stemming from *L'Atmosphère: Météorologie populaire* (Paris 1888) was for many years (and sometimes is still) falsely considered as a medieval German woodcut.

Schlüsselwörter: Fehldeutungen, Kältetod, Thermodynamik; Camille Flammarion; XIX Jh.

Bruno Weber hat 1973 nachgewiesen, daß ein bekannter Holzstich des französischen Astronomen Camille Flammarion (1842–1925) rund 70 Jahre lang falsch interpretiert worden ist¹. Die aus dem 1888 erschienenen Werk *L'Atmosphère: Météorologie populaire* stammende Abbildung (Abb. 1), auf der ein Mann mit dem Kopf die Himmelskugel durchstößt, wurde seit 1903, und besonders zwischen 1950 und 1970, in der Literatur irrtümlich als mittelalterliche Darstellung des Weltgebäudes oder als altdeutscher Holzschnitt aus dem 16. Jahrhundert bezeichnet, der das Weltbild des Nicolaus Cusanus, den Durchbruch des Menschen durch das Himmelsgewölbe oder ähnliche Themen aus der Astronomie des Mittelalters oder der frühen Neuzeit darstellen sollte.

1974 hat Marielene Putscher in einem Vortrag vor der Jahresversammlung der Deutschen Gesellschaft für Geschichte der Medizin, Naturwissenschaften und Technik über den Ursprung dieses Bildes und die Geschichte seiner Identifizierung gesprochen. Eine erweiterte Fassung des Vortrags wurde kurz darauf veröffentlicht². 1979 deutete Fritz Krafft das Bild als einen Versuch Flammarions, das mittelalterliche Denken nachzuempfinden³, und spätestens seitdem der Holzstich mit korrekter Quellenangabe in einem verbreiteten Literaturführer zur Wissenschafts- und Technikgeschichte neben dem Titelblatt abgebildet ist⁴, dürfte gesichert sein, daß zumindest deutschsprachige Autoren nicht mehr in Versuchung geraten, jenen „alten deutschen Holzschnitt“ zur zeitgenössischen Illustration des mittelalterlichen oder frühneuzeitlichen Weltbildes heranzuziehen.

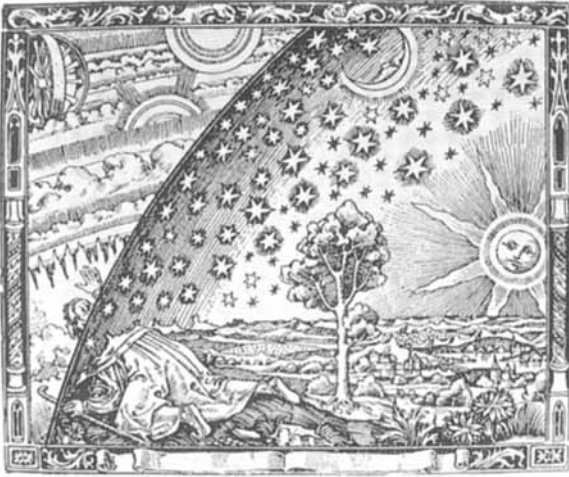


Abb.1: „Un missionnaire du moyen âge raconte qu'il avait trouvé le point où le ciel et la terre se touchent...“ (Aus Camille Flammarion: *L'atmosphère. Météorologie populaire*. Paris 1888, S. 163).

Knapp zehn Jahre nach dem Erscheinen von Webers Aufsatz tauchte ein anderes Bild aus einem Werk Flammarions in der Literatur auf, womit die Geschichte einer weiteren Fehlinterpretation begann (Abb. 2). Es handelt sich um eine Abbildung aus dem 1894 erschienenen Buch *La Fin du Monde*⁵. Man erkennt darauf frierende Menschen, die in einer Landschaft aus Eis und Schnee der Kälte schutzlos ausgeliefert sind. Eine liegende Gestalt scheint dem Tode nahe zu sein, und eine Mutter versucht verzweifelt, ihr Kind zu wärmen, indem sie es mit dem Arm an sich drückt. Darunter steht der Satz: „La misérable race humaine périra par le froid“.

Der erste, der dieses Bild in einen falschen Zusammenhang gestellt hat, war der Wiener Physiker Roman Sexl. In seinem Buch *Was die Welt zusammenhält*, einer verständlichen Darstellung der historischen Entwicklung physikalischer Probleme, erscheint es als Abb. 4.3 in dem Kapitel über die Thermodynamik. Die Herkunft des Bildes wird nicht angegeben; aus dem Bildnachweis geht lediglich hervor, daß es auch in einem 1981 erschienenen Physiklehrbuch zu finden ist, zu dessen Autoren Sexl gehört⁶. Die ursprüngliche Bildunterschrift fehlt; statt dessen steht daneben der folgende Text⁷:

Im 19. Jahrhundert jagte das Gespenst des Kältetodes der Menschheit Schrecken ein. Man befürchtete, daß die Energiequellen der Sonne und der anderen Sterne bald versiegen würden und das Weltall eine einheitliche, kühle Temperatur erreicht.

Der Zusammenhang, in dem das Bild erscheint, ist der Zweite Hauptsatz der Thermodynamik, das heißt die mathematische Formulierung der Erfahrungstatsache, daß Wärme niemals spontan von einem kälteren auf einen wärmeren Körper übergeht und auch nicht komplett in andere Energieformen überführt werden kann. Die von Rudolf Clausius und William Thomson in diesem Zusammenhang definierte Größe der Entropie bezeichnet Sexl als „Richtungsgeber des Weltgeschehens“; denn dehne man die Gültigkeit des Zweiten Hauptsatzes auf das gesamte Universum aus, so ergebe sich daraus zwangsläufig eine Prognose für das Ende der Welt⁸:

Das Uhrwerk der Welt läuft so lange ab, bis keine Wärme mehr von einem heißeren auf einen kühleren Körper übergehen kann und alle Körper die gleiche Temperatur erreicht haben. Die Entropie erreicht ihren maximalen Wert, und Totenstarre tritt im Universum ein. Das Gespenst des „Wärmetodes“ jagte den Bürgern des Viktorianischen Zeitalters Schauer über den Rücken. [...] Das Weltende war nahe und würde kommen, wenn unsere und andere Sonnen ihre Energie vollständig in Wärme umgewandelt haben. Die Wärme würde



Abb. 2: „La misérable race humaine périra par le froid“ (Aus Camille Flammarion: *La fin du monde*. Paris 1894, S. 115).

sich dann auf die gesamte Materie im All verteilen. Ein gleichmäßig wohltemperiertes und vermutlich ziemlich kühles Universum war nach dieser Vision das Grab aller Hoffnungen der Menschheit. Der Wärmetod wurde zur kosmischen Energiekrise, die das Universum zur ewigen Ruhe verurteilen würde.

Zu den Anhängern dieser Vision gehörte auch Hermann von Helmholtz, dessen düstere Prognosen für die Menschheit Sexl anschließend zitiert.

Camille Flammarion wird hier also, ohne daß sein Name genannt wird, zu den Untergangs-Propheten des ausgehenden 19. Jahrhunderts gezählt, die das Ende der Welt als Folge des Entropiesatzes prognostizierten und eindrucksvoll darstellten, wie es aussehen könnte.

Unabhängig von Sexl hat Wolfgang Schreier das Bild ein Jahr später in denselben Zusammenhang gestellt, und zwar in der von Hans Wußing herausgegebenen, reichhaltig illustrierten *Geschichte der Naturwissenschaften*⁹.

Wie bei Sexl erscheint das Bild auch in diesem Werk ohne die ursprüngliche Legende an der Stelle, wo von den thermodynamischen Theorien von Thomson (Lord Kelvin) und Clausius die Rede ist. Noch eindeutiger als von Sexl wird Flammarion von Schreier zum Illustrator des Zweiten Hauptsatzes gemacht; denn neben dem Bild steht der folgende Text¹⁰:

Vision des „Wärmetodes“ in einer populären Darstellung. Mit der Aufstellung des ersten und zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik um 1850 folgten Kelvin und Clausius, daß im Weltall eine Energiedissipation und damit ein allmählicher Temperatúrausgleich stattfinden müsse, der einen Wärmetod zur Folge habe. Dieses historisch bedingte Fehlurteil beruhte auf der Ansicht, das Weltall als abgeschlossenes thermodynamisches System zu betrachten.

Allein in der Lehrbuchsammlung der Hamburger Staats- und Universitätsbibliothek ist diese *Geschichte der Naturwissenschaften* in 5 Exemplaren vorhanden, und man darf sicher sein, daß sich das suggestive Bild von 1894 auf diesem Weg inzwischen vielen Stu-

denten als Illustration des vom Zweiten Hauptsatz der Thermodynamik vorausgesagten Wärme- bzw. Kältetodes eingepreßt hat. Mancher Leser von Wußings oder Sexls Buch wird selbst eines Tages publizistisch tätig werden, womit das Fortleben der schlotternden Gestalten Flammarions als Illustration der apokalyptischen Konsequenzen aus dem Zweiten Hauptsatz gesichert sein dürfte.

Da Schreier im Gegensatz zu Sexl die Quelle des Bildes beinahe korrekt angibt (nur die Seitenzahl ist falsch), ist es leicht, sich anhand des Originaltextes davon zu überzeugen, daß Camille Flammarion gerade *nicht* daran glaubte, daß der Weltuntergang als Folge des Zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik eintreten würde.

Das 387 Seiten starke Buch *La Fin du Monde* besteht aus zwei Teilen. Der erste Teil ist ein Zukunftsroman, der im 25. Jahrhundert spielt. Ausführlich werden die politischen und sozialen Verhältnisse jener fernen Zeit beschrieben, wie sie sich ein Futurologe des späten 19. Jahrhunderts vorstellte. Das Zentrum der Zivilisation und des Fortschritts ist mittlerweile in Nordamerika, aber in den Vereinigten Staaten von Europa steht das Institut de France noch immer an der Spitze der Wissenschaften und Künste. Die bis zum Mars reichende drahtlose Nachrichtenübertragung existiert ebenso wie ein System des individuellen Luftverkehrs, wozu jedes moderne Haus über eine Dachterrasse als Landeplatz verfügt. In diese vom wissenschaftlichen und technischen Fortschritt geprägte Welt trifft die von allen Observatorien bestätigte Nachricht, daß die Erde mit einem Kometen zusammenstoßen wird, dessen Hülle zum größten Teil aus Kohlenmonoxid besteht. Auf dem Höhepunkt der daraufhin ausbrechenden Panik tritt in Paris das Institut de France zu einer Sitzung zusammen, auf der die angesehensten französischen Gelehrten vor einem internationalen Publikum von führenden Vertretern aus allen Gebieten des öffentlichen Lebens über die möglichen Folgen dieses kosmischen Ereignisses diskutieren. Während die meisten Redner den bevorstehenden Zusammenstoß für harmlos halten, sagen andere ein plötzliches Ende der Menschheit durch Ersticken oder Verbrennen voraus. Diejenigen, die von dem Kometen nichts befürchten, verbreiten sich ausführlich darüber, wie das natürliche, in ferner Zukunft liegende Ende der Welt aussehen wird. Der Präsident der geologischen Gesellschaft sagt voraus, daß in vier Millionen Jahren durch die beständige Erosion alle Erhebungen auf der Erde verschwinden werden, bis alles Land vom Meer bedeckt ist. Dann prophezeit der Sekretär der meteorologischen Gesellschaft, daß die Erde nach einem ähnlich langen Zeitraum ausgetrocknet sein wird, so daß der Weltuntergang nicht durch zu viel, sondern durch zu wenig Wasser herbeigeführt wird. Die Möglichkeit eines Weltuntergangs durch große Hitze wird ebenso erörtert wie der Untergang durch Erfrieren, und zu jeder dieser Theorien hat Flammarion die passenden Illustrationen hinzugefügt.

Durch das in der oben zitierten Literatur wiedergegebene Bild vom Kältetod wird bei Flammarion diejenige Theorie illustriert, die auf jener Sitzung des Institut de France vom Direktor des Pariser Observatoriums in einer Zusammenfassung aller Vorträge als die wahrscheinlichste bezeichnet wird und der, wie der zweite Teil des Buches zeigen wird, auch Flammarion selbst zuneigt. Sie wird von der einzigen Frau vorgestellt, die sich unter den Wissenschaftlern befindet, einer Physikerin, die für die am Pariser Observatorium durchgeführten Rechnungen verantwortlich ist.

Jene „jeune et savante chéfesse du bureau des calculs“¹¹ ist wie ihr Vorredner, der Meteorologe, der Ansicht, im Laufe der Zeit werde das Wasser auf der Erdoberfläche immer weniger werden. Ursache für das Austrocknen der Erde ist nach dessen Theorie die fortschreitende Abkühlung des Erdinnern. Das Wasser werde in die dort vorhandenen

Hohlräume eindringen und dann nicht mehr wie bisher als Dampf wieder freigesetzt werden, sondern sich ansammeln und zum Teil chemische Verbindungen mit den Gesteinen eingehen. Dadurch komme der Wasserkreislauf an der Erdoberfläche und in der Atmosphäre schließlich zum Erliegen.

Im Gegensatz zum Meteorologen glaubt die Physikerin jedoch nicht, daß der Wassermangel die direkte Ursache für das Ende der Menschheit sein wird. Bevor es soweit sei, daß die Menschen (und alle anderen Lebewesen mit ihnen) verdursten müßten, würden sie erfrieren; denn das Wasser sei nicht nur ein unerläßlicher Bestandteil des biologischen Stoffwechsels, sondern es Sorge auch dafür, daß auf der Erde die zum Leben erforderliche Temperatur erhalten bleibe. Der in der Luft enthaltene Wasserdampf bewirke nämlich, daß die Sonnenenergie, die auf die Erde trifft, nicht wieder abgestrahlt werde.

Es ist also von dem heute so oft beschworenen Treibhauseffekt die Rede, der freilich bei Flammarion positiv bewertet wird: Durch den Wasserdampf wird die Atmosphäre zu einem schützenden Treibhaus („une serre protectrice et bienfaisante“¹²), in dem das Leben nicht von der Kälte des Universums bedroht ist. Sobald dieser Schutz fehlt, ist der Kältetod unvermeidlich, und er wird eintreten, bevor sich die physiologischen Konsequenzen des Wassermangels bemerkbar machen.

Gegen Ende ihres Vortrags, und nachdem sie eindringlich beschrieben hat, wie den letzten Menschen in einer mit der Mondoberfläche vergleichbaren Landschaft das Blut in den Adern erstarren wird, sagt die Rednerin dann den Satz, dessen letzter Teil auch unter dem Bild steht:

Sur notre planète, dans l'avenir, la misérable race humaine périra par le froid.

– Zehn Millionen Jahre würden bis dahin noch vergehen. Daß diese Untergangstheorie nichts mit dem Zweiten Hauptsatz der Wärmelehre oder mit dem Erlöschen der Sonne zu tun hat, erkennt man im übrigen nicht nur aus dem Text, sondern auch bei aufmerksamem Betrachten des Bildes. Dort ist deutlich zu sehen, daß die frierenden Gestalten Schatten werfen, und das bedeutet, daß das Entropiemaximum noch längst nicht erreicht sein kann, da die Sonne immer noch Strahlung abgibt.

Der zweite Teil von *La Fin du Monde* macht erst recht deutlich, daß man Flammarion nicht mit thermodynamisch begründeten Weltuntergangsprognosen in Verbindung bringen darf. Er hat den Titel „Dans dix millions d'années“ und enthält die über 130 Seiten umfassende Beschreibung vom Ende des Lebens auf der Erde, so wie es von der jungen Wissenschaftlerin aus dem 25. Jahrhundert vorausgesagt worden war.

Nachdem Technik und Zivilisation ihren Höhepunkt erreicht haben, kühlt sich die Erde infolge des Austrocknens der Atmosphäre immer mehr ab. Eine Zeitlang läßt sich der Untergang noch dadurch hinausschieben, daß die Sonnenwärme in riesigen Gaspalästen gespeichert wird. Schließlich bleiben nur noch zwei weit auseinanderliegende bewohnbare Bereiche in der Nähe des Äquators übrig, aus denen die beiden letzten Menschen stammen. In einer dieser Städte lebt Omégar, der sich schließlich mit einem Luftschiff in das andere bewohnte Gebiet zu Eva begibt. Der Tod dieses letzten Liebespaars bedeutet dann das Ende der Menschheit.

Da uns hier nicht die romanhaften, sondern die physikalischen Aspekte des Buches interessieren, sei zunächst festgehalten, daß Flammarion jetzt ausdrücklich betont, daß das Leben auf der Erde *nicht* deswegen zu existieren aufhört, weil die Sonne verlischt. Er nimmt an, daß die Sonne zum Zeitpunkt des von ihm prognostizierten Untergangs der Menschheit nach wie vor Licht und Wärme auf die Erde strahlt, und zwar mit einer

Intensität, die um höchstens zehn Prozent abgenommen hat¹³. Sie besitzt noch immer so viel Energie, daß sie rund zwanzig Millionen Jahre lang nahezu unverändert weiterstrahlen kann¹⁴.

Dadurch, daß Flammarion den Untergang des Lebens lange vor dem Eintreten eines Energie-Gleichgewichts innerhalb des Sonnensystems stattfinden läßt, kann er seinen Zukunftsroman mit einer optimistischen Perspektive ausklingen lassen. Zwar sterben die beiden letzten Bewohner der Erde schließlich ebenso wie der gesamte Planet, doch kurz vor ihrem Tod gelingt es ihnen noch, einen Blick auf den Planeten Jupiter zu werfen, der sich ungefähr in demselben Entwicklungsstadium befindet, das die Erde auf ihrem Höhepunkt erlebt hat¹⁵:

Des mers immenses étaient couvertes de navires, des flottilles aériens voguaient dans les airs; les rivages des mers, les embouchures des grands fleuves étaient le siège d'une activité prodigieuse; de brillantes cités apparaissaient. [...] c'était là un monde prodigieux, incomparablement supérieur à la Terre.

Die noch einmal zum Leben erwachte Mutter jener Eva, der letzten Erdbewohnerin, drückt die Hoffnung aus, die mit dieser Vision verbunden ist¹⁶:

Voilà où nous serons demain, et où nous retrouverons toute l'ancienne humanité terrestre, perfectionnée et transformée. Jupiter a reçu l'héritage de la Terre.

Besonders aufschlußreich ist in unserem Zusammenhang das letzte Kapitel, das die Überschrift trägt: „Epilogue. Après la fin du monde terrestre. Dissertation philosophique finale“. Hier tritt Flammarion noch einmal als engagierter Gegner aller vom Zweiten Hauptsatz der Wärmelehre inspirierten Weltuntergangs-Philosophien auf.

Natürlich kannte auch Flammarion die Theorie vom Wärmetod, wie Clausius, Helmholtz und andere sie verkündet hatten. Aber er lehnte sie ab, und sein ungebrochener Fortschrittsglaube zeigt sich nicht nur in der minutiösen Beschreibung der technischen und zivilisatorischen Errungenschaften des fünfundzwanzigsten Jahrhunderts und der Zeit danach, sondern auch in seiner Argumentation gegen diese pessimistische Annahme eines unausweichlichen Untergangs des Universums.

Auf Flammarion hätte sich sogar mühelos ein marxistischer Kritiker der Wärmetod-Theorie wie Robert Havemann berufen können, für den diese Lehre „keinerlei tragfähige wissenschaftliche Grundlage“ hat und auf das beschränkte Bewußtsein ihrer Anhänger zurückzuführen ist. Für Havemann ist die Wärmetod-Theorie¹⁷

ein Ausdruck dafür, daß die Vertreter rückständiger Gesellschaftsverhältnisse wohl die allgemeine Auflösung ihrer Ordnung bemerken, für die Entstehung einer neuen Ordnung aber blind sind. Weil sie nur im Alten, Untergehenden leben und unfähig sind, das Neue, Aufsteigende wahrzunehmen, müssen sie den herannahenden Untergang ihrer eigenen Ordnung fälschlich als den Untergang aller Ordnung ansehen.

Gerade diese von Havemann beschworene Perspektive einer „neuen Ordnung“ bildet den optimistischen Abschluß von Flammarions Roman.

Flammarion stellt zunächst die thermodynamischen Wärmetod-Theorie korrekt dar. Er beschreibt die innerhalb unseres Sonnensystems stattfindende Energieumwandlung und fährt dann fort¹⁸:

Plus tard, la transformation sera accomplie pour l'univers entier, et il finira par s'établir un équilibre général de température comme de pression. L'énergie ne sera plus alors susceptible de transformation. Ce sera non pas l'immobilité absolue, puisque la même somme d'énergie existera toujours sous forme de mouvements atomiques, mais l'absence de tout mouvement sensible, de toute différence et de toute tendance, c'est-à-dire la mort définitive. [...] Si nous considérons nos sciences actuelles, la mécanique, la physique et les mathématiques, comme valables, et si nous admettons la permanence des lois qui régissent aujourd'hui la nature et notre raisonnement humain, tel est le sort réservé à l'univers. [...] Il n'est pas contestable, certainement, que, quoique l'énergie soit indestructible, il y a une tendance universelle à sa dissipation, qui doit amener un état de repos universel et de mort, et le raisonnement mathématique est impeccable.

Würde der Text hier enden, müßte man seinen Verfasser für einen rhetorisch begabten Propheten des Weltuntergangs halten. Doch unmittelbar danach folgt in wenigen kurzen Sätzen der entscheidende Einwand gegen die in dieser Passage enthaltene Überlegung¹⁹:
Cependant nous ne l'admettons pas. Pourquoi? Parce que l'univers n'est pas une quantité finie.

Damit bedient sich Flammarion desselben Arguments, das auch von modernen Autoren wie Schreier gegen die thermodynamisch begründete Theorie vom Wärmetod angeführt wird: Das Universum ist keine endliche Größe, oder, wie es heute meistens heißt, es ist kein abgeschlossenes System, und deshalb ist es nicht zulässig, hier den nur für abgeschlossene Systeme geltenden Zweiten Hauptsatz der Wärmelehre anzuwenden. Er beschließt seine Ausführungen über die Unendlichkeit der Welt mit einem Beispiel, wie ein neuer Anfang aussehen könnte, nachdem die Sonne erloschen ist. Irgendwann wird sie mit einem anderen erloschenen Stern zusammenstoßen, und aus dieser gewaltigen Kollision entsteht ein heißer, gasförmiger Sternennebel, mit dem die Geschichte eines neuen Planetensystems ihren Anfang nimmt²⁰.

Flammarions Buch endet mit einer klaren Absage an jede Theorie vom Ende der Welt²¹:

Et toujours l'espace infini resta peuplé de mondes et d'étoiles, d'âmes et de soleils; et toujours l'éternité dura.
CAR IL NE PEUT Y AVOIR NI FIN, NI COMMENCEMENT.

- 1 B. Weber: Ubi Caelum terrae se conjungit. Ein altertümlicher Aufriß des Weltgebäudes von Camille Flammarion. *Gutenberg-Jahrbuch* 1973, 381–408.
- 2 M. Putschner: Rückkehr vom Ende der Welt. Die Identifizierung eines bekannten Holzstiches und einige Folgerungen zur Geschichte der Gegenwart. *Deutsches Ärzteblatt – Ärztliche Mitteilungen* 72 (1975), 290–295.
- 3 F. Krafft: Die Stellung des Menschen im Universum. Ein Kapitel aus der Geschichte der abendländischen Kosmologie. In: *Die Technikgeschichte als Vorbild moderner Technik. Schriften der Georg-Agricola-Gesellschaft* 5 (1979), 11–44. Auch in: Manfred Büttner (Hrsg.): Zur Entwicklung der Geographie vom Mittelalter bis zu Carl Ritter. (Abhandlungen und Quellen zur Geschichte der Geographie und Kosmologie, Bd. 3) Paderborn 1982, S. 147–181; hier S. 153–154.
- 4 B. Weiss: Wie finde ich Literatur zur Geschichte der Naturwissenschaften, Mathematik und Technik. Berlin 1985. Leider ist das Bild in die zweite Auflage (Berlin 1990) nicht übernommen worden.
- 5 C. Flammarion: *La Fin du Monde*. Paris 1894, S. 115.
- 6 R. Sexl/I. Raab/E. Streeruwitz: *Physik*. Wien 1981.
- 7 R. Sexl: Was die Welt zusammenhält. Physik auf der Suche nach dem Bauplan der Natur. Stuttgart 1982, S. 104.
- 8 R. Sexl (wie Anm. 6), S. 105.
- 9 H. Wußing (Hrsg.): *Geschichte der Naturwissenschaften*. Leipzig 1983; Lizenzausgabe Köln 1983.
- 10 H. Wußing (wie Anm. 9), S. 383.
- 11 C. Flammarion (wie Anm. 5), S. 131.
- 12 C. Flammarion (wie Anm. 5), S. 113. Ebenso S. 316: „La serre protectrice de la vie, formée par la couche invisible de vapeur d'eau.“
- 13 C. Flammarion (wie Anm. 5), S. 309–310.
- 14 C. Flammarion (wie Anm. 5), S. 360.
- 15 C. Flammarion (wie Anm. 5), S. 339–340.
- 16 C. Flammarion (wie Anm. 5), S. 340.
- 17 R. Havemann: *Einführung in die chemische Thermodynamik*. Berlin 1957, S. 165.
- 18 C. Flammarion (wie Anm. 5), S. 374–377.
- 19 C. Flammarion (wie Anm. 5), S. 377.
- 20 C. Flammarion (wie Anm. 5), S. 382 ff.
- 21 C. Flammarion (wie Anm. 5), S. 385.

Anschrift des Verfassers: Prof. Dr. Andreas Kleinert, Universität Hamburg, Institut für Geschichte der Naturwissenschaften, Mathematik und Technik, Bundesstr. 55, D-2000 Hamburg 13.