

Das Schalltrichter-Experiment des Benjamin Thompson Count Rumford : der gescheiterte Versuch einer Widerlegung der Theorie des strahlenden Wärmestoffs

Autor(en): **Weiss, Burghard**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Gesnerus : Swiss Journal of the history of medicine and sciences**

Band (Jahr): **43 (1986)**

Heft 1-2

PDF erstellt am: **30.06.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-520985>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Das Schalltrichter-Experiment des Benjamin Thompson Count Rumford: der gescheiterte Versuch einer Widerlegung der Theorie des strahlenden Wärmestoffs *

Von Burghard Weiss

Muß noch eigens erwähnt werden, daß diese Analogien keinerlei Forschungen anregen? Sie führen im Gegenteil zu einer Flucht vor dem Denken; sie verhindern jene homogene Neugier, aus der die Geduld erwächst, einen wohldefinierten Bereich von Tatsachen zu verfolgen.

G. Bachelard, *Die Bildung des wissenschaftlichen Geistes*, Frankfurt 1978, S. 147

I. Die Reflexion der Kälte

Die beiden Genfer Physiker Horace Benedict de Saussure (1740–1799) und Marc-Auguste Pictet (1752–1825) begannen im Jahre 1785 damit, die strahlende Wärme experimentell zu untersuchen. Ihr Interesse an diesem Gegenstand ging auf ihre geologisch-klimatologische Exploration der Alpen zurück.¹ Der zweite Band von Saussures *Voyages dans les Alpes* war gerade im Druck, als die Forschungen Pictets ein scheinbar neuartiges Phänomen zutage brachten: die Reflexion der Kälte. Ausgangspunkt der Pictetschen Untersuchungen war die Frage gewesen, ob nicht in Analogie zur strahlenden Wärme auch die «strahlende Kälte» durch Metallspiegel reflektiert und gebündelt werden könne. Pictet hielt einen negativen Ausgang des Experimentes für sicher, da «die Kälte nur Mangel an Wärme» sei. In seinem Versuchsbericht heißt es aber:

Je disposai l'appareil précisément comme pour la réflexion de la chaleur, j'employai les deux miroirs d'étain à la distance de 10 pieds $\frac{1}{2}$ l'un de l'autre; au foyer de l'un étoit un thermomètre d'air qu'on observoit avec les précautions requises, et au foyer de l'autre un matras plein de neige. A l'instant où le matras fut en expérience, le thermomètre placé à l'autre foyer descendit de plusieurs degrés, il remonta dès qu'on enleva le matras. Après avoir remis le matras au foyer, et fait ainsi descendre le thermomètre jusqu'à un certain degré, où il demeura stationnaire, je versai de l'acide nitreux sur la neige, et le froid ainsi produit fit à l'instant descendre le thermomètre de 5 à 6 degrés plus bas.

Le fait étoit hors de doute et m'étonna d'abord...²

Pictet glaubte zunächst, einen völlig neuartigen Effekt entdeckt zu haben. Als Saussure von dem Experiment Kenntnis erhielt, wies er Pictet darauf hin, daß bereits die *Accademia del Cimento* im 17. Jahrhundert die Reflexion der Kälte nachgewiesen habe.³ Die theoretische Deutung bereitete Saussure und Pictet zunächst Schwierigkeiten. Die Existenz der Kältestrahlung schien zweifelsfrei bestätigt zu sein, und ein oberflächlicher Beobachter hätte daraus den Schluß ziehen können, daß es neben dem von Lavoisier propagierten Wärmestoff (*calorique*) noch einen speziellen Kältestoff geben müsse.⁴ Pictet wurde aber bald klar, daß es sich bei der Reflexion der Kälte um eine Variante des Experimentes zur Reflexion der Wärmestrahlung handeln müsse, bei dem sich die Strahlungsrichtung umkehre: «un rayon d'émanation (...) deviendra un d'absorption.»⁵ Pictet faßte den Wärmestoff als ein kontinuierliches Fluidum auf, das die Körper in Form von Atmosphären umgibt. Haben die Körper in den Brennpunkten beider Spiegel dieselbe Temperatur, so findet keine Strahlung statt. Die Federkräfte (*ressorts tendus*) ihrer Wärmeatmosphären halten sich die Waage; es herrscht ein statisches Gleichgewicht: «le feu ne peut se mouvoir, parce qu'il se résiste partout également à lui-même.»⁶ Wird aber ein kälterer Körper in einen der Brennpunkte gebracht, so bedeutet dies eine Störung des Gleichgewichts: «la présence du corps froid ouvrira une espèce de gouffre à la chaleur de toute la chambre, il absorbera d'autant plus puissamment celle du thermomètre, qu'elle y arrivera comme par un entonnoir.»⁷ Die Ausbreitung strahlender Wärme ist somit nach Pictet nur bei Auftreten eines Spannungsgefälles, d. h. in Richtung vom wärmeren zum kälteren Körper möglich.

Die von Pictet gegebene Erklärung eliminierte zwar den Begriff der Kältestrahlung, war aber in sich nicht widerspruchsfrei. Wenn sich, wie Pictet annahm, Wärme nur in Richtung abnehmender Spannung bewegen kann, wieso sollte dann die Wärme des im Brennpunkt befindlichen Thermometers noch zum Spiegel strahlen, um dort reflektiert zu werden? Befand sich doch das Thermometer näher an der wärmeverschlingenden Phiole als der Spiegel! Wäre somit nicht ausschließlich eine direkte Strahlung vom Thermometer in Richtung der Phiole zu erwarten, die Reflexion an den Spiegeln also im Widerspruch zum Experiment gar nicht möglich?

Auf die Widersprüchlichkeit der Pictetschen Erklärung aufmerksam gemacht formulierte der Genfer Physiker Pierre Prevost (1751–1839) im Februar 1791 eine korpuskular-kinetische Deutung der Reflexion der Kälte.⁸ Wie Pictet so war auch Prevost von der stofflichen Natur der Wärme überzeugt.⁹ Im Gegensatz zu Pictet betrachtete er den Wärmestoff jedoch

als ein subtiles korpuskulares Fluidum, dessen Korpuskeln sich auch im Falle des thermischen Gleichgewichts in einer ständigen sehr schnellen Bewegung befinden. Grundlage der Prevostschen Theorie war der Begriff des dynamischen Gleichgewichts (*équilibre mobile*).¹⁰ Ein thermisches Gleichgewicht zwischen zwei Körpern besteht danach in einer Gleichheit der zwischen ihnen pro Zeiteinheit ausgetauschten Wärmemengen. Daran ändert sich nichts, wenn beide Körper in die Brennpunkte metallischer Hohlspiegel gebracht werden. Die Reflexion der Kälte ist dann nichts anderes als eine Ungleichheit der zwischen den Körpern mittels der Spiegel ausgetauschten Korpuskelnzahlen. Der wärmere Körper (das Thermometer) emittiert solange mehr Korpuskeln als es von dem kälteren Körper (der Phiole) empfängt, bis daß sich das Gleichgewicht eingestellt hat. Jeder Körper emittiert demnach strahlende Wärme gemäß seiner Temperatur, aber unabhängig von der Temperatur seiner Umgebung (Prevostsches Austauschtheorem).¹¹ Prevost lieferte damit eine in sich widerspruchsfreie Erklärung des Pictetschen Experimentes im Rahmen der Theorie des strahlenden Wärmestoffs (*calorique rayonnant*).

Im Gegensatz zu Pictet und Prevost sowie den meisten mit der Theorie der Wärme befaßten Zeitgenossen propagierte Benjamin Thompson Count Rumford (1753–1814) die Auffassung, daß es sich bei der Wärme nicht um einen Stoff, sondern vielmehr um eine Art der Bewegung handeln müsse. In Rückgriff auf Vorstellungen Hermann Boerhaaves (1668–1738) behauptete Rumford, die Wärme bestehe in einer vibratorischen Bewegung der Moleküle, deren Schnelligkeit mit der Temperatur des Körpers zunehme. Gegen die stoffliche Theorie der Wärme führte Rumford an, daß sich Wärme durch Reibung quasi unerschöpflich produzieren läßt, ohne daß dabei eine Änderung der Wärmekapazität des geriebenen Stoffes feststellbar ist.¹²

Rumford unterhielt ab 1796 einen Briefwechsel mit Pictet,¹³ der ihm Ende 1796 ein Exemplar seines *Essay on Fire* zukommen ließ.¹⁴ Die Reflexion der Kälte erregte sofort Rumfords Interesse, ‘... as its result was not only unexpected, but most extraordinary’.¹⁵ Rumford versuchte zunächst vergeblich die strahlende Kälte nachzuweisen, indem er einen ‹Eiskuchen› einem empfindlichen, spiralförmig gewundenen Thermometer gegenüberstellte.¹⁶

Erst im Oktober des Jahres 1800 bot sich Rumford anläßlich eines Besuches in Edinburgh Gelegenheit, das Pictetsche Experiment, diesmal erfolgreich, zu wiederholen. Im Labor von Thomas Charles Hope

(1766–1844), dem Nachfolger Joseph Blacks auf dem Lehrstuhl für Chemie an der Universität Edinburgh, stand Rumford das dazu notwendige Inventar zur Verfügung. Die vollkommene Bestätigung des von Pictet beschriebenen Effekts veranlaßte ihn zu der Feststellung: ‘I am now convinced that Light is not an emanation. The slow vibrations of ice in the bottle cause the thermometer to sing a lower note.’¹⁷ Offensichtlich war die erfolgreiche Wiederholung des Pictetschen Experimentes für Rumford der Anlaß, erneut darüber nachzudenken, wie die Vibrationstheorie auf Strahlungsphänomene ausgedehnt werden könne. Zu diesem Zweck griff Rumford auf die Schallanalogie zurück: die Temperatur eines Körpers bestimmt die Geschwindigkeit der Vibrationen seiner Moleküle. Er verhält sich damit wie eine Schallquelle definierter Frequenz. Zur Ausbreitung der Strahlung bedarf es aber eines Mediums, in dem sich die Wärmevibrationen analog den Schallwellen fortpflanzen können. Die Luft kam dazu nicht in Betracht, da Rumford bereits selbst experimentell gezeigt hatte, daß sich die Wärme auch im Torricellischen Vakuum ausbreitet.¹⁸ Statt dessen postulierte er die Existenz eines ubiquitären, unendlich elastischen, masselosen Äthers, wie er schon von Christiaan Huyghens (1629–1695) im Rahmen seiner Wellentheorie des Lichts beschrieben worden war.¹⁹ Mit seinen Überlegungen stand Rumford nicht allein: sein junger Mitarbeiter an der *Royal Institution*, Thomas Young (1773–1829), eröffnete zur gleichen Zeit seine Offensive zur Wiederbelebung der Wellentheorie des Lichts.²⁰

Im Juni des Jahres 1801 unternahm Pictet eine Studienreise nach England, Schottland und Irland. In London lernte er Rumford persönlich kennen.²¹ Im Oktober desselben Jahres kamen sie nacheinander nach Paris, wo sie mehrfach Gäste der *Société d’Arcueil* und des *Institut National* waren.²² Bei dem dort stattfindenden Gedankenaustausch kam auch die Reflexion der Kälte zur Sprache; so notierte Rumford am 8. November in sein Tagebuch:

I dined at Arcueil one league from Paris with M. Bertholet. (...) we met there Laplace, Monge et Guyton with their wives (...) Monge et Bertholet told us a thousand pleasant and interesting stories of Egypt and we had some friendly altercation respecting *Caloric* which however made no converts. Bertholet thought we could explain Pictet’s experiment on the reflection of *cold* in a manner perfectly satisfactory but we convinced him at last that the matter was by no means so clear as he had imagined it to be.²³

Am 25. November diskutierte Rumford das Problem im Kreise gebildeter Damen, von denen sich Mme. Necker de Saussure²⁴ als besonders sachkundig erwies:

Dined with Madame Gautier where I met Madame Lavoisier and Madame Necker (Nec de Saussure). Conversed a good deal with the latter on scientific subjects, found her uncommonly well informed. She gave me the best explanation I had even heard of the curious phenomenon of the *reflection of cold*. My explanation and hers differ only in the meaning of the words. She supposes *obscure heat* to be emitted by all bodies and I suppose invisible calorific rays to be emitted which though not hot themselves are the cause of heat in other bodies. These rays I suppose to be merely *undulations* in the *Ethereal fluid*.²⁵

Spätestens bei dieser Gelegenheit dürfte Rumford auch mit Prevosts korpuskular-kinetischer Deutung der Reflexion der Kälte konfrontiert worden sein, sofern ihn Pictet nicht schon früher auf dessen Theorie hingewiesen hat. Mme. Necker de Saussures Ansicht, daß alle Körper dunkle Wärme emittieren, verweist auf die von Prevost gegebene Interpretation der Reflexion der Kälte.

Im Winter 1802/1803 stellte Rumford in München eine Serie von Experimenten an, die neue Evidenz für die nichtmaterielle Natur der strahlenden Wärme erbringen sollten.²⁶ Die Untersuchungen sollten zunächst der Klärung der bereits im Oktober 1802 gemachten Beobachtung dienen, daß sich Metallkörper unterschiedlicher Oberflächenbeschaffenheit unterschiedlich schnell abkühlen: je polierter die Oberfläche, desto langsamer die Abkühlung.²⁷ Die Erfindung des Differentialthermometers ermöglichte es Rumford, das Strahlungsverhalten derartig modifizierter Metalloberflächen unabhängig von Variationen der Raumtemperatur und mit großer Empfindlichkeit zu untersuchen.²⁸ Dabei stellte er fest, daß sowohl der aufheizende Einfluß eines heißen Körpers als auch die kühlende Wirkung eines kalten Körpers durch Überzüge aus Lampenruß, Stoff, Tierhaut usw. gefördert werden. Zur Erklärung dieser experimentellen Befunde formulierte Rumford erstmalig explizit seine Vibrationstheorie der strahlenden Wärme. Darin wird die vermehrte *Absorption* von Wärmestrahlung durch Körper, die kälter sind als ihre Umgebung, als vermehrte *Emission* von Kältestrahlung gedeutet: ‘... we may conclude, that those circumstances which are favourable to the copious emission of calorific rays from the surfaces of hot bodies are equally favourable to a copious emission of frigorific rays from similar bodies when they are cold.’²⁹ Ob es sich um Wärme- oder Kältestrahlung handelt, wird durch das Vorzeichen der Temperaturdifferenz zwischen dem strahlenden Körper und seiner Umgebung bestimmt:

The rapid undulations occasioned in the surrounding ethereal fluid, by the swift vibrations of the hot body, will act as calorific rays on the neighbouring colder solid bodies,

and the slower undulations, occasioned by the vibrations of those colder bodies, will act as frigorific rays on the hot body; and these *reciprocal actions* will continue, but with decreasing intensity, till the hot body and those colder bodies which surround it shall, in consequence of these actions, have acquired the same temperature, or until their vibrations have become isochronous.³⁰

Demnach wirkt die Strahlung des wärmeren Körpers beschleunigend (frequenzerhöhend, «wärmeerzeugend») auf die Vibrationen der kälteren Umgebung, während deren Strahlung wiederum verzögernd (frequenzerniedrigend, «kälteerzeugend») auf die Vibrationen des wärmeren Körpers einwirkt. Das wechselseitige Beschleunigen und Verzögern geht so lange vor sich, bis daß sich die Frequenzen der Vibrationen angeglichen haben. Im Falle des thermischen Gleichgewichts sind demnach die Vibrationen des strahlenden Körpers und seiner (ebenfalls strahlenden) Umgebung miteinander in Resonanz. Die Reflexion der Kälte findet damit ihre Erklärung: die von der eisgefüllten Phiole ausgesandte Kältestrahlung wird durch die konjugierten Spiegel auf das Thermometer reflektiert, wo sie eine Verlangsamung der Vibration, also eine Abkühlung bewirkt. Für Rumford ist deshalb Pictets Experiment ‘the most indisputable proof of the *radiation* of cold bodies, and that the rays which proceed from them have a power of *generating cold* in warmer bodies which are exposed to their influence ...’.³¹ Der von Pictet und Prevost überwunden geglaubte Begriff der Kältestrahlung wird von Rumford wiederbelebt und mit demselben Realitätswert wie die Wärmestrahlung versehen:

... we may venture to conclude, that, *at equal intervals of temperature*, the rays which generate cold are just as real, and just as intense, as those which generate heat; or, that their actions are equally powerful in changing the temperatures of neighbouring bodies.³²

Diese Begriffsbildung Rumfords sollte in der Folge einen Hauptangriffspunkt für die Vertreter der Emissionstheorie darstellen, da sie die qualitative Unterscheidung zweier distinkter Strahlungsformen zu beinhalten schien.

II. Die Kontroverse zwischen Rumford und Prevost

Bezeichnenderweise findet im Fall des thermischen Gleichgewichts auch in Rumfords Theorie Strahlung statt. Damit vertrat Rumford quasi eine undulatorische Variante der Prevostschen Austauschtheorie, ohne dies jedoch ausdrücklich einzuräumen.³³ Rumfords Absicht war es, die stoffliche

Theorie der Wärmestrahlung zu widerlegen, um damit seinem erklärten Ziel, 'to drive caloric off the stage',³⁴ näherzukommen. Er mußte daher die korpuskular-kinetische Interpretation der Reflexion der Kälte angreifen, die Prevost formuliert hatte.³⁵ Der Begriff des dynamischen Gleichgewichts (*équilibre mobile*) erschien Rumford als ein konstitutiver Bestandteil der Theorie des strahlenden Wärmestoffs. Dadurch wurde ihm der Blick für den heuristischen Wert dieses Prinzips, das unabhängig von einer speziellen Annahme über die Natur der Wärme seine Gültigkeit behält,³⁶ verstellt.

Zunächst wandte sich Rumford gegen die Auffassung, daß der Wärmestoff von einem Körper gleichzeitig sowohl emittiert als auch absorbiert werden kann:

... besides the difficulty of explaining how, or by what mechanism, it can be possible for the same body to receive and retain, and reject and drive away, the same kind of substance, at one and the same time, (an operation not only incomprehensible, but apparently impossible, and to which there is nothing to be found analogous, to render it probable,) many other reasons might be brought to show, that this hypothesis, of the supposed continual interchanges of caloric between neighbouring bodies, is very improbable ...³⁷

Rumford schildert ein von ihm erdachtes und durchgeführtes Experiment, das die Theorie des strahlenden Wärmestoffs widerlegen soll. Die Kugel des Thermoskops wird genau in die Mitte zwischen zwei horizontal angeordnete, hohle Metallzylinder (A, B) gebracht, die ihre (identischen) Bodenflächen dem Thermoskop zuwenden. Werden die beiden Zylinder mit Wasser unterschiedlicher Temperatur gefüllt, so wird das Thermoskop eine Temperatur anzeigen, die dem arithmetischen Mittel aus den Temperaturen der beiden Zylinder entspricht. Rumford räumt ein, daß es dafür eine plausible Erklärung auf der Grundlage der stofflichen Austauschtheorie gibt: '... it is reasonable to suppose that the thermoscope receives just as much more caloric from B than it gives to it as it gives to A more than it receives from it.'³⁸ Werden nun die Bodenflächen beider Zylinder mit Ruß geschwärzt, und das Experiment unter ansonsten identischen Bedingungen wiederholt, so wird das Thermoskop wieder dieselbe Temperatur anzeigen. Dies aber ist nach Rumfords Meinung mit der stofflichen Austauschtheorie unvereinbar: die Schwärzung erhöhe die Emission beider Zylinderflächen. Daher müsse die Kugel des Thermoskops nicht nur von der wärmeren Fläche, sondern auch von der kälteren Fläche mehr Wärmestoff als im ersten Fall erhalten. Nach der Theorie des strahlenden Wärmestoffs sei daher ein Temperaturanstieg zu erwarten. Das von den Vertretern der stofflichen Austauschtheorie vorgebrachte Argument, die Schwärzung der kälteren Fläche führe eben

auch zu einer vermehrten *Wärmeaufnahme*, sei eine ‘supposition perfectly gratuitous.’ Rumfort schließt seine Kritik mit der Feststellung:

The results of the two last mentioned experiments appear to me very important; and I do not see how they can be reconciled with the opinions of modern chemists, respecting the nature of heat.³⁹

Die Vibrationstheorie biete dagegen, so Rumford, eine zwanglose Erklärung: die Schwärzung steigere die Emission beider Zylinderflächen, also werde die Intensität der Kältestrahlung in demselben Maße zunehmen wie die Intensität der Wärmestrahlung, so daß sich ihre Wirkungen gegenseitig aufheben und die Temperatur konstant bleibt.

Im Mai 1803 hatte Rumford seine Experimente und ihre theoretische Deutung abgeschlossen. Anstatt die daraus entstandene Abhandlung unmittelbar zu veröffentlichen, begnügte er sich damit, die wesentlichen Resultate seinen Korrespondenten in England und Frankreich mitzuteilen.⁴⁰ Im Juni 1803 begab er sich, seine Apparate und das gerade abgeschlossene Manuskript im Gepäck, nach Genf, um den dortigen Physikern, die sich ausnahmslos zur stofflichen Theorie der Wärme bekannten, seine neuen Ergebnisse vorzustellen.⁴¹ Am 1. September demonstrierte Rumford seine Experimente vor der *Société de Physique et d’Histoire Naturelle de Genève*. In der danach stattfindenden Diskussion prallten die konkurrierenden Theorien der Wärme aufeinander. Prevost wies sofort darauf hin, daß die von Rumford festgestellte geringe Emission von Metalloberflächen mit hohem Reflexionsvermögen auf der Grundlage seiner stofflichen Austauschtheorie erklärt werden könne.⁴² Durch Rumfords Auftritt herausgefordert bemühte sich Prevost in den folgenden Tagen intensiv darum, Rumfords experimentelle Befunde im Rahmen der Emissionstheorie der strahlenden Wärme zu deuten, wobei er sich zunächst auf den Zusammenhang zwischen dem Reflexions- und Emissionsvermögen konzentrierte. Dabei entwickelte er den Gedanken, die geringe Emission von gut reflektierenden Metallflächen müsse ihre Ursache in innerer Reflexion (*réflexion intérieure*) haben. Da ihm aber detaillierte Informationen über Rumfords Ergebnisse fehlten, beschloß Prevost, die weitere Auseinandersetzung mit dem Thema bis zum Erscheinen von Rumfords Abhandlung aufzuschieben.⁴³ Rumfords Untersuchungen wurden im Frühjahr 1804 in den *Philosophical Transactions* veröffentlicht.⁴⁴ Aufgrund der Lektüre erkannte Prevost: ‘Tout se réduit à ceci: à même température un corps non-réfecteur rayonne plus qu’un réfecteur.’⁴⁵ Ende April hatte er seine Deutung der Rumfordschen Experimente abgeschlossen.⁴⁶

Nach Prevost ist zum Verständnis der Reflexion strahlender Wärme an Metallflächen nicht die Analogie zum Schall, sondern vielmehr die Analogie zum Licht maßgeblich: «L'analogie peut faire appliquer au feu ou calorique rayonnant toute la théorie de la lumière refractée et réfléchie, surtout après les belles expériences du Dr. Herschell». ⁴⁷ Rumford habe festgestellt, daß die Abstrahlung (Emission) der Wärme bei einem Körper um so geringer sei, je besser seine Oberfläche die strahlende Wärme reflektiere. Ein solcher Körper brauche auch entsprechend länger, um sich der Temperatur seiner Umgebung durch Strahlung anzupassen (Absorption). Um diesen Zusammenhang zu verstehen, müsse, so Prevost, die Oberfläche in Analogie zur Grenzfläche zweier optischer Medien mit unterschiedlichen Brechungsindizes gesehen werden: die Grenzfläche reflektiere nicht nur im optisch dünneren, sondern auch im optisch dichteren Medium. Trifft ein aus dem optisch dichteren Medium kommender Lichtstrahl auf die Grenzfläche, so wird, falls keine Totalreflexion stattfindet, ein Teil reflektiert, ein Teil gebrochen (emittiert). Die geringere Emission eines Reflektors sei daher eine Folge seines Reflexionsvermögens:

... il faut considérer la réflexion auedans du réflecteur, au lieu de la considérer au-dehors.
 (...) Une surface dirimante doit être conçue comme réfléchissant en même quantité les rayons caloriques incidens, soit d'un côté, soit de l'autre.⁴⁸

Reflexionsvermögen und Emissions- (bzw. Absorptionsvermögen) einer Oberfläche stehen also in einem konstanten Verhältnis zueinander: je besser die Reflexion ist, desto geringer sind Emission und Absorption. Wird das Reflexionsvermögen einer Oberfläche (z. B. durch Berußen) herabgesetzt, so erhöhen sich Emissions- und Absorptionsvermögen in gleichem Maße. Damit löst Prevost die von Rumford gegen die stoffliche Austauschtheorie erhobene Schwierigkeit: das Thermoskop zeigt auch bei Verwendung berußter Metallzylinder dieselbe Temperatur an, da durch den Ruß nicht nur die Emission, sondern in gleichem Maße *auch die Absorption* der Metallflächen erhöht, oder wie Prevost es formuliert, ihre innere Reflexion herabgesetzt wird:

Si [les corps] sont des demi-réfecteurs, on en peut conclure que le corps chaud repousse intérieurement, et le corps froid extérieurement, chacun 1000 particules de toutes celles qui se présentent à leurs surfaces respectives, en vertu de la différence de température entre chacun d'eux et le milieu. Or dans le second cas (les corps étant non-réfecteurs) ces particules ne seront plus repoussées. Donc le corps chaud lancera 1000 particules de plus; le corps froid (absorbera 1000 particules de plus, ou) lancera 1000 particules de moins, que dans le premier cas. Par conséquent l'équilibre subsistera.⁴⁹

Prevost kam damit durch die von ihm herbeigezogene Analogie zum Licht zu der Einsicht, daß Emission und Absorption immer zusammen gesehen werden müssen. Emissions- und Absorptionsvermögen metallischer Oberflächen stehen in einem konstanten Verhältnis zueinander. Diese Erkenntnis kann als ein bedeutender Schritt auf dem Weg zum Kirchhoffschen Strahlungsgesetz betrachtet werden.⁵¹ Rumford dagegen war der Zusammenhang zwischen Emission und Absorption entgangen; die einseitige Konzentration auf das Emissionsvermögen der Oberflächen hatte ihn zur Wiederbelebung des Begriffs der Kältestrahlung gezwungen.

III. Das *experimentum crucis* und seine Deutungen

Ende Oktober 1803 war Rumford von Genf kommend in Paris eingetroffen, was ihm Gelegenheit gab, seine Experimente auch vor dem *Institut National* zur Diskussion zu stellen. Dabei kam ihm die Idee, den Theorienkonflikt mittels eines *experimentum crucis* zugunsten seiner Vibrationstheorie zu entscheiden. Ausgangspunkt war wiederum die Schallanalogie:

Si les émanations des corps (chauds et froids) sont des ondulations dans un fluide extrêmement rare et élastique, que l'on a designé sous le nom d'éther, la communication de la chaleur et du froid doit être analogue à la communication du son; et tous les moyens mécaniques que l'on a inventés pour augmenter l'intensité du son, doivent également être applicables à l'augmentation des effets produits par les émanations des corps chauds et froids...⁵²

Demnach sollten sich Wärme- und Kältestrahlung mit Hilfe eines Sprachrohres (Schalltrichters) konzentrieren lassen.⁵³ Im Gelingen eines solchen Experimentes sah Rumford einen unmittelbaren Beweis für die Existenz der Kältestrahlung und gegen die Hypothese des strahlenden Wärmestoffs: «Ce fut à [MM. Laplace, Delambre, Prony, Biot] et à M. Bertholet, que je proposai l'expérience du corps froid et le porte-voix (...) comme un moyen de terminer nos disputes (...) sur l'existence du calorique». ⁵⁴ Nachdem ein Schalltrichter aus poliertem Kupfer eigens angefertigt worden war, wurde im physikalischen Kabinett des *Institut National* folgendes Experiment durchgeführt: Im horizontalen Abstand von zwölf Zoll von einer Kugel des Differentialthermometers wird eine kleine Kupferkugel aufgestellt, die mit gestoßenem Eis gefüllt ist. Nach kurzer Zeit hat sich das Thermoskop unter der Einwirkung der Kältestrahlung auf einen stabilen Wert eingestellt. Sodann wird der Schalltrichter zwischen die Kupferkugel und das Thermo-

skop geschoben, wobei die größere Öffnung dem Kältestrahler, die kleinere der Kugel des Thermoskops zugewandt ist. Resultat: Das Thermoskop zeigt eine Verdreifachung des abkühlenden Effektes an! Dieses Ergebnis entsprach genau Rumfords Erwartungen:

Pour me servir d'une métaphore un peu forte, mais qui exprime parfaitement l'idée que j'ai conçue de l'opération mécanique dont il est question, je dirai que la boule froide *parlait* devant la grande ouverture du porte-voix, pendant que la boule du thermoscope *écoutait* derrière sa petite ouverture.⁵⁵

Die Schallanalogie schien damit ihre spektakuläre Bestätigung erfahren zu haben.

Am 19. März 1804 berichtete Rumford dem *Institut National*.⁵⁶ Wenig später erfuhr Prevost in Genf durch Pictet von Rumfords Pariser Erfolg.⁵⁷ Prevost, erneut von Rumford herausgefordert, sah sich vor der Notwendigkeit, umgehend eine korpuskular-kinetische Deutung des Rumfordschen Experimentes zu liefern, um Rumfords Anspruch, die Theorie des strahlenden Wärmestoffs widerlegt zu haben, entgegenzutreten zu können. In enger Zusammenarbeit mit Pictet erarbeitete Prevost eine Abhandlung, die im Maiheft der *Bibliothèque Britannique* erschien.⁵⁸ Rumfords Experiment wird darin wie folgt gedeutet:

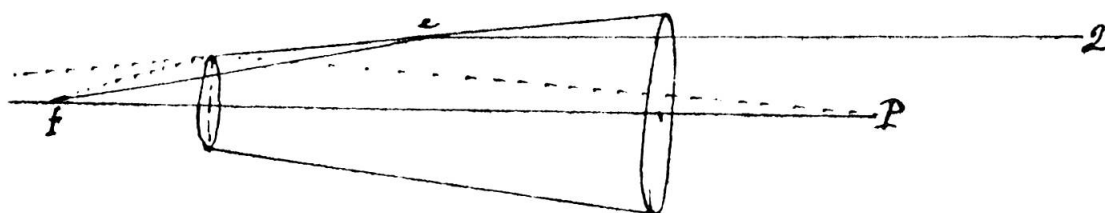
Deux points libres font entr'eux des échanges égaux. Mais il n'en est pas de même des deux points séparés par le cornet. Celui de la trompe ne reçoit qu'un rayon direct de son antagoniste placé à la pointe. Et il lui envoie en échange, outre un pareil rayon direct, une multitude de rayons, qui, étant d'abord dirigés ailleurs, vont rencontrer le cornet intérieurement, et par une ou plusieurs réflexions arrivent enfin à la pointe comme à une espèce de foyer. Ainsi le point de la trompe reçoit beaucoup moins de rayons de celui de la pointe, que celui-ci n'en reçoit de celui-là.⁵⁹

Diese austauschtheoretische Interpretation des Experiments weckte jedoch eine experimentelle Erwartung, auf die Prevost selbst hinwies: wird einem empfindlichen, mit seiner Umgebung im thermischen Gleichgewicht befindlichen Thermometer plötzlich ein Schalltrichter mit der spitzen Seite genähert, so müßte das Thermometer kurzzeitig eine Erhöhung der Temperatur anzeigen. Prevost und Pictet versuchten den Effekt experimentell nachzuweisen. Das negative Resultat ihrer Bemühungen schrieben sie der mangelnden Empfindlichkeit des verwendeten Thermometers zu. Prevost äußerte die Vermutung, das Gleichgewicht sei bereits wiederhergestellt, bevor das Thermometer reagieren könne.⁶⁰ Die Schwierigkeit wurde damit von der theoretischen auf die experimentelle Ebene verlagert.⁶¹

Die Rettung kam schließlich aus England. Prevost hatte einen Auszug seiner Abhandlung an seinen in London ansässigen Schwager Alexandre-Jean-Gaspard Marcet (1770–1822) geschickt,⁶² der das Manuskript an den Physiker William Hyde Wollaston (1766–1828) weiterleitete. Wollaston antwortete Marcet am 12. Juni 1804:

It is not probable that any observation of mine can be worth communicating to him, unless it be on the mathematical part of § 3, in which if the figure be correct he seems to have made an oversight.

If the point F: fig. 2. be as far as the vertex of the cone it can receive *no* rays by reflection.



If in my fig. f be the most distant point which receives rays by *one* reflection from P it is also evident that all other rays as fe are more oblique and come from some point as 2 more distant than P; consequently that any point more distant even than f will receive *no* rays by reflection.—

Further it may be said in general that by whatever course rays can pass whether by one or more reflections from P to F, by the same course can the same number of rays return from F to P.⁶³

Der Hinweis Wollastons auf das aus der geometrischen Optik bekannte Prinzip der Umkehrbarkeit des Lichtwegs entlarvte die vermeintlich experimentelle Schwierigkeit als theoretisches Mißverständnis und brachte Prevost zur korrekten korpuskular-kinetischen Deutung des Experiments. Am 11. Juli 1804 wurden Rumfords Schalltrichter-Experimente in Pictets Genfer Labor wiederholt.⁶⁴ Die Ergebnisse und ihre austauschtheoretische Interpretation wurden im Augustheft der *Bibliothèque Britannique* veröffentlicht.⁶⁵ Laut Prevost stellt Rumfords Schalltrichter nur den Spezialfall eines thermischen Reflektors dar. Wird ein Reflektor in einen Raum von gleichförmiger Temperatur gebracht, so wird er an keinem Punkt dieses Raumes eine Veränderung der Temperatur hervorrufen. Bringt man jedoch einen Reflektor von geeigneter Geometrie so zwischen einen (relativ zum Raum) kalten Körper und ein Thermoskop, daß er vom kalten Körper

ausgehende Strahlen auf das Thermoskop lenkt, so wird dieses einen Temperaturabfall anzeigen, denn:

... il est clair (...) que ce rayon réfléchi, arrivant au thermoscope, remplace un autre rayon qui y arrivoit d'ailleurs selon la même direction. Mais le nouveau filet de rayons est moins abondant en calorique que n'étoit celui dont il prend la place, puisqu'il émane de la glace, tandis que l'autre émanoit d'un point plus chaud.⁶⁶

Die Wirkung eines thermischen Reflektors basiert also darauf, daß er strahlende Wärme gleichzeitig lenkt und abschirmt: unter geeigneten Umständen werden Wärmestrahlen größerer Intensität durch solche geringerer Intensität (bzw. umgekehrt, Wärmestrahlen geringerer Intensität durch solche größerer Intensität) *ersetzt*. Dieser Effekt wird um so deutlicher, je stärker die fokussierenden Qualitäten der Reflektorgeometrie sind, d. h. je größer die (auf den Fokus bezogene) Zahl der «ersetzten» Strahlen ist. Dieses geometrische *Ersatz-Prinzip* erlaubt eine in sich widerspruchsfreie Erklärung des Schalltrichter-Experimentes und gibt ferner die geometrische Bedingung für das Gelingen des Experimentes an: das (punktförmig gedachte) Thermoskop ist auf der Achse des Schalltrichters (Kegelstumpfes) so anzuordnen, daß es sich von der kleineren Öffnung nicht weiter entfernt befindet als die (gedachte) Kegelspitze, da es anderenfalls keine reflektierenden Strahlen erhält.

Die durch die Auseinandersetzung mit Rumford gewonnenen Einsichten stellte Prevost zunächst theseartig zusammen.⁶⁷ In einer ausführlichen, am 25. Oktober 1804 vor der Berliner Akademie der Wissenschaften gelesenen Abhandlung machte Prevost klar, daß alle von Rumford ersonnenen und durchgeführten Strahlungsexperimente im Rahmen der Theorie des strahlenden Wärmestoffs verstanden werden können. Die Grundlage einer umfassenden Theorie der strahlenden Wärme dürfe nicht in der Analogie zum Schall, sondern müsse vielmehr in der Analogie zum Licht gesehen werden.⁶⁸

IV. Die begrenzte Tragweite der Schallanalogie

Die strahlende Wärme bildete um die Wende vom 18. zum 19. Jahrhundert einen vergleichsweise neuen Forschungsgegenstand.⁶⁹ Wie die Kontroverse zwischen Rumford und Prevost zeigt, war ihre Natur umstritten. Das über die strahlende Wärme gesammelte empirische Material verwies aber zuneh-

mend auf ihre zum Licht analogen Eigenschaften. Hatte schon Scheele 1777 auf die Geradlinigkeit ihrer Ausbreitung hingewiesen, so war ihre Reflexion durch Pictet zweifelsfrei bestätigt worden. Pictet war es auch, der die Geschwindigkeit ihrer Ausbreitung zu messen und ihre Refraktion nachzuweisen versucht hatte.⁷⁰ Durch die Experimente Herschels schien auch die Refraktion gefunden zu sein;⁷¹ die Entdeckung weiterer dem Licht analoger Eigenschaften wie Beugung und Polarisierung wurde erwartet. Daß dennoch die qualitative Identität von Licht und strahlender Wärme nur von wenigen Außenseitern behauptet wurde,⁷² hatte seinen Grund in den Transmissions-eigenschaften des gewöhnlichen Glases: Glas transmittiert bei Verwendung terrestrischer Strahlungsquellen nur das Licht, nicht aber die strahlende Wärme.⁷³ Die strahlende Wärme wurde daher als eine dem Licht analoge, von diesem jedoch (durch Glas) abtrennbare Erscheinung aufgefaßt. Da die Natur des Lichts in der Tradition Newtons paradigmatisch fixiert war, lag es nahe, in der strahlenden Wärme ein subtiles korpuskulares Fluidum ähnlich dem Licht zu vermuten. Die stoffliche Theorie der Wärme kam dieser Vermutung entgegen: es konnte sich bei der strahlenden Wärme nur um den freien Wärmestoff (*calorique*) handeln.

Diese Identifikation ermöglichte es allerdings den Vertretern der Wellentheorie, ihre gegen die Emissionstheorie des Lichts vorgebrachten Argumente auch gegen die Emissionstheorie der strahlenden Wärme, d. h. gegen die Theorie des strahlenden Wärmestoffs zu verwenden. Zu diesen Argumenten gehörte die Analogie zwischen dem Licht und dem Schall. Die Schallanalogie war traditionell zur Begründung einer Wellentheorie des Lichts herangezogen worden.⁷⁴ An diese Tradition knüpfte Thomas Young an. Rumford dehnte die analogische Argumentation auf die strahlende Wärme aus.⁷⁵ Licht und strahlende Wärme sollten sich nurmehr durch die Frequenz der Undulationen im Äther unterscheiden. Da in der Physik um 1800 der Schall als ein vibratorisches Phänomen mit wohldefinierten Eigenschaften allgemein anerkannt war,⁷⁶ hoffte Rumford, die Phänomene der strahlenden Wärme durch einen detaillierten Vergleich mit dem Schall theoretisch deuten, ihre Variation unter veränderten Versuchsbedingungen voraussagen, und sie damit schließlich in den Gegenstandsbereich seiner kinetischen Theorie der Wärme integrieren zu können.

Die von Rumford aus der Schallanalogie abgeleitete Prognose, daß sich die Wärmestrahlung mit Hilfe eines metallenen Schalltrichters bündeln lassen müsse, war durch das Experiment bestätigt worden. Diese Tatsache erlaubte jedoch keine Entscheidung zwischen den konkurrierenden Theo-

rien, da Prevosts korpuskular-kinetisches Modell eine äquivalente Deutung des Experimentes liefern konnte. Tatsächlich bündelt ein metallenes Sprachrohr Licht, Wärmestrahlung und Schall in ganz analoger Weise.⁷⁷ Daher konnten sich die an der korpuskularen Optik orientierte Theorie des strahlenden Wärmestoffs und die an der vibratorischen Akustik orientierte Undulationstheorie der Wärmestrahlung in bezug auf die Deutung des Rumfordschen Experimentes als gleich potent herausstellen. Rumford hatte seinen Anspruch, ein *experimentum crucis* erdacht zu haben, nicht einlösen können.

War Rumfords Theorie in bezug auf die Deutung des Schalltrichterexperimentes der Theorie des strahlenden Wärmestoffs immerhin ebenbürtig, so zeigte sich ihre Unterlegenheit in der Interpretation des Emissions- und Absorptionsverhaltens strahlender Körper. Die Schwäche der Rumfordschen Argumentation lag in der einseitigen Betonung der Emission. Über die Absorption der Ätherschwingungen machte er keine Angaben; insbesondere blieb unklar, wie die zum Erreichen des thermischen Gleichgewichts (Resonanz) erforderlichen Frequenzänderungen zustande kommen sollten. Der von Rumford beschriebene Prozeß der wechselseitigen Frequenzänderung (Erhöhung der Frequenz des kälteren Körpers auf Kosten der Absenkung der Frequenz des wärmeren Körpers)⁷⁸ findet zudem in der Lehre vom Schall keine Entsprechung. Dies blieb auch den Zeitgenossen nicht verborgen. So spottete etwa René-Juste Haüy (1743–1822) im Hinblick auf Rumfords Vorstellungen:

Que deviendroit le charme de la musique si deux corps qui rendent deux sons differens dans un même lieu se troubloient mutuellement dans leurs vibrations, et finissoient par se mettre à l'unisson?⁷⁹

Demgegenüber schien Prevosts Theorie, nach der die Zahl der von einem Körper pro Zeiteinheit emittierten Wärmekorpuskeln proportional der Temperatur und der Oberflächenbeschaffenheit des Körpers ist, eine Quantifizierung der Strahlungsbilanz zu erlauben.

Rumfords Versuch, die Theorie des strahlenden Wärmestoffs zu widerlegen, war gescheitert. Seine Methode, ausschließlich die Schallanalogie zur Interpretation und Planung von Experimenten auszubeuten, hatte sich als nur begrenzt tragfähig erwiesen. Anstatt eine Schwächung der Theorie des strahlenden Wärmestoffs zu erreichen, hatte Rumfords Vorstoß das Gegenteil bewirkt; Prevost war zur Überarbeitung seiner Theorie gezwungen worden, was eine Verbesserung ihrer heuristischen Qualität zur Folge hatte.

Sie fand danach zunehmende Beachtung.⁸⁰ Im Gegensatz dazu manövrierte sich Rumford durch sein kompromißloses Festhalten an einmal bezogenen Positionen innerhalb der Pariser *scientific community* immer mehr ins Abseits: seine Vibrationstheorie fand kaum noch Anhänger.⁸¹

Das Erklärungspotential der stofflichen Theorie der Wärme, in deren Kontext Prevosts korpuskular-kinetische Theorie der Strahlung einzuordnen ist, war noch lange nicht ausgeschöpft.⁸² Rumfords Vorstoß kam, ebenso wie derjenige von Thomas Young, zu früh. Die Theorie des strahlenden Wärmestoffs sollte erst zu Fall kommen, nachdem sich in den dreißiger Jahren des 19. Jahrhunderts die Wellentheorie des Lichtes auf der Grundlage der Arbeiten Augustin Fresnels (1788–1827) durchzusetzen begann und gleichzeitig die empirische Evidenz für die qualitative Identität von Licht und strahlender Wärme durch die Arbeiten Macedonio Mellonis (1798–1854) immer erdrückender wurde.⁸³ Erst dann konnte die *strahlende Wärme* zweifelsfrei als *unsichtbares Licht* identifiziert und in den Gegenstandsreich der Fresnelschen Optik integriert werden. Diese basiert aber auf der zentralen Annahme der Transversalität der Ätherschwingungen, womit die begrenzte Tragweite der von Rumford und Young zur Grundlage ihrer Theorie erhobenen Schallanalogie endgültig manifest werden sollte.⁸⁴

Diese Arbeit ist Bestandteil einer umfangreicheren Untersuchung zum Thema *Pierre Prevost, Marc-Auguste Pictet und die Entwicklung der Strahlungstheorie (1780–1840)*, die aus Mitteln des Deutschen Akademischen Auslandsdienstes (DAAD) und des Deutschen Historischen Instituts Paris (DHIP) gefördert wurde. Ich danke Dr. Margarida Archinard (Musée d'Histoire des Sciences de Genève), Prof. Dr. Andreas Kleinert (Universität Hamburg), Herrn Philippe Monnier (Bibliothèque Publique et Universitaire de Genève) und Prof. Pierre Speziali (Université de Genève) für Anregung und freundliche Unterstützung.

Anmerkungen

- 1 H. B. de Saussure, *Voyages dans les Alpes*, 4 Bde., Neuchâtel 1779–1796 (Repr. Genève 1978). Für die Untersuchungen zur strahlenden Wärme s. II (1786), 347–372.
- 2 M. A. Pictet, *Essais de physique*, Bd. I (= alles Erschienene), Genève 1790, S. 81 f. Deutsch u. d. T. *Versuch über das Feuer*, Tübingen 1790, S. 77 f. Englisch u. d. T. *An Essay on Fire*, transl. by W. Belcombe, London 1791.
- 3 Saussure an Pictet, Briefentwurf, 11. März 1786, Bibliothèque Publique et Universitaire de Genève (BPUG), Ms. Saussure 67/2, S. 22. Zur Vorgeschichte des Experiments vgl. W. E. K. Middleton, *The Experimenters. A Study of the Accademia del Cimento*, Baltimore 1971, S. 205 f.

- 4 Die Lehre von einem Kältestoff bzw. einem Prinzip der Kälte geht auf die aristotelische Lehre von der *antiperistasis* zurück; s. dazu F. Solmsen, *Aristotle's System of the Physical World*, Ithaca (New York) 1960, S. 412f. Obwohl im 17. Jahrhundert vielfach kritisiert (vgl. u. a. Robert Boyle, *New Experiments and Observations Touching Cold or An Experimental History of Cold*, London 1665 [*The Works*, ed. T. Birch, 6 Bde., London 1772, II, 462–734, hier 585–598]; Johann Amos Comenius, *Disquisitiones de caloris et frigoris natura*, Jena ²1678, S. 15f.; Edme Mariotte, Sur le chaud et le froid, in *Histoire de l'Académie Royale des Sciences* 1 [1733 für 1666–1686], 268–270, hier 269), hielt sich die Lehre vom Kältestoff (*primum frigidum, materia frigorifica*) bis ins 18. Jahrhundert; s. u. a. Stichwort «Kalt-machende Materie» in J. H. Zedler, *Großes vollständiges Universal-Lexikon aller Wissenschaften und Künste*, 64 Bde., Halle u. Leipzig 1732–1750, XV (1737), Sp. 142; F. X. Baader, *Vom Wärmestoff, seiner Vertheilung, Bindung und Entbindung*, Wien u. Leipzig 1786, S. 74 Fußnote. Baader nennt Duhamel, Musschenbroek, P. Hauser, Perrault und Marat als Vertreter dieser Lehre im 18. Jahrhundert.
- 5 Pictet an Saussure, Brief, März 1786, BPUG, Ms. Saussure 3, fo. 163 f.
- 6 Pictet (wie Anm. 2), S. 83.
- 7 ebd. S. 84.
- 8 P. Prevost, Mémoire sur l'équilibre du feu, in *Observations sur la physique, l'histoire naturelle et les arts* 38 (1791), 314–323. Deutsch u. d. T. Über das Gleichgewicht des Feuers und die scheinbare Reflexion der Kälte, in (Gren's) *Journal der Physik* 6 (1792), 325–342. Vgl. auch P. Prevost, *Recherches physico-mécaniques sur la chaleur*, Genève 1792. Deutsch u. d. T. *Physisch-mechanische Untersuchungen über die Wärme*, übers. von D. L. Bourguet, Halle 1798.
- 9 Lavoisiers Theorie des Wärmestoffs (*calorique*) wurde bereits 1790 von Pictet an der Genfer *Académie* gelehrt, s. J. Deshusses, Le physicien Marc-Auguste Pictet et l'adoption de la doctrine chimique de Lavoisier par les savants genevois, in *Bulletin de l'Institut National Genevois* 61 (1961), 100–112.
- 10 B. Weiss, Zur Entstehung des Begriffs *dynamisches Gleichgewicht*: Pierre Prevosts physikalisches Skizzenbuch aus den Jahren 1788 bis 1792, in *Sudhoffs Archiv* 68 (1984), 130–142.
- 11 Für moderne Definitionen des heute meist als *Prevostscher Satz* bezeichneten Austauschtheorems vgl. u. a. *Lexikon der Physik*, hrsg. von H. Franke, 3 Bde., Stuttgart ³1969, II, 1296; *Meyers Lexikon der Technik und der exakten Naturwissenschaften*, 3 Bde., Mannheim 1969–1970, III, 2038. Diese Definitionen sind insofern ahistorisch, als sie den Begriff der Strahlungsenergie voraussetzen, den Prevost nicht kannte. Für die über die Theorie der Wärmestrahlung herausgreifende Bedeutung des Austauschtheorems s. C. E. Guye, Pierre Prevost et la notion d'équilibre mobile dans les sciences physico-chimiques, in *Archives des sciences physiques et naturelles* 33 (1912), 469–482.
- 12 Rumford, An Experimental Inquiry concerning the Source of the Heat which is excited by Friction, in *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 88 (1798), 80–102 (*The Complete Works*, ed. by the American Academy of Arts and Sciences, 4 Bde., Boston 1870–1875, I [1870], 469–493). Für die Genese von Rumfords Theorie s. G. E. Ellis, *Memoir of Sir Benjamin Thompson, Count Rumford, with Notices of his Daughter*, Boston (1871), S. 458–489; S. C. Brown, Count Rumford and the caloric theory of heat, in *Proceedings of the American Philosophical Society* 93 (1949), 316–325; Ders., Count

- Rumford's concept of heat, in *American Journal of Physics* 20 (1952), 331–334; W.J. Sparrow, *Knight of the White Eagle*, London 1964, S. 229–231.
- 13 Die Briefe Rumfords an Pictet aus den Jahren 1796 bis 1813, insgesamt 46 Stücke, befinden sich in einem privaten Archiv in Genf. Ablichtungen dieser Briefe sind im Besitz der American Academy of Arts and Sciences (AAAS), Cambridge (Mass.). Ich danke Mr. Stanley W. Brown, Chief of Special Collections, Dartmouth College Library, Hanover (New Hampshire) für die Beschaffung eines Satzes Kopien der Rumford-Briefe. Die dazu gehörigen Briefe Pictets sind verschollen.
 - 14 Vgl. Anm. 2.
 - 15 Rumford an Pictet, Brief, 5. Januar 1797, AAAS copy no. 2.
 - 16 ebd.
 - 17 Rumford an Pictet, Brief, 18. Oktober 1800, AAAS copy No. 28. Zur Person von Thomas Charles Hope s. *Dictionary of National Biography. From the Earliest Times to 1900*, 22 Bde., Oxford 1921–1922, IX, 1223; *Dictionary of Scientific Biography*, 14 Bde., New York 1970–1976, VI, 495.
 - 18 Rumford, Of the Propagation of Heat in Various Substances, in *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 76 (1786), 273–304 u. 82 (1792), 48–80 (*The Complete Works* [wie Anm. 12], I [1870], 401–468).
 - 19 C. Huyghens, *Traité de la lumière*, Leiden 1690 (Reprint Brüssel 1967), S. 3–11. Vgl. dazu A. E. Shapiro, Kinematic Optics: A Study of the Wave Theory of Light in the 17th Century, in *Archive for the History of Exact Sciences* 11 (1973), 134–266. Schon für Huyghens war die Schallanalogie ein konstitutives Element der Begründung einer Wellentheorie des Lichts. Für die Übernahme der Äther-Hypothese durch Rumford vgl. die maßgebliche Rumford-Biographie von S. C. Brown, *Benjamin Thompson Count Rumford*, Cambridge (Mass.) 1981, S. 257.
 - 20 Mit einer am 16. Januar 1800 vor der *Royal Society* gelesenen Abhandlung u. d. T. *Outlines of Experiments and Inquiries Respecting Sound and Light*, in *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 90 (1800), 106–150 (*Miscellaneous Works*, ed. G. Peacock, 3 Bde., London 1855 [Reprint New York 1972], I, 64–98) eröffnete Young erneut die Debatte um die Wellentheorie des Lichts. Im Mittelpunkt der Argumentation stand die Analogie zwischen Licht und Schall; s. ebd. S. 78–83. Young schließt die Darlegung der Argumente für die Auffassung ‘that light is a propagation of an impulse communicated to this ether by luminous bodies’ mit der Frage, ‘how far the excellent experiments of Count Rumford, which tend very greatly to weaken the evidence of the modern doctrine of heat, may be more or less favourable to one or the other system of light and colours’ (ebd. S. 83). In seiner berühmt gewordenen zweiten *Bakerian Lecture*, die am 12. November 1801 vor der *Royal Society of London* gelesen wurde (*Miscellaneous Works*, I, 140–169), erklärt Young unter Bezugnahme auf die Experimente von Pictet, Herschel und Rumford, ‘it seems highly probable that light differs from heat only in the frequency of its undulations or vibrations’ (ebd. S. 168). Die strahlende Wärme sollte demnach aus Äthervibrationen bestehen, deren Frequenzen geringer als die des Lichtes sind.
 - 21 M. A. Pictet, *Voyage de trois mois en Angleterre, en Ecosse, et en Irlande pendant l'Été de l'an IX (1801 v. st.)*, Genève 1802. Pictets Reisebericht war zunächst in 13 Fortsetzungen in der *Bibliothèque Britannique, Sciences et Arts*, Bde. XVII–XXI, erschienen.
 - 22 Rumford hat während der Reise ein Tagebuch geführt, von dem eine Kopie von der Hand Lady Palmerstons in Birmingham erhalten geblieben ist: *Journey from London to Munich*

- and from Munich to London by Paris in the Autumn of 1801, Birmingham University Library (BUL) MSS 6/iv/29. Ich danke der BUL für die Überlassung eines Microfiche. Rumford und Pictet verließen London gemeinsam am 20. September. In Calais trennten sie sich: Pictet reiste direkt nach Paris, während Rumford über Homburg (Saar), Mannheim und Pforzheim nach München reiste. Erst am 25. Oktober traf Rumford in Paris ein, wo Pictet bereits am 8. und 13. Oktober vor dem *Institut National* über Britische Wissenschaft und Industrie berichtet hatte; vgl. dazu M. P. Crosland, *The Society of Arcueil. A view of French Science at the Time of Napoleon I.* London 1967, S. 138. Da Rumford Pictet während seines vom 25. Oktober bis zum 13. Dezember 1801 währenden Aufenthaltes in Paris nicht mehr erwähnt, ist davon auszugehen, daß sie nicht gemeinsam sich in Paris aufgehalten haben, sondern daß Pictet schon vor dem 25. Oktober nach Genf zurückgekehrt war. Zu den Umständen von Rumfords Besuch in Paris vgl. Brown (wie Anm. 19), S. 244–248; zum Tagebuch vgl. W. J. Sparrow, *Count Rumford's Journal*, in *Archives Internationales d'Histoire des Sciences* 11 (1958), 15–20.
- 23 BUL MSS 6/iv/29, S. 45 f.
- 24 Es handelt sich um Albertine Necker de Saussure (1766–1841), die Tochter von Horace-Bénédict de Saussure und Albertine-Amélie Boissier, die mit Jacques Necker (1757–1825), einem Cousin der Mme. de Staël, verheiratet war.
- 25 BUL MSS 6/iv/29, S. 83. Laut Auskunft des Rumford Biographen S. C. Brown handelt es sich bei dieser Notiz Rumfords um den frühesten erhaltenen Beleg für seine Auffassung, die strahlende Wärme bestehe aus Wellen im Äther; s. Brown (wie Anm. 19), S. 257 f.
- 26 Zur exakten Datierung der Experimente s. Rumford, Une notice historique des diverses expériences sur la chaleur, qui ont été faites par l'auteur à différentes époques, in *Mémoires sur la chaleur*, Trad. de l'anglais par M. A. Pictet, Paris 1804, S. vii–lxviii. Engl. u. d. T. Historical Review of the Various Experiments of the Author on the Subject of Heat, in *The Complete Works* (wie Anm. 12), II (1873), 188–240. Diese Schrift wurde von Rumford u. a. verfaßt, um seine Prioritätsansprüche gegenüber John Leslie zu belegen; vgl. dazu Brown (wie Anm. 19), S. 269.
- 27 Rumford, An Inquiry Concerning the Nature of Heat and the Mode of its Communication, in *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 94 (1804), 77–182 (*The Complete Works* [wie Anm. 12], II [1873], 23–130). Auszüge in französischer Sprache erschienen in *Bibliothèque Britannique, Sciences et Arts* 25 (1804), 185–221 u. 273–311; sowie in *Journal de Physique* 58 (1804), 343–362 u. 427–446. Die vollständige französische Übersetzung in *Mémoires sur la chaleur* (wie Anm. 26), S. 1–128.
- 28 Vgl. dazu S. C. Brown, Discovery of the differential thermometer, in *American Journal of Physics* 22 (1954), 13–17.
- 29 Rumford (wie Anm. 27), S. 126.
- 30 ebd. S. 157 f. (Hervorhebung von mir, BW)
- 31 ebd. S. 114.
- 32 ebd. S. 124.
- 33 Was von Prevost sofort erkannt wurde. So kommentierte Prevost Rumfords Arbeit von 1804 (vgl. Anm. 27) wie folgt: «Dans l'explication de quelques phénomènes et nommément de la réflexion du froid, il [Rumford] semble admettre un entrecroisement de rayons ondulatoires. Et si l'on presse ses expressions il paroît retomber dans un véritable équilibre mobile, qui ne diffère de celui qui avoit été proposé dès longtemps que par cette seule

- circonstance que la forme oscillatoire y est substituée à l'émission.» (Prevost an Marcet, Brief, 31. März 1805, BPUG Mss. suppl. 1073/3 fo. 10).
- 34 Rumford an Lady Palmerston; zitiert nach Brown (wie Anm. 19), S. 268.
- 35 Ohne dabei Prevost namentlich zu nennen. Stattdessen setzt sich Rumford mit derjenigen die stoffliche Natur der Wärme voraussetzenden Interpretation der Reflexion der Kälte auseinander, von der er einräumen muß, daß sie 'one of the most plausible of them' sei (Rumford [wie Anm. 27], S. 171). Gemeint ist ohne Zweifel Prevosts korpuskular-kinetisches Modell.
- 36 Zu dieser Einsicht gelangte erst J. B. Fourier, vgl. dazu R. M. Friedman, The Creation of a New Science: Joseph Fourier's Analytical Theory of Heat, in *Historical Studies in the Physical Sciences* 8 (1977), 73–99.
- 37 Rumford (wie Anm. 27), S. 171.
- 38 ebd. S. 173.
- 39 ebd. S. 175.
- 40 Rumford (wie Anm. 26), S. lx.
- 41 Die Redakteure der *Bibliothèque Britannique* schlossen ihre Zusammenfassung der Rumfordschen Arbeit von 1804 (vgl. Anm. 27) mit der kritischen Bemerkung: «... tout caloristes que nous avons été jusqu'à présent, et attachés de préférence au système de l'émission réelle, nous sommes prêts à adopter le *frigorisme* et l'hypothèse des vibrations, quand des conséquences rigoureuses d'expériences décisives et incontestables nous auront convaincus»; ebd. S. 311 Fußnote.
- 42 Prevost dokumentierte seine Argumente in seinem *Journal intime (1803–1822)*; s. BPUG Ms. fr. 4742, fo. 4. Auch suchte er noch am gleichen Tag Rumford seine Argumente schriftlich nahezubringen (Prevost an Rumford, Briefentwurf, 1. September 1803, BPUG Mss. suppl. 1053, fo. 164 f.). In seiner Antwort begnügte sich Rumford mit Höflichkeiten, ohne in eine inhaltliche Diskussion einzutreten (Rumford an Prevost, Brief, 2. September 1803, BPUG Mss. suppl. 1051, fo. 396 f.).
- 43 Prevost (wie Anm. 42), fo. 5.
- 44 Rumford (wie Anm. 27). Die Arbeit wurde am 2. Februar 1804 vor der *Royal Society* gelesen.
- 45 Prevost (wie Anm. 42), fo. 8^v Eintrag vom 18. April 1804.
- 46 Am 1. Mai 1804 sandte Prevost eine Kurzfassung seiner Ergebnisse an René-Juste Haüy in Paris; s. Absendevermerk in Prevosts Briefjournal, BPUG Mss. suppl 1053, fo. 73^v. Eine weitere Kopie war für Jean-Baptiste Biot bestimmt.
- 47 Prevost, Extrait d'un mémoire intitulé Essai d'application de la théorie de l'équilibre mobile à divers phénomènes de la nature, in *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences de Berlin* 1807 (für 1804), Classe pour Philosophie Expérimentale, 3–11; hier S. 7. Prevost bezieht sich auf F. W. Herschels (1738–1822) Entdeckung aus dem Jahre 1800, nach der dem sichtbaren Sonnenspektrum eine spektrale Verteilung strahlender Wärme überlagert ist; vgl. dazu E. S. Cornell, The radiant heat spectrum from Herschel to Melloni, Part I: The work of Herschel and his contemporaries, in *Annals of Science* 3 (1938), 119–137. Herschel hatte zunächst geglaubt, «unsichtbares Licht» entdeckt zu haben, sich jedoch schon im November 1800 zur Annahme zweier distinkter Strahlungen (Licht *und* Strahlende Wärme) entschlossen; vgl. D. J. Lovell, Herschel's Dilemma in the Interpretation of Thermal Radiation, in *Isis* 59 (1968), 46–60. Für Prevost waren Herschels Ergebnisse der

- langerwartete Beweis dafür, daß auch die strahlende Wärme in Analogie zum Licht der Brechung unterliegt.
- 48 Prevost (wie Anm. 47), S. 9.
- 49 ebd. S. 10.
- 51 Zur Genese des Kirchhoffschen Strahlungsgesetzes vgl. D. M. Siegel, Balfour Stewart and Gustav Robert Kirchhoff: Two Independent Approaches to Kirchhoff's Radiation Law, in *Isis* 67 (1976), 565–600; ferner H. Kangro, Gustav Robert Kirchhoff und die spektralanalytische Forschung, in Gustav Robert Kirchhoff, *Untersuchungen über das Sonnenspektrum und die Spectren der chemischen Elemente und weitere ergänzende Arbeiten aus den Jahren 1859–1862*, hrsg. v. H. Kangro, Osnabrück 1972, S. 1–54.
- 52 Rumford, Mémoire sur la chaleur, lu à la séance publique de l'Institut National le 6 Messidor an XII (25. Juni 1804), in *Mémoires sur la chaleur* (wie Anm. 26), S. 129–156, hier S. 146. Engl. u. d. T. Reflections on Heat, in *The Complete Works* (wie Anm. 12), II (1873), 166–187. In dieser Arbeit gab Rumford ein Resumé seiner in Paris durchgeführten Forschungen; vgl. dazu *Notice historique* (wie Anm. 26), S. lxxviii.
- 53 Rumford hatte bereits während seines einjährigen Aufenthaltes in München 1802/1803 mit Schalltrichtern experimentiert. Er verwendete sie zur Konstruktion von «Richt-Thermometern» (directional thermometers). Dabei diente der Kegelstumpf allerdings nicht als Reflektor, sondern als Absorber, da seine Innenseite geschwärzt war; vgl. Brown (wie Anm. 19), S. 262.
- 54 Rumford (wie Anm. 26), S. lxxv f.
- 55 Rumford (wie Anm. 52), S. 146.
- 56 Rumford, Premier Mémoire sur la chaleur, lu le 28 ventose an XII (19. März 1804), in *Mémoires de l'Institut National des Sciences et Arts, Sciences Mathématiques et Physiques* 6 (1806), 71–78, hier S. 77. Diese Arbeit findet sich nicht in *The Complete Works* (wie Anm. 12); s. aber Rumford, *Collected Works*, ed. S. C. Brown, 5 Bde., Cambridge (Mass.) 1968–1970, II (1969), 25–30.
- 57 P. Prevost, *Du calorique rayonnant*, Genève 1809, S. 108 Fußnote.
- 58 P. Prevost, Considérations sur les nouvelles recherches du Comte de Rumford relatives au mode d'action du calorique, in *Bibliothèque Britannique, Sciences et Arts* 26 (1804), 13–28. Teile des Entwurfs zu dieser Abhandlung stammen von der Hand M. A. Pictets; s. BPUG Mss. suppl. 1073/8, fo. 8f.
- 59 ebd. S. 25.
- 60 ebd. S. 26 Fußnote.
- 61 Die im Nachlaß Prevosts erhaltenen Papiere belegen die intensive Diskussion dieses Problems zwischen Prevost, M. A. Pictet und Louis de Manoël de Végobre im Mai 1804; s. BPUG Mss. suppl. 1073/8, fo. 6–14. Louis de Manoël de Végobre war Prevosts kongenialer Diskussionspartner. Obwohl als Jurist tätig, lieferte er Prevost zahlreiche wertvolle Hinweise zur Weiterentwicklung der Theorie des strahlenden Wärmestoffs. Zu seiner Biographie s. BPUG *Recueil Le Fort*, Bd. 7, No. 22, vgl. ferner *Le Livre du Recteur de l'Académie de Genève 1559–1878*, ed. par S. Stelling-Michaud, 6 Bde., Genève 1959–1980, IV, no. 6282.
- 62 Alexandre-Jean-Gaspard Marcet stammte aus Genf. Nach dem Studium der Medizin in Edinburgh ließ er sich in London als Arzt nieder; 1802 wurde er Professor für Chemie am Guy's Hospital; vgl. *Dictionary of National Biography* (wie Anm. 17), XII, S. 1007; vgl.

- ferner D. Bickerton, *Marc-Auguste and Charles Pictet, the Bibliothèque Britannique and the Dissemination of British Science and Literature On the Continent*, Dissertation, University of Leeds 1979, S. 359.
- 63 Wollaston an Marcet, Brief, 12. Juni 1804, BPUG Mss. suppl. 1052, fo. 341. Der Brief erreichte Prevost am 5. Juli 1804.
- 64 Prevost (wie Anm. 57), S. 106.
- 65 P. Prevost, Suite des considérations sur le mode d'action du calorique, in *Bibliothèque Britannique, Sciences et Arts* 26 (1804), 205–219. Prevost deutete darin an, daß er durch den Hinweis eines «célèbre physicien» zu seiner korrekten Deutung des Experiments gelangt sei. Den Verzicht auf die Preisgabe von Namen bzw. Nationalität dieses Physikers begründete er wie folgt: «La distance des lieux m'empêche de demander à ce savant et ingénieux physicien la permission de le nommer ici ...» (ebd. S. 208 Fußnote). Seit dem 16. Mai 1803 herrschte zwischen Frankreich und England der Kriegszustand, so daß sich die Postverbindung sehr schwierig und umständlich gestaltete.
- 66 ebd. S. 213.
- 67 P. Prevost, Résumé des considérations sur le mode d'action du calorique, in *Bibliothèque Britannique, Sciences et Arts* 26 (1804), 309–314.
- 68 Prevost (wie Anm. 47), S. 7.
- 69 Erst 1777 hatte Carl Wilhelm Scheele die durch die Strömung erhitzter Luft (Konvektion) verbreitete Wärme von der Wärmestrahlung unterschieden, für die er den Begriff «strahlende Hitze» prägte; s. dessen *Chemische Abhandlung von der Luft und dem Feuer*, Upsala u. Leipzig 1777, S. 64 (Reprint Leipzig 1894, hrsg. W. Ostwald [Ostwald's Klassiker Nr. 58], S. 46). Zu den frühen Untersuchungen zur strahlenden Wärme vor 1800 s. E. S. Cornell, Early studies in radiant heat, in *Annals of Science* 1 (1936), 217–225.
- 70 Pictet (wie Anm. 2), S. 74–76.
- 71 Vgl. Anm. 47.
- 72 Diese Auffassung wurde propagiert von James Hutton (1726–1797); s. dessen *Dissertation on the Philosophy of Light, Heat, and Fire*, Edinburgh 1794. Vgl. dazu M. Watanabe, James Hutton's 'obscure light': A discovery of infrared radiation predating Herschel's, in *Japanese Studies in the History of Science* 17 (1978), 97–104.
- 73 Die Beobachtung geht zurück auf Edme Mariotte; s. den Bericht über seine Beobachtung von 1679 in *Histoire de l'Académie Royale des Sciences*, Paris 1 (1733 für 1666–1686), 304 u. 334; ferner dessen *Traité de la nature des couleurs*, Paris 1681, S. 560–564. Zu den Folgen dieser Beobachtung s. Cornell (wie Anm. 69).
- 74 Vgl. Anm. 19. Für die zentrale Rolle der Schallanalogie s. ferner G. N. Cantor, *Optics after Newton. Theories of light in Britain and Ireland, 1704–1840*, Manchester 1983, S. 114–129.
- 75 Dazu konnte Rumford sogar auf Newton verweisen, der in *Query 18* seiner *Opticks* spekuliert: 'Is not the Heat of the warm Room convey'd through the Vacuum by the Vibrations of a much subtler Medium than Air, which after the Air was drawn out remained in the Vacuum?'; s. *Opticks or a Treatise of the Reflections, Refractions, Inflections, and Colours of Light*, London 1730 (ed. by I. B. Cohen, New York 1952), S. 349. Vgl. dazu auch das *Preface* von I. B. Cohen, ebd. S. xxxiii.
- 76 Vgl. zeitgenössische Lehrbücher der Physik, z. B. das weitverbreitete von René-Juste Haüy, *Traité élémentaire de physique*, 2 Bde., Paris 1803, I, 292–295.

- 77 Sofern die Wellenlänge des Schalls klein gegen die Dimensionen des Schalltrichters ist; zur Theorie des Sprachrohrs s. J. W. Strutt Baron Rayleigh, *Die Theorie des Schalles*, 2 Bde., Braunschweig 1879–1880, II, 128–131. Vgl. ferner J. Tyndall, *Der Schall*, Braunschweig 1874, S. 16: «Es findet in der That jeder Versuch über die Zurückwerfung des Lichts einen analogen bei der Zurückwerfung des Schalles.»
- 78 Rumford, Second Mémoire sur la chaleur, in *Mémoires de l'Institut National des Sciences et Arts, Sciences Mathématiques et Physiques* 6 (1806), 79–87, hier S. 86f. (*Collected Works* [wie Anm. 56], I [1968], 434–441). Rumford las die Abhandlung vor dem *Institut National* am 5 Germinal an XII (26. März 1804). S. auch Anm. 30.
- 79 Haüy an Prevost, Brief, 16. Oktober 1804, BPUG Mss. suppl. 1049, fo. 324.
- 80 Während Haüy Prevosts Theorie in der ersten Auflage seines *Traité* von 1803 (vgl. Anm. 76) überhaupt nicht erwähnt hatte, fand sie dagegen in der zweiten Auflage (Paris 1806) ausführlich Berücksichtigung; s. ebd. I, 84 u. 97. Vgl. auch J. L. Tremery, Extrait du *Traité élémentaire de physique* par M. l'abbé Haüy, in *Journal des Mines* 20 (1806), 235–244, wo Tremery die Bedeutung der Prevostschen Theorie herausstreicht.
- 81 Für weitere Gründe für Rumfords Isolierung innerhalb der Pariser *scientific community*, u. a. seine Kontroverse mit Laplace, s. Brown (wie Anm. 19), S. 281–284.
- 82 Für eine instruktive Darstellung des positiven Gehalts der stofflichen Theorie der Wärme s. S. C. Brown, The Caloric Theory of Heat, in *American Journal of Physics* 18 (1950), 367–373.
- 83 Für diese Interpretation s. S. G. Brush, *The kind of motion we call heat*, 2 Bde., Amsterdam 1976, I, 32 u. II, 307–313; ferner R. H. Silliman, *Augustin Fresnel (1788–1827) and the establishment of the wave theory of light*, Dissertation Princeton 1968, S. 313.
- 84 Zur Tragweite und Bedeutung von Analogien bei der Theorienkonstruktion s. M. B. Hesse, *Models and analogies in science*, Notre Dame (Indiana) 1966, S. 101–129.

Summary

In 1801 Benjamin Thompson Count Rumford became involved in the controversy about the *reflection of cold*. In 1786 Marc-Auguste Pictet had demonstrated that like heat also cold can be reflected by spherical metallic mirrors. In 1791 Pierre Prevost had given a corpuscular-kinetic interpretation of this phenomenon rendering the concept of *radiation of cold* superfluous. Leaning upon his firm belief that the nature of heat is non-material Rumford advanced a vibratory model instead. In 1803 he designed an *experimentum crucis* in order to terminate the disputes about the existence of caloric. The focussing of heat (and cold) by means of a metallic speaking-tube seemed to him a decisive proof that radiant heat (and cold) behave like sound-waves of different frequencies. A corpuscular-kinetic interpretation of Rumford's experiment posed some difficulties. In coping with them Prevost was led to two important results: a) each reflected ray precisely replaces one of identical direction but different temperature cut off by the outer surface of the reflector, and b) altering the surface of a radiating body affects his emission *and* absorption in the same way. By solving the conundrum in 1804 Prevost averted Rumford's attack on the emission theory of heat radiation which left the battlefield stronger than before.

Burghard Weiss, Dipl.-Phys.

Institut für Philosophie, Wissenschaftstheorie, Wissenschafts- und
Technikgeschichte der Technischen Universität Berlin

Sekr. TEL 2

Ernst-Reuter-Platz 7

D-1000 Berlin 10