

Vom Wärmestoff

Klaus-D. Röker

An der Wende vom 16. zum 17. Jahrhundert wurde zunehmend deutlich, dass das von den christlichen Kirchen übernommene aristotelische Weltbild kein zutreffendes Bild vom Aufbau der Materie liefern konnte. Neue Vorstellungen traten miteinander in Wettbewerb. Die im Spannungsfeld zwischen prinzipien-¹ und korpuskularchemischen Vorstellungen², plenistischen und vakuistischen Konzepten³ sowie monistischen und dualistischen Ansichten⁴ sich bewegenden spekulativen Weltbilder stellten den Hintergrund für vielfältige Versuche dar, das Wesen der materiell nicht fassbaren Phänomene Feuer, Wärme und Licht zu deuten. Im verwirrenden Umfeld der miteinander im Widerstreit stehenden Materievorstellungen entwickelten sich kontroverse Ansichten über das Wesen von Wärme und Licht.

Für die chemische Wissenschaftswelt des 18. Jahrhunderts gehörten neben den wägbaren (ponderablen) ebenso nichtwägbare, d. h. imponderable Stoffe, zu den allgemein akzeptierten Vorstellungen: Die Phlogistontheorie von Georg Ernst Stahl (1659–1734) postulierte die Existenz eines offenbar die Verbrennung bewirkenden, aber nicht materiell fassbaren Stoffs. Wärme, Licht sowie Elektrizität und Magnetismus waren Gegenstand vielfältiger Untersuchungen z. T. äußerst spekulativen Charakters.

1. Eine Bestandsaufnahme: die Baader'sche Probeschrift zur Wärme von 1786

In seiner 1785 fertiggestellten, erst 1786 als Buch erschienenen Dissertationschrift „Vom Wärmestoff, seiner Vertheilung, Bindung und Entbindung, vorzüglich beim Brennen der Körper“⁵ (Abb. 1) fasste der erst 20jährige Franz Xaver Baader (1765–1841, Abb. 2) den seinerzeitigen Stand des Wissens zusammen. Sein Anspruch hinsichtlich des Wertes seines Buches war bescheiden:

Probeschriften haben nun einmal aus leider sehr begreiflichen Ursachen das Los, nur ein Ephemerenleben⁶ in der litterarischen Welt auszudauern, und wenn nur erst dieses Werk'chen seinen Zweck – „Jünglingen“ (vorzüglich in meinem Vaterlande) das freilich „ernstere, solidere Studium der Natur werther „zu machen“ – erreicht zu haben, so habe ich alle Ursache, mich dieses Loses zu freuen.⁷

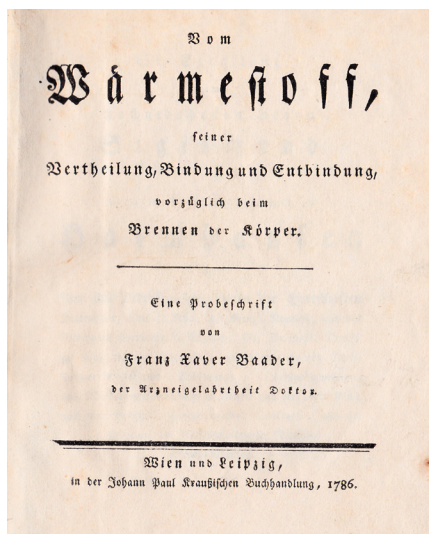


Abb. 1: „Vom Wärmestoff“.¹¹



Abb. 2: Franz Xaver Baader.¹²

Der Baader'schen „Probeschrift“ war mitnichten ein „Ephemerenleben“ beschieden: Sie wurde sehr wohlwollend rezensiert und vielfach zitiert. Der Göttinger Physiker Georg Christoph Lichtenberg (1742–1799) bezeichnete das Werk als „eine gute Compilation“.⁸

Lorenz Friedrich von Crell (1744–1816) erklärte im von ihm herausgegebenen „Magazin für das Neueste aus Physik und Naturgeschichte“, dass das Werk „vorzügliche Hofnungen zu wichtigen Aufschlüssen in den Naturwissenschaften [gebe], wenn Hr. Verf. auf der rühmlich betretenden Bahn zu wandeln fortfährt.“⁹

Baader beschrieb die zwei Lager divergierender Vorstellungen über das Wesen der Wärme: Die spaltende Frage war: Ist die Wärme Substanz, d.h. ein eigenständiger materieller Körper, oder eine akzidentielle Qualität, d.h. lediglich eine Substanzeigenschaft wie Farbe oder Geruch? Baader führte dazu aus:

Unter den Neueren Philosophen hat man immer dieselbe Frage, nur in einer anderen der Zeit gemässen Sprache wieder aufgeworfen; und deren Meinungen theilten sich auch immer darinn, dass einige (und das waren vorzüglich alle Chemiker) die Wärme als eine Kraftäußerung eines besonderen Wärmestoffes hielten; [...] einige aber, nämlich die von der mechanischen Schule, das Wesen der Wärme in eine eigne Wärme=Bewegung setzten, zu der man folglich keinen eignen Stoff brauche, sondern der die Theilchen jedes Körperstoffes selbst unter gewissen Umständen fähig wären.¹⁰

1.1. Die „substantielle“ Sicht: Wärme ist ein materieller Stoff

Baader sah den Ursprung der materiellen Wärmestoffhypothese bei Aristoteles (384–322 v. Chr.).¹³ Nach Baaders Kenntnis war Wilhelm Homberg (1652–1715) der erste, der Feuerstoff als „Ingrediens bei chemischen Mischungen betrachtete“.¹⁴ Herman Boerhaave (1687–1738) hatte den Gedanken aufgenommen und postulierte 1732 ein gewichtsloses, materielles, alle Körper durchdringendes „Elementarfeuer“¹⁵, dessen Teilchen einander abstoßen und beim Eindringen in einen Körper die Expansion desselben bewirken: Aufgrund der Wechselwirkung zwischen den Wärmekorpuskeln sollten die Körper ins Schwingen geraten, was Boerhaave als Ursache der Wärmewahrnehmung sah. Der Feuerstoff sollte sich entweder mit anderen Körpern verbinden oder durch Stoß bzw. Reibung aus diesen vollständig freigesetzt oder auch bei nur teilweiser Bindung an andere Stoffe als Reaktionswärme „präzipitiert“ werden können. Carl-Wilhelm Scheele (1742–1786) und Torben Bergman (1735–1784) verwendeten den Begriff Wärmestoff.¹⁶ Man entwickelte eine Vorstellung, die in einer imponderablen Wärmematerie ein Menstruum¹⁷ sah, d. h. einen in allen Substanzen sich lösenden und dieselbe durchdringenden Stoff ein materielles, elastisches Fluidum.

Die Argumente der Wärmematerien-Schule leiteten sich aus Beobachtungen bei chemischen Umsetzungen ab: die Wärmetönungen bei der Mischung von Substanzen, die Kristallisationswärme und auch die „thierische Erwärmung“ wiesen nach Überzeugung der meisten Chemiker auf einen materiellen Stoff hin, der diese Effekte bewirkte, der aber ganz offenbar – ebenso wie das Stahl’sche Phlogiston – der Wirkung der Schwerkraft nicht unterworfen war und daher kein Gewicht aufwies.

Die besondere Beachtung der Zeitgenossen fand eine vom irisich-britischen Arzt und Chemiker Adair Crawford (1748–1795) entwickelte materielle Feuer-Theorie¹⁸, die auf der Phlogiston-Vorstellung sowie Arbeiten von Joseph Black (1728–1799) und Johan Carl Wilcke (1732–1796) zur spezifischen und latenten Wärme basierte. Crawford unterschied

- *freies Feuer*: Wärme, die als solche empfunden wird und auf Thermometer wirkt,
- *gebundenes Feuer*: Bestandteil der Körper [entspr. der latenten Wärme]
- *komparative Wärme*: Verhältnis der benötigten Wärmemengen, um gleiche Massen unterschiedlicher Stoffe auf die gleiche Temperatur zu erwärmen [entspr. der spezifischen Wärme]
- *absolute Wärme*: Summe der gesamten im Körper enthaltenen Wärme.

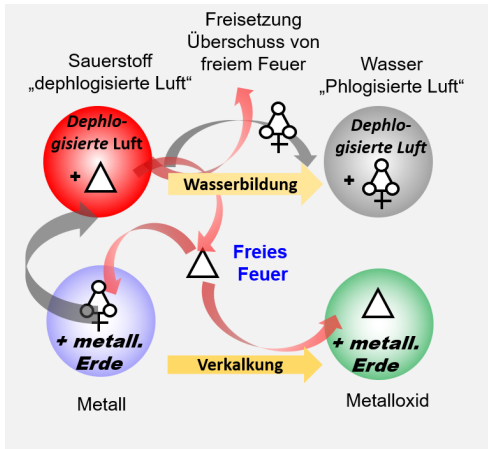


Abb. 3: Die Crawford'sche Vorstellung.



der reinen Luft. Das Phlogiston sollte letztendlich mit der dephlogisierten Luft (Sauerstoff) zusammentreten und unter Wärmeentwicklung Wasser bilden.

Nach Crawford waren Phlogiston und Feuer „entgegengesetzte Wesen“ und drängten sich gegenseitig aus den Stoffen (Abb. 3). Dem freien Feuer wurde die Eigenschaft zugerechnet, dass dieses als Auflösungsmittel für phlogistonhaltige Stoffe wirkte und damit die Verdrängung des Phlogistons begünstigte. Crawford erkannte, dass die Verkalkung (Oxidation) von Metallen nur in Gegenwart von „reiner Luft“ möglich war. Dieses erklärte er mit dem besonders hohen „Feuer“-Anteil

1.2. Die akzidentielle Sicht: Wärme ist Bewegung (Vibrationstheorie)

Die mechanistische Schule und die Mehrzahl der Physiker sahen die Natur der Wärme dagegen in einer „innerlichen tumultuösen Bewegung der kleinsten Theilchen“.¹⁹ Baader führte exemplarisch als Vertreter dieser Vorstellung Epikur (341–271 v. Chr.) und die Korpuscularisten, Bacon ([Francis Bacon] 1561–1626), Cartes [René Descartes] (1596–1650), Robert Boyle (1627–1691), Isaac Newton (1643^{geb}–1727), Georges-Louis Leclerc de Buffon (1707–1788) und den Salzburger Hof-Bibliothekar Florian Dalham (1713–1795) an.²⁰ Wärme wurde als Bewegung der Körperpartikel selbst angesehen, als offenkundigster Beweis galt die Reibungswärme.

Die Wärme war nach dieser Sichtweise eine akzidentielle qualitative Eigenschaft, die Lord Verulam [Francis Bacon] sehr diffus „*some sort of motion*“ bezeichnete.²¹ Auch für Robert Hooke (1635–1702) war Wärme „*nothing but the internal Motion of the Particles of Bodies*“.²² Seitens der Chemiker wurden diese Vorstellungen allerdings nur von wenigen der bekannten Persönlichkeiten wie z.B. von Peter Joseph Macquer²³ (1716–1784) unterstützt.

Es gab auch nationale Präferenzen: Ende des 18. Jahrhunderts erklärte Joseph Black²⁴ (1728–1799), dass die meisten „British Philosophers“ annahmen, dass Wärme die Bewegung der kleinen Partikel erhitzter Körper sei, wohingegen die

Mehrzahl der französischen und deutschen Fachkollegen die Existenz eines materiellen Wärmestoffes für wahrscheinlich hielt.²⁵

1.3. Baaders Bewertung

Baader sah die Materialstoff-Hypothese als plausibler an:

Endlich ist einer der besten oder doch einleuchtendsten Beweise für das Dasein eines eigenen Wärmestoffs (wie Lavoisier bemerkt) [vgl. 2.2.] wohl der, dass sich nach dieser Theorie alle Erscheinungen ungezwungen und leicht, nach jener entgegengesetzten aber eigentlich nichts erklären läßt.²⁶

(Später änderte Baader, der ab bereits ab 1797 mit den Schriften von Friedrich Wilhelm Joseph Schelling (1775–1854, vgl. 4.1.) in Kontakt kam und mit dem ihn ab 1806 eine nahezu zwanzigjährige freundschaftliche Beziehung verband²⁷, seine Sichtweise: 1798 sprach Baader in seinem Buch „Über das pythagoräische Quadrat in der Natur“²⁸ der Wärme wieder ihren Stoffcharakter ab.)

2. Antoine Laurent de Lavoisier (1743–1794)

2.1. Lavoisiers Vorarbeiten: Untersuchungen zur „Feuermaterie“

Lavoisier hatte sich bereits 1777 mit der Natur der Wärme auseinandergesetzt. In seinem Bericht „*De la combinaison de la matière du feu avec les fluides évaporables et de la formation des fluides élastiques aériformes*“ an die Académie des Sciences schrieb er einleitend:

Ich gehe in dieser Abhandlung [...] davon aus, dass der Planet, auf dem wir leben, von allen Seiten von einer sehr feinen Flüssigkeit umgeben ist, die – wie es scheint – ohne Ausnahmen alle Körper durchdringt, dass diese Flüssigkeit, von Wärme und Licht, die ich Feuerflüssigkeit (*fluide igné*), Feuermaterie (*matière du feu*), Wärme nennen werde, dazu strebt, sich in allen Körpern in ein Gleichgewicht zu versetzen, aber nicht überall gleich leicht eindringt. Diese Flüssigkeit existiert manchmal im freien Zustand, manchmal ist sie gebunden und mit anderen Körpern verbunden.²⁹

1780 legten Lavoisier und der Mathematiker und Physiker Pierre-Simon Laplace (1749–1827) mit ihrem *Mémoire sur la chaleur*³⁰ eine umfassende Untersuchung zum Thema Wärme vor: Hierin beschrieben sie formelmäßig die Wärmebilanz bei der Mischung von Stoffen, die aufzuwendenden Wärmemengen bei den Phasenübergängen des Wassers und gaben die spezifischen Wärmen für eine Anzahl von Stoffen an. In ihrem Bericht beschrieben Lavoisier und Laplace das erste Eiswasser-Kalorimeter³¹ (Abb. 4).

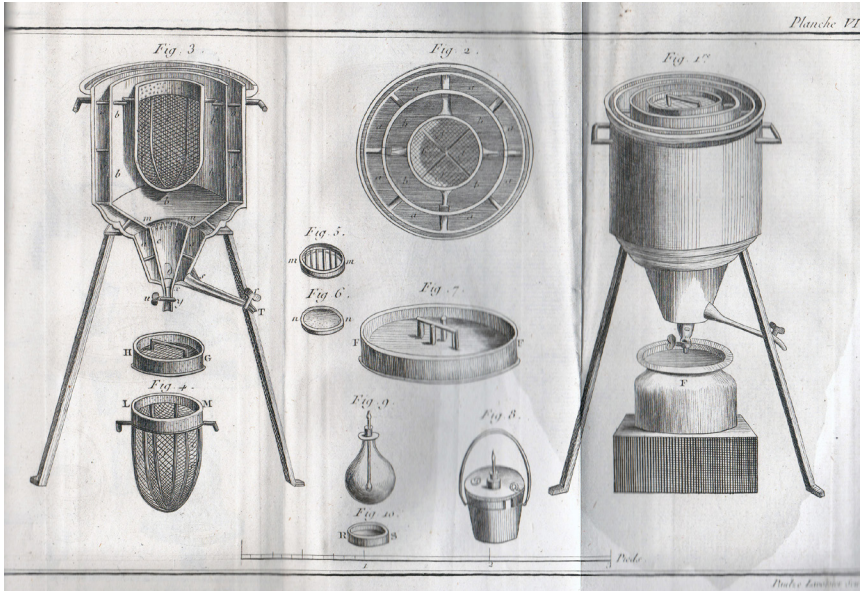


Abb.4: Eis-Kalorimeter : *Appareil relatif à la mesure de calorique.*³²

Hinsichtlich der Natur der Wärme legten sich die Autoren nicht fest. Neben der Wärmestoffhypothese diskutierten Lavoisier und Laplace auch die Vibrationstheorie, d. h. die Wärme als immaterielle Eigenschaft der Körper. Dabei nahmen sie Bezug auf das Leibniz'sche Erhaltungsprinzip der *vis viva*, ohne aber den Urheber dieser Vorstellung explizit zu erwähnen:

Es gibt ein allgemeines Gesetz, dem die Mathematiker den Namen Prinzip der Erhaltung der lebendigen Kraft gegeben haben; dieses Gesetz besagt, dass die Körper eines Systems so aufeinander einwirken, dass die lebendige Kraft konstant ist. In der Hypothese, die wir untersuchen, ist die Wärme die lebendige Kraft, die die unspürbaren Bewegungen der Moleküle der Körper bewirkt, sie ist die Summe der Produkte der Massen der einzelnen Moleküle mit deren Geschwindigkeiten zum Quadrat.³³

Eine Festlegung zugunsten einer der beiden Hypothesen erschien jedoch nicht opportun:

Wir werden uns überhaupt nicht zwischen den zwei vorhergehenden Hypothesen entscheiden, einige Phänomene scheinen die letztere [lebendige Kraft] vorteilhafter erscheinen lassen, zum Beispiel die durch Reibung von zwei Körpern erzeugte Wärme, aber es gibt andere, die sich einfacher mit der ersten [Wärmestoff] erklären lassen; vielleicht findet ja beides zur gleichen Zeit statt.³⁴

Bemerkenswerterweise waren sich Lavoisier und Laplace nicht einig: Der Chemiker Lavoisier präferierte die stoffliche Sicht, wohingegen der Physiker und Mathematiker Laplace der Vibrationstheorie zuneigte.³⁵

2.2. Aufbruch der antiphlogistischen Chemie

1783 konnte Lavoisier die Phlogistontheorie endgültig widerlegen: In seinem Beitrag *Réflexion sur le phlogistique*³⁶ am 28. Juni und 13. Juli vor der Académie Royale des Sciences stellte er seine Oxidationstheorie erstmals geschlossen dar und leitete damit die moderne Chemie ein. Einen wesentlichen Schwerpunkt seiner neuen Theorie stellte *la matière du feu et de la chaleur*, die Feuer- und Wärmematerie, dar:

Ich habe alle Erklärungen von dem einfachen Prinzip abgeleitet, dass die reine Luft, die Lebensluft, nach einem bestimmten, ihr eigenen Prinzip zusammengesetzt ist. Diese bildet die Basis, die ich das Oxygen-Prinzip genannt habe, kombiniert mit der Feuer- und Wärmematerie. Ist dieses Prinzip erst einmal akzeptiert, so erscheinen die hauptsächlichlichen Schwierigkeiten der Chemie gering und verschwinden, alle Phänomene werden mit erstaunlicher Einfachheit erklärt.³⁷

Die neue antiphlogistische Chemie bedurfte einer neuen rationalen Nomenklatur:

1787 erschien mit der *Méthode de la nomenclature chimique* das Konzept für eine antiphlogistische Nomenklatur als gemeinschaftliche Arbeit von Lavoisier, Louis Bernard Guyton de Morveau (1737–1810), Claude Louis Berthollet (1748–1822) und Antoine François de Fourcroy (1755–1809).³⁹ In dieser Schrift tauchte erstmals der Begriff *calorique* auf, der fortan von Lavoisier statt *matière du feu et de la chaleur* verwendet wurde. Nach der Lavoisier'schen Vorstellung wird der Sauerstoff durch den Wärmestoff in den Gaszustand versetzt (Abb. 5).

2.3. Das neue chemische Weltbild im *Traité élémentaire de Chimie*

1789 veröffentlichte Lavoisier in seinem Buch *Traité élémentaire de Chimie*⁴⁰ das Gesamtkonzept seiner antiphlogistischen Chemie erstmals in geschlossener Form. Bereits 1792 erschien der erste Band der deutschsprachigen Übersetzung von Sigismund Friedrich Hermbstädt (1760–1833).⁴¹

Die Bausteine in Lavoisiers System waren die *substances simples*: Stoffe, die zum Zeitpunkt des Erscheinens des *Traité* noch nicht weiter „zerlegt“ werden konnten, Lavoisier ordnete diese *substances simples* einzelnen Kategorien zu. Hermbstädt bezeichnete die erste dieser Kategorien als die Kategorie der „*einfachen Substanzen, die zu den drei Naturreichen*⁴² gehören und die man als die

	I.		II.	
	UNZERSETZTE SUBSTANZEN.		DURCH DEN WÄRMESTOFF IN DEN ZUSTAND DES GAS VERSETZT.	
	NEUE NAMEN.	ALTE NAMEN.	NEUE NAMEN.	ALTE NAMEN.
1	Lichtstoff.			
2	Wärmestoff.	Verborgene Hitze. Feuermaterie.		
3	Sauerstoff.	Grundlage der Lebens- luft.	Sauerstoffgas. Nota. Es scheint, daß der Licht- stoff etwas beiträgt, wie den Zustand der Gas zu setzen.	Dephlogistisirte Luft, oder Lebenluft.
4	Wasserstoff.	Grundlage der entzünd- lichen Gas.	Wasserstoffgas.	Entzündliches Gas.
5	Stickstoff oder Rad- ical der Salpetersäure.	Grundlage der phlogisti- sirten Luft oder der at- mosphärischen Mischtheil.	Stickgas oder Salpe- terstoffgas.	Phlogistisirte Luft, oder atmosphärische Mischtheil.
6	Kohlenstoff oder Radical der Kohlensäure.	Reine Kohle.		

Abb. 5: Tafel aus „Methode der chemischen Nomenklatur“³⁸

Elemente der Körper betrachten kann“⁴³ (s. a. Abb. 6). Neben den wägbaren Stoffen *oxygène*, *azote* und *hydrogène* (Sauer-, Stick- und Wasserstoff) umfasste die Kategorie auch die beiden hypothetischen, imponderablen Stoffe *lumière*, den lichterzeugenden Stoff, und *calorique*, die Wärmematerie.

2.3.1. Le Calorique – der Wärmestoff

Der Wärmestoff war essenzieller Teil des Lavoisier’schen Gedankengebildes: Im *calorique* verband Lavoisier eklektisch miteinander Aspekte der Vorstellungen von Boerhaave (Wärmestoffteilchen), Newton (Attraktion und Repulsion) und Black (latente Wärme): Im ersten Kapitel⁴⁵ des ersten Teils des *Traité* unterschied Lavoisier zwischen zwei Zuständen des *calorique*:

- dem freien Wärmestoff (*calorique libre*): „derjenige, welcher in keiner Verbindung steht“ und
- dem gebundenen Wärmestoff (*calorique combiné*): „derjenige, welcher in den Körpern durch die Kraft der Attraktion festgehalten wird, und welcher einen Theil ihrer Substanz, sowie ihrer Form [Gaszustand] ausmacht“.⁴⁶

Im zweiten Teil stellte Lavoisier seine Vorstellungen anhand von Tabellen vor, die er in sog. *observations* kommentiert: Im Abschnitt „Über die Verbindungen des Lichtstoffes, und des Wärmestoffes mit verschiedenen Substanzen“ schreibt er:

TABLEAU DES SUBSTANCES SIMPLES.		
	Noms nouveaux.	Noms anc. correspond.
Substances simples qui ap- partiennent aux trois rè- gnes, et qu'on peut regarder comme les élé- mens des corps.	Lumière.	Lumière. Chaleur.
	Calorique.	Principe de la chaleur. Fluide igné.
		Feu.
	Oxygène.	Matière du feu et de la chaleur.
		Air déphlogistiqué. Air empiréal
Air vital. Base de l'air vital.		
Azote.	Gaz phlogistiqué. Mofète.	
	Base de la mofète. Gaz inflammable.	
Hydrogène.	Base du gaz inflammable.	

Abb. 6: Des Substances simples im *Traité élémentaire de Chimie*.⁴⁴

chen ausfüllet. Wir wissen, daß sich der Wärmestoff in manchen Fällen so sehr in den Körpern fixirt, daß er ihre Theile formen hilft; es ist aber auch bekannt, daß er in den mehrsten Fällen die kleinsten Theile der Körper voneinander treibt, und eine zurückstoßende Kraft an ihnen ausübt und daß der Uebergang eines Körpers aus dem festen in den flüssigen, und aus dem flüssigen in den gasförmigen Zustand, von der größeren oder geringeren Anhäufung des Wärmestoffes abhängt.⁴⁷

Seine Vorstellungen hinsichtlich des Reaktionsverhaltens des imponderablen *calorique* mit ponderabilen *substances simples* (hier des Sauerstoffs) verdeutlichte Lavoisier in seinen „Bemerkungen über die zweifachen Verbindungen des säureerzeugenden Stoffes mit den einfachen metallischen und nichtmetallischen Substanzen“:

Der säureerzeugende Stoff [= *oxygène* = Sauerstoff] ist mit Wärmestoff verbunden, der ihn im gasförmigen Zustand erhält. [...] Soll sich irgendein Körper mit dem säureerzeugenden Stoff verbinden, so müssen eine gewisse Anzahl Umstände zusammen vereinigt seyn. Der erste von diesen Umständen ist, dass die anziehende Kraft, welche die kleinsten Teile eines Körpers gegeneinander ausüben, geringer sey, als ihre Anziehungskraft zum säureerzeugenden Stoff, denn ist erweislich, dass im entgegengesetzten Fall keine Verbindung statt finden würde. In einem solchen Fall [...] man kann durch Erwärmen [...] den Zusammenhang zwischen den kleinsten Theilen eines Körpers vermindern.⁴⁸

Ueber die Verbindungen des Lichtstoffes und des Wärmestoffes, mit den einfachen und zusammengesetzten Substanzen, haben wir bis jetzt noch sehr unvollkommene Begriffe; dies ist die Ursache, warum ich gar keinen Abriß [franz. Text: *tableau*] davon entworfen habe. Wir wissen überhaupt nur, daß alle Körper in der Natur [...] in den Wärmestoff eingetaucht sind, und von allen Seiten durchdrungen sind, und daß er alle Pori zwischen ihren kleinsten Theil-

Bei der Verbindung des wärmestoffreichen *oxygène* mit einem anderen Stoff kann ein Wärmestoff-Überschuss entstehen. Dieser wird freigesetzt, gebundener Wärmestoff wird dann zu freiem Wärmestoff.

Die thermische Ausdehnung wird nach Lavoisier lediglich durch die Menge der Wärmestoffteilchen bewirkt, die Idee der von Boerhaave durch die Wärmematerie initialisierten Körperschwingungen übernahm er nicht. Lavoisier erläuterte seine Vorstellungen mit der Veränderung der Aggregatzustände der Körper bei der Erwärmung: Die *molécules*⁴⁹ (Teilchen) der Körper seien sowohl einer zwischen ihnen wirkenden attrahierenden Kraft als auch einer repulsierenden Kraft durch den Wärmestoff *calorique* ausgesetzt. Bei der Zufuhr von Wärmestoff nähmen die abstoßenden Kräfte überhand: Die Körper würden zunächst „tropfbar“ und gingen dann bei weiterer Aufnahme von Wärmestoffteilchen schließlich in den Gaszustand über:

Diese Erscheinungen sind schwer zu begreifen, wenn man nicht annimmt, dass die Wirkungen einer wirklichen materiellen Substanz sind, einer sehr feinen Flüssigkeit, welche in die Teilchen aller Körper eindringt und sie von einander treibt. Gesetzt aber auch, die Existenz dieser Flüssigkeit wäre eine Hypothese, so wird man in der Folge einsehen, dass sie dennoch auf eine glückliche Art jene Naturerscheinung erklärt.⁵⁰

Mit dem Begriff *calorique spécifique* definierte Lavoisier die spezifische Wärme als „Capacität [der Körper], den Wärmestoff zu fassen“, d. h. die stoffspezifisch unterschiedlichen Mengen Wärmestoff, die notwendig sind, um unterschiedliche Substanzen auf die gleiche Temperatur zu erwärmen.

2.3.1.1. *Materialität und Imponderabilität*

Wenn auch Lavoisier nun in seiner Theorie von der materiellen Natur des *calorique* ausging, so erwähnte er doch ausdrücklich, dass

diese Benennung unserm Gegenstände in dem System entspricht, das wir angenommen haben, hat sie noch einen andern Vortheil, nemlich den, daß sie sich allen Arten von Meinungen anpassen läßt. Denn streng genommen brauchen wir nicht einmal anzunehmen, dass der Wärmestoff eine wirkliche Materie ist, es ist hinlänglich, wie man es beim weiteren Lesen bestimmt einsehen wird, daß es irgend eine zurückstoßende Ursache ist, welche die Theilchen der Materie von einander treibt und so kann man ihre Wirkungen auf eine abstrakte und mathematische Art beleuchten.⁵¹

Materialität und Gewichtslosigkeit waren für Lavoisier kein Widerspruch. Die Gewichtslosigkeit des *calorique* glaubte er Verbrennungsversuchen mit Phosphor

in einem abgeschlossenen Kolben entnehmen zu können: Lavoisier stellte dabei zwar Wärmeabgabe, aber keine Gewichtsveränderung fest.⁵²

2.3.2. *La Lumière* – *der Lichtstoff*

Die zweite von Lavoisier postulierte imponderable *substance simple*, der Lichtstoff (*la lumière*), war für die antiphlogistische Theorie Lavoisiers von nebengeordneter Bedeutung. Lavoisier war sich seines noch geringeren Wissens um den hypothetischen Lichtstoff durchaus bewusst. Die Klassifikation von Lichtstoff war ebenso wie die des Wärmestoffs pragmatisch und sogar explizit provisorisch.⁵³ Lavoisier vermutete einen engen Zusammenhang zwischen Licht- und Wärmestoff:

Beim Lichtstoff sind Verbindungen und die Art seiner Wirkung auf die Körper noch weniger bekannt. Es erscheint nur [...], dass es eine große Affinität zum Sauerstoff hat, dass er eine große Bereitschaft hat, sich mit diesem zu verbinden und dass er gemeinsam mit dem Wärmestoff dazu beiträgt, den Sauerstoff in den Gaszustand zu versetzen. Die Erfahrungen, die mit der Pflanzenwelt gemacht worden sind, geben auch Raum, für die Annahme, dass der Lichtstoff sich mit gewissen Teilen der Pflanze verbindet und dass es diese Verbindung ist, die für die grüne Farbe der Blätter und die Vielfalt der Pflanzenfarben verantwortlich ist.⁵⁴

Lavoisiers Sicht auf den hypothetischen Lichtstoff war dadurch kompliziert, dass er auch Phänomene aus der belebten Welt in seine Bewertung einbezog. Dieses betraf die Wirkung von Licht auf Pflanzen und sogar auch auf Menschen.⁵⁵

2.4. Die Rezeption der *calorique*-Hypothese

Lavoisier erfreute sich unter den internationalen Chemikern hohen Respekts, bei den deutschen Phlogisten allerdings nicht allzu großer Beliebtheit. Lavoisier hatte zwar das imaginäre Phlogiston mit der Sauerstofftheorie aus der chemischen Welt gedrängt, seine *substances simples calorique* und *lumière* wiesen aber sehr vergleichbare Eigenschaften wie das kritisierte Phlogiston auf und sollten wie dieses imponderabel sein. Die wissenschaftliche Welt diskutierte zunächst durchaus diese Ähnlichkeiten: So sah die Schottin Elizabeth Fulhame⁵⁶ (fl. 1794) in Lavoisiers *calorique* lediglich ein in seinen Eigenschaften modifiziertes Phlogiston:

Lavoisier [...] läugnete das Daseyn des Phlogistons, ob gleich er die Existenz eines gebundenen Wärmestoffs zugibt. Er scheint daher das Daseyn des Phlogistons zuzugeben, aber den Namen desselben in Wärmestoff verwandelt zu haben, und ihm die Kraft Verbrennung zu bewirken, abzusprechen.⁵⁷

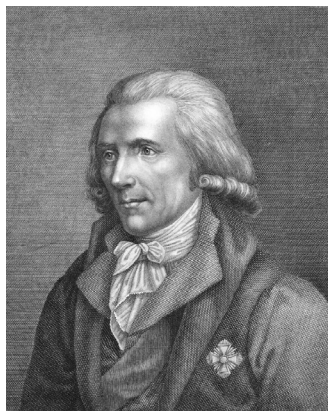


Abb. 7: Graf von Rumford.

Der Widerstand gegen den materiellen Wärmestoff legte sich mit dem Erfolg und der zunehmenden Verbreitung der Lavoisierschen Theorie: Das erste deutschsprachige antiphlogistische Lehrbuch von Christoph Girtanner (1760–1800) erschien 1791, bereits ein Jahr vor Übersetzung des *Traité* durch Hermbstädt.

Das Gesamtkonzept des antiphlogistischen Systems war schlüssig. Trotz aller – auch national bedingten – Widerstände gewann das antiphlogistische System zunehmend an Bedeutung. Die Lavoisiersche materielle Wärmeverstellung erlaubte es, nahezu alle mit den Wärmerscheinungen beobachteten Phänomene zu deuten. Der Rostocker Heinrich Friedrich Link (1767–1851) sah bereits 1794 die Vibrationstheorie als Relikt vergangener Zeiten:

Die Wärme, als Wirkung einer Bewegung der feinen Theilchen anzusehen, oder überhaupt als eine Modification seiner Körper selbst, nicht als eine eigene Materie, ist ein Ueberbleibsel der älteren Naturphilosophie, die sich bemühte, alles aus der Gestalt der Theilchen, und einer Bewegung, die durch Stoß entsteht zu erklären.⁵⁸

Das 1798 erschienene Physikalische Wörterbuch von Johann Carl Fischer (1760–1833) bewertete den Wärmestoff *calorique* sogar als das eigentliche Prinzip des Lavoisierschen Systems: „Dieses neue System geht von den Wirkungen des Wärmestoffs (*calorique*) aus“⁵⁹ Die akzidentielle Sicht schien überwunden zu sein.

3. Benjamin Thompson (1753–1814): Wärme ist Bewegung

Am 25. Januar 1798 wurde in der Royal Society in London ein Schreiben des amerikanischen Offiziers, Politikers und Naturwissenschaftlers Benjamin Thompson (seit 1792 Reichsgraf von Rumford) vorgetragen, in welchem dieser Versuchsergebnisse vorlegte, die mit dem materiellen Wärmestoffkonzept nicht vereinbar waren.⁶⁰

Nach seinen eigenen Worten beobachtete Rumford eher beiläufig bei der Aufsicht über Kanonen-Bohrarbeiten im Arsenal von München, dass durch mechanische Arbeit kontinuierlich Wärme produziert wurde, deren Quantität ausreichte, um beliebige Mengen Eis bis zur Verdampfung zu erhitzen:

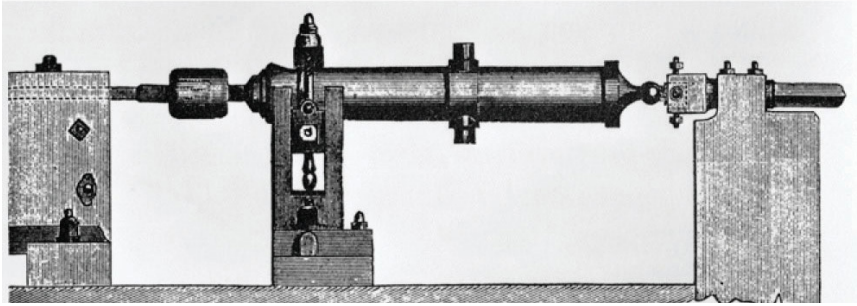


Abb. 8: Der Rumford'sche Bohrversuch.⁶²

It is hardly necessary to add, that anything which any insulated body, or system of bodies, can continue to furnish without limitation, cannot possibly be a material substance: and it appears to me to be extremely difficult, if not quite impossible, to form any distinct idea of anything, capable of being excited, and communicated, in the manner the heat was excited and communicated in these experiments, except it be motion.⁶¹

Nachdem Lavoisier die Nichtexistenz des Phlogistons so glänzend bewiesen hatte, schien Rumford nun ebenso eindeutig Lavoisiers materiellen Wärmestoff *calorique* widerlegt zu haben. Rumfords Ansichten konnten sich jedoch nicht durchsetzen. Rumfords wissenschaftliche Reputation war unter Wissenschaftlern beschädigt, da seine Behauptung, dass flüssige Stoffe keine Wärme leiten, durch Thomas Thomson (1773–1852) als irrig erkannt worden war.⁶³

Humphry Davy (1778–1829) hatte 1799 Eiskörper durch gegenseitige Reibung zum Schmelzen gebracht wurden. Da er (irrigerweise) davon ausging, dass er mit seiner Versuchsanordnung eine physische Übertragung von Wärmestoff ausgeschlossen habe, sah er darin eine Bestätigung der Vorstellungen von Rumford und unterstützte als einer der wenigen Chemiker dessen Sicht.⁶⁴

Die Chemiker blieben mit überwiegender Mehrheit beim Modell von Lavoisier: Man war der Annahme, dass die bei der Reibung des Bohrers freigesetzten Späne mit dem Luftsauerstoff reagieren und dabei Wärme freisetzen. Berthollet (vgl. 2.2) versuchte die kontinuierliche Wärmeentwicklung damit zu erklären, dass durch die Kompression beim Bohren der Wärmestoff austreten und bei Dekomprimierung wieder aufgenommen würde.⁶⁵

4. Verwirrende Mutmaßungen über die Natur der Wärme um 1800

Die Diskussion um die Natur von Wärme und Licht bleiben auf der wissenschaftlichen Tagesordnung. Die Situation hatte sich gegenüber 1787 nicht wesentlich geändert, als Lichtenberg konstatierte:

Was es mit dem Wärme erregenden Princip oder mit jener Ursache, von welcher die Phänomene der Erwärmung herrühren, für eine Bewandniß habe: darüber streitet man seit mehr als zweytausend Jahren, ohne daß sich die eine oder die andere Parthey, eines völlig entscheidenden Sieges rühmen könnte. Die Zahl der Meinungen heißt Legion.⁶⁶

Wärme- und Lichtstoff wurden weiterhin kontrovers diskutiert. Die Diskussion war vielstimmig, dissonant und verwirrend. Die Phlogisten adaptierten ihr Weltbild an die erdrückende Faktenlage und entwickelten neue, zunehmend komplizierte Hypothesen in der Hoffnung, das Phlogistonkonzept retten zu können.

Ausgehend von den Dynamismus-Vorstellungen Kants entwickelte sich eine weitere Denkrichtung: die romantische Naturphilosophie, die einen völlig andersartigen Zugang zum Verständnis der Natur suchte.

4.1. Die Einflüsse der romantischen Naturphilosophie

Der Königsberger Immanuel Kant (1724–1804) löste mit der Dynamismus-Hypothese den stofflichen Materiebegriff auf: Der Dynamismus sah keine Stofflichkeit der Materie, sondern diese als Ergebnis des Wechselwirkens einer anziehenden Kraft (*vis attractiva*) mit einer ausdehnenden Kraft (*vis expansiva*), die die Gesamtheit der Naturphänomene bewirken sollten.⁶⁸ Kant schuf mit dieser im Gegensatz zum Materialismus stehenden Sichtweise die Grundlagen für die romantische Naturphilosophie.

Mit Friedrich Wilhelm Joseph Schelling (1775–1854) erreichte die romantische Naturphilosophie, die bis zum Versuch der spekulativen Deduktion von Naturgesetzen führte, in den Jahren von ca. 1800–1830 erheblichen Einfluss auf die Chemie.⁶⁹ Schelling sah „die chemischen Erscheinungen als Wirkungen des Conflicts sich entgegengesetzter Kräfte“. ⁷⁰ Für ihn waren „Natur und Sein im Grunde dasselbe“. ⁷¹ Schelling betrachtete die Chemie als besonders geeignetes; realitätsbezogenes Anwendungsgebiet seiner Philosophie. 1800/1801 gab Schelling die „Zeitschrift für spekulative Physik“ heraus. ⁷² Bei seinen Aussagen zur Wärme und deren Immaterialität bezog sich Schelling explizit auf den Chemiker Alexander Nicolaus Scherer (1772^{greg.}–1824^{greg.}, vgl. 4.2.). ⁷³

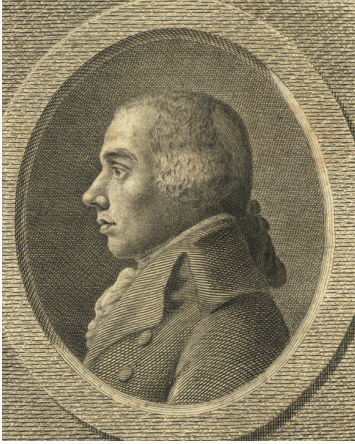


Abb. 9: Friedrich C. Gren.



Abb. 10: Alex. N. Scherer.

Bei den meisten „chemischen Dynamisten“ blieb allerdings vom Kant’schen Konzept – wie Günter Lind in seiner Arbeit über die Physik-Lehrbücher der Jahre 1700–1850 anmerkt – kaum mehr übrig als die Vorstellung zweier antagonistischer Grundkräfte.⁷⁴

Aber auch unter den Dynamisten waren die Vorstellungen über die Natur der Wärme teilweise sehr unterschiedlich, als Beispiel seien die Sichtweisen von Albrecht Gren (Abb. 9, 1760–1798) und Alexander Nicolaus Scherer (Abb. 10, 1772^{Breg.}–1824^{Breg.}) dargestellt.

4.2. Friedrich Albrecht Carl Gren und Alexander Nicolaus Scherer: Verwirrungen und Konflikte unter Dynamisten

Der materielle Wärmestoff war für den Hallenser Friedrich Albrecht Carl Gren eine imponderable elastische Flüssigkeit.⁷⁵ Gren galt als einer der einflussreichsten Unterstützer der Phlogiston-Theorie, seine Vorstellungen hatten sich allerdings weit von den ursprünglichen Stahl’schen Gedanken entfernt: „Ich halte das Phlogiston [...] für ein zusammengesetztes Wesen, das aus den ungleichartigen Bestandtheilen, der Licht- und der Wärmematerie, besteht.“⁷⁶

Grens Vorstellungen zur Wärmematerie wurden vom deutsch-russischen Chemiker Alexander Nicolaus Scherer, einem Schüler von Johann Friedrich August Götting (1753–1809) in seinem 1796 erschienenen Buch „Nachträge zu den Grundzügen der neuen chemischen Theorie“⁷⁷ angegriffen. Scherer vertrat nachdrücklich die akzidentielle Sicht:

Mein ganzes chemisches Glaubensbekenntnis enthalten folgende Worte: Nur das ist Gegenstand chemischer Untersuchung, was ponderabel ist. Denn nur von der Analyse und Synthese ponderabler Stoffe können wir befriedigende Rechenschaft ertheilen, wie der unsterbliche Lavoisier gezeigt hat – alles Uebrige ist und bleibt nur bloßes Spiel der Phantasie und gewährt einzig der leidigen Hypothesensucht noch volle Nahrung. Ich bin überzeugt, daß ich sehr viel gewagt habe, auf diesen Grundsatz gestützt, die Materialität des Licht- und Wärmestoffs zu leugnen.⁷⁸

Scherer war überzeugt, „daß die Erscheinung der Wärme und des Lichts Erfolg der in Activität findlichen ponderablen Substanzen [Anmerkung: selbst] sey“⁷⁹ und nicht auf einen besonderen Wärmestoff zurückzuführen sei.

Um die Jahrhundertwende begann sich die Physik zunehmend von den anderen Naturwissenschaften zu emanzipieren: Scherer befürwortete nachdrücklich eine Abtrennung der Physik von der Chemie.⁸⁰ Seinen chemischen Fachkollegen sprach Scherer rundum die Zuständigkeit ab, sich mit der Natur der sog. Imponderabilien zu beschäftigen:

Allerdings aber wird es unerlässliche Pflicht bleiben, die Gesetze und die Bedingungen dieser Erscheinungen zu untersuchen [...], aber dies ist kein ausschließlicher Gegenstand des Chemikers; es sey dies ganz dem Physiker überlassen. [...] Der Chemiker hätte sich hinlänglich mit der Untersuchung des Ponderablen zu beschäftigen; die er jetzt über das Aufrichten der Hypothesen gänzlich vernachlässigt.⁸¹

Die Vorstellungen von Scherer wurden sehr unterschiedlich aufgenommen, z. T. auch scharf kritisiert. Die Rezension seines Buches in der Zeitschrift „Neue allgemeine deutsche Bibliothek“ war vernichtend.⁸²

Der Phlogist Gren „konvertierte“: In seinem 1797 in dritter Auflage erschienenen Buch „Grundrisse der Naturlehre“ wechselte auch er in das Lager der Antiphlogistiker, nicht allerdings ohne deutliche „Verbesserungen“ an der Lavoisier’schen Lehre vorzunehmen.

Das vorige System der Chemie habe ich ganz aufgegeben; man wird jetzt alle Thatsachen des antiphlogistischen Systems zum Grunde gelegt finden, dessen Lücken aber durch die neue [Anmerkung: seine] Lehre vom Brennstoffe ergänzt ist.⁸³

Gren vollzog gleichzeitig auch eine zweite Neuorientierung: Er verstand sich fortan als Dynamist und Vertreter der antiphlogistischen Chemie. Gren erklärte die metaphysischen Naturlehre, den Dynamismus, in seinem Lehrbuch zur Grundla-

ge der atomistischen (mechanistischen) Sichtweise: „Ich habe [...] ganz auf Kants metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft gebaut.“⁸⁴

Bemerkenswerterweise brachte Gren dann aber keine konkrete Anwendung mit dem dynamischen System in Verbindung, sondern beschränkte sich lediglich darauf, ganz allgemein in der metaphysischen Naturlehre die Grundlage aller beobachteten Naturphänomene zu sehen.

Trotz seiner Hinwendung zum Kant'schen Dynamismus akzeptierte Gren weiterhin den materiellen, imponderablen Wärmestoff im Lavoisier'schen Sinne – allerdings mit kleinen Modifikationen: Betrachtete er zuvor Phlogiston aus Wärme- und Lichtstoff zusammengesetzt, so vermutete er nun das Licht als aus Brennstoff (Phlogiston) und Wärmestoff bestehend. Bemerkenswerterweise war aber offenbar inzwischen der Begriff Phlogiston selbst zum Problem geworden:

Freilich sollte ich mich fürchten, diesen Nahmen [Phlogiston] zu brauchen, da er für gewisse Leute schon ganz allein ein hinreichender Grund seyn könnte, über mein ganzes Buch das Urtheil der Verwerfung auszusprechen. Aber das Urtheil solcher Leute, die sich durch bloße Autoritäten bestimmen lassen, wie ein Ketzergericht, das kümmert mich nicht.⁸⁵

Auf die Immaterialitäts-Vorstellung für den Wärmestoff von Scherer ging Gren nur beiläufig – und sehr abfällig – ein:

Ich habe es nicht für nöthig erachtet, auf das, was Herr Scherer neuerlich gegen das Dasein eines materiellen Wärmestoffs vorgebracht hat, Rücksicht zu nehmen. Ein gewisser Grad von Scepticismus ist zwar der Wissenschaft vortheilhaft; aber der Pyrrhonismus⁸⁶ ist der Tod aller wahren Naturforschung.⁸⁷

Gren starb 1798, das Phlogiston war bis zu seinem Tode noch nicht ganz von der Welt verschwunden.

Scherer war trotz seiner Sicht zur Materialität des Wärmestoffs ein äußerst engagierter Kämpfer für die antiphlogistische Chemie. Im ersten Heft seiner ab 1798 herausgegebenen Zeitschrift „Allgemeines Journal für Chemie“ findet sich als erster Beitrag ein Artikel von Rumford mit dem Titel „Untersuchung über den Ursprung der durch Friction bewirkten Wärme“.⁸⁸ Scherer fügte diesem Artikel einen Nachtrag an, ein „Wort zu seiner Zeit“, in welchem er auf die kritischen Rezeptionen seiner „Nachträge zu den Grundzügen der neuen chemischen Theorie“ einging. Hierbei wurde auch eine äußerst positive Einstellung zur Naturphilosophie Schellings deutlich:

Mit Ruhe ließ ich [...] auch alle diese Communia hingehen, von einem zum Pyrrhonisten, und von einem anderen zum absurden Neologen⁸⁹ mich umtaufen. Den ersten Trost dagegen schöpfte ich aus Hrn. Schellings vortrefflichen Ideen zu einer Philosophie der Natur, der in diesen mit der Fackel der kritischen Philosophie die vorhandenen Erscheinungen erleuchtete.⁹⁰

Scherer und Schelling lehrten 1799–1800 gleichzeitig an der Universität Halle. Die zunächst bestehende Nähe wich später einer kritischen Distanz und offensichtlich großen Enttäuschung. Ernüchert schrieb Scherer 1803 an den Philosophen, Mathematiker und Physiker Jakob Friedrich Fries (1773–1843): „Schelling schafft uns Welten aus einem Nichts durch bloße Potenzen.“⁹¹

1800–1802 gab Scherer noch eine zweite Zeitschrift, das „Archiv für theoretische Chemie“ heraus, in welchem eine intensive Diskussion der Lavoisier’schen Lehre stattfand, Zu den bekannten Autoren seines Archivs zählten u.a. der Arzt, Mesmerist und Naturphilosoph Franz Joseph Schelver (1778–1832) und Humphry Davy. Im ersten Band waren die Seiten 73–155 der Materialität der Wärme gewidmet.⁹² Scherer ging in gewohnter Weise mit seinen Gegnern um:

Mehreren Gegnern des neuen Systems scheint indess die Lehre von dem Wärmestoffe bloß deshalb Grundlehre zu seyn, weil sie das erste Kapitel in Lavoisier’s System ausmacht und weil viele derselben schon zum Polemisieren berechtigt zu sein glauben, ehe sie noch zum Lesen des zweyten Kapitels gelangt sind.⁹³

Scherer führte einleitend aus, dass die Frage der Materialität den eigentlichen Inhalt der Lavoisier’schen Vorstellungen gar nicht tangiere, wie es im Übrigen auch Lavoisier im *Traité* (vgl. 2.3.1.1.) selbst geschrieben hätte.

Scherer blieb bis zum Lebensende umstritten: Der Arzt und Anthropologe Christian Hermann Ludwig Stieda (1837–1918) schloss 1890 die Lebensbeschreibung Scherers für die Allgemeinen Deutschen Biographien in recht bemerkenswerter Form ab:

Wir können uns nicht enthalten, die Schlußworte des oben citirten Nekrologs (Neuer Nek. d. Deutschen 1824, S. 1216) hierher zu setzen: Er [Scherer] hat viel erlernt, weniger ergründet, weil es ihm an Stätigkeit und Beharrlichkeit fehlte; er hat das höchste Ziel seiner Wissenschaft gekannt und vor Augen gehabt, aber sich ihm nie gänzlich genähert, weil ihn so vieles reizte und auch auf Abwege führte, er hat viel gearbeitet, gekämpft, mit Stürmen und Brandungen gerungen, ist aber eigentlich nie in den Hafen eingelaufen und erst mit seinem Tode zur Ruhe gekommen.⁹⁴

Eine Bewertung aus heutiger Sicht würde wohl positiver ausgefallen.

4.3. Der Niedergang der romantischen Naturphilosophie

Mitte des ersten Jahrzehnts des 19. Jahrhunderts verlor die dynamische Theorie zunehmend an Bedeutung. Hermann Kopp (1817–1892) blickte auf sie in seiner 1844 erschienenen Geschichte der Chemie bemerkenswert emotional zurück:⁹⁵

Die chemischen Erscheinungen als eine Folge einer allgemeinen Dynamik anzusehen, fand bald Zustimmung. Unter den Chemikern vom Fach huldigten nur wenige dem dynamischen System. [...] Hervorzuheben ist aber, dass im Allgemeinen unter Denen, die dem dynamischen System beitraten und sich hauptsächlich durch lautes Geschrei bemerklich machten, viele waren, welche von der Wissenschaft, die sie auf dynamische Grundlehren zurückführen wollten, Nichts verstanden, sondern deren Thätigkeit sich darauf beschränkte, mit leerem Namen und allgemeinen, nichtssagenden und deßhalb kaum zu widerlegenden Behauptungen großen Mißbrauch zu treiben.⁹⁶

Erst ca. 50 Jahre später wurde die Bewertung dieser Phase der chemischen Entwicklungsgeschichte nachsichtiger. Wilhelm Ostwald (1853–1932) hielt sogar den Schelling'schen Grundgedanken, dass gleiche Gesetze das geistige Leben und die Außenwelt beherrschen, als Programm für schätzenswert, sah aber das Scheitern in der Unvollkommenheit des menschlichen Intellekts vorgegeben.⁹⁷

5. John Dalton (1766–1844): Atome in einer Wärmeatmosphäre

Die Natur der *substances simples* war von Lavoisier in seinem *Traité* nur diffus angesprochen worden: Der englische Quäker John Dalton postulierte, dass alle chemisch nicht weiter zerlegbaren Stoffe (Lavoisiers *substances simples*) nicht unendlich teilbar und darüber hinaus unzerstörbar seien:

Die chemische Analysis und Synthesis gehen nicht weiter, als auf die Trennung eines Theilchens von dem anderen und auf ihre Vereinigung. Nun liegt aber eine Schöpfung oder Zerstörung der Materie außerhalb der Gränze chemischer Wirksamkeit.⁹⁸

Diese ultimativ kleinstmöglichen Teilchen, die fest und unveränderlich sein sollten, bezeichnete Dalton als *elementary atoms* oder *elements*. Dabei sollte es so viele Elemente wie nicht weiter zerlegbare Stoffarten geben. Die Elementatome sollten sich nach dem von Dalton gefundenen Gesetz der multiplen Proportionen mit anderen Elementatomen zu chemischen Verbindungen gruppieren können. Dalton sah die Atome von einer „Wärmeatmosphäre“ umgeben, die er entsprechend den Aggregatzuständen unterschiedlich ausgedehnt annahm: Gasförmige

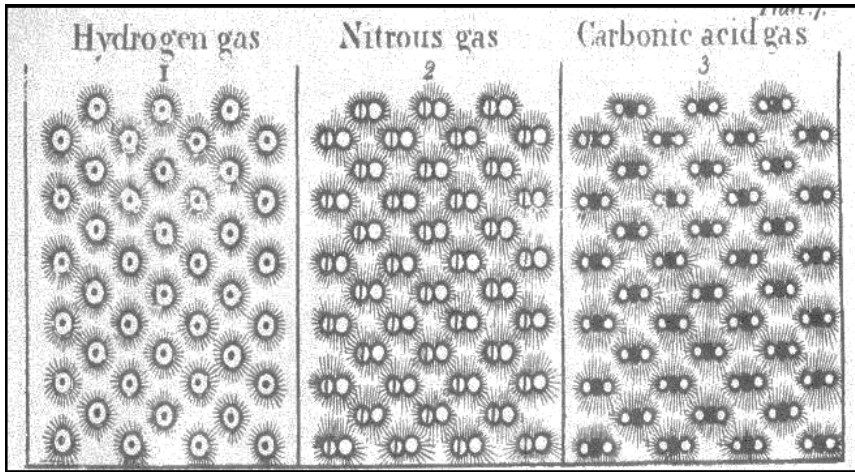


Abb. 11: Wärmeteilchenatmosphären um Wasserstoff, Stickoxid und Kohlendioxid nach Dalton.⁹⁹

Stoffe sollten eine große Atomhülle, flüssige eine mittelgroße und feste Stoffe eine kleine Atomhülle aufweisen.

Hinsichtlich des Wesens der Wärme folgte Dalton dem Lavoisier'schen „Mainstream“ der Chemiker:

Die wahrscheinlichste Meinung über die Natur des Wärmestoffs, ist die: daß er eine elastische Flüssigkeit von großer Feinheit sey, deren Theilchen einander zurückstoßen, während sie von allen übrigen Körpern angezogen werden. [...] Jede Art von Materie hat ihre eigentümliche Verwandtschaft zum Wärmestoff, der gemäß, ein bestimmtes Quantum dieser Flüssigkeit erforderlich ist, um mit anderen Körpern im Gleichgewicht zu stehen.¹⁰⁰

6. Jöns Jakob Berzelius (1779–1848): Vom Wärmestoff zu den Dynamiden

Berzelius stand den Dalton'schen Gedanken zunächst sehr kritisch gegenüber, erkannte diese schließlich doch als Schlüssel zum Verständnis der Chemie. 1818 konnte Berzelius eine in aufwändiger Arbeit erstellte Atomgewichtstabelle der seinerzeit bekannten Elementen präsentieren und damit der Dalton'schen Atomtheorie zum endgültigen Durchbruch verhelfen. In Band 1 der ersten deutschsprachigen Ausgabe seines Lehrbuchs der Chemie von 1821 (Übersetzung: Carl August Blöde, 1773–1820) teilte Berzelius die Körper in einfache, unzerlegte und zusammengesetzte ein. Hinsichtlich des Charakters der Imponderablien war Berzelius sich unsicher: Bis zur vierten, von Friedrich Wöhler (1800–1882)

übersetzten deutschsprachigen Ausgabe des Berzelius'schen Lehrbuchs im Jahre 1835 blieb die folgende Formulierung unverändert.

Unter den einfachen Körpern gibt es eine gewisse Klasse von Stoffen, welchen mehrere Haupteigenschaften der übrigen mangeln, die wir daher mit Unsicherheit zu den eigentlichen materiellen Stoffen rechnen, und die deshalb von Manchen bloß als Eigenschaften derjenigen Körper betrachtet werden, an welchen sie sich in gewissen Fällen vorfinden. Das hauptsächlichste Merkmal ihrer Verschiedenheit ist, dass sie ohne Schwere (imponderabel) sind und für sich selbst keinen wahrnehmbaren Raum einnehmen. Es sind folgende vier: Licht, Wärme, Elektrizität und Magnetismus.¹⁰¹

1820 veröffentlichte Berzelius einen „Versuch über die Theorie der chemischen Proportionen und über die Wirkungen der Elektrizität“, eine Ergänzung zu den Ausführungen in seinem Lehrbuch. Nach dem großen Erfolg seiner elektrochemischen Theorie vermutete Berzelius, dass

die Elektrizität die erste Ursache aller chemischen Wirkungen ist; daß sie die Quelle des Lichts und der Wärme ist, und als solche, unter veränderter Gestalt, als strahlendes Licht und Wärmestoff, den Weltenraum ausfüllt, und endlich, aus noch nicht erforschten Ursachen, bald als Wärmestoff, bald als vertheilte Elektrizität sich darstellt.¹⁰²

In der fünften deutschsprachigen Auflage seines Lehrbuches¹⁰³ (1843, Übersetzung Wöhler) schrieb der 63jährige Berzelius den bisherigen Imponderabilien keinen Materiecharakter mehr zu, sondern bezeichnete Wärme, Licht, Elektrizität und Magnetismus nun als Dynamide¹⁰⁴, „da diese jeder Form entbehren“.¹⁰⁵ In seiner letzten Sicht auf die Wärmethematik und dem Begriff Dynamide war Berzelius letztlich im Vorwort seines Buches dicht an die Kant'schen Kräfte-Vorstellungen gerückt.

Es könnte mir nicht entgehen, dass, wenn mir auch der Höchste Leben und Kräfte zur Vollendung noch dieser Auflage, deren erster Theil nun dem Publikum übergeben wird, vergönnt sollte, diese doch die letzte werden müsse. Aus diesem Grunde glaubte ich sie so umarbeiten zu müssen, dass ich darin die Schluss-Ansichten niederlegen konnte, die sich mir als die wahrscheinlicheren geltend gemacht haben.

Die größte Autorität der chemischen Wissenschaft in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts hatte die Materialhypothese für die Imponderabilien wenige Jahre vor seinem Lebensende aufgegeben.

7. Die leistungsfähige Wärmestoffhypothese der Chemiker und neue Argumente der Physiker dagegen

Die Situation war paradox: Die Chemiker hatten mit ihrer Wärmestoffhypothese eine Vorstellung, die die thermochemischen Effekte weitestgehend gut beschrieb und sogar in Formeln gefasst werden konnte. Aber gleichzeitig wusste man auch, dass diese Vorstellungen wohl nicht ganz richtig sein konnten. Die Befunde der Physiker, die gegen eine Wärmestofftheorie sprachen, wurden immer unabweisbarer. Aber daraus ließ sich wiederum keine Theorie ableiten, die den Anforderungen der Chemiker gerecht werden konnte und mit der diese arbeiten konnten. Eine Möglichkeit war der Verzicht auf konkrete Modellvorstellungen: Jean Baptiste Joseph Fourier (1768–1830) beschränkte sich in seinem 1822 erschienenen Buch *Théorie analytique de la chaleur* auf die mathematische Formulierung zur numerischen Bestimmung von Wärmeflüssen, „ohne Rückgriff auf Hypothesen über verborgene Eigenschaften einer hypothetischen Substanz wie des von vielen angenommenen caloricums“.¹⁰⁶

Die Existenz der zweiten hypothetisch-materiellen Lavoisier'sche Imponderabilie *lumière* galt aufgrund der Arbeiten von Thomas Young (1773–1829) und Augustin Jean Fresnel (1788–1827) zur Interferenz mittlerweile als widerlegt.¹⁰⁷ Es wurden zunehmend Analogien zwischen Licht und Wärme gefunden: Bereits 1800 hatte der deutsch-englische Astronom Friedrich Wilhelm Herschel (1738–1822) die Infrarotstrahlung bei der spektroskopischen Zerlegung des Sonnenlichts beobachtet. Der Chemiker und Physiker André-Marie Ampère (1775–1836) vermutete 1834: „die Wärme [besteht] in Schwingungen des Aethers, welche sich dadurch von denen des Lichtes unterscheiden, dass sie längere Wellen erzeugen und also langsamer sind.“¹⁰⁸

Im Zeitraum von 1835–1842 konnten der Schotte James David Forbes (1809–1868) und der Italiener Macedonio Melloni (1798–1854) auch experimentell nachweisen, dass Wärmestrahlung und Licht identische Reflexions-, Brechungs- und Polarisations-eigenschaften aufweisen.¹⁰⁹ Damit war die sogenannte „strahlende Wärme“ vom Lager der Chemie in das Lager der Physik gewechselt. Dennoch hielt man seitens der Chemiker weiterhin am Wärmestoff fest, da nur dieser Phänomene wie die latente Wärme zu erklären schien und überdies den mehr stofflichen Anschauungsbedürfnissen der Chemiker entsprach.

Die meisten Lehrbüchern bis etwa zur Mitte des 19. Jahrhunderts wiesen darauf hin, dass noch nicht abschließend geklärt sei, ob es einen imponderablen Wärmestoff gebe oder Wärme ein Bewegungszustand der Materie sei.¹¹⁰ Teilweise hielt man sogar weiter die Wärmeteilchen-Theorie für wahrscheinlicher.¹¹¹ Ganz

langsam verschwand der Wärmestoff danach aus der Fachliteratur: Das Thema Wärme wurde zunehmend phänomenologisch abgehandelt, Wärme wurde etwas diffus als Naturkraft angenommen.¹¹²

Mit der Postulierung des Prinzips der Erhaltung der Energie im Jahre 1842 durch den Arzt Julius Robert Mayer (1814–1878)¹¹³, dessen Definition des mechanischen Wärmeäquivalents und den späteren Arbeiten von Hermann von Helmholtz (1821–1894) und James Prescott Joule (1818–1889) wurde die Hypothese von einem imponderablen Wärmestoff dann endgültig überwunden. Es galt nun als bewiesen, dass Wärme unendlich durch Arbeit generiert werden kann, dies ließ sich mit der Vorstellung eines materiellen, nur endlich verfügbaren Wärmestoffs nicht mehr vereinbaren. In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts entwickelte sich die chemische Thermodynamik und führte zum Verständnis für den Einfluss der Wärme bei chemischen Reaktionen.

8. Das stille Ende der Kontroverse

Die Kontroverse Substanz/Akzidenz war entschieden, der Wärmestoff war wie das Phlogiston eine für die Arbeit der Chemiker hervorragend geeignete, aber leider nichtzutreffende Hypothese.

Lavoisier und Laplace hatten in ihrer 1780 in den *Mémoires de l'Académie des sciences* vorgelegten Arbeit *Mémoire sur la chaleur* seinerzeit keine Entscheidung zugunsten einer der beiden Hypothesen „Wärmestoff“ oder „lebendige Kraft“ treffen wollen und können. Mit ihren Vorstellungen von der Erhaltung der wirkenden „lebendigen Kraft“ – nur durch den Faktor $\frac{1}{2}$ von der kinetischen Energie getrennt – kam Lavoisier den heutigen Vorstellungen bereits sehr nahe. In der vierten Auflage seiner „Entwicklungsgeschichte der Chemie“ schrieb Albert Ladenburg (1842–1911): „Wir finden ihn [Lavoisier] hier vollständig in Übereinstimmung mit den Grundsätzen der mechanischen Wärmetheorie.“¹¹⁴

Lavoisier hatte in seinem *Traité* den materiellen Wärmestoff als Arbeitshypothese favorisiert, aber auch dort explizit die akzidentielle Sicht nicht ausgeschlossen, die die nach dem Tode von Lavoisier durchgeführten Rumford'sche Versuche nahelegten.

Vielleicht hätte es die Kontroverse um die Natur des Wärmestoffs gar nicht gegeben, wenn Lavoisier die Rumford'schen Versuche noch kennengelernt und bewertet hätte. Die hohe Autorität Lavoisiers war einer der Gründe für die Akzeptanz seiner *calorique*-Hypothese. Ihm selbst wäre der objektive Blick nicht durch seine eigene Autorität verstellt worden.

Summary

In 1786 the dissertation of Franz Xaver Baader (1765–1841) was published in which he surveyed the status of knowledge of his time concerning the heat. The scientific community was split: Is heat substance or essence, material or a quality of materials? Most of the chemists supported the material hypothesis, most physicists considered a vibrational theory to be correct, accordingly heat should be a non-material property. With his caloric theory Antoine Laurent de Lavoisier (1743–1794) presented a concept in which heat (caloric) and light considered to be imponderables: material weightless substances, which should be exchanged between chemical bodies or released within chemical reactions. The caloric theory was widely accepted and became a scientific paradigm. In 1798 Benjamin Thompson (1753–1814), the later count Rumford, observed that unlimited frictional heat could be generated by boring cannons at the arsenal in Munich. His conclusion that this observation was disproving Lavoisier's caloric theory was widely refused. Around 1800 the nature of heat was a major item in the scientific discussion, at which the German romantic natural philosophers were strongly involved. At the beginning of the 19th century due to scientific findings increasingly it became evident that the caloric theory could not be correct. The dilemma was, that the caloric theory could explain satisfactorily the thermochemical observations whereas the vibration theory not yet was able to explain anything. Until mid of the 19th century the caloric theory and the vibrational theory co-existed. With the discovery of the mechanical equivalent of heat by Julius Robert Mayer (1814–1878) and James Prescott Joule (1818–1889) the caloric theory finally was overcome.

Anmerkungen

¹ Prinzipien-Lehre: Vorstellung, dass Stoffe aus Urstoffen (Prinzipien) mit bestimmten Eigenschaften zusammengesetzt sind und diese in zusammengesetzten Körpern, den Stoffen, gemäß der jeweiligen Mengenverhältnisse auf jene übertragen, z. B. 4-Elementenlehre des Empedokles (ca. 495–435 v. Chr.).

² Korpuskular-Lehre: Lehre vom korpuskularen Aufbau der Materie (z. B. Demokrit, ca. 460–370 v. Chr.).

³ Plenismus: Lehre von der Nichtexistenz eines Vakuums: (z. B. bei René Descartes, 1596–1650); Vakuumismus: Lehre von der Existenz eines Vakuums (z. B. bei Epikur, 341–271 v. Chr.).

⁴ Dualistische Weltenmodelle: Phänomene und Vorgänge in der Welt werden auf das gemeinsame Wirken zweier voneinander unabhängiger Ursachen zurückgeführt. (z. B. Materie und „Impuls“ bei Descartes); Monistische Weltenmodelle: Alle Phänomene und Vorgänge in der Welt werden auf eine einzige gemeinsame Ursache zurückgeführt (z. B. Mechanizismus bei Julien Offray de la Mettrie, 1707–1751).

⁵ Franz Xaver Baader, *Vom Wärmestoff, seiner feinen Vertheilung, Bindung und Entbindung, vorzüglich beim Brennen der Körper* (Wien und Leipzig 1786).

⁶ Ephemere von altgriechisch *ephemeros* – „flüchtig, vergänglich“: nur kurz bestehend.

⁷ Baader, *Wärmestoff*, Vorbemerkung.

⁸ Lichtenberg online: <http://www.lichtenberg.uni-goettingen.de/seiten/view/200807> [Zugriff 11.08.2017, 12:09h]

⁹ Lorenz Friedrich von Crell, „Anzeige chemischer Schriften: vom Wärmestoff, seiner Vertheilung, Bindung und Entbindung vorzüglich bey dem Brennen: eine Probeschrift von Franz Xaver Baader“, *Chemische Annalen für die Freunde der Naturlehre, Aerzneygelahrtheit*, 1787 (2), S. 85–87. Ob Baader dieser Hoffnung aus heutiger naturwissenschaftlicher Sicht entsprach, ist allerdings fraglich: Baader ist heute vorwiegend als herausragender Vertreter der theosophisch-naturphilosophischen Denkschule bekannt. U. a. beschäftigte er sich auch mit Siderismus (Rutengehen).

¹⁰ Baader, *Wärmestoff*, S. 5.

¹¹ Baader, *Wärmestoff*.

¹² de.wikipedia.org/wiki/Franz_von_Baader#/media/File:Franz_Xaver_von_Baader.jpg [Zugriff: 18.11.2020, 18:00h]

¹³ Baader führt aus, dass die Peripatetiker Wärme als Qualität angesehen haben, Aristoteles dagegen von Feuertheilchen, einem materiellen Stoff. Baader, *Wärmestoff*, S. 4.

¹⁴ Ebd., S. 6.

¹⁵ Der Begriff Elementarfeuer soll ausdrücken, dass der Feuerstoff ein wahres Element ist. Ebd., S. 6.

¹⁶ Johann Carl Fischer, *Physikalisches Wörterbuch, 5. Teil Tag–Z* (Göttingen 1804), S. 343.

¹⁷ Menstruum: Lösungsmittel. Nach Boerhaave von lat. menstruum [Monat], da man die Auflösung der Stoffe bei niedriger Temperatur durchführte, Lösungszeiten von einem Monat waren üblich. Quelle: Hermann Kopp, *Geschichte der Chemie*, 2 (Braunschweig 1844) S. 241f.

¹⁸ Adair Crawford, *Versuche und Beobachtungen über die Wärme der Thiere und die Entzündung verbrennlicher Körper* (Leipzig 1789); Johann Samuel Gehler, *Physikalisches Wörterbuch oder Versuch einer Erklärung der vornehmsten Begriffe und Kunstwörter der Naturlehre, Zweyter Teil von Erd bis Lin* (Leipzig 1789), S.218–225; Ders., *Physikalisches Wörterbuch, zehnter Band We–Wae* (Leipzig 1841), S. 66–68.

¹⁹ Baader, *Wärmestoff*, S. 10.

²⁰ Ebd., S. 4–13.

²¹ Joseph Black, *Lectures on the Elements of Chemistry – published from the Manuscript by J. Robison*, 1 (Edinburgh, 1803) S. 32.

²² *The Posthumous Works of Robert Hooke* (London 1705), S. 116.

²³ Baader, *Wärmestoff*, S. 12.

²⁴ Der schottische Chemiker Joseph Black hatte bereits vor Lavoisier eine Theorie der latenten Wärme entwickelt.

²⁵ Black, *Lectures*, S. 32.

²⁶ Baader, *Wärmestoff*, S. 21.

²⁷ Hans Graßl, „Baader, Franz von“, *Neue Deutsche Biographie*, 1 (1953), S. 474–476 [Online-Version], URL: <https://www.deutsche-biographie.de/gnd118505378.html#ndbcontent> [Zugriff: 16.08.2017 14:30h].

²⁸ Franz Xaver Baader, *Über das pythagoräische Quadrat der Natur oder die vier Weltgegenden* (Tübingen 1798), S. VII.

²⁹ Antoine Laurent Lavoisier, Pierre-Simon Laplace, „De la combinaison de la matière du feu avec les fluides élastiques aéroformes (1777)“, *Oeuvre de Lavoisier, Tome 2, publié par les soins de son Excellence le Ministre de l’instruction publique et les cults* (Paris 1862), S. 212–224 (Dt. Text: Übersetzung des Autors).

³⁰ Antoine Laurent Lavoisier, Pierre-Simon Laplace, „Mémoire sur la chaleur“, *Oeuvre de Lavoisier, Tome 2*, S. 283–333.

³¹ Ebd., S. 284–299.

³² Antoine Laurent Lavoisier, *Traité élémentaire de chimie, Tome second* (Paris chez Deterville 1801) planche VI.

³³ Lavoisier, Laplace, „Mémoire“, S. 286, (Dt. Text : Übersetzung des Autors).

³⁴ Ebd.

³⁵ Bernard Valeur, „Lavoisier et la Naissance de la Thermochimie“, *Quimica* 55 (1994), S. 12–16.

³⁶ Antoine Laurent Lavoisier, „Réflexions sur le phlogistique, pour servir de développement à la théorie de la combustion et de la calcination publiée 1777“, vorgetragen 1783, veröffentlicht: *Histoire de l’Académie Royale des Sciences avec les Mémoires de Mathématique et de Physique de la même année 1786*, S. 505–538.

³⁷ Ebd., S. 505.

³⁸ De Morveau, Lavoisier, Bertholet, de Foucroy, *Methode der chemischen Nomenklatur* (Wien 1793), S. 93, (Übersetzung aus dem Französischen von Karl Freiherrn von Meidinger).

³⁹ Ebd. Lavoisier hatte bereits 1777 in seinem Vortrag vor der Académie eine Wärmematerie postuliert und diese seinerzeit als feurige Flüssigkeit (*fluide igne*) bezeichnet. Quelle: Anton Lorenz Lavoisier, *System der antiphlogistischen Chemie*, aus dem Französischen übersetzt von D. Sigismund Friedrich Hermbstädt (Berlin, Stettin 1792), S. 34.

⁴⁰ Lavoisier, *Traité élémentaire de chimie, Tome premier* (Paris chez Cuchez 1789), S. 192.

⁴¹ Lavoisier, *System*, S. 34.

⁴² Mineral-, Pflanzen- und Tierreich.

⁴³ Lavoisier, *System*, S. 221.

⁴⁴ Lavoisier, *Traité, Tome premier* (Paris chez Deterville 1801), S. 192.

⁴⁵ Kapitel „des combinaisons du Calorique et de la Formations des Fluides élastiques aéroformes“.

⁴⁶ Lavoisier, *System*, S. 40f.

⁴⁷ Ebd., S. 228.

⁴⁸ Ebd., S. 239

⁴⁹ *Molécule* wird bei Lavoisier im Sinne von „kleinem Teilchen“ verwendet. Lavoisier spricht im *Traité* auch von *molécules du calorique*.

⁵⁰ Lavoisier, *System*, S. 24f.

⁵¹ Ebd., S. 25f.

⁵² Antoine Laurent de Lavoisier, *Oeuvre de Lavoisier, Tome 2*, S. 616.

⁵³ In der Hermbstädschen Übersetzung des *Traité* übersetzt dieser *provisoirement* mit „sorgfältigerweise“ und übergeht damit die Lavoisier'sche Intention des vorläufigen Charakters der Zuordnung des *lumière* zu den *substances simples*.

⁵⁴ Lavoisier, *Traité, Tome premier* (Paris Cuchez), S. 201f. (Übersetzung des Autors).

⁵⁵ Ebd.

⁵⁶ fl. (lat. floruit – blühte): Höhepunkt ihres Schaffens. Die Lebensdaten der wahrscheinlich schottischen Verfasserin Elizabeth Fulhame sind nicht bekannt. Ihre bekannte Schaffensperiode war in den Jahren 1780–1794.

⁵⁷ Elizabeth Fulhame, *Versuche über die Wiederherstellung der Metalle* (Göttingen 1798), S. 3.

⁵⁸ Heinrich Friedrich Link, „Anhang des Übersetzers“, *Herrn Lavoisiers, die physikalisch-chemischen Schriften Theil 5* (Greifswald, 1794), S. 227.

⁵⁹ Johann Carl Fischer, *Physikalisches Wörterbuch oder Erklärung der vornehmsten zur Physik gehörigen Begriffe und Kunstwörter A–E* (Göttingen 1798), S. 558–559

⁶⁰ Benjamin Count of Rumford, „An inquiry concerning the source of the heat which is excited by friction“, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 88 (1798), S. 80–103. Quelle für Abb. 7: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Benjamin_Thompson.jpg [Zugriff 19.11.2020, 19:00h].

⁶¹ Ebd. S. 99

⁶² Ebd., S. 103.

⁶³ Johann Georg Krünitz's *ökonomisch-technologische Encyclopädie*, 232. *Theil Waadt—Waidküpe* (Berlin 1856), S. 156f.

⁶⁴ Johann Carl Fischer, *Geschichte der Physik seit Wiederherstellung der Künste und Wissenschaften bis auf die neuesten Zeiten*, 7 (Göttingen, 1806), S. 588; Humphry Davy, *Chemical Philosophy, Part 1, Volume 1* (Philadelphia 1812), S. 45. Davy wurde nachgesagt, den Phlogismus wiederbeleben zu wollen, da er einige Irrtümer bei Lavoisier aufgezeigt hatte. Davy stand den Dynamisten nahe und veröffentlichte auch im „Allgemeinen Journal der Chemie“ von Alexander Nicolaus Scherer.

⁶⁵ *Abhandlungen über die Wärme: Benj. Grafen von Rumford kleine Schriften politischen, ökonomischen und philosophischen Inhalts*, 4 (Weimar 1805), S. 28.

⁶⁶ Georg Christoph Lichtenberg, *Gesammelte Schriften – Historisch-kritische und kommentierte Ausgabe*, 2, S. 483 [www.lichtenberg.uni-goettingen.de/seiten/open/2/483]. Lichtenberg neigte zur Vorstellung, dass Wärme Substanzcharakter habe (<http://www.lichtenberg.uni-goettingen.de/seiten/view/200730#seiten/view/200727.ajax> [Zugriff 25.10.2016 18:00h]).

⁶⁷ Dynamismus (von altgriechisch *dýnamis*: Kraft), Lehre, nach der alle Wirklichkeit auf Kräfte und deren Wirkungen zurückgeführt werden kann.

⁶⁸ Roberta Maria Menéndez Fontenla, *Johann Heinrich Lamberts Cosmologische Briefe – eine Wissenschaftliche Untersuchung* (Dissertation Universität Bremen 2006), S. 199 (<http://elib.suub.uni-bremen.de/diss/docs/00010705.pdf> [Zugriff 26.05.2016 17:20h]).

⁶⁹ Klaus Stein, *Naturphilosophie in der Frühromantik* (Paderborn 2004), S. 27.

- ⁷⁰ Hermann Kopp, *Geschichte der Chemie*, 2 (Braunschweig 1844), S. 325.
- ⁷¹ Max Apel, Peter Christian Ludz, *Philosophisches Wörterbuch* (Berlin, New York 1976), S. 139.
- ⁷² Spekulativ ist in diesem Zusammenhange nicht negativ belegt, sondern bedeutet, gedanklich jenseits der Erfahrung zu einer Erkenntnis zu gelangen. (Quelle: *Philosoph. Wörterbuch*, 16, Auflage (Stuttgart 1961), S. 545).
- ⁷³ Klaus Stein, *Naturphilosophie*, S. 12.
- ⁷⁴ Gunter Lind, *Physik im Lehrbuch 1700–1850: Zur Geschichte der Physik und ihrer Didaktik* (Springer, Berlin etc. 1992), S. 267.
- ⁷⁵ Friedrich Albrecht Carl Gren, *Grundriß der Naturlehre* (Halle, 1793), S. 246. Quelle Abb. 9: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gren_portait_by_Beyel_1796.jpg [Zugriff 19.11.2020, 19:00h].
- ⁷⁶ Ders., „Bemerkungen über Phlogiston“, *Beyträge zu den chemischen Annalen*, 2 (1787), S. 53–62.
- ⁷⁷ Alexander Nicolaus Scherer, *Nachträge zu den Grundzügen der neuern chemischen Theorie* (Jena 1796), S. 179–185. Quelle Abb. 10: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Alexander_Nicolaus_Scherer.jpg [Zugriff 19.11.2020, 19:00h].
- ⁷⁸ Ebd., Vorerinnerung S. 7.
- ⁷⁹ Ebd., S. 182.
- ⁸⁰ Kay Hermann, *Mathematische Naturphilosophie in der Grundlagendiskussion: Jakob Friedrich Fries und die Wissenschaften* (Göttingen 2000), S. 19, 191.
- ⁸¹ Scherer, *Nachträge*, S. 184.
- ⁸² *Neue Allgemeine deutsche Bibliothek*, 32 (1797) S. 316–320.
- ⁸³ Gren, *Grundriß*, S. XIII.
- ⁸⁴ Ebd., S. VII.
- ⁸⁵ Ebd., S. 545.
- ⁸⁶ Pyrrhonismus, eine auf Pyrrhon von Elis (ca. 362 v. Chr.–275/270 v. Chr.) zurückgehende Richtung der Philosophie, die den Zweifel zum Prinzip des Denkens erhebt, und die Möglichkeit einer Erkenntnis der Wirklichkeit u. der Wahrheit infrage stellt.
- ⁸⁷ Gren, *Grundriß*, S. XII.
- ⁸⁸ Graf Benjamin von Rumford, „Untersuchung über den Ursprung der durch Friction bewirkten Wärme“, *Allgemeines Journal für Chemie*, 1(1) (1798), S. 9–31, http://zs.thulb.uni-jena.de/receive/jportal_jpvolume_00096081 [Zugriff 24.07.2016 15:00h].
- ⁸⁹ Abgeleitet von Neologie (griech. neue Lehre), Verkünder einer neuen Lehre, Spracherneuerer.
- ⁹⁰ Alexander Nicolaus Scherer, „Nachtrag zum Artikel von Graf Benjamin von Rumford, Untersuchung über den Ursprung der durch Friction bewirkten Wärme“, *Allgemeines Journal für Chemie*, 1(1) (1798) S. 33.
- ⁹¹ Hermann, *Naturphilosophie*, S. 218.
- ⁹² Alexander Nicolaus Scherer, „Untersuchungen über die Lehre von dem Wärmestoffe“, *Archiv für theoretische Chemie*, 1 (1800), S. 71–155, http://zs.thulb.uni-je-na.de/rsc/viewer/jportal_private_00163290/AfdtC_1800_Bd01_%200001.tif?logicalDiv=jportal_jpvolume_00066440 [Zugriff 22.08.2017 15:00h].
- ⁹³ Ebd., S. 73.

- ⁹⁴ Stieda, Ludwig, „Scherer, Alexander Nicolaus“, *Allgemeine Deutsche Biographie*, 31 (1890), S. 99–102, [Onlinefassung]; URL: <https://www.deutsche-biographie.de/gnd117218545.html#adbcontent> [Zugriff 25.07.2016 10:30h].
- ⁹⁵ Es sei angemerkt, dass Vertreter der romantischen Naturphilosophie wie Johann Wilhelm Ritter (1776–1810) und Hans Christian Ørsted (1777–1851) durchaus wichtige Beiträge zum wissenschaftlichen Fortschritt leisteten.
- ⁹⁶ Kopp, *Geschichte*, 2, S. 324–326.
- ⁹⁷ Wilhelm Ostwald, *Vorlesungen über die Naturphilosophie* (Leipzig 1902), S. 6.
- ⁹⁸ John Dalton, *New System of Chemical Philosophy* (Manchester 1808), S. 212; Deutsche Übersetzung: John Dalton, *Ein neues System des chemischen Theils der Naturwissenschaft*, aus dem Englischen übersetzt von Friedrich Wolff (Berlin 1812), S. 236.
- ⁹⁹ John Dalton, *New System*, Plate 7.
- ¹⁰⁰ John Dalton, *neues System*, S. 1.
- ¹⁰¹ Jöns Jacob Berzelius, *Lehrbuch der Chemie*, 1 (Reutlingen 1821), S. 6.
- ¹⁰² Jöns Jacob Berzelius, *Versuch über die Theorie der chemischen Proportionen und über die Wirkungen der Elektrizität* (Dresden 1820), S. 97.
- ¹⁰³ Jöns Jacob Berzelius, *Lehrbuch der Chemie*, 1 (Dresden, Leipzig 1843), S. 30.
- ¹⁰⁴ Der von Berzelius geprägte Begriff Dynamide konnte sich nicht durchsetzen. Er wurde zudem in vielfacher Weise mit unterschiedlicher Bedeutung, z. B. von Karl Reichenbach (1788–1869), Joseph Redtenbacher (1810–1870) und Philipp Lenard (1862–1947) verwendet.
- ¹⁰⁵ Otto Wallach, *Briefwechsel zwischen J. Berzelius und F. Wöhler* (Leipzig 1901), S. 337.
- ¹⁰⁶ Klaus Fischer, „Braucht die Wissenschaft eine Theorie?“, *Journal for General Philosophy of Science*, 26 (1995), S. 227–257, https://www.researchgate.net/profile/Klaus_Fischer5/publication/226165489_Braucht_die_Wissenschaft_eine_Theorie/links/5668649508ae9da364b99b76/Braucht-die-Wissenschaft-eine-Theorie.pdf [Zugriff 07.06.2017 12:30h].
- ¹⁰⁷ *Allgemeine Enzyklopädie der Wissenschaften und Künste, zweyte Section, 16. Teil JETA–INDICTEMENT* (Leipzig 1839), S. 354.
- ¹⁰⁸ Wilhelm Eisenlohr, *Lehrbuch der Physik* (Mannheim 1841), S. 360; O. A., „Ideen des Hrn. Ampère über Wärme und Licht“, *Annalen der Physik und Chemie*, XXVI (1832), S. 161–170.
- ¹⁰⁹ Klaus Hentschler, „Macedonio Melloni über die strahlende Wärme“, *N.T.M. Zeitschrift für Geschichte der Wissenschaften, Technik und Medizin*, 13 (2005), S. 216–237, http://www.academia.edu/20607069/Macedonio_Melloni_%C3%BCber_strahlende_W%C3%A4rme [Zugriff 02.11.2016 10:00h].
- ¹¹⁰ Georg C. Wittstein, *Etymologisch-chemisches Handwörterbuch, erster Band A–L* (München 1847), S. 703.
- ¹¹¹ Johann Samuel Gehler, *Physikalisches Wörterbuch We–Wae*, 10, S. 96.
- ¹¹² Z. B. bei Julius Adolph Stöckhardt, *Schule der Chemie* (Braunschweig, Auflagen 1846–1876).
- ¹¹³ Julius Robert Mayer, „Bemerkungen über die Kräfte der unbelebten Natur“, *Annalen der Chemie und Pharmazie*, 42 (1842), S. 233–240; ab 1867 Julius Robert von Mayer.

¹¹⁴ Albert Ladenburg, *Vorträge über die Entwicklungsgeschichte der Chemie*, 4. Auflage (Wiesbaden, 1907), S. 28.

Klaus-D. Röker
Schuhmachersweg 11
30826 Garbsen
roeker@t-online.de