

Der „Chemische Lebensprozeß“ gerät in den Blick der Chemiker: Die Anfänge der Physiologischen Chemie

Prof. Dr. Johannes Büttner, Wilhelm-Dusche-Weg 12, 30916 Isernhagen,
<joh.buettner@t-online.de>

Seit der frühen Neuzeit haben Alchemisten und Apotheker pflanzliche und tierische Materialien untersucht, um wirksame Arzneimittel zu finden. Die Chemie dieser Stoffe war unbekannt, so dass man sie zunächst nur nach ihrer Herkunft klassifizieren konnte.

Im 17. Jahrhundert wurde eine Einteilung der pflanzlichen, tierischen und mineralischen Stoffe in „Drei Reiche“ üblich.¹ Ein allegorisches Bild aus dem Jahre 1677 illustriert das.²



Abb. 1: Drei Reiche der Stoffe in der Natur (Allegorie)

Die Einteilung in die „3 Reiche“ blieb bis hin zu Jöns Jacob Berzelius (1779-1848) in Gebrauch.

Im 16. Jahrhundert hatte Paracelsus (Theophrastus Bombastus von Hohenheim (1493-1541)) versucht, physiologische Vorgänge und Krankheitsprozesse „chemisch“ zu erklären. Auch Jean Baptiste van Helmont (1577-1644) und Franciscus de le Boe Sylvius (1614-1672) hatten Vorstellungen hierzu entwickelt. Einen brauchbaren Zugang zu einer „Chemie des Lebens“ hatte man damit aber noch nicht gewonnen.

Zunächst mussten für die Erforschung des „Chemischen Lebensprozesses“ zwei wichtige Voraussetzungen erfüllt sein. Um die Stoffe aus der Tier- und Pflanzenwelt chemisch charakterisieren zu können, war es erforderlich, sie zu isolieren und zu reinigen. Und es war notwendig, für eine Chemie der Lebensvorgänge ein tragfähiges theoretisches Konzept zu entwickeln. Man hatte sich zunächst damit geholfen, für chemische Vorgänge in lebenden Organismen eine „Lebenskraft“ anzunehmen, die in nicht bekannter Weise die Regeln der aus der anorganischen Chemie bekannten Affinitätslehre³ außer Kraft setzt.⁴

Bemühungen um die Gewinnung reiner Stoffe aus dem Tier- und Pflanzenreich

Für eine genauere chemische Untersuchung pflanzlicher und tierischer Materialien war die Isolierung der zum Teil empfindlichen Stoffe erforderlich. Versuche im 17. Jahrhundert, durch trockne Destillation – dem damals wichtigsten Zerlegungsverfahren – reine Stoffe zu gewinnen, schlugen fehl.^{5/6}

Erst durch die Entwicklung neuer Verfahren, wie Extraktion mit Lösungsmitteln, Fällung und Kristallisation, gelang es in der 2. Hälfte des 18. Jahrhunderts Chemikern wie Carl Wilhelm Scheele (1742-1786) und Antoine François Fourcroy (1755-1809), reine Stoffe zu isolieren.⁷ Bald setzte eine systematische Suche nach definierten Verbindungen in biologischen Materialien ein.

Wachsendes Verständnis der Chemie organischer Verbindungen

Lavoisier⁸ gelang es 1789, eine quantitative Elementaranalyse organischer Stoffe durchzuführen.⁹ Er fand, daß die untersuchten Verbindungen nur Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff enthielten.

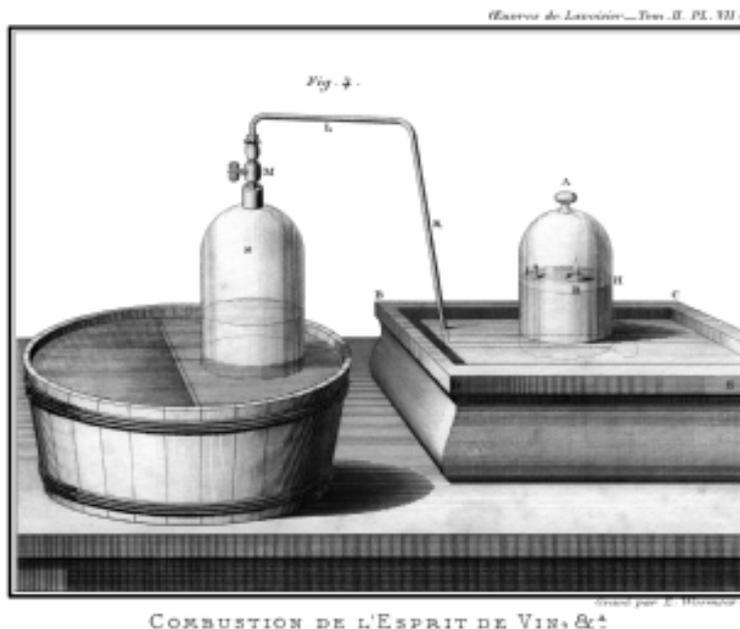


Abb. 2: Lavoisiers Gerät zur Elementaranalyse

Claude Louis Berthollet (1748-1822) zeigte kurz darauf, dass Stoffe aus dem Tierreich auch Stickstoff enthalten.¹⁰ Damit war erstmals eine exakte Charakterisierung „organischer Verbindungen“ möglich geworden. Das Verfahren der „Elementaranalyse“ wurde später bekanntlich von Joseph-Louis Gay-Lussac (1778-1850) und Louis Jaques Thenard (1777-1857), Berzelius, William Prout (1785-1850) und Justus Liebig (1803-1873) zur Reife entwickelt.

Wesentliche Beiträge zum Verständnis organischer Verbindungen lieferte Berzelius zu Beginn des 19. Jahrhunderts. Er konnte in jahrelanger Arbeit zeigen, daß das Gesetz definiter Proportionen nicht nur bei anorganischen sondern auch bei organischen Verbindungen gültig ist.¹¹ Sein Nachweis der Stöchiometrie bei organischen Verbindungen war von großer prinzipieller Bedeutung. Das Problem unterschiedlicher organischer Stoffe mit gleicher Elementarzusammensetzung, das die Chemiker in den 20er und 30er Jahren des 19. Jahrhunderts bewegte, konnte Berzelius durch sein Konzept der Isomerie erfolgreich lösen.^{12/13}

Auf die umfangreichen experimentellen Arbeiten zur Organischen Chemie, die sich daran anschlossen, kann hier nicht näher eingegangen werden. Wir wollen uns stattdessen der Erforschung des „Chemischen Lebensprozesses“ selbst zuwenden und damit die Anfänge der Physiologischen Chemie beleuchten.

Chemische Untersuchung physiologischer Prozesse

Kenntnisse der Chemie der in der belebten Welt vorkommenden Stoffe sind notwendig aber nicht hinreichend für eine „Chemie des Lebens“. Vielmehr müssen auch die chemischen Vorgänge im lebenden Organismus untersucht und verstanden werden.

Der Durchbruch zu einer „Chemie des Lebensprozesses“ gelang vor allem Antoine Laurent Lavoisier (1743-1794) mit seinen experimentellen Arbeiten, die ihn ab 1783 zur Entwicklung der „Antiphlogistischen Chemie“ führten. Damit wurde auch der Zugang zur chemischen Bearbeitung der Lebensvorgänge geöffnet.¹⁴

Von entscheidender Bedeutung für die Physiologische Chemie sind Experimente gewesen, die Lavoisier in vivo, d.h. an lebenden Tieren und Menschen ausgeführt hat. Er begann 1777 mit der quantitativen Untersuchung des Zusammenhanges zwischen dem Sauerstoffverbrauch und der Bildung von Kohlendioxid bei einem Versuchstier unter einer Glasglocke.¹⁵

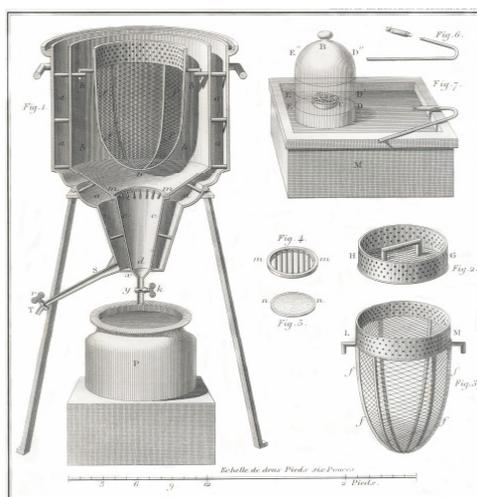


Abb. 3: Eis-Kalorimeter von Laplace und Lavoisier 1780

1780 hat er dann zusammen mit Pierre-Simon Laplace (1749-1827) die physiologische Wärmebildung in ihrem Zusammenhang mit der Bildung von Kohlendioxid quantitativ untersucht. Er bediente sich dabei eines von Laplace entwickelten Eis-Kalorimeters.¹⁶

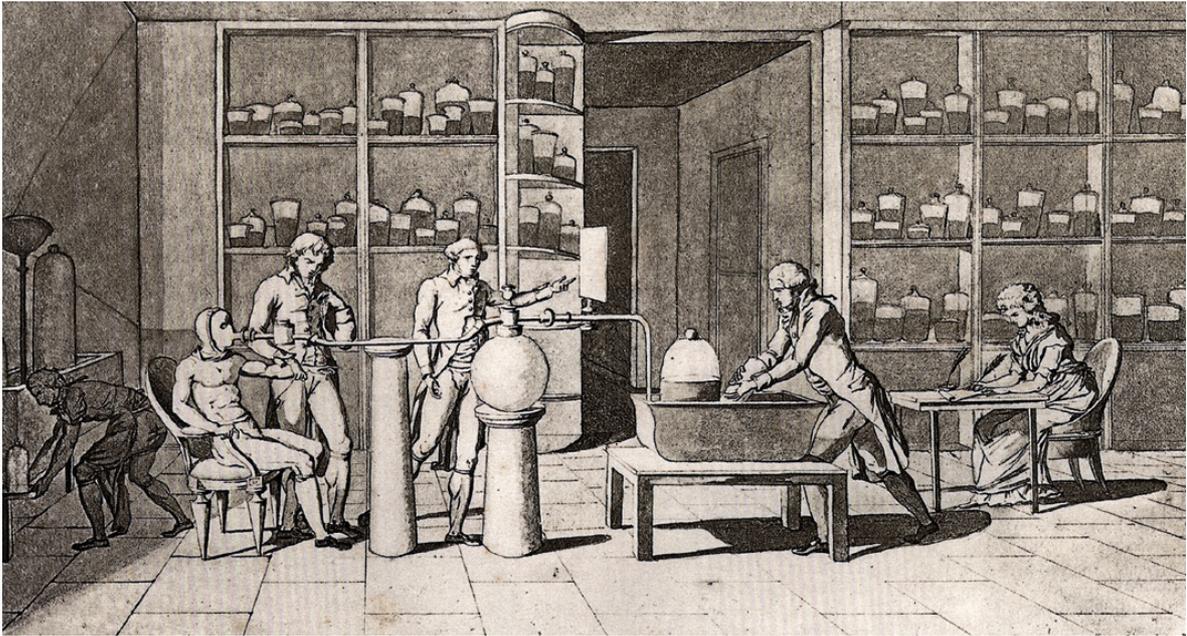


Abb. 4: Lavoisiers in vivo-Experiment zur Atmung (1790)

Schließlich hat Lavoisier in einer Reihe berühmter Experimente bei Menschen den Verbrauch von Sauerstoff und die Abgabe von Kohlendioxid im Zusammenhang mit mechanischer Arbeitsleistung quantitativ untersucht.¹⁷

Diese Experimente haben die Prozesse der Atmung mit Sauerstoffverbrauch und Kohlendioxidbildung, die Entstehung der Körperwärme und den Zusammenhang zwischen Arbeitsleistung und Sauerstoffverbrauch geklärt. Erstmals wurde dabei gezeigt, dass physiologische Prozesse mit den Methoden der Chemie und Physik quantitativ untersucht werden können. Lavoisier hat diese Versuchsergebnisse auch als starke Argumente gegen die Phlogiston-Theorie von Stahl benutzt.¹⁸

Die erfolgreiche Untersuchung eines anderen physiologischen Prozesses muß hier noch erwähnt werden. Lavoisier hat 1787 den Vorgang der alkoholischen Gärung quantitativ untersucht und diesen Prozess erstmals durch eine Reaktionsgleichung beschrieben.¹⁹

In Lavoisiers heißt es (in deutscher Übersetzung):

Da doch der Traubenmost Kohlensäuregas & Alkohol liefert, kann ich sagen, daß

Traubenmost = Kohlensäure + Alkohol

Im Zusammenhang mit der Untersuchung der alkoholischen Gärung hat Lavoisier übrigens das Prinzip der Erhaltung der Materie erstmals formuliert.²⁰ Er hat dies ebenfalls im „*Traité élémentaire de chimie*“ wie folgt formuliert:

... denn nichts wird geschaffen, weder durch das Wirken der [chemischen] Kunst, noch durch das der Natur, und man kann als ein Prinzip feststellen, daß bei jedem Vorgang eine gleiche Quantität der Materia vor und nach dem Vorgang besteht, die Qualität und die Quantität der Elemente ist die gleiche.

Aufbau einer Physiologischen Chemie

Lavoisier hat mit seinen Untersuchungen den Weg zum Aufbau einer Physiologischen Chemie gezeigt. Die Bezeichnungen „*Physiologische Chemie*“ und auch „*Pathologische Chemie*“ waren schon im 18. Jahrhundert gelegentlich verwendet worden.²¹ Das deutet auf ein besonderes Interesse der Ärzte und Apotheker hin. Aber erst im 19. Jahrhundert setzte sich die Fachbezeichnung *Physiologische Chemie* an den Universitäten allgemein durch.

Im frühen 19. Jahrhundert gibt es eine Reihe von Beispielen zur chemischen Aufklärung physiologischer Vorgänge. So fand der Verdauungsvorgang bei Mensch und Tier – ein Thema, das schon seit der Antike behandelt wurde – ein besonderes Interesse. Als Beispiel sei die große Studie von Friedrich Tiedemann (1781-1861) und Leopold Gmelin (1788-1853) genannt.²² Sie konnten die chemischen Prozesse der wesentlichen Vorgänge im Verdauungskanal beschreiben und viele der dabei auftretenden Verbindungen chemisch charakterisieren. Als ein zentrales Problem der chemischen Vorgänge im lebenden Organismus wurde der Stoffwechsel erkannt. Die zunächst hypothetischen Vorstellungen reiften durch chemische und physiologische Untersuchungen im Laufe des 19. Jahrhunderts zu einem zentralen Teil der *Physiologischen Chemie*.²³

Im 3. und 4. Jahrzehnt des 19. Jahrhunderts erschienen grundlegende chemische Darstellungen der physiologisch-chemischen Vorgänge. Genannt seien: William Prouts Monographie von 1834²⁴ und Justus Liebig's Bücher: die „*Agriculturchemie*“ (1840)²⁵ und die „*Thier-Chemie*“ (1842)²⁶, die das Konzept des neuen Faches entwickelten und ausführlich darstellten.

Justus Liebig hat 1852 in einer Vorlesung mit dem Titel „*Das Studium der Naturwissenschaften*“ von dem neuen Fachgebiet gesagt, man spreche von „*Physiologischer Chemie*, wenn die Grundlehren der Experimentalchemie zur Erklärung des Lebensprozesses herangezogen werden“.²⁷ Sein chemisches Forschungskon-

zept soll am Beispiel der mit Friedrich Wöhler durchgeführten großen Arbeit über die Harnsäure kurz erläutert werden.²⁸

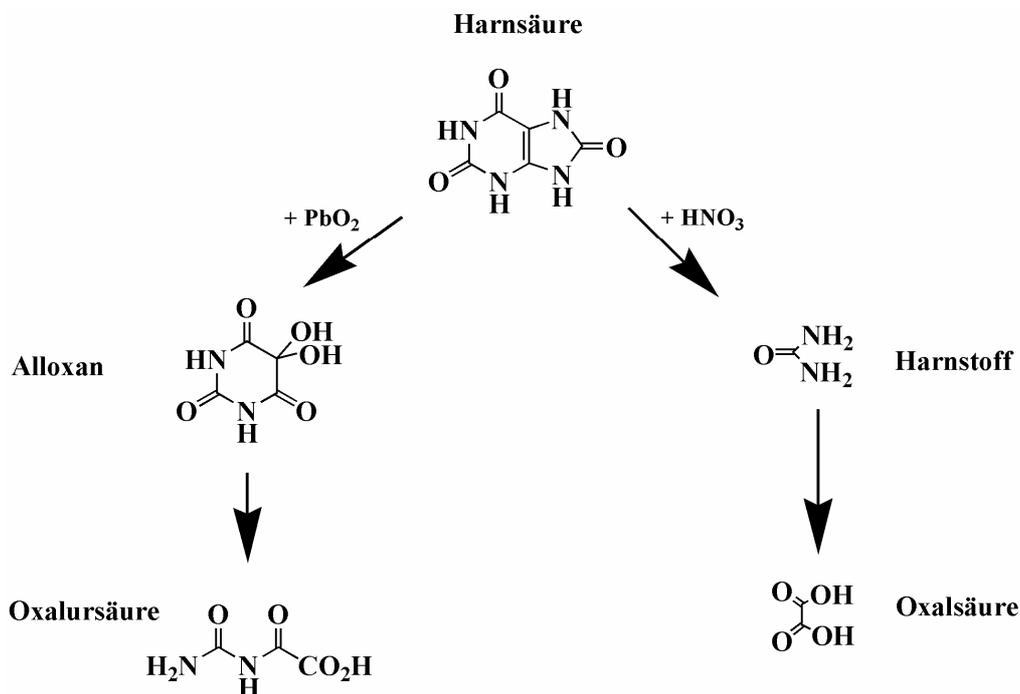


Abb. 5: Oxidativer Abbau der Harnsäure (in heutiger Schreibweise)

Die Harnsäure wurde verschiedenen, in diesem Falle oxidativen Abbaureaktionen unterworfen. Die gebildeten Produkte wurden isoliert und ihre Zusammensetzung durch Elementaranalyse ermittelt. Es kam nun – wie Liebig es ausdrückte – darauf an, „chemische Relationen“ zwischen den erhaltenen Verbindungen zu erkennen. So konnten Formeln und Reaktionsgleichungen aufgestellt und Zusammenhänge erkannt werden.

Im Manuskript für die 3. Auflage seiner „Thier-Chemie“ schreibt Liebig 1846:²⁹

Die Bedeutung der Formeln des Chemikers ist hiernach klar. Die richtige Formel eines Körpers drückt die quantitativen Beziehungen aus, in welchen der Körper zu einem zwei oder mehreren anderen steht.³⁰

Diese Formulierung ist in der dritten, nicht vollendeten Auflage von Liebigs „Thier-Chemie“ von 1846 enthalten. Ein Autograph aus dem Manuskript dieser Auflage zeigt das nachfolgende Bild.

Die Bedeutung der Formeln als Garantie ist für mich
klar. Eine möglichste Formel (Dunkel) ist die
quantitative Beziehung zwischen ~~den~~ ^{den} ~~Alkoholen~~
~~fruchtbar~~ ~~in~~ ~~der~~ ~~Formel~~ ~~und~~ ~~in~~ ~~der~~ ~~Formel~~
des Körpers zu einem ganz oder unvollständigen
anderen Stoff.

Abb. 6: Liebig-Autograph aus dem Manuskript seiner „Thier-Chemie“ (3. Auflage)

Für die Aufstellung von Reaktionsgleichungen waren damals nur die Summenformeln bekannt, was zu Unsicherheiten führte. Liebig schoss auch – zumindest in der 1. Auflage seiner „Thier-Chemie“ – über das Ziel hinaus, indem er gelegentlich ganz hypothetische Zusammenhänge konstruierte, die sich dann als falsch erwiesen. Ein Beispiel ist die Bildung der Hippursäure, ein Thema das damals sehr aktuell war.³¹ Wir wissen heute, daß Hippursäure im Organismus aus Benzoessäure und Glycin gebildet wird.³²

Herausbildung einer eigenständigen Physiologischen Chemie

An den Stoffen, die in tierischen und pflanzlichen Organismen vorkommen, waren – wie schon erwähnt – Mediziner und Pharmazeuten interessiert, aber in zunehmendem Maße auch die Chemiker. Man fasste sie zunächst unter der Bezeichnung „Stoffe aus organisierten Materialien“ zusammen, womit Pflanzen und Tiere gemeint waren. Aus der Sicht der Chemiker handelte es sich um Verbindungen aus den Elementen Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff. Hierfür wurde die Bezeichnung „Organische Chemie“ gebräuchlich.

August Kekulé definierte die Organische Chemie 1867 bekanntlich als „Chemie der Kohlenstoffverbindungen“ und bemerkte, „daß die organische Chemie nichts zu thun hat mit dem Studium der chemischen Vorgänge in den Organen der Pflanzen und Thiere“.

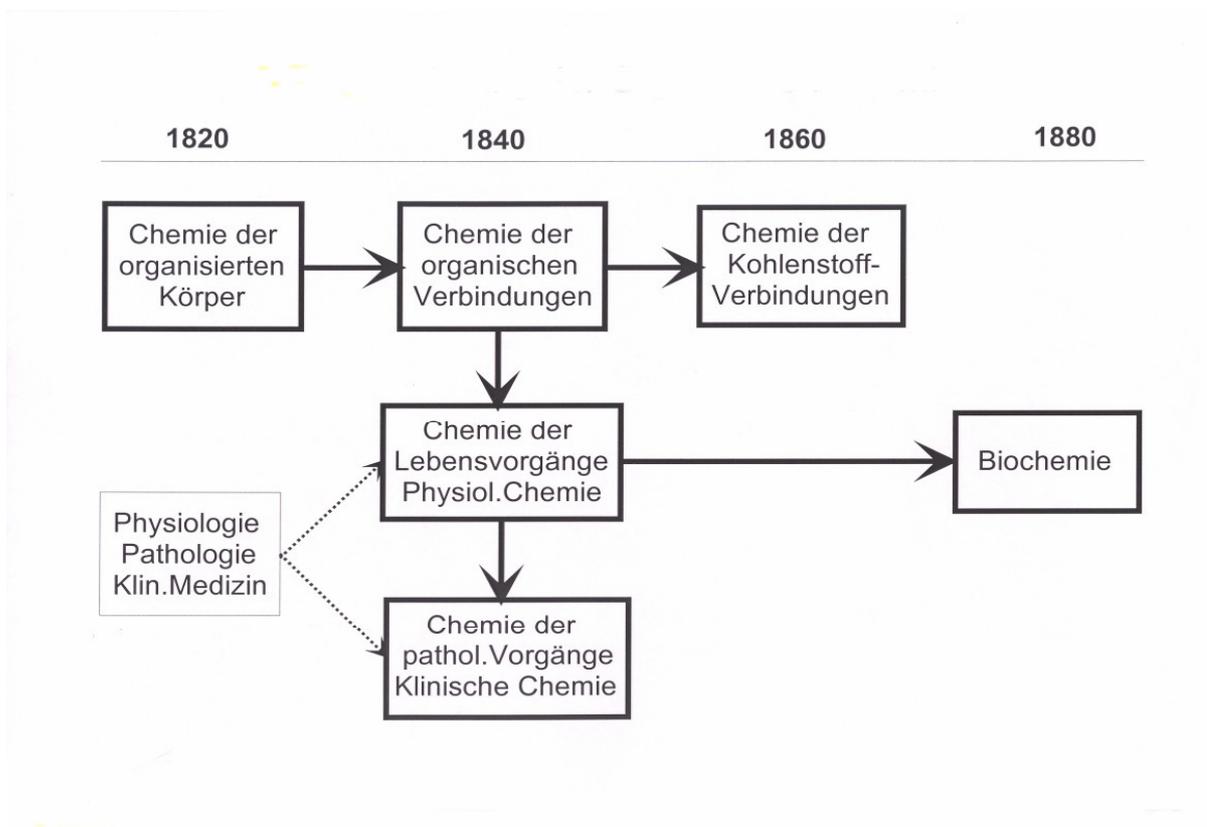


Abb. 7: Differenzierung der Organischen Chemie

Schon bald wurde deutlich, dass die chemische Betrachtungsweise allein für die Erklärung physiologischer Vorgänge nicht ausreicht. So entstand um das Jahr 1840 das neue Fachgebiet der Physiologischen Chemie.³³ Die heute überwiegend benutzte Fachbezeichnung „Biochemie“, die der österreichische Chemiker Vincenz Kletzinsky (1826-1882) geprägt hat,³⁴ wurde erst zum Ende des 19. Jahrhunderts üblich.

Die Herausbildung der Physiologischen und Pathologischen Chemie als eigenständiges Fach verlief nicht ohne Kämpfe mit den benachbarten Disziplinen. Rudolf Virchow (1821-1902) sprach von den „Überfällen“ der Chemiker auf das Gebiet der Medizin, die meinten, dass „die pathologische Chemie nur durch chemische Untersuchungen gefördert werden könne“.³⁵ An Universitäten in Deutschland, Österreich und Frankreich wurden in den Medizinischen Fakultäten Institute für Physiologische Chemie eingerichtet.

Versuchen wir zum Abschluss deutlich zu machen, worin sich die Erforschung des „Chemischen Lebensprozesses“ von der Vorgehensweise der klassischen Chemie unterscheidet. Das Forschungsziel der Physiologischen Chemie ist die

Aufklärung der chemischen Prozesse im lebenden Organismus der Pflanzen und Tiere. Dazu müssen Bildung, Funktion und Abbau der Stoffe erforscht werden.

Der Wechsel der Stoffe in den Organismen ist das neue, beherrschende Thema. Bemerkenswert ist eine ausführliche Arbeit des jungen Mediziners Johann Servatius d'Outrepoint (1776-1845) aus dem Jahre 1800. Er arbeitete in Halle bei dem Kliniker Johann Christian Reil (1759-1813) und hatte bereits eine konkrete Vorstellung von der Bedeutung des „Wechsels der Stoffe“ in lebenden Organismen.

Joseph Servatius d'Outrepoint „Ueber den Wechsel der tierischen Materie“ (1800):³⁶

1. Der Wechsel der Materie ist das große Mittel der Natur, durch welche sie die Mischung der thierischen Materie, bey ihren beständigen Veränderungen, dennoch immerhin als solche erhält.
2. Durch den Wechsel der Materie bessert das Thier seine Fehler aus, heilt seine Krankheiten und reproduziert verlohrengegangene Teile.
3. Endlich ist der Wechsel der Materie das Mittel der Natur, durch welches sie Actionen in den Organen bewirkt.

In den folgenden Jahrzehnten gewinnt die „Stoffwechsel-Forschung“ ihre zentrale Bedeutung. Zu Liebig's Zeiten ist der Begriff „Stoffwechsel“ schon sehr verbreitet. 1839 hat Theodor Schwann (1810-1882) den Begriff „Metabolismus“ geprägt, der wegen seiner Herkunft aus dem Griechischen leichter in die Sprachen der Welt Eingang fand. Die Physiologische Chemie hatte ihr Forschungsfeld gefunden und konnte an die Entwicklung ihrer experimentellen Methodik gehen.

* Vortrag auf der Jahrestagung der GDCh-Fachgruppe Geschichte der Chemie in Regensburg, 11.3.2005.

- 1 Langel[l]ottus, Joel, König, Emanuel: *Chymica Physica circa Corporum Naturalem & Artificialem Statum*. In: *Keras Amaltheias* [griech.], *seu Thesaurus remediorum è Triplici Regno, vegetabili, animali, minerali*“ hg Emanuel König (Basel 1693), S. 238-280. Das Buch von König hat den griechischen Titel „Keras amaltheias“, das ist das Ziegenhorn. Es ist hier im Sinne von „Füllhorn“ benutzt. Amaltheia bezieht sich auf die Ziege, deren Milch der junge Zeus trank. – Darstellung der Lehre von den Drei Reichen bei Joel Langellott (1617-1680) und Emanuel König (1658-1731). Langellott war Leibarzt und Alchemist auf Schloß Gottorf in Holstein. Emanuel König hat die Lehre 1682/83 in 2 Büchern ausführlich dargestellt.
- 2 Abbildung aus: J. Hartmann, *Officina Sanitatis Sive Praxis Chymiatrica Plane aurea*, 1. Auflage der Bearbeitung von Cardilucius. Nürnberg: Wolfgang Moritz und Johannes And-

- reas Endter, 1677. Das Titelblatt mit einem Stich von Cornelis Nicolas Schurtz (fl.1670-1689) aus Nürnberg.
- 3 Siehe dazu besonders: T. Bergmann, „De attractionibus electivis“, *Opuscula physica et chemica* (1775). Band III, S. 291-470. (Upsala 1783), Und: C. L. Berthollet, *Essai de statique chimique*, Bd 2 (Paris 1803) (an XI).
 - 4 Den Begriff „Lebenskraft“ hatte Friedrich Casimir Medicus (1736-1818) 1774 geprägt. F. C. Medicus, *Von der Lebenskraft* (Mannheim 1774), S. 33. Zur „Lebenskraft“ siehe: W. Botsch, *Die Bedeutung des Begriffs Lebenskraft für die Chemie zwischen 1750 und 1850* (Stuttgart 1997).
 - 5 D. Dodart, *Memoires Pour Servir A L'Histoire Des Plantes. Dressez par M. Dodart, de l'Académie Royale des Sciences, Docteur en Medecine de la Faculté de Paris* (Paris 1676).
 - 6 F. L. Holmes, “Analysis by fire and solvent extractions: The metamorphosis of a tradition”, *Isis* 62 (1971), S.129-148.
 - 7 ebd.
 - 8 J. Büttner, “La Chimica Biologica”, *Enciclopedia Italiana. Storia della scienza*, hg S. Petruccioli (ed.). Istituto della Enciclopedia Italiana, Roma, Bd 10, 2001-, v. VII, L'Ottocento, 2003 ; S.741-748.
 - 9 A. L. Lavoisier, “Mémoire sur la combinaison du principe oxygene, avec l' esprit-de-vin, l'huile, & différents corps combustibles”, *Histoire de l' Académie royal des sciences*, [Mémoires] Année 1784 (Paris 1787), S.593-608. Untersucht wurden : Ethanol, Olivenöl, Wachs.
 - 10 C. L. Berthollet, “Recherches sur la nature des substances animales, & sur leur rapport avec les substances végétales; ou Recherches sur l'acide du sucre”, *Observations et mémoires sur la physique, sur l'histoire naturelle et sur les arts et métiers* 27 (1785), S.88-91, und: C. L. Berthollet, “Suite des Recherches sur la nature des substances animales & sur leur rapport avec les substances végétales”, ebd. 29 (1786), S.389-395.
 - 11 J.-J. Berzelius, “Experiments to determine the definite proportions in which the elements of organic nature are combined” *Annals of Philosophy* 5 (1815), S.93-101 (Part 3).
 - 12 J.-J. Berzelius, „Ueber die Zusammensetzung der Weinsäure und Traubensäure (John's Säure aus den Vogesen), über das Atomgewicht des Bleioxyds, nebst allgemeinen Bemerkungen über solche Körper, die gleiche Zusammensetzung, aber ungleiche Eigenschaften haben“, *Annalen der Physik und Chemie* 19 (95) (1830), S. 305-335.
 - 13 Die damals bekanntesten Isomeriebeispiele waren Ag-Fulminat/Ag-Cyanat, Ammoniumcyanat/Harnstoff, Weinsäure/Traubensäure. Die im Zusammenhang mit Wöhlers Harnstoffsynthese aus Ammoniumcyanat diskutierte Überschreitung der Grenze anorganisch--> organisch kann hier nicht ausführlicher betrachtet werden

- 14 F. L. Holmes, *Lavoisier and the Chemistry of Life: An Exploration of Scientific Creativity*. (Madison 1985).
- 15 A. L. Lavoisier, “Expériences sur la respiration des animaux, et sur le changemens qui arrivent à l'air en passant par leur poumon”, *Histoire de l' Académie royal des sciences*, [Mémoires] Année 1777 (Paris 1780), S.185-194.
- 16 A. L. Lavoisier, P.-S. Laplace, “Mémoire sur la chaleur”, *Histoire de l' Académie royal des sciences*, [Mémoires] Année 1780 (Paris 1784), S.355-408.
- 17 A. Seguin, A. L. Lavoisier, “Premier mémoire sur la respiration des animaux”, *Histoire de l' Académie royale des sciences* [Memoires] Année 1789 (Paris 1793), S.566-584. A. L. Lavoisier, A. Seguin, “Second mémoire sur la respiration”, *Annales de chimie; ou recueil de mémoires conce rnant la chimie et les arts qui en dépendant et spécialement la pharmacie* 91 (Paris 1814), S.318-334 mit planche I.
- 18 J. P. Prinz, *Die experimentelle Methode der ersten Gasstoffwechseluntersuchungen am ruhenden und quantifiziert belasteten Menschen : (A. L. Lavoisier und A. Seguin 1790), Versuch einer kritischen Deutung* (Sankt Augustin 1992) (Academia-Hochschulschriften : Sportmedizin, 1).
- 19 A. L. Lavoisier, *Traité élémentaire de chimie, présente dans un ordre nouveau et d'après les découvertes modernes* (Paris 1789), 2 Bände. Zitat: Tome I, S. 141.
- 20 Ibidem Tome I, S. 140-141.
- 21 Siehe z.B.: C. E. Weigel, *Grundriss der reinen und angewandten Chemie* (Greifswald 1777), Siehe: Band 2, S. 389, 422.
- 22 F. Tiedemann, L. Gmelin, *Die Verdauung nach Versuchen* (Heidelberg/Leipzig 1826 - 1827).
- 23 J. Büttner, „Von der oeconomia animalis zu Liebig's Stoffwechselbegriff“ In: *Stoffwechsel im tierischen Organismus*, hg. v. J. Büttner, W. Lewicki (Seesen 2001), S.61-94.
- 24 W. Prout, *Chemistry, meteorology and the function of digestion, considered with reference to natural theology*. (London 1834).
- 25 J. Liebig, *Die organische Chemie in ihrer Anwendung auf Agricultur und Physiologie* (Braunschweig 1840).
- 26 J. Liebig, *Die organische Chemie in ihrer Anwendung auf Physiologie und Pathologie* (Braunschweig 1842).
- 27 J. Liebig, *Ueber das Studium der Naturwissenschaften* (München 1852).
- 28 F. Wöhler, J. Liebig, „Untersuchungen über die Natur der Harnsäure“, *Annalen der Pharmacie* 26 (1838), S.241-340.

- 29 Autograph in der Sammlung Büttner.
- 30 J. Liebig, *Die Thier-Chemie oder die organische Chemie in ihrer Anwendung auf Physiologie und Pathologie*, 3 (Braunschweig 1846), S.229.
- 31 J. Liebig, s. Anm. 26, S. 154.
- 32 J. Büttner, „Auf diese Entdeckung lege ich einigen Werth und ärgere mich, dass sie mir entrissen worden ist“: Friedrich Wöhler und die Hippursäure“, *Mitteilungen Fachgruppe Geschichte der Chemie der GDCh* 17 (2004), S. 30-41.
- 33 F. Lieben, *Geschichte der Physiologischen Chemie*, Reprint der Ausgabe Leipzig und Wien 1935. (Hildesheim, New York 1970).
- 34 V. Kletzinsky, *Compendium der Biochemie* (Wien 1858).
- 35 R. Virchow, C. Rokitansky, *Handbuch der allgemeinen pathologischen Anatomie*, Buchrezension in: *Medicinische Zeitung* 15 (Berlin 1846), S.237-238 und 243- 244, [Literarische Beilage].
- 36 J. S. d'Outrepoint, „Ueber den Wechsel der thierischen Materie“, *Archiv für die Physiologie* 4 (1800) 3. Heft, S.460 – 508, Zitat S. 500-502.