

Julius Robert Mayers Stellung zur Chemie

Von Dr. A. MITTASCH, Heidelberg

Wenn in den nächsten Jahren in der Kulturwelt der Name *Julius Robert Mayer* (1814—1878) besonders oft rühmend genannt werden wird, zum Gedächtnis seiner Idee von der „Unzerstörlichkeit der Kraft“ bei allen Wandlungen¹⁾ und seiner Berechnung des mechanischen Äquivalents der Wärme (1840—1842), so wird der Chemiker ein Recht haben, *Robert Mayer* auch für sich mit in Anspruch zu nehmen. Chemische Gedankengänge spielen sowohl in der späteren Entwicklung seiner Energie-Lehre als auch schon in deren Auffindung eine so bedeutsame Rolle, daß es der Mühe wert erscheint, diesen Spuren nachzugehen und ein Bild von *Robert Mayers* Gesamtbeziehungen zur Chemie zu entwerfen²⁾.

I. Robert Mayers Kenntnis chemischer Tatsachen.

In der chemischen Luft der seinem Vater *Christian Mayer* gehörenden Apotheke „Zur Rose“ in Heilbronn aufgewachsen, hat *R. Mayer* schon früh von Männern wie *Boyle*, *Scheele*, *Priestley*, *Lavoisier* gehört, denen sich weiterhin die Namen *Gay-Lussac*, *Dulong*, *Petit*, *Despretz*, *Christian Gottlob* und *Leopold Gmelin*, *Dübener*, *Berzelius*, *Liebig*, *Schönbein* u. a. zugesellt haben. In der medizinischen Hauptprüfung in Stuttgart 1838 war es die Chemie, in der er die beste Note erhielt (in Medizin selbst IIa)³⁾. Seine Inaugural-Dissertation 1838 betraf das 1830 entdeckte Santonin, dessen chemische und vor allem pharmakologische Eigenschaften eingehend beschrieben werden.

In *R. Mayers* Hauptschriften sowie im Briefwechsel finden sich verstreut eine große Anzahl von Stellen, die sowohl eine gute Kenntnis der Chemie als auch ein starkes Interesse für diese Disziplin dartun. Von früh an hatte er nach eigenem Ausspruch danach gestrebt, „die Natur überhaupt von einem sehr allseitigen Standpunkt kennenzulernen“⁴⁾. „*R. Mayer* hatte schon im Vaterhause Interesse und Verständnis für Experimente gewonnen“⁵⁾. Bei chemischen Studien ist ihm auch noch späterhin sein Bruder *Fritz* behilflich gewesen, der 1833 die väterliche Apotheke übernahm und als tüchtiger Chemiker galt⁶⁾; er hat seinem jüngeren Bruder gewissermaßen als „chemisches Wörterbuch“ gedient. Auf nachträgliche chemische Studien (neben mathematischen und physikalischen) weist eine Briefstelle *Mayers* hin⁶⁾, wo es über die „chemischen Vorgänge“ heißt, daß es für ihn „hier sehr viel zu tun gibt“.

R. Mayer kennt die chemischen Elemente und ihre Verbindungen: Sauerstoff, Wasserstoff, Stickstoff, Phosphor, Chlor, Eisen usw. Er ist mit der chemischen Zeichensprache seiner Zeit vertraut, er weiß von den chemischen Vorgängen in galvanischen Ketten⁷⁾; er kennt wichtige thermochemische Daten usw. Umwandlungen, wie diejenige von Alkohol in Äther und Wasser mittels Schwefelsäure, sind ihm wohl bekannt⁸⁾. Die Vorgänge der Gärung, Fäulnis und Verwesung werden eingehend erörtert⁹⁾. Die Tatsache, daß (nach *Sadi Carnot* 1824) eine gegebene Wärmemenge nie als Ganzes in Bewegung umgesetzt werden kann, bringt *R. Mayer* in kühnen,

ja fragwürdigen Vergleich damit, daß auch „eine gegebene Menge von Chlor, Metall und Sauerstoff“ sich nicht „ohne Bildung eines Nebenproduktes in chlorsaures Salz verwandeln“ lasse^{10, 11)}.

Vor allem ist es, wie wir noch sehen werden, der Oxydationsvorgang, der Vorgang der Verbrennung, der seine Gedanken von Anfang stark beschäftigt hat¹²⁾. Wenn es nun gelegentlich heißt: „Das Anorganische ist mir unbedingt zur Hauptsache geworden“¹³⁾, so sind doch zahlreiche Belege dafür beizubringen, daß es ebenso heißen könnte: „Schließlich ist mir das Organische zur Hauptsache geworden“. Schon bei der Ableitung seiner Idee vom „mechanischen Wärmeäquivalent“ sind es einerseits anorganische und technische Prozesse, die ihm als Beobachtungsgrundlage dienen: Erwärmung sturmgepeitschter Meereswogen¹⁴⁾, die Unmöglichkeit eines Perpetuum mobile usw., andererseits und vor allem aber Erscheinungen im Gebiet des Lebendigen, insbesondere die beobachtete hellere Farbe des Venenblutes in den Tropen¹⁵⁾.

„Binär, ternär, quaternär“ nennt *R. Mayer* chemische Verbindungen, je nachdem sie aus zwei, drei, vier verschiedenen Elementen bestehen; Zucker ist ihm also eine ternäre Verbindung, während er das den Zucker zersetzende Gärungsferment, dem er einen hohen Stickstoffgehalt zuschreibt, als quaternäre Verbindung bezeichnet¹⁶⁾ (es ist nicht ersichtlich, aus welcher Quelle die analytisch in keiner Weise belegte Angabe über das Gärungsferment stammt). „Der lebende Organismus... kann weder Materie noch Kraft, sei es erzeugen oder vernichten, und kann auch nicht die gegebenen chemischen Urstoffe ineinander umsetzen; dagegen werden von der Pflanzenwelt auf höchst merkwürdige Weise ternäre und quaternäre Kombinationen hervorgerufen, die in der Regel auf künstlichem Wege nicht dargestellt werden können“¹⁷⁾.

In gleicher Weise wie die Vorgänge auf der Sonne¹⁸⁾ beschäftigten *R. Mayer* dauernd Fragen der chemischen Prozesse in Tieren und Pflanzen. Vor allem fesselt ihn das Problem, welche chemischen Reaktionen der Erzeugung der Körperwärme, samt der von dieser zu leistenden Arbeit der Organe, zugrunde liegen. *R. Mayer* ist durchaus von „*Lavoisiers* Gedanken“ beherrscht, daß auch die tierische Wärme von der Oxydation labiler organischer Verbindungen herrührt. Er röhmt *Liebig*, daß er den Satz aufgestellt und verteidigt habe: „Die einzige Ursache der tierischen Wärme ist ein chemischer Prozeß, in specie ein Oxydationsprozeß“¹⁹⁾. „Der Oxydationsprozeß ist die physikalische Bedingung der mechanischen Arbeitsfähigkeit des Organismus“²⁰⁾.

R. Mayer bemüht sich, auch im einzelnen festzustellen, an welchen Orten und durch welches Mittel der Luftsauerstoff im Organismus oxydierend wirkt²¹⁾. Hier folgt er vielfach den Ideen von *Liebig*, insbesondere hinsichtlich der Rolle, welche das Eisen der roten Blutkörperchen dabei spielt. *Liebig*s Annahme (1842), „daß in dem schwarzen Blute das Metall

¹⁾ Das Wort „Kraft“ gebraucht *R. Mayer* bekanntlich nicht in dem (heute gültigen) Sinne von *Descartes* und *Newton* (Masse mal Beschleunigung), sondern in dem Sinne von *Leibniz*: „lebendiger Kraft“ mv² und deren Äquivalent: Arbeit und Arbeitsfähigkeit; die Bezeichnung „Energie“ ist um 1850 eingeführt von *W. Thomson* und *Rankine* (nach *Th. Young* 1817).

²⁾ Die Zitierungen beziehen sich durchweg auf *J. Weyrauchs* Ausgabe von *R. Mayers* Schriften, und zwar Bd. I Mechanik der Wärme, in gesammelten Schriften (1869) und Bd. II Kleinere Schriften und Aufsätze (gleichfalls 1869). Bd. I wird mit M. I., Bd. II mit M. II. bezeichnet.
³⁾ Weyrauch, M. I. 145; s. auch 149. *Mayers* Vater war im Besitz eines großen Instrumentariums und reicher Sammlungen und sah es gern, wenn sich seine Söhne damit beschäftigten. (Jentsch.)

⁴⁾ M. II. 382, 391. ⁵⁾ An *Griesinger*, 16. Dez. 1842; M. II. 205. ⁶⁾ M. II. 217. ⁷⁾ Z. B. M. I. 91ff.

⁸⁾ Nach Berichten seiner Freunde hat *R. Mayer* schon früh eine „staunenswerte Kombinationsgabe“ (*G. Rümelin*), einen „kombinatorischen Scharfsinn“ (*Carl Bauer*) gezeigt.

⁹⁾ M. I. 57; s. auch M. I. 350.

¹⁰⁾ M. I. 241ff. ¹¹⁾ M. I. 216. ¹²⁾ M. II. 382. ¹³⁾ M. I. 105, 243 und anderwärts.

¹⁴⁾ M. I. 442. ¹⁵⁾ 1869; M. I. 355.

¹⁶⁾ Wenn nach *R. Mayers* Meteoritentheorie die Sonne durch den Aufsturz planetarisch kosmischer Massen (Asteroiden) dauernd „geheizt“ wird, so soll hierbei „die chemische Natur der herabstürzenden Massen“ gar nicht mehr in Betracht kommen; „die stärkste chemische Aktion“ tritt großmaßig „vor jenem kosmisch-mechanischen Prozeß in den Hintergrund“ (M. I. 175, in *Dynamik des Himmels*; s. auch I. 350).

¹⁷⁾ M. I. 81. ¹⁸⁾ M. II. 249.
¹⁸⁾ Es kommt hier vor allem die große Schrift von 1845: Die organische Bewegung in ihrem Zusammenhang mit dem Stoffwechsel in Betracht; ferner: Bemerkungen über das mechanische Äquivalent der Wärme (1851); Über die Herzkrise (1851); Über das Fieber (1862); Über die Ernährung (1871). In der Arbeit „Über das Fieber“ verteidigt er die „Theorie *Lavoisiers*, welche die tierische Wärme ausschließlich als Produkt des chemischen Effekts darstellt“, gegen verschiedene Einwände (M. I. 331).

als Oxydul, in dem roten als Oxyd vorhanden sei", nennt er „eine geistreiche und exakte Theorie, womit sich alle chemischen und physiologischen Tatsachen in Einklang bringen lassen“²²⁾. So ist physiologische Chemie dasjenige Gebiet, dem seine besondere Liebe gilt. Auf seine — vielfach zeitbedingten und heute überwundenen — Anschauungen auf diesem Gebiet soll indes hier nicht näher eingegangen werden²³⁾.

Im einzelnen seien als Beleg für sein selbständiges und oft gewaltsam sprunghafte chemisches Denken folgende Beispiele angeführt: Als Ursache für die Wirksamkeit, für „die arzneilichen Tugenden“ des Wildbader Thermalwassers, das sich „durch mineralische Bestandteile von gewöhnlichem Quellwasser nicht wesentlich unterscheidet“, vermutet R. Mayer die Anwesenheit bestimmter bei-gemengter pflanzlicher Stoffe, insbesondere solcher aus dem „roten Fingerhut“, der auf den dortigen Höhen „in außerordentlich üppiger Fülle“ wächst: „eine vegetabilische Therme“²⁴⁾. Über den „Gehirnphosphor“ (der in jener materialistischen Zeit eine große Rolle spielte) geht R. Mayers Ansicht dahin, „daß derselbe per contactum zur Ozonbildung dient, und daß durch das auf solche Weise gewonnene elektrische Agens die Nervensubstanz befähigt wird, den Willen und die Empfindung zu leiten“^{25, 26)}. Ebenso willkürlich ausschweifend erscheint es, wenn R. Mayer als „das Einfachste und Natürlichste“ die Annahme bezeichnet, „daß der Äther aus keiner anderen Substanz besteht, als eben unsere atmosphärische Luft auch“, jedoch in höchstverdünntem Zustande²⁷⁾; seine Zuneigung zur Kontinuumsauffassung (statt Atomistik, s. unter II.) möchte ihm eine solche Vermutung erleichtern.

In bezug auf R. Mayers Stellungnahme zu dem damals vielerorten Verhältnis der Chemie zur Physiologie bieten sich einer oberflächlichen Betrachtung gewisse Widersprüche dar. Einerseits heißt es, daß „bei den Lebensvorgängen die Chemie im Stiche läßt“²⁸⁾. „So wurden auch ... für die Lebenserscheinungen noch keine Formeln gefunden“²⁹⁾. An anderer Stelle aber lesen wir: „Die Lebenserscheinungen lassen sich nicht verstehen, wenn man sich nicht vorher einigermaßen mit den Naturgesetzen, sowie mit den Vorgängen in der unbelebten Natur überhaupt etwas vertraut gemacht hat“³⁰⁾. Oder: „Wir dürfen das auf physikalischem Gebiete Gewonnene beim Betreten anderer Felder nicht geradezu aufgeben, vielmehr müssen wir dasselbe auch in der Physiologie und Philosophie möglichst festhalten“³¹⁾.

Bei genauem Zusehen verschwindet der Scheinwiderspruch. Ähnlich wie Schopenhauer erkennt Mayer eine Abstufung und Rangordnung sowohl der Naturgebilde und ihrer Gesetzmäßigkeit als auch der damit sich befassenden naturwissenschaftlichen Disziplinen an: Physiologie und Biologie bauen sich wohl auf Physik und Chemie auf, erschöpfen sich aber darin nicht, sondern bringen eine höhere Gesetzmäßigkeit, die Obergesetzlichkeit des Lebens, hinzu³²⁾.

Eine besondere Behandlung würden die mannigfachen brieflichen und persönlichen Beziehungen R. Mayers zu den großen Chemikern seiner Zeit erfordern, vor allem zu Liebig, der Mayers grundlegenden Aufsatz „Bemerkungen über die Kräfte der unbelebten Natur“ (1842) für

²²⁾ M. I. 104.

²³⁾ Den ausgeschiedenen Harnstoff schreibt R. Mayer „der Blutabnutzung zu“; „hierzu sind Proteinstoffe unerlässlich“. (An Schaffhausen 20. Aug. 1867, M. II. 413). Über Proteinstoffe s. auch M. I. 412. Über Liebigs Fleischextrakt äußert sich R. Mayer abfällig: „Einige Löffel voll des kräftigsten Fleischextraktes müssen in ihrem Wärmeeffekt einem Pfund Fleisch gegenüber offenbar sehr zurückstehen“ (M. I. 414).

²⁴⁾ Aufsatzz im Medizin. Korrespondenzblatt des Württemberg. Ärztlichen Vereins 1845; M. II. 244.

²⁵⁾ Brief an Moleschott in Turin, vom 13. Dez. 1867; M. II. 362; s. auch S. 411: Ozon als „Sauerstoff plus latenter Elektrizität“; S. 453, sowie I. 356.

²⁶⁾ Man kann fragen, wie derartige kühne Kombinationen zu Mayers temperamentvollem Ausbruch stimmen in dem Satze von den „Hypothesen, die ich samt und sondere verachte“ (An Baur, J. August 1841; M. II. 113). In Wirklichkeit ist es so, daß R. Mayer gegen bestimmte Arbeitshypothesen als gedankliche Vorwegnahmen eines erwarteten experimentellen Resultates nichts einzuwenden hat, daß er jedoch unerweisbare fiktive Hypothesen (Fignente) ebenso verwirft wie vor ihm einst Newton und nach ihm W. Ostwald. Dahin zählt Mayer vor allem die Atomistik sowie die „Hypothese“, daß die Wärme nicht nur aus Bewegung entstehe, sondern Bewegung sei. S. hierzu auch A. Mittasch, Fiktionen in der Chemie, diese Ztschr. 50, 423 [1937].

²⁷⁾ M. I. 434, in „Torricellische Leere“, 1876.

²⁸⁾ M. I. 338. ²⁹⁾ M. I. 428. ³⁰⁾ M. I. 398. ³¹⁾ M. I. 355.

²⁹⁾ Bei Schopenhauer lesen wir dementsprechend: „Die Gesetze des Chemismus gelten nicht mehr, wo organisches Leben angefacht worden“; anderseits aber rät er seinem „Apostel“ Frauendorf: „Und prüfen Sie sich, ob Sie auch Physiologie wirklich besitzen und innehaben: das setzt Anatomie und Chemie voraus“. (S. hierzu A. Mittasch, Schopenhauer und die Chemie, 1939). S. auch Anm. 124).

die Annalen der Chemie angetommen hatte, ferner zu Friedrich Mohr und Christian Schönbein³³⁾.

II. Robert Mayers Stellung zur herrschenden chemischen Theorie, insbesondere zum Atomismus.

Bei Mayers auf das Allgemeine und Bleibende gerichteten Sinnesart ist es selbstverständlich, daß er die chemische Theorie seiner Zeit sorgfältig beachtet. Er weiß Bescheid über verschiedenste Fragen des „Chemismus“³⁴⁾, z. B. über den Vorgang der Salzbildung aus Säure und Basis durch Neutralisation³⁵⁾; er kennt neben den üblichen exothermen Verbindungen auch endotherme wie den Chlorstickstoff³⁶⁾; er ist in den Grundlehren der Elektrochemie, insbesondere über die Vorgänge in galvanischen Elementen erfahren³⁷⁾. Hinsichtlich der Entstehungsweise des Galvanismus vertritt R. Mayer folgerichtig die chemische Theorie von v. Grotthuss, Ritter, Davy, Faraday, de la Rive gegenüber der „Kontakttheorie“ von Volta, Christian Pfaff u. a. ^{38, 39)}.

Vor allem ist es der Gedanke quantitativer stofflicher Äquivalenz bei qualitativer Verschiedenheit, den R. Mayer von dem „unsterblichen französischen Chemiker Lavoisier“⁴⁰⁾ übernimmt, und der, wie wir noch sehen werden, sein ganzes energetisches Denken beherrscht. „Die Zahl, ohne welche sich weder eine Wasserbildung noch eine Wasserzersetzung berechnen ließe“, d. h. die Angabe: 1 Pfund Wasser entspricht soundso viel Kubikfuß Knallgas, „würden wir passend das Knallgasäquivalent des Wassers nennen“⁴¹⁾.

Mit der Stöchiometrie der Gase ist R. Mayer ebenso vertraut wie mit ihrer (damaligen) Kinetik und Dynamik; die Ergebnisse von Gay-Lussac, Dulong, Despretz, Petit, Pouillet, Regnault u. a. spielen in seinen energetischen Ableitungen eine bedeutsame Rolle⁴²⁾. Wenn R. Mayer durchaus auf dem Boden der neuen, auf Wägen und Messen gegründeten Chemie von Boyle, Mayow, Jean Rey, Lavoisier steht, so läßt er doch auch der Phlogistontheorie Gerechtigkeit widerfahren, deren guten „energetischen“ Kern er als einer der ersten zutreffend erfaßt. Wie beim Tode des Individuums die Seele, die anima, als das belebende Prinzip, das Pneuma,

³³⁾ S. hierzu insbesondere E. v. Lippmann, Abhandlungen und Vorträge zur Geschichte der Naturwissenschaften Bd. 1, 527 [1906], Bd. 2, 460 [1913]. Beiträge zur Geschichte der Naturwissenschaften und der Technik 1923, S. 296: Zum 100jähr. Geburtstage Robert Mayers. Ferner auch biographische Darstellungen wie diejenige von Bernhard Hell, J. Robert Mayer [1925]; sowie Briefwechsel in M. II. Mit Mohr ist R. Mayer auf der Naturforschertagung in Innsbruck 1869, wo er seinen Vortrag „Über notwendige Konsequenzen und Inkonsistenzen der Wärmetheorie“ hält, „schon recht vertraut geworden“ (M. II. 446). Über ein Beisammensein mit Helmholtz bei der gleichen Gelegenheit s. M. II. 454, über einen Besuch Mayers bei Liebig in München, Volhard, Justus von Liebig, 1909 II, Bd. 1, S. 535. Mit Schönbein war R. Mayer schon auf der Naturforschertagung in Karlsruhe 1858 sowie in Speyer 1861 zusammengetroffen; dagegen mit Liebig, „der sehr scharmant gegen mich war“ (An seine Frau, 18. Sept. 1858, M. II. 477), sowie mit Helmholtz, Clausius, Holtermann u. a. Als „warmer Verehrer“ R. Mayers (E. v. Lippmann) hat Schönbein diesen darauf in Heilbronn besucht (M. II. 389). Schönbein ist es gewesen, der R. Mayer (1858) die erste Auszeichnung, die Ernennung zum Korrespond. Mitglied der Naturforsch. Gesellschaft zu Basel, verschafft hat (M. II. 354). R. Mayer rühmt Liebiga „ewiges Verdienst um die Menschheit und Wissenschaft“. (M. II. 405). Anderseits erkennt Liebig R. Mayers Größe vollkommen an: „Wie unendlich fruchtbar ist doch das Prinzip der Erhaltung der Kraft in den Naturwissenschaften geworden, ... der geistige Fortschritt ... erscheint ganz wunderbar“ (An Mohr, 1. Dez. 1867; M. II. 415). S. auch Liebigs Vortrag über die „Metamorphose der Kräfte“ vom 30. März 1858; J. Volhard, Justus von Liebig 1909, I. Bd. S. 439.

³⁴⁾ M. I. 406.

³⁵⁾ „Wie sich Materien von entgegengesetzter Qualität, eine elektropositive Basis und eine elektronegative Säure neutralisieren, so heben sich Bewegungen von entgegengesetzter, von positiver und negativer Richtung zusammen auf“ (M. I. 62; s. hierzu auch Baur, Brief vom 11. Aug. 1841; M. II. 118).

³⁶⁾ M. I. 69.

³⁷⁾ M. I. 70, 357.

³⁸⁾ M. I. 141; M. II. 381.

³⁹⁾ In den autobiographischen Aufzeichnungen heißt es: „Puff, welcher die Kontakttheorie gegen die chemische Theorie in Schutz nimmt, findet ... ganz richtig, daß die von mir gemachten Aufstellungen, insbesondere die Annahme, daß eine gegebene Ursache sich bei Hervorbringung einer ihr gleichen Wirkung erschöpft, mit der sogenannten Kontakttheorie der galvanischen Kette unvereinbar seien“ (M. II. 381). Hinsichtlich der Elektrizität ist ferner die Stelle bemerkenswert: „Das Licht ist, wie der elektrische Strom, eine Wellenbewegung ... eine Vibration“ (M. I. 399); auch sei auf Mayers Rezension über W. Wundt, Mechanik der Nerven und Nervenzentren (mit Beziehung auf elektrische Vorgänge) verwiesen (M. II. 431). Die Frage über die Rolle der Elektrizität im Organismus bezeichnet er als „die subtilste aller Fragen“ (An Schaffhausen, 20. Aug. 1877; M. II. 411).

⁴⁰⁾ M. I. 399.

⁴¹⁾ 1851, M. I. 250.

⁴²⁾ Wie Weyrauch bemerkt, ist R. Mayers Berechnung des mechanischen Wärmeäquivalents aus der Differenz der spezifischen Wärmen von Gasen bei konstantem Druck und konstantem Volumen (M. I. 53 ff., 243, M. II. 178) die einzige damalige Möglichkeit gewesen, aus vorhandenen experimentellen Daten „ohne neue Versuche“ eine genaue Bestimmung zu gewinnen (M. I. 144). Unmittelbar experimentelle Ermittlungen des Wärmetwertes der Arbeit, wie sie in den gleichen Jahren Joule in verschwenderischer Fülle bietet, hat R. Mayer nur beiläufig und nicht vollkommen exakt versucht; s. hierzu M. I. 270, 345, 348, 358; II. 449, sowie O. Lehmann, Verhandl. d. Naturwiss. Vereins Karlsruhe 28, 83 [1916]. Zum 100. Geburtstage von Robert Mayer.

die „Lebenskraft“ entweicht, so verliert Kohlenstoff beim Verbrennen, Blei und Zink beim Calcinieren (Verkalken), Eisen beim Rosten seine anima, seinen „spiritus“, seine „Kraft“, sein „Phlogiston“ und wird zu einem minder wirkungsfähigen, also energetisch „leichteren“ Körper, zu einem caput mortuum. Demgemäß heißt es bei R. Mayer in der grundlegenden Arbeit von 1842 „Bemerkungen über die Kräfte der unbelebten Natur“: „Die Phlogister erkannten die Gleichung von cal. und x, das sie Phlogiston nannten, und taten damit einen großen Schritt vorwärts, verwickelten sich aber wieder ... in ein System von Irrtümern ...“^{43, 44)}.

Bei R. Mayers „hypothesenfeindlicher“ (richtiger figmentfeindlicher) Einstellung nimmt es nicht wunder, daß er sich gegenüber der Atomistik von Dalton und Berzelius zwar nicht unmittelbar ablehnend, so doch abwartend verhält. Bei Erörterungen über das „innerste Wesen der Materie“ heißt es: „Allein dazu fehlt noch viel, denn es ist uns insbesondere unbekannt, ob es Atome gibt, d. h. ob die Materien aus solchen Bestandteilen bestehen, die bei den chemischen Prozessen an sich keine Formveränderung erfahren“. So wäre noch „die weitere Frage zu beantworten, ob man bei fortgesetzter Teilung der Materie zuletzt auch auf Moleküle gelangt, die in Beziehung auf Wärmeerscheinungen Atome sind“⁴⁵⁾. Die „Atomfrage“ führt nach R. Mayers Meinung über die der wissenschaftlichen Erkenntnis gezogenen Schranken hinaus „und halte ich sie deswegen für unpraktisch. Ein Atom an sich wird, so wenig als ein Differential, Gegenstand unserer Untersuchung sein können, obgleich das Verhältnis, in welchem solche unmeßbar kleine Hilfsgrößen unter sich stehen, durch konkrete Zahlen darstellbar ist“^{46, 47)}.

Als Denkbefehl, als „Rechenpfennig“ (nach Schopenhauer) erkennt also R. Mayer die Atome ohne weiteres an, wie aus anderen Stellen hervorgeht. Auf die Staffelung stofflicher Gebilde vom Atom zur Molekel, zum Radikal u. dgl. weist folgender Satz hin: „Bei der Bildung und Zersetzung eines Salzes z. B. können die Massenteilchen der Säure und der Basis die Rollen von Atomen spielen, während bei andren Prozessen diese Atome selbst wieder der Zersetzung unterliegen“⁴⁸⁾. Auch die „Isomerie“ chemischer Verbindungen (Berzelius 1832), d. h. die Tatsache, daß „Atome höherer Ordnung“ oder Molekeln (molécules intégrantes nach Avogadro 1811) bei gleicher elementarer Zusammensetzung infolge verschiedener „Struktur“ verschiedene Eigenschaften besitzen können, weiß R. Mayer Bescheid (An Baur 16. Aug. 1841⁴⁹⁾).

Mayers vorsichtig zurückhaltenden Einstellung in allen grundlegenden Fragen entspricht auch seine Stellung zum Problem eines Ur- oder Grundstoffes (so verlockend ihm als Vertreter der Einheitlichkeit der Kraft der Gedanke erscheinen mußte): „Ob es in zukünftigen Zeiten je gelingen werde, die zahlreichen chemischen Grundstoffe ineinander zu verwandeln, sie auf wenige Elemente oder gar auf einen einzigen Urstoff zurückzuführen, das ist mehr als zweifelhaft“⁵⁰⁾.

R. Mayers chemisches Interesse gilt vor allem den dynamisch-energetischen Beziehungen der chemischen Elemente und ihrer Verbindungen. Darum ist ihm die Thermochemie hochwichtig; in den thermischen Beziehungen offenbart sich besonders deutlich die treibende Kraft des „Chemismus“⁵¹⁾.

Daß R. Mayer mit thermochemischen Verhältnissen wohl vertraut ist, beweisen u. a. seine Ausführungen über die Unabhängigkeit der entwickelten Wärmemenge vom Reaktionswege (Wärmesatz von G. H. Hess 1840⁵²⁾): Es ist „für die Menge produzierter Wärme ganz gleichgültig“, in welcher Weise z. B. ein Metall verbrennt: in

⁴³⁾ In der Mechanik der Wärme 1867 ausgelassen; M. I. 31; über die Beziehung von „Phlogiston“ und „Lebenskraft“ s. auch M. II. 412.

⁴⁴⁾ Über den animistisch-dynamisch-energetischen Charakter der Phlogistontheorie — statt des „mechanistischen“ Charakters der neuen Chemie — s. auch K. A. Hofmann, Sitz. Ber. Preuß. Akad. d. Wissensch. 22. Jan. 1931, „Finden und Forschen in der älteren Chemie“. Nach v. Grothuß [1819], Ostw. Klass. 152, 172 soll die negative Elektrizität — E „das längst schon vergessene Phlogiston des berühmten Stahl aufs neue repräsentieren“; so lasse sich die Phlogiston-Theorie mit der Theorie von Lawoister vereinigen!

⁴⁵⁾ M. I. 268. ⁴⁶⁾ M. I. 267.

⁴⁷⁾ Als Verteidiger der Atomistik ist u. Theodor Fechner aufgetreten in seiner „Physikal. und philosoph. Atomlehre“ 1. Aufl. 1855, 2. vermehrte Aufl. 1864. R. Mayers skeptische Haltung kehrt bei Wilhelm Ostwald wieder, der jedoch schließlich zur Anerkennung der Atomistik gelangt ist.

⁴⁸⁾ M. I. 267.

⁴⁹⁾ M. II. 122.

⁵⁰⁾ M. I. 48.

⁵¹⁾ M. II. 253. Über die „Ursache“ der Verbrennungswärme.

⁵²⁾ M. I. 154.

der Luft, in der galvanischen Säule oder sonstwie (ganz analog den Verhältnissen bei der Erzeugung von Wärme auf verschiedenem mechanischen Wege).

Zu einer Scheidung von Gesamtenergie und freier Energie chemischer Systeme hat R. Mayer nicht gelangen können. Zwar war ihm die „bewegende Kraft“ von Sadi Carnot und der II. Hauptsatz der Wärmelehre von Clausius und W. Thomson bekannt (die Folgerung eines schließlichen „Wärmetodes“ der Welt durch Energieausgleich wurde von ihm mehr gefühlsmäßig als mit bestimmten Denkgründen abgelehnt⁵³⁾; die Anwendung auf die energetischen Beziehungen — die unmittelbare Arbeitsfähigkeit — chemischer Systeme aber (nach Helmholtz, Horstmann, Gibbs, Le Chatelier u. a.) ist ihm nicht mehr zugänglich geworden. Von chemischen Gleichgewichten (Guldberg und Waage 1867) ist bei R. Mayer nirgends die Rede. Er beschränkt sich auf „vollständige Reaktionen“ mit den zwei extremen Fällen vollkommen stabiler und vollkommen instabiler Verbindungen. „Merkwürdigweise gibt es auch Verbindungen, deren Trennung unter Entwicklung von Wärme und mechanischem Effekte vor sich geht. Solche Verbindungen entstehen niemals für sich allein, sondern erfolgen nur in Gemeinschaft mit chemischen Prozessen, welche von einer Wärmeentbindung begleitet sind. Wir müssen annehmen, daß die Wärme, welche bei der einen Verbindung entsteht, nach chemischer Ausdrucksweise: im status nascens, in die detonierende Verbindung teilweise eingeht“^{54, 55)}. (Hier taucht der fruchtbare Gedanke einer energetischen Reaktionskoppelung zur Herstellung unwahrscheinlicher, ja sonst unmöglicher Gebilde auf!)

Mit der Tatsache der Endothermie findet sich R. Mayer systematisch folgendermaßen ab: „Das was Chlor und Wasserstoff in chemischer Trennung, das ist Chlor und Stickstoff in chemischer Verbindung: eine Kraft“. Und in dem Schema der Hauptformen der Kräfte⁵⁶⁾ folgt auf Fallkraft, Bewegung⁵⁷⁾, Wärme, Magnetismus und Elektrizität:

„V. Chemisches Getrenntsein gewisser Materien
Chemisches Verbundensein gewisser anderer
Materien
} Chemische Kräfte.“

Die „chemische Kraft“ wird von R. Mayer vielfach als „chemische Differenz der Materie“ bezeichnet (auch bei Schopenhauer findet sich dieser Ausdruck⁵⁸⁾); das soll bedeuten „energetischer Abstand“ von Elementen als Gegenstück zu räumlichem Abstand von Körpern, also „chemische Affinität“.

Der Begriff „chemische Reaktionsgeschwindigkeit“ ist bei R. Mayer zwar dem Worte nach nicht zu finden, in seinen zahlreichen Ausführungen über organisch-physiologische Reaktionen dem Sinne nach jedoch vorhanden. Das tritt auch bei seinen mehrfachen Ausführungen über katalytische Reaktionen zutage, auf die wir an anderer Stelle einzugehen haben.

III. Robert Mayers Lehre der chemischen Affinität als einer Teilgestalt der unvergänglichen, aber wandelbaren Naturkraft.

Da R. Mayer dem auf seiner Energielehre sich aufbauenden II. Hauptsatz der Wärmelehre nur geringe Beachtung geschenkt hat⁵⁹⁾, so kann nicht erwartet werden, daß seine Affinitätslehre im wesentlichen schon diejenige der heutigen Thermodynamik wäre; nur die unverrückbare allgemein-energetische Grundlage — die in den ersten thermodynamischen Deduktionen von Sadi Carnot (1824) und Clapeyron (1834) noch fehlte, hat er schaffen können.

„In der Mitte der Burg weht das Panier: Wärme läßt sich in Bewegung verwandeln“⁶⁰⁾. (An Griesinger 22. Juni 1844.) Hierzu kommen die übrigen energetischen „Äquivalenzen“ von Fallkraft, Bewegung, elektrischer und magnetischer Kraft. Eine der Grund-

⁵³⁾ M. I. 250; M. II. 300, 423.

⁵⁴⁾ M. I. 69.

⁵⁵⁾ Hinzugefügt ist noch: „Wird eine gleiche Menge Chlorgas das einmal mit einer Salmiak-, das andermal mit einer Ammoniakauflösung vereinigt, so ist, wie der Verfasser fand, die Wärmeentwicklung im letzten Falle viel beträchtlicher, als im ersten. Den Grund hierzu müssen wir zum Teil darin suchen, daß bei der Bildung des Chlorstickstoffs Wärme „latent“ wird, die bei der Zersetzung als freie Wärme und als mechanischer Effekt wieder erscheint.“

⁵⁶⁾ M. I. 71.

⁵⁷⁾ Heute: Fallkraft = potentielle oder virtuelle Energie, Bewegung = aktuelle oder kinetische Energie (Tucht und Wucht). ⁵⁸⁾ Deussen I. 178. ⁵⁹⁾ M. I. 309, 351. ⁶⁰⁾ M. II. 216.

kräfte ist ja auch „die chemische Differenz der Materie“^{61, 62). „Die chemische Verbindung von 1 Gramm Kohlenstoff und 2,6 Gramm Sauerstoff ist nahezu äquivalent der mechanischen Verbindung von $\frac{1}{2}$ Gramm Gewicht mit der Erde; durch beide werden 8500 resp. 7400° Wärme erhalten. Die chemische Verbindung von 1 Gramm Wasserstoff (die Verbrennungswärme desselben nach *Dulong* = 34743° angenommen) mit 8 Gramm Sauerstoff ist nahe äquivalent der mechanischen Verbindung von 2 Gramm Gewicht mit der Erde; die Wärmeentwicklung bei beiden ist = 34700 resp. 30000°“^{63).} „Der Druck oder die Anziehung ist in der Bewegungslehre, was die Affinität in der Chemie...“^{64).}}

Robert Mayer vergleicht, wie wir sehen, gern terrestrisch- oder astronomisch-mechanische und chemische Energieeffekte nach ihrer Größenordnung^{65).} Für die dauernde Produktion der strahlenden Sonnenenergie sind chemische Prozesse unzureichend. „Ein auf die Sonne stürzendes Kilogramm Asteroidmasse gibt dort etwa so viel Wärme, als man bei der Verbrennung von 5000 Kilogramm Steinkohle erhält!“^{66, 67).}

Über die Beziehungen der chemischen Affinitätsenergie zu anderen Energiearten wird weiter ausgeführt, daß „nicht nur die im tierischen Organismus sich zeigende Wärme, sondern auch sämtliche mechanische Effekte nur dadurch entstehen können, daß fortwährend chemische Differenzen ausgeglichen (geopfert) werden“ (An *Griesinger*, 30. Nov. 1842⁶⁸⁾). Auch über die chemische Kraft eines galvanischen Elementes und seine Umwandlung in elektrische Kraft wird gehandelt^{69, 70).}

Der Strom der Sonnenkraft, „die sich auch über unsere Erde ergießt, ist die beständig sich spannende Feder, die das Getriebe irdischer Tätigkeiten im Gange erhält“^{71).} „Die Pflanzen nehmen eine Kraft, das Licht, auf und bringen eine Kraft hervor: die chemische Differenz^{72).} „Die ganze Wärmemenge, welche von den Steinkohlenlagern repräsentiert wird, ist aufgespeicherte Himmelskraft, ist Sonnenlicht...“^{73).} Die Tiere aber sind „eine andere Klasse von Geschöpfen, die den Vorrat durch Raub sich zueignen und ihn zu individuellen Zwecken verwenden“^{74).} „In dem Tierorganismus wird fortwährend eine Summe von chemischen Kräften aufgewendet. Ternäre und quaternäre Verbindungen erleiden während des Lebens in ihrer Zusammensetzung die wichtigsten Veränderungen und werden großenteils in Form binärer Verbindungen, als verbrannte Stoffe, nach kurzen Verweilen wieder ausgeschieden“^{75).}

Allgemein gilt für die Organismen, „daß während des Lebensprozesses nur eine Umwandlung, so wie der Materie, so der Kraft, niemals aber eine Erschaffung der einen oder anderen vor sich gehe“^{76, 77).} „Reizbarkeit“ oder „Irritabilität“ als Merkmal pflanzlichen und tierischen Lebens ist nach *R. Mayer* „die Fähigkeit eines lebendigen Gewebes, chemische Kraft in mechanischen Effekt verwandeln zu können“^{78).} „Es gibt in Wahrheit nur eine einzige Kraft. In ewigem Wechsel kreist dieselbe in der toten wie in der lebenden Natur. Dort und hier kein Vorgang ohne Formveränderung der Kraft“^{79).} „Fallkraft, Bewegung, Wärme, Licht, Elektrizität und chemische Differenz der Ponderabilien sind ein und dasselbe Objekt in verschiedenen Erscheinungsformen“ (An *Griesinger*, 16. Dez. 1842⁸⁰⁾).

⁶¹⁾ M. I. 67.

⁶²⁾ Diese Bezeichnungsweise erklärt sich daraus, daß *R. Mayer* dem „räumlichen Abstand der Materie“, der die Fallkraft (Gravitation) in Erscheinung treten läßt, in kühnem Vergleich den „energetischen Abstand“ auf dem Gebiet der Bausteine der Materie (Polarität, Resonanz, Potentialdifferenz) analog setzt, der für chemische Kraftäußerung in der Affinität Voraussetzung ist. Einen anderen beziehungsreichen Vergleich gibt *R. Mayer* mit der „Erde als eine große und immerfort tätige Elektrisiermaschine“ (M. I. 353).

⁶³⁾ 1845; M. I. 67; s. auch M. I. 170-172, M. II. 264.

⁶⁴⁾ M. I. 251.

⁶⁵⁾ Auch M. II. 254 usw.

⁶⁶⁾ M. I. 402; s. auch M. I. 170, 175, sowie Anm. ^{18).}

⁶⁷⁾ Was würde *R. Mayer* zu den ungeheuerlich hohen Energiebeträgen sagen, die nach heutigen Kenntnissen bei Atomkernprozessen frei werden können!

⁶⁸⁾ M. II. 181. ⁶⁹⁾ M. I. 71.

⁷⁰⁾ Über die Möglichkeit einer technischen Verwendung der auf chemischem Wege gewonnenen elektrischen Energie statt der Dampfkraft s. M. I. 30 (Schlußsatz des Aufsatzes von 1842). Auch weiterhin wird von der Nutzbarmachung der „Kräfte metamorphose zu technischen Zwecken“ gesprochen; so in seinem Vortrage auf der Naturforschertagung in Innsbruck 1869 (M. I. 350).

⁷¹⁾ M. I. 74. ⁷²⁾ M. I. 75. ⁷³⁾ M. I. 405. ⁷⁴⁾ M. I. 78.

⁷⁵⁾ M. I. 79. ⁷⁶⁾ M. I. 76.

⁷⁷⁾ Es ist hier auch an die ähnlich lautenden Äußerungen von *Liebig* aus der gleichen Zeit zu erinnern. Einseitig hatte er, wie *R. Mayer* selber rühmend hervorhebt (M. I. 247), „in mehr allgemeineren, so doch in ganz unzweideutigen Ausdrücken auf den zwischen der Wärme und der Bewegung bestehenden Zusammenhang hingewiesen“. Andererseits war es „ein großes und anerkanntes Verdienst *Liebigs*, die Wahrheit dieses aus den Entdeckungen *Lavoisiers* resultierenden Satzes“ („Die einzige Ursache“ usw., s. oben; d. Verf.), gegen erhobenen Zweifel und Bedenken siegreich verteidigt zu haben“ (M. I. 81). (K. F. Schultz, Berlin, betritt noch 1844 den chemischen Stoffwechsel in Pflanzen und Tieren.)

⁷⁸⁾ M. I. 117.

⁷⁹⁾ M. I. 48.

⁸⁰⁾ M. II. 201.

IV. R. Mayers Parallelsetzung stofflicher Unzerstörbarkeit und der Unvergänglichkeit der Kraft (Energie).

Robert Mayer allgemeines Denken kreist dauernd um den Substanzbegriff im allgemeinen Sinne, d. h. um die Frage nach dem, was in allem Wechsel der Form als etwas Dauerndes und Unvergängliches bestehen bleibt. Hatte man in dem älteren philosophischen Schrifttum nur ganz unbestimmt von Erhaltung des Stoffes und von der Einheit und Ewigkeit der Kraft gesprochen, so war um das Ende des 18. Jahrhunderts zum ersten Male in systematisch-experimenteller Weise auch ein systematisch-quantitativer Nachweis für die Beständigkeit des Stoffes, der Materie, bei beliebigen Wandlungen geführt worden (*Lavoisier*, anschließend *Berzelius* u. a.; vgl. *R. Mayers* Worte über die Begründung der Stöchiometrie durch *Lavoisier*⁸¹⁾). Für *R. Mayer* ist es von vornherein eine ausgemachte Sache, daß in Chemie und Physik dieselbe Grundgesetzmäßigkeit bestehen müsse. Er will nun gewissermaßen „die Achse, um welche sich die Lehre von den Materien dreht, auch für die Lehre von den Kräften gewinnen“ (An *Baur*, 16. Aug. 1841^{82, 83).}

Schon in dem ersten, von *Poggendorf* abgelehnten Aufsatz von 1841 „Über die quantitative und qualitative Bestimmung der Kräfte“ ist ein begrifflicher Parallelismus oder Komplementarismus für beide Disziplinen ausgesprochen: Chemie ist diejenige Wissenschaft, „welche sich mit der Art des Seins der Stoffe“, Physik aber diejenige, „welche sich mit der Art des Seins der Kräfte beschäftigt“^{84).} Weiter heißt es: „Der Chemiker hat es mit einer gegebenen Quantität Materie zu tun, der Physiker mit einer gegebenen Quantität Kraft. — Die gleiche Bewandtnis wie mit der Lehre von den Materien (Chemie) hat es mit der Lehre von den Kräften (Physik); beide müssen auf dieselben Grundsätze basiert sein“ (An *Baur*, 16. Aug. 1841⁸⁵⁾). Und später (1845) wiederum: „Was die Chemie in Beziehung auf Materie, das hat die Physik in Beziehung auf Kraft zu leisten“^{86).} „Es ist hier mit der Kraft wie mit dem Stoffe“^{87).}

Mayers große Tat ist es nun, daß er seine spekulative Überzeugung, seine Leitidee, daß „Kraft“ (Energie) ebenso unzerstörbar sein müsse wie der Stoff, durch einen auf Messungen früherer Forscher beruhenden quantitativen Nachweis zu einem „Gesetz“ erhoben hat. Diesen Nachweis für die „Unzerstörbarkeit“ der „Kraft“ als „Arbeit und Arbeitsfähigkeit“ (nach heutigem Ausdruck „Energie“) hat er durch die Bestimmung des mechanischen Wärmeequivalents (1842) geliefert: 1 Calorie = 365 kg m (1845 genauer: = 425 kg m). So wurde bestätigt: „Als Axiom — und bei allen tausend Teufeln — nicht als Hypothese: eine Kraft ist nicht weniger unzerstörlich als eine Substanz“ (An *Baur*, 1. Aug. 1841⁸³⁾).

Nicht bloß in großen Zügen, sondern auch in den näheren Bestimmungen der neuen Lehre zieht sich die Analogie, die Parallelsetzung von chemischen und physikalischen Beziehungen wie ein roter Faden hindurch^{88).} Vor allem sucht *R. Mayer* ständig das Verhältnis der verschiedenen Energieformen zueinander durch zwei Ausdrücke verständlich zu machen, die er beide von entsprechenden bekannten Verhältnissen in der Chemie als der Lehre von den Stoffen hernimmt: „Äquivalenz“ und „Umwandlung“.

In gleicher Weise, wie man von einem „Knallgasäquivalent des Wassers“ reden kann, oder wie bestimmte Schwefelsäure- und Salpetersäuremengen in bezug auf die Absättigung bei der Neutralisation mit Kali einander „äquivalent“, obwohl nicht „gleich“ sind, so können auch Kräfte im Verhältnis quantitativer Äquivalenz stehen^{89).} „Daher datiert sich das Axiom von der unveränderlichen

⁶¹⁾ M. I. 389, 399.

⁶²⁾ M. II. 121.

⁶³⁾ Wiederum hatte in demselben Jahre (1842), in welchem *Mayer* mit steter Berufung auf die Chemie die Physik reformierte, *Liebig* rühmend hervorgehoben, daß durch Übertragung physikalischer Methoden auf die Chemie durch *Lavoisier* eine Erneuerung der Chemie erreicht worden war (s. M. I. 15).

⁶⁴⁾ M. II. 101. ⁶⁵⁾ M. II. 120, 121. ⁶⁶⁾ M. I. 48. ⁶⁷⁾ M. I. 325; s. auch I. 60—62.

⁶⁸⁾ M. II. 115.

⁶⁹⁾ Schon A. *Riehl* hat auf die große Bedeutung der chemischen Parallelen für *R. Mayers* physikalische Erkenntnisse hingewiesen; ähnlich W. *Ostwald*. Auch *Liebig* hat derartige Vergleiche gezogen, z. B.: „Wärme, Elektrizität und Magnetismus stehen in einer ähnlichen Beziehung zueinander wie die chemischen Äquivalente von Kohle, Zink und Sauerstoff. Die Elektrizität kaufe ich mit chemischer Affinität“ usw. (1841).

⁷⁰⁾ M. I. 249.

Quantität der Kräfte“ (An *Baur*, 16. Aug. 1841⁹¹). Fernerhin, mit noch stärkerem Eindringen in chemische Entsprechungen: „Sehr einfach werden die physikalischen Gesetze dadurch, daß, wonach man sich in der Chemie vergebens sehnt, ihre Objekte, die verschiedenen Kräfte, sich aufeinander zurückführen lassen; wie erfreut war ich, als ich dieses Resultat, Isomerie der Kräfte, nach und nach auffand“ (An *Baur*, 16. Aug. 1841⁹²). Stofflicher Äquivalenz in der Chemie steht also eine dynamische Äquivalenz in der Physik gegenüber.

Ebenso wie den Begriff „Äquivalenz der Kräfte“ sucht *R. Mayer* auch den Ausdruck „Umwandlung der Kräfte“ durch chemische Gleichnisse geläufig zu machen. Er legt großen Wert darauf, seinen Begriff „Umwandeln“, „Verwandeln“ aller mystischen Nebenvorstellungen zu entkleiden. Wissenschaftlich soll das Wort nur bedeuten, daß in einem späteren Augenblick etwas da ist, was vorher in dem gleichen System nicht war, und daß zwischen beidem bestimmte Zahlenverhältnisse nach festen Regeln bestehen. „Wenn hier eine Verwandlung von Wärme in mechanischen Effekt statuiert wird, so soll damit nur eine Tatsache ausgesprochen, die Verwandlung selbst aber keineswegs erklärt werden. Ein gegebenes Quantum Eis läßt sich in eine entsprechende Menge Wasser verwandeln; diese Tatsache steht fest da, und unabhängig von unfruchtbaren Fragen über Wie und Warum und von gehaltlosen Spekulationen über den letzten Grund der Aggregatzustände“^{93, 94}. Ähnlich gilt auch für Verwandlung der Kraft: „Etwas andres als eine konstante numerische Beziehung soll und kann hier das Wort „Umwandeln“ nicht ausdrücken“⁹⁵.

Der Chemiker hält durchaus den Grundsatz fest, daß die Substanz unzerstörlich, und daß die zusammensetzenden Elemente und die gebildete Verbindung im notwendigsten Zusammenhang stehen; wenn H und O verschwinden (qualitativ null werden) und HO auftritt, so darf der Chemiker nicht annehmen, H und O werden wirklich zu null, die Bildung von HO aber sei ein Zufälliges oder Außerwesentliches Ganz dieselben Grundsätze müssen wir auf die Kräfte anwenden; auch sie sind wie die Substanz unzerstörbar, auch sie kombinieren sich miteinander, verschwinden somit in der alten Form (werden qualitativ null), treten dafür in einer neuen auf, der Zusammenhang der ersten und zweiten Form ist ebenso wesentlich als der von H und O und HO.“ (An *Baur*, 24. Juli 1841⁹⁶) Gerade das Äquivalenzverhältnis von Sauerstoff und Wasserstoff zu Wasser dient noch wiederholt als „Modell“ für die Äquivalenz verschiedener Kräfte; so in einem Briefe an *Griesinger* vom 30. Nov. 1842⁹⁷; desgleichen vom 5. u. 6. Dez. 1842⁹⁸): „Wie der verschwindende O und H Wasser gebe, warum nicht etwa eine Materie von andern Eigenschaften daraus entstehe, darüber wird sich wohl kein Chemiker den Kopf zerbrechen“⁹⁹.

V. Chemie und Kausalität.

Ausführungen über *Robert Mayers* „Energetik“ sind unvollständig, wenn nicht auch der Beziehung gedacht wird, in welche er seine Gedanken über die Unzerstörbarkeit und Wandelbarkeit der Kraft sowie des Stoffes zu dem Ursachbegriff der Physik bringt.

A. Stoffliche und energetische Erhaltungskausalität gilt für die chemische Reaktion als Ganzes. Seit *Leibniz* und *Huyghens* herrschte in der Physik: „causa aequat effectum“, ein Satz, den *R. Mayer* begierig aufnimmt und durch die weiteren alten Sätze ergänzt: „Ex nihilo nil fit. Nil fit ad nihilum“^{100, 101}. In der quantitativen Erhaltung von Stoff einerseits, Kraft andererseits sieht *R. Mayer* von Anfang an den eigentlichen und wahren Inhalt des

⁹¹) M. II. 122.

⁹²) M. I. 122.

⁹³) M. I. 51.

⁹⁴) Hinzugefügt ist noch der für *R. Mayer* „positivistische“ Bescheidung kennzeichnende Satz: „Die echte Wissenschaft begnügt sich mit positiver Erkenntnis und überläßt es willig dem Poeten und Naturphilosophen, die Auflösung ewiger Rätsel mit Hilfe der Phantasie zu versuchen“.

⁹⁵) M. I. 265.

⁹⁶) M. II. 110.

⁹⁷) M. II. 176.

⁹⁸) M. II. 187.

⁹⁹) Ganz analog bleibt *R. Mayer* bei dem Satze stehen: Bewegung verwandelt sich in Wärme, ohne sich in Erörterungen über den Satz einzulassen: „Wärme ist Bewegung. „Wir möchten vielmehr das Gegenteil folgern, daß um Wärme werden zu können, die Bewegung ... aufzuhalten müsse, Bewegung zu sein“ (M. I. 28, 266). „Aufhörende Bewegung dauert als Wärme fort“ (An *Baur*, 1. Aug. 1841; M. II. 115). Die Beziehungen zwischen Wärme und Bewegung sind dieselben wie die quantitativen Beziehungen „zwischen dem Äther und seinem Dampf“ (An *Griesinger*, 20. Juli 1844, M. II. 225); oder wie wenn sich Alkohol beim Erhitzen in „Äther und Wasser“ verwandelt. „Bewegung verwandelt sich in Wärme, in diesen fünf Worten hast Du implicite meine ganze Theorie. — Ich habe das Gleiche gegeben, wie sich eine Säure und Basis in Salz verwandeln, so zwei entgegengesetzte Bewegungen in Wärme“ (An *Griesinger*, 22. Juli 1844, M. II. 217).

¹⁰⁰) M. I. 48.

¹⁰¹) Schopenhauer zitiert den „alten Satz“: „Ex nihilo nihil fit, et in nihilum nihil potest reverti“ (Welt als Wille und Vorstellung Bd. II., Kap. 41).

Kausalprinzips. „Man kann sagen: Eis ist die Ursache des Wassers usw.; man gebraucht inzwischen diese Benennung bei den ponderablen Objekten bekanntlich nicht“ (An *Griesinger*, 30. Nov. 1842¹⁰²).

In der Arbeit von 1842 heißt es: „Knallgas, H + O, und Wasser HO verhalten sich wie Ursache und Wirkung, also H + O = HO. Wird aus H + O HO, so kommt außer Wasser noch Wärme, cal. zum Vorschein; diese Wärme muß ebenfalls eine Ursache, x, haben; es ist also: H + O + x = HO + cal. ... Die Phlogister erkannten ...“^{103, 104}. Allgemein wird sogleich im Eingange gesagt: „Kräfte sind Ursachen; mithin findet auf dieselben volle Anwendung der Grundsatz: causa aequat effectum. In einer Kette von Ursache und Wirkungen kann, wie aus der Natur einer Gleichung erhellt, nie ein Glied oder ein Teil eines Gliedes zu Null werden. Diese erste Eigenschaft aller Ursachen nennen wir ihre Unzerstörlichkeit. — Ursachen sind (quantitativ) unzerstörliche und (qualitativ) wandelbare Objekte“¹⁰⁵.

R. Mayer unterscheidet „zwei Abteilungen von Ursachen“ in der Natur, „zwischen denen erfahrungsgemäß keine Übergänge stattfinden“¹⁰⁶: Materien als „Ponderabilien“ und Kräfte als „Imponderabilien“¹⁰⁷. Er geht nun systematisch den Gleichheits- und Äquivalenzbeziehungen in Chemie und Physik nach, die er mit der Beziehung Ursache—Wirkung identifiziert. So heißt es z. B.: „Die Gleichheit von Ursache und Wirkung wird durch den Groveschen Gasapparat zur unmittelbaren Anschauung gebracht“¹⁰⁸. Das soll heißen: Chemische „Kraft“ verwandelt sich in „elektrische“, entsprechend „dem gegebenen Abstand von Metall und Sauerstoff, von Salz und Säure“ (mit heutigen Worten: entsprechend dem „energetischen Abstand“, der Potentialdifferenz, der elektromotorischen Kraft, der freien Energie der Stoffe in der galvanischen Kette). Kraft ist: „Etwas, das bei der Erzeugung der Bewegung aufgewendet wird, und dieses Aufgewendete ist die Ursache der Wirkung, der hervorgebrachten Bewegung gleich.“ — „Das Produkt ps = Mc² nenne ich kurzweg eine Kraft. — Das auf dem festen Erdboden liegende Gewicht ist, wie die gebildete Kohlensäure, nichts weiter als ein caput mortuum“¹⁰⁹.

B. Auslösungs- oder Veranlassungskausalität, insbesondere Katalyse; Begriff der Lebenskraft.

Wenn *R. Mayer* in den durch Gleichungen symbolisierten Äquivalenzverhältnissen bei allen Wandlungen des Stoffes und der Kraft den bleibenden Inhalt des allgemeinen physikalischen Kausalbegriffes erblickt¹¹⁰, so mußte ihm doch zum Bewußtsein kommen, daß nicht nur im Alltagsleben, sondern auch in der Wissenschaft die Worte Ursache — Wirkung noch in einem ganz anderen Sinne gebraucht werden, der sich in dem Satz: „kleine Ursachen, große Wirkungen“ kundgibt. Es handelt sich etwa um folgende Tatsachen: „Der Funken entzündet das Pulver, die Mine fliegt auf. Man sagt hier: der Funke a ist die Ursache der Pulverexplosion b, und diese wieder die Ursache von dem Emporwerfen c der Erde“. (An *Griesinger*, 20. Juli 1844¹¹¹).

Diese Form menschlichen Kausalvollzuges hat *R. Mayer* später durchgängig „Auslösung“, auch Anstoß und Anlaß genannt; und dieser Auslösungskausalität ordnet er vor allem den Begriff der Katalyse (*Berzelius* 1835) unter.

¹⁰²) M. II. 178.

¹⁰³) M. I. 31; s. weiter unter II.

¹⁰⁴) Nach *Weyrauch* war *R. Mayer* von der Tatsache überrascht, „daß zwar in der Chemie der ursächliche Zusammenhang zwischen verschwindenden und entstehenden Gebilden (Materien) überall als selbstverständlich galt, während in der Physik „der rote Faden“ an tausend Stellen unterbrochen war, daß Ursachen ohne Wirkungen und Wirkungen ohne Ursachen vorgeführt wurden“; das gilt vor allem hinsichtlich der „Unerklärbarkeit“ der Reibungswärme (M. I. 15).

¹⁰⁵) M. I. 23—24.

¹⁰⁶) Heutzutage, angesichts der gefundenen Äquivalenz von Masse und Strahlungsenergie, gemäß der experimentell belegten Gleichung $E = mc^2$ (z. B. bei der Bildung eines Elektron-Positron-Paares aus einem energiereichen Photon) würde *R. Mayer* diesen Satz modifizieren. Ist ja Materie schließlich nichts anderes als zusammengeballte Dauerenergie.

¹⁰⁷) M. I. 24.

¹⁰⁸) M. I. 71.

¹⁰⁹) M. I. 255, 256.

¹¹⁰) Der enge mechanistische Kausalbegriff (mit Konstellation und Impuls, Ort und Geschwindigkeit von Massenpunkten), wie er in der Weltformel von *Laplace* seinen schärfsten Ausdruck gefunden hat, spielt für *R. Mayer* nur eine untergeordnete Rolle; er gehört lediglich der (von ihm hochgeschätzten) klassischen Mechanik an.

¹¹¹) M. I. 224.

Schon in der großen Arbeit von 1845 spricht er von „chemischen Aktionen“, die „von der bloßen Anwesenheit gewisser Stoffe bedingt werden“ und die man als „Kontakteinfluß“ bezeichnet oder einer „katalytischen Kraft“ zuschreibt¹¹²⁾. Das gilt z. B. für die physiologische Oxydation durch den Atmungssauerstoff, wobei — ganz in der Weise von *Berzelius* — die Gefäßwandungen der Capillaren und die Organe als „Katalysatoren“ angesprochen werden¹¹³⁾. Dazu gibt *R. Mayer* noch eine bedeutsame Erläuterung in einer Fußnote: „Katalytisch heißt eine Kraft, sofern sie mit der gedachten Wirkung in keinerlei Größenbeziehung steht. Eine Lawine stürzt in das Tal; der Windstoß oder der Flügelschlag eines Vogels ist die „katalytische Kraft“, welche zum Sturze das Signal gibt und die ausgebreitete Zerstörung bewirkt“¹¹⁴⁾.

Dreißig Jahre später hat *R. Mayer* dieses Erscheinungsgebiet: „kleine Ursachen — große Wirkungen“ zum Gegenstand einer besonderen Abhandlung gemacht: Über Auslösung 1876¹¹⁵⁾, auf die wir hier nicht ausführlich eingehen können¹¹⁶⁾. Es sei nur bemerkt, daß nunmehr das ganze Gebiet der Entfesselung gehemnter, latenter oder potentieller Energien vom rein Physikalischen bis in das Psychophysische hinein verfolgt wird; Vorgänge wie Katalyse, Gärungsprozesse, Auslösung der Muskelbewegungen durch den Nerv, ja schließlich auch die physische Betätigung des Willens werden dem Auslösungs begriff untergeordnet. „Der geistige Einfluß lenkt, aber bewegt nicht“^{117), 118)}.

Diese ganze Gedankenentwicklung *R. Mayers* ist hochbedeutsam auch insofern, als sich hier eine Auflockerung des Ursachbegriffes sowie des Kraftbegriffes vollzieht. Hatte *R. Mayer* im Anfang nur „bewegende“ Kräfte, mit heutigem Ausdruck „energetische Kräfte“ anerkannt und demgemäß die Bezeichnung „katalytische Kraft“, „Lebenskraft“ scharf verworfen, so läßt er später auch derartige Kräfte nichtenergetischer Art (Richtkräfte und Formkräfte, diaphysische Kräfte nach *J. Reinke*, bilanzfreie Impulse nach *R. Woltereck*) durchaus gelten, sofern man sich nur darüber klar ist, daß hier das Wort „Kraft“ in einem ganz anderen Sinne gebraucht wird als in den Bezeichnungen „Fallkraft, elektrische Kraft, chemische Kraft“ usw.¹¹⁹⁾. Diese Weitherzigkeit und Duldsamkeit bereitet sich schon um das Jahr 1850 vor: „Was insbesondere die Kräftefrage anbelangt, so handelt es sich ja zunächst nicht darum, was eine ‚Kraft‘ für ein Ding ist, sondern darum, welches Ding wir ‚Kraft‘ nennen wollen“¹²⁰⁾.

Wie sehr *R. Mayer* davon überzeugt ist, daß es — menschlich gesehen — eine Stufenordnung der Anstoß-Vernursachung, insofern auch eine Staffelung der Kräfte gibt, in der die physikalisch-chemischen Kräfte gewissermaßen das unterste Stockwerk bilden, geht aus zahlreichen Äußerungen hervor: „Vom Terrain der physikalischen Wissenschaften aus“ will er „im Gebiet der Physiologie festen Fuß fassen“¹²¹⁾; doch läßt uns schließlich „bei den Lebensvorgängen Chemie im Stiche“¹²²⁾. „Und es wird gewiß die Zeit kommen, wo nicht jede tiefere Anschauung des Lebensprozesses durch mikroskopische und chemische Substitutionen verdrängt wird^{123), 124)}. Der physikalisch-chemischen Gesetzmäßigkeit

¹¹²⁾ M. I. 101, 102.

¹¹³⁾ M. I. 104.

¹¹⁴⁾ M. I. 102.

¹¹⁵⁾ M. I. 440—446.

¹¹⁶⁾ S. hierzu auch *A. Mittasch*, Auslösungskausalität, ein vergessenes Kapitel *Robert Mayer*? Umschau **43**, 1114 [1939]. *Robert Mayer* und die Kataiye, Chemiker-Ztg. **64**, 38 [1940]. Fernerhin: „Von Dary und Döbereiner bis Deacon“ 1932, S. 94 ff.

¹¹⁷⁾ M. I. 87.

¹¹⁸⁾ Es handelt sich hier um Vorgänge, bei denen „die Ursache der Wirkung nicht nur nicht gleich oder proportional ist, sondern wo überhaupt zwischen Ursache und Wirkung gar keine quantitative Beziehung besteht, vielmehr in der Regel die Ursache der Wirkung gegenüber einer verschwindend kleinen Größe zu nennen ist“. Obwohl es nicht deutlich ausgesprochen ist, läßt sich doch erkennen, daß schon nach *Mayers* Auffassung der Begriff „Auslösung“ das Bestehen latenter (potentieller) Energien voraussetzt, die irgendwie gehindert, gehemmt, gesperrt oder blockiert sind und gewissermaßen „auf Betätigung warten“; eine wie große Rolle heute derartige Begriffe, z. B. in der „Verstärkung“ der Elektrizitätslehre und in der gesamten Physiologie der Wirk- und Reizstoffe samt „Induktion“ und Nervenimpulsen spielt, braucht nur angedeutet zu werden. Man kann sich unschwer vorstellen, wie *R. Mayer* von seinem allgemeinen dualen Kausalbegriff aus sich zu der noch heute vielfach behaupteten „Akausalität“ atomaren Geschehens stellen würde: A mechanist. d. h. Versagen der Begriffe spezieller mechanischer Kausalität, nicht aber „Akausalität“ = vollkommene Ursachlosigkeit = absoluter Zufall!

¹¹⁹⁾ S. auch M. I. 223 über den zweifachen Sinn des Wortes „Kraft“.

¹²⁰⁾ M. I. 260.

¹²¹⁾ M. II. 204.

¹²²⁾ M. I. 333.

¹²³⁾ M. II. 250.

¹²⁴⁾ In der Vorstellung einer Obergesetzlichkeit des Lebens trifft *R. Mayer* durchaus mit *Schopenhauer* (s. Anm. ²²⁾) sowie mit den späteren Anschauungen von *Liebig* zusammen. *Liebig* lehrt, „daß in dem lebenden Leibe eine Ursache besteht, die die chemischen und physikalischen Kräfte der Materie beherrscht und sie zu Formen zusammenführt, die außerhalb des Organismus niemals wahrgenommen werden.“ Zugleich aber gilt:

überlagert sich die Lebensgesetzlichkeit, und über diese erhebt sich wiederum die Macht des Geistes, des göttlichen Logos: „Der griechische Weltweise *Anaxagoras* hat schon als den letzten Grund aller Bewegungsscheinungen den Nous, ein allweises höchstes Wesen, was im Grunde mit dem Johanneischen Logos identisch ist, angenommen“¹²⁵⁾.

Schluß.

Es erscheint überflüssig, darauf einzugehen, welche grundlegende Bedeutung *Mayers* Satz von der „Unzerstörlichkeit der Kraft“¹²⁶⁾ (nach *Helmholz*: „Erhaltung der Kraft“, heute: Erhaltung der Energie) in der Entwicklung der theoretischen Chemie gewonnen hat. Er bildet die Grundlage der Thermodynamik und Affinitätslehre, und er hat auch durch die Aufspaltung der Energie (insbesondere der Strahlungsenergie) in „Quanten“ durch *Max Planck* (ab 1900) nichts an Bedeutung verloren; nur muß für extreme Verhältnisse heute auch eine Äquivalenz höchster Ordnung: von Masse und Energie in Betracht gezogen werden.

Ein kurzes Wort ist indessen noch *R. Mayers* Erkenntnis-theoretischer Stellungnahme zu widmen. Hier heißt es: „Was eigentlich die Materien seien . . . erfährt man am besten, wenn man Chemie studiert“ (An *Griesinger* 5. u. 6. Dez. 1842¹²⁷⁾). Allen haltlosen und „geistlosen Spekulationen“ und „den Fasoleien der Naturphilosophen“ ist *R. Mayer* abhold (es ist hier vor allem an *Hegel* zu denken, gemäß Mitteilung von *G. Rümelin*¹²⁸⁾). Jeder Mystik des „Umwandlens“, jeder „Verabsolutierung“ der Kraft, jeder Erhebung der Energie zum Weltprinzip steht *R. Mayer* durchaus fern; es handelt sich lediglich um quantitative Verhältnisse, um „eine konstante numerische Beziehung“¹²⁹⁾.

Bei aller Hochschätzung positiver empirischer Wissenschaft ist *R. Mayer* davon überzeugt, daß sich mit Chemie und Physik, also auch mit seinem „Erhaltungssatz“ und seinem „Auslösungssatz“, die Fülle der Wirklichkeit zwar in ein Schema bringen läßt, daß aber dieses Schema, dieses Beziehungstum die Qualität der Dinge und den Sinn der Erscheinungen nicht trifft. „In der Physik ist die Zahl alles, in der Physiologie ist sie wenig, in der Metaphysik ist sie nichts“¹³⁰⁾. Den Materialismus und Mechanismus als Methode erkennt *R. Mayer* durchaus als berechtigt an, als Weltanschauung aber verwirft er ihn, ähnlich wie *Schopenhauer* und *Fr. A. Lange*, mit harten Worten¹³¹⁾. Ist das Mineralreich „das Reich der Notwendigkeit“¹³²⁾, so erscheint das Pflanzenreich als das „Reich der Zweckmäßigkeits“¹³³⁾, die animalische Welt, vor allem die Welt des Menschen als „ein Reich des Fortschrittes und der Freiheit“¹³⁴⁾. Mit dem Physiologen *Adolph Hirn* nimmt er „dreierlei Kategorien von Existenz“ an: „1. die Materie, 2. die Kraft und 3. die Seele oder das geistige Prinzip. — Das Gehirn ist nur das Werkzeug, es ist nicht der Geist selbst. — In der unbelebten Welt spricht man von Atomen, in der lebenden Welt finden wir Individuen“¹³⁵⁾. Und weiterhin: „Näheres über die Art und Weise, wie das Organ, der Muskel, die Metamorphose einer chemischen Differenz in mechanischen Effekt hervorbringt, wissen wir nicht zu sagen . . .“, es „enthält jeder dieser Prozesse ein für das menschliche Erkenntnisvermögen un durchdringliches Mysterium“¹³⁶⁾. „Die ewige Vernunft möchte ich mir aber nicht getrauen, mit kritischem Maßstabe ausmessen zu wollen“¹³⁷⁾. „Die Wahrheit ist ja an und für sich ewig, und das Ewige läßt sich nicht definieren und auch nicht beweisen“¹³⁸⁾. „Der Urgrund der Dinge ist ein dem Menschenverstand ewig unerforschliches Wesen — die Gottheit“¹³⁹⁾.

Eingeg. 20. Dezember 1939. [A. 107.]

¹²⁶⁾ Es ist kein anderer Weg denkbar, eine Einsicht in das Wesen der Lebenskraft zu erhalten, als der Weg der Naturforschung. Nach *W. Ostwald* herrscht die Biologie „als autonome Wissenschaft, allerdings nicht unabhängig von Chemie und Physik, sondern innerhalb der durch sie gegebenen Grenzen des empirisch Möglichen.“ S. hierzu auch *A. Mittasch*, Katalyse und Lebenskraft, Umschau **40**, 733 [1936], Katalyse und Determinismus, 1938.

¹²⁷⁾ M. I. 401.

¹²⁸⁾ In seiner durchaus dynamisch-aktivistischen Einstellung zur Naturwirklichkeit erscheint *R. Mayer* einerseits als ein Nachfahr von *Paracelsus* (dessen „Tugend“ = das zum Wirken taugende Vermögen des „Dinges“ = Materie) und von *Leibniz*, wie er anderseits in gewisse Annäherung an *Schopenhauers* „Willen in der Natur“ gelangt: „Der Wille ist die Kraft“. — „Damit etwas geschieht, muß freie Energie vorhanden sein“ (*W. Ostwald*, Scientia **1911**, 369: Der Wille und seine physische Grundlegung.)

¹²⁹⁾ M. II. 191.

¹³⁰⁾ M. I. 20.

¹³¹⁾ M. I. 265.

¹³²⁾ M. I. 355.

¹³³⁾ M. I. 376.

¹³⁴⁾ M. I. 398.

¹³⁵⁾ M. I. 404.

¹³⁶⁾ M. I. 355.

¹³⁷⁾ M. I. 356, 357.

¹³⁸⁾ M. I. 108.

¹³⁹⁾ M. I. 376.

¹⁴⁰⁾ M. I. 418.

¹⁴¹⁾ M. I. 262.