

Energie und Katalyse

Wilhelm Ostwalds Naturphilosophie gestern und heute

Klaus Mainzer
Lehrstuhl für Philosophie und Wissenschaftstheorie
Institut für interdisziplinäre Informatik
Universität Augsburg

Abstract: Energie und Katalyse sind Schlüsselbegriffe zum Werk von Wilhelm Ostwald. Seine Naturphilosophie nannte er selber „Energetik“. Für seinen Katalysebegriff erhielt er den Chemie-Nobelpreis. Nach ersten Vorlesungen in Leipzig über Naturphilosophie erschien 1908 sein „*Grundriss der Naturphilosophie*“, in dem er ein modernes Konzept der Naturphilosophie im Rahmen der Naturwissenschaft entwirft. So heißt es bezeichnenderweise in der Einleitung:

„Es ist [...] die Naturphilosophie der allgemeinste Teil der Naturwissenschaft. [...] Seit die Wissenschaft besteht, hat es einen gewissen Betrag solcher allgemeinen Gesetze gegeben, die zwar in Form und Ausdruck vielfach gefeilt und bezüglich der Grenzen ihrer Geltung vielfach berichtigt worden sind, die aber dennoch ihren wesentlichen Bestand beibehalten haben. [...] Das Netz dieser Beziehungen erweitert und vermannigfaltigt sich unaufhörlich, seine Hauptzüge bleiben bestehen.“ [e.d., S. 9, 15]

Im folgenden werden diese Thesen geprüft und Ostwalds allgemeine Gesetze und Prinzipien mit heutigen Weiterentwicklungen konfrontiert. Dabei wird sich zeigen, dass seine naturphilosophischen Konzepte von großer Aktualität sind. Wir beginnen mit den Prinzipien der Erhaltung der Energie und des Verbrauchs freier Energie, also dem ersten und zweiten Hauptsatz der Thermodynamik, die heute von der Gleichgewichts- zur Nichtgleichgewichts-Thermodynamik weiterentwickelt wird. Der Abschnitt „Von der Katalyse zu Autokatalyse und Selbstregulation“ beschreibt den Übergang von der Chemie zur Biologie. Es folgen die Abschnitte „Energetik und Selbstregulation des Lebens“, „Energetik und Selbstregulation des Geistes“ und „Energetik und Selbstregulation in Technik und Gesellschaft“ mit aktuellen Bezügen zu den heutigen Life-Sciences, Gehirn- und Kognitionsforschung und schließlich zu Technik und Gesellschaft. Als methodisches Forschungsprogramm hat Wilhelm Ostwalds Energetik bis heute wissenschaftstheoretische Bedeutung. Die weltanschaulich-ideologischen Auseinandersetzungen um die Energetik erweisen sich demgegenüber als zeitbedingt.

1. Erhaltung der Energie – Erster Hauptsatz der Thermodynamik

In der Tradition von Ernst Mach spürt Wilhelm Ostwald in seinem Werk „*Die Energie*“ zunächst anschaulich den historischen Wurzeln des Energiebegriffs nach. Am Anfang steht Archimedes mit seinem Hebelgesetz. Im Gleichgewicht sind die Produkte aus den Gewichten und den zugehörigen Hebellängen gleich, die Ostwald als Arbeit interpretiert. Im Prinzip der virtuellen Verschiebungen wird der Arbeitsbegriff in Gleichgewichtssystemen für einfache Maschinen wie Flaschenzüge und Rollensysteme verallgemeinert. Bei Johann Bernoulli wird

der Energiebegriff erstmals für Gleichgewichtssysteme verwendet. Ostwald zitiert aus einem Brief Bernoullis von 1717 an Varignon:

„Bei jedem Gleichgewicht beliebiger Kräfte, wie sie auch angebracht seien und nach welchen Winkeln sie mittelbar oder unmittelbar aneinander wirken mögen, ist stets die Summe der positiven Energien gleich der positiv genommenen Summe der negativen Energien. Energie ist dabei das Produkt der Kraft in dem in Richtung der Kraft durchmessenen Weg.“ [e.d., S. 16]

In dem Zusammenhang wird auch das Perpetuum mobile diskutiert. Ostwald erinnert an den niederländischen Physiker Simon Stevin, der bereits herausstellt: Arbeit kann nicht aus Nichts entstehen! In einem Titelbild erläutert Stevin diesen Grundgedanken anschaulich an einer Versuchsanordnung: Eine Kette aus gleich großen schweren Kugeln in gleichen Abständen wird über zwei zueinander geneigte schiefe Ebenen gelegt. Obwohl über der längeren Seite der weniger geneigten Ebene mehr Kugeln liegen, setzt sich die Kette nach dieser Seite nicht von selber in Bewegung. Selbst nach einem Anstoß setzt sie die Bewegung in diese Richtung nicht unbegrenzt fort, obwohl geometrisch immer dieselbe Kugelformation über den schiefen Ebenen vorliegt. Leibniz formuliert erstmals den Erhaltungssatz der Energie am Beispiel des Fallgesetzes. Danach ist die potentielle Energie der Arbeit, um ein Gewicht auf eine bestimmte Fallhöhe zu heben, gleich der kinetischen Energie („lebendige Kräfte“), in die potentielle Energie beim freiem Fall umgewandelt wird.

Grundlegend für Ostwald wird vor allem Julius Robert Mayer, der erstmals (ähnlich wie sein Zeitgenosse Joule) mechanische Wärmeäquivalente für den Erhaltungssatz der Energie bestimmt. Als Arzt hatte er beobachtet, dass Arbeiter in den Tropen helleres Venenblut besitzen, da unter diesen Bedingungen weniger Wärmezufuhr (Oxidation) nötig ist. In seinem Vortrag „Über die Erhaltung der Kraft“ (1847) bestimmt Hermann von Helmholtz schließlich die mathematischen Ausdrücke für die verschiedenen Formen der Energie. In der Mechanik sieht er die Annahme von Kräften als Voraussetzung des mechanischen Energiesatzes. Er betrachtet es als Aufgabe der Physik, alle Erscheinungen durch solche Kräfte der Mechanik zu erklären. Auf diesem wissenschaftshistorischen Hintergrund formuliert Ostwald in seinem Buch „Die Energie“ den Erhaltungssatz der Energie als erstes Prinzip seiner energetischen Naturphilosophie. Allerdings lehnt er dabei Mayers Dualismus von Materie und Energie ab, da der Begriff „Materie“ nur die extensiven Größen von Energieformen (z.B. Masse von Gasen) bezeichnet. Er weist aber auch Helmholtzens mechanistischen Monismus ab, da er nach damaligem Kenntnisstand auf unbewiesenen Annahmen über die Mechanik der Atome beruht. Beobachtbar und messbar sind damals nur die ständigen Umwandlungen von Energieformen der Natur: *„...Und insofern können wir sagen, dass in der Energie sich das eigentliche Reale verkörpert.“*

2. Verbrauch freier Energie – Zweiter Hauptsatz der Thermodynamik

Das zweite Prinzip der Energetik behandelt den Verbrauch freier Energie – Ostwalds Formulierung des Zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik. Auch dafür zeigt er zunächst sehr anschaulich die wissenschaftshistorischen Ursprünge auf. Am Anfang steht hier die Industrialisierung und James Watt's Dampfmaschine: Wärme kann Arbeit erzeugen, wenn sie von einer höheren auf eine tiefere Temperatur fällt. Sadi Carnot (1824) erklärt den Kreisprozess eines sich auf- und abwärtsbewegenden Kolbens einer Wärmekraftmaschine durch Expansion und Kompression eines Gases auf Grund von abwechselnder Abkühlung und Erhitzung. Bei einer idealen Maschine (ohne Wärme- und Arbeitsverlust) ist der

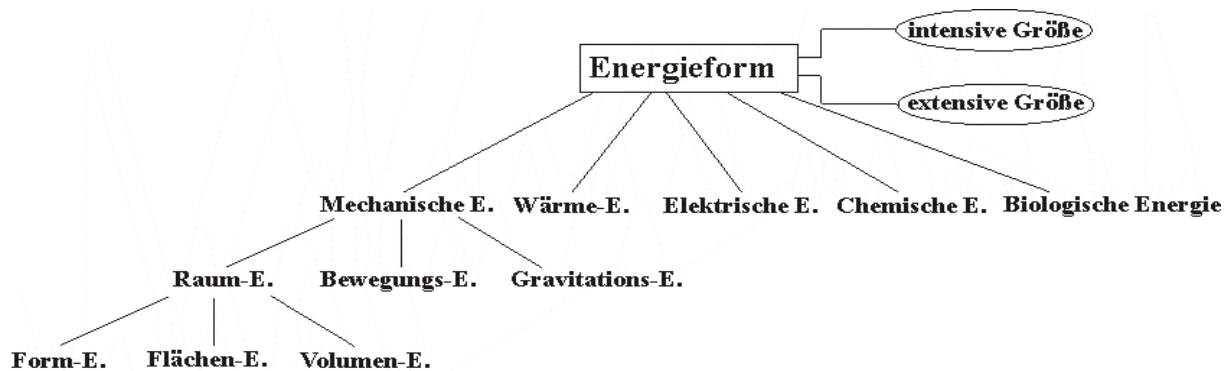
Kreisprozess reversibel. Eine Maschine, die mehr Arbeit als Carnots reversibler Kreisprozess erzeugen könnte, wäre ein Perpetuum mobile. Am Rande sei vermerkt, dass Rudolph Diesel seinen Motor ursprünglich entwarf, um Carnots ideale Maschine zu realisieren

Bei idealen reversiblen Kreisprozessen bleibt das Verhältnis von Wärmemenge und (absoluter) Temperatur konstant. Diese von Rudolph Clausius „Entropie“ genannte Größe nimmt jedoch bei jedem nicht umkehrbaren (nicht idealen) Vorgang in einem abgeschlossenen System zu. Das lässt sich bereits bei alltäglichen Vorgängen beobachten: Ein Glas Wasser fällt zu Boden, zersplittert, Flüssigkeit fließt aus und Energie wird zerstreut. Der umgekehrte Vorgang, dass sich die Splitter mit der Flüssigkeit und der Energie wieder zusammen finden, wurde nie beobachtet. Der Zweite Hauptsatz besagt daher nach Clausius, dass für abgeschlossene Systeme bei einem irreversiblen Prozess die Entropieänderung größer als Null ist oder bei einem reversiblen Prozess gleich Null ist. Aus der ständigen Zunahme der Entropie in der Welt folgert Lord Kelvin, dass die vorhandenen Temperaturunterschiede und die damit verbundenen Umwandlungsmöglichkeiten in Arbeit verschwinden, bis ein Endzustand maximaler Entropie erreicht ist. Diesen Vorgang der Energiezerstreuung nennt er Dissipation.

Für Ostwald steht der Energiebegriff im Vordergrund. Er unterscheidet daher zwischen der ruhenden Energie (*„die sich niemals mehr selbst umwandeln kann“*) und der freien (beweglichen) Energie (*„die allein zu Geschehnissen in der Welt Anlass gibt“*). Der Zweite Hauptsatz fordert dann nach Ostwald: *„In abgeschlossenen Systemen kann die freie Energie nur abnehmen oder verbraucht werden, niemals zunehmen.“* Damit ist für ihn auch der Zusammenhang der beiden Hauptsätze mit dem Perpetuum mobile klar: In abgeschlossenen Systemen kann ohne äußeren Energieaufwand 1) keine Energie aus Nichts entstehen (Unmöglichkeit des Perpetuum mobile 1. Art) und 2) keine freie Energie aus ruhender Energie entstehen (Unmöglichkeit des Perpetuum mobile 2. Art).

In der Energetik ist Energie und nicht Materie der Grundbegriff. Das ist weltanschaulich häufig missverstanden worden wie z.B. in einer folgenschweren Polemik von Lenin gegen Ostwald. Dabei zeigt sich aber nur, dass diese Vertreter des Materialismus die physikalische Begründung von Ostwald nicht verstanden hatten. Vom wissenschaftstheoretischen Standpunkt aus lässt sich nämlich Ostwalds Argument methodisch präzise ohne weltanschauliche Implikate rekonstruieren. Wenn „Materie“ ein naturwissenschaftlicher Begriff sein soll, dann muss er sich auf Messgrößen beziehen. So unterscheidet Ostwald an Energieformen extensive (also additive) Messgrößen wie z.B. die Ausdehnung oder das Gewicht eines Gases von intensiven (nicht-additiven) Messgrößen wie z.B. Temperatur oder Druck eines Gases. Der Begriff der Materie bezeichnet offenbar nur die extensiven Attribute einer Energieform. Daher ist er nach Ostwald kein Grundbegriff der Naturwissenschaft, sondern abgeleitet. Nun mag man zu dieser Auszeichnung des Energiebegriffs stehen wie man will. Methodisch ist es jedenfalls möglich, mit dem Energiebegriff zu beginnen und andere Begriffe darauf zurückzuführen. Damit müssen wissenschaftstheoretisch keine ontologischen Ansprüche verbunden sein. Vom heutigen Standpunkt aus sieht man dieses Unternehmen wesentlich entspannter als im damaligen weltanschaulich-ideologischen Kampfgetümmel. Es kommt darauf an, ein konsistentes Begriffssystem durchzuführen. Genau das hat Ostwald in seinem Buch „Die Energie“ nach dem Vorbild thermodynamischer Terminologie getan. Als methodisches Forschungsprogramm hat seine Energetik bis heute Bedeutung.

Nach Ostwalds Forschungsprogramm lassen sich alle Grundbegriffe der Naturwissenschaften auf Energieformen zurückführen, die jeweils durch intensive und extensive Größen bestimmt sind:



Solche Taxonomien von Begriffen nennt man heute in der Datenbanktechnik der Informatik „Ontologien“. Damit sind jedoch keine weiteren Ansprüche verbunden als eine klare und konsistente Klassifikation, bei der sich Eigenschaften übergeordneter Begriffe an untergeordnete Begriffe weitervererben. Auffallend ist, dass selbst geometrische Größen mit dem Energiebegriff verbunden werden. Das entspricht aber auch heute thermodynamischer Terminologie, in der die mathematischen Formen von z.B. Volumen- oder Flächenenergie bestimmt werden. Gemeint ist dabei, dass z.B. das geometrische Volumen eines Gases oder Körpers durch Arbeit aufrechterhalten wird, die einer Volumenänderung unter Druck entgegengesetzt werden muss. Die Volumenenergie hat als intensive Größe den Druck und als extensive Größe die geometrische Volumenmessung. Ein weiteres Beispiel ist die Wärmeenergie mit intensiven Größen wie Temperatur und extensiven Größen wie Entropie. Methodisch sollen also nach Ostwalds Forschungsprogramm der Energetik die Begriffe von Physik und Chemie auf eine (phänomenologische) Thermodynamik zurückgeführt werden. Das mag ungewöhnlich erscheinen, da im 19. Jahrhundert zunächst die klassische Mechanik (z.B. bei Helmholtz) im Vordergrund stand. Ostwald hat aber gute Gründe, um diesen methodischen Aufbau vorzuziehen. Nicht zuletzt spielt dabei die überragende praktische Bedeutung der Energie und Energieumwandlung für die moderne technisch-industrielle Zivilisation eine große Rolle.

Energieumwandlung in der Energetik bedeutet, dass freie Energie nach dem Zweiten Hauptsatz verbraucht und in ruhende Energie umgewandelt wird. Die zentrale freie Energie auf der Erde ist die Sonnenenergie, aus der sich in Natur und Technik ein komplexes Netz der Energieumwandlung entfaltet: Pflanzen wandeln Sonnenenergie in chemische Energie um, die in Kohle gespeichert durch Verbrennung zu Wärmeenergie wird, um als Bewegungsenergie z.B. eine Dampfmaschine anzutreiben. Sonnenenergie konzentriert sich aber auch als Wasserenergie in einer Regenwolke, die abregnet und in einem Stausee gesammelt wird, um durch Gravitationsenergie auf eine Turbine geleitet neue Bewegungsenergie zu erzeugen, die schließlich in elektrische Energie umgewandelt wird. Mit Solarzellen gibt es heute bereits den direkten Weg von der Sonnenenergie zur elektrischen Energie. Ostwalds Energetik entwirft also die Grundlagen für ein weit schauendes Forschungsprogramm der Energienetze, ohne die technisch-industrielle Zivilisationen heute nicht denkbar wären.

3. Von der Gleichgewichts- zur Nichtgleichgewichts-Thermodynamik

Eine Schwäche der Energetik wurde darin gesehen, dass sie phänomenologisch-anschaulich bleibt und der nächste Schritt der mathematischen Umsetzung fehlt. Vom heutigen Standpunkt aus fehlt der Energetik zudem die Erklärung durch die Mikrophysik der Atome und Moleküle, die heute (im Unterschied zum Ende des 19. Jahrhundert) bestens bestätigt ist. Diese Defizite behoben Ludwig Boltzmann und später Josiah Willard Gibbs durch ihre statistische Begründung der Thermodynamik. Nach Boltzmann ist die Entropie ein Maß für die Verteilungsmöglichkeiten der Mikrozustände der Elemente (z.B. Gasmoleküle) eines Systems, die einen Makrozustand erzeugen. Wachsende Entropie in einem abgeschlossenen System entspricht dem Übergang von einer geordneten zu einer ungeordneten und zufälligen Verteilung im thermischen Gleichgewicht. Die Irreversibilität des Makrozustands ist hoch wahrscheinlich trotz Mikroreversibilität der molekularen Stoßgesetze.

Unordnung entsteht aber spontan nach dem Zweiten Hauptsatz nur in isolierten Systemen. In Systemen mit Energie- und Stoffaustausch können sich Mikroelemente zu neuen Strukturen und Ordnungen arrangieren. So ist ein Regentropfen ein komplexes System von Wassermolekülen, die sich durch Energieminimierung im thermischen Gleichgewicht einer nahezu perfekten Kugelform organisieren. Kühlt man dieses System noch weiter ab, entstehen im Gefrierpunkt die regulären Strukturen von Eiskristallen. Ein weiteres Beispiel für Ordnungsentstehung durch Energieminimierung ist ein Eisenmagnet. Mikrophysikalisch handelt es sich um ein komplexes System von atomaren Dipolen, deren beide Zustände Spin up und Spin down im erhitzten Zustand irregulär verteilt sind. Die durchschnittliche Verteilung der auf- und abwärts zeigenden Dipole ist der Ordnungsparameter des Systems. Bei Abkühlung auf den Curie-Punkt organisieren sich die Elemente spontan in einem regulären Ordnungsmuster im Gleichgewicht. Dabei weisen die Spinzustände alle in eine Richtung und verstärken dadurch ihre Wirkung. Diese mikroskopischen Interaktionen erklären den neuen makroskopischen Zustand des Eisenkörpers, der nun magnetisch ist.

Gleichgewichtsstrukturen waren auch in Ostwalds Thermodynamik bekannt. Neu ist die Vorstellung, dass Ordnung und Strukturen fern des thermischen Gleichgewichts entstehen können, obwohl entsprechende Experimente mit Konvektionszellen (z.B. Bénard-Experiment) seit etwa 1900 vorliegen. So entstehen bei Erwärmung einer Flüssigkeitsschicht von unten an einem kritischen Wert spontan reguläre Rollmuster mit zwei möglichen Drehrichtungen. Welche Ordnung sich durchsetzt, hängt von geringsten Anfangsfluktuationen ab. Auch Strömungsmuster in Flüssigkeiten oder Luft entstehen durch Erhöhung der Energiezufuhr. Steigende Strömungsgeschwindigkeit führt zu komplexen Ordnungsmustern (Attraktoren) fern des thermischen Gleichgewichts. Man spricht dann auch von Phasenübergängen fern des thermischen Gleichgewichts: Alte Ordnungen werden durch wachsende Kontrollwerte (z.B. Temperatur, Strömungsgeschwindigkeit) instabil, brechen zusammen, neue lokale Ordnungen entstehen, die wieder instabil werden, etc. So entwickelt sich ein thermodynamischer Verzweigungsbaum von immer neuen lokalen Gleichgewichten fern des thermischen Gleichgewichts, an deren Ästen neue lokale Ordnungen und Strukturen wie z.B. Strömungsmuster entstehen.

Das ist die Idee einer Nichtgleichgewichts-Thermodynamik, die u.a. Ilya Prigogine vertreten hat. Als Chemie-Nobelpreisträger ist er in einem gewissen Sinn Nachfolger von Wilhelm Ostwald, da auch er sein Forschungsprogramm mit naturphilosophischen Perspektiven versieht. Methodisch setzt Prigogine allerdings die mikrophysikalische Begründung Boltzmanns für die Nichtgleichgewichts-Thermodynamik fort [Prigogine/Stengers 1986, S. 152]:

„Die klassische Thermodynamik führt zum Begriff der ‚Gleichgewichtsstruktur‘, wie sie etwa Kristalle darstellen. Die Bénard-Zellen sind ebenfalls Beispiele einer Struktur, aber ganz anderer Art. Sie sind ‚dissipative Strukturen‘ fern des thermischen Gleichgewichts. [...] Können die Parameter, welche den Aufbau eines Kristalls beschreiben, aus den Eigenschaften der Moleküle abgeleitet werden, aus denen der Kristall besteht, und insbesondere aus der Reichweite der Anziehungs- und Abstoßungskräfte der Moleküle, so sind die Bénard-Zellen – wie alle dissipativen Strukturen – im wesentlichen ein Ausdruck der globalen Nichtgleichgewichtssituation, durch die sie hervorgebracht werden.“

Das lässt sich auch mathematisieren: Auf der Mikroebene werden die Wechselwirkungen der Systemelemente durch gekoppelte Bewegungsgleichungen (in der Regel nichtlineare Differentialgleichungen) für die einzelnen Elemente beschrieben. In der Nähe eines Instabilitätspunktes lassen sich instabile und stabile Verhaltensweisen (Moden) durch eine lineare Stabilitätsanalyse unterscheiden. Wenige instabile Moden können dort durch heftige Fluktuationen Amplituden von makroskopischer Größenordnung erreichen und die übrigen stabilen Moden beeinflussen. So entsteht ein makroskopisches Verhaltensmuster, das schließlich die gesamte Systemdynamik dominiert. Mathematisch wird dieses Muster durch einen Ordnungsparameter charakterisiert. Es reicht also, wenige Ordnungsparameter zu kennen, um die makroskopische Dynamik von vielleicht Millionen oder Milliarden von Elementen zu verstehen. Dazu dienen stochastische Differentialgleichungen wie die Mastergleichungen. Die Einführung von Ordnungsparametern in eine makroskopische Gleichung für die globale Gesamtdynamik eines Systems (z.B. Flüssigkeit) ist also eine gewaltige Reduktion von Komplexität gegenüber den entsprechenden Millionen oder Milliarden von Bewegungsgleichungen der vielen Systemelemente (z.B. Flüssigkeitsmoleküle).

Naturphilosophisch ist entscheidend, dass die neu entstandene Ordnung oder Struktur nicht auf die Systemelemente alleine zurückgeführt werden kann, sondern nur auf das gesamte nichtlineare Netz ihrer kausalen Wechselwirkungen. Das Ganze ist also mehr als die Summe seiner Teile. Mathematisch wird diese alte naturphilosophische Einsicht durch das Prinzip der Nichtlinearität präzisiert.

Nach der Physik lassen sich auch chemische Strukturen fern des thermischen Gleichgewichts untersuchen. In offenen dissipativen chemischen Systemen können Phasenübergänge zu immer komplexeren makroskopischen Mustern (Attraktoren) stattfinden, die durch nichtlineare chemische Reaktionen in Abhängigkeit von einer äußeren Zu- und Abfuhr von Stoffen an kritischen Werten ausgelöst werden. Bekanntes Beispiel sind die oszillierenden Ringwellen der Belousov-Zhabotinsky (BZ)-Reaktion. Die Erhaltung dieser dissipativen Ordnungsmuster wird durch autokatalytische Wirkungen chemischer Stoffe erklärt. Chemisch werden die mikroskopischen Wechselwirkungen durch Reaktionsgleichungen beschrieben, denen mathematisch wieder nichtlineare Gleichungen entsprechen. Chemische Oszillationen wie die BZ-Reaktion lassen sich durch Trajektorien eines Grenzyklus (Attraktor) im Phasenraum, als oszillierende Zeitreihe oder im thermodynamischen Bifurkationsbaum darstellen. Die Instabilitätspunkte entsprechen dann Verzweigungspunkten, an denen neue lokale Ordnungen wie z.B. der Grenzyklus einer chemischen Oszillation entstehen.

4. Von der Katalyse zur Autokatalyse und Selbstregulation

Die Schlüssel zur Entstehung von Ordnung und Strukturen sind für Ostwald Katalyse, Autokatalyse und Selbstregulation. Katalyse macht die Entstehung von Neuem möglich: Zwei

Reaktionspartner würden im atomaren Zustand eine chemische Reaktion eingehen. Ein Katalysator liefert die notwendige Aktivierungsenergie zur Trennung der Bindungen und geht Zwischenverbindungen ein. Am Ende der Reaktion liegt er wieder unverändert vor. So regt eine Platinmünze beim Zerfall von Wasserstoffperoxid die Sauerstoffentwicklung an und steckt eine Gold- und Kupfermünze durch elektrochemische Vorgänge an. Seit der Antike sind katalytische Reaktionen bekannt. Erinnert sei an die Wirkung von Enzymen bei der alkoholischen Gärung und der Essigsäure-Herstellung. Eine erste Definition der Katalyse liefert 1836 Berzelius:

„Die katalytische Kraft scheint eigentlich darin zu bestehen, dass Körper durch ihre bloße Gegenwart, nicht durch ihre Verwandtschaft, die bei dieser Temperatur schlummernden Reaktionseigenschaften zu erwecken vermögen ...“

Tatsächlich geht ein Katalysator chemische Wechselwirkungen ein und wirkt nicht nur durch die „bloße Gegenwart“. Die richtige Definition, für die Ostwald 1909 den Chemie-Nobelpreis erhielt, lautet daher bis heute:

„Ein Katalysator ist ein Stoff, der die Geschwindigkeit einer chemischen Reaktion erhöht, ohne selbst dabei verbraucht zu werden und ohne die endgültige Lage des thermodynamischen Gleichgewichts dieser Reaktion zu verändern.“

Autokatalyse („Selbstkatalyse“) ist nach Ostwald eine Form der Katalyse, bei der ein Endprodukt katalytische Wirkung auf die Reaktion selber hat. Der Katalysator wird erst während der Reaktion gebildet. Das hat eine Beschleunigung zur Folge, die an das Wachstum von Organismen erinnert. Gibt man beispielsweise Kupfer zu konzentrierter Salpetersäure, setzt die Reaktion zunächst nur langsam ein. Die dabei gebildeten braunen Dämpfe der Stickoxide wirken katalytisch und beschleunigen die Reaktion dann immer mehr. Oszillierende chemische Reaktionen wie die BZ-Reaktion werden ebenfalls durch autokatalytische Reaktionen möglich. Dieser „Selbsterregung“ durch Rückkopplung entsprechen mathematisch nichtlineare Reaktionsgleichungen. Sie sind ein Beispiel für nichtlineare Dynamik fern des thermischen Gleichgewichts. Analog lässt sich der Wachstumsprozess lebender Organismen auf autokatalytische Prozesse zurückführen: So trägt etwa eine Blumenzwiebel die Ressourcen für ihr Primärwachstum in sich. Sie erzeugen einen weißen Keim, der durch Wechselwirkung mit Licht grün wird. Dann beginnt die Pflanze selbständig zu wachsen, indem sie ihre eigenen Enzyme, d.h. katalytisch wirkende Proteine aufbaut, erzeugt und sich immer schneller entwickelt.

5. Energetik und Selbstregulation des Lebens

Lebende Organismen sind nach Ostwald dissipative chemische Systeme, die sich nach den Gesetzen der Energetik durch Umwandlung freier Energie ihrer Umwelt im stationären Gleichgewicht fern der Erstarrung des Todes im thermischen Gleichgewicht halten. Sie zeichnen sich durch Selbsterhaltung, Selbstregulation und Selbstregulation aus. Die Bedingungen der Selbstregulation und Selbsterhaltung erfüllt, wie Ostwald an vielen Stellen erläutert, bereits eine Kerzenflamme, die in einem rückgekoppelten Kreislauf einerseits freie Energie aus dem verflüssigten Wachs der Kerze in Wärmeenergie umwandelt, andererseits mit dieser Wärmeenergie das Wachs verflüssigt, das die notwendige freie Energie zur Verfügung stellt. Dieser Kreislauf ermöglicht ein stationäres Gleichgewicht von freier Energie und Dissipation von Wärmeenergie. Bei lebenden Organismen kommt die Selbstreproduktion noch hinzu. Zur Regelung ihrer chemischen Reaktionen dienen Katalysatoren oder Enzyme,

die von Organismen in einer Autokatalyse selbständig erzeugt werden. Der Begriff des stationären Gleichgewichts ist in der Systembegriff als „Fließgleichgewicht“ bekannt und wird wissenschaftshistorisch Ludwig von Bertalanffy zugeschrieben. Tatsächlich erklärt Wilhelm Ostwald diesen Begriff und seine grundlegende Bedeutung für das Verständnis von Leben in einem Vortrag über „*Chemie und Biologie*“ 1903 in Berkeley [abgedruckt in „*Gedanken zur Biosphäre*“].

Heute erklären wir die Entwicklung des Lebens durch Phasenübergänge präbiotischer Evolution mit biochemischen katalytischen und autokatalytischen Prozessen. Erinnerung sei an Manfred Eigens und Peter Schusters katalytische Hyperzyklen. Hyperzyklen sind selbstreproduzierende makromolekulare Systeme, in denen RNA-Strukturen und Enzyme kooperieren: Die i -te RNA-Matrize I_i kodiert das i -te Enzym E_i ($i = 1, 2, \dots, n$). Das i -te Enzym E_i beschleunigt die Replikationsrate der $i+1$ -ten RNA I_{i+1} . Die Information, die in RNA-Sequenzen kodiert ist, wird also in Enzyme übersetzt, analog dem Übersetzungsvorgang in biologischen Systemen. Die zyklische Organisation sichert die strukturelle Stabilität. Hyperzyklen sind Vorläufer von Protozellen. Sie sollen die Entstehung des komplexen Übersetzungsmechanismus mit eindeutigen genetischen Codes erklären.

Eine Zelle lässt sich im Sinne Ostwalds als energetisches System verstehen, das mit molekularen Tools wie Proteine, Nukleinsäuren, Lipide und Polysaccharide die Energieproduktion, Informationsverarbeitung und Selbstreplikation aufrecht erhält. Nach der thermodynamischen Selbstorganisation von Ordnung wird damit die genetische Selbstorganisation von Leben möglich: Komplexe zelluläre Organismen wachsen unter geeigneten Umweltbedingungen durch Selbstreplikation, Mutation, Selektion und Metabolismus nach genetischen Codes. Die Entstehung der Arten lässt sich dann im Rahmen einer Nichtgleichgewichtsdynamik als Phasenübergänge verstehen. Analog zum thermodynamischen Bifurkationsbaum erhalten wir nun Darwins Evolutionsbaum der Arten. An die Stelle von Fluktuationen in thermodynamischen Instabilitätspunkten treten nun Mutationen als Zufallsveränderungen von DNA-Codes, die Verzweigungen im Evolutionsbaum erzeugen. Selektionen sind die treibenden Kräfte in den Ästen, an denen statt z.B. thermodynamischer Strömungsmuster nun die Arten als neue biologische Strukturen entstehen.

Methodisch muss an dieser Stelle betont werden, dass damit die biologische Evolution keineswegs auf die Thermodynamik reduziert wird. Die nichtlineare Dynamik komplexer Systeme ist eine rein mathematische Theorie nichtlinearer Differentialgleichungen, in der keine physikalischen oder andere naturwissenschaftlichen Größen festgelegt sind. Vielmehr wird der *mathematische Formalismus nichtlinearer Dynamik* im einen Fall thermodynamisch und im anderen Fall biologisch interpretiert. Wissenschaftstheoretisch gesprochen erhalten wir dann ein *thermodynamisches* und ein *biologisches Modell nichtlinearer Dynamik*. Diese Modelle sind dann mit den Beobachtungen und Messungen in den jeweiligen Anwendungsfeldern zu testen und zu überprüfen. So ist es später auch möglich, diesen Formalismus auf andere Anwendungsgebiete wie z.B. Gehirn- und Kognitionsforschung oder Sozialwissenschaften zu übertragen.

Nach diesem biologisch-evolutionären Modell entstehen Hierarchiestufen des Lebens von immer komplexeren Systemen von den physikalischen und chemischen Systemen über Zellen, Organen und Organismen bis zu Populationen und ökologischen Systemen. Diese Entwicklungen lassen sich wieder als Phasenübergänge im Rahmen nichtlinearer Dynamik verstehen. Für einige dieser Entwicklungsstufen liegen auch bereits mathematische Selbstorganisationsmodelle vor. Auf jeden Fall handelt es sich um ein methodisches

Forschungsprogramm, dass über den Ansatz von Ostwalds Energetik hinaus biologische Evolution erklären soll. Dabei ist der methodische Unterschied von Ostwalds Begriff der „Selbstregulation“ und dem Begriff der „Selbstorganisation“ im Rahmen der Nichtgleichgewichtsdynamik zu beachten. Selbstregulation bezieht sich nach Ostwald auf stationäre Gleichgewichte und damit Gleichgewichtsdynamik, während „Selbstorganisation“ Phasenübergänge im Rahmen einer Nichtgleichgewichtsdynamik meint. Anschaulich gesprochen lässt sich im Rahmen der Gleichgewichtsdynamik, wie Ostwald auch erläutert, die Erhaltung des Lebens, aber nicht seine evolutionäre Entwicklung verstehen. Der Grund ist, dass katalytische Prozesse, wie Ostwald selber in seiner berühmten Katalysedefinition betont, nicht das Gleichgewicht verändern. Beim Evolutionsprozess werden aber in einem Verzweigungsbaum alte Gleichgewichte instabil, Populationen und Arten sterben aus und neue Arten entstehen nach Phasenübergängen in neuen lokalen Gleichgewichten.

Naturphilosophisch ist wichtig, dass Ostwald mit seiner biologischen Energetik, d.h. der Lehre von energetischen Organismen im stationären Gleichgewicht, sowohl Materialismus als auch Vitalismus überwinden will. Leben lässt sich nämlich nicht allein durch die Eigenschaften von Atomen und Molekülen im Sinne des Materialismus erklären. Es bedarf aber auch keiner „immateriellen Lebenskraft“ im Sinne des Vitalismus. Die Selbstreproduktion und Selbstregulation von Lebensenergie wird im Rahmen der Energetik und (so können wir nun hinzufügen) der Nichtgleichgewichtsdynamik und Biochemie erklärbar.

Bemerkenswert ist, dass Ostwald seine biologische Energetik bis in die Medizin ausweitet. Damit umfasst sie einen Anwendungsbereich, den man heute als Lebenswissenschaft oder Life Science zusammenfasst. Seine Schlüsselbegriffe lauten dabei „Selbstheilung“ und „Überheilung“. Autokatalyse und Selbsterhaltung führen nach Ostwald zur Fähigkeit der Selbstheilung von Organismen. Man denke z.B. an die Phasen der Wundheilung des tierischen oder menschlichen Organismus. Als Reparaturvorgang steht Selbstheilung nach Ostwald im Fließgleichgewicht mit der Oxidation als „Selbstverbrennung“ von Körpersubstanz. Mit „Überheilung“ bezeichnet Ostwald die Fähigkeit, einen Überschuss als Gegenwirkung zu erzeugen. Ein Beispiel ist die Muskelbildung bei dauernder Beanspruchung oder Training. Sie ermöglicht Leistungssteigerung eines Organismus. Auch dabei geht es letztlich um gezielte Energieumwandlung zur Leistungsoptimierung. Die moderne Sportmedizin verfolgt heute die Ziele von Ostwalds medizinischer „Überheilung“. Ostwald beschreibt aber in dem Zusammenhang auch sehr anschaulich die abnehmende Fähigkeit des alternden Organismus zur Selbstheilung und Überheilung. Energie muss daher im Alter sparsam und gezielt therapeutisch eingesetzt werden – ein hoch aktuelles Anwendungsgebiet der biologischen Energetik im Zeitalter überalternder Wohlstandsgesellschaften.

6. Energetik und Selbstregulation des Geistes

Die natürliche Fortsetzung von Physik, Chemie, Biologie und Medizin ist die Energetik und Selbstregulation des Geistes. Programmatisch schreibt Ostwald dazu in seinem Buch „*Die Energie*“ (1908):

„Für die mechanistische Weltauffassung besteht zwischen den physischen Erscheinungen als mechanischen einerseits und den geistigen andererseits eine unüberbrückbare Kluft; für die energetische Weltauffassung besteht im Gegenteile ein stetiger Zusammenhang zwischen den einfachsten Energiebestätigungen, den mechanischen, und den verwickeltsten, den psychischen.“ [e.d., S. 156]

Dieser stetige Übergang lässt sich an den Hierarchiestufen des Zentralnervensystems (ZNS) veranschaulichen. Das ZNS besteht nämlich aus einer Hierarchie von organisierten Teilstrukturen zunehmender Größe und Komplexität. Die Hierarchie reicht von Ionen, Molekülen, Membranen, Zellen und Synapsen über Netzwerke, Schichten und topographischen Karten zu den Teilsystemen, die Wahrnehmung, Bewegung, Emotionen, Denken und Bewußtsein ermöglichen. Signalverarbeitung in Nervenzellen (Neuronen) ist Energieumwandlung im Sinne der Energetik. So wandelt z.B. ein sensorisches Neuron mechanische Energie (z.B. Reiz durch die Dehnung eines Muskels) in elektrische Energie (Aktionspotentiale) um.

Mit Überheilung bezeichnet Ostwald die Verstärkung körperlicher und geistiger Fähigkeiten durch z.B. Training und Lernen. Tatsächlich lassen sich heute synaptische Veränderungen beim Lernen nachweisen, die durch autokatalytisches Wachstum ausgelöst werden. Sie führen zu verstärkter Ausschüttung von Transmittern, Einführung von Interneuronen, veränderten postsynaptischen Membranen, neuen synaptischen Kontaktstellen oder dem Umfunktionieren von Synapsen.

Energiepotentiale des Gehirns zeigen sich in neuronalen Verschaltungsmustern, die heute nahezu in Echtzeit mit computergestützten Verfahren wie PET (Positron-Emission-Tomography) bildner sichtbar gemacht werden können. Das Gehirn ist ein komplexes System von Neuronen, die sich durch neurochemische Wechselwirkung in Zellverbänden verschalten. Grundlage ist wieder eine nichtlineare Dynamik, bei der auf der Makroebene durch energetische Wechselwirkung der Systemelemente (Neuronen) Energiepotentiale erzeugt werden. Erinnert sei in dem Zusammenhang an die Selbstorganisationsmodelle synchron feuender Neuronenensembles, mit denen z.B. nach Christoph von der Malsburg das Erkennen ganzheitlicher Bilder möglich wird. Wahrnehmung, Emotionen, Gedanken und Bewusstsein entsprechen also Energiepotentialen, die mit passenden Schaltmustern korreliert sind. Nach der thermodynamischen und genetischen Selbstorganisation hätten wir nun die neuronale Selbstorganisation, mit der Wahrnehmungen, Emotionen, Gedanken und Bewusstseinszustände als neuen Systemstrukturen erzeugt werden. Mit Ostwald könnten wir daher die Hierarchiestufen des Lebens von der Mikroebene der wechselwirkenden Neuronen und Synapsen über makroskopische Schaltmuster von Wahrnehmungen, Gedanken und Gefühlen bis zu komplexen Bewusstseinszuständen fortsetzen. Auch hier soll es nicht um spekulative Behauptungen über ontologische Schichtungen der Wirklichkeit gehen. Vielmehr handelt es sich heute um die Fortschreibung des Forschungsprogramms nichtlinearer Dynamik auf die Kognitionswissenschaften und Neuropsychologie. Für Teilbereiche wie das visuelle System liegen auch bereits mathematische Modelle nichtlinearer Dynamik vor.

Naturphilosophisch geht es Ostwald, wie herausgestellt wurde, um die Überwindung des Dualismus von Spiritualismus und Materialismus. Statt „Energetik des Geistes“ würde man heute von kognitiver Energetik sprechen, also der Lehre von den Energiepotentialen der Kognition. Kognitive Leistungen des Gehirns lassen sich nämlich nicht allein durch Eigenschaften von Atomen, Molekülen und Neuronen im Sinne des Materialismus erklären. Es bedarf aber auch keines „immateriellen Geistes“ im Sinne des Spiritualismus. Im Rahmen von Energetik, Gehirn- und Kognitionsforschung werden vielmehr Wahrnehmung, Gefühle, Denken und Bewusstsein als Gehirnpotentiale erklärbar.

7. Energetik und Selbstregulation in Technik und Gesellschaft

In seinen Vorträgen und Arbeiten zur Technik entwickelt Ostwald visionäre Ideen, die wir heute Gebieten wie Bionik, Kybernetik und Künstlicher Intelligenz zuordnen würden. So heißt es in der späten Arbeit *„Der biologische Faktor in der Technik“* für die Zeitschrift des VDI (73 1929 S.1149-1150, abgedruckt in *„Gedanken zur Biosphäre“*, S. 68):

„Die Lebewesen zeigen uns, dass und wie die Aufgabe der Beschaffung, Umwandlung und Steuerung von Energie an einem aus mannigfaltigen Teilen zusammengesetzten dauerhaften Ganzen gelöst werden kann, denn sonst würden sie nicht leben. Sie können uns somit als Beispiele und Anreger dienen, wie wir an technischen Komplexen die gleiche Aufgabe lösen können.“

In dem bereits zitierten wegweisenden Vortrag in Berkeley von 1903 über *„Chemie und Biologie“* sagt er:

„Wenn es eine Maschine gäbe, die zugrunde gehende Teile selbsttätig ersetzen oder eine neue Maschine herstellen könnte, dann müssten wir sie ein lebendiges Wesen nennen.“ [e.d., S. 23]

Ostwald steht damit in der Tradition von Leibniz, der bereits Ende des 17. Jahrhunderts auf dem Hintergrund der Mechanik Leben als komplexe Automaten begreift. Bei Ostwald bilden Energetik, Chemie und Biologie die wissenschaftlichen Grundlagen. Die Idee von sich selbst reproduzierenden Automaten wird mathematisch erstmals von John von Neumann Ende der 1950er Jahre präzisiert. Seine zellulären Automaten sind komplexe Systeme aus endlichen Automaten, deren Zustände sich nach einfachen Regeln in Abhängigkeit von Nachbarzellen wie lebende Zellen verändern. Geeignete zelluläre Automaten können sich in nachfolgenden Generationen reproduzieren. Jeder Computer lässt sich im Prinzip durch einen geeigneten zellulären Automaten simulieren und umgekehrt. Auch genetische Algorithmen, nach denen sich Computerprogramme durch Zufallsveränderungen („Mutationen“) ihrer Befehle und Selektionen in nachfolgenden Generationen optimieren können, sind der Evolution abgeschaut. So kann z.B. das LISP-Programm einer virtuellen Ameise in nachfolgenden Generationen einen optimalen Weg finden, um auf einem Gitterfeld verteilte Futterkörner in einem optimalen Weg zu erreichen. Genetische Algorithmen werden bereits im industriellen Alltag verwendet, wenn z.B. ein Roboterarm der Autoindustrie in nachfolgenden Generationen eine optimale Greifbewegung erzeugt.

Nach der Genetik der Zellen wird bereits auch die neuronale Dynamik des Zentralnervensystems und der Gehirne simuliert. Neuronale Netze orientieren sich mit geeigneten Netzwerktopologien und Lernalgorithmen an der Informationsverarbeitung von Gehirnen. So kann ein einfacher Roboter mit verschiedenen Sensoren (z.B. für Nachbarschaft, Licht, Kollision) und motorischer Ausstattung komplexes Verhalten durch ein sich selbst organisierendes neuronales Netz erzeugen. Bei einer Kollision werden die synaptischen Verbindungen zwischen aktiven Neuronen der Nachbarschaft und Kollision durch Hebbische Lernregeln nach dem Vorbild lebender Neuronen verstärkt: Ein Lernmuster entsteht.

Als letztes Beispiel für technische Selbstregulation sei ein Projekt aus unserem Forschungsprogramm *„Organic Computing“* erwähnt. In einer evolutionären Elektronikarchitektur konfigurieren sich autonome Objekte (z.B. Schalter, Regler, Lampen) selbständig, um Fahrzeugfunktionen (z.B. Richtungsblinken) in einem Kooperationsnetzwerk zu realisieren. Wenn ein elektronisches Bauteil ausfällt, dann fragen sich die übrigen Bauteile untereinander ab, welche Einheit die ausgefallene Funktion übernehmen oder wie eine

Überbrückung durch andere Kooperationen erreicht werden könnte. Es ist quasi eine „Selbsteilung“ wie bei einem Schlaganfall des Gehirns, wenn z.B. bei einem Ausfall bestimmter Sprachzentren andere Gehirnteile diese Funktionen übernehmen. Technisch werden solche Rekonfigurationen durch Informationsaustausch nach dem Vorbild eines Intranets oder des Internets möglich. Ostwalds Prinzip der Selbsteilung lässt sich also unabhängig von biologischem Gewebe auch in technischen Stoffen realisieren.

Schließlich werden im World Wide Web Nachrichten elektronisch in einem weltweiten Computernetz ausgetauscht. Elektronische Energie wird im Sinne der Energetik zum Informationsträger. Ihre Selbstregulation über Routerknoten erinnert an die Vernetzung von Nervenzellen und Arealen des Gehirns. In seinem Buch *„Energetische Grundlagen der Kulturwissenschaften“* (1909) entwickelt Ostwald Ideen zur Globalisierung der Kommunikationstechnik, die damals noch auf dem technischen Hintergrund von Telephon und Telegraphie die damit verbundenen sozialen Veränderungen bedenken:

„Dass weltweite Nachrichtenvermittlung (wie z.B. Telephon und drahtlose Telegraphie) mit Nachdruck ausgebildet werde, zeigt, in wie viel höherem Maße gegenwärtig der einzelne Mensch mit einer Unzahl anderer zusammenhängt, zeigt mit anderen Worten die ungeheure Zunahme der Sozialisierung der Menschheit durch die technischen Mittel der gegenseitigen Mitteilung.“ [e.d., S.136]

Bei der Organisation und Speicherung von Wissen stellt sich Ostwald die Frage, *„ob nicht auch noch ein letztes Ideal auf diesem Gebiet erreichbar sein sollte, nämlich ein Handbuch, welches die Eigenschaften hätte, sich automatisch völlig modern zu halten. Ein solches Werk müsste nicht nur den Tatbestand der Wissenschaft zum Ausdruck bringen, wie er vor einigen Jahren im Augenblick des Abschlusses des fraglichen Teils bestanden hat, sondern den Wissensstand immer wieder bis in die Gegenwart ergänzen.“* [zitiert aus *„Forschen und Nutzen“*, S. 169] Vom heutigen Standpunkt fühlen wir uns bei solchen Ausführungen an Hypertexte im Internet oder Datenbanken mit Suchanfragen erinnert.

Jedenfalls machen solche Schlüsseltechnologien der Information und Kommunikation die Globalisierung der Wissensgesellschaft möglich. Die Umwandlung von Information und Wissen in Know-how und Innovation ist die zentrale Energietransformation in der Wissensgesellschaft. Die rohstoffabhängige klassische Industriegesellschaft wandelt sich zunehmend in eine Informations- und Wissensgesellschaft. Allerdings sieht Ostwald bereits 1909 auch die Schattenseiten dieser Globalisierung, wenn er in seinen *„Energetischen Grundlagen der Kulturwissenschaften“* zur Globalisierung der Weltwirtschaft festhält:

„Wir erkennen demgemäss in der Organisation des Kapitals diejenige Energieorganisation, welche bereits sehr erheblich angefangen hat, die maßgebende Macht über den gegenwärtigen Staat hinaus zu werden [...] Gleichzeitig wird allerdings hierdurch der Begriff des Staates mehr und mehr aufgelöst, da das mobile Kapital schon längst international geworden ist und die Tatsache der Weltwirtschaft eine staatliche Schranke nach der anderen niederreißt.“ [e.d., S. 162]

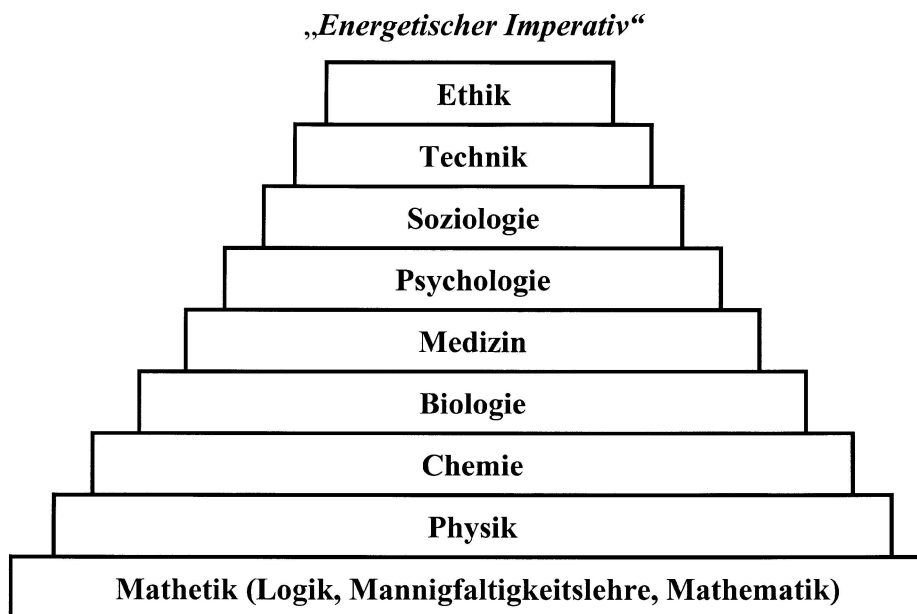
Daher werden ethische und rechtliche Regelungen notwendig. Konsequenter fasst Ostwald seine Überlegungen dazu 1912 in seinem Buch *„Der Energetische Imperativ“* zusammen. Da nach dem Zweiten Hauptsatz der Energetik jede Umwandlung von mechanischer, thermischer, chemischer, biologischer, geistiger, organisatorischer oder ökonomischer Energie nur unvollständig möglich ist, muss nach Ostwald freie Energie so zweckmäßig wie möglich verwendet werden:

„Vergeude keine Energie, verwerte sie!“

„Eine Energieform ist umso wertvoller, je vollständiger sich ihre Rohform in Nutzform verwandeln lässt, je größer also ihr Transformationskoeffizient ist.“

Heute ist der Energetische Imperativ mit der Globalisierung zu konfrontieren. Konflikte, Reibung und Krieg bedeuten weltweite Dissipation, also Vergeudung von Energie in alle ihren Formen. Nach Ostwalds Energetischem Imperativ müssten daher Richtwerte global beschlossen, kontrolliert und dauernd verbessert werden, um ökologische, ökonomische, soziale und politische Spannungen abzubauen. Dadurch wird Energie frei für neue Innovationen, um die Lebensbedingungen der Menschheit zu verbessern. Als seinerzeit veränderte Richtwerte der Umweltbelastung zur Erfindung des Abgaskatalysators bei Automobilen führten, war damit nicht nur ökologische Entlastung erreicht, sondern auch ein ökonomischer Mehrwert mit erheblichem Gewinn.

Am Ende blicken wir auf Ostwalds Pyramide der Wissenschaften, die bereits in seinem „Grundriss der Naturphilosophie“ durchmessen wird. Von der Mathetik, die nach Ostwald mit Logik, Mannigfaltigkeitslehre (Mengenlehre) und Mathematik die formalen Grundlagen der Wissenschaften bildet, geht es über Physik, Chemie, Biologie, Medizin und Psychologie bis zu Soziologie bzw. Gesellschaftswissenschaften und Technik. An der Spitze steht die Ethik mit dem Energetischen Imperativ:



Am Ende seines Buchs „Die Pyramide der Wissenschaften“ [S. 148] heißt es:

„Der Schreiber: Vermissen Sie in der Pyramide noch ein Gebiet?

Der Leser: Ja, die Königin der Wissenschaft, die Philosophie.

Der Schreiber: Was verstehen Sie unter Philosophie?

Der Leser: Jene Wissenschaft, welche alle einzelnen Wissenschaften zu einer großen Einheit zusammenfasst und über allen steht. Halten Sie nicht auch diese Begriffsbestimmung für zutreffend?

Der Schreiber: Gewiss. Aber dann haben wir diese ganze Zeit nichts anderes getrieben als Philosophie.“

Die Philosophie hat es also mit den methodischen Grundprinzipien der einzelnen Wissenschaften und ihrer Systematisierung zu tun. Wenn wir die Einzelwissenschaften auf ihre methodischen Grundlagen und Grundgesetze untersuchen, bearbeiten wir den allgemeinsten Teil der Wissenschaften. Bereits in seinem „*Grundriss der Naturphilosophie*“ hatte Wilhelm Ostwald diesen allgemeinsten Teil der Naturwissenschaften als Naturphilosophie bezeichnet. Mit Sozial-, Wirtschafts- und Rechtswissenschaften ist die Untersuchung der Grundsätze über die Naturwissenschaften hinausgetreten. In der Energetik fasst Ostwald sein methodisches Forschungsprogramm zur Untersuchung wissenschaftlicher Grundsätze zusammen. Wie in dieser Arbeit gezeigt werden sollte, halten viele seiner Grundsätze auch heute noch stand, andere sind zu erweitern und zu ergänzen. Mit Ostwalds Forschungsprogramm der Energetik ist ein Netzwerk methodischer Grundsätze entstanden, das sich lohnt fortzuentwickeln. Philosophie ist danach Teil des Forschungsprozesses und keine abgetrennte Veranstaltung. Philosophie erweist sich als unverzichtbarer Katalysator der Wissenschaft. Sie befördert – bewusst oder unbewusst - wesentlich den Erkenntnis-, Forschungs- und Innovationsprozess, auch wenn sie nicht ausdrücklich (nach Art von Katalysatoren) in den Endprodukten von Wissenschaft und Technik genannt wird.

References :

Forschen und Nutzen. Wilhelm Ostwald zur wissenschaftlichen Arbeit. Aus seinen Schriften ausgewählt, bearbeitet und zusammengestellt anlässlich seines 125. Geburtstages von Günther Lotz, Lothar Dunsch, Uta Kring unter Bearbeitung von Brigitte Milik, Akademie-Verlag: 2. Aufl. Berlin 1982

Fratscher, W., Knoche, K.-F.: *Energy* 29 2004, 1837-1842

Internationales Symposium anlässlich des 125. Geburtstages von Wilhelm Ostwald, Akademie-Verlag: Berlin 1979

Mainzer, K.: Wilhelm Ostwald, in: J. Mittelstraß (Hrsg.), *Enzyklopädie Philosophie und Wissenschaftstheorie* Bd. 2, B.I. Wissenschaftsverlag: Mannheim 1984

- , *Materie. Von der Urmaterie zum Leben*, C.H. Beck: München 1996

- , *Thinking in Complexity. The Complex Dynamics of Matter, Mind, and Mankind*, Springer: 4. erw. Aufl. Berlin/Heidelberg/New York 2004

Mittelstraß, J.: Ostwald oder: Naturphilosophie zwischen Naturwissenschaft und Philosophie, in: *Mitteilungen der Wilhelm-Ostwald-Gesellschaft zu Großbothen e.V.*, 9. Jg. 2004 (Vorträge zum 150. Geburtstag von Wilhelm Ostwald), 6-17

Ostwald, W., *Grundriss der Naturphilosophie*, Reclam: Leipzig 1908

- , *Die Energie*, Verlag von Johann Ambrosius Barth: Leipzig 1908
- , *Energetische Grundlagen der Kulturwissenschaften*, Verlag von Dr. Werner Klinkhardt: Leipzig 1909
- , *Der Energetische Imperativ*, Akademische Verlagsgesellschaft: Leipzig 1912
- , *Die Pyramide der Wissenschaften*, J.G. Cotta'sche Buchhandlung: Stuttgart/Berlin 1929
- , *Gedanken zur Biosphäre*. Sechs Essays von Wilhelm Ostwald eingeleitet und mit Anmerkungen von Hermann Berg, Akademische Verlagsgesellschaft: Leipzig 1978

Prigogine, I., *Vom Sein zum Werden*, Piper: München: 4. Aufl. 1985

- , Stengers, I.: *Dialog mit der Natur*, Piper: München 5. Aufl. 1986