

Der Energiebegriff im ökologischen Kontext

Gerhard Schaefer

The concept of energy was used, in the recent years, mainly under quantitative perspectives in the field of ecology. This trend was strongly supported by investigations of H.T. ODUM who demonstrated the balance of energy flows in ecosystems. However, energy quantity alone is not able to fully explain the behaviour of systems. In the article it is illustrated that the *quality* of energy, as defined by various contexts, has a predominant role in understanding ecological processes. The relation between energy quality on one side and entropy/information on the other is pointed out. Future ecosystem research has to deal much more with *information* which alone explains the *direction* of energy flow.

Energy, entropy.

1. Einführung

"Alles beruht auf Energie. Energie ist die Quelle und die Steuerung aller Dinge, aller Werte und aller Vorgänge bei Mensch und Natur. Diese einfache Wahrheit, Wissenschaftlern und Technikern seit langem bekannt, wurde jedoch in diesem Jahrhundert in der Erziehung allgemein vernachlässigt." ¹⁾ So beginnen Howard und Elizabeth ODUM ihr 1976 erschienenes Buch "Energy Basis for Man and Nature". Und sie fahren fort: "Wenn die Energiequellen reich fließen, wachsen auch Wirtschaft, Wissen, Hoffnungen; wenn die Energiequellen in dem Ausmaß genutzt werden, wie die Erde sie empfängt, konsolidieren sich menschliche Tätigkeiten, Werte, Hoffnungen in einen stabilen Zustand. So war es zu allen Zeiten in der Geschichte der Menschheit und in der Natur." Und sie ermahnen schließlich den Lehrer, er solle "den Gesetzen der Energie höchste Priorität auf allen Stufen des Unterrichts" geben; die Energie-Gesetze seien die "treibenden Prinzipien der Welt."

Folgerichtig hat Howard T. Odum, mit einem auffallenden didaktischen Engagement, eine eigene Zeichensprache entwickelt, die unter Ökologen oft 'Odum-Sprache' genannt wird. Die Odumschen Zeichen für Energiequelle, Energiespeicher, Energieverbraucher usw. werden durch Pfeile miteinander verbunden, die den Energiefluß darstellen, und so entstehen "Energieflußdiagramme" von Ökosystemen, die diese Systeme fast ausschließlich unter dem Aspekt der *Energiemenge* beleuchten. ODUM gebührt zweifellos das Verdienst, den Energieaspekt stärker als bisher im ökologischen Kontext entwickelt und durch sorgfältige Messungen (z.B. Silver Springs) untermauert zu haben.

Allerdings - wie so oft im Leben - schlägt das Pendel, nachdem es in einer Extremelage war, gern in die andere Extremlage um. Wenn - laut Odum - in dem verflochtenen Jahrhundert dem Energieaspekt im Unterricht zu wenig Beachtung geschenkt wurde, so besteht nun die andere Gefahr, daß er überbetont wird und sich eine "Energie-Mode" entwickelt. Diese Gefahr kommt in den Worten Odums selbst schon zum Ausdruck, indem er Energie sogar für die Entwicklung menschlicher Werte und Hoffnungen verantwortlich macht. Das Aufkommen einer sich von der Umwelterziehung abspaltenden pädagogischen Bewegung, der 'energy education', weist in die gleiche Richtung.

In diesem Beitrag soll an Hand von empirischen Untersuchungen der Energiebegriff von Schülern beleuchtet werden, und es soll versucht werden, einen Ausweg aus der 'inneren Energiekrise' im heutigen Ökologieunterricht zu finden. Die empirischen Untersuchungen erlauben zwar noch kein abschließendes Bild und müssen sicherlich weiter ausgedehnt werden, sie weisen aber schon deutlich in eine Richtung, die nach Meinung des Verfassers weiterführen wird und einen Durchbruch zu dem längst fälligen *ökologischen* Energieverständnis bringen kann.

¹⁾ Die hier angeführten Zitate sind vom Verfasser aus dem Englischen übersetzt.

2. Der Energiebegriff bei Schülern

Geht man bei der Untersuchung von Begriffsstrukturen von dem vom Verfasser eingeführten und an anderer Stelle hinreichend erläuterten 'Klettenmodell' von Begriffen aus (SCHAEFER 1979, 1980), so liegt es nahe, zunächst einmal das *assoziative Umfeld* des Wortes Energie abzutesten.

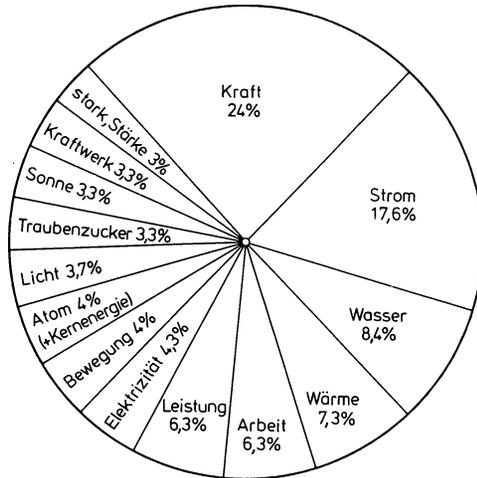


Abb. 1: Die häufigsten Assoziationen zum Schlüsselwort "Energie" bei einer Population von 113 S II-Schülern Schleswig-Holsteins mit Biologie-Grund- bzw. Leistungskursen. Befragungszeitraum 1975-1977.

Eine Untersuchung an 113 Oberstufenschülern Schleswig-Holsteinischer Gymnasien, die immerhin alle mindestens 3 Jahre Physikunterricht der Sekundarstufe I (SI) hinter sich hatten und in der Sekundarstufe II (SII) Grund- oder Leistungskurse in Biologie belegten, zeigte, daß von den 14 häufigsten freien Assoziationen zum Schlüsselwort "Energie" die Assoziationen Kraft, Strom, Wasser und Wärme an der Spitze rangierten und 'Arbeit', als der mit Energie physikalisch am nächsten verwandte Begriff, erst an 5. Stelle erschien (Abb. 1). Assoziationen wie Strom, Wasser, Wärme, Elektrizität, Atom, Licht, Sonne und Kraftwerk zeigen, daß der *wirtschaftliche* Aspekt von Energie (die Energiegewinnung und -nutzung) in der Spontanreaktion den Vorrang hat, was nicht verwundert, wenn man bedenkt, wie stark hier außerschulische Einflüsse wirksam sind. Was aber höchst verwundert, ist der auffallend geringe Einfluß des Schulunterrichtes selbst: Weder der Physikunterricht hat die Spuren hinterlassen, die ein Physiklehrer sich wünscht (die saubere Trennung der Phänomene Kraft und Energie, seit dem vorigen Jahrhundert durch v. Helmholtz vollzogen, und die begriffliche Koppelung von Energie an Arbeit), noch zeigt der Biologieunterricht der Grund- und Leistungskurse, trotz seiner hohen Stundenzahl, deutliche Wirkungen auf die Häufigkeitsverteilung der spontanen Einfälle; nur eine einzige unter den 14 häufigsten Assoziationen kann als eindeutig biologisch identifiziert werden: "Traubenzucker" mit 3.3% Häufigkeit. Die Assoziationen Kraft, stark, Stärke wurden von einigen Befragten mehr als 'psychologisch' empfunden und nicht so sehr als biologisch.

Assoziationen wie ATP, Enzym, Photosynthese, Nerven, Biovital, Sport kamen nur sehr vereinzelt vor. Ebenso Assoziationen aus dem ökologischen Bereich wie Nahrungskette, Produzent, Biomasse, Verschmutzung, obwohl die befragten Schüler überwiegend schon einen Ökologiekurs absolviert hatten.

Das spiegelt sich in dem gesamten Assoziationsspektrum (Abb. 2) wider, bei dem auch die selteneren Assoziationen, in Gruppen (Kategorien) zusammengefaßt, mitzählen: Biologische Assoziationen kommen in der Gesamtmasse nur mit etwa 12% vor, chemische mit 8%, während solche aus Physik/Technik mit 72%, aus der Volkswirtschaft mit 26% und aus dem Privathaushalt mit 22% einen überwältigenden Anteil einnehmen. Selbst die zur psychologischen Kategorie zählenden Assoziationen wie Elan, Ausdauer, Mut, Lebensfreude usw. liegen mit 18% noch über dem Anteil der biologischen Assoziationen!

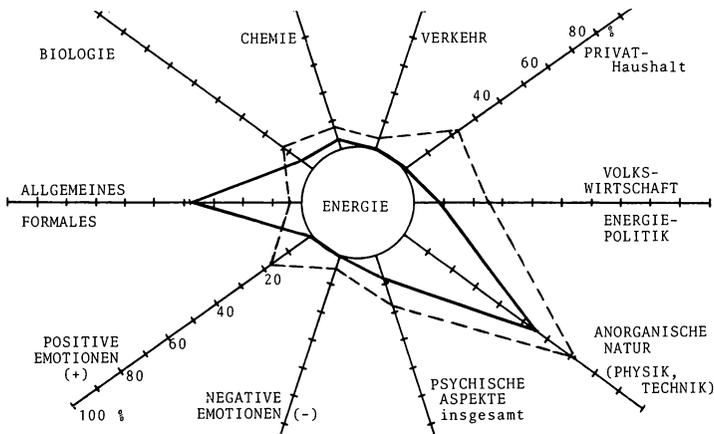


Abb. 2: Verteilung aller spontan abgegebenen Assoziationen und der in Definitionen vorkommenden Begriffselemente auf verschiedene Kategorien. Population wie in Abb. 1. ---- Assoziationen; — Definitionen.

Auffallend ist noch, daß unter den affektiv getönten Assoziationen der überwiegende Teil positiv war (Befragungszeitraum 1975-77! Neuere Ergebnisse lassen u.U. eine Verschiebung zum Negativen hin in Betracht kommen); ferner, daß der Bereich "Verkehr" mit etwa 3% stark unterrepräsentiert ist und in keiner Weise dem hohen Energieumsatz in dieser Branche entspricht (18% der gesamten technisch genutzten Energie!).

Das Ergebnis der freien Assoziationsmessungen entspricht der schon aus einer Fallstudie von DUIT & ZELEWSKI (1979) abgeleiteten Hypothese, daß die Mehrzahl der Schüler Energie als technisch-wirtschaftliche Größe, als Industrieprodukt bzw. als eine Art 'Luxusartikel' ansieht, der uns das Leben schöner und bequemer macht, nicht aber - in biochemischer Form - als Grundlage des Lebens selbst. Der biologische Kontext von Energie wird kaum gesehen. Energie ist eben ein *physikalischer* Begriff mit einer *technischen* Nutzenanwendung. Und dabei beträgt die Energiemenge der gesamten Biomasse-Produktion auf unserer Erde immerhin etwa das Dreifache der von der zivilisierten Menschheit technisch genutzten Energiemenge! Es wird offenbar: Im assoziativen Bereich ist der Begriff Energie einseitig physikalisch; er ist biologisch verarmt und steht kaum in einem ökologischen Kontext.

Wie steht es aber um den *logischen Kern* des Begriffes, um seine intersubjektive Bedeutung, die bei sorgfältigem *Nachdenken*, d.h. bei der Filterung, Umschichtung und logischen Verknüpfung der Assoziationen herauskommt? Die ausgezogene Kurve in Abb. 2 zeigt, daß die befragten Oberstufenschüler auch nach längerem Nachdenken nicht auf die Idee kommen, Energie biologisch bzw. ökologisch zu betrachten. Der inhaltliche Schwerpunkt der Definitionen liegt weiterhin auf dem physikalisch-technischen Aspekt, und ein weiterer Schwerpunkt entsteht - wie bei Definitionen generell - in der Kategorie der *formalen* Begriffe (Struktur, System, Konstanz, Beziehung, Größe usw.). Alle anderen Kategorien werden bei dem Nachdenkprozeß reduziert (auch Biologie, Chemie!) bzw. sogar total eliminiert. Das Ergebnis der freien Definitionen unterstreicht also noch einmal die oben gezogene Schlußfolgerung: Energie ist in den Köpfen der Schüler durchweg ein physikalisch-technischer Begriff ohne einen erwähnenswerten biologischen Kontext.

Die Analyse der formalen Qualität der Definitionen zeigt zudem, daß nur 5.3% 'richtig' im Sinne der heutigen physikalischen Begriffsnorm waren ("Energie ist gespeicherte Arbeit"), alle anderen dagegen entweder unvollständig und unpräzise (34.7%), nur in Beispielen formuliert (28%), mythologisch (18%), rein assoziativ (14%) oder sogar total falsch (7%). (Vgl. genauere Beschreibung der Ergebnisse in SCHAEFER 1982; die Summe der Prozentzahlen ist hier wegen einiger Überlappungen größer als 100). Das bedeutet: Selbst im Schwerpunktbereich (Physik) des Begriffes Energie ist die Begriffsstruktur logisch nicht in Ordnung. Die befragten Schüler haben keine rechte (= wissenschafts- und alltagsangemessene) Vorstellung von Energie. Dies entspricht zahlreichen anderen Untersuchungen zum Energiebegriff aus dem Bereich der Physikdidaktik (DAHNCHE 1972; DUIT 1979; RHÖNECK 1979; JENELTEN-ALLKOFER, DUIT 1980 u.a.).

3. Energiemenge und Energiequalität

Schon 1905 schrieb Ludwig BOLTZMANN: "Der allgemeine Daseinskampf der Lebewesen ist...nicht ein Kampf um die Grundstoffe... auch nicht um Energie,... sondern... um die Entropie" (zitiert aus SCHLICHTING, BACKHAUS 1980). Der theoretische Physiker BOLTZMANN erkannte also schon vor etwa 80 Jahren, daß der Begriff Energie (genauer: Energiemenge) im biologischen Kontext wenig bedeutet und daß er nur in Verbindung mit seinem thermodynamischen Pendant, dem Begriff Entropie, einen biologischen Sinn erhält. Entropie ist eine physikalische Ersatzgröße, eine - recht unanschauliche - Rechengröße für das Phänomen der statistischen Unordnung bzw. Gleichverteilung (Homogenität). Da Unordnung das Gegenteil von Ordnung ist und Ordnung ihrerseits mit Information, Struktur zusammenhängt, wird Entropie oft über ihr negatives Komplement, die *Negentropie*, mit Information gleichgesetzt. Der Ausspruch Boltzmanns müßte also in biologischer Formulierung heißen: "Der allgemeine Daseinskampf der Lebewesen ist ein Kampf um Information, um Ordnung."

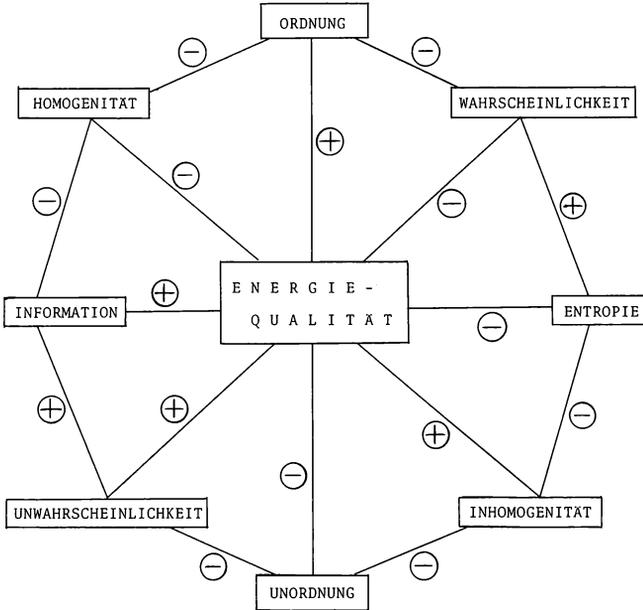


Abb. 3: Korrelationsdiagramm von Begriffen zur Kennzeichnung von "Energiequalität".

Die Zusammenhänge zwischen den Begriffen Ordnung, Entropie, Information, Wahrscheinlichkeit und Homogenität sind als Korrelationsdiagramm in Abb. 3 dargestellt. Dabei bedeutet das Zeichen (+) "je mehr umso mehr", aber auch "je weniger umso weniger" (Gleichsinnigkeit der Veränderungsrichtung), das Zeichen (-) dagegen "je mehr umso weniger", aber auch "je weniger umso mehr" (Gegensinnigkeit der Veränderungsrichtung). Das halbquantitative Diagramm kann als Ausgangsbasis zur vollen Quantifizierung von Begriffen benutzt werden. Zum Beispiel ist eine Quantifizierung des Begriffes Information über den schon quantifizierten Begriff Entropie möglich, oder diejenige des Begriffes Ordnung über den Begriff Wahrscheinlichkeit. In Abb. 3 wird nun ein neuer Begriff eingeführt und durch Korrelation zu Nachbarbegriffen semantisch abgeklärt, der in der Energiediskussion der letzten Jahre viel zu wenig beachtet wurde, obwohl er eigentlich der zentrale Begriff bei allen Debatten sein müßte: der Begriff 'Energiequalität', der das Pendant zu 'Energiemenge' ist.

Da nicht Energie als solche 'Arbeitsfähigkeit' bedeutet, sondern nur Energie in Verbindung mit *Niveaunterschieden* (2. Hauptsatz der Wärmelehre), ist sauber zwischen Energiemenge und dem 'Wert' der Energiemenge zu unterscheiden (s. SCHLICHTING, BACKHAUS 1980). Dieser Wert, die 'Energiequalität', wächst - bei gleichbleibender Energiemenge - mit zunehmenden Niveaunterschieden, zunehmender Inhomogenität, zunehmendem Informationsgehalt des Systems (Abb. 3). Hier nun berühren wir offensichtlich den ökologischen Kontext von Energie, der Thema dieses Aufsatzes sein soll. Die Energiequalität, der "Wert" der Energie, ist eine *Kontextgröße* und hängt von dem umgebenden Bezugssystem ab. Man kann, je nach Bezugssystem, mindestens 6 Komponenten unterscheiden:

- I. Die physikalische Arbeitsfähigkeit von Energie ("physikalischer Wert"); sie ergibt sich nach dem 2. Hauptsatz aus der Niveaudifferenz der beteiligten Energien und damit aus dem *Wirkungsgrad* des Systems.
- II. Die Steuerungsfunktion von Energie ("kybernetischer Wert"); sie ergibt sich aus dem Verhältnis $\frac{E}{E_s}$ (gesteuerte Energiemenge zur steuernden Energiemenge) bzw. $\frac{I_s}{E_s}$ (steuernde Informationsmenge zur Menge ihres energetischen Trägers). Energiequalität erscheint hier also als *Informationsergiebigkeit* eines bestimmten Energiebetrages (s. SCHAEFER 1977).
- III. Die physiologische Adäquatheit von Energie ('organismischer Wert'); sie ergibt sich aus der Angepaßtheit der betr. Energieform (genauer: des Energie-trägers) an das biologische System der Energieverarbeitung (insbesondere an das Enzymsystem). Energiequalität erscheint hier als *biologische Verwendbarkeit* eines Energieträgers.
- IV. Die Umweltfreundlichkeit von Energie ('ökologischer Wert'); sie ergibt sich aus der Richtung, in der Energie innerhalb eines Ökosystems wirkt, stabilisierend, aufbauend oder zerstörend. Energiequalität erscheint hier als umwelt-erhaltende bzw. *umweltaufbauende Dimension* von Energie.
- V. Die Wirtschaftlichkeit von Energie ('ökonomischer Wert'); sie ergibt sich aus der Kosten-/Nutzen-Analyse von Energie, wobei aus Gründen der Langfrist-Ökonomie gefordert werden muß, daß Umweltschäden mit einbezogen, also 'internalisiert' werden. Energiequalität erscheint hier als langfristige *Preis-günstigkeit* von Energie.
- VI. Die gemeinschaftsfördernde Wirkung von Energie ('sozialer Wert'); sie ergibt sich aus der Art und Weise, wie Energie das menschliche Gemeinschaftsleben (Familie, Gemeinde, Volk, Betriebsgemeinschaften, Interessengemeinschaften, Glaubensgemeinschaften) beeinflusst. Sie läßt sich nicht immer klar von ihrem ökonomischen oder kybernetischen Wert trennen, ist aber trotzdem eine selbständige Komponente. (Auch bei niedrigem ökonomischen Wert, etwa hohem Benzinpreis, kann Energie zur Pflege des Gemeinschaftslebens eingesetzt und zum Beispiel das Auto zum Aufsuchen von Freunden benutzt werden.) Energiequalität erscheint hier als *gemeinschaftsfördernde Wirkung* von Energie.

Betrachtet man diese 6 verschiedenen Dimensionen von Energie, so wird deutlich, welche komplexe Größe und daher wie schwer faßbar die "Energiequalität" ist. In einer Zeit zunehmender Herrschaft der Zahl, zunehmender Quantifizierung unserer Welt nimmt es nicht wunder, daß Energie hauptsächlich unter physikalischem, kybernetischem und ökonomischem Aspekt gesehen wird, in den drei Qualitäten also, die einer genauen Berechnung nach Maß und Zahl zugänglich sind. Dagegen ist von dem biologischen (physiologischen), ökologischen und sozialen Wert der Energie nur seltener die Rede. Sie sind nicht mit harten Zahlen in die Diskussion zu bringen und werden daher gern vernachlässigt. So schiebt sich also bei allen öffentlichen Diskussionen einerseits die *Energiemenge* in den Vordergrund ("wir brauchen mehr Energie!"), andererseits die 3 quantifizierbaren *Energiequalitäten* ("wir brauchen höhere Wirkungsgrade, günstigere Steuerungssysteme, niedrigere Energiepreise!").

4. Energie und Information

Wie Abb. 3 zeigt, sind Energiequalität und Information positiv miteinander korreliert. Energie und Information haben also etwas miteinander zu tun.

Dieser Zusammenhang wird üblicherweise so dargestellt, daß *Energiemenge* und *Informationsmenge* wechselseitig positiv aufeinander einwirken (Abb. 4); in der Tat ist ja auch in der Evolution der Organismen durchaus an verschiedenen Stellen, etwa bei der Entstehung von Massenpopulationen, zu beobachten, daß ein hoher Energiepool in einer Population (z.B. in Form von Nahrungsspeichern) Macht verleiht und über die Macht zur Vermehrung und Verbreitung der Population führt. Die größere Zahl der Individuen und der größere Verbreitungsraum führen dann ihrerseits wieder zur Vergrößerung des Energiepotentials der Population. Dadurch schließt sich der Kreis, und es entsteht ein Lawineneffekt, der - bei günstigen Randbedingungen - eine Massenvermehrung hervorruft.

Betrachtet man die Entwicklung der Population aber weiter und berücksichtigt man den gesamten ökologischen Kontext, so stellt man fest, daß die Energie-Informations-Lawine nur *punktuell*, bei der Population selbst, und nur zeitlich *befristet* zu einem 'Fortschritt' führt. Langfristig bricht die Massenpopulation im Rahmen eines gut funktionierenden Ökosystems wieder zusammen, oder aber das Ökosystem 'bricht zusammen', d.h. es verändert sich drastisch und geht in einen neuen Stabilitätszustand über.

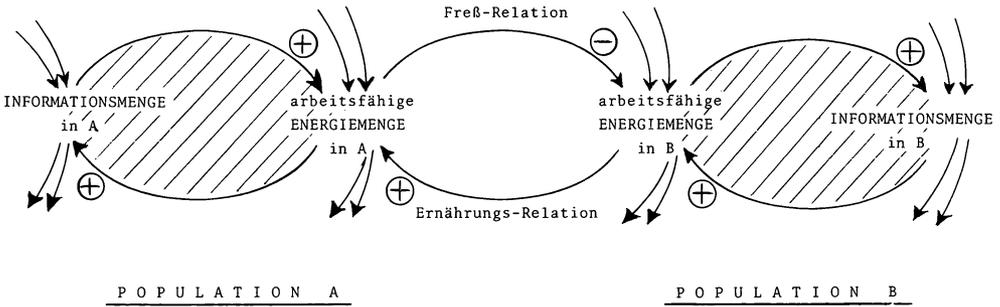


Abb. 4: Die Fortpflanzungslawine zweier Populationen A und B, als Aufschaukelungskreise zwischen Energiemenge und Informationsmenge dargestellt. A und B stehen hier außerdem in einem Zehrer-/Nährer-Verhältnis. Grundmuster von Kausalrelationen in einer einfachen Biozönose.

Im ökologischen Gesamtkontext ist 'mehr Energie' nicht unbedingt ein Segen, und die industrielle Entwicklung der zivilisierten Menschheit mit ihrem steigenden Energieumsatz zeigt dies sehr deutlich.

Es kommt eben nicht auf die Energiemenge an, sondern auf die Art und Weise, wie diese Energiemenge ökologisch einwirkt. Und dieses 'Wie' ist eine Frage der Information, der Steuerung des Energiestromes.

Wenn in einem Odum'schen Energieflußdiagramm die Gesamtbilanz der in das System einfließenden und der aus dem System wieder herausfließenden Energie stimmt, wenn die Beträge, die 'Mengen', gleich sind, so sagt dies nur wieder, daß der 1. Hauptsatz der Thermodynamik zutrifft, nämlich daß Energie erhalten bleibt und nicht verschwindet oder neu entsteht. Es ist mit einer solchen Bilanzrechnung aber keinerlei Begründung dafür gegeben, warum die Energien gerade in dieser Weise, auf diesen oder jenen Kanälen fließen und nicht ganz anders. Das heißt: Die Steuerung der Energieflüsse durch bestimmte, im System enthaltene oder von außen einwirkende Information ist durch eine solche Bilanzrechnung in keiner Weise erklärt. Und das wäre doch eigentlich für eine Beschreibung der Spezifität von Ökosystemen das Wichtigere.

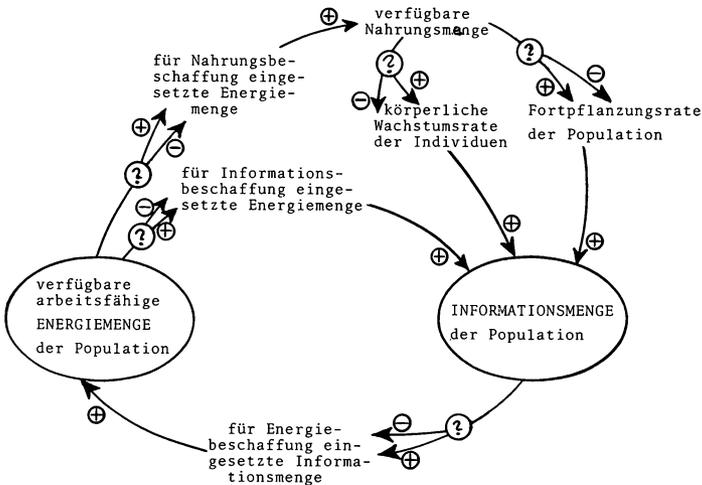


Abb. 5: Energie-Informations-Diagramm einer menschlichen Population, das die Ambivalenz von Energie zeigen soll. Je nach einwirkender Information kann derselbe Energiebetrag sich einmal negativ, ein andermal positiv auf die Folgegröße auswirken. Der Energiebetrag selbst sagt also nicht viel über die Funktionsweise eines Ökosystems aus.

Es wird oft von Zeitgenossen behauptet - der Eindruck muß entstehen, wenn man die Berichte der Massenmedien verfolgt - daß Energie unsere Welt lenkt (ODUM, s. oben: "Energie ist das treibende Prinzip der Welt"). Dies ist aber schon rein physikalisch falsch: Die 'causa movens' unserer Welt kann immer nur *Kraft* sein, als physikalischer Vektor mit einer Richtung, und nicht das physikalische Skalar "Energie". Energie ist eine Bilanzgröße, die nur aussagt, daß bei allen Kraftwirkungen, allen Veränderungen in unserer Welt diese merkwürdigen Produkte aus Kraft und Weg, elektrischer Spannung und Ladung usw. konstant bleiben und ineinander umrechenbar sind. Die *Richtung* der Veränderung wird durch sie nicht bestimmt.

Energie im ökologischen Kontext betrachten muß also heißen, die *Steuerung* des Energieflusses in einem Ökosystem durch *Information* beschreiben und die Mechanismen der Informationsübertragung aufdecken. Dabei wird sich dann zeigen, daß je nach Art der Information derselbe Energiebetrag sich einmal strukturzerstörend, ein andermal strukturaufbauend auswirken kann und daß es von daher gesehen bei ökologischer Betrachtung mehr auf die *Energiequalität* ankommt als auf die Energiemenge.

Dieser Gedankengang ist in Abb. 5 noch einmal zusammenfassend dargestellt. Die Abbildung möge alle Ökologen und Didaktiker der Ökologie anregen, die Grundgedanken Odums über Energie in Ökosystemen weiterzuführen zu den für die Ökologie nach Auffassung des Verfassers wichtigeren Begriffen 'Energiequalität' und 'Information'.

Literatur

- BOLTZMANN L., 1905: Der zweite Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie. In: Populäre Schriften. Leipzig (Barth): 25-50.
- DAHNCHE H., 1972: Teilaspekte der Energieerhaltung. Diss. Univ. Kiel.
- DUIT R., 1979: Wege zum Satz von der Erhaltung der Energie im Physikunterricht der S I. In: (Ed. SCHARMANN A.) Dt. Physik. Ges., Fachausschuß Didaktik der Physik, Vorträge der Frühjahrstagung 1979. Gießen: 169-174.
- DUIT R., ZELEWSKI H.D. von, 1979: Ohne Energie ist es düster in unserem Leben. - Aufsätze einer 8. Klasse zum Thema Energie. Naturw. Unterr. - P/C 27: 161-164.
- JENELTEN-ALLKOFER C., DUIT R., 1980: Entwicklung des Energiebegriffs bei 5- bis 16-Jährigen. Naturw. Unterr. - P/C 28: 408-413.
- ODUM H.T., ODUM E.C., 1976: Energy basis for man and nature. New York/London/Düsseldorf (Mc Graw-Hill).
- RHÖNECK C. von, 1979: Lernschwierigkeiten beim Energieerhaltungssatz der Mechanik im Zusammenhang mit Reibungsphänomenen. phys. didact. 6: 221-227.
- SCHAEFER G., 1977: Energetik - Kybernetik. In (Ed. WENK K., TROMMER G.) Naturerscheinung Energie. Köln (Aulis): 204-217.
- SCHAEFER G., 1979: Concept Formation in Biology: The Concept "Growth". Eur. J. Sc. Ed.: 87-102.
- SCHAEFER G., 1980: Die Wissenschaftssprache der Biologie im Lichte inklusiven Denkens. In: (Ed. SCHAEFER G., LOCH W.) Kommunikative Grundlagen des naturwissenschaftlichen Unterrichts. Basel/Weinheim (Beltz): 101-134.
- SCHAEFER G., 1982: Der Beitrag des Biologieunterrichts zur Entwicklung eines Energiebewußtseins. In: (Ed. BÖHM W., SIMONIS M.) Weltproblem Energie; Teil II: 171-197. [Speyer (SIL)].
- SCHLICHTING H.J., BACKHAUS U., 1980: Vom Wert der Energie. Naturw. Unterr. - P/C 28: 377-381.

Adresse

Prof. Dr. Gerhard Schaefer
Abteilung Didaktik der Biologie
FB Erziehungswissenschaften Univ.
Von-Melle-Park 8
D-2000 Hamburg 13

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie](#)

Jahr/Year: 1983

Band/Volume: [10_1983](#)

Autor(en)/Author(s): Schaefer Gerhard

Artikel/Article: [Der Energiebegriff im ökologischen Kontext 631-637](#)