

Energiequellen des Lebens.

Von

Dr. Alfred Zeller.

Vortrag, gehalten am 12. Februar 1936.

Alles Leben braucht zu seiner Erhaltung ständig Energie; hört die Energiezufuhr auf, dann muß das Leben zugrunde gehen. Energie tritt uns auf der Welt in verschiedenen Formen entgegen, und alle unsere Kraftwerke und Maschinen sind letzten Endes nur dazu erfunden, um Energie von einer Form in eine andere, brauchbarere umwandeln zu können. Jeder kennt eine ganze Anzahl verschiedener Energieformen: die mechanische Energie des niederfallenden Hammers wird am Amboß zur Energieform der Wärme, die sich steigern kann bis zur Glut, und nun beginnt eine neue Form der Energie, das Licht, aufzutreten, jenes Licht, das wir uns in unseren Wohnungen bequemer aus der elektrischen Energie herstellen oder das wir in ursprünglicherer Weise aus der chemischen Energie, etwa des Petroleums, gewinnen. Solche chemische Energie nun ist es, die von den Organismen in besonderer Weise zur Erhaltung ihres Lebens verwendet wird. Alle Stoffe, in denen chemische Energie steckt, lassen sich verbrennen, das heißt unter Energiegewinn mit Hilfe von Sauerstoff in energieärmere oder energielose Stoffe überführen. Diesen Vorgang des Verbrennens nun führt auch jedes Lebewesen aus — freilich in ganz anderer, viel feinerer Weise, als wir das mit unseren groben Hilfsmitteln ausführen können.

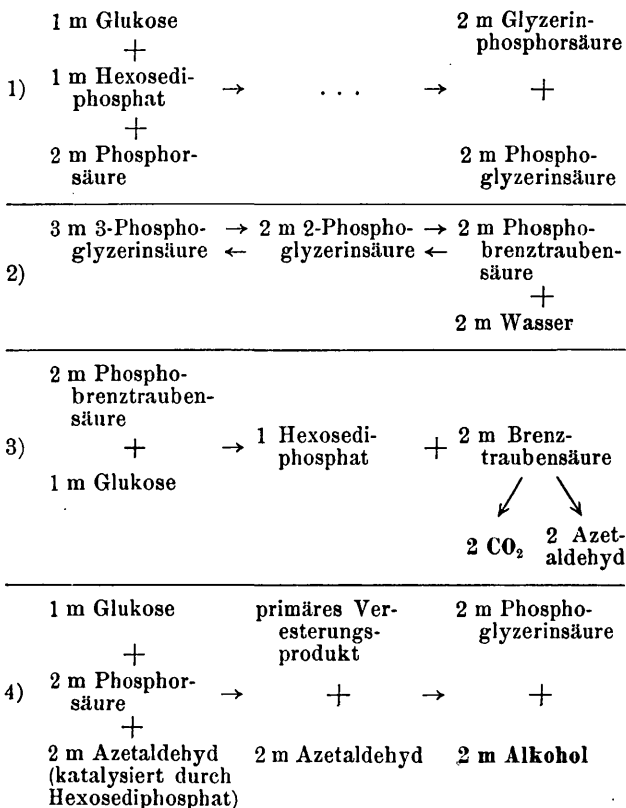
Da ist es notwendig, an die zwei verschiedenen Bedeutungen zu erinnern, die dem Wort vom Verbrennen im gewöhnlichen Sinn und im Reich des Lebendigen zukommen.

Verbrennen im gewöhnlichen Sinn heißt, aus einer Substanz in einem Reaktionsschritt plötzlich den vollen Energieinhalt unter beträchtlicher Wärmeentwicklung herauszuholen. Verbrennen im biologischen Sinn aber heißt, den Energieinhalt eines Stoffes langsam, in zahlreichen Reaktionsstufen, ohne starke Wärmeentwicklung in kleinen Teilbeträgen gewinnen. Diese biologische Verbrennung können im allgemeinen nur die Lebewesen durchführen, und sie tun dies bekanntlich indem sie atmen. Aus dem soeben Auseinandergesetzten ergibt sich, daß man im Bereich des Biologischen wohl besser nicht das mit anderer Bedeutung belastete Wort Verbrennung verwenden sollte, sondern richtiger von biologischer Desmolyse, biologischem Abbau spricht. Gemeinsam ist der Verbrennung und dem biologischen Abbau organischer Stoffe, daß beide Vorgänge Sauerstoff benötigen, wobei freilich der biologische Abbau auch so vor sich gehen kann, daß nicht gasförmiger, freier, sondern gebundener Sauerstoff verwendet wird, wie wir das bei den luftscheuen anaeroben Organismen oder bei den Krebszellen beobachten können.

Wir wollen uns nun zunächst mit dem zweiten Partner jeder „Verbrennung“, bzw. jedes biologischen Abbaues beschäftigen, mit dem Brennstoff, dem

Atmungsstoff der Organismen. Im allgemeinen sind es bei allen Organismen nur drei Stoffgruppen, die als Energielieferanten in Betracht kommen: Fett, Eiweiß, Zucker. Der Energiegewinn erfolgt aus allen drei Stoffen wohl so, daß sie in gemeinsame, wohl zuckerähnliche Abbauprodukte übergeführt werden, die dann erst die Endprodukte des biologischen Abbaues, Kohlensäure und Wasser, liefern. Leider wissen wir nun über die Art und den Weg des Abbaues der Eiweißkörper und der Fette nur verhältnismäßig wenig, stehen doch diese beiden Stoffgruppen in ihrer Bedeutung als Atmungsmaterial, sofern sie überhaupt unverändert veratmet werden können, wesentlich hinter den Zuckern, dem Atmungsmaterial weitaus der meisten lebenden Zellen, zurück. Lange wußte man auch nicht, auf welchem Weg der Zucker in den Zellen abgebaut wird. Erst als man dem Zuckerabbau bei der alkoholischen Gärung größte Beachtung schenkte, gelang es, langsam in die Geheimnisse dieses Vorganges einzudringen. Hatte es zunächst — man möchte fast sagen „natürlich“ — so ausgesehen, als wäre der ganze Zuckerabbau eine verhältnismäßig einfache Angelegenheit, so zeigte sich mit der Zeit immer deutlicher, daß ein unglaublich verwickelter Vorgang, ein schier unentwirrbares Durcheinander der verschiedensten Reaktionen dem Zuckerabbau zugrunde liegt. Das wichtigste Hilfsmittel jedes Zuckerabbaues ist die Phosphorsäure, denn durch ihre Verbindung mit dem Zucker ermöglicht sie es dem Orga-

nismus, den Zucker unter Energiegewinn abzubauen. Eine Vorstellung von der Kompliziertheit der Vorgänge möge folgendes Meyrholfsche Schema des Ablaufes der alkoholischen Gärung geben. Es lassen sich vier Hauptreaktionsstufen unterscheiden:



Während der „Angärung“, des Beginnes der Gärung also, verlaufen die Reaktionen 1, 2 und 3; im stationären Zustand die Reaktionen 2, 3 und 4. Für die vollständige Beschreibung aller bisher bekannten Vorgänge bei der Gärung braucht man heute schon zwölf Reaktionsgleichungen von der Art der hier mitgeteilten. Die Vorgänge, die die Atmung einleiten, dürften bis zur Bildung des Azetaldehydes im großen und ganzen die gleichen sein, während die im tierischen Muskel (bei Ermüdung z. B.) gebildete Milchsäure aus Brenztraubensäure entsteht. Bei der Atmung wird der Azetaldehyd nicht wie bei der Gärung in Alkohol umgewandelt, sondern vollständig zu Kohlendioxyd und Wasser verarbeitet. Bei der Gärung werden etwa 56 Kalorien gewonnen, bei der vollständigen Veratmung des Zuckers rund 690 Kalorien.

Eiweiß, Fett und Zucker, die drei sind die Energiequellen fast aller lebender Zellen, und sie sind es auch, die von allen Organismen als Nahrung benötigt werden und daher wie bei den Tieren aufgenommen oder wie bei den grünen Pflanzen aus anorganischem Kohlendioxyd aufgebaut werden müssen. Werden aber wirklich nur diese drei Stoffgruppen in der Natur von Lebewesen als Nahrung verwendet? Bei näherem Zusehen finden wir eine ganze Anzahl von Organismen, die auch andere Stoffe als Nahrungsmittel verwenden können, z. B. Stoffe, die wir als Gerüststoffe von Pflanzen und Tieren kennen, wie Zellulose, Pektine, Holz und Chitin. Es sind vor

allen Bakterien und Pilze, die derartige Stoffe als Nahrung verwerten können und aus ihnen letzten Endes wieder die drei zum lebenerhaltenden Aufbau notwendigen Körper Fett, Eiweiß, Zucker herstellen.

Für die Menschen ist es ja recht unangenehm, daß sie Zellulose nicht verdauen können — müßte uns doch sonst ein Bündel Heu oder Stroh höchst appetitlich erscheinen. Viele pflanzenfressende Tiere können Zellulose verdauen, aber nicht aus eigener Kraft, sondern mit Hilfe von Mikroorganismen, die in ihrem Darm leben und die die Zellulose in Zucker umwandeln, den dann das Tier als Nahrung verwerten kann. Im Magen und Darm von Wiederkäuern werden so etwa 75% der in der Nahrung enthaltenen Zellulose verdaut. Der Mensch kann es nur auf ganz kleine Bruchteile dieser Ausnützung bringen. Zellulose verarbeitende Bakterien finden sich auch sonst sehr weit verbreitet. Jedes Klümpchen Erde enthält ihrer ungezählte Mengen, im Schlamm aus der Tiefe der Seen und des Meeres kommen sie vor und verrichten überall ihr wichtiges Werk: die Wegschaffung all der Massen Zellulose, die im Lauf der Jahre auf den Waldboden oder den Grund der Gewässer als Pflanzenleichen hinabkommen.

Auch das Pektin, ein kompliziert zusammengesetztes Kohlehydrat, das sich nicht nur in vielen Früchten, sondern wohl in der Wand fast aller Pflanzenzellen findet, wird von Bakterien und Pilzen als Nahrung verwendet. Seit einigen Jahren findet es in

Form der verschiedenen Einsiedehilfen „Pektosa“, „Frutapekt“, „Opekta“ und wie sie alle heißen mögen, als natürliche Gelierungsmittel Eingang in die Küche. In der Flachsindustrie spielen pektinzerstörende Bakterien seit Urzeiten eine große Rolle, bewirken sie doch das „Rösten“ des Flachses, wodurch die einzelnen Fasern voneinander getrennt und für die Verarbeitung brauchbar werden.

Auch das Chitin, jener sogar für konzentrierte Säuren nahezu unangreifbare Stoff, aus dem die Insekten ihre Hautpanzer aufbauen und aus dem die Pilze ihre zarten Hyphen bilden, wird von Bakterien angegriffen und als Nahrung verwendet. Leider ist über derartige Organismen noch nicht allzuviel bekannt. In der Kultur verlieren viele von ihnen bald die Fähigkeit zur Zersetzung des Chitins.

Sogar das Holz, das doch so gar nicht nach Nahrungsmittel aussieht, wird von einzelnen Organismen verdaut. Untersuchungen der letzten Jahre haben da recht interessante Ergebnisse gebracht. Bakterien, so fand man, können mit Holz gar nicht viel anfangen, was eigentlich verwunderlich ist, sind doch sonst gerade die Bakterien die richtigen Tausendkünstler der Natur. Überraschenderweise aber greifen die Mizelien unserer Pilze, besonders auch der Speisepilze (vom Hallimasch und anderen Holzschädlingen wußte man das schon lange), Holz stark an. Champignons z. B. sollen nach diesen Untersuchungen nahezu ihren ganzen Bedarf an Kohlenstoff aus Lignin, dem Holz-

stoff, decken, und für ihr gutes Gedeihen ist es wichtig, daß der Dünger, auf dem sie gezogen werden, mit Holz angereichert ist.

Die bisher als ungewöhnliche Nahrungsmittel besprochenen Stoffe sind organische Substanzen, stammen unmittelbar aus dem Reich der Organismen und werden — abgesehen etwa vom Holz — vom Menschen kaum zur Deckung des Energiebedarfes der Technik herangezogen. Die dort verwendeten Kraftquellen, mögen sie letztlich auch der Tätigkeit von Lebewesen ihren Ursprung verdanken, gehören schon mehr in das Mineralreich. Es sind ja vor allem die Steinkohle und das Erdöl, die der Technik ungeheure Energiemengen liefern. Für Lebewesen freilich kommen diese Energiequellen im allgemeinen nicht in Frage, und man nahm lange Zeit an, daß sie durch Organismen überhaupt nicht ausgenützt und zersetzt werden können. Andererseits kannte man die Erscheinung der Zerstörung von Kohle auf Lagerplätzen, man wußte, daß sie im Waldboden schließlich verschwindet — gibt es also am Ende doch Organismen, welche die so ganz unlösliche Kohle, den elementaren Kohlenstoff, angreifen und als Nahrung verwerten können? Potter hat im Jahre 1908 diese Frage näher untersucht. Er reinigte Holzkohle mit verschiedenen Säuren und erhitzte sie dann unter Sauerstoffabschluß zur Zerstörung aller organischen Substanzen längere Zeit auf 1200° C. Die so vorbereitete Kohle beimpfte er mit Erde und es gelang ihm tatsächlich, einen Diplo-

kokkus in Reinkultur zu erhalten, der die Fähigkeit hat, reine Kohle zu verwerten, sie in Kohlensäure überzuführen. Hierbei konnte eine Erhöhung der Temperatur um etwa zwei Zehntelgrade beobachtet werden. Auch mit geglühtem und mit Königswasser gereinigtem Ruß, mit Torf und Steinkohle ließ sich die Kohlendioxydbildung aus elementarem Kohlenstoff zeigen. Die schier unglaubliche Leistung dieser Organismen besteht also darin, daß sie die auch in stärksten Säuren unlösliche Kohle doch irgendwie auflösen, zu Kohlensäure „verbrennen“ und mit Hilfe der dabei gewonnenen Energie einen Prozeß durchführen, der mit der Kohlensäureassimilation der höheren Pflanzen große Ähnlichkeit haben muß.

Nahezu noch merkwürdiger sind die Bakterienfunde, die man in den letzten Jahren in verschiedenen Bergwerken machte. Wenn sich in Braunkohle, die bis zu 60% Wasser enthält, Bakterien finden, so kann man immerhin annehmen, der hohe Wassergehalt dieser Kohle hätte ihnen die Möglichkeit geboten, tief hineinzuwachsen. Was soll man aber sagen, wenn in 1000 m tiefen Schächten des Ruhrgebietes, in Steinkohle, die nur 1 bis 2% Wasser enthält, in mehr als der Hälfte aller Proben Bakterien gefunden werden? Bakterien, die in der Grubenluft nicht vorkommen! Die einzige „vernünftige“ Erklärung wäre da, daß sich diese Bakterien eben seit Entstehung der Kohlen im Innern der Flöze eingeschlossen befänden. Und diese Annahme, daß die Bak-

terien jahrmillionenlang im Innern der Kohle lebendig geblieben seien, erscheint den Bakteriologen und Kohleforschern so „unvernünftig“, daß sie sich nicht entschließen konnten, etwas anderes als Erklärung anzugeben als ein großes „Ignoramus“.

Auch auf Petroleum können Bakterien wachsen, ja, man fand, daß Petroleum, das aus 2600 m Tiefe hervorquoll, lebende Bakterien enthielt. Auch auf vielen anderen Stoffen, die als Gifte für Bakterien und andere Lebewesen gelten und auch so verwendet werden, konnte man bestimmte Bakterien beobachten. So z. B. auf Benzollösungen, auf Toluol, Naphthalin, Azetylen, Methan und Paraffin, auf dem auch ein Schimmelpilz zu gedeihen vermag. In faulem Schlamm fand man Bakterien, die das giftige Kohlenoxyd als Nahrung und Energiequelle verwerten können, und man versuchte, diese Organismen zur Entgiftung des Leuchtgases zu verwenden. Gelänge es nämlich, mit Hilfe von Bakterien das im Leuchtgas enthaltene Kohlenmonoxyd, das Gas so giftig macht, in das ungiftige Kohlendioxyd, bzw. in Methan überzuführen, dann wäre ein wichtiges Problem der Großstadttechnik gelöst. Leider arbeiten die Kohlenoxydbakterien sehr langsam und mit schlechter Ausbeute, so daß eine Verwertung in technischem Maßstab unmöglich ist.

Alle die erwähnten Körper können von den Organismen als Nahrungsmittel verwendet werden, weil sie Energie enthalten und den Lebewesen zur Ver-

fügung stellen könnn. Woher haben aber alle die Stoffe ihren Energieinhalt und wo entstehen sie? Näheres Zusehen lehrt, daß sie letzten Endes alle auf Organismen zurückgehen, deren letzte, noch Energie enthaltende Reste sie darstellen. Nun ist es ja allgemein bekannt, daß von allen Organismen nahezu nur die grünen Pflanzen die Fähigkeit haben, sich die Stoffe, die sie zum Leben brauchen, selbst zu machen — ja mehr noch, die grüne Pflanze macht diese Stoffe mit Hilfe der Energie des Sonnenlichtes auch für alle anderen Lebewesen, besonders für die Tiere. Freilich ist die Menge der energiehaltigen Substanzen, die für die Tiere notwendig ist, nicht groß. Enthalten alle Tiere zusammen wahrscheinlich doch nur etwa 1% der Kohlenstoffmenge, die in den Pflanzen enthalten ist. Es hat nicht an Versuchen gefehlt, abzuschätzen, welche Energiemengen von den grünen Pflanzen auf der ganzen Erde dem Sonnenlicht entnommen werden. Die genauesten Angaben hat Schröder in Kiel vor etwa 20 Jahren gemacht. Von den etwa drei Quintillionen Kalorien, welche die Sonne jährlich ausstrahlt, gelangt vielleicht der milliardste Teil zur Erde. Und beiläufig der achttausendste Teil dieses Milliardstels der Sonnenenergie dürfte im Wege der Kohlensäureassimilation seinen Weg durch die grüne Pflanze nehmen. Da wir wissen, daß auch Licht, und strahlende Energie überhaupt, nicht gewichtslos ist, so läßt sich berechnen, welche Mengen Materie den angeführten Energiemengen entsprechen. Die Rech-

nung ergibt, daß die Sonne im Jahre um etwa 100 Billionen Tonnen leichter wird und daß davon etwa 100.000 t als Licht und Wärme zur Erde kommen. 12½ von diesen 100.000 t Energie werden dann von den Pflanzen der Erde zur Assimilation verwendet. Alles fließende Wasser der Erde leistet im gleichen Zeitraum von einem Jahr nur eine Arbeit, die 4 t entspricht, und die Weltkohlenförderung bringt es auf etwa ½ t. Die physische Leistungsfähigkeit der Menschheit ist im Vergleich dazu sehr klein. Würden alle Menschen, die auf der Erde leben, ein Jahr lang ununterbrochen als Schwerarbeiter tätig sein, sie könnten nur etwa das Arbeitsäquivalent von 17 kg leisten — und 100.000 t verarbeiten die Pflanzen!

Abgesehen von den grünen Pflanzen, haben noch einige kleinere Organismengruppen die Fähigkeit, die Kohlensäure der Luft mit Hilfe des Lichtes in organische Verbindungen überzuführen. In den letzten Jahren haben da rote und grüne Schwefelbakterien die Aufmerksamkeit in besonderem Maße auf sich gezogen. Vor allem die Untersuchungen von Gaffron ergaben, daß diese Bakterien mit ihren dem Chlorophyll chemisch nahe verwandten Farbstoffen und mit Hilfe von Licht und Schwefelwasserstoff die Kohlensäure der Luft zu assimilieren vermögen. Überraschend ist die Feststellung Gaffrons, daß von diesen Bakterien (besonders von Purpurbakterien) auch die COOH-Gruppe mancher organischer Säuren so reduziert und assimiliert werden kann, als wäre es freies CO₂.

Nehmen diese Bakterien die Energie zur Überführung der Kohlensäure in organische Bindung aus dem Licht, so kennen wir auch eine ganze Anzahl von Formen, die diese Energie aus anderen energiehaltigen Substanzen entnehmen können. Die Bakterien, welche die Energie, die im Methan, im Petroleum, im Benzol usw. enthalten ist, zur Assimilation von Kohlensäure verwenden können, wurden schon erwähnt. Jetzt sei noch auf Formen hingewiesen, welche die in anorganischen Stoffen enthaltene Energie zur Kohlensäureassimilation verwerten können. Als solche wären jene zu nennen, die freien Wasserstoff mit freiem Sauerstoff zu Wasser vereinigen können, die also jene Reaktion durchführen, die bei der Knallgasexplosion vor sich geht. Diese Wasserstoffbakterien sind weit verbreitet, sie finden sich in jeder Handvoll Erde. Andere wieder gewinnen die 64 Kalorien, die aus der Oxydation von Ammoniak zu Nitrit gewonnen werden können, und eine weitere Gruppe von Organismen verschafft sich durch die Oxydation von Nitrit zu Nitrat 16 Kalorien und verwendet sie zur Kohlensäureassimilation. Diese Bakterien sind auch dadurch bemerkenswert, daß organische Stoffe, die doch von den meisten Bakterien als Nahrung unbedingt gebraucht werden, für sie geradezu giftig sind. Die sogenannten Eisenbakterien machen sich die bei der Oxydation des zweiwertigen Eisens zum dreiwertigen freiwerdende Energie zunutze und assimilieren so Kohlensäure. Die großen Lager von Raseneisenstein

verdanken zum Teil diesen Organismen ihre Entstehung. Farblose Schwefelbakterien leben in verdünntem Schwefelwasserstoffwasser, bilden aus dem Schwefelwasserstoff Schwefelsäure und bauen die gewonnene Energie in Kohlensäure ein.

Wir sehen also, daß alle die Stoffe, die als Energielieferanten für Lebewesen in Frage kommen, letzten Endes entweder von grünen Pflanzen oder Bakterien mit Hilfe des Sonnenlichtes oder von Bakterien mit Hilfe der in anorganischen Körpern steckenden Energie gebildet werden. Es werden aber von diesen Stoffen ungeheuer viel mehr gebildet, als von den Erzeugern und den Tieren verwertet werden können. All der Überschuß findet sich in den Leichen von Tier und Pflanze aufgespeichert und eine Ahnung von seiner Größe erhält man, wenn man bedenkt, daß das von den Bäumen fallende Laub in zehn Jahren die Erde 70 cm hoch bedeckte, würde es nicht weggeschafft. Nur Bakterien und Pilze, die auch die seltensten Stoffe noch als Energiequelle und Nahrung verwerten können, sind imstande, uns vor dem Ersticken in der Unmasse der Überreste der Lebewesen zu bewahren, und sie erhalten so das Antlitz der Erde in der uns vertrauten Gestalt.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Schriften des Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse Wien](#)

Jahr/Year: 1936

Band/Volume: [76](#)

Autor(en)/Author(s): Zeller Alfred

Artikel/Article: [Energiequellen des Lebens. 55-70](#)