

geregelt durch die Arbeit von Werner habe ich mehrmals versucht, die von ihm beschriebenen Schlafstellungen vielleicht auch bei dieser Fischart vorzufinden. Ich konnte jedoch bei meinem Objekt nur ein von den Werner'schen Versuchsbefunden abweichendes Benehmen feststellen. Die Maulbrüter gehen bei Nacht auf den Boden des Behälters herunter und liegen auf der Bauchseite, in dem sie sich mit dem regungslos breit ausgespreizten Bauch- und Brustflossen aufstützen. Sie machen nicht die kleinste Flossenbewegung. In dieser Stellung scheinen sie fest zu schlafen, da sie auf nicht allzustrarke Lichteinflüsse oder Geräusche nicht oder nur sehr träge reagieren.

Die Enzyme und ihre Wirkung.

Von J. Rosenthal.

Unter den Problemen, welche das Interesse der heutigen Biologie in Anspruch nehmen, steht das der Enzyme vornean. Zahlreiche Erscheinungen der Physiologie und Pathologie lassen sich auf enzymatische Vorgänge zurückführen. Und dennoch ist uns das Wesen dieser Vorgänge selbst noch vollkommen dunkel.

Nach der allgemein anerkannten Definition sind Enzyme chemische Körper, welche durch ihre Gegenwart in anderen chemischen Substanzen Reaktionen anregen, ohne sich selbst an diesen Reaktionen zu beteiligen. Auf diese Weise soll es erklärt werden, warum die absolute Menge der bei jenen Reaktionen gebildeten Endprodukte nicht in einem konstanten Verhältnis zu der Menge des die Zerlegung bewirkenden Enzyms steht, so dass z. B. eine minimale Menge von Diastase unbegrenzte Mengen von Stärke in Dextrin und Zucker umzuwandeln vermag.

In vielen Beziehungen hat die Wirkung der Enzyme Ähnlichkeit mit derjenigen der Katalysatoren, welche gleichfalls durch ihre bloße Anwesenheit, d. h. ohne sich selbst an den Reaktionen zu beteiligen, chemische Veränderungen einleiten oder doch ihren Ablauf beschleunigen. Aber diese Analogie hilft wenig oder nichts zur Aufklärung darüber, wie eigentlich die Wirkung der Enzyme zustande kommt, da wir eben über die Wirkungsweise der Katalysatoren auch nichts Genaueres anzugeben imstande sind.

In manchen Fällen freilich scheint der Katalysator die Rolle eines „Übertragers“ zu spielen. Es kommen wirklich chemische Verbindungen zustande, die aber gleich wieder zerfallen, derart, dass derselbe Vorgang sich immer wieder von neuem abspielen kann. Vielleicht verhalten sich auch unter den Enzymwirkungen einige auf diese Weise, doch passt ein solcher Erklärungsversuch sicher nicht auf alle unter dem Begriff „Enzymwirkung“ zusammengefassten

Vorgänge, so dass wir für die meisten uns immerhin nach einer anderen Erklärung umsehen müssen¹⁾.

Durch die Untersuchungen von Pasteur über die Gärung galt es eine Zeitlang als ausgemacht, dass die spezifische Wirkung der Hefe an die Lebenstätigkeit der Saccharomyceszellen gebunden sei. Da jedoch nachweislich die Zellen tierischer und pflanzlicher Organismen und ebenso einzellige Lebewesen, wie Bakterien u. a., Enzyme produzieren, welche auch außerhalb der Zellen ihre spezifische Wirkung auszuüben vermögen, so kann die früher übliche Einteilung in geformte und ungeformte Fermente, für welche letztere seit W. Kühne der Name Enzyme allgemein in Aufnahme gekommen ist, fallen gelassen werden. Ob die Enzyme im Innern der Zellen, in denen sie entstehen, oder außerhalb der Zellen, nachdem sie von diesen abgeschieden worden sind, ihre Wirkung entfalten, ist nicht von wesentlicher Bedeutung für unsere Auffassung von ihrem Wesen. Nachdem endlich Marie Manassein und E. Buchner gezeigt haben, dass man auch aus den Hefezellen durch Zerreiben und Auspressen unter hohem Druck einen Saft gewinnen kann, welcher das wirksame Enzym, die Zymase, in Lösung enthält und ebenso wie die lebenden Hefezellen Zucker in Alkohol und Kohlendioxyd zu spalten vermag, hat sich ganz allgemein die Ansicht Geltung verschafft, dass zwar die Bildung der Enzyme²⁾ in den lebenden Zellen stattfindet, ihre Wirkung aber unabhängig davon sowohl innerhalb wie außerhalb der Zellen vor sich gehen kann.

Ein großer Teil aller Enzymwirkungen lässt sich als hydrolytische Spaltung auffassen, wie sie auch ohne Enzyme durch physikalische und chemische Einwirkung zustande kommt. Während aber diese Eingriffe, Einwirkung überhitzten Wasserdampfs, Kochen mit Säuren u. s. w. alle möglichen nach Art der Anhydride oder Ester zusammengesetzten Stoffe in ihre Komponenten zu spalten vermögen, zeigen die Enzyme die besondere Eigentümlichkeit, dass jedes von ihnen nur einen bestimmten Stoff oder eine Gruppe von Stoffen zerlegen kann. E. Fischer hat dieses Verhältnis durch den Vergleich anschaulich gemacht, dass das Enzym zu dem zerlegbaren Körper passen muss wie der Schlüssel zu dem Schloss. So schön das Gleichnis ist, so vermag es doch leider keine weitere Einsicht in die Art der Wirkung zu geben. Im Gegenteil, das Ver-

1) Hier wären auch die Erklärungsversuche zu erwähnen, welche Herr Ehrlich für die Toxine und Antitoxine durch Annahme von chemischen Bindungen und Zerlegungen dieser Bindungen zu einem System ausgebaut hat, welches eine große Zahl höchwichtiger Erscheinungen in schönster Weise darzustellen ermöglicht. Ich gehe jedoch nicht weiter auf sie ein, da von ihnen das im Text Gesagte gleichfalls gilt.

2) Oder doch ihrer Vorstufen, der sogen. Zymogene, welche erst, wie man sagt, aktiviert werden müssen, damit die eigentlich wirksamen Enzyme entstehen.

ständnis einer so ins einzelne spezialisierten Wirkung wird dadurch nur noch schwieriger.

Obgleich die enzymatischen Prozesse, soweit unsere Kenntnis reicht, mit sehr geringer, teils positiver, teils negativer Wärmetönung verlaufen, glaube ich doch annehmen zu dürfen, dass zu ihrer Einleitung stets eine Zufuhr von Energie von außen notwendig ist. Denn zu allererst muss ja eine Zerlegung des Lösungswassers in seine Ionen und die Spaltung der durch ein O-Atom gekuppelten Teilbestandteile des komplizierten Stoffes vor sich gehen. Wenn dann durch Anlagerung der H- und OH-Ionen an diese Teilbestandteile Wärme frei wird, so kommt es lediglich darauf an, ob dieser Wärmebetrag größer oder kleiner ist als der Betrag der im ersten Akt verbrauchten Wärme. Im ersten Falle wird der Prozess im ganzen als exothermischer, im zweiten als endothermischer verlaufen. Aber auch im ersten Fall wird die dabei freiwerdende Energie sehr gering sein. Sie kann trotzdem genügen, um den Prozess weiterzuführen, vorausgesetzt, dass die in jedem Augenblick freiwerdende Energie nicht durch Abkühlung oder sonstwie nach außen verloren geht. Wenn dagegen der ganze Vorgang endothermisch verläuft, so bedarf es der stetigen Zufuhr von Energie von außen, wenn der Prozess nicht zum Stillstand kommen soll.

Nach alledem ist es verständlich, warum alle enzymatischen Prozesse immerhin sehr langsam verlaufen und unter ungünstigen Umständen, z. B. bei sehr niedrigen Temperaturen ganz zum Stillstand kommen. Das ist bei den meisten der uns bekannten Vorgänge bei Temperaturen in der Nähe des Gefrierpunkts des Wassers der Fall, während bei Temperaturen von etwa 40° C. meistens ein Maximum der Wirkung, d. h. die größte Geschwindigkeit im Ablauf der Erscheinungen beobachtet wird. Dass bei noch höheren Temperaturen wieder eine Abschwächung der Wirkung auftritt, muss wohl auf eine Veränderung in der chemischen Konstitution der Enzyme selbst zurückgeführt werden. Beim Erhitzen auf etwa 70° werden die meisten von ihnen dauernd unwirksam.

Von chemischer Konstitution der Enzyme wissen wir vorläufig so gut wie nichts. Kein einziges Enzym konnte bisher in einigermaßen reiner Form, frei von Beimengungen dargestellt werden, und wo dies einigermaßen möglich ist, sind die gewonnenen Mengen immer so gering, dass selbst die ungefähre Feststellung ihrer chemischen Natur und ihrer physikalischen Eigenschaften auf die größten Schwierigkeiten stößt. Das ist sehr bedauerlich. Denn wüsste man etwas mehr von bestimmten, allen Enzymen gemeinsamen Eigenheiten der chemischen Konstitution, so könnte man vielleicht daraus Schlüsse auf die besondere Art ihrer Wirkung ziehen.

Es wurde schon darauf hingewiesen, dass man bei einigen der enzymatischen Vorgänge in Analogie zu anderen bekannten Vor-

gängen die Annahme gemacht hat, dass dabei chemische Verbindungen entstehen und wieder zerlegt werden, so dass das Enzym als „Übertrager“ dient. Diese Vorstellung passt jedoch nur für einige der bekannten Fälle und lässt uns bei anderen vollkommen im Stich. Im Gegensatz zu dieser, wenn ich so sagen darf, chemischen Hypothese über die enzymatischen Vorgänge ist schon vor langer Zeit, namentlich durch J. v. Liebig und Nägeli eine mehr physikalische Vorstellung vorgetragen worden. Danach sollen die in lebhaften Schwingungen befindlichen Atome der Enzyme ihre Bewegung auf die Molekeln der zu zerlegenden Stoffe übertragen und diese durch die Steigerung der Atomschwingungen zum Zerfall bringen.

Ich habe bei der Formulierung dieser Hypothese ihr eine Form gegeben, welche sie den jetzt geltenden Anschauungen über den Molekularzustand aller Materie einigermaßen anpasst. In der ursprünglichen Form leidet sie allerdings an dem Mangel jeder näheren Bestimmtheit. Liebig sagt nur, dass Stoffe, welche „in lebhaftem Zerfall begriffen“ seien, diesen Zerfall auch auf andere ähnliche Stoffe übertragen. Er hatte dabei die Vorgänge der Fäulnis im Auge, bei denen es ja bekannt genug ist, dass ein geringer Zusatz faulender Substanz zu frischem, noch nicht faulem Stoff auch diesen in Fäulnis zu versetzen und damit zum Zerfall bringen kann. Dass es sich dabei um die Wirkung von Bakterien handelt, welche mit der zugefügten Masse in die Mischung hineingebracht werden, konnte er nach dem damaligen Stand der Kenntnis nicht wissen. Er versucht auch gar nicht eine Antwort darauf zu geben, wie der „Zerfall“ in der ursprünglichen Substanz zustande kommen soll. Immerhin steckt doch in seiner Darstellung ein entwicklungsfähiger Kern, dessen Brauchbarkeit für eine Theorie der Enzymwirkungen der Prüfung bedarf. Man braucht nur statt „Zerfall“ Energie der Molekularbewegung zu sagen, so kommt man zu Anschauungen, welche ganz dem Geiste unserer heutigen Vorstellungen von der Konstitution der Materie entsprechen. Die Fassung, welche Nägeli der Liebig'schen Hypothese gab, trägt diesen Anschauungen schon etwas mehr Rechnung.

Nach unseren heutigen Anschauungen müssen wir uns die Molekeln, aus denen wir uns alle Materie bestehend denken, in fortwährender Bewegung vorstellen. Die Geschwindigkeiten dieser Bewegungen wachsen mit steigender Temperatur. Bei den Gasen haben wir uns die Bewegungen als gradlinige vorzustellen; jede Molekel legt dabei eine größere oder geringere Wegstrecke in gerader Linie zurück, bis durch Anprall an die das Gas einschließende Wand oder durch Zusammenprall zweier Molekeln Anlass zum Wechsel der Bewegungsrichtung gegeben ist. Ähnlich müssen auch die Bewegungen sein, welche die Molekeln (oder die Ionen, in

welche die Molekeln zerfallen) einer gelösten Substanz innerhalb des Lösungsmittels ausführen. Namentlich in sehr verdünnten Lösungen tritt eine vollkommene Analogie mit den Bewegungen der Gasmolekeln auf, welche sich im „osmotischen Druck“ ausprägt. Aber neben diesen Molekularbewegungen haben wir uns auch die Atome, aus denen jede Molekel besteht, innerhalb des von der Molekel eingenommenen Raums in fortwährender Bewegung zu denken. Ob wir dann noch in Weiterbildung unserer Vorstellungen die Atome selbst als Konglomerate von Elektronen zu denken haben, können wir dahingestellt sein lassen. Jedenfalls aber müssten wir uns die Molekel wie ein System von Weltkörpern vorstellen, innerhalb deren Sonnen, Planeten und Monde in fortwährender relativer Bewegung gegen- und umeinander sich befinden und die dennoch für das Auge eines außerhalb stehenden Beobachters als begrenzte und unveränderliche Einheiten erscheinen.

Für unsere ferneren Betrachtungen können wir von den Elektronen absehen und brauchen nur auf die vorausgesetzte Atombewegung innerhalb des Bereichs jeder Molekel Rücksicht zu nehmen. Handelt es sich aber um Stoffe von verwickelter chemischer Konstitution, so müssen wir zwischen den Atomen und dem ganzen Molekularkomplex noch die Zwischenstufe kleinerer Atomgruppen annehmen, deren Atome untereinander fester zusammenhängen als die einzelnen Gruppen miteinander, so dass wir jedem dieser Komplexe wiederum eine gemeinsame Bewegung innerhalb des Gesamtmolekel zuzuschreiben haben. Solche komplizierte Stoffe sind es aber, welche durch Enzyme zerlegt werden. Eines der einfachsten Beispiele bietet eine Disaccharose, etwa Maltose, deren Molekel aus zwei Glykoseresten besteht, welche durch ein zwischengelagertes O-Atom zusammengehalten werden. Bezeichnen wir der Kürze wegen den Glykoserest mit g , so würde die Maltosemolekel durch das Symbol



dargestellt sein, und dieser Komplex würde durch ein Enzym (Maltase) unter Wasseraufnahme in die zwei Molekeln $g-OH$ und $g-OH$ gespalten werden, wo $g-OH$ die abgekürzte Bezeichnung für die Glykosemolekel $C_6H_{12}O_6$ sein soll³⁾.

In diesem Falle müssen wir uns also vorstellen, dass abgesehen von den Bewegungen des ganzen Molekularkomplexes $g-O-g$ und abgesehen von den Bewegungen der einzelnen Atome noch

3) Die Hervorhebung einer Hydroxylgruppe aus der Gesamtzahl der in der Glykosenmolekel enthaltenen Hydroxyle hat nur den Zweck, den Zerlegungsvorgang als eine hydrolytische Spaltung zu kennzeichnen. Da wir uns berechtigt glauben, alle durch Enzyme bewirkten Zerlegungen als hydrolytische Spaltungen anzusehen, kann das im Text gegebene Beispiel als Paradigma für alle von uns ins Auge gefassten Enzymwirkungen gelten.

jeder der Teilkomplexe g als ein kleineres Ganzes Bewegungen ausführt, die wir uns als Schwingungen um den gemeinsamen Schwerpunkt vorstellen können, während das die g -Komplexe zusammenkoppelnde O-Atom am Orte des Gesamtschwerpunkts als relativ ruhend zu denken ist.

Versuchen wir jetzt die Liebig-Nägeli'sche Vorstellung in unsere moderne Sprache zu übertragen, so gelangen wir zu einer Fassung folgender Art:

Enzyme sind hochkomplizierte chemische Stoffe, deren Atome oder Atomkomplexe in lebhafter Bewegung begriffen sind, so dass sie in ihren Molekeln einen beträchtlichen Energievorrat enthalten.

Bei Berührung mit anderen hochkomplizierten Stoffen kann die Energie dieser Bewegung ganz oder zum Teil auf letztere übertragen werden und die Atombewegungen in ihnen so weit steigern, dass die Affinität an bestimmten Stellen der Molekeln überwunden wird, so dass sich einzelne Atomgruppen aus dem Gesamtmolekularverband loslösen — die Körper werden gespalten.

Wir haben es also, wie wir sehen, mit zwei wohl voneinander zu unterscheidenden Hypothesen zu tun. Es soll nun unsere Aufgabe sein, zu untersuchen, ob diese Hypothesen durch andere bekannte Tatsachen genügend gestützt werden, um als berechtigte Unterlagen für weitere Spekulationen dienen zu können. Kommen wir zur Bejahung dieser Vorfrage, dann werden wir zu untersuchen haben, wie weit die Hypothesen alle bekannten Enzymwirkungen wirklich zu erklären, d. h. verständlich zu machen imstande sind.

Wir beginnen mit der zweiten Hypothese. Soll sie fernerhin als Grundlage für die Auffassung der Enzymwirkungen dienen, so müssen wir untersuchen, ob Stoffe von der Art derer, welche durch Enzyme zerlegt werden, auch durch Zufuhr irgendeiner anderen Art von Energie in ähnlicher Weise gespalten werden können. Ist dies der Fall, dann lässt sich auf dem so gewonnenen Boden weiter diskutieren. Ist es nicht der Fall, dann wird man besser tun, die Hypothese vorläufig fallen zu lassen und sich nach anderweitigen Grundlagen für die Aufklärung der Enzymwirkungen umzusehen. Soweit die bisher bekannten Tatsachen nicht ausreichen, sind sie eventuell durch neue, experimentelle Untersuchungen zu ergänzen.

Nun ist es allgemein bekannt, dass Temperatursteigerung, durch welche die Geschwindigkeit der Molekularbewegung, aber wahrscheinlich auch die Energie der Atombewegung innerhalb der Molekeln gesteigert wird, in vielen Fällen zur Störung des Atomzusammenhangs und damit zu chemischen Zerlegungen führen kann. Wir fassen Vorgänge dieser Art unter dem Namen „Dissoziation“ zusammen. Ich erinnere an den Zerfall des Chlorammoniums bei

Erwärmung. Aber gerade die enzymatisch leicht zerlegbaren Stoffe sind durch bloße Wärmezufuhr schwer zu zerlegen. Es bedarf dazu längeren Kochens bei Gegenwart von Säuren oder längerer Einwirkung überhitzten Wasserdampfes. Das Gleiche gilt von der Energiezufuhr in Form von Lichtstrahlen. Auch hier kennen wir Fälle, wo durch die zugeführte Energie die Zerlegung von chemischen Verbindungen herbeigeführt werden kann. z. B. die Zerlegung von Silberchlorid u. s. w. Aber gerade die uns interessierenden Stoffe werden durch Licht nicht besonders stark zerlegt⁴⁾.

Wenn strahlende Energie, wie sie in den Lichtstrahlen gegeben ist, derartige chemische Wirkungen hervorrufen soll, so müssen die Lichtstrahlen absorbiert werden. Einen absolut durchsichtigen Körper, durch welchen die Ätherschwingungen hindurchgehen, ohne an Energie zu verlieren, könnten sie nicht verändern. Einen solchen absolut durchsichtigen Körper gibt es aber nicht. Damit eine Wirkung eintritt, genügt es aber, dass wenigstens ein Teil der Energie der Ätherschwingungen auf die stofflichen Molekeln übertragen werde. Zuweilen kann die Absorption durch geringe Zusätze kleiner Stoffmengen erhöht und dadurch die chemische Wirkung herbeigeführt werden. Man nennt dieses Verfahren „Sensibilisieren“ und macht davon in der photographischen Technik vielfach Gebrauch.

Aber nicht alle Lichtstrahlen, welche absorbiert werden, bewirken eine solche Steigerung der Molekularbewegung, dass dabei der chemische Zusammenhang der Molekeln gelockert und chemische Zerlegung eingeleitet wird. Dazu bedarf es, wie leicht ersichtlich, nicht nur einer Steigerung der Bewegungen der Molekeln als ganzer Komplexe, sondern auch einer Steigerung der innern oder Atombewegung innerhalb jeder einzelnen Molekel, wahrscheinlich auch einer Steigerung dieser Bewegungen in ganz bestimmten Richtungen und in ganz bestimmter Art. Solche, hier vorerst nur hypothetisch angenommene Bewegungen nennt man geordnete. Während die nach allen möglichen Richtungen und ihre Richtung fortwährend wechselnde ungeordnete Bewegung der Molekeln nur als Temperatursteigerung wahrnehmbar wird, können geordnete Bewegungen der Molekeln oder Atome andere Wirkungen, unter Umständen also auch Zerfall der Molekeln unter Abspaltung von Atomen oder Atomgruppen herbeiführen. (Schluss folgt.)

4) Fälle dieser Art sind allerdings bekannt. Sie sind durch v. Tappeiner u. a. näher untersucht und als photodynamische Erscheinungen bezeichnet worden. Ich selbst habe einige hierher gehörende Erscheinungen beobachtet, über welche ich später zu berichten beabsichtige.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Biologisches Zentralblatt](#)

Jahr/Year: 1911

Band/Volume: [31](#)

Autor(en)/Author(s): Rosenthal Josef

Artikel/Article: [Die Enzyme und ihre Wirkung. 186-191](#)