

Eiweiss : die chemische Grundlage des Lebens

Autor(en): **Wagniere, Georges H.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Prisma : illustrierte Monatsschrift für Natur, Forschung und Technik**

Band (Jahr): **7 (1952)**

Heft 4

PDF erstellt am: **10.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-653780>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Eiweiß

Die chemische Grundlage des Lebens

Von Georges H. Wagniere

DK 591.133.1 : 612.398.1 : 547.96

Der außerordentlichen Kompliziertheit aller inneren Lebensvorgänge wegen mußten die Chemie und die Physik schon eine höhere Entwicklungsstufe erreicht haben, um sich der Erforschung der chemischen und physikalischen Grundlagen des Lebens zuwenden zu können. So kommt es auch, daß die Biochemie erst um die Mitte des 19. Jahrhunderts ihren Ausgang nahm. Aber sobald diese junge Wissenschaft geboren war, hielt sie nicht inne, den Menschen verblüffende und immer verblüffendere Forschungsergebnisse zu offenbaren. So schreibt im Jahre 1838 der holländische Chemiker Mulder: „In Pflanzen und Tieren ist eine Substanz vorhanden, welche ohne Zweifel die wichtigste in den Lebewesen ist und ohne welche das Leben auf unserem Planeten unmöglich wäre. Dieser Stoff ist Eiweiß genannt worden.“

Wenn nun auch die Fette und Kohlehydrate beim Aufbau lebender Substanz eine sehr wichtige Rolle spielen, so kommt dem Eiweiß doch unbedingt die größte Bedeutung zu. Heute wüßte die Wissenschaft ganze Bücher über das Eiweiß zu schreiben, aber weder weiß man die Strukturformeln der riesigen Eiweißmoleküle genau zu bestimmen, noch kennt man die durch Eiweiße bewirkten, chemischen Grundreaktionen der lebenden Zelle in allen Einzelheiten.

Es gibt eine fast unglaubliche Mannigfaltigkeit von verschiedenen Eiweißarten. Davon sind vielleicht die wichtigsten und bekanntesten das Milcheiweiß Kasein, das Eiweiß des Hühner-eies, das in Hülsenfrüchten enthaltene Legumin, im menschlichen Körper das Muskel-eiweiß Myosin, das Hauteiweiß Keratin, das Eiweiß des Blutes, die Enzyme und gewisse Hormone. Sogar die Genen, die Träger der Erbanlagen

in den Keimzellen, wie die Viren sind sehr wahrscheinlich nichts anderes als hochkomplizierte Eiweißmoleküle.

Die Eiweiße als solche

Betrachten wir nun einmal die allgemeinen Merkmale der Eiweiße. Sie bestehen alle hauptsächlich aus Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff, Schwefel und Phosphor. Die Molekulargewichte der Eiweiße, die mit der durch den schwedischen Forscher Svedberg erfundenen Ultrazentrifuge bestimmt werden können, betragen zwischen 13.000 und zirka 10 Millionen, d. h. die Eiweißmoleküle haben eine 13.000- bis 10millionenmal größere Masse als ein Wasserstoffatom. Durch Behandlung mit Säuren oder Laugen, sogenannter Hydrolyse, lassen sich die Moleküle der Eiweiße in kleinere, sogenannte Aminosäuremoleküle aufspalten. Die Eiweiße bestehen nämlich ausnahmslos aus miteinander verbundenen Aminosäuren. Da sich die Strukturformeln der Aminosäuren durch die klassischen Methoden der organischen Chemie bestimmen lassen, kann man durch diese Aufschluß über den Aufbau der Eiweißmoleküle erhalten. Bis heute kennt man über 30 verschiedene Aminosäuren, die man durch sehr subtile Verfahren in chemisch reinem Zustand erhalten kann. Unsere Abb. 1 zeigt die wichtigsten davon in ihrer chemischen Struktur. Wenn wir aber das Eiweißmolekül systematisch und genau erforschen wollen, genügt es nicht, allein den Aufbau der Aminosäuremoleküle zu kennen; wir müssen auch wissen, in welcher Weise sie sich zu Eiweißmolekülen verketteten.

Im Jahre 1902 gelangten die Forscher Emil Fischer und Hans Hofmeister zu der Auffassung, die Aminosäuren würden sich im Eiweißmolekül „in einer ganz bestimmten“ Form

verbinden. Kleinere Gruppen von miteinander in dieser Art verketteten Aminosäuren nannten sie Peptide, die typische Bindung daher „peptidartig“ (Abb. 2). Wenn nun diese Peptide unter der Einwirkung von Pepsin oder anderen Enzymen, welche Eiweiße in Aminosäuren aufspalten, ebenfalls wiederum in ihre Bestandteile aufgelöst würden, so wäre es der Beweis dafür, daß sich die Aminosäuren in den Eiweißmolekülen ähnlich verketteten wie in den Peptiden. Es gelang aber erst in den dreißiger Jahren einem amerikanischen Forscher namens Joseph Fruton, die Richtigkeit der Peptidhypothese zu beweisen, nachdem durch die sogenannte Karbenoxymethode Peptide synthetisch hergestellt worden waren. Ein zweiter Beweis dafür ist durch die Tatsachen geliefert worden, daß bei unvollständiger Hydrolyse von Eiweißen manchmal Peptide erhalten werden können. Das Isolieren dieser Peptide ist aber eine äußerst schwierige Aufgabe.

Durch die Erforschung der Aminosäuren und Peptiden wie durch die erstaunlichen Forschungsergebnisse des englischen Forschers Sanger, der sehr eingehende Untersuchungen über die Struktur des Insulinmoleküls (auch ein Eiweiß) unternommen hat, ist man heute imstande, sich ein grobes Bild eines Eiweißmoleküls zu machen. Man nimmt allgemein an, daß es drei Haupttypen von Eiweißmolekülen gibt:

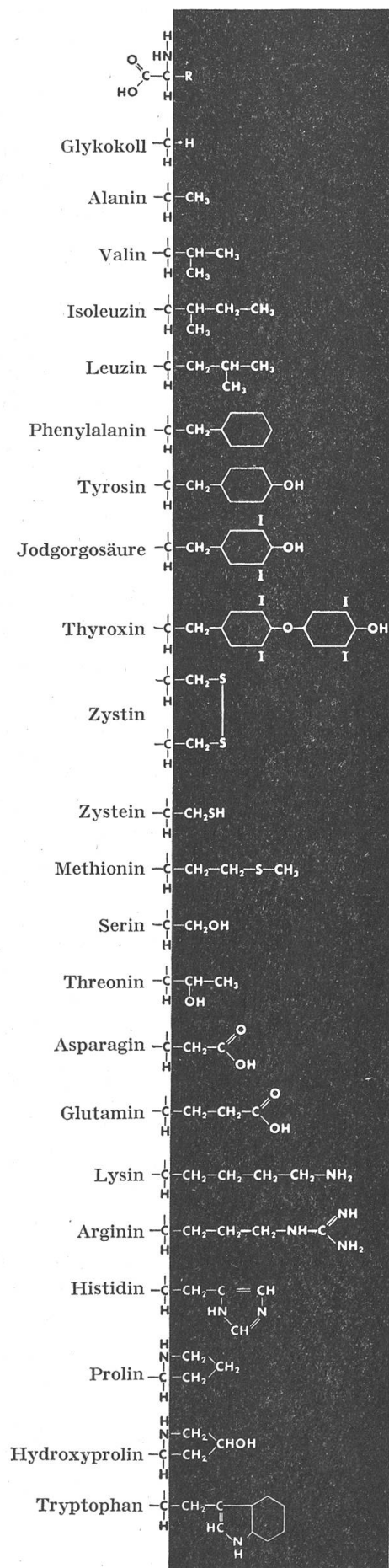
a) ein „faseriges“ oder „fadenartiges“ Eiweißmolekül, welches aus Aminosäureketten besteht, die untereinander durch Schwefelatome verbunden sind (Abb. 3). Zu diesem Typus gehören das Bluteiweiß Fibrinogen, das Myosin und viele wasserunlösliche Eiweiße, wie das Hauteiweiß Keratin oder das Eiweiß der Seide Fibroin.

b) ein kugelförmiger Molekültypus, in dem die Aminosäureketten gekrümmt und auf komplizierte Weise miteinander verkettet sind (Abb. 4). Diesem Typus entsprechen die Moleküle der meisten Eiweißarten, vor allem die wasserlöslichen Eiweiße, wie die Enzyme, Hormone und alle Bluteiweiße, außer dem Fibrinogen.

c) ein dritter Molekültypus, der dadurch gekennzeichnet ist, daß die Aminosäureketten ungeordnet und nicht mehr systematisch miteinander verbunden sind. Werden Eiweißmoleküle des zweiten Molekültypus einer Temperatur von zirka 60° C unterworfen, verwandeln sie sich in Moleküle des dritten Typus. Es ist daher verständlich, daß sich die chemischen Eigenschaften der Enzyme und Bluteiweiße bei etwas zu starker Erwärmung vollständig verändern.

Auch heute ist man noch weit davon entfernt, synthetische Eiweiße herstellen zu können, eine Arbeit, die eine kleine Amöbe oder die Leber eines Säugetiers schnell und genau ausführt. Aus diesem Grund ist es eine der interessantesten Aufgaben der Biochemie, herauszufinden, wie die lebende Zelle Eiweiße herstellt. Ein logischer Anfang für diese Untersuchung ist die verhältnismäßig einfache Frage, wie das

Abb. 1. Die wichtigsten der bisher bekannten Aminosäuren. Aus ihnen bauen sich die Eiweiße (Proteine) auf. Ganz oben die allen Aminosäuren gemeinsame Strukturformel. Im schwarzen Feld die kennzeichnenden Glieder der einzelnen Aminosäuren.



Lebewesen zwei Aminosäuremoleküle vereinigt. Es würde uns hier zu weit führen, näher auf die bis heute diesbezüglich aufgestellten Hypothesen einzugehen. Allgemein wird angenommen, daß die

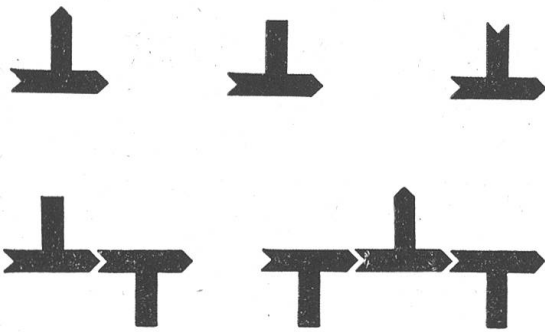


Abb. 2. Die Aminosäuren verbinden sich zu Peptiden. Je nachdem, ob ihre Endgruppe sauer (spitz), neutral (flach) oder basisch (eingekerbt) reagiert, sind sie sauer, neutral oder basisch. Die Peptide sind Ketten aus Aminosäuren, bei denen das basische Ende jeweils mit dem sauren der nächsten Aminosäure verbunden ist

Aminosäuremoleküle in der lebenden Zelle mit Hilfe des gleichen Enzyms zusammengeschiedet werden, welches nach dem Tode des betreffenden Lebewesens die Eiweiße hydrolysiert, also abbaut.

Um bei der Synthese der hydrolysierenden Wirkung dieses Enzyms entgegenzutreten, muß aber eine gewisse Energiemenge geliefert werden. Diese Energiemenge wird sehr wahrscheinlich durch ein bei der Synthese auftretendes, phosphorhaltiges Zwischenprodukt geliefert.

Zweifelloos stehen die wichtigsten Entdeckungen auf dem Gebiet der Eiweißsynthese noch bevor. Wir wollen uns aber hier nicht nur auf die Betrachtung der intramolekularen Verhältnisse der Eiweißmoleküle beschränken, sondern auch noch einen raschen Blick auf die interessantesten Reaktionen der verschiedenen Eiweiße unter sich wie mit anderen Stoffen werfen. Wenn wir ein Eiweißmolekül mit einem modernen Staate vergleichen, so haben wir bis jetzt nur die innerpolitischen Verhältnisse betrachtet, wir müssen aber, um unser biochemisches Bild

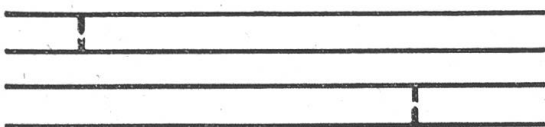


Abb. 3. Fibrinöses (faserartiges) (z. B. das Bluteiweißfibrinogen) Protein setzt sich aus Ketten von Polypeptiden zusammen, die hier als parallele Linien gezeichnet sind. Manchmal sind diese Ketten durch Seitenketten miteinander verbunden

zu vervollständigen, auch von den außenpolitischen Tendenzen Kenntnis nehmen.

Da die Enzyme, Hormone, Genen und Viren die chemisch aktivsten und interessantesten Eiweiße sind, werden wir uns vor allem mit diesen befassen.

Die Enzyme

Als im 18. und 19. Jahrhundert die Gärung und die Verdauung erforscht wurden, stellte sich heraus, daß diese Prozesse durch das Vorhandensein gewisser Stoffe bedingt waren, die den Namen Enzyme (vom griechischen Zyme = Sauerteig) erhielten. Obschon die Enzyme eine äußerst komplizierte Molekularstruktur aufwiesen, wurden sie erst gegen 1930, als das Enzym Urease und das Verdauungsenzym Pepsin in chemisch reinem, kristallisiertem Zustand gewonnen werden konnten, als Eiweiße erkannt. Was die Gärung von Glykose zu Alkohol anbetrifft, so haben sehr eingehende Studien in den letzten Jahren gezeigt, daß nicht nur — wie früher angenommen — ein, sondern zwölf Enzyme daran beteiligt sind, wobei drei Enzyme die Glykosemoleküle aufspalten und neun weitere Enzyme die so entstandenen Zerfallsprodukte zu Alkohol verwandeln.

Heute kennt man etwa 40 verschiedene Enzyme, die alle Eiweiße sind und welche als biochemische Katalysatoren definiert werden können. Sie haben also die Eigenschaft, biochemische Reaktionen, wie die Zuckerverbrennung im tierischen Körper, die Gärung, die schon erwähnte Bildung von Eiweißen aus Aminosäuren, welche unter gewöhnlichen Umständen überhaupt nicht oder nur sehr langsam stattfinden würden, zu ermöglichen bzw. zu beschleunigen, ohne selbst verändert zu werden. Damit aber ein Enzym zweckmäßig und rationell arbeiten kann, muß es notwendigerweise nur für eine bestimmte Reaktion wirksam sein, für andere Reaktionen hingegen vollständig wirkungslos bleiben. Wenn wir nun einen Einblick in den inneren Mechanismus der Enzymreaktionen erhalten wollen, müssen wir — am besten an Hand einiger Beispiele — gewisse Eigenschaften der Enzyme näher betrachten.

Das Enzym Bernsteinsäure-Dehydrase katalysiert die Zersetzung von Bernsteinsäure. Wird der Lösung jedoch Malonsäure, deren Strukturformel große Ähnlichkeit mit derjenigen der Bernsteinsäure hat, beigelegt, tritt eine Hemmung der Reaktion ein. Die gleiche Wirkung hat der Zusatz von Monofluoracetat bei der durch ein Enzym bewirkten Oxydation von Essigsäure, wobei auch hier der Unterschied

zwischen den beiden Stoffen ein sehr geringer ist. Es ist aus diesen Tatsachen ersichtlich, daß zwischen dem an einer bestimmten Reaktion beteiligten Stoff — welcher Substrat genannt wird — und dem betreffenden Enzym gewisse engere Beziehungen herrschen müssen. Allgemein wird angenommen, daß sich das Enzym für äußerst kurze Zeit mit dem Substrat verbindet und dessen Molekularstruktur dermaßen verändert, daß nachher die gewünschte Reaktion eintritt. Hat diese Reaktion stattgefunden, machen sich die Enzymmoleküle wieder frei und beginnen in unverändertem Zustand ihre Arbeit von neuem. Wird nun ein Stoff B der Reaktion beigesetzt, welcher in chemischer Hinsicht in hohem Grade dem Substrat A gleicht, vermag das Enzym zwischen A und B nicht zu unterscheiden. Einige Enzymmoleküle verbinden sich mit A, andere mit B. Durch die Verbindung mit dem Stoff B wird aber ein Enzymmolekül arbeitsunfähig gemacht, was eine Hemmung der zu katalysierenden Reaktion bedeutet. Die Empfindsamkeit gegenüber fremden, substratähnlichen Stoffen ist natürlich nicht bei allen Enzymen gleich groß. Während gewisse Enzyme nicht einmal mit dem Isomer¹⁾ des Substrates eine Verbindung eingehen, weisen andere ein viel geringeres Unterscheidungsvermögen auf.

In Beziehung mit der Untersuchung der Enzymreaktionen ist die Forschung in den letzten Jahren auf das Vorhandensein sogenannter „Koenzyme“ gestoßen. Diese Koenzyme sind — neben den Enzymen — für gewisse Reaktionen ein vollständig unentbehrliches Hilfsmittel, so daß umgekehrt viele Enzyme ohne dazugehöriges Koenzym wirkungslos bleiben.

Für die Medizin gewann die Koenzymforschung erst eine große Bedeutung, als man 1935 herausfand, daß die Vitamine B₁, B₂, B₆ Teile von Koenzymmolekülen bilden. Unabhängig von diesen Feststellungen wurde auch beobachtet, daß die Sulfonamide in Gegenwart von p-Aminobenzoesäure — einem Glied des Vita-

¹⁾ **Isomer:** In chemischer Hinsicht ganz verschiedene organische Verbindungen gleicher stofflicher Zusammensetzung, aber mit verschiedener Anordnung der Atome, d. h. mit verschiedenen Strukturformeln.

Abb. 5. Enzyme können in Kristallform rein dargestellt werden. Die Abbildung zeigt Kristalle des Pepsins, das im Magensaft enthalten ist und dort die Eiweißspaltung herbeiführt (zirka 70fach vergrößert). Die erste Reindarstellung gelang J. St. Northrop im Jahre 1930 im Rockefeller-Institut, Princetown

(Die Abbildungen sind der Zeitschrift „Scientific American“ entnommen)

min-B-Komplexes — einen Teil ihrer Wirksamkeit gegenüber von Krankheitserregern einbüßen. Als man die Strukturformel von p-Aminobenzoesäure (PAB) und Sulfanilamid

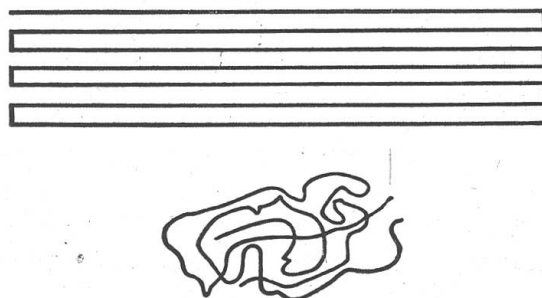
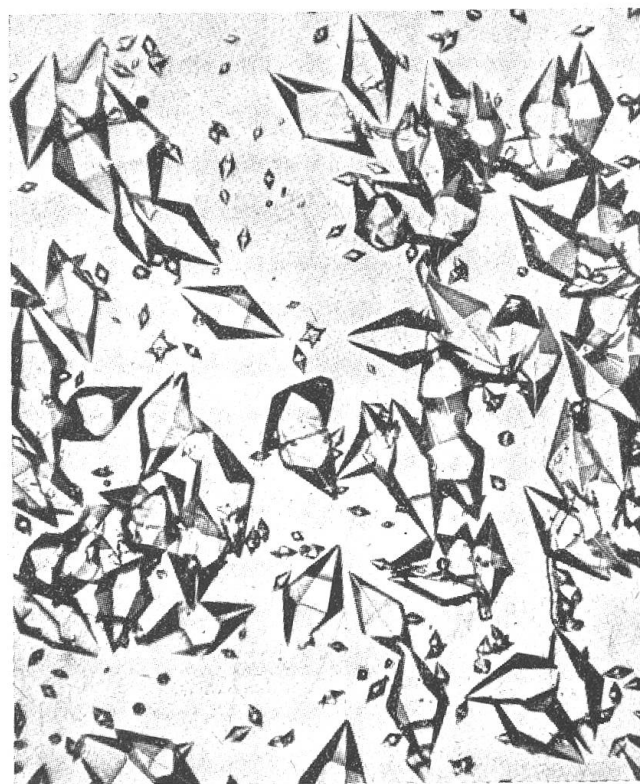


Abb. 4. Die meisten Eiweißarten gehören dem kugelförmigen Molekültyp an (Globularproteine). Im natürlichen Zustand (oben) bestehen sie aus langen Polypeptidketten. (Man muß sich die Anordnung dreidimensional vorstellen.) Werden solche Proteine nur mäßig erhitzt, geht ihre charakteristische Eigenschaft, die Wasserlöslichkeit, verloren. Solche „denaturierte“ Eiweiße zeigen auch eine ganz andere Gestalt (unten), die Peptidketten sind desorganisiert

näher verglich, fand man auch sehr rasch eine Erklärung für diese merkwürdige Erscheinung. Genau wie der Mensch haben nämlich gewisse Krankheitserreger Vitamine nötig. Ihrer Ähnlichkeit mit dem Vitamin B wegen werden nun auch Sulfanilamidmoleküle von den betreffenden Bakterien aufgenommen und in die innern



Enzymreaktionen eingegliedert, was ein rasches Absterben dieser Bakterien zur Folge hat. Je mehr PAB sie aber zur Verfügung haben, desto geringer ist natürlich die Wirkung von Sulfanilamid.

Sulfanilamid ist das erste „Antivitamin“, welches entdeckt worden ist. Es ist Grund vorhanden, anzunehmen, daß das Kinderlähmungsvirus das Vitamin B₁ benötigt, so daß ein B₁-Antivitamin möglicherweise als Heilmittel für die Kinderlähmung verwendet werden könnte.

Obwohl man heute schon fast ein Dutzend Antivitamine kennt, steckt die Antivitaminforschung jedoch noch in den Kinderschuhen, wird aber vielleicht in der Zukunft auf heute noch ungeahnte Möglichkeiten zur Bekämpfung von Krankheitserregern stoßen.

Autokatalitische Enzyme, Gene und Hormone

Die Frage, wie das Lebewesen Enzyme herstellt, ist nicht nur ein Kernproblem der Biochemie, sondern auch der Genetik, der Bakteriologie, ja der Biologie überhaupt. Da die Enzyme Eiweiße sind, könnte man annehmen, daß sie durch den betreffenden Organismus ähnlich aufgebaut werden wie alle andern Eiweiße, nämlich durch Synthese von Aminosäuren. Dieser Vorgang wird seinerseits aber nur durch ein bestimmtes Enzym ermöglicht; wie ist nun die Synthese dieses ersten Enzyms zu erklären? Um die angedeuteten, scheinbaren Widersprüche zu überbrücken, ist man genötigt, anzunehmen, daß es Enzyme gibt, die imstande sind, ein Duplikat von sich selbst zu erzeugen, also als Enzym für ihre eigene Synthese zu wirken. Enzyme, die diese Fähigkeit besitzen, nennt man „autokatalytische“ Enzyme. Sie können als die primitivste Form biologischer Vermehrung betrachtet werden. Die Genen, die Träger der Erbanlagen in den Keimzellen, sind vielleicht nichts als hochkomplizierte, autokatalytische Eiweißmoleküle, ebenso die Viren. Einige äußerst interessante Versuche, die in den letzten Jahren mit dem Pilz „*Neurospora crassa*“ angestellt wurden, lassen vermuten, daß die Genen vielleicht sogar die Hersteller aller Enzyme sind. Es konnte nachgewiesen werden, daß, wenn bei Sporen dieses Pilzes gewisse Genen durch Ultraviolettbestrahlung zerstört wurden, die Fähigkeit, bestimmte Enzyme zu produzieren, verloren ging. So merkwürdig es auch scheinen mag, gelten diese Gesetze auch für die Menschen. Alle Krankheiten, die durch das Fehlen besonderer Enzyme gekennzeichnet sind, werden nach den Mendelschen Gesetzen vererbt, sind also von Genen abhängig.

Ein Gebiet, dem man heute ebensoviel Aufmerksamkeit widmet wie der Erforschung der autokatalytischen Enzyme und der Genen, ist die Erforschung der Faktoren, die die Enzymreaktionen kontrollieren, die bestimmen, wann und wie schnell eine bestimmte Reaktion stattfinden muß. Allgemein wird angenommen, daß die Hormone dabei eine große Rolle spielen. In den letzten Jahren fanden amerikanische Forscher, daß Hormone einen großen Einfluß auf das Enzymsystem haben, welches das Gleichgewicht zwischen dem Zuckergehalt des Blutes und dem Glykogengehalt der Leber aufrechterhält. Es würde uns aber zweifellos hier zu weit führen, näher auf die Einzelheiten der gesamten Hormonforschung einzugehen, die, obschon gewisse Hormone Eiweiße sind, doch ein Gebiet für sich darstellt.

Das Leben — keine Apparatur

Betrachtet man den heutigen Stand der Biochemie etwas philosophisch, könnte man annehmen, der Mensch werde mit der Zeit und bei fortgesetzten Forschungen einen lebenden Organismus schließlich nur noch als eine hochkomplizierte, den Gesetzen der Kausalität streng unterworfenen, physikalisch-chemischen Apparatur betrachten, dessen Reaktionen sich mathematisch vorausbestimmen lassen. Es gibt indessen physikalische und biologische Tatsachen, die uns schon heute die Unrichtigkeit dieser Annahme als sehr wahrscheinlich erscheinen lassen. Wenn auch nämlich die makrophysikalische Oberwelt vom Kausalitätsprinzip streng abhängig ist, so sind — wie uns die Atomphysik lehrt — die mikro-physikalischen Einheiten, die Atome, Elektronen und Quanten nicht an diese Gesetze gebunden. Allem Anschein nach sind nun gewisse Grundreaktionen des Lebens, wie die Mutation bei den Genen, mikro-physikalische Ereignisse, welche die teilweise von den Kausalitätsgesetzen unabhängige „Freiheit“ der Lebewesen erklären.

Wie sich nun auch die lebenden Organismen in bezug auf die makro- und mikro-physikalischen Gesetze verhalten, eines steht fest: die Größe und Erhabenheit dessen, was wir „Leben“ nennen. Ob wir die autokatalytischen Enzyme erforschen oder die chemischen Eigenschaften der Aminosäuren untersuchen, wir werden immer wieder von Bewunderung für die Natur ergriffen, dessen Macht und Schönheit sich uns sowohl unter dem Mikroskop, im Reagenzglas, wie auf einem Spaziergang im Freien offenbart.