Abh. Naturwiss. Ver. Würzburg	4	H 1	5 — 40	Würzburg, Dez. 63

Ursprung und Entwicklung des Lebens auf der Erde

von

A. A. Prashnowsky, Würzburg *)

Die Fortschritte der modernen Naturwissenschaft sowie der Reichtum an Daten erlauben uns, mit gewissem Wahrscheinlichkeitsgrad, das Bild der Evolution der Materie, die einmal in Urzeiten auf unserem Planeten stattgefunden hat, zu entwerfen und die möglichen Stufen aufzuzeigen, die diese Entwicklung bis zur Entstehung des Lebens durchlaufen hat.

*

Das Problem der Entstehung des Lebens zieht den Geist der Menschen seit Urzeiten an. Es gibt kein philosophisches System, keine großen Denker, die sich mit diesem Problem nicht auseinandersetzten. In verschiedenen Epochen und in verschiedenen Kulturen wurde die Frage der Lebensentstehung verschieden beantwortet, doch immer entbrannte um sie der Ideenkampf zweier unversöhnlicher Richtungen: des Idealismus und des Materialismus. Die Fragen nach dem Wesen des Lebens und nach seiner Entstehung gehören zu den größten Problemen der Naturwissenschaft. Jeder Mensch, unabhängig von seinem Niveau, bewußt oder unbewußt, stellt sich diese Frage und sucht eine Antwort.

In dieser Abhandlung soll nicht über die verschiedenen philosophischen Ansichten über den Ursprung des Lebens auf der Erde berichtet werden, wie sie seinerzeit in Altindien, Babylon, Ägypten, Griechenland und später in Europa herrschten. Das würde uns zu weit vom Kern der Sache entfernen. Wir stützen uns bei unseren Betrachtungen allein auf die Ergebnisse der exakten Naturwissenschaft, vor allem auf das Tatsachenmaterial der Astronomie, Physik, Biochemie, Biologie und Geologie.

Bald nach dem zweiten Weltkrieg erwachte in weiten Kreisen der Naturforscher erneut ein großes Interesse an der Frage der Entstehung des Lebens. Es wurden Stimmen laut, die eine kritische Durchsicht der bisher gewonnenen Erkenntnisse auf diesem Gebiete sowie die Ausarbeitung neuer

*) Anschrift: Dr. A. Prashnowsky, Geologisch-Paläontologisches Institut, Würzburg, Pleichertorstraße 34

Methoden für die weitere Forschung forderten. Auf dem Internationalen Biochemiker-Kongreß 1955 in Brüssel wurde der Beschluß gefaßt, ein spezielles internationales Symposium über die Entstehung des Lebens zu veranstalten.

Das erste dieser Symposien wurde im August 1957 in Moskau unter dem Vorsitz von OPARIN abgehalten, der sich mehr als 30 Jahre diesem Problem gewidmet hatte und dessen Arbeiten in den Dreißiger Jahren stark diskutiert wurden.

1961 wurde auf dem Internationalen Biochemiker-Kongreß — wieder in Moskau — das Problem der Entstehung des Lebens in einer speziellen Sektion erneut erörtert.

Dies zeigt nicht nur ein wachsendes Interesse an dem genannten Fragenkreis, sondern auch, daß die früher geübte Zurückhaltung gegenüber diesen Problemen endgültig aufgegeben und die Frage über die Entstehung des Lebens ein Gebiet intensiver experimenteller Forschung geworden ist.

Hauptanliegen des Arbeitsprogrammes der Symposien ist das Prinzip von der evolutionären Entstehung des Lebens. Dieses Prinzip wird jetzt von fast allen Wissenschaftlern anerkannt, obwohl in Einzelheiten noch wesentliche Meinungsverschiedenheiten bestehen.

Noch vor kurzem glaubten viele, daß in der anorganischen Natur unter natürlichen Bedingungen auch noch so primitive organische Substanzen nicht entstehen könnten. Man nahm an, daß diese Substanzen nur biogen gebildet werden können. Die beiden Symposien erbrachten die Einsicht, daß die Möglichkeit einer abiogenen Entstehung der Kohlenwasserstoffe und ihrer Derivate auf der Oberfläche der noch unbelebten Erde bestanden hat. Diese Entstehung konnte auf mannigfaltige Weise erfolgen; die Frage lautet heute nur mehr, welcher dieser Wege der vorherrschende war.

Früher wurde die dem Protoplasma eigene „Asymmetrie der organischen Substanzen" für ein Vorrecht des Lebendigen gehalten. Man nahm als gegeben hin, daß diese Asymmetrie nie und nirgends in der anorganischen Welt verwirklicht werden kann. Es wurde aber nun über zahlreiche asymmetrische Synthesen berichtet, z. B. unter dem Einfluß von zirkular polarisiertem UV-Licht, bei katalytischen Reaktionen, die auf der Oberfläche von Quarzkristallen erfolgten, und spontan Reaktionen während einer langdauernden Kristallisation von Lösungen. Die Diskussion geht also nicht mehr um die Frage, ob die Entstehung der Asymmetrie der urorganischen Substanzen möglich oder unmöglich ist, sondern, auf welchem der vielen Wege sie auf der Oberfläche unseres Planeten lange vor der Entstehung des eigentlichen Lebens verwirklicht wurde. Ähnlich ist übrigens die Fragestellung über die Möglichkeit einer abiogenen Bildung der Aminosäuren, Porphyrine, eiweißähnlichen Polymere und Polynukleotiden. Ein umfangreiches experimentelles Material hat verschiedene Möglichkeiten der Urbildung dieser Verbindungen auf der Erde ergeben.

Besonders stark diskutiert wurde die Frage, welches Stadium in der evolutionären Bildung organischer Körper wir als den Beginn der Entstehung des Lebens ansehen dürfen. Dienten das einzelne, wenn auch sehr komplizierte Molekül oder erst mehrmolekulare Systeme als Grundlage für die Entstehung des Lebens?

Ferner wurden jene biochemischen Probleme erörtert, die mit der Evolution des Stoffwechsels in Beziehung stehen. Wenn es auch auf den ersten Blick scheinen mag, als ob diese Frage über die Grenzen des gestellten Problems hinausgreife, so können vergleichende Studien zweifellos zum Verständnis jener Gesetzmäßigkeiten beitragen, die zur Entstehung des Stoffwechsels geführt haben, d. h. zur Entstehung der wichtigsten, das Lebendige kennzeichnenden Form der Materie-Umsetzung.

Daraus ergibt sich, daß Physik, Geologie, Astronomie, Biochemie, Geochemie und Biologie die wesentlichen Beiträge zur Lösung des Problems der Entstehung des Lebens leisten können. Die bedeutendste Stellung gebührt der Biochemie, deren Aufgabe im Wesentlichen das Studium der Änderungen im Molekularbau der Lebewesen sowie der biochemischen Prozesse während der Evolution ist.

Als Objekte für vergleichende Studien der biochemischen Änderungen im Organismus während der Evolution dienen gewöhnlich die rezenten Organismen (auch die Viren), und zwar solche, die auf verschiedenen Stufen der evolutionären Entwicklung stehen. Die Biochemie befaßt sich auch mit Relikten von Organismen der Urzeit. Dies ist das Aufgabengebiet der Paläobiochemie.

Die Problemstellung in der Paläobiochemie liegt im Studium der fossilen Organismen in Bezug auf die möglichen chemischen Änderungen seit ihrem Ableben. Zur Paläobiochemie sollte man auch die Wissenschaft von der Entstehung des Lebens auf der Erde zählen, da sie sich mit der Entstehung und Entwicklung der vorzeilichen Organismen beschäftigt. Hier muß ferner jene Fachrichtung erwähnt werden, die Erkenntnisse über die phylogenetischen Spaltungsprozesse bei Organismengruppen verschiedener geologischer Epochen, soweit diese mit der Tätigkeit anderer (z. T. heute noch lebender) Organismen gekoppelt sind, zur Klärung etwaiger Veränderungen im biochemischen Verhalten dieser noch lebenden Organismen in früheren Epochen gewinnt. Diese Methode fand ihre Anwendung z. B. beim Studium von Mikroorganismen und niederen Pflanzen, sowie in der Analyse der Bildungsbedingungen und der chemischen Zusammensetzung von Kaustobiolithen.

So überschneidet sich die Paläobiochemie sowohl mit der Biogeochemie als auch mit der Geochemie. Gewiß sind die Möglichkeiten der Paläobiochemie sehr viel begrenzter als die der Biochemie heutiger Lebewesen, doch besitzen auch die von der Paläobiochemie festgestellten Tatsachen ihren Wert und

können manches zum Verständnis biochemischer Änderungen während der Evolution beitragen.
Die Hauptrolle bei der Lösung der gestellten Probleme spielt jedoch die vergleichende Biochemie, die die gegenwärtigen Organismen verschiedenen Evolutionsgrades studiert, obwohl sie stets (auf Grund möglicher Änderungen dieser Organismen seit ihrer Entstehung) Korrekturen machen muß. Vergleichend-biochemische Untersuchungen werden auf verschiedenen Ebenen durchgeführt:
1. Das Studium der allgemeinen chemischen Zusammensetzung der Organismen, d. h. Prüfung auf das Vorhandensein verschiedener Gruppen von Stoffen und Bestimmung ihrer quantitativen Verhältnisse.
2. Das Studium des chemischen Baues der einzelnen Gruppen: Gemeinsames und Abweichendes im Molekülbau z. B. Vergleich von Eiweißstoffen, Nukleinsäuren, Carotinoiden, Fettsäuren usw.
3. Das Studium biochemischer Prozesse, die den physiologischen Funktionen (Nervenfunktionen, Bewegung, Sehvermögen, Biolumineszenz, hormonelle Tätigkeit) zu Grunde liegen: Hier überschneiden sich Biochemie, Paläobiochemie und Physiologie.
4. Das Studium der Fermente und der Fermentsysteme, die den Ablauf der einzelnen biochemischen Prozesse in den verglichenen Organismen vorbestimmen sowie des chemischen Aufbaus der Fermente, speziell der Phosphoglyzeraldehyddehydrogenasen, der — α-Amylase und des Myosins die in reiner Form aus verschiedenen Organismen gewonnen werden können.
Dort, wo dem Morphologen der Weg versperrt bleibt, da homologe oder analoge Organe fehlen, versucht der Biochemiker seine Untersuchungen durch Vergleich von Stoffen, biochemischen Prozessen, Fermenten und Fermentsystemen, die den physiologischen Funktionen zu Grunde liegen, weiterzuführen. Außerdem ist es zur Lösung der Probleme der Art und Weise der Änderung von Substanzen und biochemischen Prozessen im Laufe der Evolution notwendig, speziell die konkreten chemischen Unterschiede der chemischen Gruppen solcher phylogenetischen Reihen zu studieren, die auf Grund anderer Kriterien aufgestellt worden sind.
Die Frage über die Richtung der biochemischen Evolution steht mit der Frage über die mögliche Richtung der evolutionären Änderung des Substanzbaues wichtiger Lebensstrukturen des Organismus, vor allem der Nukleinsäuren und Eiweiße, in Verbindung. Tatsächlich wird die Richtung der biochemischen Veränderungen in den Organismen im Verlauf der Evolution a) von den Änderungen des umliegenden Mediums und b) von den Verhältnissen bestimmt, die sich in einem Organismus sowie zwischen dem Organismus und dem umliegenden Medium einstellen.
Selbstverständlich wird bei einer Änderung des Mediums nach einer bestimmten Richtung in der Folge auch eine entsprechend gerichtete Veränderung in der Biosynthese der Substanzen stattfinden. Es wird z. B. beim

Übergang von einer aquatischen zur terrestrischen Lebensweise eines Tieres eine ganz bestimmte Veränderung in der Zusammensetzung der Fette des Fettdepots festgestellt. Trotz allem darf man die Möglichkeiten einer nur biochemischen Untersuchung nicht überschätzen; man muß auch die Daten der Biologie und anderer Disziplinen berücksichtigen.

Aufgabe ist dabei nicht nur die Aufstellung einer Hypothese über den Ablauf des faszinierenden Geschehens in der erdgeschichtlichen Vergangenheit sondern der Beweis dieser Hypothese. Es befriedigt nicht mehr lediglich das Studium der Geschichte der Ereignisse, die auf unserem Planeten stattfanden; unsere Theorien sollen entweder mittels Beobachtungen über die gegenwärtig in der Natur vor sich gehenden Ereignisse oder durch die experimentelle Erzeugung einzelner postulierter Entwicklungsstufen der Materie überprüfbar sein.

Eine solche Fragestellung öffnet weite Möglichkeiten. Dabei gilt das Forschen nicht dem fruchtlosen Bemühen, die plötzliche Selbsterzeugung von Organismen zu beobachten, wie es früher der Fall war, sondern der experimentellen Erzeugung wahrscheinlicher und gesetzmäßiger Erscheinungen, die sich nacheinanderfolgend während der evolutionären Entwicklung der Materie ereignet haben.

Die bekannten Daten erlauben, die Hauptstufen der Entstehung und der Entwicklung des Lebens auf unserem Planeten von Beginn an aufzuzeichnen. In den ersten Milliarden Jahren ihres Bestehens, im Azoikum, war die Erde frei von Lebenserscheinungen; alle stattfindenden Prozesse unterstanden rein physikalischen und chemischen Gesetzen. Diese Phase in der Entwicklung der Erde kann auch als abiogen, als lebenslos, bezeichnet werden. Mit der Entstehung des Lebens begann eine neue Phase. Dabei wurden die bis dahin allein gültigen physikalischen und chemischen Gesetzmäßigkeiten durch neue, durch biologische Gesetze überlagert.

Es ist bemerkenswert, daß mit Beginn jeder neuen Entwicklungsphase das Tempo der Evolution immer rascher wurde. Während die abiogene Periode einige Milliarden Jahre dauerte, fand die biologische Evolution in nur einigen hundert Millionen Jahren statt.

Die Dokumente bezeugen, daß die Entstehung des Lebens ein sehr lange währender und einseitig gerichteter Prozeß in Form eines allmählichen Komplizierter-werdens der organischen Substanzen und der aus ihnen entstandenen Systeme war, und daß diese Vorgänge in ständiger Wechselwirkung mit dem sie umgebenden Medium standen. Wir leben weiterhin in einer Welt steter und ununterbrochener Entwicklung und Evolution.

Der Weg der zur Entstehung der Urorganismen auf der Erde führte, ist in drei Stufen zu unterteilen:

1. Die primäre Entstehung von Kohlenwasserstoffen als Ausgangsmaterial für die Bildung der komplizierten organischen Verbindungen;

2. die Umwandlung dieses Ausgangsmaterials in komplizierte organische Verbindungen, darunter eiweißähnliche Stoffe;

3. die Entstehung von Eiweiß-Systemen mit einem Stoffwechsel, d. h. die Entstehung der Urorganismen.

Die Entstehung der primären urorganischen Substanzen, der Kohlenwasserstoffe und ihrer Derivate

Die Körper der Tiere, Pflanzen und Mikroorganismen werden von organischen Substanzen aufgebaut. Ohne diese Substanzen kann man sich das Leben nicht vorstellen. Darum muß am Beginn der Entstehung des Lebens die Bildung dieser Substanzen stehen, aus denen später alles Lebende wurde. Organische Substanzen unterscheiden sich von den Substanzen der anorganischen Natur dadurch, daß ihr Gerüst im wesentlichen von dem Element K o h l e n s t o f f gebildet wird. Dies läßt sich leicht beweisen, wenn man verschiedene Substanzen der tierischen und pflanzlichen Welt erhitzt: Sie alle verbrennen an der Luft und verkohlen bei Erhitzung ohne Luftzufuhr; die Substanzen der anorganischen Natur dagegen — Steine, Glas, Metalle — verkohlen nie, auch nicht bei starker Erhitzung.

In den organischen Substanzen steht der Kohlenstoff mit anderen Elementen in Verbindung, mit Wasserstoff und Sauerstoff, mit Stickstoff, der in großen Mengen in der Luft vorhanden ist, mit Schwefel, Phosphor u. a. Die verschiedenen organischen Stoffe stellen die mannigfaltigsten Verbindungen dieser Elemente dar, ihr Grundstein aber bleibt der Kohlenstoff. Die einfachsten organischen Substanzen sind die Kohlenwasserstoffe: Verbindungen zwischen Kohlenstoff und Wasserstoff. Erdöl und Produkte wie Benzin, Petroleum usw. sind z. B. Mischungen verschiedener Kohlenwasserstoffe. Aus den Kohlenwasserstoffen kann der Chemiker durch Einbau des Sauerstoffes und des Stickstoffes leicht die zahlreichen organischen Verbindungen herstellen, die manchmal recht kompliziert und in vielen Fällen denjenigen ähnlich sind, die wir aus lebenden Wesen erhalten, wie z. B. Zucker, Fett, ätherische Öle und sogar eiweißähnliche Stoffe.

Auf den ersten Blick erscheint die Frage der Urbildung der organischen Stoffe rätselhaft, dem Verständnis sowie dem Studium unerreichbar. Dies liegt daran, daß wir die Möglichkeit zur unmittelbaren Beobachtung der uns umgebenden Natur haben, die zeigt, daß die überwiegende Menge der organischen Stoffe infolge der Lebenstätigkeit der Organismen entsteht.

Die grünen Pflanzen absorbieren aus der Luft die anorganische Kohlensäure und bauen aus ihr, unter Einwirkung der Sonnenenergie, die ihnen nötigen organischen Stoffe auf. Tiere, Pilze, Bakterien und andere nichtgrüne Organismen beziehen die für sie notwendigen organischen Stoffe durch den Verzehr von Pflanzen oder durch die Zersetzung ihrer Reste. Auf diese Weise existiert die ganze heutige tierische Welt auf Kosten der

organischen Stoffe, die durch die Lebenstätigkeit der grünen Pflanzen gebildet werden, d. h. als Folge solcher Prozesse, die erst nach der Entstehung von Lebewesen ausgelöst werden konnten.
Auch diejenigen organischen Stoffe, die subterran gefunden werden, wie z. B. Torf, Steinkohle und Erdöl, sind infolge der Lebenstätigkeit von Organismen entstanden. Im vorigen und zu Beginn unseres Jahrhunderts glaubten viele Wissenschaftler, daß die organischen Stoffe auf der Erde unter natürlichen Bedingungen überhaupt nie anders als nur durch Organismen, d. h. biogen, entstehen könnten. Diese Anschauung beherrschte die Wissenschaft noch vor 30 Jahren und bildete eine große Schwierigkeit bei der Lösung des Problems des Ursprungs des Lebens. Es war ein scheinbar auswegloser circulus vitiosus: Zum Verständnis der Entstehung des Lebens war notwendig zu wissen, wie die organischen Substanzen entstanden sind; diese aber konnten dem Augenschein nach nur durch Lebewesen synthetisiert werden.
Die Überzeugung von der ausschließlich biogenen Entstehung der organischen Substanzen in der Natur mußte sich auf Grund der ausschließlichen Bekanntschaft mit demjenigen Zustand, der bei uns auf der Erde in der Gegenwart vorliegt, d. h. erst nach der Entstehung des Lebens auf der Erde, herausbilden. Wollen wir aber das Problem aus einem größeren Blickwinkel erfassen, müssen wir bei unseren Gedankengängen über die Grenzen unseres Planeten hinausgehen und uns mit Verhältnissen befassen, die auf anderen Himmelskörpern unseres Weltalls vorliegen. Dabei wird die These von der nur biogenen Entstehung organischer Verbindungen weitgehend erschüttert.
Ende des 18. Jahrhunderts hat HERSCHEL die Idee ausgesprochen und LAPLACE sich ihr angeschlossen, daß die Sterne und Sternanhäufungen keineswegs etwas Unveränderliches darstellen, sondern daß sie zu verschiedenen Zeiten entstanden sind und jetzt noch entstehen und dann einen langen Weg der Entwicklung zurücklegen, dessen einzelne Stadien wir am Sternenhimmel beobachten können.

Es gibt eine Zahl von Hypothesen, die den Mechanismus der Planetenbildung z. B. mit Hilfe turbulenter Bewegungen, der Gravitation und solcher physikalischer Effekte, wie sie bei dem Zusammenprall von Gas- bzw. Staubteilchen auftreten, zu erklären versuchen. Die Bewegung dieser Teilchen im planetaren Urnebel muß chaotisch gewesen sein. Die einzelnen Partikel umkreisten einen größeren Zentral-Körper. Als seine kleinsten Trabanten konnten sie sich in allen Richtungen und in allen Ebenen bewegen, wobei sie unvermeidlich zusammenprallen mußten. Da jedoch der Zusammenprall der festen Teilchen oder Stäubchen und der Gasmoleküle unelastischer Natur war, war dies mit dem Übergang der kinetischen Energie in eine andere Energieform verbunden. Der Gesamtvorrat an mechanischer Energie im Planetennebel nahm auf diese Weise im Laufe der Zeit ab.

Die mathematische Analyse des Geschehens ergibt, daß eine solche Entwicklung im Planetennebel zwangsläufig zu seiner Abflachung führen muß, wobei er die Form eines Diskus annimmt, in dem sich alle umlaufenden Teilchen etwa in gleicher Ebene und in gleichsinniger Richtung bewegen. Daneben mußte es in diesem Nebel zu einer langsamen Ansammlung der zerstreuten Materie in zuerst verhältnismäßig kleinen Körpern und dann in größeren Gebilden kommen, die als zentrale Anhäufung von Materie schließlich zur Planeten-Bildung führten.

Die Mehrzahl der Astronomen versucht, ausgehend von den allgemeinen physikalischen Gesetzen, durch entsprechende mathematische Berechnungen die Entstehung jener Besonderheiten des Baus rationell zu begründen, die unserem Sonnensystem eigen sind: die Gesetzmäßigkeiten der Bewegung der Planeten und ihrer Trabanten, die Konfiguration ihrer Bahnen, die Entfernungen, Größen und Maße der Planeten, die Verteilung des Bewegungsmomentes zwischen der Sonne und den Planeten u. a.

Die Übereinstimmung der theoretisch gefundenen Daten mit den Ergebnissen der unmittelbaren Beobachtung wird gewöhnlich als ein Kriterium für die Richtigkeit dieser oder jener Hypothese angesehen.

Leider befriedigt keine der heute vertretenen Hypothesen über die Entstehung der Planetensysteme. Dabei wird die Lösung des gestellten Problems durch den Umstand erschwert, daß wir nur in Bezug auf unser eigenes Planetensystem mehr oder weniger genaue Daten besitzen. Wir sind also gezwungen, Schlüsse über die Entstehung und Entwicklung eines Systems zu ziehen, das nur in einem einzigen Exemplar näher bekannt ist. So ist häufig schwer zu entscheiden, wo das Allgemeine, jedem Planetensystem Typische, und wo das Spezielle, das Zufällige in Erscheinung tritt. Daraus geht hervor, daß die Planeten-Kosmogonie heute noch nicht restlos erforscht ist. Trotzdem kann man auf Grund von Vergleichen der gewonnenen Erkenntnisse mit den Ergebnissen geophysikalischer und geochemischer Untersuchungen eine gewisse Vorstellung sowohl über die chemische Zusammensetzung der Erdoberfläche, wie auch über die physikalischen Bedingungen während der abiogenen Periode der Erde machen.

Selbstverständlich muß sich die Aufmerksamkeit denjenigen Elementen und ihren chemischen Verbindungen zuwenden, die am Aufbau der lebenden Körper beteiligt sind. Es ist nicht nur die genaue Kenntnis der chemischen und physikalischen Eigenschaften des Lebenssubstrates in seiner heutigen Form erforderlich, sondern auch die Art und Weise seiner Bildung unter natürlichen Bedingungen im Verlaufe der Erdgeschichte, während der sich die ursprünglich primitiven Verbindungen stufenweise veränderten, immer komplizierter wurden und Schritt für Schritt neue Eigenschaften annahmen. Nur so kann man verstehen, warum eben diese und nicht jene chemischen Verbindungen die führende Rolle beim Aufbau des Lebenssubstrates spielten und warum der Lebensmechanismus nur durch diese und nicht andere

chemischen und physikalische Prozesse gesteuert wird. Dies ist für die Erkenntnis des Wesens des Lebens nicht weniger wichtig als die Kenntnis dessen, was sich in lebenden Organismen abspielt.

UREY (116, 117) gibt in seinem Buch „Planeten, ihre Entstehung und Entwicklung" eine Analyse der chemischen Prozesse, die während der Bildung der Erde in den ersten Stadien ihrer Existenz stattgefunden haben könnten. Danach wird die frühe chemische Geschichte der Erde, wie auch der übrigen Planeten, hauptsächlich durch folgende Faktoren vorbestimmt:

1. durch die Verteilung der Elemente im Kosmos, speziell durch die Zusammensetzung der Gas-Staub-Wolke, aus der unser Sonnensystem hervorgegangen ist;
2. durch die Temperatur, die während der verschiedenen Perioden der Bildung der Erde herrschte;
3. durch die Stärke der Gravitationsfelder der entstandenen Planeten;
4. durch die Art der chemischen Substanzen, die an der Entstehung teilnahmen.

Den Urzustand des Protosternes, aus dem unser Sonnensystem hervorgegangen ist, können wir mittels der durch das Studium gegenwärtiger Gas-Staub-Wolken gewonnenen Erkenntnisse erschließen. Das hauptsächliche Gas ist molekularer Wasserstoff, der im Kosmos stets überwiegt und etwa 90 % der Gesamtmasse ausmacht. In geringeren Mengen sind He und andere Edelgase vertreten. Die Gehalte an C, N, O, Fe, Ca und Si betragen nur 1/1000, 1/10 000 und noch weniger Prozent der Gesamtmenge der Gas-Staub-Wolke. Bei der hier herrschenden Temperatur von fast 0^0 abs. können nur Wasserstoff, die Edelgase und in solchen Nebeln vorhandene C-H-Verbindungen wie Methan im Gaszustand bestehen. Die Verbindungen der übrigen Elemente (Wasser in Form von Eis und Hydraten, der Silikate, Kohlenstoff und Stickstoffverbindungen usw.) liegen in festem Zustand, als Staubkörnchen vor.

Nach heute vorherrschender Meinung hat sich unser Planet bei verhältnismäßig niedrigen Temperaturen durch Akkumulation heterogener Festkörperchen mit unterschiedlichen Gehalten an Eisen und Silizium gebildet. Die Festkörperchen enthalten keine chemisch inaktiven (inerten) oder flüchtigen Verbindungen. Im großen und ganzen soll die chemische Zusammensetzung dieser Körper der durchschnittlichen Zusammensetzung der Meteoriten nahegekommen sein. Die unterschiedliche Zusammensetzung und Dichte der festen Teilchen, die den Erdkörper aufbauten, führte im Laufe der weiteren Erdentwicklung zu der Heterogenität des Erdinnern. Diese Entwicklung begann, als sich hauptsächlich infolge der beim Zerfall radioaktiver Elemente freiwerdenden Wärme unser Planet langsam erhitzte. Als die Temperatur im Erdinnern nach einer gewissen Zeit mehr als 1000^0 C erreicht hatte, kam es zur teilweisen Ausschmelzung der festen Gesteine. Unter der Einwirkung des im Erdinnern herrschenden Druckes setzte eine Migration

der Stoffe ein: Die schweren, eisenreichen Partikelchen strebten zum Zentrum, die leichteren, silikatischen reicherten sich an der Peripherie an. An der Erdoberfläche kam es durch das Ausschmelzen der leichtesten Verbindungen aus den äußersten Erdschichten zur Entstehung der Erdkruste, der Lithosphäre. Dieser Prozeß dauert heute noch an.

Die Erdkruste besteht aus Granit- und Basalt-Hüllen, die von einem erst wesentlich später, sekundär entstandenen, hauchdünnen Sedimentschleier bedeckt sind. Die Granithülle nimmt etwa die Hälfte der Erdoberfläche ein. Sie erreicht die größte Dicke auf den Kontinenten und fehlt auf dem Boden des Pazifischen Ozeans. Die darunter lagernde Basalthülle bedeckt die ganze Erdkugel, sie weist auf dem Ozeanboden die relativ geringste Mächtigkeit auf. Unter diesen äußeren Krusten folgt ein Mantel aus siliziumarmen, ultrabasischen Gesteinen (u. a. Duniten), der den Erdkern umschließt.

VINOGRADOV (119, 120) kam auf Grund seiner Untersuchungen über das zonale Schmelzen des Materials von Steinmeteoriten (Chondriten) zu dem Schluß, daß diese Dunite des Mantels die Abschmelzungsreste des Urstoffes der Erde sind, da ihre Zusammensetzung mit der der Chondriten identisch ist. Das Ausschmelzen der leichten Basaltgesteine aus dem Mantel unter der Einwirkung der Radioaktivitäts-Wärme mußte von einer Ausscheidung verschiedenster Dämpfe und Gase begleitet sein.

Deshalb war die Bildung der Wasser- und Gashülle der Erde (Hydro- und Atmosphäre) eng mit den in der Lithosphäre ablaufenden Prozessen gekoppelt. Die Wassermenge muß in der Früh-Epoche geringer als in der Gegenwart gewesen sein. Nach UREY (116, 117) hatte die Ur-Erde etwa 10% des Wassers der gegenwärtigen Meere und Ozeane. Das weitere Wasser wurde später aus Silikat-Hydraten der Lithosphäre oder aus gebundenen Konstitutionswässern des Erdinnern gebildet.

Obwohl die Erde bei ihrer Bildung den größten Teil ihres Wasserstoffs verloren hat, war der ursprüngliche Reichtum von wesentlichem Einfluß auf den chemischen Aufbau unseres Planeten, besonders der Atmosphäre. Die Erde besaß nach dem Verlust des gasförmigen Wasserstoffs eine große Menge gebundenen Wasserstoffs. Hiervon entwich während der Umformung der Erdkruste ein großer Teil in die entstehende Erdatmosphäre und verlieh ihr damit einen ausgeprägt reduktiven Charakter. Heute ist demgegenüber die Erdatmosphäre durch ihren Reichtum an Sauerstoff oxydativ. Der Sauerstoff konnte sich erst nach der Entstehung des Lebens ansammeln; auch wenn sich in den ersten Stadien unseres Planeten in der Atmosphäre Sauerstoff befunden hat, so war seine Menge doch unwesentlich. Der Sauerstoff kann in der Erdkruste infolge der radiochemischen Reaktionen abiogen entstanden sein, z. B. bei der Zersetzung von Gesteinswässern unter der Einwirkung von α-Strahlen. Jedoch oxydierte der Sauerstoff, dank seiner chemischen Aktivität beim Durchgang durch die Erdkruste die

hier anwesenden nichtoxydierten Stoffe. Er konnte deshalb nicht in nennenswerten Mengen die Erdoberfläche erreichen. Aus denselben Gründen ist das Gas, das infolge der radiochemischen Zersetzung der Gesteinswässer in die Erdatmosphäre austritt, nicht mit Sauerstoff sondern mit Wasserstoff angereichert.

Der freie Sauerstoff konnte in den oberen Schichten der Atmosphäre durch photochemischen Zerfall des Wasserdampfes — infolge UV-Strahlung — entstehen. Dabei entwich der gasförmige Wasserstoff in den Weltraum, da die Gravitationskraft ihn nicht aufzuhalten vermochte; der freie Sauerstoff blieb in der Atmosphäre zurück. Auch in diesem Falle konnte er keine bedeutende Konzentration erlangen, da er verhältnismäßig rasch vom Meerwasser aufgenommen wurde. Hier oxydierte der Sauerstoff das Fe^{2+} der leicht wasserlöslichen Eisen (II)-salze zu Fe^{3+}, das sich unter Hydroxylbildung auf den Meeresböden in Form von Eisenerzen ablagerte.

Es besteht dessen ungeachtet kein Zweifel, daß der überwiegende Teil des molekularen Sauerstoffes biogen durch die Photosynthese, also erst nach der Entstehung des Lebens auf der Erde entstanden ist. Aber sogar jetzt, wo die Vorräte an freiem Sauerstoff ununterbrochen durch die Tätigkeit grüner Pflanzen ersetzt werden, ist nur ein ganz dünnes Häutchen der Erdkruste vollständig oxydiert. Die tiefer liegenden Gesteine bilden auch jetzt noch ein ausgeprägt reduzierendes Medium.

So muß es bei den Übergängen von intrusiven Gesteinen in Sedimente zu ständiger Resorption des Atmosphären-Sauerstoffes kommen. Nur die ununterbrochen vor sich gehende Photosynthese sorgt für die ständige Ergänzung des Gases. Würden alle Grünpflanzen verschwinden, so wäre nach Berechnung von GOLDSCHMIDT (122) im Laufe einiger Jahrtausende der ganze Sauerstoff verschwunden, da ihn die nicht oxydierten Gesteine aufgenommen hätten.

Vom anderen Hauptgas unserer Atmosphäre, dem Stickstoff, nimmt man an, daß er ursprünglich in seiner reduktiven Form, als Ammoniak, vorgelegen hat. Man hat Gründe zu der Annahme, daß der Stickstoff in dem festen Material, aus dem die Erde gebildet worden ist, hauptsächlich in Form seiner Metall-Verbindungen, der Nitride, sowie in Form von Ammoniumsalzen vorlag. Die Anwesenheit von Nitriden in der Erdkruste wurde bei Eruptivgesteinen festgestellt. Während der Bildung der Erdkruste sollen die Nitride mit dem Konstitutionswasser des Erdinnern reagiert haben, wodurch Ammoniak entstand, das schließlich in die Atmosphäre entwich. Geologische Zeugnisse deuten auf die Anwesenheit von Ammoniumsalzen in der Lithosphäre. In Vulkangasen und Geysern können erhebliche Mengen von zweifellos abiogen gebildetem Ammoniak gefunden werden. Der freie molekulare Stickstoff der gegenwärtigen Atmosphäre ist sekundär durch Ammoniak-Oxydation entstanden. VERNADSKIJ (123) betont sogar,

daß der überwiegende Teil des molekularen Stickstoffs ausschließlich biogener Herkunft sei.

Einem ähnlichen Prozeß waren die metallischen Schwefel-Verbindungen unterworfen, die zur Ausgangssubstanz für den Schwefelwasserstoff wurden. Dieses Gas muß ebenfalls zu den Bestandteilen der reduzierenden Uratmosphäre der Erde gerechnet werden.

Besonders interessant ist die Frage, in welcher Form der Kohlenstoff erstmals auf der Erdoberfläche aufgetreten sein mag, ist doch dieses Element der Grundbaustein aller organischen Substanzen. Die Erde mußte ihre primäre Kohlenstoff-Verbindung des protoplanetaren Nebels, das Methan, verlieren, indem es dem Bereich unseres Planeten entwich. Nur ein Teil konnte im Gestein konserviert werden. Die stabilsten Kohlenstoff-Verbindungen in den festen Körpern, aus denen unser Planet entstanden ist, sind die Karbide und der Graphit. Diese Stoffe sind auch in Meteoriten gefunden worden, die ihrer chemischen Natur nach mit dem Material, das zur Bildung der Erde diente, identisch sind. In den Meteoriten liegen die Karbide in Form des für sie charakteristischen Minerals, Cohenit, vor, das chemisch eine Eisen-Nickel-Cobalt-C-Verbindung ist. Später wurden auch Cohenite irdischer Herkunft gefunden. Sie sind Bestandteile von Gesteinen tiefer Zonen der Erdkruste. Während der Umbildung der Erdkruste mußten Cohenite zweifellos mit dem Wasser des Erdinnern in Wechselwirkung treten, infolgedessen bildeten sich Methan und andere Kohlenwasserstoffe. Diese sammelten sich in der Erdatmosphäre, da sie nach der Bildung des Erdkörpers von den Gravitationskräften gehalten werden konnten und nicht mehr in das Weltall entwichen.

Eine andere Möglichkeit zur Erklärung der Entstehung der Kohlenwasserstoffe ist die direkte Reduktion von Graphit durch freien Wasserstoff, der unter Einwirkung des radioaktiven Zerfalls aus Wasser entsteht. Einige Autoren weisen auf die Möglichkeit einer Ausscheidung des primär von den Urgesteinen aus dem protoplanetaren Nebel absorbierten Methans hin.

Wir sehen, daß die Daten der Astrophysik und Astronomie mit den Ergebnissen der geologischen Untersuchungen übereinstimmen. Wir können folgern, daß sowohl auf der Erde als auch auf den anderen Himmelskörpern eine abiogene Bildung der einfachsten organischen Substanzen, der Kohlenwasserstoffe und ihrer Derivate, nicht nur möglich sondern wahrscheinlich ist. Es wäre zu diskutieren, welche der abiogenen Bildungsmöglichkeiten vorherrscht.

Längst vor der Entstehung des Lebens auf unserem Planeten wurden auf der Erdoberfläche, in der Kruste, in der Hydrosphäre, und in der Atmosphäre rein chemisch Methan und andere Kohlenwasserstoffe gebildet und angereichert.

Es erhebt sich die Frage, woran die chemische Evolution der organischen

Substanzen in den Milliarden Jahren, als die Erde noch nicht mit lebenden Organismen besiedelt war, erkannt werden kann.

Auf den ersten Blick scheint es, als ob nur die Geochemie eine klare Antwort auf diese Frage zu geben vermag. Doch darf bei den heute auf der Erde — unter natürlichen Bedingungen und außerhalb der lebenden Materie — sich abspielenden Verwandlungen von Kohlenstoff-Verbindungen nie außer acht gelassen werden, daß das Leben irgendwann auf der Erde entstanden ist und daraufhin die Bedingungen der Erdoberfläche grundsätzlich verändert hat. Heute lassen sich nicht mehr viele von den Erscheinungen unmittelbar beobachten, die sich in der erdgeschichtlichen Vergangenheit abgespielt haben müssen. Dafür sind neue Prozesse entstanden.

Es muß nun versucht werden, die ersten Stadien der Existenz unseres Planeten mit Hilfe von Experimenten künstlich zu erzeugen, um die Umwandlungen, die die organischen Stoffe unter den damaligen Bedingungen durchlaufen haben, studieren zu können.

Die Atmosphäre der lebenslosen Erde unterschied sich infolge ihres reduktiven Charakters prinzipiell von der gegenwärtigen. Es konnte nur ein verhältnismäßig kleiner Teil der in die Atmosphäre ausgeschiedenen Kohlenwasserstoffe von dem wenigen vorhandenen molekularen Sauerstoff zu CO oder sogar CO_2 oxydiert werden. Darüber hinaus konnte CO_2 schon deshalb nie in wesentlichen Mengen in der Erdatmosphäre angereichert werden, da es mit Silikaten der Lithosphäre reagiert und in der Erdkruste in Form von Karbonaten abgelagert wurde.

Die Hauptmasse der in die reduzierende Uratmosphäre ausgeschiedenen Kohlenwasserstoffe reagierte auf der Erdoberfläche mit Wasserdampf, Ammoniak, Schwefelwasserstoff und den anderen dort vorhandenen Gasen. Diese Reaktionen wurden vom UV-Licht der Sonne begünstigt, das zu diesen Zeiten tief in die damalige Atmosphäre einzudringen vermochte. Heute ist die Erdoberfläche vor dieser Strahlung durch den sogenannten „Ozonschirm" geschützt, der in etwa 30 km Höhe angetroffen wird. Er besteht aus O_3-Molekülen, entstanden durch die Einwirkung von UV-Licht. Diese Schicht absorbiert den ganzen kurzwelligen Teil des UV-Lichtes. Es ist klar, daß sich in der reduzierenden Uratmosphäre, bei Abwesenheit freien Sauerstoffs, keine Ozon-Schicht hatte bilden können und daß infolgedessen günstige Bedingungen für die verschiedenartigen photochemischen Reaktionen, denen die Kohlenwasserstoffe unterworfen worden waren, gegeben waren.

Als ein weiterer wesentlicher Energie-Faktor bei den abiogenen, organisch-chemischen Umwandlungen müssen die stillen elektrischen Entladungen angesehen werden, die nicht nur in der damaligen sondern auch in der gegenwärtigen Atmosphäre stattfinden (speziell als Blitze). In dieser Richtung wurden in jüngerer Zeit in den USA (Miller, 63—66), in Rußland (Pasynskij, 81; Pavlovskaja a. Pasynskij, 83), in Japan (Akabori, 2—3)

eine Reihe von Arbeiten durchgeführt, wobei im Laboratorium jene Bedingungen erzeugt wurden, die in der Uratmosphäre geherrscht haben könnten.

Das Spektroskop gestattet, die chemische Zusammensetzung der Atmosphäre der anderen Himmelskörper mit einer Genauigkeit zu studieren, als ob sich die Proben in Laboratorien befänden. Auf diese Weise wurde die weite Verbreitung des Kohlenstoffes im Weltall entdeckt. Dieses Element spielt — wie neulich aufgeklärt wurde — eine außerordentlich wichtige Rolle in der Existenz der Sterne. Wir wissen, daß bestimmte Kernreaktionen in den Sterninneren, wo Temperaturen von einigen zehn Millionen Grad herrschen, die Quelle der Sternenenergie sind. Unter diesen Bedingungen kommt es zur Umwandlung von Wasserstoff in Helium, wobei gewaltige Mengen von Energie frei werden, ähnlich dem Vorgang bei der Explosion einer Wasserstoffbombe. Die Umwandlung kann nur bei Anwesenheit von Kohlenstoff zustande kommen, im sogenannten Kohlenstoff-Zyklus der Kernreaktionen. Dieser Zyklus liegt dem Selbstleuchten der Sterne zu Grunde. Jeder Himmelskörper, der eine Masse von mehr als $^1/_{20}$ der Sonnenmasse besitzt, wird sich in ein selbstleuchtendes Gebilde, einen Stern, umwandeln, wenn er in diesen Zyklus einbezogen wird. Es interessiert in welcher Form der Kohlenstoff in den verschiedenen Sternklassen vorliegt.

Kohlenstoff wurde schon in der Atmosphäre der heißesten Sterne vom Typ O gefunden. Auf der Oberfläche dieser Sterne herrscht eine Temperatur von 20 000—28 000° C. Unter solchen Bedingungen könnten chemische Verbindungen nicht existieren. Die Materie (eben die glühende Atmosphäre) liegt in verhältnismäßig einfacher Form vor, in Form freier Atome und anderer elementarer Teilchen.

Die Atmosphäre der Sterne vom Typ B, die hell-bläulich-weiß leuchten und eine Oberflächentemperatur von 15 000—20 000° C besitzen, enthalten ebenfalls glühende Kohlenstoff-Dämpfe. Auch hier tritt das Element nicht in chemische Verbindung ein, es existiert in einzelnen, sich schnell bewegenden elementaren Teilchen.

Nur im Spektrum der weißen Sterne vom Typ A, mit einer Oberflächentemperatur von 12 000° C, ist es gelungen, Spuren von Banden zu entdecken, die auf eine Entstehung primärer Kohlenwasserstoffe deuten. Hier sind die Atome der beiden Elemente Kohlenstoff und Wasserstoff in eine Verbindung eingetreten, infolgedessen ist ein komplizierteres Gebilde entstanden: ein Molekül.

Im Spektrum der kälteren Sterne erscheinen mit dem Sinken der Temperatur die Kohlenwasserstoff-Banden immer deutlicher. Sie sind am deutlichsten bei den roten Sternen mit der Oberflächentemperatur von 4000° C. Unsere Sonne nimmt in diesem Sternensystem eine Zwischenstellung ein. Sie gehört zu der Klasse der gelblichen Sterne vom Typ G. Die Temperatur der Sonnenatmosphäre wird mit 5 800—6 300° C gemessen. In den oberen

Schichten sinkt sie bis auf 5000° C, in tieferen, für unsere Untersuchungen noch erreichbaren Schichten erhöht sie sich bis auf 7000° C. Die Spektren zeigen, daß ein Teil des Kohlenstoffes in eine Verbindung mit dem Wasserstoff (CH-Methan) eingegangen ist. Ferner wurde in der Sonnenatmosphäre die Anwesenheit einer Kohlenstoff-Stickstoff-Verbindung (CN-Cyan) festgestellt. Außerdem wurde das sogenannte Dicarbon (C_2) entdeckt, eine Verbindung, in der zwei Kohlenstoff-Atome miteinander gekoppelt sind.

Also sind in der Sternenatmosphäre gewisse Kohlenwasserstoffe weit verbreitet. Sie müssen unabhängig von Lebewesen, d. h. abiogen, entstanden sein. Bei den auf Sternenoberflächen herrschenden Temperaturen kann keine Rede von der Anwesenheit irgendeines lebenden Organismus sein.

Eine abiogene Entstehung von Kohlenwasserstoffen kann aber nicht nur in der glühenden Sternenatmosphäre, sondern auch bei sehr niedrigen Temperaturen festgestellt werden. So gibt es an manchen Stellen des interplanetaren Raumes Gas- und Staubballungen, es sind dies mächtige Wolken, die sich sogar mit bloßem Auge als dunkle Flecken im Hintergrund der Milchstraße beobachten lassen, weil sie das Licht der Sterne, die sich hinter ihnen befinden, absorbieren. Die Temperatur des Interplanetargases ist nie höher als —200° C und die Temperatur des Staubes noch niedriger, sie nähert sich der absoluten Null-Temperatur.

Das Interplanetar-Gas besteht hauptsächlich aus Wasserstoff, der unter den Elementen des Weltalls am meisten verbreitet ist. Etwa 90% der Substanz unserer Milchstraße ist Wasserstoff. In geringeren Mengen sind Helium und andere Edelgase vertreten. Die Gehalte an C, N, O, Fe, Ca und Si betragen nur 1/1000, 1/10 000 und noch weniger Prozent der Gesamtmenge der Gas-Staub-Wolke. Bei der hier herrschenden sehr niedrigen Temperatur können nur Wasserstoff, die Edelgase und C-H-Verbindungen wie Methan im Gaszustand bestehen.

In der Tat fanden die Astrophysiker im interplanetaren Raum neben dem Wasserstoff auch Methan. Wir sehen also, daß sowohl in glühender Sternenatmosphäre als auch in kalten Gaswolken das Vorhandensein von Kohlenwasserstoffen nachgewiesen ist. In beiden Medien müssen sie unabhängig vom Leben entstanden sein.

Von Bedeutung sind die Untersuchungen der großen Planeten unseres Sonnensystems. Sie zeigen, daß die Jupiteratmosphäre aus Ammoniak und Methan besteht. Man kann hier mit gutem Grund auch andere Kohlenwasserstoffe erwarten, sie sind jedoch infolge der niedrigen Temperatur, die auf der Jupiteroberfläche herrscht (—135° C), in ihrer Hauptmasse entweder im flüssigen oder im festen Zustand. Der noch weiter entfernte Saturn besitzt, ähnlich wie Jupiter, eine mächtige Atmosphäre aus Methan und Ammoniak. Infolge der größeren Entfernung des Saturns von der

Sonne ist die Oberflächentemperatur noch niedriger als beim Jupiter. Darum dürfte ein erheblicher Teil des Ammoniaks hier nicht als Gas vorliegen sondern sich in festem Zustand befinden. Dies bestätigen die Saturnspektren, in denen die Methan-Banden sehr deutlich hervortreten.

Uranus und Neptun sind noch weiter von der Sonne entfernt, sie besitzen also noch niedrigere Oberflächentemperaturen. Das Ammoniak ihrer Atmosphäre muß ganz ausgefroren sein. Hier findet sich jedoch eine große Menge von Methan. Bedeutungsvoll ist die Feststellung der Methananwesenheit in der Atmosphäre des Saturntrabanten Titan. Sein Durchmesser ist dreimal, seine Masse vierzigmal kleiner als bei der Erde. Wenn die Temperatur des Titans der Erdtemperatur gleich wäre, dann wäre das Methan aus seiner Atmosphäre in das Weltall entwichen. Titan behält eben seine Methanatmosphäre durch die sehr niedrige Temperatur von —180° C.

Von Interesse ist weiterhin das Studium der Meteorite, jener „Himmelssteine", die von Zeit zu Zeit aus dem interplanetaren Raum in unsere Atmosphäre einfliegen und auf die Oberfläche der Erde fallen. Man unterteilt die Meteorite in zwei Hauptgruppen: die Eisenmeteorite und die Steinmeteorite. Die Eisenmeteorite enthalten Fe (ca. 90%), Ni (ca. 8%), Co (ca. 0,5%); die Steinmeteorite enthalten 25% Eisen und große Mengen von Oxyden verschiedener Metalle, z. B. des Magnesiums, Aluminiums, Calziums, Natriums, Mangans und anderer. Kohlenstoff ist in allen Meteoriten mehr oder weniger vorhanden, er liegt gediegen in Form von Graphit oder Diamant vor. Das charakteristische Kennzeichen der Meteorite sind Verbindungen des Kohlenstoffes mit Metallen, die sogenannten Karbide. Von anderen kohlenstoffhaltigen Verbindungen in Meteoriten müssen die Kohlenwasserstoffe erwähnt werden.

Also besitzen die Meteorite eine ähnliche chemische Zusammensetzung wie die Erde. 1857 ist es gelungen, aus einem Steinmeteoriten, der in Ungarn abstürzte, eine organische Substanz zu isolieren, die dem Bergwachs ähnlich war. Die Analyse zeigte einen hochmolekularen Kohlenwasserstoff. Verbindungen ähnlicher Art, die in ihren Molekülen zahlreiche Kohlenstoff- und Wasserstoff-Atome enthalten, ab und zu auch Sauerstoff und Schwefel in kleinen Mengen, wurden in verschiedenen anderen Meteoriten isoliert. Als zum ersten Mal die Anwesenheit von Kohlenwasserstoffen in den Meteoriten festgestellt wurde, herrschte noch die Meinung, die organischen Stoffe, folglich auch die Kohlenwasserstoffe, könnten in der Natur nur durch Lebewesen entstehen. Deshalb glaubten viele, die Kohlenwasserstoffe der Meteoriten seien sekundär durch die Zersetzung von Organismen, die einmal diese Himmelskörper bewohnt hätten, entstanden. Spätere Untersuchungen haben diese Annahme widerlegt. Wir wissen jetzt, daß die Kohlenwasserstoffe der Meteoriten wie die Kohlenwasserstoffe der Sternatmosphäre abiogen, d. h. ohne eine Verbindung mit dem Leben, entstanden sind.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß die abiogene Entstehung der Kohlenwasserstoffe in der Natur nicht nur möglich ist, sondern einen im Weltall verbreiteten Prozeß darstellt.

Die Umwandlung der Kohlenwasserstoffe in komplizierte organische Verbindungen und die Entstehung eiweißähnlicher Stoffe

Das Alter der Erde wird gegenwärtig mit etwa 4—5 Milliarden Jahren angenommen. Den Zeitraum seit der Entstehung des Lebens bemißt man mit 2 Milliarden Jahren.

Im Zeitabschnitt von der Bildung der Erde bis zur Entstehung des Lebens vollzogen sich zahlreiche und mannigfaltige chemische Umwandlungen, darunter die Bildung von Kohlenwasserstoffen. Die „Urkohlenwasserstoffe" waren auf der Oberfläche von Anfang an vorhanden. Es waren Ausgangsverbindungen für die Entstehung der großen Zahl manchmal recht komplizierter Stoffe in der Atmosphäre und im „Urozean". Diese Umwandlungen bilden die zweite Stufe in der Entwicklung des Lebens.

In den ersten Perioden der Existenz der Erde stand ein viel geringerer Wasservorrat zur Verfügung. Allmählich vergrößerte sich diese Menge weitgehend durch die Zersetzung der wasserhaltigen Gesteine der Lithosphäre unter Freisetzung des gebundenen Wassers. Auch war die chemische Zusammensetzung der Wässer von den heutigen grundverschieden: Sie waren ärmer an Salzen.

Die Hauptmasse der irdischen Kohlenwasserstoffe ist während jener Phase der Lithosphärenbildung entstanden, in der bei verhältnismäßig hoher Temperatur und bei hohem Druck die Vermischung von Eisen- und Silikat-Massen stattfand. Es kam zu einer Wechselwirkung zwischen den Karbiden und den wasserhaltigen Gesteinen, wobei Methan, Äthan, Azetylen und andere gasförmige Kohlenwasserstoffe frei wurden. Ein Teil von ihnen wurde an Ort und Stelle dieser oder jener Veränderung unterworfen. So konnte z. B. eine Oxydation auf Kosten des Sauerstoffes des Wassers stattfinden. Ferner konnten Wechselwirkungen mit Stickstoff und Schwefel zu Polymerisation führen. Jedoch wurde nur ein kleiner Teil der Kohlenwasserstoffe und ihrer Derivate in der Lithosphäre zurückbehalten bzw. in die Hydrosphäre gespült. Alle flüchtigen Kohlenwasserstoffe wurden mehr oder weniger rasch aus der Erdkruste in die Uratmosphäre ausgeschieden, so wie wir es auch jetzt bei den Gasen beobachten. In der Atmosphäre jedoch begegneten die primären Kohlenwasserstoffe veränderten Bedingungen, vor allem den kurzwelligen UV-Strahlen, die damals die Erdatmosphäre von den obersten bis zu den tiefsten Schichten durchdrangen. Unter deren Einwirkung begannen die Kohlenwasserstoffe und ihre Derivate mit den Stoffen der Atmosphäre, wie Wasserdampf, Ammoniak, Schwefelwasserstoff, in breitem Umfange zu reagieren. Dabei mußten zahl-

reiche organische Stoffe neu entstehen, wie z. B. Alkohole, Aldehyde, Säuren, Amine, Schwefelverbindungen usw. Ein anderer in der Atmosphäre wirkender Faktor, die elektrische Entladung, trug wesentlich dazu bei. Neben der Funkenentladung, dem Blitz, sind die chemisch ungemein wirksamen stillen Entladungen verbreitet.

Die neu gebildeten organischen Stoffe konnten in der Atmosphäre nur in Form flüchtiger Gase verbleiben. Im Laufe der weiteren chemischen Umwandlung wurden die Moleküle der chemischen Stoffe aber immer komplizierter, immer größer; immer mehr verschiedene Atome wurden eingebaut. Dabei verloren sie die Eigenschaft des Gaszustandes. Zusammen mit irgendwelchen „Niederschlägen" gelangten sie in die „Urhydrosphäre" der Erde und wurden im Wasser gelöst. In diesem, für sie neuen Medium, setzten die Molekülverbindungen ihre Wechselwirkung und -beziehung miteinander wie auch mit anderen im Wasser gelösten Stoffen fort. Dadurch konnten neue organische Verbindungen entstehen, z. B. zucker-, fett- und eiweißähnliche Substanzen.

Leider können wir z. Z. keine unmittelbaren Beobachtungen über solche Prozesse in der Natur durchführen. Hier stören nicht nur die heutigen oxydierenden Bedingungen der Atmosphäre sondern auch die überall vorhandenen Lebewesen auf der Erdoberfläche.

Wir können aber ziemlich vollständig über diejenigen Umwandlungen der organischen Stoffe urteilen, die in den Wässern der „Urmeere" und „Urozeane" — längst vor Entstehung des Lebens — stattgefunden haben, indem wir in unseren Laboratorien die Bedingungen nachahmen, die seinerzeit auf der Erdoberfläche herrschten. So zeigt schon A. M. Butlerov (1861), daß Lösungen von Formaldehyd in Kalkwasser nach Stehen in der Wärme einen süßen Geschmack annehmen: es bildet sich Zucker. Durch das Zusammentreten mehrerer Zuckermoleküle entstehen noch kompliziertere Verbindungen. Sie können alle im Leben der Organismen eine wichtige Rolle spielen. Auf ähnliche Weise gelang es unter Laborbedingungen, die Möglichkeit einer abiogenen Synthese und die Entstehung von verschiedenen, recht komplizierten organischen Verbindungen, die Kohlenstoff, Sauerstoff, Wasserstoff, Stickstoff, Schwefel, Phosphor, Eisen, Mangan, Kupfer, u. a. Metalle enthalten, zu beweisen. So wurden vor kurzem auf experimentellem Wege Aminosäuren erhalten, die die Bausteine der komplizierten Eiweißverbindungen sind.

Miller (63—66) ging von der Vorstellung einer reduzierenden Uratmosphäre der Erde aus. Er nahm ein Gemisch aus Kohlenwasserstoff (Methan), Ammoniak, Wasserstoff und Wasserdampf und ließ durch dieses in einem speziell konstruierten Gerät elektrische Funken schlagen. In dem kondensierten Wasser des Gerätes ließen sich daraufhin einige Aminosäuren nachweisen, die hier vermutlich unter den gleichen Bedingungen entstanden sind, wie sie damals auf der Erdoberfläche herrschten.

Pavlovskaya und Pasynskij (81, 83) wandten für die abiogene Synthese von Aminosäuren eine andere, leistungsfähigere Energiequelle, das kurzwellige UV-Licht, an. Durch die Bestrahlung einer wässrigen Lösung von Formaldehyd und Ammoniumchlorid haben sie ebenfalls Aminosäuren synthetisiert. Auch sie bewiesen damit die Möglichkeit, daß sich die Grundbestandteile der Eiweißmoleküle unter den Bedingungen der Uratmosphäre gebildet haben können.

Die Frage, wie unter natürlichen Bedingungen in den Wässern eines „Urozeans" aus den dort entstandenen Aminosäuren oder ähnlichen Stoffen Eiweiß synthetisiert werden kann, wurde lange als unlösbar angesehen.

Vor kurzem ist es Akabori (2, 3) gelungen, im Labor unter Bedingungen, die den damaligen Verhältnissen ähnlich waren, Eiweißstoffe aus Aminosäuren, oder genauer aus deren Vorstufe, dem Protoeiweiß, zu erhalten.

Weitere Arbeiten von Oro (75) konzentrierten sich auf Untersuchungen, ob auch Purine synthetisch hergestellt werden können. Dies ist gelungen. Als Ausgangsmaterial für die Synthese von Purinen dienten Blausäure (Cyanwasserstoff), Ammoniak und Wasser. Die Wahl dieser Stoffe erfolgte aus zwei Gründen: Einerseits gelten sie als natürliche Bestandteile des Universums seit frühester Zeit, eine Annahme, die insofern bestärkt wird, als man diese Stoffe auch in Kometenschweifen festgestellt hat. Ebenso gelten sie als Bestandteile der Uratmosphäre der Erde. Andererseits hatten die Experimente von Miller (63—66) mit elektrischen Entladungen ergeben, daß die genannten Substanzen die Vorläufer der Aminosäuren und anderer biochemischer Substanzen sind.

Purine sind recht komplizierte chemische Verbindungen, die, gemeinsam mit anderen stickstoffhaltigen „Basen", Hauptbestandteile der Nukleinsäuren darstellen, die als Gene Träger der Erbmasse in der lebendigen Zelle sind.

Die Bedeutung dieser Experimente, bezogen auf die Frage nach dem Ursprung des Lebens, liegt vor allem darin, daß sie erstmalig die Möglichkeit einer spontanen Purinsynthese gezeigt haben. Dabei ist die Feststellung, daß Adenin auf diese Weise synthetisiert werden kann, von ganz besonderem Interesse; denn dieser Stoff ist nicht nur einer der wesentlichen Bausteine der Nukleinsäure, sondern auch ein wichtiger Bestandteil mehrerer sogenannter Koenzyme, die, zusammen mit Enzymen, ausschlaggebend für den Ablauf der meisten biochemischen Vorgänge im Zellsystem aller Lebewesen sind.

Wir stellen fest, daß die Biochemie überzeugt ist, daß sich in den frühesten Zeiten der Erdgeschichte in der Hydrosphäre unseres Planeten eiweißähnliche Substanzen gebildet haben können.

Allerdings können diese „Ur-Eiweiße" in keinem Falle einem der heutigen Eiweiße gleich sein; sie waren aber den uns bekannten Eiweißarten ähnlich. In ihnen verbanden sich die verschiedenen Aminosäuren mit denselben

Stoffen wie in gegenwärtigen Eiweißen. Die Abweichung bestand in der Verteilung der Aminosäuren in der Molekül-Kette: sie war weniger geordnet. Diese „Ur-Eiweiße" bestanden wie die gegenwärtigen aus mächtigen Molekülen und besaßen ungeheure chemische Reaktionsmöglichkeiten.
Während der allmählichen Zunahme der Moleküle haben sich diese von einem bestimmten Zeitpunkt an eine neue Beschaffenheit angeeignet: Sie wurden asymmetrisch. Diese Eigenschaft besitzen weder Methan noch seine nächsten Derivate, wie Methylalkohol, Formaldehyd, Methylamin, auch nicht die einfachste Aminosäure, Glykokol, wohl aber alle übrigen, viel komplizierter gebauten Aminosäuren.
Die asymmetrischen organischen Substanzen existieren in zwei einander sehr ähnlichen Formen. Ihre Moleküle bestehen aus gleichen Atomen und Atomgruppen, aber diese sind verschieden im Raum verteilt. Wenn irgendein Radikal eines solchen Moleküls links liegt, so tritt das gleiche Radikal der anderen Form rechts auf. Das einfachste Modell einer solchen Asymmetrie sind unsere beiden Hände. Bei der normalen künstlichen Synthese von organischen Substanzen erhält man eine gleichmäßige Mischung beider Molekül-Formen. Dies leuchtet ein, da die Bildung dieser oder jener Form, linker oder rechter Antipode, bei einer chemischen Reaktion davon abhängt, welches der beiden links oder rechts von der Symmetrieebene liegenden Atome durch neue Atomgruppen ersetzt wird. Aus dem Begriff „Symmetrie" folgt, daß diese beiden Atome unter dem Einfluß identischer Kräfte stehen. Deshalb ist die Wahrscheinlichkeit der Bildung des einen wie des anderen Antipoden gleich. Da bei den chemischen Reaktionen eine sehr große Zahl von Molekülen teilnimmt, so daß das Wahrscheinlichkeits-Gesetz Anwendung findet, ist es unwahrscheinlich, daß einer der Antipoden überhand nehmen kann. Tatsächlich beobachten wir dies weder unter den Bedingungen der leblosen Natur noch bei Laboratoriums-Synthesen. So bildet sich z. B. bei der Synthese von MILLER (63—66) nur eine Razemat von Aminosäuren. Demgegenüber sind die Aminosäuren, die die Eiweiße der lebenden Organismen aufbauen, ausschließlich durch Links-Antipoden vertreten.
Als Regel kann gelten, daß stets nur die Links-Form gebildet wird, wenn ein Organismus eine Substanz mit asymmetrischen Molekülen synthetisiert. Diese Fähigkeit des Protoplasmas, selektiv nur einen der Antipoden zu synthetisieren und aufzuspeichern, nennt man „Asymmetrie der lebendigen Substanzen". Sie ist kennzeichnend für alle Organismen, ohne jede Ausnahme; sie fehlt aber in der leblosen Natur.
Schon PASTEUR (79) wies in seinem Buche „Über die Asymmetrie bei natürlich vorkommenden organischen Verbindungen" auf diese Tatsache hin: „Dieses Merkmal ist vielleicht die einzige richtige Grenze, die man z. Z. zwischen dem Chemismus der nicht lebenden und der lebenden Natur ziehen kann."

Anfang des 20. Jahrhunderts wurde auch gezeigt, daß sich eine asymmetrische Synthese in lebenden Organismen nur beim Vorhandensein einer Asymmetrie verwirklichen kann. Deshalb erhebt sich die Frage, wie die Asymmetrie ursprünglich entstanden ist und ob sie vor der Entstehung des Lebens überhaupt möglich war.

Eine urasymmetrische Synthese konnte unter Laboratoriumsbedingungen bei photochemischen Reaktionen verwirklicht werden, die durch Einwirkung von zirkular polarisiertem UV-Licht hervorgerufen wurden. Es liegt der Gedanke nahe, daß auch bei der Synthese, die den Versuchen von PAVLOVSKAYA & PASYNSKIJ (83) analog sind, die für lebendige Organismen kennzeichnende Asymmetrie der Aminosäuren zu erhalten wäre, wenn dabei ein zirkular polarisiertes UV-Licht Anwendung fände. Es ist bewiesen, daß diese Art der Strahlung in der Natur der noch lebenslosen Erde existierte, folglich konnten auch hier asymmetrische Aminosäuren abiogen entstehen.

Man kennt auch andere Möglichkeiten der Bildung von asymmetrischen Substanzen außerhalb der lebenden Natur. So sprach BERNAL (8—11) die Vermutung aus, daß eine Asymmetrie der organischen Substanzen primär infolge ihrer Synthese auf der Oberfläche von nicht-symmetrischen Quarzkristallen entstanden sein können. Die experimentelle Bestätigung lieferten hier die Versuche von TERENT'EV & KLABUNOSKIJ (113). Wenn zu Beginn unseres Jahrhunderts die anscheinende Unmöglichkeit einer primären asymmetrischen Synthese der organischen Substanzen ein fast unüberwindbares Hindernis für die Erklärung der Entstehung des Lebens darstellte, so ist jetzt dieses Hindernis bezwungen. Wir begegnen in der anorganischen Natur einer Reihe von Faktoren, die die Entstehung der nur den organischen Substanzen lebender Organismen eigenen Asymmetrie auch vor der Entstehung des Lebens auf unserem Planeten verursacht haben können.

Wir wissen zwar, wie eine solche Asymmetrie entstehen kann, sind jedoch noch nicht in der Lage zu sagen, weshalb dieser und nicht der andere Antipode ein solches Monopol im Leben aller die Erde bevölkernder Organismen erlangte. Diese für die Erkenntnis des Wesens des Lebens wichtige Frage muß der Zukunft überlassen bleiben.

Die verschiedenen, in der Uratmosphäre der Erde entstandenen, organischen Substanzen verloren durch chemische Reaktionen langsam ihren Gaszustand und schlugen sich aus der Atmosphäre in der „Urhydrosphäre" unseres Planeten nieder. Im Wasser der „Urmeere" sammelt sich damit die Hauptmasse der organischen Verbindungen an. Hier erfolgte die Entstehung hochmolekularer Substanzen und ihre Umgestaltung in vielmolekulare Systeme. Diese sind Ausgangspunkte für die Entstehung des Lebens.

Die der Entstehung des Lebens vorauslaufende Evolution der organischen Stoffe ging unter sterilen Bedingungen vor sich. In der Literatur erschienen Berichte, nach denen unter den geschilderten Bedingungen in breitem Um-

fange Prozesse einer allmählichen Polymerisation und Kondensation der organischen Stoffe vor sich gehen kann. So verwirklichte z. B. AKABORI (2, 3) eine Synthese von Protoeiweißen. Ferner wurde bei den Symposien (1957, 1961) berichtet, daß in einer bestimmten Periode der Erdexistenz zahlreiche, verschiedenartige eiweißähnliche Aminosäurepolymere, Nukleotiden-Polymere, Polyglukoside und andere ähnliche hochmolekulare organische Verbindungen in der Hydrosphäre entstehen konnten. Ihre primäre Entstehung wurde aber wahrscheinlich anders verwirklicht als bei der Synthese der Eiweiße, Nukleinsäuren und anderer organischer Polymere in der lebenden Zelle. Im Protoplasma läuft diese Synthese auf Grund der bereits vorhandenen, nur dem Leben eigenen, sehr komplizierten Organisation ab. So ist z. B. für die Biosynthese von Eiweißen das Zusammenspiel von Protoplasmasystemen erforderlich:

A. Systeme, die die zur Synthese erforderliche Energie liefern;
B. Ferment-Systeme, die die Reaktionsgeschwindigkeit steuern;
C. Systeme, die die räumliche Anordnung der Eiweißmoleküle bestimmen.

Durch diese aufeinander abgestimmten Faktoren können in den lebenden Zellen nicht nur einfache hochmolekulare Polymere von Aminosäuren entstehen, sondern auch bestimmte andere Eiweiße, die wir aus pflanzlichen bzw. tierischen Zellen isolieren. Es sind Eiweiße, die eine bestimmte Lagerung der Aminosäureradikale zueinander in ihren Polypeptid-Ketten und eine gesetzmäßige innermolekulare Verflechtung dieser Ketten besitzen. An einen solchen präzisen räumlichen Aufbau der Globulas ist auch die biologische Eigentümlichkeit jedes gegebenen Eiweißes gebunden: fermentative, hormonelle, immunologische und andere Funktionen, die von ihm in der lebenden Zelle getragen werden. Auf diese Weise werden, dank der den lebenden Organismen eigenen spezifischen Organisation, jene Eiweiße synthetisiert, deren Aufbau zur Verrichtung aller lebenswichtigen Funktionen hervorragend eingerichtet ist. Selbstverständlich galten in der Lösung organischer Stoffe im Wasser des noch lebenslosen „Urozeans" die hier erklärten biologischen Gesetzmäßigkeiten in der Organisation der biosynthetischen Prozesse noch nicht. In einer einfachen Lösung von organischen Stoffen überschneiden sich dagegen alle möglichen chemischen Reaktionen mehrfach, wobei sie eine Vielfalt von Wechselwirkungen bilden. Deshalb fehlte den entstandenen Polymeren die gesetzmäßige Fähigkeit der inneren Struktur zur Ausführung bestimmter biologischer Funktionen, die für die heutigen Eiweiße und Nukleinsäuren in den lebenden Zellen kennzeichnend sind. Die Gesetze der Thermodynamik und der chemischen Kinetik, die allein den Verlauf des chemischen Geschehens auf der noch lebenslosen Erde steuern, reichen aus, um die Möglichkeit der Entstehung von mannigfaltigen Polypeptiden, Polynukleotiden und anderen Polymeren mit ziemlich ungeordneter Lagerung der einzelnen Glieder in ihren Molekülen

rationell zu begründen. Die Entstehung solcher Verbindungen darf in ihrer inneren Organisation nicht mit dem Aufbau gegenwärtiger Eiweiße bzw. Nukleinsäuren verglichen werden, da der „zweckmäßige Aufbau" der letzteren von den viel später entstandenen biologischen Gesetzmäßigkeiten vorbestimmt wurde.

Es entsteht die entscheidende Frage, ob es möglich war, daß unter den unendlich mannigfaltigen Varianten zufällig einmal in der Evolution der Erde Moleküle von Nukleinsäuren bzw. Nukleoproteiden entstanden, deren innerer Bau die Möglichkeit einer weiteren Selbsterzeugung in sich barg. Ein solches Molekül hätte sich unbegrenzt in der „Urlösung" der Erdhydrosphäre „vermehren" und auf solche Weise den Anfang des Lebens bilden können.

Diese Konzeption der Lebensentstehung, noch auf der monomolekularen Stufe der Evolution organischer Substanzen, schmeichelt auf den ersten Blick durch Einfachheit; deshalb findet sie eine breite Anerkennung. Besondere Popularität hat sie in Verbindung mit der Lehre über filtrable Viren erreicht. Diese Gebilde, die die Ursache einer Reihe von Erkrankungen bei Mensch, Tier und Pflanzen bilden, besitzen eine Natur, die sich rein chemisch ausdrücken läßt. Besonders ist das am Beispiel des Tabakmosaik-Virus sichtbar, dessen Kristalle 1935 von STANLEY (104—108) dargestellt wurden. Sie erwiesen sich chemisch als ganz spezifisch aufgebaute Nukleoproteide. Bringt man diese Substanzen in die lebende Zelle der Tabakpflanze, so laufen hier stürmische biosynthetische Prozesse ab, wobei dieselben Eiweiße und Nukleinsäuren entstehen, die dem Virus zu eigen sind und die ursprünglich im gesunden Tabakblatt fehlen. Es erfolgt sozusagen eine „Vermehrung" der Moleküle der Virusnukleoproteide. Meist nimmt man an, daß im „Urozean" ein dem Tabakmosaik-Virus ähnliches Nukleoproteid-Molekül entstand, das sich „vermehren" konnte und in dieser Weise das erste lebende Molekül auf der Erde darstellte. Gegenwärtig kann sich aber der Virus in keiner „Boullion",in keinen künstlichen Nährboden „vermehren", obwohl zahlreiche Nährböden in dieser Richtung überprüft wurden. Der Zuwachs des Virusstoffes erfolgt nur in einer lebenden Zelle. Das ist kein Zufall, sondern durch die Natur der beschriebenen Prozesse vorbestimmt (OPARIN, 73, 74, 114). In der Tabakzelle wurden schon vor der Infektion durch den Virus eigene Nukleoproteide auf Grund von Wechselwirkung der früher erwähnten energetischen, katalytischen und strukturellen Protoplasma-Prozesse synthetisiert. Das Einbringen eines spezifischen Virus-Nukleoproteides, oder sogar nur seiner Nukleinsäure, ändert die Verhältnisse der fermentativen Prozesse und entstellt die Endglieder der Biosynthese derart, daß keine artspezifischen Eiweiße und Nukleinsäuren entstehen, sondern artfremde Virusnukleoproteide, die sich hier in größeren Mengen ansammeln. Es gibt also keine „Virus-Vermehrung" im biologischen Sinne, ebenso keine „Selbsterzeugung" wie in einer

„Nährboullion", sondern lediglich eine genaue, konstante Neubildung von spezifischen Virusproteiden unter Mithilfe der biologischen Synthese der Tabakpflanzenzelle. Also ist die Neubildung nur beim Vorhandensein einer Organisation möglich, die dem Leben zu eigen ist. Der Virus konnte, wie auch andere gegenwärtige spezifische Eiweiße und Nukleinsäuren, nur als Produkt der biologischen Organisationsform entstehen. Wenn in der „Ur-Boullion" der Urozeane zufällig das Nukleoproteid mit dem spezifischen Bau eines Virus entstehen sollte, was an sich sehr unwahrscheinlich ist, so hätte sich — wie OPARIN meint — weder eine „Vermehrung" noch eine „Selbsterzeugung" noch eine sich stets wiederholende Neubildung solcher Moleküle ergeben. Für diese Prozesse ist eine organisierte Kombination dieser komplizierten Systeme erforderlich, die speziell eine Serie spezifisch gebauter Eiweiß-Fermente einschließt, die ihrerseits nur biologisch entstehen könnten.

Folglich mußten sich im Laufe der Entwicklung unserer Erde im „Urozean" eiweißähnliche Verbindungen und andere komplzierte organische Stoffe bilden, die denen ähnlich waren, aus denen die gegenwärtigen Lebewesen aufgebaut sind. Die weitere Umwandlung dieser organischen Stoffe führte zur Entstehung kolloider Substanzen. Dabei erfolgte eine Anhäufung der Moleküle an bestimmten Stellen des Raumes (OPARIN, 114). Die entstandenen Tropfen nennt man Koacervate, d. h. Anhäufungen, Haufen, Ballungen. Sie führten später, auf einer höheren Stufe der Lebensentwicklung, zur Bildung der Eiweiße sowie der Nukleinsäuren des gegenwärtigen Bautypes.

Die Entstehung von Eiweiß-Systemen mit einem Stoffwechsel, d. h. die Entstehung der Urorganismen

Kennzeichen der Eiweiß-Koacervate ist das Vorhandensein einer gewissen Struktur, obwohl sie flüssig waren. Die Bestandteile Moleküle und kolloide Teilchen waren nicht chaotisch, sondern in einer Art gegenseitiger Zuordnung im Raum verteilt. Diese Bildung von Eiweiß-Koacervat-Tropfen ist in der Evolution der urorganischen Stoffe mit der Umgebung unzertrennlich verbunden und in der Masse des Lösungsmittels gleichmäßig verteilt. Seit der Entstehung der Eiweiß-Koacervate wurden die Moleküle der organischen Stoffe an bestimmten Stellen konzentriert und durch eine mehr oder weniger scharf ausgeprägte Grenze von der Umgebung abgesondert. Jeder Eiweiß-Koacervat-Tropfen hat eine gewisse Individualität bekommen, er hat sich sozusagen der Umgebung gegenübergestellt.

Die Organismen stehen ununterbrochen mit dem äußeren und inneren Medium in Wechselwirkung, ihr innerer Aufbau paßt gut zu einer langdauernden Existenz, zu der steten Selbsterneuerung und -erzeugung. OPARIN formuliert die Gründe, die Koacervat-Tropfen als die für die nachfolgende

Evolution wahrscheinlichste Ausgangsform der Organisation mehrmolekularer, individueller Systeme ausweisen:
1. Die primär in Wässern des „Urozeans" entstandenen, verschiedenen hochmolekularen organischen Stoffe, mannigfaltige, ordnungslos aufgebaute Polymere von Zuckern, Aminosäuren oder Nukleinsäuren, können in kolloid-chemischer Hinsicht nicht wesentlich von den gegenwärtigen Polymeren-Verbindungen abweichen. In ihren Lösungen, wie auch in den Lösungen von Eiweißen, Aminosäuren und Nukleinsäuren war stark die Fähigkeit zur Bildung der komplexen mehrmolekularen Assoziationen ausgeprägt. Da die Bildung der Koacervat-Tropfen keine spezifischen Bedingungen für ihre Entstehung verlangt sondern auch bei der einfachen Zusammenmischung der Lösungen aus verschiedenen Polymeren vor sich geht, war die Koacervat-Bildung eine direkte Folge des Entstehens dieser Polymere im Wasser des „Urozeans".
2. Es läßt sich kaum ein zweiter derartig effektiver Weg zur Konzentration der eiweißähnlichen und anderen hochmolekularen organischen Substanzen nennen wie eine Koacervation, besonders bei verhältnismäßig niedriger Temperatur.
3. Die aus der „Ur-Boullion" ausgeschiedenen Koacervat-Tropfen haben sich nicht ganz von der Umwelt abgeschlossen. Sie wurden keine geschlossenen Systeme sondern bewahrten ihre Fähigkeit, mit dem umgebenden Medium in Wechselwirkung zu treten, was die unerläßliche Bedingung ihrer weiteren Evolution war.
4. Schließlich kommt der Koacervation ein Interesse deshalb zu, weil der gegenwärtige Lebensträger, das Protoplasma, in kolloidal-chemischer Hinsicht ebenfalls ein mehrfacher Koacervat-Komplex ist. Man darf allerdings nicht zu dem Schluß kommen, daß jeder beliebige Koacervat-Tropfen in irgendeiner Weise lebendig ist. Zwischen ihm und dem Protoplasma besteht ein wesentlicher Unterschied, vor allem insofern, als die Beständigkeit der beiden Systeme in verschiedenen Prinzipien begründet ist.
Dürfen wir deshalb die Eiweiß-Koacervat-Tropfen schon Lebewesen nennen? Selbstverständlich nicht. Jedoch lag in der Absonderung dieser Eiweiß-Koacervat-Tropfen von der Umgebung, in der Entstehung der individuellen Kolloid-Systeme, der Kern der Entwicklung zum eigentlichen Leben.

Das Schicksal eines Eiweiß-Koacervat-Tropfens konnte von dem des anderen, benachbarten Tropfens grundverschieden sein. Sein Schicksal wurde durch das Verhältnis des umgebenden Milieus zum inneren spezifischen Bau, der in den Einzelheiten nur ihm zu eigen ist, bestimmt.
Eines der kennzeichnenden Merkmale der Organismen ist das vollkommene Netz der Umsetzungsreaktionen, deren Organisation von einem Komplex mannigfaltiger Faktoren bestimmt ist: Vorhandensein des genau bestimmten Ferment-„Satzes", dessen quantitative Verhältnisse, ferner jene physikalisch-chemischen Bedingungen, die im Protoplasma durch kolloide

Eigenschaften entstehen, auch die Protoplasma-Struktur, die räumliche Organisation seiner Moleküle und vielmolekularen Systeme. Bereits in der ersten Periode der Entstehung von Koacervat-Tropfen zeigte sich eine Beziehung zwischen dem individuellen Aufbau und der Anordnung sowie der Art der chemischen Umsetzung. In verschiedenen Tropfen waren diese Umsetzungen verschieden, und auch ihr zeitlicher Ablauf war in unterschiedlicher Weise abgestimmt, je nach den individuellen Besonderheiten jedes gegebenen Tropfens. Andererseits waren die mannigfaltigen chemischen Prozesse, die in einem Tropfen abliefen, für die Zukunft dieses Tropfens keineswegs unwesentlich: einige der Prozesse begünstigten die größere Beständigkeit und eine längere Existenz dieses Koacervat-Systems unter den gegebenen Umweltbedingungen.

Bereits in diesem Stadium der Evolution der Materie ist also eine gewisse Auswahl der organisierten kolloidalen Systeme nach dem Merkmal der Übereinstimmung ihrer Organisation mit der Funktion dieser Systeme, sich unter den Bedingungen ihrer ununterbrochenen Wechselwirkung mit der Umwelt zu erhalten, entstanden. Diese Auswahl war höchst primitiv und sie kann keineswegs mit der „natürlichen Wahl" im Sinne DARWINS verglichen werden, doch ist unter ihrer Kontrolle die weitere Evolution der individuellen organischen Systeme in einer ganz bestimmten Richtung verlaufen. Infolge der gerichteten Evolution des Ausgangs-Systems je nach der Beständigkeit nahm die Entwicklung mehr und mehr dynamischen Charakter an: Die Koacervat-Tropfen verwandelten sich allmählich in die offenen Systeme, deren Existenz unter den gegebenen Umweltbedingungen von der Organisation der in ihnen ablaufenden Prozesse abhängt. Mit anderen Worten: Es entstanden Systeme, die auf Grund der in ihnen ablaufenden Selbsterneuerungsprozesse zu einer dauernden Existenz infolge der ununterbrochenen Wechselwirkung mit der Umwelt befähigt wurden. Es ist dies das erste Ergebnis der gerichteten Evolution der gegebenen Ausgangssysteme.

Der nächste Schritt war die Entstehung von Systemen, die nicht nur zur Selbsterhaltung sondern auch zum Wachstum, zur Vergrößerung ihrer Masse auf Kosten der Substanzen aus der Umwelt, fähig waren. Der stationäre Zustand der offenen Systeme wird in jedem Augenblick konstant gehalten, nicht, weil die freie Energie des Systems ein Minimum besitzt, wie es beim thermodynamischen Gleichgewicht der Fall ist, sondern, weil das System ununterbrochen genügend freie Energie aus der Umwelt bekommt. Bei offenen Systemen nach Art der Koacervat-Tropfen der Urhydrosphäre erfolgte der Zufluß der freien Energie aus der Umwelt hauptsächlich in Form des Eindringens verhältnismäßig energiereicher Verbindungen. Daraufhin setzten diese oder jene chemischen Reaktionen ein.

Beim Ablauf der chemischen Reaktionen unterscheiden sich die geschlossenen und offenen Systeme in kinetischem Sinne: In geschlossenen Systemen

herrscht Gleichgewicht durch Gleichheit der Geschwindigkeit bei Hin- und Rück-Reaktion. Folglich kann hier prinzipiell keine Vermehrung der Masse stattfinden. In offenen Systemen ist die Reaktionsgeschwindigkeit in einer Richtung gesetzmäßig größer als in der anderen, infolgedessen ist hier eine wechselseitige Übereinstimmung der Prozesse möglich, so daß es zu einer Vergrößerung der Masse kommen kann.

Im Prozeß der gerichteten Evolution nehmen offene Systeme infolge der Auslese bei der allgemeinen Vergrößerung der organisierten Gebilde eine vorherrschende Stellung ein. So entstand aus dieser Konstanthaltung der Wiederholungen von miteinander verbundenen, zu einem einheitlichen System koordinierten Netz der Reaktionen die Fähigkeit zur Selbsterzeugung. Sie ist für lebende Systeme charakteristisch. Diesen Augenblick darf man als den Zeitpunkt der Entstehung des Lebens bezeichnen.

Bei jedem Schritt in der gerichteten Evolution der Ausgangssysteme erfolgt eine Vervollkommnung des Stoffwechsels. So wurde sowohl die chemische Zusammensetzung, als auch die räumliche Organisation der Systeme immer komplizierter, aber auch vollkommener.

Die Reaktionsgeschwindigkeit ist in den Koacervat-Tropfen von der katalytischen Wirkung der überall in dem umliegenden Medium verbreiteten anorganischen Fe-, Cu-, Ca- und anderer Salze sowie von verschiedenen Radikalen, die im Tropfen enthalten sind, beeinflußt worden. Solche Salze und Radikale besitzen eine verhältnismäßig schwache und vor allem wenig spezifische katalytische Wirkung. Deshalb war ein auf diese Wirkung begründeter Ablauf der einzelnen Reaktionen in den Ur-Koacervat-Tropfen unvollkommen. Jedoch erhöht sich die Kraft sowie die Spezifität der katalytischen Wirkung unter gewissen Kombinationen der Stoffe oder bestimmter Atomgruppen bedeutend.

Also besaßen nur diejenigen Eiweiß-Koacervat-Tropfen eine längere Existenz, denen ein gewisser Grad dynamischer Widerstandsfähigkeit eigen war, d. h., bei denen die Geschwindigkeit der Synthese die Geschwindigkeit der Zersetzung überwog oder zumindest im Gleichgewicht stand.

Die Eiweiß-Koacervat-Tropfen, bei denen die Synthese gegenüber der Zersetzung die Überhand gewann, blieben nicht nur erhalten, sondern sie vergrößerten ihren Umfang und ihr Gewicht: sie begannen zu wachsen. So kam es zu einer langsamen Vergrößerung derjenigen Eiweiß-Koacervat-Tropfen, die einen bestimmten, den gegebenen Bedingungen am besten angepaßten Bau besaßen. Neben der Vergrößerung der dynamischen Widerstandsfähigkeit mußte ihre weitere Evolution in Richtung der Vergrößerung der Dynamik dieses Systems sowie der Beschleunigung der Geschwindigkeit der sich in ihnen abspielenden Reaktionen verlaufen. Hier beginnt die weitere Entwicklung, nämlich die Entstehung der biologischen Katalysatoren, der Fermente, die der Beschleunigung und dem gerichteten

Ablauf der Prozesse dienen. Von diesem Zeitpunkt ab liegt die Synthese über der Zersetzung.
Auf diese Weise wurde die gegenwärtige Zusammenwirkung von Vorgängen und die Anpassungsfähigkeit des inneren Baus zur Ausbildung bestimmter Lebensfunktionen unter den gegebenen Existenzbedingungen herbeigeführt, die seitdem der Struktur aller Lebewesen eigen ist.
Die primären „Urorganismen" waren in ihrem Bau komplizierter als die Eiweiß-Koacervat-Tropfen; sie waren aber unvergleichlich primitiver als die uns bekannten gegenwärtigen, noch so primitiven Wesen; es gab noch keine Zellstruktur. Diese Struktur ist erst später, in den folgenden Stadien der Lebensentwicklung, entstanden.

*

Das Alter der Erde wird gegenwärtig auf rund 5 Milliarden Jahre bestimmt. Die seit dem Kambrium erhaltenen Versteinerungen tierischer und pflanzlicher Organismen erlauben, sich den im Laufe von 500 Millionen Jahre abgelaufenen irreversiblen Prozeß der Entwicklung der organischen Welt vorzustellen. Die einzelnen Stufen des Prozesses sind so deutlich, daß sie als Zeitmarke dienen können.
Wir stellen dabei eine ständige Zunahme der Entwicklung fest. Zuerst erfolgte sie langsam, später schneller. In der vorausgegangenen, neunmal längeren abiogenen Zeitspanne spielten sich die komplizierten Prozesse ab, die wir in den vorhergehenden Kapiteln aufgezählt haben: die langsam vor sich gehende Zunahme an Kompliziertheit bei den organischen Stoffen, die Bildung ihrer Polymere, die Entstehung der Koacervat-Tropfen und endlich die Verwandlung dieser Tropfen in die Urorganismen. Zwischen den aus Koacervat-Tropfen entstandenen Organismen und den primitivsten Lebewesen liegt ein langer Weg der allmählichen Vervollkommnung des Stoffwechsels und der Protoplasmastruktur.
Wieviel chemische Mechanismen und Kombinationen der Umsetzungsreaktionen an diesem Vorgang beteiligt waren und wieviele dieser Kombinationen und Mechanismen durch die „natürliche Auswahl" verworfen und vernichtet worden sein mögen, nicht weil sie zu den Naturgesetzen im Widerspruch standen, sondern wegen ihrer unzureichenden „Zweckmäßigkeit", läßt sich nicht erfassen.
Es gibt aus der Zeit der Anfänge des Lebens keine einwandfreien Versteinerungen. Auch wenn solche Versteinerungen gefunden würden, hätten sie nicht viel zu vermitteln, da der Anfang der Evolution des Lebens nicht mit der Änderung der äußeren Form der Individuen, vielmehr mit der Vervollkommnung ihres Stoffwechsels und der inneren Feinstruktur verbunden war.

Mit der Entstehung des Lebens genügten die bisher gültigen physikalischen und chemischen Gesetze nicht mehr für die Ausrichtung des Weges der Materie-Evolution. Ein Versuch der Aufzeichnung dieses Weges kann auf Grund der zusammen mit dem Leben entstandenen neuen biologischen Gesetzmäßigkeiten geschehen.

Es besteht kein Zweifel, daß die ersten Kombinationen der chemischen Umsetzungen, die in der Frühzeit des Lebens entstanden sind, während der weiteren Evolution vielfach ergänzt, komplizierter und vollkommener wurden, besonders durch die Veränderungen der Umweltbedingungen, mit denen sie stets in Wechselwirkung stehen mußten. Diese Veränderung fand bei den voneinander isolierten Organismengruppen verschieden statt. Deshalb verlief die Evolution des Stoffwechsels wie auch die spätere Evolution der morphologischen Formen bei den hochentwickelten Pflanzen und Tieren nicht gradlinig. Sie ging ungerade Wege, die sich mehrfach verzweigten und endlich einen komplizierten „Baum" der mannigfaltigen Arten des Stoffwechsels bildeten. Viele Zweige dieses „Baumes" sind längst verdorrt und verschwunden, ohne eine Spur hinterlassen zu haben, die anderen haben die Gegenwart erreicht.

Im Versuch, in den unzählbaren Stoffwechselformen der verschiedenen Organismen Züge zu entdecken, die den meisten lebenden Organismen eigen sind und deshalb als die ältesten und ursprünglichsten angesehen werden dürften, können wir zwei Hauptmerkmale finden:

1. Das erste Grundprinzip im Stoffwechsel aller gegenwärtigen Organismen ist die Ausnutzung organischer Stoffe als Energiespender für den Ablauf der zahlreichen Reaktionen, obwohl theoretisch auch andere Wege denkbar wären.

2. Es zeigt sich bei allen heutigen Organismen, die ihre Energie aus organischen Substanzen beziehen, der Mechanismus des anaeroben Zerfalls dieser Substanzen, obwohl eine unmittelbare Oxydation dieser Substanzen durch freien Sauerstoff der Atmosphäre viel rationeller erfolgen könnte.

Bei der Erörterung der Entstehung verschiedener Ernährungsarten, z. B. bei Photoautotrophen, finden wir, daß die Ausnutzung von organischen Substanzen die ältere Stoffwechselform ist und die Fähigkeit zur Photosynthese in einem späteren Entwicklungsabschnitt erworben wurde. Nach dem Studium von Details in der chemischen Organisation der Lebenserscheinungen bei verschiedenen Vertretern des Tier- und Pflanz-Reichs und vor allem bei verschiedenen Mikroorganismen können wir versuchen, mit einem gewissen Grad an Wahrscheinlichkeit das Bild der wechselnden Vervollkommnung im Stoffwechsel und in der inneren Struktur der lebenden Körper zu entwerfen, d. h. diejenigen Prozesse uns vorzustellen, die am Anfang der Evolution des Lebens etwa vor zwei Milliarden Jahren vor sich gingen.

Den Ursprung für die Evolution bilden Systeme, die aus eiweißähnlichen und anderen hochmolekularen organischen Stoffen entstanden. Diese Stoffe wurden zwar in der abiogen gebildeten „Nährboullion" von ihrer Umwelt durch eine Trennungsfläche begrenzt, doch reagierten sie mit ihr derart, daß sie trotz langsam vor sich gehenden Zerfall stets die Fähigkeit der Selbsterhaltung und -erzeugung besaßen. Sehr wesentlich scheint, daß die Natur aus allen diesen Verbindungen nur diejenige auswählte, die sich als universelle Wasserstoff-Überträger erwies. Es handelt sich um Diphosphorpyridinnukleotid (DPN), ein Stoff *), in dessen chemischer Einheit zwei Moleküle von Mononukleotiden enthalten sind, von denen die eine als Base das Adenin und die andere das Nikotinsäureamid hat. Durch Pyrophosphor-Brücken sind beide miteinander verbunden. Wir finden, daß das Pyridinnukleotid eine der wichtigsten biochemischen Verbindungen sowohl bei Mikroorganismen als auch in höheren Pflanzen und Tieren ist. Bei heterotrophen als auch autrophen Organismen sowie in Organismen, die beim Atmungsprozeß die verschiedenen Zucker gären und oxydieren, als auch in Organismen, bei denen Phenole und andere höhere Kohlenwasserstoff-Derivate als Nahrung dienen, ist Pyridinnukleotid von großer Bedeutung. Es besteht kein Zweifel, daß das Pyridinnukleotid bei Redox-Reaktionen die Rolle eines Wasserstoff-Überträgers bereits in Urzeiten spielte, als der „Baum des Lebens" gerade zu keimen begonnen hatte. Und doch ist es schwer anzunehmen, daß eine solch komplizierte Verbindung wie Pyridinnukleotid der primäre Wasserstoff-Überträger war. Viel später erst, als die Voraussetzungen für die stets sich wiederholende Synthese von Pyridinnukleotiden geschafft waren, hat diese Verbindung ein Monopol in dem biologischen Stoffwechsel eingenommen; alle übrigen, nicht so vollkommenen Verbindungen wurden durch die „natürliche Auswahl" vernichtet.

*

Wir haben den Weg der Entwicklung der Materie verfolgt, der zur Entstehung des Lebens auf der Erde geführt haben dürfte. Zuerst war der Kohlenstoff in Form einzelner Atome in der glühenden Sternenatmosphäre verteilt. Später wurde er Bestandteil der Kohlenwasserstoffe, die auf der Oberfläche der Erde entstanden. Diese Kohlenwasserstoffe setzten sich um in Sauerstoff- und Stickstoff-Derivate: in urorganische Substanzen. In den Wässern des „Ur-Ozeans" gingen diese Substanzen kompliziertere Verbindungen ein, es bildeten sich eiweißähnliche Stoffe und Eiweiße. Anfangs lag dieses Material in gelöstem Zustand vor, später sonderte es sich als

*) Leider können wir an dieser Stelle auf die universellen Systeme ADP und DPN, die in der organischen Welt eine monopole Stellung einnehmen, sowie auf die Ernährungsweisen wie Phototrophie, Heterotrophie, Autotrophie sowie Chemosynthese usw. und ihre Bedeutung für die Evolution nicht eingehen.

Eiweiß-Koacervat-Tropfen ab. Diese Eiweiß-Koacervat-Tropfen waren zunächst verhältnismäßig einfach gebaut, allmählich änderte sich ihre Struktur. Sie nahmen einen immer kompakteren und vollkommeneren Bau an und verwandelten sich endlich in „Ur-Lebewesen", die Urahnen alles Lebenden auf der Erde. Die ersten Lebewesen besaßen keine Zellstrukturen. Erst in einem bestimmten späteren Entwicklungsstadium ist die Zelle entstanden. Zuerst wurden die einzelligen, später die mehrzelligen Organismen gebildet, die unsere Erde besiedelten.

Literaturverzeichnis

1. Abelson, P., 1956: Science, **124**, 935
2. Akabori, S., 1955: Kagaku (Science in Japan), **25**, 54
3. — 1957:„Trudy meždunarodnogo simposiuma 19-24 avgusta 1957 goda", Moskva, p. 197
4. Bahadur, K., 1954: Nature, **173**, 1141
5. — 1957: „Trudy meždunarodnogo simposiuma 19-24 avgusta 1957 goda", Moskva, p. 149
6. — u. Ranganayaki, S., 1955: Žurnal organičeskoj chimii, **25**, 1629
7. Bauer, D., 1953: Metabolic Aspects of Virus Multiplication. In „The Nature of Virus Multiplication". Cambridge
8. Bernal, J., 1940: The Cell and Protoplasm. Ed. F. Moulton (Washington-American Association for the Advancement of Science).
9. — 1951: The physical basis of life. London
10. — 1957: „Trudy meždunarodnogo simposiuma 19-24 avgusta 1957 goda", Moskva, p. 42, p. 383
11. — Haldane, J., Pirie, N., Pringle, J., 1955: Une discussion sur l'origine de la vie. Publ. de l'Union Rationaliste, Paris
12. Bisset, K. & Grace, J., 1954: In „Autotrophic microorganisms", 4th Symposium Soc. gen. Microbiol. (London) Cambridge
13. Blum, H., 1951: Times arrow and evolution, Princeton. N. Y.
14. Brachet, J., 1955: Biochim. biophys. Acta, **18**, 247
15. — 1957 a: Biochemical cytology. Ac. Press. N. Y.
16. — 1957 b: „Trudy meždunarodnogo simposiuma 19-24 avgusta 1957 goda", Moskva, p. 336
17. — Chantrenne, H. et Vanderhaeghe, F., 1955: Biochim. biophys. Acta, **18**, 544
18. Braunstein, A., 1957 a: Glavnye puti assimilacii i dissimilacii azota u žyvotnych (12 godičnoe Bachovskoe čtenie). Izd.-vo AN SSSR, M.
19. — 1957 b: Advances Enzymol. **19**, 335

20. — 1957 c: „Trudy meždunarodnogo simposiuma 19-24 avgusta 1957 goda", Moskva, p. 526
21. Brisset, K., 1955: The cytology and Life-history of bacteria. Edinburg-London
22. Broda, E., 1957: „Trudy meždunarodnogo simposiuma 19-24 avgusta 1957 goda", Moskva, p. 399
23. Bungenberg de Yong, H. G., 1936: La coacervation, les coacervats et leur impostance en biologie, Paris
24. Cedrangolo, R., 1954: Le Transminazioni. Giorn. Italo-Franco-Elvetiché. Ed. Consil. Naz. di Ricercha, Roma
25. — 1957: „Trudy meždunarodnogo simposiuma 19-24 avgusta 1957", Moskva, p. 284
26. Chargaff, E. & Davidson, J., 1955: The Nucleic Acids. Academic Press Inc. N. Y., v. I, II
27. Cohen, E., 1894: Meteoritenkunde. Stuttgart
28. Dawson, H. & Danielle, T., 1943: The permeability of Natural Membranes. Cambridge University Press
29. Dixon, M. & Webb, E., 1958: Enzymes, Longmans, Green London
30. Dunham, T., 1949: Atmospheres of the Earth and Planets. Ed. by G. Kuiper, University of Chicago Press
31. Felix, K., 1957: „Trudy meždunarodnogo simposiuma 19-24 avgusta 1957 goda", Moskva, p. 247
32. Florkin, M., 1944: L'evolution biochimique, Paris. Masson
33. — 1957: „Trudy meždunarodnogo simposiuma 19-24 avgusta 1957 goda", Moskva, p. 505
34. Fraenkel-Conrat, H., 1956: J. Am. Chem. Soc., **78**, 882
35. — & Singer, B., 1957: „Trudy meždunarodnogo simposiuma 19-24 avgusta 1957 goda", Moskva, p. 306
36. — , — & Williams, R., 1957: In: W. McElroy a. B. Glass. McCollum Pratt Symp., „The Chemical Basis of Heredity", Baltimore, Johns Hopkins Press, p. 501
37. — & Williams, R., 1955: Proc. natl. Acad. Sci. U. S. **41**, 690
38. Frey-Wyssling, A., 1948: Submicroscopic Morphology of Protoplasm and its Derivatives. N. Y.
39. — 1957: Macromolecules in cell structure. Harvard
40. Fruton, J., 1952: The Enuymatic synthesis of peptide bonds. 2-me Congrés International de Biochimie, Symposium 2, „Biogénèse des Protéines", p. 5, Paris
41. Godnev, T., 1957: „Trudy meždunarodnogo simposiuma 19-24 avgusta 1957 goda", Moskva, p. 640
42. Groot, S. de, 1951: Thermodynamics of Irreversible Processes. Amsterdam

43. Grünberg-Manago, M., 1957: „Trudy meždunarodnogo simposiuma 19-24 avgusta 1957 goda", Moskva, p. 346
44. Hoffmann-Osterhof, 1954: Enzymologie. Wien
45. — 1957: „Trudy meždunarodnogo simposiuma 19-24 avgusta 1957 goda", Moskva, p. 205
46. Horowitz, N. H. & Miller, S. L., 1962: Current Theories of the origin of Life. Fortschritte der Chemie org. Naturstoffe **20**, 423
47. Ierusalimskij, N., 1949: Azotnoe i vitaminnoe pitanie mikroognanismov. M.
48. Isimoto, M. & Egami, F., 1957: „Trudy meždunarodnogo simposiuma 19-24 avgusta 1957 goda", Moskva, p. 555
49. Klabunovskij, E., 1957: „Trudy meždunarodnogo simposiuma 19-24 avgusta 1957 goda", Moskva, p. 167
50. Kluyver, A., 1931: The chemical activities of microorganisms. London
51. Krebs, H. & Kornberg, H., 1957: Energy Transformations in Living Matter. Berlin
52. Kretovič, V., 1957: „Trudy meždunarodnogo simposiuma 19-24 avgusta 1957 goda", Moskva, p. 544
53. Kuiper, G., 1952: Atmospheres of the Earth and Planets. Ed. by G. Kuiper, University of Chicago Press, 2-nd edition.
54. Langenbeck, W., 1949: Die organischen Katalysatoren und ihre Beziehungen zu den Fermenten. 2. Auflage, Berlin-Göttingen-Heidelberg
55. Lees, H., 1955: Biochemistry of autotrophic bacteria, London
56. Loeb, W., 1913: Ber. deutsch. chem. Ges. **46**, 690
57. Lvoff, A., 1943: L'evolution physiologique: études des pertes des fonctions chez les microorganismes. Paris
58. — 1944: L'evolution physiologique. Paris
59. Mahler, H., 1956: Processdings of the 3-d international Congress of Biochemistry, Brussels, 1955. C. Liebecq, ed. S. 252
60. McElroy, W. & Glass, H. (eds), 1956: A symposium on the Metabolism of Inorganic Nitrogen Compounds. Johns Hopkins Press. Baltimore
61. Messineva, M., 1940: Fermentativnye swojstwa presnowodnych ilov. Bull. Moip, otdel biologii, **49**, Nr. 5—6
62. — 1957: Vsaimosvjaz' različnych faktorov preobrazovanija organičeskogo veščestwa pri genezise nefti i ênergetičeskij ballans êtogo prozessa. Trudy Vnigni, Nr. 12, Gostoptechizdat
63. Miller, S., 1953: Science, **117**, 528
64. — 1955: Amer. Chem. Soc., **77**, 2351
65. — 1957 a: Biochem. biophys. Acta

66. — 1957 b: „Trudy meždunarodnogo simposiuma 19-24 avgusta 1957 goda", Moskva, p. 131
67. Mitchell, P., 1957: „Trudy meždunarodnogo simposiuma 19-24 avgusta 1957 goda", Moskva, p. 426
68. Natta, G., 1956: Z. Angew. Chem. **68**, 393
69. Needham, J., 1931: Chemical Embryology. Cambr. Univer. Press
70. Ochoa, S. / Green, S. a. oth. 1952: Symposium sur le cycle tricarboxylique. Sedes, Paris
71. Oeriu, S., 1957: „Trudy meždunarodnogo simposiuma 19-24 avgusta 1957 goda", Moskva, p. 571
72. Okawa, K., 1954: J. Chem. Soc. Japan (in Japanese), **75**, 1199
73. Oparin, A., 1938: The Origin of Life. McMillan and Co., N. Y.
74. — 1957: „Trudy meždunarodnogo simposiuma 19-24 avgusta 1957 goda", Moskva, p. 433
75. Oró, J. & Kimball, A. P., 1961: Synthesis of Purine under possible Primitive earth Condition. I. Synthesis of Adenine. Arch. Biochem. Biophys, **94**, 217
76. Osborn, H., 1918: The origin and evolution of life. London
77. Pasteur, L., 1884: Rev. Scientifique (III), **7**, 3
78. — 1922: Oeuvres de Pasteur. **1**, 375
79. — 1907: „Über die Asymmetrie bei natürlich vorkommenden organischen Verbindungen" in Oswald's Klassiker No. 28, Leipzig
80. Palade, G., 1958: Microsomal particles and protein synthesis, Ed. Roberts, Pergamon Press, London
81. Pasynskij, A., 1957: „Trudy meždunarodnogo simposiuma 19-24 avgusta 1957 goda", Moskva, p. 417
82. Pauling, L., 1957: „Trudy meždunarodnogo simposiuma 19-24 avgusta 1957 goda", Moskva, p. 222
83. Pavlovskaja, T. & Pasynskij, A., 1957: „Trudy meždunarodnogo simposiuma 19-24 avgusta 1957 goda", Moskva, p. 161
84. Pirie, N., 1957: „Trudy meždunarodnogo simposiuma 19-24 avgusta 1957 goda", Moskva, p. 79
85. Porter, J., 1946: Bacterial Chemistry and Physiology. Wiley. N. Y.
86. Prigogine, I., 1947: Etude thermodynamicque des phénomenes irréversible. Liège, Desoer.,
87. — 1955: Introduction to the thermodynamics of irreversible processes. Chicago
88. Rabinowitch, E., 1948: Photosynthesis and related processes. Interscience publishers inc., N. Y.
89. — 1945: Photosynthesis, Interscience, V. I. N. Y.
90. Ritchie, P., 1933: Asymmetric Synthesis a. Asymmetric induction. Oxford

91. Roke, L., 1956: In: „Vergleichend Biochemischen Fragen", Springer, Berlin
92. Rubey, W., 1951: Bull. Geol. Soc. Amer. **62**, 1111
93. — 1955: The Geol. Soc. of America Special paper, **62**, 631
94. Rubin, B., 1957: „Trudy meždunarodnogo simposiuma 19-24 avgusta 1957 goda", Moskva, p. 561
95. Schmidt, O. Ju., 1950: Četyre lekcii o teorii proischoždenija Zemli. M., Izd-wo AN SSSR.
96. Schramm, G., 1947: Z. Naturforschung, **2b**, 249
97. — 1957: „Trudy meždunarodnogo simposiuma 19-24 avgusta 1957 goda", Moskva, p. 311
98. — , W. Zilling, 1955: Z. Naturforschung, **493**, 493
99. Schrödinger, E., 1944: What is life? Cambridge Univer. Press.
100. Sisakjan, N. M., 1954: Biochimija obmena veščestv. M., Izd.-vo AN SSSR
101. Sokolov, V., 1957: „Trudy meždunarodnogo simposiuma 19-24 avgusta 1957 goda", Moskva, p. 59
102. Sorm, F., 1957: „Trudy meždunarodnogo simposiuma 19-24 avgusta 1957 goda", Moskva, p. 238
103. Sorokin, Ju., 1957: „Trudy meždunarodnogo simposiuma 19-24 avgusta 1957 goda", Moskva, p. 625
104. Stanley, W., 1935: Science, **81**, 644
105. — , 1941: Science, **93**, 145
106. — , 1949: The isolation and properties of crystalline tobacco mosaic virus. Les prix Nobel en 1947, Stockholm
107. — , In: The Nature of Virus Multiplication (eds Sir Paul Fildes and W. E. Van Heyningen). Cambridge Univ. Press.
108. — , 1957: „Trudy meždunarognogo simposiuma 19-24 avgusta 1957 goda", Moskva, p. 317
109. Synge, R., 1957: „Trudy meždunarodnogo simposiuma 19-24 avgusta 1957 goda", Moskva, p. 231
110. Taniguchi, S., Egami, F. & Sato, R., 1956: Symposium on Inorganic Nitrogen Metabolism. Baltimore, p. 87
111. Tenney, L., Ackerman, D., Ackerman, J., 1945: J. Am. Chem. Soc. **67**, 486
112. Terenin, A., 1957: „Trudy meždunarodnogo simposiuma 19-24 avgusta 1957 goda", Moskva, p. 144
113. Terent'ev, A., i Klabunovskij, E., 1957: „Trudy meždunarodnogo simposiuma 19-24 avgusta 1957 goda", Moskva, p. 99
114. Trudy V. meždunarodnogo biochimičeskogo Kongressa. Bd. I—V, Moskva, 1962

115. Using, H., 1954: Ion Transport Across Membranes. Ed. H. Clarke a. D. Nachmanson. Academic Press, N. Y.
116. Urey, H., 1952: The planets, their origin and development. New Haven. Conn.,
117. — , 1957: „Trudy meždunarodnogo simposiuma 19-24 avgusta 1957 goda", Moskva, p. 20
118. Verhoeven, W., 1956: In „Symposium on Inorganic Nitrogen Metabolism", p. 61, Baltimore
119. Vinogradov, A., 1957: „Trudy meždunarodnogo simposiuma 19-24 avgusta 1957 goda", Moskva, p. 28
120. — , 1958: Meteorites and Earth Crust. Proc. Intern. Conf. on Peaceful Uses of Atomic Energy. Geneva, **2**, 164
121. Vosniknovenie žyzni na zemle. Trudy mezduarodnogo simposiuma 19-24 avgusta 1957 goda, Moskva
122. Goldschmidt, V. M., 1954: Geochemistry
123. Vernadskij, V. I., 1954: Izbrannye sočinenija. T. I, Izd. Akad. Nauk SSSR, Moskva

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Abhandlungen des Naturwissenschaftlichen Vereins Würzburg

Jahr/Year: 1963

Band/Volume: 4

Autor(en)/Author(s): Prashnowsky A. A.

Artikel/Article: Ursprung und Entwicklung des Lebens auf der Erde 5-40