
WILHELM FOERSTER STERNWARTE ^{5.} MIT ZEISS-PLANETARIUM BERLIN

BERLIN 41 • Munsterdamm 90 • Inulaner - Ruf 7962029

Protokoll
der
251. Sitzung der
GRUPPE BERLINER MONDBEOBACHTER
1981 März 09

Beginn: 20.10 Uhr

Es sind erschienen die Damen Forster, Post sowie die Herren Berger, Ehlert, Engel, Freitag, Freydank, Giebler, Hänig, Hanke, Jahn, Kowalec, Kunert, Leder, Meyer, Neugebauer, Reinsch, Sydow, Völker, Voigt und 3 Gäste.

Herr Kunert eröffnet die Sitzung und kündigt das Referat von Herrn Prof. Dr. Berger über den Kometen HALLEY auf Grund des "Report of the Science Working Group THE INTERNATIONAL HALLEY WATCH (July 1980) - zur Verfügung gestellt von Professor R a h e - an.

Herr Berger berichtet:

"Die Wiederkehr des Kometen Halley wird für 1985/86 erwartet. Größte Annäherung an die Erde am 27. November (1985) im Sternbild des Widder, zum zweiten Mal am 11. April im Wolf (unterhalb der Waage, -50° , in Europa kaum sichtbar, in Berlin gar nicht). Der Periheldurchgang (9. Februar) ist von der Sonne überstrahlt (der Komet ist gegenläufig, mit $17,8^\circ$ Bahnneigung).

Der Komet wurde 1705 von Edmond Halley identifiziert, der aus zwei vorhergegangenen Beobachtungen die Bahn berechnete und für 1758 die Wiederkehr voraussagte. In alten Aufzeichnungen fand man seine Beobachtung bereits 240 v.Chr. (bei den Chinesen), 1066 (Teppich von Bayeux), 1531 (Peter Apian, der die Abwendung des Schweifes von der Sonne erkannte). 1835 beobachtete und beschrieb ihn ausführlich Bessel, 1910 wurde er photographisch und spektrographisch untersucht.

Nach heutiger Anschauung sind Kometen ein Konglomerat von interplanetarem Staub und gefrorenem Wasser ("schmutziger Schneeball"), bei Halley etwa 5 km ϕ . Im Inneren möglicherweise ein Steinkern. Ihre Bahnen sind (meist) exzentrisch, das Perihel mit wenigen Ausnahmen innerhalb der Marsbahn (andernfalls sind sie für uns nicht sichtbar) oder sogar innerhalb der Erdbahn (Halley 0,587 AE), das Aphel außerhalb der Jupiterbahn, Halley sogar außerhalb Neptun (35,5 AE, daher die lange Periode, 76,02 Jahre).

Erst wenn sich der Komet der Sonne auf 2,5 bis 3 AE genähert hat, wärmt ihn die Sonnenstrahlung ausreichend (200 K), daß das Eis der Oberfläche zu sublimieren beginnt und die darin eingeschlossenen Staubteilchen und andere Stoffe frei werden. Der Sonnenwind erzeugt den Staubschweif, größere Teilchen bilden Meteor-Schauer beim Durchgang der Erde durch die Kometenbahn. Von Halley stammen die Orioniden (um den 21. Oktober) und die Eta-Aquariden (um den 4. Mai); sie gehören zu den stärkeren Schwärmen (ca. 20 Teilchen pro Minute).

Daneben entsteht die Koma aus neutralen Gasmolekülen (Größenordnung 10^6 km - Mondentfernung!), umgeben von einer Wasserstoffwolke (noch 30mal so groß). Die Dichte liegt weit unterhalb dessen, was wir technisch als "Hochvakuum" erzeugen können. Durch chemische Reaktion entstehen Radikale (CO, CN, CH, NH, OH); Photoionisation erzeugt daraus Ionen, der Strahlungsdruck verbläst

sie zum Plasmaschweif. Der Einfluß des interplanetaren Magnetfeldes kann ihn verbiegen und vom Staubschweif trennen. Das Plasma leuchtet, daneben reflektiert der Kern das Sonnenlicht. Die größte scheinbare Helligkeit wäre mit 3^m für Februar zu erwarten, ist aber nicht beobachtbar; November und Dezember etwa 6^m; Mitte April 4^m, aber in Deutschland nicht sichtbar.

Interessante mögliche Phänomene: Verbiegung des Schweifes, Abstoßung des Plasmaschweifes, manchmal Zerteilung des Kernes (so beim Kometen Biela 1845).

Kometen sind allgemein interessant, weil sie Materie des Planetensystems in "jungem" Zustand enthalten, wenig verändert durch Sonnenbestrahlung oder Eigengravitation. Sie könnten die Hauptquelle für organisches (präbiologisches) Material im Planetensystem sein.

Grund für das spezielle Interesse an Halley: Er ist der einzige "Kurz-periodische" (d.h. unter 200^a) Komet, der noch alle Erscheinungen zeigt (aktiver Kern, innere und äußere Koma, Staubschweif, Plasmaschweif); die anderen sind alle schon merklich gealtert. - Der Vergleich der Daten zweier aufeinander folgender Erscheinungen verspricht Aufschluß über die zeitliche Entwicklung von Kometen.

Speziell gefragt: Die räumliche Struktur von Kern, Koma und Schweif.

Vom Kern: Form und Größe (im Fernrohr nur ein Lichtpunkt), Rotation?

Koma: Unsymmetrie?, Helligkeit, Farbe; Verteilung der chemischen Substanzen (spektroskopisch), Reaktionen. Plasma-Schweif: Verteilung des elektrischen und magnetischen Feldes, Wechselwirkung mit dem Sonnenwind; dazu müssen Meßgeräte an Ort und Stelle sein. Dafür sind geplant:

- a) Raumflüge der NASA (Voyager) und ESA, von den Sowjets eine Venera-Mission, vielleicht auch Japan.
- b) Im Orbit ein Space-Teleskop (2,4 m) mit 2,7' Gesichtsfeld, Spektralbereich 1200 Å bis 1,1 µm, Space-Lab nach Möglichkeit (aber keine speziellen Transportflüge - zu teuer), vielleicht auch ein Infrarot-Astronomie-Satellit: 183-GHz-Linie f.d. Wasser.
- c) Von der Erde aus: NASA will mit einem Jet-Laster Infrarot- und Mikrowellen-Empfänger über die Troposphäre hinauf heben (um die Wasserdampf-Absorption bei 1,35 cm zu vermeiden). In der Stratosphäre könnte man Mikro-Meteoriten einsammeln (mikrongroße Schmelztropfen); im Massenspektrum der Beta-Tauriden (vom Kometen Encke) hat man Metall-Ionen gefunden! Raketen über 100 km Höhe (über die Ozon-Absorption) für Ultraviolett-Studien (0,1-0,3 µm).
- d) Bodenbeobachtung wird sich mit den Meteoriten befassen (hier ist die Hilfe von Amateuren wichtig: Zählung während der Schauer: die Erde geht diesmal nicht weit hinter dem Kern durch die Kometenbahn) und selbstverständlich auch mit der Beobachtung und Photographie der Gesamterscheinung. Neben den Observatorien sind auch die Planetarien und Amateure zur Mitarbeit aufgefordert: Beobachtungen von 15-cm-Teleskopen aufwärts, Zeichnungen sind erwünscht. Für die Photographie wird vorgeschlagen die Verwendung von Farbfiltern, Polarisationsfiltern, Dispersions-Spektrographen usw.

Die Aufgabe des IHW (International Halley Watch - Science Working Group) ist die Koordinierung all dieser Tätigkeiten. Z.B.: Räumliche Strukturen sind nur erkennbar durch Aufnahme des gleichen Bereiches zur gleichen Zeit (Satellit und Boden, oder zwei Satelliten); Zusammenhang zwischen sichtbaren Erscheinungen (Boden) und chemischen Vorgängen in der Koma (Satellit). Dazu sollen spezielle "Beobachtungstage" vereinbart werden. Die Photos müssen normiert werden bezgl. Format und Gradierung (übereinstimmendes Photomaterial).

Die Observatorien (bisher über 30) senden ihre Aufnahmen ein, sie werden sofort an alle beteiligten Forscher verteilt, die wichtigsten digitalisiert und auf Magnetband gespeichert (ca. 180 Bänder erwartet), z.T. auch digital verarbeitet (Verminderung des Hintergrund-Rauschens). Die besten 1000 Bilder werden als Atlas publiziert, geeignete Bildserien zu einem Film verarbeitet. - Eine Tabelle enthält die Ephemeriden und die Bahnelemente des Kometen."

Anschließend gibt es eine eifrige Diskussion. Dann erhält Herr Freitag das Wort zu einem Bericht über die Zeitschrift ARCHAEOASTRONOMY, Vol.III, Nr. 3/1980:

"Wissenschaftler der Fachrichtungen Kulturstättenforschung, Mythen- und Sagenanalyse, Astronomie und Kalenderwesen sowie der Archäologie sind (zumindest im englischen Sprachraum) übereingekommen, die sie gemeinsam berührenden Probleme als Aufgaben der "Archäoastronomie" zu bezeichnen. - Die Zeitschrift ARCHAEOASTRONOMY ist Sprachrohr dieses jungen, interdisziplinären Bereichs; sie erscheint vierteljährlich als "The Bulletin of the Center for Archaeoastronomy" der Universität Maryland, Herausgeber: John B. Carlson.

Die Ausgabe Juli-August-September 1980 enthält 9 Buchbesprechungen, Hinweise auf "The Current Literature", stichwortartige Nachrichten von Symposien und zukünftigen Forschungsvorhaben sowie 5 Artikel mit (in der Regel) umfangreichen Referenzlisten weiterführender Literatur.

Die Themen lauten:

WHOSE CALENDAR IS OLDER? An article from the Soviet newspaper Nedelya, translated by Thomas E. Morgan;

CARNAC REVISITED - by Evan Hadingham;

THE PRISCILLA CATACOMB PAINTING: A Hidden Star Map Revealed - by Carolyn Murphy Beehler;

ON BURMESE CALENDRICS AND ASTRONOMY - by Joe D. Stewart;

THE DIFFUSION OF ASTRONOMICAL KNOWLEDGE IN GREATER MESOAMERICA - by William J. Folan and Antonio Ruiz Perez.

Hier nun einige Einzelheiten über den "Alten Kalender" aus Sibirien. V. Larichev fand bei Ausgrabungen einer Steinzeitsiedlung in Achinsk einen ca. 18 000 Jahre alten Mammutstoßzahn. Feine Vertiefungen, ein Loch neben dem nächsten, sind auf ihm in sinusförmigen Bändern angeordnet. Was liegt näher, als die handwerkliche Geschicklichkeit des Steinzeitkünstlers zu lobpreisen und den wahrscheinlich rituellen Gegenstand zu den Akten zu legen, ins Museum. Doch man begnügte sich nicht mit dieser oberflächlichen Betrachtungsweise; die 1032 Vertiefungen, unterteilt in 6 Rillen, wurden ausgezählt und auf Papier übertragen. Das Band A enthält 3mal 11 + 12 Punkte, wobei der erste Punkt mit weißer Paste gefüllt ist; die Bänder B - F enthalten 201, 165, 180, 162 und 279 Punkte. Daraus ist folgende Kalender-Deutung möglich:

279 Vertiefungen entsprechen der Schwangerschaftsdauer im 10 Mondmonate-Kalender. $180 + 162 + 12 = 354$ addieren sich mit 11 zum gewöhnlichen Jahr, mit 12 zum Schaltjahr. Darüber hinaus, so der Autor, können mit zwei vorhandenen Hilfspunkten die synodischen und siderischen Umlaufzeiten aller sichtbaren Planeten gefunden werden, wobei Band A für Merkur, Band B für Venus usw. Ausgangspunkt ist. (Herr Freitag selbst hat in einer Stunde Zahlenkombinatorik -Summe von 2 od. 3 Werten- nur 3 der 10 gesuchten Zahlen finden können; vielleicht hat ein anderer beim Nachrechnen mehr Erfolg!)

Außerdem erinnern uns die Spiralbänder an das Aussehen von Schlangen, den Tieren also, die in vielen Mythologien als Träger der Weisheit und Hüter geheiligten Wissens gelten. Sind also unsere sibirischen Vorfahren schon so eifrige Planetenbeobachter gewesen?

Der Vortragende selbst ist der Meinung, daß seine Skepsis erst dann beseitigt ist, wenn aus einfachen Zahlenkombinationen - ohne Benutzung von Hilfspunkten - die Kalenderdaten eindeutig hervorgehen."

Herr K u n e r t bedankt sich bei den Referenten und den Diskussions-
teilnehmern.

Das vorgesehene Referat von Herrn V o i g t über astronomische
Fotografie wird aus Zeitgründen auf die nächste Sitzung verschoben.

Ende der Sitzung: 21.35 Uhr

Die nächste Sitzung der GRUPPE BERLINER MONDBEOBACHTER findet

am Montag, dem 11. Mai 1981, 20 Uhr

im Zeiss-Planetarium (am Fuße des Insulaners) statt.

gez. B e r g e r gez. F r e i t a g gez. H ä n i g

gez. K u n e r t

P.S.:

Einen großen Teil der Abbildungen zum Referat über den Kometen HALLEY enthält die Veröffentlichung Nr. 49 der Wilhelm-Foerster-Sternwarte, die gegen Voreinsendung von DM 1,50 plus Porto erworben werden kann.

gez. Kunert

Aus Heft 5/1981 der Mitteilungen

Astronomischer Vereinigungen Süddeutschlands

6501 Saulheim, Oppenheimer Weg 25, Emil Pallos

LEBEN AUF ANDEREN PLANETEN?

Leben anders als auf Kohlenstoffbasis unmöglich?

Existieren andere Möglichkeiten zur Entstehung von Leben auf Kohlenstoffbasis als die auf der Früherde realisierten?

Leben und dessen Entstehung ist zunächst von den zur Verfügung stehenden Elementen abhängig. Zur Entstehung der notwendigen Biopolymere sind Atome erforderlich, die lange Ketten bilden können, die genügend fest sind. Es kommen somit nur Nichtmetalle in Frage: H (Wasserstoff), B (Bor), C (Kohlenstoff), N (Stickstoff), O (Sauerstoff), Si (Silizium), P (Phosphor), S (Schwefel), As (Arsen). Die Edeltgase scheiden mangels Reaktionsfähigkeit aus. Wegen ihrer starken Ionisationsfähigkeit fallen die Halogene (Fluor, Brom, Jod und Chlor) ebenfalls aus.

Die zur Evolution und Biogenese erforderlichen Stoffmengen erfordern eine große Häufigkeit der Elemente: Außer Wasserstoff und Helium sind am häufigsten: O, N und C. Silizium und Schwefel sind zehnmal seltener, Bor und Phosphor etwa einhundertmal, As noch seltener!

Daraus ergibt sich die Verwendung von H, O, N und C als Hauptbestandteil; der überdurchschnittliche Phosphorgehalt der Erde macht die Verwendung von S und P möglich.

Chemisch läßt sich die Verwendung dieser Elemente ebenfalls begründen: C und N sind mehrwertig, sie können untereinander und mit sich selbst lange Ketten und Gerüste bilden, der zweiwertige O ermöglicht genügend feste, wegen der Polarität von O relativ leicht lösbare Bindungen, z.B. durch Hydrolyse aufzulösen, während die einwertigen H-Atome Moleküleendpunkte bilden können, indem sie C, N und O-Valenzen absättigen. Zur Entstehung des Lebens auf der Erde war zunächst eine O₂-freie Atmosphäre notwendig, die reduzierend wirkte. Es bildeten sich dort aufgrund des H₂-Überschusses H₂O, CH₄ und NH₃, geringere Anteile H₂S

und vielleicht SiH₄, BH₃, PH₃ und AsH₃, wobei zu berücksichtigen ist, daß die Zentralatome dieser Verbindungen vorwiegend als Oxide in fester Form und somit in der Gesteinskruste vorliegen.

H₂O, CH₄, NH₃ und H₂S treten bei den zur genügend schnellen Abwicklung von Reaktionen erforderlichen Temperaturen gasförmig oder flüssig auf, auf der Planetenoberfläche existieren somit Gewässer und eine Atmosphäre.

Zur Ursuppe können außer den auf der Planetenoberfläche vorhandenen Elementen und Verbindungen auch die Bestandteile von kohligen Meteoriten, sogenannten kohligen Chondriten, beigetragen haben.

Je nachdem, welche Elemente auf Planetenoberflächen häufiger sind, kann von der irdischen Zusammensetzung der Biopolymere abgewichen werden, bei hohem H₂S-Anteil wird O z.B. wahrscheinlich mehr durch S ersetzt, ein höherer N-Anteil bewirkt verstärkte Verwendung von N, wenn das sonst seltene As stärker angereichert ist, kann es den P ersetzen. Diese Variationen verändern zwar das

chemische Verhalten, nicht aber die physikalischen Eigenschaften der Moleküle.

Auf mehr oder weniger erdähnlichen Planeten erscheint aus diesen und anderen, weiterführenden Gründen die Entstehung von Leben mit Proteinen als Aktionsstoffen und Nucleinsäuren als Gene am wahrscheinlichsten.

Auf stark abweichenden Planeten, z.B. kälteren oder heißeren, anderen Drücken in der Atmosphäre etc. könnte sich Leben mit stark abweichenden Biopolymeren entwickelt haben.

Grenzen bilden hier die Temperatur, einige hundert °C werden das generelle Maximum sein, darüber würden Molekülketten durch die heftige thermische Bewegung zerstört bzw. gar nicht entstehen. (Irdische Proteine und Nucleinsäuren vertragen nur Temperaturen von etwa 0° bis 70°C).

Polymere könnten durch Einlagerung von Si-Verbindungen anstatt Kohlenstoff hitzeresistenter gemacht werden, spezielle durch Siloxan- oder Silizan-Gruppen. Reine Si-Ketten hingegen wären nur bei wesentlich niedrigeren Temperaturen denkbar. Die untere Temperaturgrenze für die Entstehung von Leben hängt vor allem von der Notwendigkeit eines flüssigen Lösungsmittels ab. Bei Wasser als Solvens liegt daher die niedrigste Temperatur um 0°C, wegen des Salzgehaltes des Meerwassers auch etwas darunter. Diente hingegen Ammoniak als Solvens, würde die Temperatur -78°C bis -33°C, bei H₂S und ähnlichen Substanzen ähnlich niedrig liegen. Bei diesen Temperaturen resistente und stabile Polymere würden unter irdischen Bedingungen teilweise zerfallen.

Bei hohem S-Gehalt eines Planeten, vor allem, wenn NH₃ als flüssiges Solvens vorliegt, könnte der Sauerstoff durch S ersetzt werden, statt der Säuregruppe -COOH könnte dort die Sulfonsäure -SO₃H zum Einsatz kommen.

Biopolymere müssen in gewissen Abständen Atome oder -Gruppen enthalten, die sich stark von der sonstigen Kette unterscheiden, damit genetisch und katalytisch wirksame Sequenzen entstehen können. In NH₃-reichem Milieu könnte dies durch verstärkte N-Einlagerung geschehen, bei Aneinanderreihung mehrerer N-Atome wäre das Polymer nur unter niedrigen Temperaturen existenzfähig.

Oft diskutiert wurde die Verwendung von Silicium zur Bildung von Biopolymeren. Sie ist auf der Erde sehr häufig vorhanden, allerdings als SiO₂ (Quarz) etc. Zur Entstehung von Leben sind aber gasförmige und flüssige Verbindungen notwendig. Möglichkeiten böte das SiH₄, es ist gasförmig und könnte zur Bildung von Si-Ketten mit C-haltigen Seitenketten bzw. Gruppen wie -CH₃ und anderen Alkylen, dienen. Diese als Silicone bekannten Verbindungen sind fettartig wie die Kohlenwasserstoffe und hitzebeständig, könnten also Grundlage für Leben auf Planeten mit wenigen hundert Grad Oberflächentemperatur sein. Ungeklärt ist, ob solche auf der Erde nur künstlich erzeugten Silicone abiotisch auf natürliche Weise synthetisiert werden können, die technische Herstellung geht von

Siliciumtetrachlorid aus (SiCl_4), eine auf Planeten sehr seltene Verbindung. Das SiH_4 gilt ebenfalls als selten, denn es bildet in Anwesenheit von H_2O das feste SiO_2 . Denkbar wären auch Ketten aus Si und N, die Silizane, die den Siliconen ähneln.

Wegen der Seltenheit der gasförmigen Si-Grundstoffe für Polymere kann Si-Leben als selten bis unmöglich angesehen werden. Die größte Wahrscheinlichkeit für Leben bieten daher die Elemente C, O, H, N und S, wobei z.B. Variationen von der irdischen Zusammensetzung vorkommen können, z.B. könnte C teilweise durch einen höheren N-Anteil, O durch S ersetzt werden. Auf erdähnlichen Planeten sind Variationen der irdischen Proteine und Nucleinsäuren am wahrscheinlichsten. Völlig veränderte Polymere sind nur bei stark veränderten Atmosphären und einem anderen Solvens als H_2O denkbar.

Zur Entstehung von Leben müssen genügend Moleküle vorhanden sein, die sich in einem Medium ausreichend bewegen können. Bewegung ist hier thermisch zu verstehen, d.h. es müssen gewisse Temperaturen vorhanden sein. Zu geringe Temperatur ermöglicht keine ausreichende Molekülbewegung, zu hohe Temperatur würde entstehende Makromoleküle zerstören. Weiterhin wäre Leben in kristallinen Strukturen undenkbar, die Moleküle sind zu dicht gepackt und praktisch unbeweglich. Die nötige Umwelt besteht nur in Gasen und Flüssigkeiten. Polymere sind schlecht zu verdampfen und zerfallen in Gasform, gasförmige Lebewesen gelten daher als undenkbar, zumal in Gasen keine Abgrenzung gegenüber der Umgebung erfolgen kann, was die Entstehung von Zellen unmöglich macht. Daraus folgt, daß Leben praktisch nur in Flüssigkeiten möglich ist.

Leben in Metallen ist aufgrund der hohen Schmelztemperaturen nicht möglich, eine Ausnahme ist Quecksilber, in ihm wiederum wären Polymere nicht löslich, sie würden an der Oberfläche verbleiben. Ein Biosolvens muß ferner aus relativ kleinen Molekülen bestehen, damit eine Abgrenzung wie z.B. Zellmembranen durchdrungen werden können. Ferner muß es stabil sein und im flüssigen Zustand verbleiben, es soll sich über lange Zeiträume chemisch nicht verändern und muß chemisch stabiler als die gelösten Biopolymere sein, damit es deren Reaktionen nicht stört. Günstig ist es hingegen, wenn das Solvens an bestimmten Reaktionen teilnehmen kann.

Ein Biosolvens das alle diese Gegebenheiten erfüllt, ist das Wasser. Um eine solche Reaktionsfähigkeit zu haben, muß das Solvens polar sein. Die Polarität von Wasser ist sehr groß, bei dem ebenfalls in Frage kommenden NH_3 ist sie gering. Um die Löslichkeit polarer Moleküle wie Zucker, Alkohol etc. zu ermöglichen, muß das Solvens ebenfalls polar gebaut sein. Die Polarität ermöglicht ferner die Bildung von Solvathüllen (Hydrathüllen), dies ist Voraussetzung für die Coazervation. Als Biosolventien kommen ferner nur Stoffe in Frage, die in ausreichenden Mengen zur Verfügung stehen. Betrachtet man die Häufigkeit der in Frage kommenden Verbindungen, so sind ebenfalls Wasser und NH_3 die aussichtsreichsten, da ein Solvens aus den häufigen Atomen H, C, O, N sowie evtl. S bestehen muß.

Wichtig ist die Temperaturspanne zwischen Gefrierpunkt und Siedepunkt; nur in dieser kann eine Verbindung als Biosolvens dienen. Der Tempera-

turunterschied muß groß sein, um einen zu häufigen Wechsel zwischen Gefrieren und Kochen der "Gewässer" zu vermeiden. Hierzu eine Tabelle der in Frage kommenden Verbindungen:

Verbindung	Gefrierpunkt	Siedepunkt	Spanne
H_2O Wasser	0 °C	100°C	100 °C
H_2S Schwefelwasserstoff	-85,6	-60,8	24,8
NH_3 Ammoniak	-77,7	-33,4	44,3
HCN Wasserstoffcyanid	-14	+26	40
$(\text{CN})_2$ Cyan	-34,4	-20,5	13,9
CH_4 Methan	-184	-164	20
SO_2 Schwefeldioxid	-72,5	-10	62,5
H_2 Wasserstoff	-259	-253	6
CO_2 Kohlendioxid	-78°C sublimierend (bei 6,6 atm Druck bei -50°C schmelzend)		

Alle Angaben beziehen sich auf einen Druck von 1 atm

Polarität ist nur bei NH_3 in ausreichendem Maße vorhanden.

Aus den angeführten Fakten ergeben sich klar die Vorteile für Wasser als Biosolvens: große Temperaturspanne zwischen Sieden und Gefrieren, starke Polarität, große Häufigkeit, gute Stabilität des Moleküls, Beteiligung an bestimmten Reaktionen, hohe Wärmekapazität (wichtig für ausreichende Temperaturpufferung der darin lebenden Organismen) usw. NH_3 ist als Biosolvens noch akzeptabel, wenngleich die Polarität niedriger ist als die des Wassers, ferner ist die Viskosität geringer, was aufgrund der schwächeren Bindungen zwischen Substratmolekülen und den Enzymoberflächen ebenfalls negativ ist. Negativ ist ebenfalls das Zufrieren von Ammoniakgewässern, da NH_3 gefroren schwerer als flüssig ist, im Gegensatz zu Wasser, das sein höchstes spez. Gewicht bei 4°C erreicht. Die -COOH - Gruppe ist bei Leben in NH_3 wahrscheinlich durch die Carbamidgruppe $-\text{C}(\text{NH}_2)=\text{NH}$ ersetzt.

Sicher ist, daß eventuell existierendes Leben in NH_3 sich erheblich von irdischem Leben unterscheidet, schon allein wegen der deutlich niedrigeren Temperatur.

Um die Möglichkeit von Leben auf anderen Planeten erschließen zu können, muß man zuerst aufgrund der gegebenen Fakten versuchen, die Bedingungen für Leben zu erforschen. Ausgangspunkt auch für fremdartige Lebensformen sind hier irdische Lebewesen, insbesondere solche, die unter extremen Bedingungen existieren. Kein Gebiet der Erde ist völlig unbesiedelt, selbst in den unwegsamsten Wüsten existieren noch Lebewesen, die sich diesen Lebensbedingungen im Laufe der Evolution angepaßt haben.

Die höchsten Temperaturen, bei denen auf der Erde aktives Leben beobachtet wird, liegt bei etwa 100°C! In den heißen Quellen des Yellowstone-Nationalparks in den USA kommen Bakterien vor, die bei 95°C existieren. Stoffwechsel, Wachstum und Vermehrung zeigen. Die Hitze-resistenz ist vor allem auf die Verwendung von sehr stabilen Enzym- und Ribosom-Konstruktionen, deren beste Wirkung erst bei 60°C gegeben ist, aber auch bei 100°C noch ausreichende Funktionsfähigkeit zeigen, zurückzuführen. So ist durchaus Leben auf Nucleinsäure-/Proteinbasis denkbar, das noch bei wesentlich höheren Temperaturen aktiv ist. Damit Wasser als Biosolvens verwendet werden kann, ist es erforderlich, daß der Druck eines solche Lebensformen beherbergenden Planeten bzw. dessen Atmosphäre erheblich höher liegt als der irdische Luftdruck, damit Wasser erst bei höheren Temperaturen zum Sieden kommt. Die Möglichkeit für Leben auf Nucleinsäure-/Proteinbasis dürfte bis etwa 200°C gegeben sein.

Die untere Temperaturgrenze für Leben wie "unseres" wird im Allgemeinen mit 0°C angegeben, herabgesetzt durch den Salzgehalt des Meerwassers. Es wurde aber auch in Gegenwart von Frostschutzmitteln bei -10°C Leben beobachtet. Organismen überlebten in Labors die Abkühlung auf Temperaturen von um 194°C unter dem Gefrierpunkt, die durch Eintauchen der Organismen in flüssige Luft erreicht wurden. Bei solch niedrigen Temperaturen ist Leben nur latent vorhanden, nach dem Auftauen aber lebten derartige Organismen weiter mit allen Funktionen. Ein Zeichen für die Anpassungsfähigkeit bietet auch das Vorkommen von Bakterien bei extremen pH-Werten. Es existieren Organismen, die pH-Werte um 1, dies entspricht einer starken Säure, überlebten, andere lebten in einem Milieu mit pH-Wert 11, was einer starken Base entspricht. Die Fähigkeit, niedrigste und höchste Temperaturen auszuhalten, tritt auch zusammen mit der Säureresistenz auf. In Island kommen Bakterien bei einer Temperatur von 60°C bis 70°C in einem Milieu mit pH-Werten von 2 bis 3 vor.

Auch in geringer Luftfeuchtigkeit ist Leben vorhanden. Pilze treten noch bei einer relativen Luftfeuchte von 60 % auf, während Bakterien nur bei einem H₂O-Gehalt von 86 % in der Luft beobachtet wurden. Pflanzen, die in extrem trockenen Gebieten vorkommen, sind beispielsweise die Kakteen. Sie schützen sich vor Wasserverlust durch eine verdunstungshemmende Wachsschicht, durch Dornen, Haare und andere Oberflächenmerkmale.

Der Beobachtungswert für extreme Drucke liegt bei 1400 atm. In der Tiefsee kommen in 14.000 m Tiefe noch Bakterien vor, die sich unter diesem Extremdruck halten können.

Weiterhin gibt es auch Lebensformen auf der Erde, die ein hohes Maß an Radioaktivität vertragen. Der beobachtete Grenzwert liegt bei 10.000 - mal höheren des Wertes, den Mensch und Säugetiere ohne Schäden ausgesetzt werden können. Das extremste Beispiel lieferte eine Mondsonde. Im Rahmen des unbemannten Mondlandeprogrammes Surveyor landeten mehrere Sonden dieser Art auf den Mond. Von einer wurden durch ein Apollo-Raumerschiff Teile geborgen, die Spuren von Mikroben enthielten. Diese hatten mehrere Jahre lang extreme Umweltbedingungen auf dem Mond unbeschadet, zwar latent, aber lebensfähig, überstanden.

Wie die Anpassung vonstattengehen kann, die erforderlich ist, um solch

extreme Bedingungen auszuhalten, zeigen die bereits erwähnten strahlenresistenten Bakterien, diese verfügen über leistungsfähige Reparaturmechanismen zur Behebung der durch Strahlung hervorgerufenen genetischen Schäden.

Allgemein kommen sehr oft Bakterien ohne Sauerstoff vor, für viele ist Sauerstoff überhaupt schädlich, bei anderen dient er keinem Zweck und beeinflusst die Reaktionen überhaupt nicht. Der N₂ der Erdatmosphäre dient meistens nur als Verdünnung des O₂ und bleibt ohne Funktion. Manche Bakterienarten benötigen zum Stoffwechsel die Verbindungen CH₄ (Methan), H₂S (Schwefelwasserstoff), viele NH₃ (Ammoniak), also genau die Verbindungen, die auch in der Uratmosphäre der Erde in reichem Maß vorhanden waren!

Man erkennt, daß auch Leben auf Protein-/Nucleinsäurebasis in einem breiten Spektrum von Umweltbedingungen auftritt. Die Chance für Leben ist unter noch extremeren Bedingungen erkennbar, wenn man auch die Möglichkeit andersgearteter Lebensstypen in Betracht zieht.

Leben in Ammoniak ist bei 1 atm Druck bis zu -78°C denkbar, bei hohen Drucken kommt der Siedepunkt über -33°C, die Temperaturspanne nähert sich dann der des Lebens in H₂O, also auch dem unsrigen.

Keine Aussage hingegen ist möglich, ob Leben mit NH₃ als Biosolvens auch an Land denkbar ist, vor allem, wie eine längere Trockenheit, in diesem Fall also Abwesenheit von NH₃, überlebt wird. Auf jeden Fall ist hierzu ein langsames Evolvieren und ein hohes Evolutionsniveau erforderlich.

Hitzeresistenz kann durch Einlagerung von Silizium-Verbindungen sowie unter Si-Verwendung allgemein erreicht werden, indem diese in die Polymere eingelagert werden. Die Temperatur kann bis auf mehrere hundert Grad ansteigen, wenn dies geschieht.

Die obere Temperaturgrenze überhaupt ist wahrscheinlich nur durch den Temperatur-Druck-Punkt des verwendeten Solvens gegeben. An diesem nämlich existiert kein flüssiger Aggregatzustand der Verbindung mehr, sie geht direkt vom festen in den gasförmigen Zustand über. Für H₂O liegt dieser Wert bei 374°C und einem Druck von 217 atm, für Ammoniak gilt eine Temperatur von 132,4°C und ein Druck von 111,5 atm. Laut R.W. Kaplan kann die generelle Temperaturspanne für Leben und dessen Entstehung von -80°C bis +200°C angenommen werden, mit Abweichungen nach oben und unten.

Daraus ergibt sich die Art der Körper, auf denen Leben denkbar ist. Es sind Planeten und große Monde in der Nähe von Sternen. Nur dort können auf Planetenoberflächen diese Temperaturverhältnisse entstehen. Bedeutsam ist ferner die Art des Sternes: Er muß der sog. Population I angehören, die Sterne der Population II sind älter, somit fehlen in ihrer Umgebung die zur Entstehung entsprechender Planeten und zur Entstehung des Lebens notwendigen Elemente.

Schwierig ist auch eine Wahrscheinlichkeitsabschätzung zur Planetenentstehung. Meist geht man davon aus, daß die Bildung von Planeten in der Nähe eines Protosternes häufig auftritt, gerade in letzter Zeit

kamen aber auch Zweifel daran auf, als man sich wieder einer Theorie zuneigte, die zur Planetenentstehung die Nähe einer Supernova fordert, was die Wahrscheinlichkeit erheblich herabsetzen würde. Allerdings wurden deutliche Hinweise an mindestens zwei Sternen gefunden - man beobachtete Bahnabweichungen derselben und schloß daraus auf vorhandene Planeten - daß auch außerhalb unseres Sonnensystems Planeten existieren. Kaplan macht in seinem Buch "Der Ursprung des Lebens" folgende Abschätzung: Man kann bei jedem 100.sten Planetensystem einen erdähnlichen Planeten annehmen. Günstigere Schätzungen gehen sogar von jedem 10. Planetensystem aus. Wenn jeder 100-ste Stern der Population I unserer Milchstraße über ein Planetensystem verfügt, kommt man auf eine Zahl von 107 bis 108 Planeten mit der Möglichkeit zur Entstehung von Leben allein in unserer Milchstraße. Da aber die Entstehung von Leben unter den genannten Voraussetzungen sehr wahrscheinlich ist, kann man schließen, daß eine große Anzahl belebter Planeten in unserer Milchstraße existiert. Diese Zahl vergrößert sich bei Betrachtung des intergalaktischen Raumes, man denke an die hohe Zahl anderer Milchstraßensysteme.

Diese Angaben sind jedoch noch mit gebührender Skepsis zu betrachten, da weder über die Wahrscheinlichkeit der Planetenentstehung noch über die Häufigkeit der Bildung von Leben sichere Abschätzungen gemacht werden können.

Zur Suche nach Leben im All bieten sich mehrere mehr oder minder brauchbare Verfahren an. An erster Stelle ist die Beobachtung mit astronomischen Instrumenten im Bereich des sichtbaren Lichtes zu nennen. Diese ist auf unser Sonnensystem beschränkt, da Planeten außerhalb des Systems optisch nicht direkt nachweisbar sind und es auch bleiben werden, dazu ist die Nähe von Planeten zu den Zentralsternen ausschlaggebend. Auch innerhalb des Planetensystems sind die Einsatzmöglichkeiten begrenzt. Es ist nur denkbar, optische Beobachtungen mit Hilfe spektroskopischer Analysen zu verifizieren. Fehlschlüsse sind hier wahrscheinlich: Dunkle, graue Gebiete auf der Marsoberfläche wurden spektroskopisch untersucht, aufgrund gewisser Linien schloß man, daß auf dem Mars Chlorophyll vorkomme, was durch die später eingesetzten Raumsonden ad absurdum geführt wurde. Es muß hier erwähnt werden, daß mit heutigen Methoden auch das Leben auf der Erde von einem anderen Planeten sehr schwer nachweisbar wäre, sieht man von Spuren der menschlichen Zivilisation einmal ab.

Die zweite Möglichkeit ist die Erforschung mit Raumsonden. Diese ist ebenfalls auf unser Sonnensystem begrenzt, Aktionen wie die an verschiedenen Raumsonden, die unser System verlassen sollen, angebrachten Plaketten, die eventuelle andere Intelligenzwesen auf uns hinweisen sollen, sind eher als frommer Wunsch zu interpretieren. Die Suche nach Leben wurde besonders mit den Viking-Raumsonden der Amerikaner, die 1976 auf dem Mars landeten, betrieben, leider ohne greifbaren Erfolg. Aber auch Flüge zu Jupiter und Saturn sowie weitere Marsflüge könnten der Suche nach außerirdischem Leben dienen. Eine Schwierigkeit zeigt sich hier besonders: Das Erkennen von für möglicherweise fremde Lebensformen typische Stoffwechselreaktionen,

der dabei umgesetzten Verbindungen. Zu kären ist auch, ob und wie bestimmte Verbindungen eventuelle auch abiotisch entstehen können, hier sei auf die in johligen Chondriten vorkommenden Substanzen und deren ungeklärte Herkunft zu weisen.

Auch die Erforschung der Planeten des Sonnensystems könnte Aufschlüsse bieten, wenn geklärt ist, ob Erscheinungen auf einer Oberfläche biologischer Natur sein könnten, wenngleich diese Möglichkeit gering ist. Leben, das stärkere Spuren auf der jeweiligen Planetenoberfläche hervorruft, ist durch die Beobachtungen der letzten Jahre unwahrscheinlich geworden.

Radiowellen bieten einzig die Möglichkeit, in eventuelle andere Planetensysteme vorzudringen. Aber auch hierbei zeigen sich Schwierigkeiten: Organismen senden keine Radiowellen aus. Nur technische Zivilisationen sind dazu in der Lage. Die Entfernung zwischen zwei solchen muß notgedrungen größer sein als die zwischen belebten Planeten überhaupt. Hier spielt der Zeitfaktor eine entscheidende Rolle: Zur Entwicklung einer technischen Zivilisation ist ein hohes Evolutionsstadium erforderlich. Entscheidend ist auch, daß zwei solche Zivilisationen relativ gleichzeitig einen gleichen Wissensstand erreichen müssen, da über die Lebensdauer solcher Kulturen keinerlei Aussagen gemacht werden können! Aufgrund der großen Entfernung zwischen zwei Zivilisationen ist die Möglichkeit einer Kontaktaufnahme durch Radioteleskope, wenn überhaupt, nur sehr begrenzt mit einer geringen Wahrscheinlichkeit gegeben! Interstellare Raumfahrt kann mit Sicherheit ausgeschlossen werden. Fazit: Mit hoher Wahrscheinlichkeit existieren in unserer Milchstraße noch andere Zivilisationen, eine Kontaktaufnahme mit diesen kann als unwahrscheinlich angesehen werden.

Leben in unserem Planetensystem.

Leben auf der Sonne ist aufgrund der auf ihr herrschenden hohen Temperaturen nicht möglich.

Der sonnennächste Planet, Merkur, besitzt etwa die gleiche Größe wie der Erdmond und ist darum nicht in der Lage, eine Atmosphäre zu binden. Die hieraus resultierenden Schwankungen der Temperatur zwischen "Tagseite" (+ 350 °C) und "Nachtseite" (-150 °C) erlauben keine Entwicklung von Leben.

Venus besitzt eine sehr dichte Atmosphäre und hohen Bodendruck (90 atm.). Durch den Treibhauseffekt der CO₂-reichen Atmosphäre liegen am Boden relativ konstante Temperaturen um 480 °C vor. Diese Fakten, sowie das Vorhandensein aggressiver Substanzen (H₂SO₄, HCL, HF) der Atmosphäre machen Leben auf der Venus relativ unwahrscheinlich.

Einige Möglichkeiten für Leben scheint der 4. Planet, Mars, zu bieten. Trotz der geringen Dichte seiner Atmosphäre, die aus CO₂, N₂, CO, H₂O und O₂ besteht und den sehr geringen Mengen flüssigen Wassers-, kann man hier eher mit Leben rechnen als auf den vorgenannten Planeten. So war auch eine Hauptaufgabe des Viking-Projekts die Suche nach Leben. Viel diskutiert ist auch die mögliche Existenz von Lebewesen unter der Marsoberfläche. Leben auf Mars konnte jedoch bisher weder bewiesen noch ausgeschlossen werden.

Jupiter läßt durch den hohen Druck seiner Atmosphäre kein Leben auf seiner festen Oberfläche zu. Möglich wären jedoch Lebensformen in solchen Atmosphärenschichten, die einerseits weder zu hohe noch zu niedrige Temperaturen aufweisen dürfen, andererseits Drucke innerhalb der für Lebewesen angenommenen Toleranzgrenzen zeigen. Es sei noch erwähnt, daß Jupiter selbst in gewissem Maß Strahlung erzeugt. Die Farbigkeit der Atmosphäre wird häufig durch organische Polymere erklärt. Die Zusammensetzung der Atmosphäre ähnelt der der Erde; es liegt jedoch eine große Menge NH_3 vor, so daß dies als mögliches Biosolvens in Frage käme und eine andere Lebensform hier ausgebildet wäre. Dem Leben in der Jupiter-Atmosphäre werden jedoch nur geringe Chancen eingeräumt.

Ähnlich sind die Verhältnisse auf Saturn, nur liegen hier die Temperaturen durch den großen Sonnenabstand noch niedriger, was die Möglichkeit für Leben verringert.

Über die äußeren Planeten Neptun, Uranus und Pluto sind noch nicht allzu viele Fakten bekannt; hier dürften jedoch die niedrigen Temperaturen Leben ausschließen.

Die Monde der Planeten sind in den meisten Fällen ohne Atmosphäre und somit als Lebensträger undiskutabel. Gleiches gilt für Kleinplaneten und Partikel der interplanetaren Materie.

Auch Kometen sind für Leben ungeeignet, da ihre Bahn größtenteils weit ab von der Sonne liegt.

Abschließend zu der Diskussion über die Wahrscheinlichkeit von Leben in unserem Sonnensystem läßt sich sagen, daß die Erde mit ihren nahezu idealen Lebensbedingungen der einzige bewohnte Körper sein wird.

Zusammenfassung und Ausblick zum bisher Aufgeführten

Es wurde erkennbar, daß die Astrobiologie erst am Anfang ihrer Forschungen steht. Aussagen über grundsätzliche Ergebnisse sind nur in begrenztem Umfang und nur schwer möglich. Es haben sich aber eine Vielzahl von Ansatzpunkten ergeben, deren Klärung der Zukunft überlassen bleiben muß, einige sollen hier nochmals erörtert werden. Ungeklärt ist, ob die Erde nach ihrer Entstehung durch organische Substanzen aus dem interstellaren Medium angereichert wurde, ob und wie stark die Entstehung des Lebens auf der Erde durch diese Anreicherung überhaupt ermöglicht oder beschleunigt wurde, oder ob auf der Erde von Anfang eine genügende Anzahl an Ausgangsprodukten für die Entstehung von Leben zur Verfügung gestanden hatte und die Anreicherung durch interstellare Moleküle eine untergeordnete oder auch keine Rolle gespielt hat, für beide Theorien existieren Ansatzpunkte, ob eine Klärung überhaupt möglich werden wird und welche Bedeutung dieser Klärung zukommen wird, bleibt abzuwarten. Andererseits hat sich deutlich abgezeichnet, daß allein das Vorhan-

densein interstellarer Moleküle interessante Rückschlüsse zuläßt, denn es wird erkennbar, daß die Grundsubstanzen des Lebens sogar im freien Weltraum entstehen können - hier sei vor allem auf die Möglichkeit der Entstehung der einfachen Aminosäure Glyzin und der organischen Base Cytosin hingewiesen, beide wären im interstellaren Medium denkbar bzw. aus den dort vorhandenen Ausgangssubstanzen problemlos zu synthetisieren - hier kann sich etwa abzeichnen, daß die chemische Evolution von den im Weltraum vorkommenden, noch einfachen organischen Molekülen zu höheren, dem Leben unmittelbar vorstehende Moleküle universell gültig ist, was sich stark auf die Entstehungswahrscheinlichkeit von organischem Leben auf Kohlenstoffbasis auswirken wird.

Erkennbar wurde auch, daß noch keine Aussage über die Wahrscheinlichkeit der Entstehung von Leben gemacht werden kann. Dies hat mehrere Gründe:

Leben, wie wir es kennen, ist nur auf der Oberfläche von Planeten einer bestimmten Art denkbar, die Grenzen werden hier durch das Vorkommen verschiedener Elemente, der Temperaturen an der Oberfläche des Planeten, dessen Entfernung von seiner Sonne, der Entwicklungsstadien der Atmosphäre und vor allem durch die Lebensdauer des Planeten, abhängig von der seiner Sonne, vorgegeben. Ferner ist die Entstehungswahrscheinlichkeit von Planeten überhaupt von Bedeutung, heute kann nur gesagt werden, daß es auch außerhalb des Sonnensystems mit hoher Wahrscheinlichkeit Planetensysteme gibt, in welchem Umfang und unter welchen Gegebenheiten diese entstanden sind, kann heute nicht abgeschätzt werden!

Ungeklärt bleibt auch, wie groß die Wahrscheinlichkeit ist, daß aus den vorhandenen chemischen Gegebenheiten (Makromoleküle usw.) überhaupt Leben entsteht, es darf nicht stillschweigend vorausgesetzt werden, daß sich unter diesen Bedingungen, wie wir sie von der Erde her kennen, immer Leben entsteht. Es kann auch keine Aussage gemacht werden, warum die Evolution in der Anfangsphase den bekannten (besser: vermuteten) Weg genommen hat und nicht aus der Vielzahl der Möglichkeiten ein anderer Weg gewählt wurde, ferner, wie groß die Wahrscheinlichkeit ist, daß dieser Weg auf einem anderen Planeten noch einmal gewählt würde.

Keine Aussage kann gemacht werden, was das Auftreten von Leben außerhalb der Erde betrifft, denn bisher konnte man nirgends im Planetensystem Leben entdecken, es sind nur an den erörterten Stellen Wahrscheinlichkeiten für das Vorhandensein organischen Lebens beobachtbar, auch eventuelle Ergebnisse dieser Problematik können die Wahrscheinlichkeitsrechnungen für die Entstehung von Leben (Ma(rs)sgeblich beeinflussen. Völlig in den Bereich der Spekulation kommt man, wenn man die Möglichkeiten anderer als den bekannten Lebensformen erörtern will, da diesbezüglich keine konkreten Anhaltspunkte existieren, wobei abzuwarten ist, daß dieses Problem auch in Zukunft nicht durch Beobachtungen zu lösen ist, der einzige Ansatzpunkt sind hier wiederum Wahrscheinlichkeiten für die Entstehung von Leben generell, eventuell auch Laborversuche bezüglich der Entstehung von Leben aus vorgegebenen Ausgangssubstanzen, falls es gelingen sollte, durch gezielte Versuche andere, einfache Lebensformen als die durch die

Erforschung der Frühgeschichte der Erde bekannten zu erzeugen. Letztlich erhebt sich die Frage, ob und inwieweit die chemische und biologische Evolution, wie sie von der Erde bekannt ist, auf andere Planeten zu übertragen ist oder gar universellen Charakter hat, vor allem die Frühstadien bis zu einfachsten Organismen betreffend.

Es zeichnet sich klar ab, daß auf dem Gebiet der Astrobiologie noch umfangreiche Forschungen notwendig werden, um diese Punkte in den nächsten Jahren zumindest teilweise zu klären.

Michaela Arens - Andreas Corell

Literatur:

- 1) Der Ursprung des Lebens, R.W. Kaplan
Thieme Verlag Stuttgart 1978
- 2) dtv-Atlas zur Astronomie, J. Herrmann
dtv-Verlag, München 1973
- 3) Linder Biologie, H.K. Knodel u.a.
J.B. Metzlersche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart 1978
- 4) Im Anfang war der Wasserstoff, H. v. Dittfurth
Hoffmann und Campe Verlag, Hamburg
- 5) Die Struktur des Universums, J.D. Barrow, J. Silk in:
Spektrum der Wissenschaft, Juni 1980
- 6) Cosmochemical Evolution and the Origins of Life, Volume
1 and 2
Published by D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, Holland 1974
- 7) Origin and Development of Living Systems, J. Brooks, G. Shaw
Academic Press, London and New York 1-73
- 8) Der Weg zum Menschen, Hrs. v. Wolfgang Laskowski
Walter de Gruyter & Co., Berlin 1968

Hierzu

Ergänzende Betrachtung zu "Leben auf anderen Planeten"
durch Hinzunahme des bei Hunderten vom Millionen Menschen
beliebten Glaubens an eine menschliche Seele.

von W. Sydow, 1 Berlin 51

April 1982