

Über die Verteilung der am häufigsten vorkommenden Atmosphären-Bestandteile auf den Planeten des Sonnensystems

(Vorläufige Mitteilung)

Von

G. G. Kandilarov, Sofia

Mit 1 Abbildung

(Eingegangen am 6. August 1968)

Unter Berücksichtigung der kosmischen Häufigkeitsstufen der am häufigsten vorkommenden Elemente (etwa im Sinne des vom Verfasser vorgeschlagenen Schemas I)*, läßt sich die Verteilung der am häufigsten vorkommenden Atmosphärenbestandteile auf den Planeten des Sonnensystems, sowohl auf ihre Atom- bzw. Molekulargewichte, Siede- bzw. Sublimationstemperaturen, Entfliehensfähigkeiten und andere physikalische und chemische Eigenschaften als auch auf die auf den betreffenden kosmischen Körpern herrschenden Bedingungen zurückführen. Das im Weltall häufigste, zugleich das leichteste Element, der Wasserstoff (nebst He und anderen) herrscht in den Atmosphären der äußeren Riesenplaneten vor, während man den etwas schwereren Sauerstoff als Hauptbestandteil in den Atmosphären der inneren Planeten des Sonnensystems betrachten könnte, der die leichten Gase H_2 , CH_4 , NH_3 in ihre Oxydationsprodukte H_2O , CO_2 , N_2 als Hauptbestandteil in der Atmosphäre der inneren Planeten überführt. O_2 -Gas läßt sich, wahrscheinlich vorwiegend als ein (etwa nach *Suess*^{2, 3} u. a. durch eine das H_2 -Entfliehen begleitende H_2O -Photolyse erzeugter) sekundärer Atmosphärenbestandteil betrachten. Mit dem Mol-

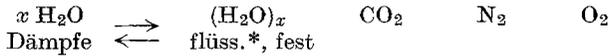
* Nach dem erwähnten Schema (I) sollten die am häufigsten vorkommenden Elemente nach ihren Häufigkeitsstufen in folgender Weise geordnet werden¹: I — H, II — He, III — ... C, N, IV — ... O, Ne ... , V — ... Ar ... Wahrscheinlich überwiegen die Wasserstoffverbindungen CH_4 , NH_3 , H_2O u. a. bezüglich Häufigkeit über alle übrigen.

¹ G. G. Kandilarov, Mh. Chem. **96**, 1105 (1965); Trud. warchu geolog. na Balgarija. Ser. Geochim. (Bulg. Akad. Wiss.) **3**, 41 (1962).

² H. E. Suess, Ann. Rev. Astron. and Astrophysics **3**, 217 (1965).

³ H. E. Suess, Tellus **18**, 207 (1966), 2.

gew. und der Siede- bzw. Sublimationstemperaturabnahme, nimmt die kosmische Häufigkeit der am häufigsten vorkommenden Planetenatmosphärenbestandteile in der Reihe



ab. Unter irdischen Umständen blieben alle diese Stoffe auf der Erdoberfläche (das CO_2 jedoch als Carbonate, organische Sedimente, Organismen u. a.), während die warme Venus und vielleicht die Marsatmosphäre (wegen der mehrmals kleineren Planetenmassen) vorwiegend aus schwereren Bestandteilen, wie etwa CO_2 u. a., bestehen sollte. Auf dieser Basis läßt sich vielleicht auch die Atmosphären genesis, das Lebensproblem u. a. Probleme behandeln.

Der spärlichen Angaben wegen, die wir derzeit zur Verfügung haben, blieb das Problem vorläufig offen, die allgemeinen Grundsätze (bzw. Gesetzmäßigkeiten) aufzusuchen, die die Stoff- bzw. Gasverteilung in den Atmosphären der Planeten des Sonnensystems regeln. In der vorliegenden Abhandlung wird, wenn auch nur in ganz großen Umrissen, auf einige Aspekte zur Behandlung dieses Problems mit Rücksicht auf die kosmischen Häufigkeitsstufen der am häufigsten vorkommenden Elemente [wie sie etwa nach dem vom Verfasser vorgeschlagenen¹ Schema (I) am zuverlässigsten zu sein scheinen] hingewiesen.

Auf dieser Basis gehört der Wasserstoff (Atomgewicht 1) als H_2 , CH_4 , NH_3 , H_2O u. a. in die erste, extrem höchste Häufigkeitsstufe; das Helium (^4He) in die zweite Häufigkeitsstufe; der Kohlenstoff (Atomgewicht 12) als CH_4 , CO_2 u. a. und der Stickstoff (Atomgewicht 14) als N_2 , NH_3 u. a. in die dritte; Sauerstoff (Atomgewicht 16) als O_2 , H_2O , CO_2 u. a. und Neon (Atomgewicht 20) in die vierte; Argon (^{40}Ar) u. a. in die fünfte Häufigkeitsstufe usw. (siehe Tabelle 2).

Man kann weiter behaupten, daß die Stoff- (bzw. Gas-)verteilung in den Planetenatmosphären sowohl auf die Molekulargewichte, Siede- und Sublimationstemperaturen (bzw. Entfliehsfähigkeiten und andere physikalische und chemische Naturkonstanten dieser Stoffe) als auch auf die physikalischen Bedingungen, die auf den betreffenden kosmischen Körpern herrschen [wie etwa die Planetenmassen, die Gravitations-^{**} bzw. magnet. (elektr.) Feldstärke, die Entfernungen von der Sonne, die Temperaturen, eventuell auch die eigene Wärmeausstrahlung der Planeten (radioaktiven u. a. Ursprungs), Sonnenstrahlungsdruck usw.] zurückzuführen ist.

* Siehe Note * auf S. 219.

** Siehe *R. Jastrow* und *S. I. Rasool*, Gravitational escap⁴.

⁴ *R. Jastrow* und *S. I. Rasool*, Planetary atmospheres; in *N. W. Hess*, Introd. to Space Sci. New York (1965): Kap. 18, S. 669, 670, 676, 697.

Einige der einfachsten Stoffe seien mit ihren (abgerundeten) Siede- und Gefrierpunkten, geordnet nach ihren (abgerundeten) Molekular- bzw. Atomgewichten, zusammengestellt:

Tabelle 1. Die wahrscheinlich häufigsten Atmosphärenbestandteile der Planeten des Sonnensystems

	H ₂	He	CH ₄	NH ₃	H ₂ O	Ne	HCN	
Molgewicht	2	4	16	17	18	20	27	
Sdp., °C	— 253	— 269	— 164	— 33	100	— 246	27	
Gefrierpunkt, °C	— 257	— 272	— 184	— 78	0	— 249	— 15	
	CO	N ₂	HCHO	O ₂	Ar	CO ₂	NO ₂ ∇ N ₂ O	
Molgewicht	28	28	30	32	40	44	46	92
Sdp., °C	— 192	— 196	— 21	— 183	— 186	—	—	22
Gefrierpunkt, °C	— 204	— 211	— 92	— 219	— 189	— 78*	—	10

Abgesehen von ihren Vorgeschichten (ob etwa gewisse Bestandteile irdischen oder anderen Ursprungs sind), scheint es zuverlässig anzunehmen, daß die Atmosphären der kosmischen Körper bzw. der Planeten mit dem außerordentlich verdünnten (nach einer weitgreifenden Analogie *sui generis*) „kosmischen polydispersen System“ des intrastellaren Raums im Gleichgewicht stehen sollten. Dieses Gleichgewicht sollte mit den großen Planetengeschwindigkeiten, Planetenmassen, Gravitations- und magn./elektr. Feldern, Strahlungsdruck usw., wie sie sich im Lauf von ungeheuren kosmogonischen Perioden veränderten, in Zusammenhang stehen.

Dies wird sowohl für das am häufigsten vorkommende Element — den Wasserstoff (der nach *H. Lambrecht* und *K.-H. Schmidt*⁵ eine „verhältnismäßig hohe Häufigkeit im intrastellaren Raum“ zeige) als auch, allem Anschein nach, für die übrigen häufig vorkommenden Elemente und Verbindungen gelten **. Es läßt sich also die Verteilung der Atmosphärenbestandteile sämtlicher Planeten als Ergebnis eines sehr komplizierten allgemeinen Gleichgewichts betrachten, dessen Lage im wesentlichen von den (während eines gewissen Zeitalters) herrschenden Umständen bestimmt wurde.

So werden z. B. die *Kometen* wegen ihrer verhältnismäßig sehr kleinen Massen die leichtesten Gase, wie etwa freien Wasserstoff, Helium

* Siehe Literaturzitat¹⁶.

** Besonders, wenn das ganze Sonnensystem zufällig in ein etwas „dichteres“ kosmisches Gebiet geriete. Kürzlich wurde das Problem „Graphitkerne mit Eismantel als intrastellare Staubeilchen“ und, unter anderem, auch die Anlagerung von H, O, N (als H₂O und NH₃) auf der Oberfläche der Graphiteilchen behandelt (*Karl-Heinz Schmidt*⁶).

⁵ *H. Lambrecht* und *K.-H. Schmidt*, *Astron. Nachr.* **288**, 157 (1965, Nr. 4); 11 (1964, Nr. 1).

⁶ *K.-H. Schmidt*, *Die Sterne* **42**, 118 (1966).

u. a., höchstens in starker Verdünnung an sich halten können. Außerdem wird bekanntlich bei jeder Annäherung an die Sonne die (zuerst gefrorene) verdunstende und zum Teil dissoziierte Gasmasse vom Sonnenstrahlungsdruck weit im kosmischen Raum zerstreut. Nach öfteren mehrmaligen Annäherungen ist der Gasvorrat erschöpft und zum Schluß hinterbleibt — nach einer Hypothese — bloß ein typisches Meteor- und Meteoritenmaterial*.

Hingegen sollten die *äußeren Riesenplaneten* (mit ihren ungemein großen Massen, sehr tiefen Temperaturen, sehr großen Abständen von der Sonne und demgemäß viel schwächer ausgeprägtem Sonnenstrahlungsdruck usw.) alle Gase einschließlich der leichtesten, wie etwa freien Wasserstoff und Helium, an sich halten können.

Die nächsten Elemente nach der oben erwähnten Reihenfolge des Schemas I, Kohlenstoff und Stickstoff, sollten (wenn auch in viel kleinerer, der dritten kosmischen Häufigkeitsstufe entsprechenden Konzentration) vorkommen; sie wurden vor allem als Methan (CH_4) und Ammoniak (NH_3) nachgewiesen. Der Sauerstoff (als Eis) scheint kaum in solchen Atmosphären aufzuscheinen, während das Neon in kleinem, das Argon u. a. aber in noch kleinerem Prozentsatz darin vorhanden sein sollte**. Wegen der an den Oberflächen der äußeren Riesenplaneten herrschenden Bedingungen werden die erwähnten Gase vielleicht mehr im festen Aggregatzustande vorliegen. Demnach läßt sich annehmen, daß die Jupiter-, Saturn- usw. Hauptmassen vorwiegend aus den betreffenden Stoffen in festem Zustande bestehen^{4, 7-9}, die an den Planetenoberflächen (besonders an der hellen erwärmten Seite) mit einer Gasphase in Gleichgewicht stehen müßten***.

Hierzu wäre noch zu bemerken, daß die hohen Atmosphärendichten, bzw. -drucke und die tiefen Temperaturen, die auf den Oberflächen der Riesenplaneten herrschen, im Laufe von ungeheuren kosmogonischen

* *H. E. Suess*² meint jedoch, daß man vorläufig keine sichere Kenntnis über die Meteoritenvorgeschichte habe.

** Diese Elemente-Häufigkeitsreihe weicht etwas von dem nach *Jastrow* und *Rasool*⁴ vorgeschlagenen Atmosphärenmodell des Jupiters ab.

*** Zugunsten dieser Annahme läßt sich u. a. auf die niedrigen Dichten der äußeren Riesenplaneten (die des Saturns wird zu etwa 0,7 geschätzt) hingewiesen. Die dem Pluto von *Huchtmeier*¹⁰ zugeschriebene Dichte (4 g/cm^3) und seine sehr kleine Masse (die auf höchstens 5 Mondmassen geschätzt wird) könnte, allem Anschein nach, nur eine ganz verdünnte Atmosphäre auf seiner Oberfläche festhalten.

⁷ *G. P. Kuiper* und *B. M. Middlehurst*, Planets and Satellites (Übersetzung). Moskau 1963.

⁸ *Graff—Lambrecht*, Grundriß der Astrophysik, Bd. II, Leipzig 1962.

⁹ *O. Struve, B. T. Lynds* und *H. Pillans*, Astronomie (Übersetzung). Berlin 1963.

¹⁰ *W. Huchtmeier*, Die Sterne **42**, 225 (1966).

Zeitabschnitten (Perioden) die exothermen Vorgänge, wie etwa die Methan- (allgemeiner Kohlenwasserstoff-), die Ammoniak-, die H_2O - u. a. Synthesen begünstigt haben müßten.

Es sei auf eine weitere Gesetzmäßigkeit aufmerksam gemacht: Mit wachsendem Molgewicht nimmt die Siedetemperatur in der Reihe $\text{CH}_4 \rightarrow \text{NH}_3 \rightarrow \text{H}_2\text{O}$ (Tab. 1) stark zu. Es scheint, als ob zwischen den symmetrischen Methan- und den nicht symmetrischen, assoziierten Ammoniak- und Wassermolekülen eine Beziehung bestehe, die etwa durch die in der Abb. 1 dargestellte, steile und fast gerade Molgewicht—Siedetemperaturkurve ausgedrückt wird. Da das Gasentfliehen antibath zur Kurve in Abb. 1 gehen sollte, kann man vermuten, daß das Wasser (jedoch im festen Zustande) zusammen mit dem Methan und dem Ammoniak auf den Oberflächen der äußeren Riesenplaneten (die unter anderem allem Anschein nach auf einem schweren Planetenkern aufgelegte Eisschichten besitzen) vorhanden sein könnte. Diese Anschauung steht wenigstens mit den Jupiter- und Saturndichten in Einklang.

Wegen der verhältnismäßig hohen Siedetemperatur wird der NH_3 -Gehalt in den Atmosphären der Riesenplaneten mit der Temperatur-Abnahme in der Richtung (Reihenfolge) Jupiter—Pluto ebenso (der Kondensation wegen) abnehmen, während Wasserdampf dort kaum aufscheinen wird.

Die *inneren Planeten* (die der Sonne viel näher sind, viel höhere Temperaturen, sehr stark ausgeprägte Atmosphären-Turbulenz [bzw. -Konvektion], Strahlungsdruck usw. haben), könnten fast gar nicht die leichtesten Gase, wie etwa freien Wasserstoff, Helium u. a., festhalten.

Tatsächlich hat z. B. der der Sonne nächste Planet Merkur (wie auch der Mond und die Planetoiden) praktisch nur geringe Atmosphärenspuren behalten können.

Ebenso haben wahrscheinlich auch die Venus¹¹, die Erde und vielleicht auch der Mars nur Spuren oder kleine Mengen von freiem Wasser-

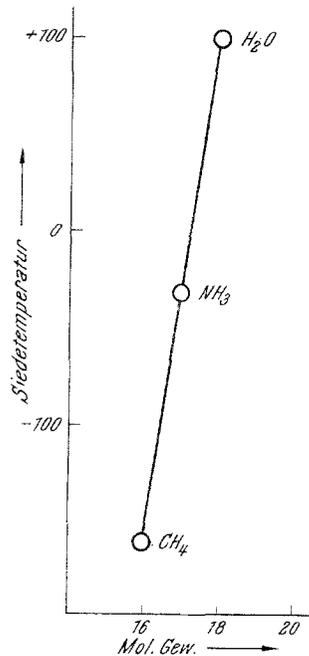


Abb. 1

¹¹ Ch. A. Barth, J. B. Pearce, K. K. Kelly, L. Wallace, W. C. Fastie, Ref. J. Astr. (Moskau) 51, 57 (1968, Nr. 9), 448.

stoff, Helium u. a. in ihren höchsten Atmosphärenschichten behalten, während sie die etwas schwereren Stoffe, wie etwa CO_2 , O_2 , N_2 , Wasserdampf u. a., je nach den Umständen, stufenweise (ihren kosmischen Häufigkeiten, Molekulargewichten, Siede- bzw. Sublimationstemperaturen bzw. Entfliehensfähigkeiten usw. gemäß) auf ihren Oberflächen in verhältnismäßig größerem Maße behalten könnten.

Nun wird man die behauptete Verteilung der am häufigsten vorkommenden Atmosphärenbestandteile auf den Planeten des Sonnensystems auf Grund der sämtlichen erwähnten Faktoren etwa folgendermaßen prüfen :

Das im Weltall bei weitem am häufigsten vorkommende, zugleich das leichteste Element — der Wasserstoff — herrscht (nebst Helium und gewissen Beimengungen von CH_4 , NH_3 , Ne, Ar u. a.) in den Atmosphären der äußeren Riesenplaneten vor, während der etwas schwerere Sauerstoff (als H_2O , CO_2 , O_2 u. a.) als Hauptbestandteil in den Atmosphären der inneren Planeten vorhanden sein sollte, wo also anstatt der leichteren Gase H_2 , CH_4 , NH_3 ihre etwas schwereren Oxydationsprodukte H_2O , CO_2 , N_2 auftreten.

Der freie Sauerstoff läßt sich möglicherweise vorwiegend als sekundäres Produkt etwa einer (nach *H. E. Suess*^{2, 3} u. a.) mit dem H_2 -Entfliehen verbundenen Wasserdampfphotolyse in diesen Atmosphären erklären.

Wegen des (den sehr tiefen Siedetemperaturen entsprechenden) beträchtlichen Entfliehens werden die leichten Helium- und Neonatome vielleicht nur spurenweise in den Atmosphären der inneren Planeten aufscheinen. Trotz seiner (der fünften Häufigkeitsstufe des Schemas entsprechenden) vielmals kleineren kosmischen Häufigkeit und seiner tiefen Siedetemperatur liegt hingegen das verhältnismäßig schwere (und vielleicht etwas hydratisierte) Argon (At.Gew. 40) zu über 0,9% in der Erdatmosphäre vor. Dies läßt sich vielleicht u. a. auf einen irdischen Ursprung des (nach *von Weizsäcker*¹² vielleicht durch Zerfall von ^{40}K gebildeten) häufigsten Isotops ^{40}Ar zurückführen.

Dies läßt sich zu einer Tabelle zusammenfassen (s. S. 219).

Wegen ihrer ausgeprägten chemischen Aktivität sollten die Stickoxide kaum mehr als spurenweise (wie etwa in der Erdatmosphäre) vorkommen. Es scheint weiter, daß HCN , CO , HCHO u. a. weder in der Erd- noch in der Venusatmosphäre (vielleicht wegen gewisser Oxydationsvorgänge) in nachweisbaren Mengen vorhanden sein dürften.

Geht man davon aus, daß das Entfliehen der am häufigsten vorkommenden Atmosphärenbestandteile aus den Atmosphären der inneren Planeten mit Abnahme des Molgewichts und der Siedetemperatur zu-

¹² *C. F. von Weizsäcker*, Physik. Zeitschr. **38**, 623 (1937); Physik. Ber. **19**, 699 (1938).

Tabelle 2

Die wahrscheinlich häufigsten Atmosphärenbestandteile der Planeten des Sonnensystems (Übers. S. 214)

Häufigkeits-Stufe	Atom-Gew.	Die am häufigsten vorkommenden Elemente	in den äußeren Riesenplaneten	in den inneren Planeten
I	1	H	→ H ₂	→ H ₂ O
II	4	He	He	(Spuren)
III	12	C	→ CH ₄	→ CO ₂ , H ₂ O
	14	N	→ NH ₃	→ N ₂ , H ₂ O
IV	16	O	→ (H ₂ O) _x (fest)	→ O ₂ , H ₂ O, CO ₂
	20	Ne	Ne	(Spuren)
V	40	Ar	Ar	über 0,9%, in der Erdatmosphäre

} Photolyse → O₂^{2,3}

nimmt, so muß ihre Häufigkeit abnehmen. Dies führt uns zu einer etwa dreistufigen „Molgewicht—Siede- bzw. Sublimationstemperatur—Häufigkeitsskala“:

	$x\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons (\text{H}_2\text{O})_x$	CO ₂	N ₂	(O ₂)
	Dämpfe	flüss*, fest*		
Mol. Gewicht:	18	18x	44	28
Siede.- bzw. Subl.- Temperatur:		+ 100	— 78	— 196
Häufigkeitsstufe:		I	II	III

(32)

(— 183)

Es ist daraus zu ersehen, daß der Stickstoff und der Sauerstoff niemals flüchtiger als CO₂ sind, während die (verhältnismäßig höhere) Sublimationstemperatur des CO₂ beträchtlich hinter der Siedetemperatur des Wassers (H₂O)_x* zurücktritt. Aus diesem Grunde kann man sich etwa das folgende Bild von der Verteilung der erwähnten am häufigsten vorkommenden Atmosphärenbestandteile auf den inneren Planeten des Sonnensystems machen:

Je nach den auf den Planetenoberflächen herrschenden Umständen werden entweder sämtliche erwähnten Stoffe (z. B. auf der Erde) oder

* Bekanntlich läßt sich die abnorm hohe Siedetemperatur des flüssigen Wassers auf Assoziation zu (H₂O)_x zurückführen.

Es scheint zunächst, als ob die Häufigkeiten der Stoffe H₂O, CO₂, N₂ und die kosmische Häufigkeit ihrer elementaren Bestandteile H, C, N, symbath gehen sollten. Dazu ist zu bemerken, daß H₂O, CO₂ und N₂ aus den vier Elementen H, C, N, O bestehen, welche auch in den α-Aminosäuren und den Eiweißstoffen die Grundstoffe der Lebewesen bilden.

nur die schwersten Stoffe, wie etwa das CO_2 u. a. (Venus, Mars?), festgehalten, während fast keine Atmosphäre oder nur Spuren auf den übrigen kleineren Planeten (Merkur, die Planetoiden, auch der Mond) aufscheinen kann. Bei Anwesenheit von ausreichenden Wassermassen (wie etwa auf der Erdoberfläche) kann das CO_2 in Carbonate übergehen, während das freie CO_2 bei Wasserabwesenheit (Venus) oder bei spärlichem Wasser- bzw. Wasserdampfgehalt (Mars?) als Hauptbestandteil der entsprechenden Planetenatmosphäre zu betrachten sein wird.

Oder, mit anderen Worten ausgedrückt:

Die verhältnismäßig leichten bzw. leicht entfliehenden Stickstoff- und Sauerstoffmoleküle kommen als Hauptbestandteile der Erdatmosphäre vor, während sie in der warmen Venus^{14, 15} und eventuell auch in der Marsatmosphäre (der annäherungsweise etwa fast 10mal kleineren Planetenmasse gemäß) kaum mehr als in beschränkten Mengen oder gar spurenweise aufscheinen können.

Unter irdischen Umständen kommt das Wasser $(\text{H}_2\text{O})_x$ in ungeheuren Massen, die etwa drei Viertel der Erdoberfläche bedecken, vor, während es entweder in Dampfzustand oder als Wolken²⁰ in den heißesten Venusatmosphärenschichten erscheinen sollte. Auf der kalten Marsoberfläche sollte Wasser vorwiegend in festem Zustande vorkommen.

Nach den von der sowjetischen automatischen Venus-IV-Station stammenden vorläufigen Angaben ist das etwas schwerere CO_2 als Hauptbestandteil der Venus- (und vielleicht auch der Mars-) Atmosphäre zu betrachten, während es vermutlich auf der Erde in die Erdrinde, in Carbonate, organische Sedimente u. a., übergegangen ist.

Daraus läßt sich also die Behauptung ableiten, daß sich auf dem Merkur wegen seiner viel kleineren Masse vielleicht etwas CO_2 (spurenweise) auf der heißen Oberfläche gehalten hat, das vielleicht durch Photolyse in $\text{CO} + \text{O}_2$ übergegangen sein könnte⁹. *Moroz*¹³ behauptet auch, daß etwas Wasserstoff anwesend zu sein scheint.

Wie man durch die Vermittlung der „Venus-IV-Station“ erfahren habe, besteht die warme Venusatmosphäre vorwiegend (über 90%) aus CO_2 nebst etwas O_2 , N_2 und H_2O ^{14, 15}.

* Der Zersetzungsdruck z. B. des MgCO_3 ist bei 400° C 0,1 Torr, bei 450° C 6,8 Torr, bei 500° C 100 Torr, bei 540° C 747 Torr¹⁶.

¹³ *W. I. Moroz*, *Uspechi Fisitsch. Nauk* **83**, 287 (1964).

¹⁴ *A. P. Winogradov, Ju. A. Surkov, K. P. Florenskiy*, und *B. M. Andreitschikov*, *Dokl. Akad. Nauk SSSR* **179**, Nr. 1, 37 (1968); *Ref. J. Astr. (Moskau)* **51**, 64 (1968 Nr. 11), 589; *Prawda [Moskau]* **1967**, Nr. 292, 293, 295.

¹⁵ *S. W. Awduewskiy, N. F. Borodin, W. W. Kusnezov, A. I. Ljwuschiz, M. Ja. Marov, W. W. Michnewitsch, M. K. Roschdestwenskij* und *W. A. Sokolov* *Dokl. Akad. Nauk SSSR* **179**, Nr. 2, 310 (1968); *Ref. J. Astr. [Moskau]* **51**, 55 (1968, Nr. 9), 438.

Bei der in dem dunklen äquatorialen Venusgebiet (durch dieselbe automatische Station) gemessenen Temperatur von fast etwa 280°C erreicht die CO_2 -Tension des FeCO_3 etwa eine Atmosphäre¹⁶. Daraus kann man schließen, daß es unter Umständen besonders auf der hellen, heißeren Seite der äquatorialen Venusoberfläche Gleichgewichte zwischen dem CO_2 und gewissen leicht zersetzbaren Carbonaten geben könnte^{14, 17}. Nach *Sagan* und *Kellogg*¹⁸ kommen auch reichlich Carbonate in dispersem Zustande in den Venuswolken vor. Dadurch würde die thermische Carbonatspaltung begünstigt. Die hohe Dichte der Venusatmosphäre läßt sich vielleicht unter anderem auf das Vorhandensein einer solchen grobdispersen Phase zurückführen.

Entsprechend den zu hohen Temperaturen kämen Wasserdämpfe nur spärlich in der Venusatmosphäre vor. Durch Photodissoziation des H_2O könnte sich vielleicht auch etwas freier Sauerstoff bilden. Nach den Feststellungen der Venus-IV-Station machen H_2O und O_2 ¹⁹ insgesamt unter 1,6% der Venusatmosphäre aus¹⁴. Die leichten einfachen H_2O -Moleküle sollten sich in den höchsten kälteren Venusatmosphärenschichten kondensieren und vielleicht als dichte Wolkenschale den ganzen Planeten einhüllen²⁰. Diese verhindert vielleicht das vollständige Weggehen des H_2O .

Unter den gegenwärtigen irdischen Bedingungen sind Stickstoff und Sauerstoff bekanntlich die Hauptbestandteile der Luft. Die leichten einfachen H_2O -Dämpfe kondensieren sich nicht weit von der Erdoberfläche und gehen in die assoziierten schwereren $(\text{H}_2\text{O})_x$ -Moleküle über, welche zu der abnorm hohen Siedetemperatur des Wassers führen, die es vor einem zu starken Entfliehen bewahren.

Den geringen CO_2 -Prozentgehalt in der Erdatmosphäre kann man gut erklären: Nimmt man hypothetisch an, daß der ganze in der Erdoberfläche (Erdrinde) in gebundenem Zustande vorkommende Kohlenstoff als CO_2 in einer hypothetischen, uralten Erdatmosphäre* vorlag, so würde deren hoher CO_2 -Gehalt allem Anschein nach ganz gut mit der gegenwärtigen Mars- (oder sogar Venus-)atmosphäre in Einklang stehen¹⁴, möglicherweise stand das CO_2 auch während eines früheren wärmeren Zeitalters im Gleichgewicht mit gewissen leicht zersetzlichen Carbonaten. Im Laufe der späteren geologischen Perioden seien vielleicht ungeheure CO_2 -Mengen zur Verwitterung

* Als wäre das CO_2 ein Edelgas. Es ist jedoch ganz gleichgültig, ob diese hypothetische Erdatmosphäre irgendeinmal wirklich existiert hat oder ob das CO_2 einen ganz anderen Ursprung hatte, ob es z. B. mit der Zeit direkt aus dem Kosmos in die Erdatmosphäre eingefangen wurde.

¹⁶ *H. Remy*, Lb. anorg. Chem. Bd. I (1957), 328, 524, Bd. II (1959), 331.

¹⁷ *J. B. Pollack* und *C. Sagan*, Ref. J. Astr. [Moskau] 51, 68 (1966, Nr. 3) 566.

¹⁸ *C. Sagan* und *W. W. Kellogg*, Ann. Rev. Astron. and Astrophysics 1, 235 (1963).

¹⁹ *W. K. Prokofjev*, Ref. J. Astr. [Moskau] 51, 66 (1966, Nr. 7), 481.

²⁰ *B. T. O'Leary*, Ref. J. Astr. [Moskau] 51, 67 (1957, Nr. 2).

von Mineralien verbraucht worden. Nach dem Auftreten organischen Lebens sei dann der Kohlenstoff des übrigen CO_2 durch Assimilation in die Pflanzen (bzw. in die Tiere, die Steinkohle, das Erdöl, den Humus) und — ganz allgemein — in die kohlenstoffhaltigen organischen Sedimente (die überall in ungeheuren Massen in der Erdoberfläche [Erdrinde] vorkommen) reduktiv eingebaut worden, während der freiwerdende Sauerstoff in die Luft übergegangen zu sein scheint.

Unter Berücksichtigung der viel kleineren Marsmasse ist gezeigt worden (*Jastrow* und *Rasool*⁴), daß das Gasentfliehen aus seiner Oberfläche etwas stärker war als das aus der wärmeren Venusatmosphäre. Man kann demnach behaupten, daß die aus diesem Grunde verdünnte Marsatmosphäre eine recht ähnliche chemische Zusammensetzung haben sollte wie etwa die Venusatmosphäre.

So schätzen z. B. *Spinrad*, *Schorn*, *Moore*, *Roger*, *Giver* und *Smith*²¹ den CO_2 -Gehalt der Marsatmosphäre auf 75%; andere Autoren^{22, 23} behaupten sogar, daß das CO_2 der einzige Bestandteil der tieferen Marsatmosphäre sei, während der durch Photodissoziation erzeugte Sauerstoff in den höheren Atmosphärenschichten auftreten sollte*.

Es ist dagegen zu erwarten, daß Stickstoff und Sauerstoff, die etwas leichter sind und leichter entfliehen, in beschränkten Mengen oder nur spurenweise in der Marsatmosphäre (neben dem noch leichteren H_2O -Dampf) aufscheinen sollten.

Connes, *Connes* und *Kaplan*²⁴ vermuten, daß in der Marsatmosphäre auch Kohlenwasserstoffe vorhanden seien. Wäre dies wirklich der Fall, so würde die Marsatmosphäre einen Übergang zwischen den Vorgängen auf den äußeren und den inneren Planeten vorstellen, bei dem man die in den Atmosphären der inneren Planeten des Sonnensystems vorhandenen Moleküle H_2O , CO_2 , N_2 als Produkte einer Oxydation der Kohlenwasserstoffe und des NH_3 (mittels des etwa durch H_2O -Photolyse erzeugten Sauerstoffs) betrachten könnte.

Die (in bezug auf die übrigen inneren Planeten) etwas kleinere Dichte des Mars möchte ich vielleicht u. a. auf eine aus leichteren Stoffen (Eis,

* Nach anderen Autoren wird jedoch der CO_2 -Gehalt bloß auf etwa 2—12% geschätzt; der Rest soll Stickstoff sein. *Sagan*²⁵ behauptet, daß man auch etwas Stickstoffdioxid in der Marsatmosphäre nachgewiesen habe.

²¹ *H. Spinrad*, *R. A. Schorn*, *R. Moore*, *L. P. Giver* und *H. J. Smith*, Ref. J. Astr. [Moskau] **51**, 70 (1967, Nr. 5), 487.

²² *N. Smith* und *A. E. Beutler*, Ref. J. Astr. [Moskau] **51**, 68 (1967, Nr. 2), 528.

²³ *F. S. Johnson*, Ref. J. Astr. [Moskau] **51**, 70 (1966, Nr. 6), 534.

²⁴ *J. Connes*, *P. Connes* und *L. D. Kaplan*, Ref. J. Astr. [Moskau] **51**, 70 (1967, Nr. 7), 571.

²⁵ *C. Sagan*, *Ph. L. Hanst* und *A. T. Yung*, Ref. J. Astr. **51**, 59 (1965, Nr. 4), 392; **51**, 53 (1965, Nr. 10), 382.

oder stark hydratisierten Mineralien, oder Verbindungen der leichten Elemente, wie etwa Carbonate der leichten Metalle u. dgl.) bestehende Marsrinde zurückführen.

Da Wasserstoff das häufigste Element im Weltall ist und da das Wasser eine verhältnismäßig hohe Siedetemperatur bzw. kleine Entfliehensfähigkeit hat, läßt sich vielleicht das Wasser grundsätzlich als einer der am häufigsten vorkommenden Bestandteile der Oberflächen der Planeten betrachten. Daraus geht hervor, daß das Wasser, wie schon erwähnt, nicht nur in der Venusatmosphäre (als Wolken) und auf der Erdoberfläche (als Wasser), sondern vielleicht auch in der aus mächtigen (wahrscheinlich mit verschiedenartigen leichteren Mineralien gemischten, verunreinigten) Eisschichten bestehenden Marsrinde vorkommen sollte*. Wäre dies jedoch nicht der Fall, so würde man nach einer anderen Genesis der Marsatmosphäre suchen müssen.

Daß die Venus- und möglicherweise auch die verdünnte Marsatmosphäre vorwiegend aus dem etwas schwereren CO_2 bestehen, während dagegen die Erdatmosphäre vorwiegend aus den etwas leichteren N_2 und O_2 und wenig CO_2 zusammengesetzt ist (nebst ungeheuren Wassermassen, die etwa drei Viertel der Erdoberfläche bedecken) führt nur zu der Frage, ob vielleicht dieser Unterschied zur Lösung gewisser Probleme (wie etwa die Genesis der Atmosphären der Planeten, das Lebensproblem u. a.) ausgewertet werden könnte.

Daraus ergeben sich noch weitere Probleme, wie etwa: ob der geringe Prozentgehalt an CO_2 in der Erdatmosphäre auf einer im Laufe ungeheurer langer geologischer Perioden sehr intensiven Lebensentwicklung (in den irdischen Gewässern und auf dem Festlande) zurückzuführen sei? Und umgekehrt könnte man den in (der Venus- und eventuell auch in) der verdünnten Marsatmosphäre so hohen CO_2 -Prozentgehalt in der Weise deuten, daß es auf diesen Planeten (des H_2O -, N_2 -, O_2 -Mangels wegen) fast kein oder nur beschränktes Leben (wenigstens in jenen Formen, die man auf der Erde kennt) geben könnte? Könnte man annehmen, daß die Venusoberfläche vielleicht in einem späteren, etwas kälteren Zeitalter mit Wasser und eventuell auch mit einer stickstoffhaltigen Atmosphäre (eventuell kosmischen Ursprungs) mit ausreichendem Sauerstoffgehalt bedeckt sein würde? Ob demnach der ganze Lebenszyklus auch dort einmal nachgeholt würde? Ob das Leben auf dem Planeten Venus erst zum Anfang tendiert, während es auf dem Mars untergehen wird?

Eine Lösung dieser Probleme setzt voraus, daß man vor allem auch die Zusammensetzung der Marsatmosphäre (etwa mittels automatischer Raumfahrzeuge), hoffentlich in der nächsten Zukunft kennt; ausführlichere Schlüsse würden gezogen werden können, wenn man irgendwann unmittelbar nicht nur Proben aus der Mars- und der Venusatmosphäre, sondern auch von den Oberflächen (Rinden) stammende marsologische**, venusologische, mineralogische, biologische und auch paläologische) Proben in die Hand bekäme.

Anschrift des Verfassers: Professor *G. G. Kandilarov*, Zar Iwan Assen II-Straße 45, Sofia-4, Bulgarien.

* *Fjeldbo*, *Fjeldbo* und *von Eshleman* behaupten²⁶, daß die aus CO_2 bestehenden weißen Marspolflecken über einem Eisgrund lagern.

** Analog zu geologischen.

²⁶ *G. Fjeldbo*, *W. C. Fjeldbo* und *R. von Eshleman*, Ref. J. Astr. [Moskau] 82 (1967, Nr. 3), 576.