

DAS SCHICKSAL
DER PLANETEN
VON SVANTE ARRHENIUS

Leipzig

Akademische Verlagsgesellschaft m. b. H.

DAS SCHICKSAL DER PLANETEN

VON

SVANTE ARRHENIUS

MIT 2 ABBILDUNGEN IM TEXT



LEIPZIG 1911

AKADEMISCHE VERLAGSGESELLSCHAFT M. B. H.

Druck von E. Haberland, Leipzig-R.

Vorwort

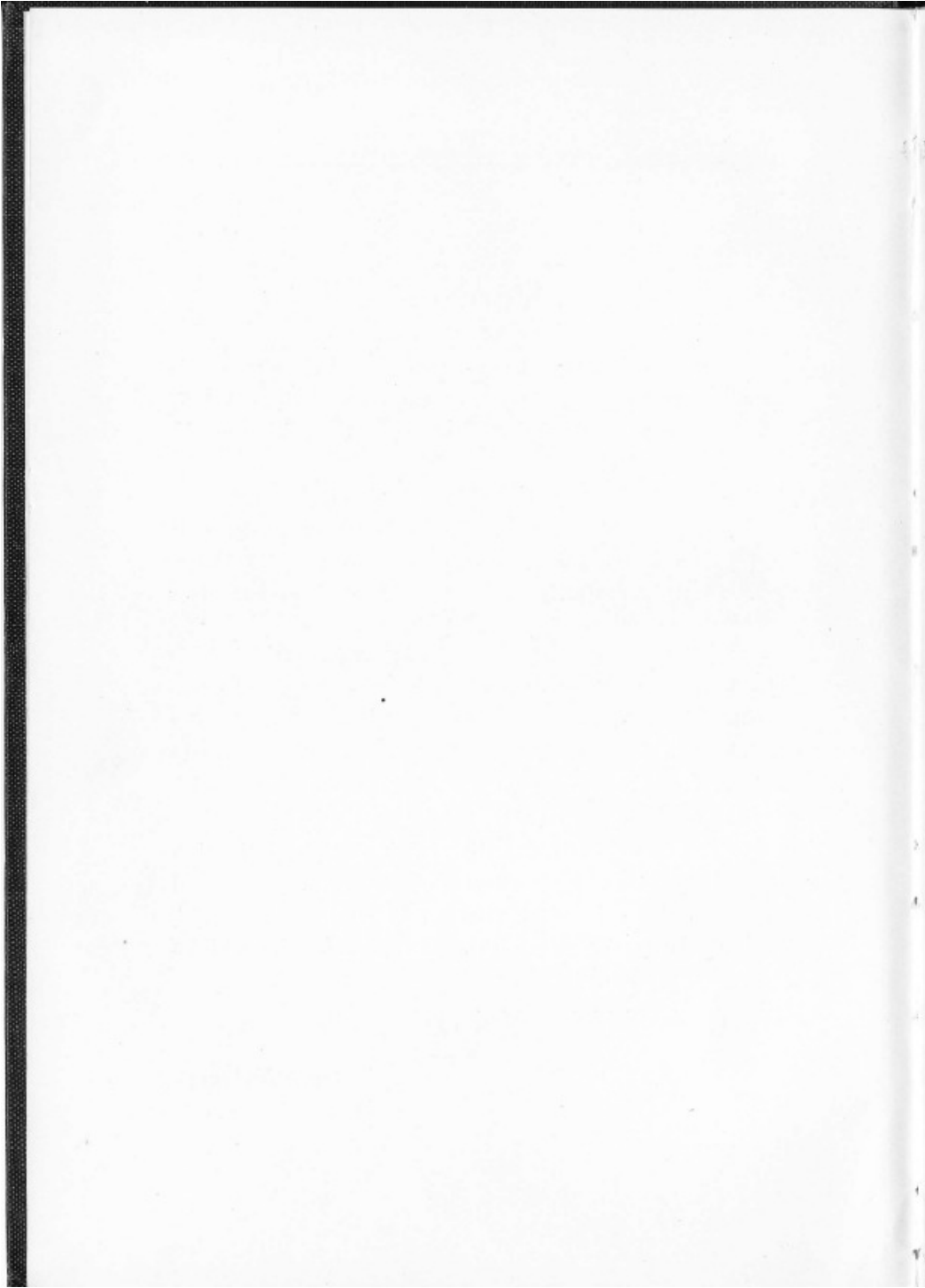
Auf Veranlassung meines verehrten Freundes Ostwald schrieb ich im vorigen Jahr einen kleinen Aufsatz „Die Atmosphären der Planeten“ für seine „Annalen der Naturphilosophie“.

Das Interesse für das in dem genannten Aufsätze behandelte Thema erwies sich so groß, daß mich die Akademische Verlagsgesellschaft als Verlegerin der „Annalen der Naturphilosophie“ aufforderte, eine neue Auflage als selbständiges Heftchen auszuarbeiten.

Ich bin diesem Wunsch gerne nachgekommen, da ich selbst das lebhafteste Interesse für die betreffende Frage hege und in der Zwischenzeit etwas neues Material gefunden habe, das meine Ansichten zu bestätigen scheint. Ich habe also dieses eingefügt und einige Umstände berührt, welche die behandelten Gegenstände beleuchteten, die ich aber an anderer Stelle schon eingehend behandelt hatte und die deshalb nicht gut in einen Aufsatz für eine Zeitschrift hineinpaßten. Ich wage wohl zu hoffen, daß der Aufsatz dadurch an Wert gewonnen hat, und sage im voraus meinen lebhaften Dank für die freundliche Aufnahme meiner Ansichten.

Experimentalfältet bei Stockholm, Februar 1911.

Der Verfasser



Nach der Laplace'schen Hypothese, welche in der Hauptsache von den meisten Astronomen angenommen wird, waren alle Planeten im Anfangsstadium gasförmig, wie es die Sonne — bis auf einige kleine Wolkenbildungen — noch ist. Wahrscheinlich gilt dasselbe auch noch für die großen äußeren Planeten, Jupiter, Saturnus, Uranus und Neptun, nach ihrer geringen Dichte, die derjenigen der Sonne nahe kommt, zu urteilen. Eine dicke Schicht von Wolken verhindert uns, in tiefere Schichten dieser Planeten hineinzublicken. Einigermaßen ist man auch für diese gasförmigen Himmelskörper berechtigt, von einer Atmosphäre zu sprechen. Wegen der Schwere nimmt die Dichte der Gase in den äußersten Schichten sehr schnell nach innen zu, bis sie so groß geworden ist, daß die Kompressibilität äußerst gering wird, wonach die Dichte nur sehr allmählich zunimmt und das Gas sich fast wie ein fester Körper verhält. Darum bleiben Flecke auf der Sonne bisweilen länger als ein Jahr bestehen, und der Fleck auf dem Jupiter hat sich seit 1878 erhalten. Trotzdem ist der Übergang in der Dichte zwischen verschiedenen Schichten ein ganz kontinuierlicher, wogegen bei einer wirklichen Atmosphäre über einem festen oder flüssigen Kern die Dichte in verschiedenen Tiefen an der unteren Begrenzung der Atmosphäre sich sprungweise ändert.

Sind andere Planeten aus demselben Hauptmaterial, schweren Metallen, ihren Oxyden, Silikaten, Karbonaten, Hydraten und etwa Hydrosulfiden der leichten Metalle, einschließlich Aluminium und Wasserstoff, aufgebaut, wie unsre Erde, was ja in höchstem Grade wahrscheinlich ist, so ist für die Möglichkeit der Existenz von Lebewesen eine feste Erdkruste Bedingung. Denn der Schmelzpunkt dieser Materialien liegt so hoch, wenigstens über 1000 Grad, daß noch weit unter ihrem Erstarrungspunkt Lebewesen nicht wohl gedeihen können. Das Leben ist an das Vorhandensein sehr weitgehend zusammengesetzter und deshalb recht unbeständiger Kohlenstoffverbindungen geknüpft, die sicherlich schon bei viel tieferen Temperaturen als 1000° zu Grunde gehen. — Man hat sich mitunter vorgestellt, daß Silizium den Kohlenstoff in diesen Verbindungen vertreten könnte, wovon man jedoch kein Beispiel besitzt. Die komplizierteren Siliziumverbindungen scheinen auch im allgemeinen viel weniger stabil zu sein als die entsprechenden Kohlenstoffverbindungen. Siliziumverbindungen, welche als Bestandteile des Protoplasmas an Stelle der Kohlenstoffverbindungen eintreten könnten, sind gänzlich unbekannt und vermutlich unter keinen äußeren Bedingungen stabil. Wir wollen also diese und ähnliche Phantasien ganz außer Rechnung lassen, bis eine Andeutung von ihrer Wahrscheinlichkeit vorliegt. — Die genannten Kohlenstoffverbindungen sind schon unter dem Siedepunkt des Wassers unbeständig, die Eiweißstoffe gerinnen schon bei etwa 55 bis 60° langsam. Jedenfalls müssen wir annehmen, daß sie oberhalb der kritischen Temperatur des Wassers — 365° C. — nicht vor-

kommen können. Es muß also auch die Bedingung für die Kondensation von Wasser, d. h. für die Bildung von Wasseransammlungen, vorhanden sein. Da aber eine freie Wasserfläche ohne Wasserdampf von wenigstens 4,6 mm Druck nicht stabil ist, so schließt schon das Vorhandensein von Wasserflächen auch dasjenige einer Atmosphäre ein. Wenn Sauerstoff, wie die Biologen behaupten, für die Unterhaltung des Lebens unentbehrlich ist, so können wir an Stelle einer festen Erdkruste eine Sauerstoff enthaltende Atmosphäre als Bedingung einsetzen, und da Sauerstoff aus unten näher ausgeführten Gründen ohne feste Erdkruste in der Luft nicht vorkommen kann, so lassen sich die Bedingungen für die Existenz von Lebewesen in die des Vorhandenseins einer sauerstoffhaltigen Atmosphäre zusammenfassen.

Nur diejenigen Planeten, welche eine wirkliche Atmosphäre besitzen, können lebendige Wesen beherbergen. Gerade aus diesem Grunde ist die Atmosphäre der Planeten von einem ganz außerordentlichen Interesse. Es handelt sich um das Problem, um welches die edelsten Persönlichkeiten der Menschheit seit dem grauen Altertum ihre schönsten Träume gesponnen haben und dessen Auslegung in freimütigem Sinne *G i o r d a n o B r u n o* auf den Scheiterhaufen brachte.

Haben also die Planeten ohne feste Kruste oder flüssige Oberflächenschicht keine Atmosphäre, so ist die Anzahl der einen Luftkreis besitzenden Planeten stark beschränkt. In unserem Sonnensystem, dessen Planeten die einzigen uns bekannten sind, gehören nur die vier inneren Planeten: Merkur, Venus, Erde und Mars, zu dieser Kategorie. Vermutlich sind die kleinen Planeten, die zwischen Mars und Jupiter kreisen,

ebenfalls mit einer festen Kruste versehen. Von diesen allen sind aber aller Wahrscheinlichkeit nach nur drei, nämlich außer der Erde noch Venus und Mars, wirklich mit Atmosphären begabt. Merkur verhält sich etwa wie der Mond. Er besitzt nahezu dieselbe geringe Fähigkeit, Licht zu reflektieren, wie der Mond. — Diese Fähigkeit wird Albedo — „die Weiße“ — genannt und ist in die unten aufgeführte Tabelle über einige wichtige Eigenschaften der Planeten eingetragen. Die Albedo dieser beiden Himmelskörper beträgt nur 0,14 bzw. 0,13, dagegen diejenige des Mars 0,22 und der Venus 0,76. Vom Monde wissen wir, daß er jetzt keine Atmosphäre besitzt, und dies ist wahrscheinlich auch beim Merkur der Fall. Dagegen scheint die Atmosphäre der Venus der-

Tabelle der wichtigsten Konstanten der Himmelskörper in Sonnensystem.

Himmelskörper	Entfernung von der Sonne	Mittl. spezif. Gewicht	Mittl. halbmesser	Umdrehungszeit	Umlaufszeit um die Sonne J.	Albedo	Masse	Exzentrizität d. Bahn
Sonne	0,00	1,403	696098	24,84 d	—	—	332750,0	—
Merkur	0,39	3,09	2175	87,97 d	0,24	0,14	0,0224	0,20561
Venus	0,72	5,14	6091	23,35 h	0,61	0,76	0,815	0,00682
Erde	1,00	5,53	63705	23,94 h	1,00	—	1,000	0,01675
Mond	1,00	3,31	1740	27,32 d	1,00	0,13	0,0123	0,05491
Mars	1,52	4,00	3366	24,62 h	1,88	0,22	0,1080	0,09331
Jupiter	5,20	1,35	69449	9,92 h	11,87	0,62	317,7	0,04825
Saturn	9,55	0,71	57635	10,27 h	29,47	0,72	95,1	0,05606
Uranus	19,22	2,21	21101	unbek.	84,02	0,60	14,6	0,04704
Neptun	30,12	2,42	21643	unbek.	164,80	0,52	17,2	0,00853

Die Entfernung der Erde von der Sonne (als 1 oben gesetzt) beträgt 149,5 Millionen km, die Masse der Erde ist 5985 Trillionen ($5985 \cdot 10^{15}$) metrische Tonnen.

jenigen der Erde sehr ähnlich zu sein. Die Luftmasse des Mars ist der geringen Albedo entsprechend sehr dünn. Lowell nimmt an, daß der Mars, nach der Albedo zu urteilen, nur 22 Proz. soviel Luft über jedem Quadratmeter besitzt, wie die Erde. Diese Schätzung ist höchst unsicher. Denn die Albedo hängt hauptsächlich mit dem Vorkommen von Wolken zusammen, deren Albedo ohne Zweifel nahezu ebenso groß ist, wie diejenige von frisch gefallenem Schnee, die von Zöllner zu 0,80 bestimmt worden ist und innerhalb der Beobachtungsfehler mit der Albedo der Venus übereinstimmt. Hieraus können wir wohl schließen, daß die Venus gänzlich von Wolken eingehüllt ist. Die Albedo der Erde können wir folgendermaßen schätzen. 52 Prozent der Erdoberfläche sind wolkenbedeckt. Der Staub in der Atmosphäre nimmt nach meiner Berechnung von Langley's Messungen etwa 30 Prozent der Sonnenstrahlung weg, von welchen die Hälfte zum Himmel reflektiert wird. Für das Licht der Sonne ist die Ziffer etwa doppelt so groß. Von den 40 Prozenten Licht, welche die Erdoberfläche erreichen, werden etwa 13 Prozent (wie beim Mond) reflektiert und von diesen erreichen 0,7 Teile die obere Grenze der Atmosphäre. Die Totalsumme ist also $0,52 \cdot 0,8 + 0,48 (0,30 + 0,13 \cdot 0,40 \cdot 0,70) = 0,57$. Die Albedo der Erde ist also derjenigen der Venus stark unterlegen, trotzdem steht sie dieser etwa doppelt so nahe als dem Mars. Ohne Wolkenbedeckung wäre die Albedo der Erde 0,34, also um 0,21 über derjenigen des atmosphärenfreien Mondes, während die Albedo vom Mars (ohne Wolkenbedeckung) nur um 0,09 diejenige des Mondes übertrifft. Unter der Annahme, daß die Eigenschaften des Mars-Staubes dieselben sind wie die des

Staubes in der Erdluft, kommt man zu dem Schluß, daß die Luft auf dem Mars etwa halb (0,46) so viel Staub als die irdische Luft enthält. Viel weiter kann man nicht kommen, jedenfalls sind alle Mars-Beobachter darüber einig, daß die Lufthülle dieses Planeten nur ein Bruchteil derjenigen unserer Erde ist; die Lowellsche Schätzung entspricht einigermaßen der allgemeinen Meinung.

Man könnte sich wohl darüber wundern, warum die äußeren Planeten nicht ebenso viel Licht wie eine Wolke oder wie frischer Schnee reflektieren, da alles, was wir auf ihnen beobachten können, doch nur Wolken sind. Die Antwort ist, daß, nach den Beobachtungen von S l i p h e r, diese Planeten, und besonders Uranus und Neptun in ihrer Lufthülle stark absorbierende Gase, meistens unbekannter Art, besitzen, die das von den Wolken zurückgeworfene Licht bedeutend herabsetzen. Bekanntlich ist die dunkle rötliche Färbung vom Jupiter bedeutend heller in Sonnenfleckenjahren als sonst, was auf eine stärkere Ausbildung der höheren Wolken bei großer Sonnentätigkeit, zurückgeführt wird. Eine ähnliche Zunahme der höheren irdischen Wolken mit der Anzahl der Sonnenflecken ist wohlbekannt und wird als Folge der von der eruptiven Tätigkeit der Sonne abhängigen Menge von ausgestoßenem Sonnenstaub betrachtet.

Schon seit langem ist eine Erklärung für die Abwesenheit eines Luftkreises auf dem Monde gegeben worden. Ritter hat in seinen klassischen Untersuchungen über gasförmige Himmelskörper (1878—1882) gezeigt, daß der Mond wegen der lebhaften Bewegungen der Wasserstoffmolekeln keine solchen an seine kleine Masse zu fesseln vermag. Dasselbe

10

gilt auch für andere Gase, die nicht all zu schwer sind, beispielsweise für die gewöhnlichen Gase der Luft. Johnstone Stoney hat diese Ansicht weiter entwickelt und darauf hingewiesen, daß im allgemeinen die uns bekannten Himmelskörper um so weniger Gas in ihrer Umgebung besitzen, je geringer die Schwerkraft auf ihnen ist. Aus diesem Grunde müssen wir annehmen, daß die kleinen Planeten, von welchen keiner den Mond in bezug auf Größe erreicht, ebenfalls ohne Lufthülle sind. Was den Merkur anbetrifft, so ist die Schwere an seiner Oberfläche nicht völlig anderthalbmal größer als an der Mondoberfläche; es gilt demnach ohne Zweifel in bezug auf seine Fähigkeit, Gase zu fesseln, dasselbe wie für den Mond. Es kommt aber noch ein anderer Umstand hinzu. Aus guten Gründen glaubt man, daß der Merkur immer dieselbe Seite der Sonne zukehrt. Demzufolge besitzt die dunkle Seite dieses Planeten, welche gegen den Himmelsraum strahlt, dieselbe Temperatur wie dieser, vielleicht etwa 50° über dem absoluten Nullpunkt. Alle Gase, ausgenommen Helium und Wasserstoff, müssen sich dahin kondensieren und zu gewaltigen Eismassen gefrieren. Helium und Wasserstoff aber sind gerade so leicht, daß sie nach Stoney's Hypothese längst verschwunden sein müßten. Folglich kann es keine Gase auf dem Merkur geben, auch keine schweren. Ähnliches gilt für den Mond, der eine so lange Nacht ($\frac{1}{2}$ Monat) hat, daß der kälteste Punkt der Nachtseite wohl Zeit hat, seine Temperatur fast auf die Temperatur des Himmelsraumes herabzusetzen. Man könnte danach erwarten, daß gerade beim Hineintreten eines Punktes auf der Mondoberfläche in das Sonnenlicht Spuren von kondensierten

Dämpfen in Form von Reif sichtbar werden würden. Solche Beobachtungen werden wohl bisweilen gemeldet, sie sind aber sehr zweifelhaft. Jedenfalls kommt keine merkliche Menge von Dämpfen vor.

Wenn es nun richtig wäre, wie es von verschiedenen Beobachtern angegeben wird, daß die Venus immer dieselbe Seite der Sonne zukehrt, so müßte man erwarten, daß die Verhältnisse daselbst denjenigen auf dem Merkur ähnlich wären, d. h. es könnte keine merkliche Atmosphäre bestehen. Dagegen ist man allgemein darüber einig, daß die Venus eine dichte Atmosphäre besitzt; die Strahlenbrechung darin ist so groß, daß die Hörner der Venussichel normaler Weise weniger als 180° voneinander entfernt liegen und bisweilen sogar verschmelzen, so daß der Planet wie ein Lichtring erscheint. Da aber nach Stoney das geringe Vorkommen von Helium in der Erdatmosphäre, trotz stetiger Zufuhr aus den Quellen, auf dem Verschwinden dieses Gases aus der Luft beruht, so müßte man ähnliches für die Venus erwarten, besonders da die Schwere daselbst um ein Fünftel geringer als auf der Erde ist. Dazu käme noch, daß der wärmste Punkt der Oberfläche der Venus, wenn diese immer dieselbe Seite der Sonne zukehrte, eine Temperatur von über 200° C. besitzen würde, was das Verschwinden der leichten Gase außerordentlich fördern würde. Es kann demnach Helium und ebenfalls Wasserstoff nicht in nennenswerter Menge auf der Venus vorkommen. Die anderen Gase sind zu leicht kondensierbar, um auf der stets dunklen Seite eines Planeten vorkommen zu können. Darum muß die Venus eine Achsendrehung von kurzer Zeit (etwa 24 Stunden) haben.

Vom Mars wissen wir durch direkte Beobachtung, daß er Reif oder Schnee an den Polen hat, was nur mit dem Vorhandensein einer Atmosphäre vereinbar ist. Außerdem hat man Spuren von Wolken und Nebel in der Marsatmosphäre und Sandstürme auf dem Mars mit Sicherheit beobachtet.

So viel wissen wir also mit recht großer Sicherheit über das Vorhandensein von Atmosphären der Planeten in unserem Sonnensystem. Ohne Zweifel gibt es in der Nähe von anderen Sonnen ähnliche mit Atmosphäre versehene Planeten, obgleich wir keine solchen kennen. Die sogenannten dunklen Begleiter, welche in der Nähe von verschiedenen Sternen wegen ihrer Bewegungen oder Helligkeitsveränderungen angenommen werden, sind so groß, daß sie wohl durch und durch gasförmig sind, wie die großen Planeten in unserem Sonnensystem; wir können also keine eigentliche Atmosphäre, noch lebende Wesen auf ihnen vermuten.

Über die chemische Zusammensetzung der Atmosphären unserer zwei Nachbarplaneten wissen wir sehr wenig aus direkter Beobachtung. Wohl haben sehr viele Beobachter, unter anderen die größten Autoritäten auf dem Gebiete der Sternspektroskopie, wie H u g g i n s, J a n s s e n und V o g e l, angegeben, daß sie Wasserdampf in den Atmosphären dieser Nachbarn nachgewiesen haben. Die letzten Bestimmungen von C a m p b e l l (1909) über das Marsspektrum fielen aber negativ aus, und man muß ihnen viel größere Bedeutung zuschreiben, als den älteren Beobachtungen. Demnach ist wohl auch eine kritische Zurückhaltung in bezug auf die Ergebnisse der älteren Messungen über das Venusspektrum, aus denen die Anwesenheit von Wasserdampf in der Lufthülle dieses

Planeten gefolgert wurde, sehr am Platz. Man denke sich, die Erde sei wie die Venus von dichten Wolken umhüllt. Die Federwolken, Cirri, gehen bis etwa 10 000 m Höhe. Stellen wir uns vor, daß diese Wolken so dicht wären, daß ein Beobachter von außen sie nicht zu durchschauen vermöchte. Die Temperatur ist in dieser Höhe etwa -55° . Der Dampfdruck von gesättigtem Wasserdampf in Berührung mit Eiskristallen, woraus die Federwolken bestehen, ist bei -55° etwa 250 mal niedriger als bei 0° , einem Gehalt von 0,024 g pro Kubikmeter entsprechend. Der mittlere Wasserdampfgehalt an der Erdoberfläche beträgt 11,4 oder in runder Zahl 500 mal mehr als ein außerhalb der Erde stehender Beobachter bemerken würde. Nach der Stärke der Sonnenstrahlung ist die Temperatur auf der Venus etwa 60° höher als auf der Erde, wenn wir die Abschwächung durch Wolken nicht berücksichtigen. Danach wäre der Wasserdampfgehalt auf der Venus etwa 20 mal größer als auf der Erde. Könnte man nun nur ein Fünfhundertstel davon von außen beobachten, so würde man daraus sehr mit Unrecht schließen, daß die Venus 25 mal weniger Wasserdampf als die Erde in ihrer Lufthülle beherbergt. Gerade das Umgekehrte ist richtig. Dies zeigt wie vorsichtig man bei der Beurteilung ähnlicher Beobachtungen sein muß.

Bei Mars liegen die Verhältnisse anders. Da beobachtet man wirklich die Oberfläche, und nur ein geringer Teil (etwa 40 Prozent) des Lichtes wird von aufgewirbelten Staubteilchen oberhalb der Marskruste reflektiert. Dieser aufgewirbelte Staub liegt außerdem ohne Zweifel, im Gegensatz zu Wolken, zum überaus größten Teil in so geringer Entfernung

von der Oberfläche, daß die Feuchtigkeit sich da nicht merklich von derjenigen an der Oberfläche unterscheidet. Wir müssen also nach Campbell's Messungen schließen, daß außerordentlich wenig (höchstens 0,4 g pro Kubikmeter) Wasserdampf in der Nähe der Marsoberfläche vorkommt. Trotz dieses negativen Resultats können wir mit Sicherheit sagen, daß etwas Wasserdampf in der Marsluft vorkommt, denn wir sehen deutlich, wie er sich an den Polen zu Reif oder Schnee verdichtet. Demnach ist es wohl auch unzweifelhaft, daß die Atmosphäre der Venus, welche derjenigen der Erde viel ähnlicher erscheint, ebenfalls Wasserdampf, und zwar wegen der hohen Temperatur in viel größerer Menge als die Marsatmosphäre, besitzt. Außerdem hat Sli ph e r geschlossen, daß Sauerstoff auf dem Mars vorkommt. Obgleich seine Beobachtung wohl recht unsicher ist, müssen wir doch sagen, daß der Schluß höchstwahrscheinlich richtig ist, und zwar, weil vermutlich die Atmosphären der Nachbarplaneten nahezu so konstituiert sind, wie diejenige der Erde.

Um dies zu zeigen, wollen wir die Entwicklungsgeschichte der Erdatmosphäre ins Auge fassen. Schon 1856 lenkte K o e n e in Brüssel die Aufmerksamkeit darauf, daß der Sauerstoff in der Luft ungefähr mit der in der Erdrinde befindlichen Kohlenmenge äquivalent ist. Das deutet darauf hin, daß der Luftsauerstoff, ebenso wie die fossile Kohle, gänzlich aus Kohlensäure ausgeschieden ist, so daß vermutlich anfangs kein Sauerstoff in der Erdatmosphäre vorhanden gewesen war. Diese Ansicht, welche später von vielen Forschern, u. a. dem großen Physiker L o r d K e l v i n , vertre-

ten wurde ist, an und für sich höchstwahrscheinlich. Die Gasmassen in unserer Atmosphäre sind anfänglich aus dem Nebelball, der die Sonne umgab, ausgeschieden worden. Dieser Gasnebel hat ohne Zweifel dieselbe Zusammensetzung gehabt wie die äußeren Schichten der Sonne. Eine große Menge von Wasserstoff, etwas Helium, Stickstoff, Cyan, Kohlenwasserstoffe, Kohlenoxyd und Sauerstoff müssen darin vorgekommen sein. Bei der Abkühlung hat sich der Sauerstoff mit Wasserstoff oder Kohlenoxyd verbunden, und wegen des großen Überschusses von Wasserstoff ist viel davon übriggeblieben, nachdem der Sauerstoff verschwunden war. Eine Stütze für diese Ansicht hat S l i p h e r gegeben, indem er nachwies, daß die Wasserstofflinien C und F sehr stark in den Spektren der äußersten Planeten, Uranus und Neptun, hervortreten.

Auch auf einem anderen Wege kommen wir zu demselben Schluß. Die Meteoriten und Kometen, mit denen das Erdinnere eine große Ähnlichkeit in der chemischen Zusammensetzung aufweist, enthalten Kohlenwasserstoffe und Kohlenoxyd sowie Cyan und viel Eisen, alles Körper, welche mit Sauerstoff sich leicht verbinden. Mit anderen Worten, die Hauptmasse der Erde hat wie die Meteoriten und Kometen (und wie die Sonne) stark reduzierende Eigenschaften. Wenn etwas freier Sauerstoff in dieser Gasmasse bei ihrer anfänglichen hohen Temperatur zufolge von Dissoziation vorkam, so muß er bei der Abkühlung sich mit den reduzierenden Hauptbestandteilen der gasförmigen Erdmasse verbunden haben.

Trotzdem finden wir jetzt viel Sauerstoff in der Luft. Dieses Gas ist nach K o e n e und seinen Anhängern durch die Wirkung der Pflanzen aus Kohlensäure entstanden. Die

meisten Botaniker sind aber, trotz der entgegengesetzten Behauptung des Chemikers Phipson, der Ansicht, daß Kohlensäure zersetzende Pflanzen nicht ohne etwas Sauerstoff leben können. Da nun vermutlich anfangs kein Sauerstoff in der Luft vorhanden war, so können wir nicht wohl annehmen, daß der erste Luftsauerstoff von Pflanzen produziert worden ist. Die Zersetzung von Kohlensäure und Wasser im Sonnenlicht in Kohlehydrate und Sauerstoff ist ein katalytischer Prozeß, der vom Blattgrün beschleunigt wird. Unsere jetzigen Ansichten von den katalytischen Prozessen gehen aber darauf hinaus, daß sie sich auch in Abwesenheit des Katalysators (hier des Blattgrüns) vollziehen, obgleich außerordentlich viel langsamer als bei Anwesenheit des Beschleunigers. Folglich sind wir berechtigt, zu schließen, daß Sauerstoff bei der Einwirkung von Sonnenlicht auch dann aus Kohlensäure entsteht, wenn keine Pflanzen anwesend sind. Wenn diese schwache Wirkung sich während geologischer Zeiten von Jahrmillionen entfaltet, können natürlicherweise beträchtliche Mengen von Sauerstoff dadurch gebildet werden. Später, als schon freier Sauerstoff in der Luft vorhanden war, haben wohl die Pflanzen den größten Teil des Sauerstoffs abgeschieden.

Die Abscheidung von Sauerstoff konnte wohl nicht stattgefunden haben, bevor eine feste Kruste der Erde sich ausgeschieden hatte. Vorher konnte nämlich der eventuell ausgeschiedene Sauerstoff in das reduzierende Erdinnere hindiffundieren und wieder verzehrt werden. Wie ich schon bei der Untersuchung über die Ursachen des Vulkanismus gezeigt habe, deuten unsere Messungen darauf hin, daß bei

den hohen Temperaturen, welche herrschten, bevor die Silikate zu einer festen Erdkruste gestanden waren, Wasser eine stärkere Säure ist als Kieselsäure. Der vorherrschende neutrale Stoff, welcher als Hauptlösungsmittel in den äußeren Erdschichten diente, war damals nicht wie jetzt Wasser, sondern Kieselsäure. Als die feste Kruste erstarrte und die unter ihr liegenden Silikatmassen schnell sich abkühlten, übertraf allmählich die Kieselsäure das Wasser in bezug auf Stärke als Säure, die Hydrate setzten sich mit der stark überschüssigen Kieselsäure in den oben liegenden leichten und sehr sauren Silikatmassen (Graniten) zu Wasser und Silikaten um. Ähnliches geschah mit der Kohlensäure, wozu die Flüchtigkeit des Wasserdampfes und der Kohlensäure stark beitrug. Die oben liegenden sauren Silikate im Erdmagma wurden entgast und gaben Wasserdampf sowie Kohlensäure an die Gashülle der Erde ab. Die Abkühlung und Entgasung schritt immer weiter vorwärts; die Kruste wurde dichter, und so entstand die jetzige Atmosphäre der Erde. Der Stickstoff war vermutlich schon früher in der Erdatmosphäre vorhanden, wenn nicht als freier Stickstoff, so doch als Cyan, gebunden an Kohlenstoff, wie jetzt in den Kometen und in der Sonnenatmosphäre. Außerdem können wir mit einer Zufuhr von Stickstoff in Form von Cyanverbindungen aus dem Erinnern rechnen, die sich ebenso wie das vorher in der Luft vorhanden gewesene Cyangas allmählich in der kühlen Atmosphäre zersetzten.

Auf diese Weise werden noch immer Wasser und Kohlensäure in vulkanischen Gebieten zur Erdluft hinaufbefördert. In geringerem Grade gilt dasselbe für Schwefelwasser-

stoff und Chlorwasserstoff. Diese letzteren Gase setzten sich aber mit den im warmen Wasser, das sich auf der Erdoberfläche kondensiert hatte, gelösten Silikaten um, der Schwefelwasserstoff teilweise mit dem neugebildeten Sauerstoff zu Schwefelsäure. Immer neue Mengen von Wasserdampf und Kohlensäure gingen in die Luft hinein. Der Wasserdampf wurde zu Ozeanwasser verdichtet, die Kohlensäure zu Kohle und Sauerstoff umgesetzt und später von den Schalentieren in ihren Schalen als Karbonate niedergeschlagen, welche hernach zum Ursprung großer sedimentärer Erdschichten wurden.

Bei der weiteren Abkühlung entstanden Hohlräume in der Erde und große Teile der Erdkruste stürzten ein, wobei meistens geradlinige Erdspalten gebildet wurden. Diese sind der Hauptsitz der vulkanischen und Erdbebenerscheinungen. Je dicker die Kruste wird, um so langsamer erfolgt die Abkühlung des Erdinnern und damit die Entgasung und der Zufluß von Wasser und Kohlensäure, den beiden Bedingungen des organischen Lebens. Diese Stoffe werden auf der anderen Seite durch den Pflanzenwuchs und die Verwitterung (Bildung von Karbonaten und Hydraten) verzehrt. Zuletzt wird die Zufuhr geringer als die Verluste durch Verwitterung. Das Wasser und die Kohlensäure verschwinden allmählich von der Erde. Und zwar ist die Kohlensäure in dieser Hinsicht viel größeren relativen Schwankungen ausgesetzt als das Wasser, da die Kohlensäuremenge in der Luft und im Meer nur etwa so groß ist wie die Wasserdampfmenge der Luft, welche etwa nur ein Hunderttausendstel von der Masse des Ozeanwassers beträgt. Die Menge Calcium-

karbonat, welche jährlich dem Ozean zugeführt wird, beträgt etwa 2700 Millionen Tonnen, was etwa 1600 Millionen Tonnen Kohlensäure entspricht. Die Kohlensäuremenge der Luft beträgt 2,3 Billionen Tonnen. Die Verwitterung genügt also, um die Kohlensäure der Luft in etwa 1400 Jahren zu verbrauchen. Nimmt man noch die freie Kohlensäure des Meeres hinzu, so wird der gesamte Kohlensäurevorrat nur etwa 9000 Jahre auslangen, wenn keine Zufuhr vom Erdinneren stattfindet. Chamberlin kommt durch seine Schätzungen zu einer etwa sechsmal größeren Zahl, d. h. 60 000 Jahre. Es möge hier bemerkt werden, daß der Pflanzenwuchs auf der Erde jährlich etwa ein Fünfzigstel der Kohlensäure der Luft verbraucht. Der unvergleichlich größte Teil der in Pflanzenteilen aufgespeicherten Kohle kehrt aber bei der Vermoderung oder Verbrennung der Pflanzen zur Atmosphäre in Form von Kohlensäure zurück, so daß der Vegetationsprozeß in bezug auf Kohlensäureverbrauch ungefähr mit dem Verwitterungsprozeß wetteifern kann. Die jetzige Verbrennung von fossiler Kohle deckt diese Verluste von Kohlensäure aus der Luft ungefähr zehnmals; von diesem für uns wichtigen Prozeß, der nur eine geologisch genommen recht kurze Zeit andauern kann, wollen wir hier absehen.

Wir kommen also zu dem Schluß, daß die Kohlensäuremenge der Luft bei der Erstarkung der Erdkruste allmählich abnehmen muß, was mit anderen Worten dasselbe sagen will, wie, daß die vulkanischen Erscheinungen durch die „Verpanzerung“ der Erde allmählich zu Ende laufen werden. Wie ich mehreremal hervorgehoben habe, wird die Temperatur dadurch sinken und die Menge des Wasserdampfes in der Luft

abnehmen. Dagegen wird der Verbrauch des Wassers, d. h. die Austrocknung des Weltmeeres zufolge der Verwitterung, außerordentlich viel langsamer erfolgen.

Lowell versucht nun zu zeigen, daß die Austrocknung verschiedener Teile der Erde sehr geschwind vor sich geht. Die Wüsten von Arizona, die er selbst beobachtet hat, und der Sahara, woher Karthago einst einen großen Teil seiner Reichtümer bezog, waren vor nicht allzu langer Zeit zum großen Teil bewaldet. Palästina und Mesopotamien, die einst so fruchtbar waren, sind jetzt verwüstet. Man könnte hinzufügen, daß die einst so blühende Kultur im Inneren Asiens vom Wüstensand begraben worden ist. „In einer auffallenden Weise zeigt uns dies, mit welcher Geschwindigkeit die Wüste den bewohnbaren Teil der Erde erobert.“

Lowell scheint hier ein Opfer der Neigung zu sein, Unglücke für die nächste Zukunft vorauszusagen. Wir wissen nämlich auch, daß Europa nach dem Ende der Eiszeit ein trockenes Steppenklima besaß, und das Klima von Westeuropa hat sogar in historischer Zeit einen mehr maritimen und feuchten Charakter angenommen. Dasselbe gilt in noch höherem Grade für Island und Grönland, wodurch diese Länder an Bebaubarkeit sehr stark gelitten haben. Die Verwüstung Mesopotamiens und vieler anderer Länder beruht ohne Zweifel darauf, daß die künstliche Bewässerung dort sehr stark zurückgegangen ist. Diese Versandung wird durch die enormen Irrigationsanlagen in Nordamerika bald kompensiert werden. Ohne Zweifel wird auch die Menschheit in nicht allzu ferner Zukunft die alten Kulturgebiete in Asien

und Afrika von der Wüste zurückerobern, was in hohem Grade schon in Ägypten und Algier unter europäischer Leitung geschehen ist.

Die Geologen sind darüber einig, daß während der letzten Eiszeit ein viel feuchteres Klima in den nördlichen Tropen herrschte, wo jetzt die großen Wüsten sich ausbreiten. Seitdem sind diese Weltgegenden, die unter den sogenannten Roßbreiten liegen, allmählich mehr und mehr ausgetrocknet. Die große Trockenheit beruht auf dem stetigen Heruntersinken von Luft, die dadurch heiß und trocken wird. Es gibt unzählige Spuren von Wüstenklima in älteren geologischen Epochen, vor allem die häufig vorkommenden sogenannten Dreikanten, d. s. von dem mit dem Wind herumgetriebenen Wüstensand abgeschliffene Steine. Auch die in vielen Weltgegenden, z. B. in Mitteleuropa, vor allem in Deutschland, vorkommenden mächtigen Salzablagerungen sind durch Eindunstung von großen Meeresbuchten unter dem Einfluß starker Trockenheit entstanden, wie dies jetzt in der südöstlichen Bucht, Karabugás, des Kaspischen Meeres geschieht.

Wenn also die Austrocknung nur äußerst langsam und vermutlich erst in Millionen von Jahren in deutlich merklichem Grade fortschreiten wird, so muß sie doch einmal zum Versiegen des Weltmeeres führen. Die Verhältnisse auf der Erde werden dann ungefähr dieselben werden, wie jetzt auf dem Mars. Große Wüsten werden den Hauptteil der Planetenoberfläche erfüllen, die Berge werden durch den Wüstensand abgeschliffen sein, so daß nur allmähliche Steigungen oder Senkungen zu den höchsten oder niedrigsten Punkten auf dem Festlande führen. Das Ganze ein Wüstenmeer wie

die Sahara. Die Spalten in der Kruste sind zu flachen Vertiefungen versandet, in welchen leicht austrocknende seichte Salzseen in langen Reihen liegen. Dies entspricht den Kanälen auf dem Mars. Die winzigen Wassermassen auf dem Festland destillieren zu dem Pol hinüber, welcher in Winter nacht liegt, und bedecken ihn mit einer dünnen Haut von Reif oder Schnee. Streichen die Wasserdämpfe über die austrockneten (und in dem Falle des Mars ausgefrorenen) Salzseen, so ziehen die hygroskopischen Salze Wasser an, werden feucht und erscheinen dunkel gegen den Wüstensand.

Auch die anderen Luftgase werden allmählich dahinschwinden. Der Sauerstoff wird bei der Verwitterung verbraucht, besonders zur Oxydation von Eisenoxydulverbindungen. Vom Himmelsraum stürzen Meteoriten, die, wie gesagt, reduzierender Natur sind, herunter und werden oxydiert. Sie bedecken die Oberfläche des sterbenden Planeten mit einer ockerfarbenen Schicht von Eisenoxyd, wie wir es jetzt auf dem Mars beobachten können. Der Stickstoff wird durch die elektrischen Entladungen, die von dem Hineinfallen elektrisch geladenen Sonnenstaubs herrühren, zu Nitraten oxydiert, welche nicht, wie auf den größten Teilen der Erde, von Pflanzen auf dem Festland oder Meeresalgen assimiliert und zum Kreislauf nach dem Tode der Pflanzen zurückgeliefert werden, sondern wie in den Wüsten Chiles im Erdreich aufgespeichert bleiben.

Mit wenigen Worten, die Atmosphäre sowie die Hydrosphäre der Planeten schwindet langsam hin, und wir erhalten Verhältnisse der Art, wie sie auf dem Mars herrschen. Blicken wir noch in derselben Richtung weiter, so kommen wir zu-

letzt zu Verhältnissen, welche denen des Mondes entsprechen. Auch dieser Himmelskörper besaß anfänglich, als er von der Erde abgelöst wurde, ohne Zweifel eine dichte Gashülle. Er behielt dieselbe eine Zeitlang, obgleich er allmählich sehr viel nach außen, und speziell an die Erde, verlor. Ablagerungen, die man für vulkanische Asche hält, welche gegen Tausende von Kilometern von der Krateröffnung mit dem Winde geschleppt worden sind, deuten auf eine verschwundene Lufthülle. Zu der Zeit gab es auch „Kanäle“ auf dem Mond, wie jetzt auf dem Mars. Es sind dies die sogenannten Strahlensysteme, von denen die bedeutendsten von den Ringgebirgen Tycho und Copernicus, auslaufen, die den Einsturzstellen, d. h. den „Seen“ auf dem Mars entsprechen. Diese ursprünglichen Verwerfungen, die wie alle Krustenspalten, unabhängig von der Topographie verlaufen, sind durch den hellen Wüstensand und Staub eingeebnet, so daß sie wie lichte Strahlen auf dunklerem Grund erscheinen. Nach dem fast vollständigen Verschwinden der Lufthülle, zufolge der Verwitterung, wurden die winzigen Reste durch die Molekularbewegung oder durch Kondensation an den kältesten Stellen der Mondoerfläche (in der Umgebung der Pole) aus der Lufthülle entfernt. Zu dem Verschwinden durch Molekularbewegung trägt in hohem Grade die durch keine wärmeabsorbierende Dunsthülle oder Wolken, bzw. Staub, behinderte kräftige Sonnenstrahlung an dem Punkt bei, welcher der Sonne am nächsten liegt, und wo die Temperatur auf etwa 150° C. steigt. Bei der geringen Schwerkraft wird die Temperatur des aufsteigenden Gasstromes, d. h. die Geschwindigkeit der hinausstürzenden Moleküle, sehr wenig herabge-

setzt. Auch in der Lufthülle der Erde ändert sich die Temperatur in 13 000 m Höhe sehr wenig — sie wird als konstant angegeben. Wenn dies bis zu beliebig hohen Punkten der Luft gelten würde, so würde die Lufthülle keine äußere Begrenzung besitzen oder mit anderen Worten, sie würde unablässig Moleküle in den leeren Raum hinaussenden. Die Berechnung lehrt uns jedoch, daß bei der niedrigen Temperatur (etwa 180° abs.) die Verluste keine praktische Bedeutung haben. Die Verhältnisse auf dem Mond sind ganz andere, mehr als doppelt so hohe Temperatur (am wärmsten Punkt) und sechsmal geringere Schwerkraft.

Die Entwicklung der Erde nach den Befunden der Geologen steht in Übereinstimmung mit dieser allgemeinen Übersicht. Im allgemeinen kann man wohl sagen, daß eine, obwohl recht geringe, Abkühlung stattgefunden hat, welche dem allmählichen Versiegen der Sonnenwärme entspricht. Diese Abkühlung hat jedoch viel langsamer stattgefunden, als man anzunehmen geneigt wäre. Die Zeit, während welcher die Erde lebendige Wesen beherbergt hat, deren Reste in erkennbaren Fossilien bis zu unserer Zeit bewahrt sind, ist durch eine erstaunlich konstante Temperatur gekennzeichnet. Die riffbildenden Korallen gediehen in der silurischen Epoche in Schweden. Zu mehreren Zeitepochen ist dieses warme Klima in den nördlichsten Gegenden wiedergekehrt, so daß riffbauende Korallen beispielsweise auf Spitzbergen gefunden wurden. Die Temperatur muß auf den Fundstellen, nach den Existenzbedingungen dieser Tiere in der Jetztzeit zu urteilen, nicht niedriger als 20° gewesen sein. Es herrschte in solchen Epochen ein sehr gleichmäßiges Klima über der ganzen Erde,

so daß die Flora und Fauna überall denselben Charakter aufwiesen. Trotzdem muß man wohl eine höhere Temperatur am Äquator annehmen, so daß die damalige mittlere Temperatur der Erde wohl kaum niedriger als etwa 25° , also etwa 10° höher als die jetzige geschätzt werden kann. Dazwischen kamen aber Eiszeiten mit bedeutend herabgesetzter Temperatur nicht nur in den Polargegenden, wo der Unterschied am fühlbarsten war, sondern, wie es scheint, auf der ganzen Erde. Früher nahm man nur eine solche Zeit an, die sogenannte große Eiszeit, die außerordentlich auffallende Denkmäler hinterlassen hat, und, geologisch gesprochen, unmittelbar vor unsrer Zeit kam. Mehr als 50 000 Jahre dürften nicht verflossen sein, seitdem die ganze skandinavische Halbinsel eisbedeckt war. In letzter Zeit hat man Spuren von stark entwickelten Eiszeiten in weit zurückgelegenen Zeitperioden aufgefunden. Mit erheblicher Sicherheit scheint die Eiszeit in der permischen Periode konstatiert zu sein, und jetzt nimmt man in geologischen Kreisen allgemein an, daß am Ende der sehr weit zurückliegenden paläozoischen Zeit — des ersten, obwohl längsten Abschnittes der fossilführenden Perioden — eine, wenn auch relativ kurze, Eiszeit vorherrschte. In der Zwischenzeit kamen für uns sehr wichtige Perioden mit ungeheurem Pflanzenwuchs, wozu enorme Regenmengen erforderlich waren, sowie ein sehr gleichmäßiges marines Klima mit — nach Frechs Schätzung — etwa 12° mittlerer Wärme, wobei die Pflanzenreste in Tonschlamm eingebettet und langsam in Braunkohle und Steinkohle verwandelt wurden. Das Vorkommen von Palmen und Sumpfpflanzen sowie von Ginkobäumen in solchen Ablagerungen in Mitteleuropa und

auf Spitzbergen sowie an anderen circumpolaren Fundplätzen fossiler Kohle deutet auf ein außerordentlich feuchtes Treibhausklima von subtropischem Charakter. Mit diesen Zeiten wechselten trockne Wüstenzeiten ab, in denen die klimatischen Zonen wohl ausgeprägt waren.

Diese lange Zeit, die von den Geologen auf etwa 100 Millionen Jahre geschätzt wird, die aber nach den wohl sichereren Bestimmungen der Radiologen, speziell *Strutts*, die die Menge des in alten Mineralien oder Gesteinen eingeschlossenen, aus dem Urangehalt entstandenen Heliums der Berechnung zugrunde gelegt haben, wenigstens dreimal so lange gedauert hat, ist also durch eine relativ geringe Änderung der Temperaturverhältnisse charakterisiert. Wir wenden uns nun noch zur Betrachtung der typischen klimatischen Verhältnisse auf unserer Erde, die viel mehr durch Verschiedenheit der Feuchtigkeit als der Temperatur ausgeprägt sind. Die Alterssymptome sind das Verschwinden der Feuchtigkeit, wozu eine starke Kälte durch Bildung von sogenanntem fossilen Eis viel beiträgt. Die Erde lebt in einer Übergangszeit, in welcher kein Extrem ganz vorwiegt, sondern die beiden Möglichkeiten, obwohl nicht so stark ausgeprägt, neben- und nacheinander vorkommen.

Das feucht-warme Treibhaus-Klima, welches wohl in der Vergangenheit häufiger als jetzt auftrat, ist jetzt auf die tropischen Gegenden beschränkt. Speziell sind die zum Kongogebiet gehörigen Teile Afrikas und das Innere Brasiliens am Amazonenstrom durch dieses Klima und ein damit verbundenes fabelhaftes Pflanzenwachstum ausgezeichnet. Ich entlehne der klassischen Arbeit unsres größten jetzt lebenden

Klimatologen, Julius Hann, eine (verkürzte) Schilderung dieses Klimas. „Der Wechsel der Temperatur ist äußerst gering zwischen 0,5 und etwa 5, im Mittel etwa 3,5 Grad, zwischen dem heißesten und dem kältesten Monat. Der Unterschied zwischen Tag und Nacht ist etwa 3 mal größer (9,5°). In Kongo werden die trocknen Zeiten gegen den Äquator hin immer kürzer, in Equatorville und Bangala bleiben sie gänzlich aus. In den regenlosen Monaten liegt ein dichter nässender Nebel morgens und abends über den Savannen. Nicht selten verdunkeln gleichförmige tief hängende Wolken wochenlang die Sonne. Nur die Regenzeit gewährt in den Pausen zwischen dem Regen den Anblick eines klaren Himmels. Die Regenzeit wird eingeleitet und abgeschlossen durch großartige Gewitter, die von Osten kommen. Lulua-burg hat jährlich 106 Gewittertage. In der Trockenheit bringt die Brise Staubregen aus West. Die Bewölkung ist im ganzen Kongogebiet sehr groß und es gibt eigentlich keine heiteren Monate. Die mittlere Bewölkung ist in Vivi 7,4, wechselnd zwischen 8,3 im November und 6,3 im August. Die Feuchtigkeit ist groß (Jahresmittel in Vivi 75, wechselnd zwischen 79 und 70 Prozent, in Bolobo erreicht das Jahresmittel 79 Prozent). Während der Regenzeit ist die Hitze zuweilen unerträglich drückend, erstickende Gerüche werden von den in der starken Feuchtigkeit vermodernden Pflanzenresten ausgehaucht. Der Jahresniederschlag ist nicht sehr groß; er schwankte zwischen etwa 120 und 180 cm. Im nahegelegenen Gabun herrscht während der Trockenzeit fast beständige Bedeckung des Himmels.“

„Die entsprechenden Gegenden Südamerikas sind teil-

weise durch noch größere Feuchtigkeit gekennzeichnet. In Iquitos am Amazonasstrom erreicht die mittlere relative Feuchtigkeit 83 Prozent. Die Jahresschwankung ist nur etwa 5 Grad, in Pará (1,08 südl. Br. a. d. Küste) sinkt sie sogar auf 1 bis 1,5 Grad. Die Tagesschwankung ist meistens viel größer. In der Regenzeit ist der Himmel zwischen den Regengüssen sehr rein. Im Inneren Guyanas herrscht die Regenzeit von Ende April bis in den Juli oder August. In der Trockenzeit herrscht starker Tau, welcher die Feuchtigkeit aufrecht erhält. Die Sonne und der Mond sind selten sichtbar. Ungeheuerliche Gewitter kennzeichnen den Anfang der Regenzeit.“

Wenn wir diese Feuchtigkeits- und Wolkenverhältnisse stark erhöhen, haben wir ein Klima, wie es vermutlich bei der Ablagerung der fossilen Kohlen herrschte und noch auf der Venus vorwaltet. Ständige Wolkenbedeckung, triefende Nässe auch während der regenlosen Zeit, kein nennenswerter Wechsel der Temperatur zwischen Pol und Äquator, zwischen Sommer und Winter noch zwischen Tag und Nacht (dies eine Folge der dichten schützenden Wolkenhüllen), starke Regengüsse zur Regenzeit, vermutlich von kräftigen Gewittern begleitet. Wegen der großen Feuchtigkeit tritt keine merkliche Tageshitze in den niederen Luftschichten auf; die Luft stagniert, die Abnahme der Temperatur mit der Höhe ist gering. Die Sonnenstrahlung trifft die Wolken, die viel höher als unter den uns bekannten Verhältnissen sich ausbreiten. Sie verursachen dadurch enorme Luftströme in den höheren dünneren Luftschichten, wodurch ein starker Ausgleich der Temperaturverhältnisse zwischen verschiedenen

Breitengraden zustande gebracht wird. Die isotherme Schicht, wo gleichmäßige Temperatur in allen Höhenlagen und auf allen Breitengraden obwaltet, liegt viel höher in der Luft als wir jetzt beobachten. Die starke Wolkenbildung verleiht der Luft eine bedeutende Wärmekapazität, die mit derjenigen der oberen Schichten des jetzigen Weltmeeres vergleichbar wird, starke Wärmeschwankungen verhindert und auf diese Weise ein über dem ganzen Planeten herrschendes maritimes Klima hervorbringt. Nur ist die feuchte Luft wegen ihrer leichten Beweglichkeit viel wirksamer als das Wasser. Natürlicherweise findet doch ein Unterschied, obgleich sehr mäßig, zwischen Äquator und Pol statt. In den mäßiger warmen Gebieten, wo die Vermoderung nicht allzu schnell fortschreitet, findet die hauptsächlichliche Bildung von Steinkohlen in den Sümpfen statt. Wegen des unveränderlichen Klimas brauchen die Tiere und die Pflanzen keine Anpassungsvorrichtungen für die verschiedenen Jahreszeiten. Kryptogamen und niedere Tiere kommen allein vor und ungefähr dieselben Arten sind über den ganzen Planeten ausgebreitet. Die reichlich vorhandene Nahrung erzeugt Riesenformen.

Auf der Venus ist die Hitze wegen der Nähe der Sonne sehr groß. Die Welt ist da vermutlich nicht so weit vorge-schritten, daß Fossilien gebildet werden, sondern die weichen Reste der niedrigen Organismen vermodern oder, wenn sie in Tonschlamm eingebettet der Wirkung des Sauerstoffs ent-rückt werden, gehen sie in kleine Kohlenklumpen über, die nachher in graphitartige Massen verwandelt werden, sobald die Gesteine durch schützende Ablagerungen hohem Druck und den Wirkungen der inneren Glut des Planeten aus-

gesetzt werden. Die Kruste ist noch dünn und gewaltige Naturrevolutionen kommen bei ihrer Zerbröckelung vor. Vielleicht ist in der Nähe der Pole die Welt etwas weiter fortgeschritten, die Kruste etwas dicker und die für Entstehung höherer Formen nötige Stabilität ein klein wenig mehr gesichert. Von da breitet sich die höhere Kultur, wenn wir so sagen dürfen, welcher die Zukunft gehört, allmählich weiter gegen den Äquator aus.

Das andere Extrem, welches großer Trockenheit entspricht, finden wir in den ausgedehnten Wüsten unter den Roßbreiten, wo die heiß-trockne Luft von dem wolkenfreien Himmel stetig hinuntersinkt, In unsrer Zeit hat S v e n H e d i n besonders eingehend diese Gegenden in Asien geschildert. Sie befinden sich in einem Stadium von Austrocknung seit der in diesen Gegenden regenreicheren Eiszeit, die vor kurzem herrschte. Aber in historischer Zeit (seit dem Alexander-Zuge nach Indien) ist, wie H e d i n hervorhebt, die Änderung kaum merklich, ebensowenig wie in Palästina, obgleich die Kultur wohl seit den alten Zeiten sehr zurückgegangen ist, und die Wüste wegen der Nachlässigkeit der Feldbearbeitung stark um sich gegriffen hat. Das in diesen Gegenden wie in der Nord-Sahara zur Eiszeit regenreichere Klima war wohl darin begründet, daß das arktische Klima wegen der riesigen eisigen Polarkappe, die sich in Europa bis zum 50. Breitengrad erstreckte, noch bis zum Mittelmeer vorherrschte. Dadurch wurden die Windverhältnisse südlich von der Eiskappe beeinflußt und erhielten das wechselnde unstetige Gepräge, welches dem temperierten Klima eigentümlich ist, so daß die Roßbreiten, welche das Wüstenklima bedingen, nach dem

Süden verschoben wurden. Ähnliches gilt für Nordamerika, wo der große Bonneville-See sich in den jetzigen Wüsten von Utah, Nevada und Idaho ausbreitete. Auf der Südhalbkugel, wo die Eisverhältnisse nicht so stark von den jetzigen verschieden waren, und wo die Wüstengebiete in Australien und das Wüsten- und Steppengebiet in Südamerika sich erstrecken, war die Eiszeit gerade durch eine sehr große Trockenheit ausgezeichnet, in der die Riesentiere Südamerikas verdursteten. Es steht dafür zu vermuten, daß die äquatornäheren Teile der Wüsten sich damals weiter ausbreiteten als jetzt.

In den Wüsten ist wegen des Fehlens von schützendem Wasserdampf und von Wolken, der Temperaturunterschied zwischen Tag und Nacht enorm. Die Felsen zerbersten auf ihrer Oberfläche infolge der mit dem schnellen Temperaturwechsel verbundenen heftigen Spannungen in ihren Außenteilen. In den Bergen, wo mehr Tau und Regen fällt, dringt die Feuchtigkeit in die Risse ein, friert in der Nacht und sprengt Blöcke ab. Die abgespaltenen Stücke werden von der Sonne weiter in demselben Sinne bearbeitet und die Bergmassen zerfallen in Sand, der, vom Winde getrieben, die aus dem Sande hervorragenden Felsenreste abfeilt. Von den alten Felsen stehen nur verfallene Ruinen da, verbrannte, sterile Andeutungen eines alten Hochlandes. Der feine Wüstenstaub bleibt in Ostturkestan nach Stürmen mehrere Tage lang in der Luft schweben und verursacht prachtvolle rote Sonnenauf- und -untergänge. (Ich habe selbst in Utah die Farbenpracht des Wüstenhimmels beim Sonnenuntergang beobachtet). Der herumwirbelnde Flugsand türmt sich zu Dünen auf, die in der herrschenden Windrichtung wandern. Der Sand ist

eisenhaltig und hat deshalb eine rote, in feiner Verteilung rotgelbe Farbe. Bei Benetzung wird er braun bis schwarz. Nach Regenfällen sickert das Wasser talabwärts und führt den feinen Sand als Schlamm mit. Zuzufolge der Trockenheit dunstet das Wasser ein, das Ganze verwandelt sich in einen plastischen schwarzen Teig, welcher talabwärts wie ein Gletscher langsam wandert, bis er in eine große flache Depression mündet, die er ausfüllt. Er wird in Persien Kevir genannt; er trocknet auf der Oberfläche, bleibt aber im Inneren feucht. Wegen der starken Verdampfung wird er in dem Kevir-See stark salzig, so daß weiße Salzkrusten aus ihm während der Trockenzeit ausblühen. An anderen Stellen, im Tarim-Becken, tritt das Wasser bisweilen an den tiefsten Stellen, den sog. Bajirs, die Kevir-Seen sind, und in Salzseen zwischen den Sanddünen zutage. Diese flachen salzigen Seen versanden schnell und verschieben sich in der Richtung der Dünen. Sie liegen mit ihren Längsachsen zueinander parallel und fast senkrecht zum Lauf des Tarim-Flusses, auf dessen rechtem Ufer. In der Fortsetzung der Salzseeachsen liegen die Bajirs in langen Reihen. Diese Erscheinung beruht auf der Dünenbildung. Die Hauptdünen mit steiler Westseite ziehen von NNO nach SSW, und ihre Richtung wird von der vorherrschenden Windrichtung bestimmt, die nach H e d i n senkrecht zu ihnen steht. (Andere meinen, daß die Windrichtung diesen Dünen entlang verläuft.) Fast senkrecht gegen diese Hauptdünen erstrecken sich andere niedrigere Dünen. Dadurch entstehen langgestreckte Zellen, die schachbrettartig geordnet sind, mit ebenem Boden, sogenannte Trockenbecken, Bajirs, die jedoch feucht und oft Morasten ähnlich sind. Das Ganze erinnert in

einer auffallenden Weise an die sogenannten Schäfchen-Wolken, Cirrus, die in zwei einander kreuzende Richtungen zerlegt sind, wovon die eine stärker als die andere hervortritt. Die einzelnen Wolkenzapfen entsprechen den Bajirs. Diese Wolken entstehen durch zwei einander kreuzende Wolkenzüge und entsprechen gewissermaßen dem Schaum auf den Wellenkämmen der Meereswogen. Offenbar sind ebenso die Hauptdünen durch die kräftigen Winde verursacht, welche die schweren Sandmassen zu bewegen fähig sind, während die fast senkrechten kleinen Dünen von einem schwächeren Wind, der nur die leichteren Körner mitzuschleppen vermag, aufgebaut sind. In der Nähe der Depression des Tarimbeckens sind sie am schärfsten ausgeprägt und liegen auf der südlichen Seite des Flusses; im allgemeinen, sagt H e d i n , liegen die Flugsandfelder am Südufer von Seen oder großen Flüssen.

Kehren wir aber zu dem persischen Kevir zurück. Der große Kevir-See ist 500 km lang und 200 km breit, wo er am ausgedehntesten ist. Seine Oberfläche wird von H e d i n auf 55 000 Quadratkilometer, d. h. gleich der Größe des Michigansees geschätzt. Durch die stetige Salzzufuhr der Kevirflüsse und die Verdunstung des Wassers bildet sich im Inneren des Kevirs nahe der Oberfläche eine Salzkruste von wechselnder Mächtigkeit. An einer Stelle ließ H e d i n ein Loch mit einem Eisenstab hineinhamern. Oben lag eine dezimeterdicke Schicht von nassem Tonschlick, darunter eine 7 cm dicke Salzkruste, welche auf einer halbtrocknen 15 cm dicken Schicht von Ton ruhte. Darunter wird er nasser, je tiefer man eindringt, und wenn man nicht aufgepaßt hätte, würde der Eisenstab in dem Schlick verschwunden sein. B u h s e unter-

suchte die (nach trockenem Wetter) ziemlich feste graugelbe Kruste, welche aus 50 Proz. Sand (der unlösliche Teil: wohl Quarzsand), 16,7 Proz. Kohlensäurem Kalk, 6,1 Proz. Eisenoxyd, 5,3 Proz. Kochsalz, 2,5 Proz. Natriumsulfat und 2,1 Proz. Tonerde bestand. Nach Regen verwandelt sich das Ganze in plastischen Schlick, der intensiv an den Kleidungsstücken des Wanderers und an dem Körper der darin ausgleitenden Kamele haftet. Nicht die geringste Spur von Vegetation noch von anderen Lebewesen ist da zu sehen. Am Rande, im Übergangsgebiet zum festen Boden kommen abwechselnd sehr flache Vertiefungen und Erhebungen vor.

Der Kevir kämpft mit dem Flugsand, wie in Ostturkestan das Wasser mit dem Flugsand. Der Sand gewinnt an Boden. Nach Sandstürmen sind häufig große Teile des Kevirs von gelbem Wüstensand bedeckt. „Mit der Zeit“, sagt H e d i n, „wird durch die Austrocknung das Schlickbad des Kevirs sich verfestigen und mit Flugsand bedecken, so daß der Kevir endlich in eine Sandwüste, welche derjenigen von Ostturkestan ähnelt, sich umwandelt.“ Umgekehrt kann man daraus schließen, daß Ostturkestan, nachdem es ein Teil des zentralasiatischen Mittelmeeres gewesen ist, nach und nach von fein verteiltem Verwitterungsmaterial derselben Art wie des jetzigen Kevirs ausgefüllt wurde. Dieser von oben erstarrende See von nassem Schlick und Ton wurde zuletzt so trocken und hart, daß seine Oberfläche die Belastung des hineinrückenden Sandes auszuhalten vermochte . . . Daß der Sand in älteren Zeiten geringere Ausdehnung als jetzt gehabt hat, geht aus den archäologischen Entdeckungen hervor, die ich (H e d i n) und andere Reisende in Ostturkestan gemacht haben.

Der feste Grund, welcher in den Bajirs der Tschertschen-Wüste bloßgelegt ist, erinnert lebhaft an den Kevirboden. In beiden Fällen besteht er aus feinem dunklen (salzigen) Staub, welcher eine fast flache Ebene bildet. In allen beiden diesen Fällen verwandelt sich der Boden mit Wasser in ein Schlickbad. In Ostturkestan liegt das Grundwasser in größerer Tiefe, und da Regen dort sehr selten ist, kann man ungestraft über den Bajirboden schreiten.“

Diese Bildungen sind sehr interessant, weil sie uns die Geschichte eines austrocknenden Planeten vorführen. K h a - n i k o f f i, der in den Jahren 1858 bis 1859 als Chef einer von der geographischen Gesellschaft zu St. Petersburg ausgerüsteten Expedition diese Gegend Persiens besuchte, gibt folgende malerische von H e d i n wiedergegebene Schilderung: „Endlich, am Morgen des 4. April, hielten wir in erdrückender Hitze bei Bala-haus an. An dieser Stelle konnte man einige Spuren einer ruinierten Wasser-Zisterne sehen, die längst alles Wasser verloren hatte. Hier hatte die Wüste den vollkommenen Charakter des „verdammten Landes“, wie die Eingeborenen sie benennen, angenommen. Nicht der geringste Grashalm, kein Zeichen von Tierleben erfreute das Auge, nichts als das Geräusch des Karavans störte die düstere Stille dieser Vernichtung . . . Ich setzte mich an den Fuß dieser Sandanhäufung (einiger Sandhügel genannt Kellehper), aber nie werde ich das Gefühl von Traurigkeit und Niedergedrücktheit beschreiben können, das mich bei dem Anblick der schrecklichen mich umgebenden Einöde überwältigte. Zerstreute Wolken verdunkelten die Sonne, aber die Luft war heiß und schwül. Das diffuse Licht beleuchtete mit verzweifelter Ein-

tönigkeit den gräulichen stark erhitzten Wüstenboden und bot kaum eine Farbenvariation auf der enormen Fläche, welche der Blick beherrschte. Die absolute Unbeweglichkeit in allen Punkten dieser trauergebundenen Landschaft, vereinigt mit einem vollkommenen Mangel an Lauten, machte einen niederdrückenden Eindruck; man fühlte, daß man sich in einem Erdteil befand, der zu ewiger Abwesenheit von allem Leben verurteilt war und wohin das organische Leben nur durch eine entsetzliche Naturrevolution zurückkehren könnte. Man war sozusagen Zeuge des beginnenden Todeskampfes des Planeten.“

Nach dieser Schilderung der irdischen Wüste können wir uns die Verhältnisse auf dem Mars vorstellen. Nur müssen wir bedenken, daß die Temperatur da viel niedriger ist als auf der Erde. Früher glaubte man, weil man deutlich wahrnimmt, wie der Schnee oder Reif von den Polarkappen verschwindet und die naheliegenden Gegenden von Feuchtigkeit dunkel werden, daß die Temperatur des Mars, die als sehr gleichmäßig aus verschiedenen Gründen angenommen wurde, über dem Gefrierpunkt des Wassers liegt und im Mittel etwa 10° C. beträgt. Dieser Vorstellung machten die Untersuchungen von Campbell ein Ende. Er richtete das mit photographischer Kamera versehene Spektroskop gegen die äquatorialen Teile des Mars, welche in vollster Sonnenglut lagen. Trotzdem konnte er keine Spuren von Wasserdampf mehr entdecken als in dem Spektrum des wasserlosen Mondes. Campbell schließt daraus, sowie aus dem Wasserdampfgehalt der Luft an der Beobachtungsstation, dem Gipfel des Mount Whitney, des höchsten (4420 m) Berges in den Ver-

einigten Staaten Nordamerikas, daß nicht mehr als etwa 0,4 g Wasserdampf pro Kubikmeter in der Marsluft an der Oberfläche des Planeten vorkommen kann. Wäre die Luft gesättigt, entspräche dies einer Temperatur von -28° C.; in einem ausgeprägten Wüstenklima, wie es auf dem Mars nach allem Anschein herrscht, ist die entsprechende Temperatur -17° C. (Dabei wird eine relative Feuchtigkeit von 31 Proz. angenommen; dieser Wert gilt für die Wüste Utahs im Sommer.) Dies entspricht demnach der mittleren Temperatur des Hochsommertages; im vollen Sonnenschein kann wohl die Temperatur, wie in den irdischen Wüsten, 20° höher ausfallen, d. h. die Gefriertemperatur des Wassers überschreiten, und in noch höherem Grad gilt dies für die Bodentemperatur. Diese Bestimmung nach Campbells Daten stimmt auffallend gut mit der von Christiansen ausgeführten Berechnung, wobei die Stärke der Sonnenstrahlung zu Grunde gelegt wird und eine mittlere Temperatur der Marsoberfläche von -37° C. herauskommt.

Das Wasser, welches nicht zur Verwitterung (Hydratbildung) verbraucht worden ist, hat sich demnach längst in fossiles Eis (Grundeis) verwandelt, welches ebenso wie die entsprechenden Ablagerungen auf den neusibirischen Inseln von dünnen lockeren Erdschichten überdeckt ist oder, mit Sand gemischt wie in dem nordsibirischen Erdboden, eine Art Gestein bildet, worin das Bindemittel aus Eis besteht. Das einzige Wasser, das noch auf der Oberfläche des Mars zum Vorschein kommt, ist dasjenige, was aus vulkanischen Spalten nachgeliefert wird, nach kurzem Umlauf in den Oberflächenbildungen sich aber bald dem gefrorenen Grundwasser zugesellt.

Eigentliche Meere und Flüsse gibt es deshalb nicht auf dem Mars. Die Herausmodellierung seines „Antlitzes“ geschieht deshalb so gut wie ausschließlich durch den mit den Winden verschleppten Wüstensand. Dieser ist wohl wegen des niedrigen Luftdruckes, der nach Lowells Schätzung (die geringe Schwerkraft wird dabei berücksichtigt) etwa 60 mm beträgt und wahrscheinlich noch niedriger ist, viel feiner als der Wüstensand auf der Erde, er wirkt trotzdem wie eine scharfe Feile. Solche Sandstürme von rotgelbem bis hellgelbem Wüstenstaub sind häufig über große Ausdehnungen der Marsoberfläche beobachtet worden, zum letzten Mal bei der günstigen Stellung des Mars im Herbst 1909 von Antoniadì. Der Staub verschleiert dabei alles, was man sonst auf der Marsoberfläche wahrnimmt.

Die Marsoberfläche wäre schon längst eingeebnet und von einem gleichförmigen Wüstenmeer mit Wanderdünen bedeckt, wenn nicht eine Schrumpfung des glühenden Marsinneren in ähnlicher Weise wie derjenigen des Erdinneren stattfände, wodurch ein ungleichmäßiges Nachsinken der Schollen der festen Kruste erfolgt. Da der Mars ohne Zweifel viel weiter in seiner Abkühlung als die Erde fortgeschritten ist — sein Halbmesser ist nur etwas mehr als halb so groß wie derjenige unseres Planeten, wozu eine niedrigere Oberflächentemperatur auf dem Mars kommt — so sind diese bergbildenden (orogenetischen) Kräfte dort ohne Zweifel viel weniger wirksam als hier. Sie beschränken wahrscheinlich ihre Wirksamkeit auf ein langsames aber ruckweise erfolgendes Nachrutschen in der Nähe der Krustenspalten, längs welchen die aus dem Inneren freiwerdenden Gase, vornehmlich Wasser-

dampf und Kohlensäure, aber auch etwas Schwefelwasserstoff und Chlorwasserstoff, entweichen. Diese Gase kondensieren sich zum größten Teil im naheliegenden Erdboden, laugen die Salze des Wüstenbodens heraus und bilden neue Salzungen, speziell Karbonate und Chloride. Die Karbonate krystallisieren größtenteils aus zugleich mit gelöster Kieselsäure und bilden zusammen mit feinem Schlamm einen relativ undurchdringlichen Boden, welcher das schnelle Versickern des Wassers verhindert. Die Chloride bleiben gelöst und bilden gesättigte oder fast gesättigte Lösungen, wie in vielen irdischen Salzseen, z. B. dem Südteil des Toten Meeres, dem großen Salzsee usw. Diese Lösungen der Chloride gefrieren erst bei niedriger Temperatur, so diejenige des Chlornatriums (Kochsalz) erst unter -21° , diejenige des Chlormagnesiums erst unter $-33,6$, diejenige des Chlorcalciums erst bei -55° . Bei Mischungen können die Temperaturen sogar etwas tiefer sinken, bevor das Ausfrieren erfolgt. Diese Salztümpel können sich demnach in flüssigem Zustande wenigstens während des Sommers auf dem Mars erhalten. Wie die Salzseen in den irdischen Wüsten sind sie ohne Zweifel äußerst seicht — H e d i n charakterisiert die Wüstenseen als papierdünn. Ihr Ausfrieren geschieht allmählich; zuerst friert Eis mit Karbonaten und Sulfaten aus, nachher kommt eine Randzone mit hauptsächlich Chlornatrium, dann eine mit hauptsächlich Chlormagnesium, und zuletzt der zentrale Teil mit seinem Inhalt von Chlorcalcium. In allen Zonen scheidet sich natürlicherweise auch Eis aus. Ähnliche zonenartige Ausscheidungen hat H e d i n in den Bajirs beobachtet. Sobald diese im Winter auskristallisierten Ablagerungen von Schnee

und Salzkristallen mit Wasserdampf von höherer Temperatur in Berührung kommen, ziehen sie diesen an und tauen in umgekehrter Ordnung auf. Die Farbe dieser feuchten Stellen ist, wie die des Kevirs oder der Bajirs, dunkler als der Wüsten-sand, vermutlich erteilt ihnen der aus den Krustenspalten austretende Schwefelwasserstoff infolge seiner Einwirkung auf Eisenverbindungen eine schwarze Farbe mit einem Stich ins Blaugrün.

Wie auf der Erde, sucht der Wüstenstaub aus den Umgebungen diese Salztümpel, wenn sie gefroren sind, zu verdecken, und tatsächlich beobachtet man, daß die dunkelblauen Stellen des Planeten im Winter die rote Wüstenfarbe annehmen. Wegen der geringen Mengen des Staubes auf dem Mars vermögen die Salzwässer beim Auftauen der Seen den Staub zu überdecken, so daß die Tümpel mit ihrer dunklen Farbe wieder sichtbar werden.

In jedem Jahre, das auf dem Mars fast doppelt so lang als auf der Erde dauert, verschiebt sich das wärmste Gebiet einmal vom Südpol zum Nordpol und zurück. Wenn die Erde keine wärmeabsorbierende oder -zurückhaltende Atmosphäre besäße, würde zur Sonnenwendezeit der belichtete Pol die meiste Wärme erhalten. Natürlicherweise würde diese Wärme zum Schmelzen des Polareises verwendet werden und die Temperatur nicht nennenswert über Null steigen. Auf dem Mars liegen die Verhältnisse anders. Der weiße Polar-fleck schwindet sehr schnell, wodurch angedeutet wird, daß er aus einem dünnen Reif besteht, mit Ausnahme jedoch der Umgebung des Nordpols und einer dreieckigen Insel in der Nähe des Südpols, von welchen Stellen man die weiße Farbe

nie hat schwinden sehen. Dort findet ohne Zweifel eine Art Gletscherbildung statt. Die Atmosphäre des Mars ist fast völlig wolkenfrei und enthält viel weniger Staub als die irdische Luft, die übrigens in der Nähe der Pole recht staubfrei ist (weil da keine große Temperaturgradienten mit darauffolgenden Winden vorkommen, auch zufolge der Wasser- und Schneebedeckung — ähnliches gilt ohne Zweifel für Mars). Die Sonnenwärme dringt also bis zum festen Boden und der belichtete Pol des Mars mit seinen Umgebungen wird die wärmste Gegend des Planeten, besonders da die Bestrahlung doppelt so lange wie auf der Erde dauert und keine merklichen Wassermassen die Wärme aufspeichern. (Die Neigung der Marsachse gegen die Ekliptik ist etwas größer als die Neigung der Erdachse — 27° anstatt $23,6^\circ$ —, was auch etwas zu diesem Resultat beiträgt.) Der Reif am Pol wird in Wasserdampf verwandelt, der wärmer ist als die Marsoberfläche außerhalb der polaren Gegend.

Eine wahrhafte Destillation des Wasserdampfes beginnt jetzt in der dünnen Marsatmosphäre von dem belichteten Pol zu dem unbelichteten, der der kälteste Punkt vom Mars ist. Bei dieser Destillation streichen die — nach Marsverhältnissen — relativ warmen Wasserdämpfe über die zwischenliegenden Gebiete mit ihren ausgefrorenen Salztümpeln. Diese ziehen gierig das Wasser an, nehmen nach Schiaparelli erst einen tiefroten Ton an und werden nachher blaugrün. Erst taut die Chlorcalciumzone auf, dann die folgenden, bis der See ebenso groß ist wie ein Marsjahr vorher. Neue Wasserdampfmengen werden von dem warmen Pol nachgeliefert — das Auftauen und Wiedererscheinen der

Seen schreitet fort, zwischen 72° n. Br. und dem Äquator nimmt der Auftauungsprozeß etwa 52 Tage (nach der Sonnenwendezeit) in Anspruch (nach L o w e 11). Er schreitet in etwa demselben Tempo (80 km pro Tag) auf der anderen Seite dieser Linie fort, zuletzt destilliert fast alles zum kalten Pol. Natürlicherweise werden die Gegenden am besten versorgt, die an das reißbedeckte Polargebiet bzw. an seinen äquatornahen Rand grenzen, und diese von der Natur bevorzugten Plätze umgeben den Pol mit einem blauen Ring, welcher als sicheres Anzeichen der Anwesenheit von reinem Wasser, d. h. von einer Temperatur über Null, galt.

Der Südpol des Mars ist von einer großen dunkel gefärbten Region umgeben, aus der einige lederfarbene Flecken als Inseln sich heben. Man hielt dies früher für ein Meer. L o w e 11 hat aber darin „Kanäle“, d. h. dunklere Striche, gefunden, und nimmt deshalb an, daß dieses Gebiet ein enormer von Wasserläufen durchzogener Garten sei. Vermutlich ist es einst ein Polarmeer gewesen, das aber schon seit Jahrmillionen von einer kilometerdicken Eiskruste bedeckt ist, die vollkommen fest an die Ufer angefroren ist. Wie die Eisdecke unseres Polarmeeres im Sommer von Süßwassertümpeln bedeckt wird, die im Winter gefrieren, so tauen auch auf dem Mars-Polarmeer seichte Wassermassen auf, die aber nicht süß, sondern salzig sind. Das Salz ist aus dem vom Winde herübergeführten oder vom Himmel heruntergefallenen Staub ausgelaugt, vermutlich hat das Meer auch etwas salzigen Zufluß von den Tümpeln des Festlandes erhalten. Im Winter schrumpfen diese Seen, deren Boden mit dunklem Staub überzogen ist, zusammen und große Teile des Meeres sind vom

naheliegenden Festland oder den Inseln nicht zu unterscheiden.

Antoniadi machte eine sehr interessante Beobachtung über die Seesysteme des Mars. Diese dunklen Flecke waren in einigen Teilen ungefähr wie die schwarzen Quadrate auf einem Schachbrett angeordnet. Dies läßt sogleich an die Bajirs in der Tschertschenwüste denken, die auch von salzigem Wasser feucht sind. Sie heben sich mit ihrem dunklen Boden gegen die helle Sandwüste scharf ab. Natürlicherweise ist der entsprechende Marsboden wie der Wüstenboden überhaupt salzig und vermag die anstürmenden Wasserdämpfe zu fesseln und demnach feucht und dunkel zu werden, wenn sie im voraufgegangenen Winter durch eine dünne gelbe Staubdecke verdeckt waren.

Die feuchten Stellen auf dem Mars bilden die Netze der sogenannten Kanäle. Cerulli erklärte sie als eine Reihe von kleinen dunklen Stellen, deren Bilder wegen der mangelnden optischen Hilfsmittel zu Linien zusammenschmelzen. Diese Ansicht hat eine mächtige Stütze durch die Beobachtungen mit den modernen mächtigen Instrumenten während der ungewöhnlich günstigen Stellung des Mars zur Zeit seiner Opposition im August—Oktober 1909 erhalten. Von vielen Seiten wird jetzt das gerade Gegenteil vertreten und behauptet, daß es überhaupt keinen objektiven Grund für die Marskanäle gibt. Dies ist doch zu weit gegangen. Daß Kanäle beobachtet worden sind, beruht darauf, daß die Salztümpel entlang von Linien gelegen sind, die häufig fast geradlinig, oft auch gekrümmt sind. Ersteres entspricht der Lage der Salzseen in der Tschertschen-Wüste, dem Flusse Tamir

entlang, der auch ziemlich gradlinig in west-östlicher Richtung eine lange Strecke läuft, um zuletzt nach Süden umzubiegen (vgl. Fig. 1). Das Flußbett entspricht offenbar der tiefsten Depression in der Tschertschen-Wüste, das Wasser sammelt sich deshalb in seiner Nähe an. Die Breite des Seengebiets bei Tarim ist etwa 15 km, was der mittleren Breite



Fig. 1.

der Marskanäle nach Lowell entspricht. Die tiefsten Depressionen auf dem Mars liegen den Bruchlinien der Marskruste entlang. Von da strömen die Gase aus, die die Salzlösungen flüssig erhalten. Diese sickern natürlich auch durch den Sand zu den tiefsten Stellen. In ähnlicher Weise sieht man in Skandinavien, wo der feste Granitfelsen ein schnelles Ausfüllen der Seen verhindert, wie Ketten von Seen den Bruchlinien der Erdkruste folgen.

Die größeren Bruchlinien auf der Erde sind in der Tat häufig fast geradlinig — dies ist eine Bedingung für die Möglichkeit des Einstürzens — und laufen in Einsturzzentren zusammen, wie es z. B. S u e s s und H o b b s (vgl. Fig. 2) für das Tyrrhenische Senkungsgebiet, in welchem die heftigen

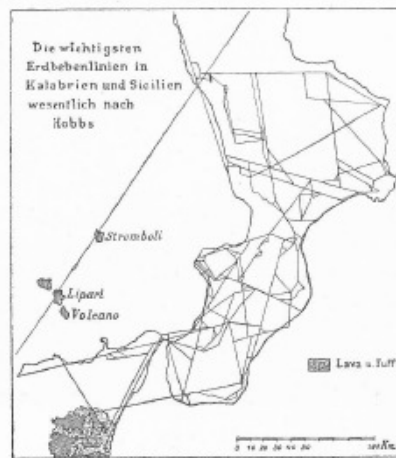


Fig. 2.

sizilianisch-kalabrischen Erdbeben auftreten, gezeichnet haben. In eben derselben Weise laufen die Marskanäle in Zentren zusammen, die als Seen oder Oasen bezeichnet worden sind. Sie haben dieselbe Farbe wie die Kanäle. Solche Oasen mit Kanälen gibt es auch in den Gebieten der Polarkappen. Antoniadı und Jarry-Desloges beobachteten 1909 das Auftreten von einem breiten Kanal mit einer oasenähn-

46

lichen Verbreiterung im Südpolarfleck, welche gegen den weißen Reif schwarz erschien. Natürlicherweise kommen auch Risse in den Eisfeldern vor mit kleinen Einsenkungen, in welchen die salzigen Wassermassen sich sammeln. Daß Wasserdampf in der Marsluft vorkommt, ersieht man daraus, daß sobald die Sonne halbwegs vom Zenit des Marshimmels weggewandert ist, eine Abkühlung mit Kondensation in Form eines dünnen Nebels anfängt. In diesen leichten Schleier, der über den äquatorialnahen Teilen sich ausbreitet, brennt die Sonne ein Loch von 90° Ausdehnung.

Wir brauchen also für das Verständnis der Marsverhältnisse keine für uns unbekanntten Kräfte oder Eigenschaften der Materie vorauszusetzen. Alles verläuft dort so, wie es hier auf der Erde verlaufen würde, wenn die Temperatur während einiger geologischen Epochen etwa 40° unter ihrem jetzigen Betrag sich gehalten hätte. Vermutlich wird die Erde von dem düstern Schicksal des Mars getroffen werden, wenn die Sonne in höherem Grade sich abzukühlen beginnen wird.

Will man erfahren, welche Schicksale danach unsrer Erde, wenn die Luft noch mehr als auf dem Mars geschwunden sein wird, beschert sind, so brauchen wir nur unsre Blicke auf den treuen Begleiter unseres Planeten, den Mond, zu richten. Da steigt der Luftdruck nicht zu mehr als ein paar Zehntel Millimeter. Einst, kurz nachdem der Mond von der Erde abgeschnürt war, hatte er natürlich einen Teil der Erdluft an sich. Als sich dann die Erde zusammenzog und der Mond sich von ihr entfernte, verschwand allmählich seine Luft in der starken Sonnenbestrahlung, die eine Hitze von etwa 150° C. an dem heißesten Punkt dieses Himmelskörpers

hervorbringt. Damit verschwand auch das in Dampf aufgegangene Wasser, das wohl meistens zur Mutter Erde zurückkehrte. Man glaubt in Anhäufungen von hellen Massen, die als vulkanischer Staub angesehen werden und die sich recht weit von dem Ausgangskrater verbreitet haben, Anzeichen von Windtransport zu sehen, welcher in einem sehr frühen Stadium der Mondentwicklung stattgefunden hat.

Die auffallendsten Erscheinungen auf dem Mond sind die Meere und die Krater. Die Meere haben eine dunklere Farbe als die Umgebungen und liegen tiefer. Sie sind offenbar Senkungsgebiete, die bei der Abkühlung des Mondes einstürzten. Loewy und P u i s e u x haben die Aufmerksamkeit darauf gelenkt, daß in den Meeren Spuren von teilweise versunkenen Vulkanen vorkommen. Diese eingestürzten Vulkane erscheinen am Meeresrand als gegen das Meer offene Bogen. Beim Einsturz des Meeres ist der innere Kraterwall mit in die Tiefe gezogen worden. Ein Verzeichnis dieser interessanten Gebilde findet man in dem trefflichen Büchlein „Der Mond“ von Prof. F r a n z, das ich vielfach benutzt habe. Zwei Kraterwälle westlich von Mädler im Nectar-Meer werfen keinen Schatten. Es macht den Eindruck als schimmerten ihre hellen Bogen durch das dunkle Wasser hindurch.

M ä d l e r und einige andere Beobachter sahen beim Vollmond das Mare serenitatis in grünem, das Mare crisium in matt dunkelgrünem Schimmer. Im Mare humorum kommen beide Farbennuancen vor; Mare frigoris ist schmutzig gelbgrün. Dagegen ist die Hügellandschaft Palus Somnii nach M ä d l e r eigentümlich gelb und an einigen Stellen zeigt sie einen rötlichen Schimmer. Im allgemeinen, je höher die

Mondesteile liegen, um so hellere Farbe besitzen sie. Dies erinnert ja in hohem Grade an die Farben auf dem Mars, die jedoch viel ausgeprägter sind als auf dem Mond, für welchen Franz sie nicht verbürgen will. Man kann aber nicht den Gedanken zurückweisen, daß diese Farben Spuren der Zeit sind, in welcher die Kontinente von hellem rotgelben eisenoxydhaltigen Staub bedeckt waren, während in den Wassertümpeln das Eisenoxyd von den vulkanischen Exhalationen, die sich im Wasser lösten, grüngefärbt oder überhaupt reduziert wurde. Die im Mare Nectaris versunkenen Wallbogen sind nach dieser Ansicht zu einer Zeit eingesunken, als das Wasser schon von dieser Gegend zurückgetreten war, so daß sie nicht wasserbedeckt und umgefärbt wurden.

Die Krater des Mondes sind meistens viel größer als die entsprechenden Gebilde auf der Erde. Eine Erklärung kann man darin finden, daß natürlicherweise die Explosionen, die zur Sprengung der Oberfläche nötig waren, dort ebenso groß wie auf der Erde waren und im letzten Stadium des Mond-Vulkanismus, als die Mond-Kruste sehr dick geworden war, sogar kräftiger, als wir von unseren Vulkanen erwarten können. Die Schwerkraft ist auf dem Monde nur ein Sechstel derjenigen auf der Erde. Dieselbe Energiemenge kann folglich bei einem vulkanischen Ausbruch auf dem Mond sechsmal so große Massen wegschleudern als auf der Erde.

Die Mond-Vulkane sind am ehesten mit den isländischen Vulkanen zu vergleichen. Das Magma des Mondes scheint in einem recht frühen Stadium seine schwerflüssigen sauren (granitartigen) Bestandteile ausgeschieden und die basischen

leichtflüssigen Massen für die späteren Ausbrüche, von denen allein wir jetzt Spuren vorfinden, aufgespart zu haben. Dies hängt ohne Zweifel mit dem höheren spezifischen Gewicht der basischen Laven zusammen. Auch auf der Erde glaubt man häufig eine ähnliche Reihenfolge — z. B. beim Vesuv — wahrgenommen zu haben, in anderen Fällen ist die Reihenfolge entgegengesetzt.

Es kommt häufig vor, daß kleine Krater in großen Mengen als „Perlschnüre“ auf versunkenen Wällen stehen. Dies erinnert stark an die Verhältnisse auf Island, wo beispielsweise bei dem entsetzlichen Laki-Ausbruch 1783 Lavamassen sich längs einer klaffenden Kluft ergossen, wobei sich eine große Zahl kleiner Krater auf dieser Kluft ausbildeten. Die Mond-Rillen sind ebenfalls häufig mit Reihen von kleinen Kratern ausgestaltet. Wenn kleinere Krater auf dem Wall eines größeren Kraters aufsitzen, sind sie, wie *F r a n z* hervorhebt, stets jüngere Bildungen, die sich durch den Wallrand durchgebrochen haben. Sie ähneln offenbar den kleinen Kratern, die auf der Erde in der Umgebung des Hauptkraters eines Vulkans entstehen.

Ganz eigentümlich sind die Strahlensysteme auf dem Monde. Sie strahlen von den großen Kratern nach allen Richtungen aus und zwar geradlinig, unabhängig von der Topographie der Oberfläche. Sie sind durch keine Schatten gekennzeichnet, liegen also in derselben Ebene wie die Umgebung. Vermutlich sind sie alte Risse, die zu einem Einsturz-zentrum, in welchem der große zentrale Krater liegt, hinlaufen. Sie sind zur Zeit, als der Mond noch eine Lufthülle besaß, mit heller Vulkanasche ausgefüllt worden. Im Gegen-

satz dazu sind die Rillen nicht ausgefüllt; sie gehören offenbar einem späteren Entwicklungsstadium an.

Im allgemeinen kann man sagen, daß der Mond dem Mars ganz ähnlich sieht, nur ist die ganze Luftmenge vom Monde geschwunden, und die vulkanische Tätigkeit ist abgelaufen, so daß keine merklichen Gasausscheidungen den Rillen oder Strahlen entlang vorkommen. Der halbmonatelange Tag und die ebenso lange Nacht verursachen einen enormen Temperaturwechsel, der auf dem Äquator des Mondes zwischen etwa 150° über und ebenso viel unter Null in einem Monat wechselt. Die mittlere Temperatur des Mondes entspricht, wegen der gleichen mittleren Sonnenentfernung, recht nahe derjenigen der Erde. In früheren Zeiten hat man viel von Mondeinwohnern geträumt und sogar Städte auf dem Monde sehen wollen. Jetzt glaubt niemand mehr, daß Leben auf dem Monde das Dasein zu fristen vermag.

Das Ergebnis unserer Untersuchung ist demnach, daß die Atmosphäre unserer Erde ganz gewaltige Änderungen durchlaufen hat und noch durchläuft. Wegen der Ähnlichkeit in der chemischen Zusammensetzung anderer mit fester Kruste versehener Planeten ist es natürlich anzunehmen, daß ihre äußeren Schichten in geschmolzenem Zustande aus einem Magma bestanden, welches dem Silikatenmagma der Erde entsprach. Das niedrige spezifische Gewicht (Mond 3,34, Mars 4,03, Venus 5,18) verglichen mit demjenigen der Erde (5,53) zeigt, daß der Mond vielleicht aus lauter Silikaten, der Mars jedenfalls hauptsächlich aus Silikaten, die Venus aber ungefähr wie die Erde, d. h. etwa zur Hälfte aus Silikaten, zur Hälfte aus metallischem Kern besteht. Daß der Mond zum

überaus größten Teil aus demselben Material wie die Oberflächenschichten der Erde besteht, erscheint ja höchst natürlich, wenn man mit Sir George Darwin annimmt, daß der Mond durch Abschnürung einer Wulst an der Oberfläche der Erde entstanden ist.

Fassen wir die obigen Ausführungen zusammen, so ergibt sich folgendes Bild. Bei der Abkühlung des Magmas entstand eine feste Oberfläche und erst danach kann von einer individuellen Entwicklung der Atmosphäre für sich und des Planeteninneren für sich die Rede sein. Aus dem Inneren der Planeten traten Gase, hauptsächlich Wasserdampf und Kohlensäure, heraus und stiegen zu den höchsten Schichten der Atmosphäre. In diesen über den Wolken und der stark absorbierenden anfänglichen Atmosphäre (eine solche sehr starke Lichtabsorption ist von Slipher in den äußeren Schichten von Uranus und Neptunus beobachtet worden) liegenden Teilen wirkte das Sonnenlicht durch photochemische Reaktionen ein. Bei der niederen Temperatur in diesen hohen Schichten überwiegen die photochemischen Reaktionen gänzlich, sie werden nämlich kaum durch die Kälte beeinträchtigt, während gewöhnliche chemische Reaktionen, speziell bei den Gasen, im allgemeinen sehr langsam bei gewöhnlicher Temperatur verlaufen und durch Herabsetzung der Temperatur außerordentlich stark beeinträchtigt werden. Durch diese photochemischen und darauf folgenden gewöhnlichen Reaktionen entstanden, wie noch immer durch Vermittlung des katalytisch wirksamen Chlorophylls, Sauerstoff und Kohlenstoff. Die stark reduzierenden Gase der ursprünglichen Atmosphäre, wie Wasserstoff, Kohlenwasserstoffe usw., die in den

52

äußeren Schichten der Himmelskörper vorwiegen, wurden durch den Sauerstoff allmählich verbrannt, so daß am Ende neben Sauerstoff nur chemisch träge Gase, wie Stickstoff, als Hauptbestandteile der Atmosphäre übrig blieben. Durch Risse in der Planetenkruste wurden die zwei Gase, welche außer Sauerstoff das Leben bedingen, nämlich Wasserdampf und Kohlensäure, in den Luftkreis geführt. Ohne Zweifel entwickelte sich das Leben unter diesen Umständen auf der Planetenoberfläche. In diesem Zustande befinden sich jetzt die Erde und vermutlich die Venus, wo die Entwicklung jedoch zufolge der höheren Temperatur (im Mittel etwa 65° C.) nicht so weit vorgeschritten ist wie auf der Erde. Allmählich nimmt die Stärke der Kruste zu. Der Wasserdampf kondensiert sich zum Weltmeer, die Kohlensäure — und auch teilweise das Wasser — geht in den Verwitterungsprozeß ein und wird von Schalentieren als Calciumkarbonat abgesetzt. Zugleich schwemmt das Wasser Sand und Tone zum Meer hinunter, und starke Schichten von sedimentären Gesteinen entstehen auf diese Weise. Allmählich wird der Vulkanismus herabgesetzt. Der Zufluß von Wasser und Kohlensäure wird vermindert, und ihre Mengen in der Atmosphäre nehmen zufolge der immer fortschreitenden Verwitterung ab. Die Oberfläche des Planeten verwandelt sich in eine Wüste. In diesem Zustand befindet sich der Mars. Der Pflanzenwuchs nimmt ab. Kein Sauerstoff wird produziert. Der Sauerstoff verbindet sich teilweise mit dem Stickstoff zu Nitraten, teilweise oxydiert er Eisenverbindungen und wird so allmählich verbraucht, ebenso wie der Stickstoff. Infolge des Wassermangels hört der größte Teil des Kreislaufs auf. Die Atmosphäre

wird immer dünner, die Temperaturunterschiede zwischen Tag und Nacht, Sommer und Winter werden größer. Die letzten Gase verschwinden zufolge der Molekularbewegung. In diesem Zustand befindet sich der Mond, wahrscheinlich auch Merkur und die kleinen Planeten, sowie die meisten Monde anderer Planeten. Der Himmelskörper ist von jetzt ab tot und unveränderlich.

Die Alten glaubten, daß man in den Planeten das Schicksal der Menschen lesen könnte, und dieser sonderbare Glaube wurde bis vor ein paar hundert Jahren auch von hervorragenden Astronomen, wie Tycho Brahe, geteilt. In einer Beziehung haben sie Recht behalten, obgleich in ganz anderer Weise als sie meinten. In den Wandelsternen kann man die Vergangenheit und die Zukunft der Erde ablesen. Einst, obgleich erst nach Milliarden von Jahren, wird die Erde das Schicksal des Mars teilen. Dieser himmlische Vertreter des Kriegsgottes schreitet wie ein kraftloser ohnmächtiger Greis seine vorgeschriebene Bahn weiter. Er hat seine Mission längst erfüllt und hilflos stirbt er weiter. Andererseits aber strahlt uns der Lieblingsplanet der Babylonier, die Venus, — Istar, die „Himmelskönigin“ — von allem Weh und jeder Pein befreit und von allen Sünden und Schuld barmherzig erlöst in glänzender, hoffnungsvoller Jugend entgegen. Nach dem Verfall der Erde wird Venus deren stolze Rolle als Führerin unter den Gestirnen des Sonnensystems einst aufnehmen. Was wir von den anderen noch ganz unentwickelten Planeten mit der Zeit zu erwarten haben, ist schwer zu sagen. Ihre große Entfernung von der Licht- und Wärmespenderin, der Quelle alles Lebens, der Sonne, gibt zu der Befürchtung Anlaß, daß höhere For-

men von Leben daselbst nie werden gedeihen können. Auf alle Fälle können wir sagen, daß die Erde sich seit Hunderten von Jahrmillionen in einer ganz ungewöhnlich günstigen Lage befindet, worin sie voraussichtlich noch ebenso lange verharren wird. Was können wir alles von der Menschheit in dieser fast ewig erscheinenden Zeit erwarten nach den riesigen Fortschritten die jetzt in einem Jahrhundert gemacht wurden?



Akademische Verlagsgesellschaft m. b. H., Leipzig

Soeben erschien:

Große Männer

Von

Wilhelm Ostwald

Dritte und vierte Auflage

Broschiert 14.— M.; gebunden 15.— M.

Die außerordentlich schnelle Folge der Auflagen ist ein Beweis dafür, wie dieses Buch die öffentliche Meinung aufgerüttelt hat. Es gilt das Wohl und Wehe der Jugend, der kommenden Generationen. Fragen der Erziehung und des Unterrichts werden in eine so neue Beleuchtung gerückt, mit solcher Kampfesfreude und mit so frohem Optimismus, das niemand an diesem Buche achtlos vorübergehen kann.

Die Forderung des Tages

Von

Wilhelm Ostwald

Zweite, verbesserte Auflage

Broschiert 9.30 M.; gebunden 10.20 M.

Diese bisher zerstreuten Aufsätze zu sammeln und zu einem Bande zu vereinigen, hat sich als außerordentlich glücklicher Gedanke erwiesen. Kaum acht Monate nach dem Erscheinen der ersten Auflage machte sich die vorliegende neue und verbesserte Ausgabe notwendig. Die ca. 40 hier zusammengefaßten Vorträge betreffen sehr heterogene Themata und repräsentieren in ihrer Vereinigung eines jener angenehmen Bücher, die man nicht von Anfang bis zu Ende durchlesen braucht, die man aber an jeder Stelle und immer wieder aufschlagen kann, um sofort in mediis rebus zu sein und sicherlich gepackt zu werden.