©Naturwissenschaftlicher Verein für Schwaben, download unter www.zobodat.at

Zur Dynamik unseres Planetensystems

Von Dr. Ing. J. Geiger · Augsburg

Schluß aus „Abhandlungen des Naturwissenschaftlichen Vereins für Schwaben e. V." Heft XII (Jahrg. 1956), Augsburg 1957, Seite 65-102.

©Naturwissenschaftlicher Verein für Schwaben, download unter www.zobodat.at

Kurze Inhaltsangabe des I. Teils.

Hinweis auf viele bisher ungelöste Rätsel bei unserem Planetensystem, namentlich die progressiv zunehmenden Entfernungen der Planeten von der Sonne, ihre stark verschiedenen Achsenwinkelgeschwindigkeiten und die Umlaufszeiten und Anzahl ihrer Satelliten.

Erklärung der progressiv zunehmenden Entfernungen aus der Entstehung der Planeten aus einem Nebelstern, auf den eine äußere Ursache einwirkte, und aus dem seinerzeitigen Loslösungsabstand. Abhängigkeit der jetzigen Abstände von der 4. Potenz desselben. Die Planetennebelringe waren zur Zeit ihrer Loslösung von der Ursonne dicht beisammen: ihr größter Abstand von der Sonnenachse war fast kleiner als die heutige Entfernung des Merkur von der Sonne, also außerordentlich viel kleiner - entgegen der üblichen Annahme - als der jetzige Neptunabstand.

II. Teil.

Im II. Teil wird gezeigt, daß dieser kleine Abstand keinen Widerspruch mit irgend welchen Beobachtungstatsachen mit sich bringt sondern im Gegenteil die stark verschiedenen Achsenwinkelgeschwindigkeiten der Planeten zwanglos erklärt, desgleichen die Umlaufgeschwindigkeiten der Satelliten und ihre bei den verschiedenen Planeten sehr verschiedene Zahl sowie eine Reihe weiterer Tatsachen.

©Naturwissenschaftlicher Verein für Schwaben, download unter www.zobodat.at

Rotationsgeschwindigkeit der Planeten um ihre eigene Achse.

Diese Größe verdient schon deshalb größte Beachtung, weil hier ganz außerordentlich große Unterschiede bei den einzelnen Planeten vorhanden sind. Außerdem ist die dahingehende Untersuchung deshalb wichtig, um festzustellen, ob hier irgend etwas gegen die bisherige Vorstellung eines gegenüber den üblichen Anschauungen verhältnismäßig kleinen Gasnebelringes spricht.

Man denke sich einen Gasnebelring mit einem Außenradius R_a, einem mittleren Radius R_m, Innenradius R_i und radialer Dicke $R_a - R_i = d$, der um einen Zentralkörper Sonne mit der Winkelgeschwindigkeit Ω_d rotiere. Es sei aber besonders hervorgehoben, daß man statt eines völlig geschlossenen Ringes e b e n s o g u t, ohne daß sich an der folgenden Entwicklung etwas ändert, e i n mehr oder weniger k u r z e s R i n g s e g m e n t, etwa nach Bild 6, annehmen kann. Die senkrecht zur Ringebene sich erstreckende Breite werde überall gleich angenommen. Es ist dies die einfachste Annahme, die solange angebracht ist, als nicht überzeugende Gründe für eine andere sprechen. Dieses Ringsegment ziehe sich durch Abkühlung und infolge der Vergrößerung des Abstandes von der Sonne, d.h. Verringerung der radialen Dicke d zusammen, so daß die äußeren Masseteilchen vom Radius R_a sich nach innen und die inneren Masseteilchen vom Radius R_i sich nach außen gegen den mittleren Radius R_m zu bewegen. Die Energie ΔE, die aufgewendet werden muß, um ein Teilchen von der Masse Δm vom Radius R_i bis zum Radius R_m entgegen der Gravitationskraft zu bewegen, ergibt sich aus der Beziehung:

$$7.)\quad \Delta E = \int_{x=R_m}^{x=R_i} \frac{\Delta m \cdot m \varsigma \cdot f}{x^2} dx = \left[\frac{\Delta m \cdot m \varsigma \cdot f}{x} \right]_{R_m}^{R_i}$$

©Naturwissenschaftlicher Verein für Schwaben, download unter www.zobodat.at

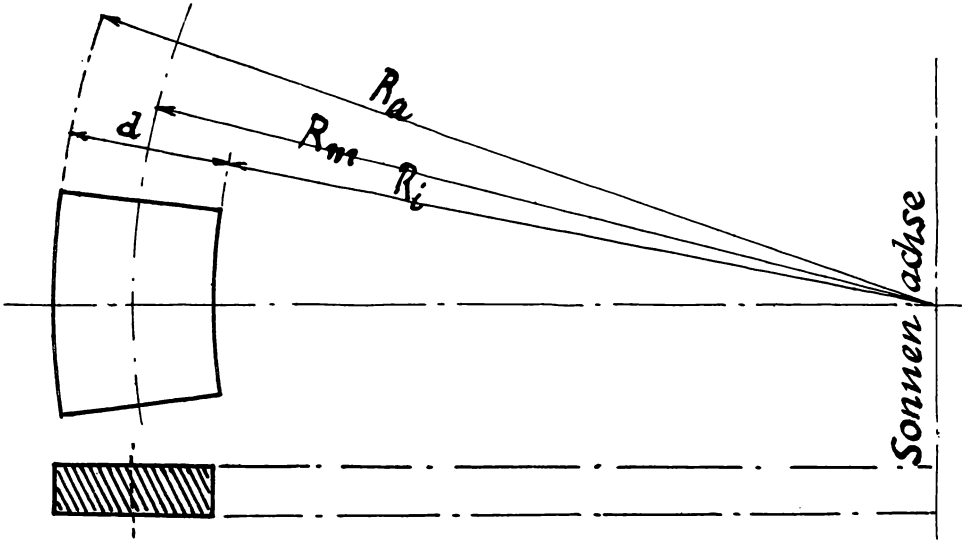


Abbildung 6

Ringsegment, mit der Winkelgeschwindigkeit $\vec{\Omega}_d$ um die Sonne rotierend.

©Naturwissenschaftlicher Verein für Schwaben, download unter www.zobodat.at

wobei m_S die Masse des Zentralkörpers (Sonne) und f die allgemeine Gravitationskonstante ist. Bei gleichmäßiger Massenverteilung ist die Masse am Radius R_i im Verhältnis R_i/R_m kleiner als am mittleren Radius R_m. Bezeichnet man die am Umfang des mittleren Radius R_m befindliche auf die radiale Dicke d bezogene Masse mit m_m, so ist die Energie, die aufzuwenden ist, um die am Umfang des Innenrings befindliche Masse auf den mittleren Abstand R_m vom Zentralkörper zu bringen:

8.) $E_i = m_m \cdot m_S \cdot f. (1/R_i - 1/R_m) \cdot R_i/R_m = m_m \cdot m_S \cdot f. (1/R_m - R_i/R_m^2)$.

Diese Energie ist also linear abhängig von R_i. Beim Hereinwandern vom äußeren Radius R_a auf den mittleren Radius R_m ergibt sich in gleicher Weise:

9.) $E_a = m_m \cdot m_S \cdot f \cdot (R_a/R_m^2 - 1/R_m)$.

Die inneren Teilchen suchen das Ringsegment zu verzögern, die äußeren dagegen zu beschleunigen. Es wirken also beide im gleichen Sinne, nämlich im Sinne einer Drehung des Segments um seine Schwerpunktsachse, wobei der Drehsinn derselbe ist wie bei der Drehung des Ringsegments um den Zentralkörper, d.h. der Drehung des Planeten um die Sonne.

Für die inneren und äußeren Teile zusammen ergibt sich so:

10.) $E = m \cdot m_S \cdot f. (R_a - R_i)/R_m^2$ (kgm)

Hierbei ist jetzt $m = m_m \cdot (R_a - R_i)$ die gesamte Masse des Ringsegments.

Ist jetzt ω_{Pl} die Winkelgeschwindigkeit des Planeten um seine eigene Achse, i sein Trägheitsradius und R_m sein Abstand von der Sonne, so muß, wenn man von den Monden wegen ihrer geringen Rotationsenergie absieht, die lebendige Energie des Planeten bei der Rotation um seine Achse gleich der oben angegebenen Energie des Ringsegments sein, also

11.) $\frac{m}{2} \omega_{Pl}^2 \cdot i^2 = m \cdot m_S \cdot f \frac{(Ra - Ri)}{R_m^2}$

Bei der Erde ist der Trägheitsradius i gleich dem 0,58fachen des Äquatorradius, weil die Erdmasse nicht homogen verteilt ist. Bei homo-

©Naturwissenschaftlicher Verein für Schwaben, download unter www.zobodat.at

gener Verteilung und Kugelform wäre er das 0,63246 fache. Da aber die Dichte in größerer Tiefe größer als an der Erdoberfläche ist, ist 0,58 der wahrscheinlichste Wert. Dieser werde daher auch für die übrigen Planeten verwendet, da kaum anzunehmen ist, daß dort eine wesentlich andere Dichteverteilung in Abhängigkeit vom Abstand vom Mittelpunkt vorliegt.

Wir sind so in der Lage, die radiale Dicke des Ringsegments, bevor es sich zu einem Planeten zusammenballte, zu bestimmen. Umgekehrt läßt sich bei gegebener radialer Dicke $d = R_a - R_i$ die zu dieser Dicke gehörende Achsenwinkelgeschwindigkeit ω_d des Planeten bei seiner Entstehung aus der umgeformten Gl.11 d.h. aus der Beziehung

12.) $$\omega_d = \frac{1}{i \cdot R_m} \cdot \sqrt{2 \cdot m_S \cdot f \cdot (R_a - R_i)}$$

ermitteln und mit seiner jetzigen Achsenwinkelgeschwindigkeit ω_{Pl} vergleichen, wodurch wir einen überaus wichtigen Aufschluß erhalten. Die Zusammenballung zu einer Kugel ist natürlich erst nach der Loslösung des Ringsegments von der Ursonne zu datieren.

Zur Berechnung von ω_d muß man jetzt für R_a, R_m und R_i die Grössen wählen, die sich aus der Tabelle III unmittelbar nach der Loslösung von der Ursonne ergaben. Da dieselben aber von der anfänglichen Umlaufwinkelgeschwindigkeit Ω_o abhängen, ist es notwendig, sie für drei verschiedene Werte von Ω_o -etwa für $\Omega_o = \omega_j$ bzw. $2{,}5\omega_j$ bzw. $4\omega_j$- zu ermitteln. Man könnte sich aber auch vorstellen, daß der Gasnebelring, aus dem ein Planet entstand, sich zuerst bis auf einen mittleren Radius R_m gleich der jetzigen Bahnentfernung R_j des Planeten ausdehnte und sich erst dann in dieser Entfernung zu einer Kugel verdichtete. Diese Vorstellung hat rechnerisch den Vorteil, daß R_m genau bekannt ist. Die Wahl von R_a erfolgt zweckmäßig in der Weise, daß der Abstand $R_a - R_m$ zwischen der Bahnentfernung des betr. Planeten und der des nächst äusseren im Verhältnis der Massen dieser beiden Planeten eingeteilt wird. Für die äußeren Planeten sind ohnehin die Dichten einigermaßen gleich. Man wird bei Anwendung des Massenverhältnisses einwenden, daß die

©Naturwissenschaftlicher Verein für Schwaben, download unter www.zobodat.at

weiter außen befindlichen Segmentringe einen größeren mittleren Radius besitzen als die weiter innen gelegenen. Andererseits ist es aber wahrscheinlich, daß die weiter innen gelegenen eine größere Breite (senkrecht zur Ringebene) und vielleicht auch eine größere Dichte besaßen als die weiter außen gelegenen. Aus diesem Grund erscheint die Einteilung nach dem Verhältnis der Massen zunächst am naheliegendsten.

Auf alle Fälle muß man aber davon ausgehen, daß die einzelnen Gasnebelringe, aus denen die Planeten entstanden sind, sich ohne jeden Zwischenraum aneinander schlossen, daß also der Nebelstern Ursonne nur von einem einzigen Gasnebel umgeben war. Diese Auffassung ist aus folgendem Grund notwendig: Wäre die Ursonne von mehreren Gasnebeln mit dazwischen befindlichen leeren Ringräumen umgeben gewesen und hätte auf den äußersten Nebelring ein Drehmoment eingewirkt, so hätte die Rotation durch den leeren Raum hindurch auf die inneren Ringe und auf die Sonne nicht übertragen werden können.

Die Auffassung, daß die Gasnebelringe sich zuerst auf mittlere Radien R_m gleich den jetzigen Bahnentfernungen R_j der Planeten ausdehnten und sich dann erst zu Kugeln vom jetzigen Durchmesser verdichteten, kann natürlich nur als Extremfall für die Rechnung gelten. Dasselbe gilt ebenso auch für die Vorstellung, daß im Zeitpunkt der Loslösung von der Ursonne sich die Gasnebelringe sofort zu Kugeln vom jetzigen Durchmesser verdichteten und dann erst ihre Bahnentfernung bis auf die jetzige vergrößerten. In Wirklichkeit hat die Zusammenballung zu Kugeln sicher erst reichliche Zeit nach der Loslösung der Nebelringe von der Ursonne, mindestens erst nach dem Zerreißen der Nebelringe begonnen und wurde erst beendet, nachdem die Planeten annähernd ihre heutige Entfernung von der Sonne erreicht hatten. Es ist weiter klar, daß die Verdichtung zu den jetzigen Kugeln zeitlich von der absoluten Größe der Masse der einzelnen Planeten abhing, d.h. daß sie bei den kleinen Planeten, namentlich Merkur und Mars, rasch vollendet war, daß sie bei Uranus und Nep-

©Naturwissenschaftlicher Verein für Schwaben, download unter www.zobodat.at

tun wegen deren im Vergleich zu Mars 133-bzw. 154mal größeren Masse wesentlich länger dauerte und daß sie bei Saturn und Jupiter wegen ihrer im Vergleich zu Mars 866-bzw. 2900mal größeren Masse noch erheblich längere Zeit in Anspruch nahm und wohl erst ziemlich kurz vor Erreichung der jetzigen Entfernungen dieser Planeten vollendet gewesen sein dürfte. Da sich aber nicht zuverlässig angeben läßt, nach welcher Funktion abhängig von der Zeit bzw. abhängig von der Entfernung von der Sonne sich die Zusammenballung zu einer Kugel vollzog, wird zunächst für die beiden Extremfälle

a) Zusammenballung bereits zur Zeit der Loslösung von der Ursonne vollendet, d.h. also im anfänglichen Abstand r_o und

b) Zusammenballung erst nach Erreichen des jetzigen Planetenabstandes R_j vollzogen

die Rechnung durchgeführt. In Tabelle IV sind angeführt: die jetzige Achsenwinkelgeschwindigkeit ω_{Pl} der äußeren Planeten, der jetzige Trägheitsradius i, die aus den jetzigen Bahnabständen R_j sich ergebenden Dicken $d_j = R_a - R_i$ der einzelnen ohne Zwischenräume sich an einander anschließenden Gasnebelringe, aus denen die äußeren Planeten entstanden zu denken sind, die nach Formel 12 für diese Dicke sich ergebende Achsenwinkelgeschwindigkeit ω_{dj}, das Verhältnis ω_{dj}/ω_{Pl}, ferner dieselben Werte für eine anfängliche Umlaufwinkelgeschwindigkeit $\Omega_o = 0{,}25\,\omega_{Sonne}$, also die Ringdicke d_o, ermittelt im Verhältnis der Massen des unmittelbar vor bzw. nach dem betreffenden Planeten befindlichen Planeten, die zugehörige Achsenwinkelgeschwindigkeit ω_{do} und das zugehörige Verhältnis derselben zu der jetzigen Achsenwinkelgeschwindigkeit ω_{Pl}. In Tabelle V sind dieselben Werte d_o, ω_{do} und ω_{do}/ω_{Pl} angegeben, falls $\Omega_o = \omega_j$ bzw. $2{,}5\,\omega_j$, $4\omega_j$ und $16\omega_j$ ist. Sämtliche ω-Werte sind mit 10^{-4} und die d-Werte mit 10^9 zu multiplizieren.

©Naturwissenschaftlicher Verein für Schwaben, download unter www.zobodat.at

Tabelle IV

Planet	ω_{PL}	$i.10^6$	d_j	ω_{dj}	ω_{dj}/ω_{Pl}	$\Omega_o = 0{,}25\,\omega_{Jsonne}$ d_o	ω_{do}	ω_{do}/ω_{Pl}
Jupiter	1,765	41,4	1100	5,05	2,86	44,6	7,1	4,01
Saturn	1,638	35,0	1400	3,88	2,37	25,4	5,47	3,34
Uranus	1,628	14,4	937	3,81	2,34	12,82	7,98	4,90
Neptun	1,16	15,36	1746	3,12	3,69	22,36	8,75	7,55

Tabelle V

$\Omega_o =$	ω_j			$2{,}5\omega_j$			$4\omega_j$			$10\omega_j$		
	d_o	ω_{do}	ω_{do}/ω_{Pl}	d_o	ω_{do}	ω_{do}/ω_{Pl}	d_o	ω_{do}	ω_{do}/ω_{Pl}	d_o	ω_{do}	ω_{do}/ω_{Pl}
Jupiter	20,51	9,66	5,49	14,26	12,69	7,19	11,28	14,23	8,08	5,62	20,08	11,1
Saturn	13,73	6,85	4,18	8,02	9,75	5,95	6,35	10,93	6,69	3,18	15,32	9,3
Uranus	5,48	10,48	6,45	4,09	14,25	8,76	3,24	16,03	9,86	1,62	22,05	13,5
Neptun	11,26	12,48	10,74	7,14	15,62	12,48	7,00	17,44	15,02	2,82	24,3	21,4

Man erkennt sofort aus den Verhältniswerten ω_d/ω_{Pl}, daß die so errechneten Achsenwinkelgeschwindigkeiten ω_{do} bzw. ω_{dj} bei den äußeren Planeten sämtlich größer als ihre jetzigen Achsenwinkelgeschwindigkeiten ω_{Pl} sind. Dies gilt sogar auch für die ganz extreme Annahme, daß die Verdichtung zu den jetzigen Kugeldurchmessern erst einzusetzen begann, nachdem die Planeten ihre jetzige Bahnentfernung bereits erreicht hatten. Zur Erklärung dieses Ergebnisses geht man zweckmäßig von den Trabanten der Planeten, den Monden aus.

Es liegt bei der Frage nach der Entstehung der Monde etwas nahe, an die Entstehung der Planeten aus Gasnebelringen zu denken. Zwei sehr wesentliche Unterschiede sind hierbei aber zu beachten:

©Naturwissenschaftlicher Verein für Schwaben, download unter www.zobodat.at

Der Strahlungsdruck, der von den Planeten auf die sich bildenden Monde ausgeübt wurde, war bestimmt ganz außerordentlich viel geringer als der an sich schon geringe Strahlungsdruck, den die Ursonne auf die Planetengasnebelringe ausübte:

1. ist die Sonne unverhältnismäßig viel größer als die Planeten,
2. war sie bestimmt sehr viel heißer und
3. kühlten sich die Planeten wegen ihrer geringen Größe sehr viel rascher ab als die ungeheure Sonne, deren Wärmestrahlung heute noch außerordentlich groß ist.

Die Gezeitenreibung spielte bei der Verringerung der Erdrotation um ihre Achse, wie Darwin nachwies, sicher eine erhebliche Rolle.

Um zu einem Urteil zu gelangen, ob dies bei den anderen Planeten auch der Fall ist, wurde in Tabelle VI das Verhältnis m_T/m_{Pl} der Masse m_T des jeweiligen Trabanten zur Masse m_{Pl} des Mutterplaneten, ferner das reziproke quadratische Verhältnis der Entfernung r_T des Trabanten von seinem Planeten zu der Entfernung des Erdmondes von der Erde und endlich das Produkt der beiden Verhältniszahlen für eine Anzahl von Trabanten ermittelt, wobei insbesondere jene ausgewählt wurden, bei welchen dieses Produkt dem des Erdmondes am nächsten kommt.

Tabelle VI

Planet	Mond	$m_T/m_{Pl}\ 10^5$	$\frac{1}{(r_T/r_{Mond})^2}$	Produkt $\cdot\ 10^5$
Erde	Erdmond	1220	1,0	1220
Mars	Phobos	0,00107	1595	1,71
Jupiter	I	3,85	0,83	3,19
Jupiter	III	8,05	0,129	1,038
Jupiter	V	0,00014	4,5	0,00063
Saturn	Mimas	0,577	4,29	2,475
Saturn	Enceladus	2,355	2,61	6,15
Saturn	Rhea	0,142	0,53	0,075
Saturn	Titan	23,8	0,093	2,36
Uranus	Ariel	0,59	4,02	2,44
Uranus	Umbriel	0,277	2,06	0,571
Uranus	Titania	4,0	0,772	3,08
Uranus	Oberon	2,74	0,43	1,18
Neptun	Neptunmond	84	1,18	99

©Naturwissenschaftlicher Verein für Schwaben, download unter www.zobodat.at

Da die Gezeiten auf einem Planeten relativ umso größer sind, je größer das Verhältnis der Trabantenmasse zur Planetenmasse ist und je größer der reziproke Wert des Quadrates der Trabantenentfernung vom Planeten ist, gibt das Produkt einen guten Überblick über die relative Größe der Gezeiten und über ihren Einfluß auf die Verringerung der Achsenwinkelgeschwindigkeit des Mutterplaneten.

Aus Tabelle VI geht hervor, daß der Erdmond ganz offenkundig weit an der Spitze steht. Am nächsten kommt ihm noch der Neptunmond; dann folgen, erst in reichlichem Abstand, die Trabanten des Jupiter, Saturn und Uranus. Der Wert beim Marsmond Phobos beträgt nur 0,14% desjenigen bei dem Erdmond. Da die Verringerung der Achsenwinkelgeschwindigkeit der Erde durch die vom Mond verursachten Gezeiten so gering ist, daß man sie innerhalb der letzten Jahrhunderte noch nicht meßtechnisch nachweisen konnte, so folgt daraus, daß dies in noch weitaus viel höherem Grade bei den äußeren Planeten mit Ausnahme des Neptun der Fall ist. Hinzu kommt bei Jupiter, Saturn und Uranus, daß jeder von diesen eine Anzahl Monde besitzt, deren Gezeiten sich wenigstens teilweise entgegenwirken. Dagegen ist bei Neptun mit einer gewissen Verlangsamung seiner Achsenrotation zu rechnen.

Es wird jetzt für die äußeren Planeten nach dem 3. Keplerschen Gesetz ermittelt, welche Umlaufwinkelgeschwindigkeit $\omega_{\ddot{A}q}$ als Vielfaches der Achsenwinkelgeschwindigkeit ω_{Pl} der Planeten deren Monde annehmen würden, wenn sie unmittelbar an deren ohne ihre Atmosphäre gedachten Äquator umlaufen würden.

Tabelle VII

	$\omega_{\ddot{A}q}/\omega_{Pl}$		$\omega_{\ddot{A}q}/\omega_{Pl}$
Jupitermond IX	3,428	Saturnmond Japetus	2,515
Jupitermond V	3,345	Saturnmond Phoebe	2,515
Jupitermond VII	3,332	Uranusmond Ariel	3,62
Jupitermond III	3,325	Uranusmond Oberon	3,80
Saturnmond Mimas	2,54	Neptunmond	5,36
Saturnmond Titan	2,52		

©Naturwissenschaftlicher Verein für Schwaben, download unter www.zobodat.at

Da Neptun durch seine Mondgezeiten seine Achsenrotation beachtlich verlangsamte, fällt die zugehörige Zahl 5,36 natürlich aus dem Rahmen. Eine weitere Ausnahme scheint der Saturn zu machen: er macht aber ebenso mit seiner Dichte 0,7 eine Ausnahme, da sie nur halb so groß ist wie jene der anderen äußeren Planeten. Nimmt man an, daß Saturn in Zukunft sich noch so weit zusammenziehen würde, daß seine Dichte gleich der des Jupiter bzw. Uranus ist, so erhält man auch bei Saturn eine mit diesen beiden Planeten übereinstimmende Verhältniszahl $\omega_{\ddot{A}q}/\omega_{Pl}$. Diese Winkelgeschwindigkeit $\omega_{\ddot{A}q}$ hätten die äußeren Planeten haben müssen, wenn aus ihnen bei ihrer jetzigen Größe die zugehörigen Monde entstanden wären. Diese Trabanten sind zwar in einem viel früheren Stadium entstanden, in welchem die Planetenäquatorradien noch erheblich größer waren, wobei sich beim Zusammenziehen sowohl diese Radien als auch die Achsenwinkelgeschwindigkeiten änderten, aber -wohl gemerkt- in dem Maße, daß das Produkt aus beiden sich nicht änderte, da die lebendige Rotationsenergie und damit $\omega \cdot r$ unverändert blieben. Man kann also statt des zur Zeit der Loslösung der Trabanten vorhandenen Äquatorradius den jetzigen setzen, wenn man gleichzeitig auch die jetzige Achsenwinkelgeschwindigkeit in die Rechnung einsetzt. Dies hat aber den Vorteil, daß man mit sicheren Meßwerten rechnen kann.

Die Tabelle VII zeigt, daß im Mittel die anfängliche Achsenwinkelgeschwindigkeit der äußeren Planeten etwa 3,3-3,6 mal so groß wie die jetzige war und daß sie außerdem wahrscheinlich umso größer war, je weiter der Planet von der Sonne entfernt war. Dies deckt sich durchaus mit der Vorstellung des Einwirkens einer äußeren Kraft auf den Gasnebel Ursonne.

Der Vergleich der Verhältniszahlen $\omega_{\ddot{A}q}/\omega_{Pl}$ mit den Verhältniswerten ω_{dj}/ω_{Pl} bzw. ω_{do}/ω_{Pl} in den Tabellen IV und V ist ganz besonders aufschlußreich. Zunächst liegen nämlich die Werte $\omega_{\ddot{A}q}/\omega_{Pl}$ sämtlich zwischen den genannten Werten. Daraus folgt:

©Naturwissenschaftlicher Verein für Schwaben, download unter www.zobodat.at

1. daß die angeführte Berechnung aus der Zusammenballung der einzelnen Ringsegmente zu Kugeln nicht nur logisch befriedigt sondern auch gut mit davon auf ganz verschiedene Weise gewonnenen Werten übereinstimmende Ergebnisse liefert, und daß andere Einflüsse außer Fliehkraft und Gravitation keine allzu große Bedeutung bei der Planetenbildung gehabt haben werden.

2. liefert die Berechnung der Achsenwinkelgeschwindigkeiten ω_j aus den jetzigen Entfernungen R_j der Planeten gemäß Tabelle IV Spalten 5 und 6 bestimmt zu niedrige Werte, was durchaus zu erwarten war, da es sich hierbei um eine extreme Annahme handelt.

3. Ebenso liefert aber umgekehrt die Annahme, daß sich die Planeten bereits im Loslösungsabstand r_o zu Kugeln verdichtet hätten, erst recht zu hohe Werte, was wieder durchaus der Erwartung entspricht.

Nachdem sich sowohl aus der Zusammenballung der einzelnen Gasnebelringe als auch aus den jetzigen Umlaufwinkelgeschwindigkeiten der Monde gegenüber den jetzigen Achsenwinkelgeschwindigkeiten der Planeten im Mittel 3,4 mal so große Zahlen ergeben, ist noch dieser Unterschied zu klären. Bei der Zusammenballung zu Kugeln mußte die Geschwindigkeit der äußeren bei den Radien R_a und R_i befindlichen Schichten auf die inneren beim Radius R_m befindlichen Schichten übertragen werden, was nur durch Reibung möglich war. Reibung bedeutet aber Energieverlust, ergibt also eine kleinere Rotationsenergie. Ein weiterer Energieverlust entsteht durch die von der Sonne auf den Planeten erzeugten Gezeiten, d.h. durch die bei deren Entstehung hervorgerufene Reibung. Beide Einflüsse verringern die Achsenwinkelgeschwindigkeit der Planeten.

Man kann jetzt unter Verwendung der Werte $\omega_{\ddot{A}_I}/\omega_{Pl}$ aus der Tab. VII ausrechnen, zu welchem Hundertsatz die Zusammenballung der Planeten zu einer Kugel bereits im Anfangsabstand r_o erfolgt ist. Hierfür ergibt sich die Beziehung:

©Naturwissenschaftlicher Verein für Schwaben, download unter www.zobodat.at

$\omega_{Aq}/\omega_{Pl} = x \cdot \omega_{dj}/\omega_{Pl} + (1-x)\omega_{do}/\omega_{Pl}$.

Natürlich bedeutet dies nicht, daß die Zusammenballung nur im Abstand r_o bzw. im jetzigen Abstand R_j erfolgte. Sie ist bestimmt allmählich auf dem Weg von r_o bis R_j vor sich gegangen und der Hundertsatz gibt nur an, ob sie mehr in der Nähe von r_o oder von R_j erfolgte. Man findet für die verschiedenen Verhältnisse von Ω_o/ω_{jSonne} die Hundertsätze der

Tabelle VIII

Ω_o/ω_{jSonne}	0,25	1,0	2,5	4,0	16
Jupiter	40,9	17,9	10,8	9,2	5,5
Saturn	15,6	8,4	4,4	3,5	2,4
Uranus	57,2	35,6	22,7	19,4	13,0
Neptun	55,0	33,1	27,2	21,7	14,3

Es ist nun ganz unwahrscheinlich, daß bereits beim Anfangsabstand r_o die Zusammenballung fast bis zur Hälfte oder gar darüber sich vollziehen konnte; denn zur Zeit der Loslösung der Planetennebelringe war ein erheblicher Überschuß der Fliehbeschleunigung über die Schwerebeschleunigung vorhanden, d.h. die Nebelringe entfernten sich am Anfang ziemlich schnell von der Ursonne: umgekehrt ist in der jetzigen Entfernung R_j Gleichgewicht zwischen Flieh- und Schwerebeschleunigung vorhanden, d.h. die Annäherung an die jetzige Entfernung von der Sonne geschah gegen das Ende hin nur sehr langsam. Aus diesem Grunde sind auch die geringen Hundertsätze, die sich für $\Omega_o = 16\omega_{jSonne}$ finden, unwahrscheinlich. Am meisten Wahrscheinlichkeit besitzen die mittleren Werte.

Wenn bei Saturn die Werte wesentlich niedriger sind als bei Jupiter und insbesondere bei Uranus und Neptun, so hängt dies damit zusammen, daß bei Saturn und in geringerem Grade auch bei Jupiter die Erkaltung

©Naturwissenschaftlicher Verein für Schwaben, download unter www.zobodat.at

und Zusammenballung offenbar noch nicht in dem Maße fortgeschritten sind wie bei Uranus und Neptun.

Würde man, wie es bis jetzt von anderer Seite vielfach geglaubt wurde, annehmen, daß der Gasnebel Ursonne bis über den Neptun hinaus sich erstreckt hätte, so würde man nicht nur mit der bereits angeführten sehr unwahrscheinlichen Verdünnung des Gasnebels zu rechnen haben, man würde weiter zu keiner wirklich überzeugenden Erklärung kommen, wie es zu den Umlaufbewegungen der Planeten kommen konnte, man würde außerdem, wie aus der Tabelle IV Spalte 6 im Vergleich zu Tabelle VII hervorgeht, auch nicht erklären können, warum die Verhältniszahlen $\omega_{Äq}/\omega_{Pl}$ wesentlich höher als ω_{dj}/ω_{Pl} sind, d.h. warum die Planeten so schnell rotieren. Demgegenüber bringen die vorstehenden Ausführungen nicht nur eine logisch einwandfreie Erklärung, sondern außerdem noch für jeden einzelnen äußeren Planeten zahlenmäßig mit der Wirklichkeit genügend übereinstimmende Werte.

Es gibt weiter auch eine ganz andere Möglichkeit, um zu einem Urteil über die ungefähre anfängliche Winkelgeschwindigkeit der Planeten bei ihrem Umlauf um die Ursonne zu gelangen.

Hierbei ist die rein translatorische Bewegung der Sonne und der Planeten zu beachten.

Unter der Voraussetzung, daß das System vor Einwirkung der äußeren Kraft in Ruhe war, ergibt sich nach dem Impulssatz:

$$\int P\,dt = \int (m_S + \Sigma m_{Pl})\,dv$$

13.) $P \cdot t = m_S \cdot v$,

wobei der Einfachheit halber die gegenüber der Sonnenmasse m_S ganz kleine Masse $\sum m_{Pl}$ sämtlicher Planeten vernachlässigt wird. P ist die auf das System während der Zeit t einwirkende Kraft, v ist die sich ergebende Geschwindigkeit. Mit dem Integral braucht man sich nicht weiter zu befassen, da es uns nur auf die Endgeschwindigkeit ankommt und

©Naturwissenschaftlicher Verein für Schwaben, download unter www.zobodat.at

und die Abhängigkeit der Geschwindigkeit bzw. der Kraft von der Zeit während ihrer Einwirkung auf m_S uns nicht weiter interessiert. Hatte das System vor Einwirkung der Kraft bereits eine Geschwindigkeit $\vec{w}_0$, so so entstehen die Beziehungen:

14.) $\vec{w}_1 = P \cdot T/m_S$ und daraus

15.) $\vec{w}_{res} = \vec{w}_0 + \vec{w}_1$.

Hierbei sind $\vec{w}_0$, $\vec{w}_1$ und $\vec{w}_{res}$ gerichtete Größen.

Die Kraftrichtung ist aber im allgemeinen keineswegs auf den Systemschwerpunkt hingerichtet. Greift sie exzentrisch und tangential zum Radiusvektor an, so ergibt sich nach dem Flächensatz:

16.) $P \cdot t \cdot r_o = m_S \cdot \omega_S r_S^2 + m_{Me} \cdot \Omega_{Me} r_{Me}^2 + \ldots\ldots$

Hierbei bezieht sich der Index Me auf den Merkur und es sind natürlich sämtliche Planeten zu berücksichtigen.

Die Gl. 16 läßt sich aber noch weiter vereinfachen. Die Produkte $m \cdot r^2$ sämtlicher innerer Planeten sind nämlich fast völlig ohne Einfluß. Wegen der überragenden Größe der Sonnenmasse darf man sogar auch die Produkte $m \cdot r^2$ der äußeren Planeten vernachlässigen. Der dadurch entstehende Fehler übersteigt noch nicht 3 v.H. Damit nimmt der Flächensatz die einfache Form an:

17.) $P \cdot t \cdot r_o = \omega_S \cdot m_S \cdot r_S^2$.

Für r_S wird man zunächst den jetzigen Trägheitsradius der Sonne, also in Anlehnung an die Massenverteilung bei der Erde etwa das 0,58fache des Sonnenäquatorradius setzen wollen. Man beachte aber, daß der Gasnebel Ursonne bei der Einwirkung der äußeren Ursache eine wesentlich größere Ausdehnung als jetzt hatte. Auch wenn man von den Gasringen, aus denen die Planeten hervorgegangen sind, absieht, muß man doch bis zum sogenannten Grenzradius r_{Gr} die damalige Erstreckung der Sonne annehmen; denn alle Massen, die sich innerhalb von r_{Gr} befanden, sind der Sonne verblieben und, wenn zwischen den Nebelringen, aus denen

©Naturwissenschaftlicher Verein für Schwaben, download unter www.zobodat.at

die Planeten hervorgingen, und der Ursonne ein leerer Raum gewesen wäre, so hätte von den Ringen auf die Sonne weder eine Kraft noch ein Drehmoment übertragen werden können. Man wird also setzen: $r_S = 0{,}53 \cdot r_{Gr}$, wobei aber der Faktor 0,58 ein geschätzter Wert ist, der allerdings nicht allzu sehr schwanken kann. Betrachtet man nämlich die Ursonne abweichend von der jetzigen Kugelform als Linse, so wird der Faktor etwas größer; nimmt man aber an, daß die Dichte der Ursonne am Rande geringer war als im Mittel, so wird der Faktor kleiner.

Der Radius r_o, an dem die äußere Kraft P angriff, ist gleich der anfänglichen Entfernung des Nebelringes des äußersten Planeten, des Neptun. Für $\Omega_o = 4\omega_j$ wird daher gemäß Tabelle III $r_o = 46{,}05 \cdot 10^9$ m. Natürlich braucht die Kraft P nicht punktförmig am Gasnebel angreifend gedacht werden; man kann sich für den Kraftangriff ruhig eine breite Front etwa gleich der anfängliche Dicke $d = R_a - R_j$ des Neptungasnebelringes vorstellen. Es gibt schließlich noch nicht einmal eine allzu große Änderung, wenn man sich die Kraft auf einer Breite gleich dem Unterschied der Bahnentfernungen r_o des Neptun und des Jupiter, also des äußersten und des innersten der äußeren Planeten angreifend denkt. (Für den Fall $\Omega_o = 4\omega_j$ ergibt dies nur einen um nicht ganz 19 v.H. geringeren Wert).

Dagegen ist besonders darauf zu achten, daß die Winkelgeschwindigkeit am Sonnenäquator immer kleiner ist als die Winkelgeschwindigkeit der Planeten, insbesondere der äußeren Planeten, da der Gasnebel Ursonne kein starrer Körper war. Wenn man also z.B. für die äußeren Planeten annimmt, daß zur Zeit ihrer Loslösung von der Ursonne die Winkelgeschwindigkeit Ω_o gleich dem vierfachen der jetzigen Winkelgeschwindigkeit am Sonnenäquator war, so darf man am Grenzradius, d.h. an dem zur Zeit der Loslösung der Planeten in Frage kommenden Sonnenäquatorradius nicht ebenfalls von $\Omega_o = 4\omega_j$ ausgehen sondern von einem kleineren Wert. Man kann bestimmt sagen, daß infolge der mit zunehmenden Breitengrad abnehmenden Winkelgeschwindigkeit der Sonne und der

©Naturwissenschaftlicher Verein für Schwaben, download unter www.zobodat.at

dadurch verursachten Bremsung der äußeren Schichten die bei der Loslösung der Planeten vorhandene Winkelgeschwindigkeit sicher größer als die jetzige (ω_j) gewesen sein muß. Für die Ermittlung des Grenzradius r_{Gr} ist also von dieser gegenüber Ω_o niedrigeren Winkelgeschwindigkeit auszugehen.

Es ergibt sich jetzt durch Division der Gl. 17 durch Gl. 13 für die translatorische Geschwindigkeit v die einfache Beziehung:

18.) $v = \Omega_o \, (0{,}58 \cdot r_{Gr})^2 / r_o$

Ermittelt man jetzt nach Gl.18 die translatorische Geschwindigkeit der Sonne, so kommt man, je nachdem man Ω_o zwischen ω_j und $16\omega_j$ annimmt, auf Geschwindigkeiten, die zwischen 6,6 und 23 km/s liegen. Beschränkt man sich auf die Fälle von $2{,}5\omega_j$ bis $4\omega_j$, so liegen die Geschwindigkeiten v sogar zwischen etwa 9 und 11,5 km/s.

Man vergleiche damit die tatsächliche translatorische Geschwindigkeit der Sonne im Weltraum, die zu 20 km/s festgestellt wurde.

Wenn dieselbe etwa doppelt so groß ist wie die zuvor ermittelte translatorische Geschwindigkeit, so liegt darin kein Widerspruch.

Es kann dies bedeuten,

a) daß der Sonnengasnebel zur Zeit der Einwirkung der äußeren Kraft bereits eine gewisse Geschwindigkeit hatte oder

b) daß die Kraft P nicht tangential zum Radiusvektor sondern schräg zu ihm gerichtet war, so daß für die Drehbewegungsanfachung nur eine Komponente von ihr in Frage kam.

Es wäre ein unwahrscheinlicher Zufall, wenn der Gasnebel Ursonne sich vor Einwirkung der äußeren Kraft P vollständig in Ruhe befunden hätte oder wenn die Kraft gerade genau tangential auf ihn eingewirkt hätte.

Die rechnerische Ermittlung der translatorische Geschwindigkeit der Sonne wurde in erster Linie durchgeführt, um festzustellen, ob nicht

©Naturwissenschaftlicher Verein für Schwaben, download unter www.zobodat.at

von dieser Seite her etwas gegen unsere Ausführungen spricht. Das Ergebnis ist aber im Gegenteil viel eher als eine Bestätigung der Richtigkeit unserer Ausführungen zu werten.

An Hand der gezeigten Entwicklungen folgt also:

1. daß der Gasnebel Ursonne, aus dem die Planeten entstanden sind, im Gegensatz zu vielfach vertretenen Meinungen keineswegs eine ungeheuer große Ausdehnung etwa entsprechend dem jetzigen Neptunabstand gehabt hat,
2. daß in Bezug auf das Rotationsmoment im Sonnensystem kein Widerspruch vorliegt, wenn man sich die Entstehung der Rotation durch eine äußere Ursache klar macht und beachtet, daß einer solchen gegenüber ein Gasnebel sich nicht wie ein starrer Körper verhält,
3. daß man die Rotation der Planeten um ihre Achse nicht nur erklären sondern ihre Winkelgeschwindigkeit bzw. Rotationsdauer sogar auch zahlenmäßig genügend zuverlässig ermitteln kann und zwar übereinstimmend auf völlig verschiedenen Wegen,
4. daß auch die Geschwindigkeit der Sonne im Weltraum durchaus den gemachten Darlegungen entspricht.

Zahl der Monde.

Es sei jetzt auf die Frage eingegangen, warum Merkur und Venus keinen Mond, die Erde einen, Mars zwei, die äußeren Planeten dagegen viel mehr Monde und einer sogar noch Ringe dazu besitzt.

Zur Beantwortung dieser Frage gehen wir für die Zeit der Ablösung der verschiedenen Monde von der vorläufigen Annahme aus, die Achsenwinkelgeschwindigkeit der Planeten wäre damals gleich der jetzigen gewesen, hätte sich also nicht verringert. Wir sind uns zwar nach den obengemachten Ausführungen genau bewußt, daß die damalige Achsenwinkelgeschwindigkeit bestimmt beträchtlich größer war als die jetzige. Es ist uns aber im vorliegenden Fall lediglich darum zu tun, mit fest umrissenen Zahlen rechnen zu können und nicht von einem zahlenmäßig nicht

©Naturwissenschaftlicher Verein für Schwaben, download unter www.zobodat.at

genauen, geschätzten Vielfachen der jetzigen Winkelgeschwindigkeit ausgehen zu müssen, wobei weiter zu bedenken ist, daß dieses Vielfache von ω_j gemäß Tabelle VII bei den in ihrer Größe und in ihrer Entfernung von der Sonne stark voneinander abweichenden Planeten ebenfalls verschieden gewesen ist. Der sich so ergebende Mondablösungsabstand r_o ist in der folgenden Tabelle IX in Spalte 5 angegeben. Weil sich für die verschiedenen Monde eines Planeten jeweils ähnliches ergibt, sind nicht sämtliche Monde desselben angeführt sondern immer nur der innerste und außerdem der größte Satellit. r_{Pj} ist der jetzige Äquatorialradius des Planeten und ω_{Pj} seine jetzige Achsenwinkelgeschwindigkeit. r_{Gr} ist der sogenannte Grenzradius, dessen Begriff bereits früher erläutert wurde. Bei dem Erdmond sind außerdem noch für den Fall, daß der Erdentag früher nur 3,4 Stunden, also den 7,04ten Teil des jetzigen Erdentages dauerte, die verschiedenen Werte in der letzten Zeile der Tabelle angegeben. Die Zahl 3,4 ist nicht geschätzt oder von uns errechnet, sondern aus der Literatur entnommen.

Tabelle IX

Planet	Mondzahl	Mond	r_{Pj} in 1000 km	r_o in 1000 km	r_{Gr} in 1000 km	$\omega_{Pj}\ 10^5$	r_o/r_{Pj}
Merkur	0	–	2,4	84,6	277	0,082	35,2
Venus	0	–	6,11	20,5	738	0,279	20,6
Erde	1	Mond	6,378	73,05	41,9	7,27	11,45
Mars	2	Phobos	3,4	16,84	20,52	7,09	4,95
Uranus	4	Titania	24,35	98,2	60,0	16,3	4,04
		Ariel	24,35	80,15	60,0	16,3	3,30
Jupiter	9	III	71,35	256	158,6	17,65	3,60
		V	71,35	163,8	158,6	17,65	2,30
Saturn	10 u. 3 Ringe	Titan	60,4	199	111,7	17,35	3,29
		Florring	(70,7)	(80,9)	111,7	(32,4)	(1,14)
Erde 57		Mond	6,378	27,5	11,42	51,1	4,32

©Naturwissenschaftlicher Verein für Schwaben, download unter www.zobodat.at

Aus dieser Tabelle geht klar hervor:

Je mehr sich das Verhältnis r_o/r_{P_j} eins nähert, umso größer ist die Zahl der Monde. Dies erklärt sich durch die höhere Fliehbeschleunigung, d.h. das Quadrat der Winkelgeschwindigkeit ω_j mal dem Planetenradius r_{P_j}. Geht man, wie es nach den früheren Ausführungen unbedingt geboten ist, für die Loslösungszeit der Monde von einer höheren Winkelgeschwindigkeit des Mutterplaneten aus, so nähern sich die Verhältniszahlen r_o/r_{P_j} natürlich stark eins. Für $\Omega_o = 4\omega_j$ ergeben sich z.B. nur halb so große Werte.

Besondere Beachtung verdient noch der Saturn. Sein innerster Ring, der Florring dreht sich schneller um seine Achse als der Hauptplanet und zwar in 0,314-0,224 Tagen, während der Saturn selbst zu einer Umdrehung 0,426 Erdentage braucht. Dies ist umso beachtlicher, als die weitaus meisten Monde entsprechend dem 3. Keplerschen Gesetz sich entsprechend langsamer drehen als der Mutterplanet und da auch der Florring durchaus diesem Gesetz entspricht. Es ist nämlich $m_{Sat} \cdot f = 95{,}2 \cdot 5{,}97 \cdot 10^{23} \cdot 0{,}0653 \cdot 10^{-8} = 37{,}08 \cdot 10^{15}$. Die Winkelgeschwindigkeit des Florrings ist im Mittel $\omega_o = 0{,}272 \cdot 10^{-3}$, sein Abstand von der Saturnachse beträgt $R = 80{,}1 \cdot 10^6$ m. Damit wird

$$\omega_o^2 \cdot R^3 = 37{,}08 \cdot 10^{15},$$

also übereinstimmend mit $m_{Sat} \cdot f$, wie es das Keplersche Gesetz verlangt. Sogar für den innersten Teil des Florrings mit $\omega_o = 0{,}324 \cdot 10^{-3}$ und $R = 70{,}7 \cdot 10^6$m gilt dieses Gesetz.

Setzen wir jetzt nur voraus, der Saturn habe zur Zeit der Ablösung seiner Monde dieselbe Winkelgeschwindigkeit und denselben Halbmesser besessen wie sein Florring innen, d.h. eine im Vergleich zur jetzigen um 95,5% höhere Winkelgeschwindigkeit- also noch lange nicht die aus den vorausgegangenen Untersuchungen ersichtliche etwa 2½fache- und einen nur um 17 v.H. größeren Radius- siehe die eingeklammerten Zahlen in Tabelle IX vorletzte Zeile-, so ist das sich so ergebende Ver-

©Naturwissenschaftlicher Verein für Schwaben, download unter www.zobodat.at

hältnis $r_o/r_j = 1{,}143$, also kaum mehr von 1 verschieden. Damit wird es durchaus klar, warum der Saturn so viele Monde besitzt. Die beim Florring höhere Winkelgeschwindigkeit erklärt sich dadurch, daß der Florring im Gegensatz zum Saturn seine ursprüngliche Winkelgeschwindigkeit nicht durch Gezeiten verringert hat. Auch etwaige Meteoriteneinstürze oder Vulkanausbrüche, die durch Corioliskraft Reibung erzeugen, scheiden beim Florring aus. Genau dasselbe gilt beim Marsmond Phobos, dessen Umlaufszeit ebenfalls geringer ist als der Marstag selbst. Während Phobos seine Umlaufwinkelgeschwindigkeit nicht verringerte, ist jene des Mars durch die bereits geschilderten Einflüsse, d.h. die von der Sonne herrührenden Gezeiten geringer geworden. Nimmt man an, daß Mars bei der Loslösung des Phobos eine mit der Umlaufwinkelgeschwindigkeit des letzteren übereinstimmende Achsenwinkelgeschwindigkeit hatte, so erhält man entsprechend der sich so ergebenden 3,24fachen seiner jetzigen Winkelgeschwindigkeit als Grenzradius 9380km, d.h. die Entfernung des Phobos vom Mars. Diese Achsenwinkelgeschwindigkeit muß also bei der Loslösung des Phobos mindestens vorhanden gewesen sein, damit die Fliehbeschleunigung größer als die Schwerebeschleunigung war.

Wir kommen jetzt zur Erde. Beim Mars ist die Bremsung durch die von seinen Monden herrührende Gezeitenwirkung sicher ganz bedeutend geringer als bei der Erde; denn 1. hat der Mars keine Meere und Ozeane. Die weißen Kappen gegen die Pole zu, die ihre Größe rasch verändern, haben nur eine ganz geringfügige Dicke. Die Lufthülle ist beim Mars im Vergleich zur Erde ebenfalls nur ganz unbedeutend. Auch ist der Mars, der nur 11 v.H. der Erdmasse besitzt und von der Sonne eine um 52,3 v.H. größere Entfernung aufweist also je qm Oberfläche nur 42,5% der auf die Erde kommenden Sonneneinstrahlung erhält, sicher zu einem beachtlich größeren Anteil seiner Masse erkaltet als die Erde, so daß Gezeitenwirkungen in der festen Marsrinde ausscheiden und damit die von

©Naturwissenschaftlicher Verein für Schwaben, download unter www.zobodat.at

ihnen verursachte Bremsung der Achsenwinkelgeschwindigkeit des Mars. Insbesondere haben aber 2. die beiden Marsmonde eine außerordentlich viel geringere Masse als unser Erdmond. Gleiche Dichte wie bei diesem vorausgesetzt ist die Masse des Erdmondes 12,5 Millionen mal größer als die des Phobos. Es ist daher nicht nur aus den vorausgegangenen Ausführungen über die Zusammenballung aus einem Ringsegment sondern auch beim Vergleich mit dem Mars der Schluß berechtigt, daß die Achsenwinkelgeschwindigkeit der Erde zur Zeit der Loslösung des Mondes von ihr bestimmt nicht unter dem 3,24fachen Wert ihrer jetzigen war. Wahrscheinlich war sie übrigens auch beim Mars eher höher; denn es ist kaum anzunehmen, daß der Loslösungsabstand des Phobos gerade so groß war wie der damalige Grenzradius des Mars.

Bei der Erde mit ihrer im Vergleich zum Mars fast 10mal so großen Masse, die wesentlich langsamer erkaltet, ihren großen Ozeanen, ihrer beträchtlichen Lufthülle und bei dem im Vergleich zu den Marsmonden ganz unvergleichlich viel größeren Erdmond und damit einer starken Gezeitenwirkung, die die von der Sonne herrührende übertrifft, ist aber die die Bremsung der Achsenwinkelgeschwindigkeit seit der Mondloslösung sicher beachtlicher größer als beim Mars gewesen, d.h. zur Zeit der Mondablösung war die Achsenwinkelgeschwindigkeit der Erde bestimmt erheblich mehr als das 3,24fache ihrer jetzigen.

Es braucht aber daraus noch nicht der Schluß gezogen zu werden, daß die anfängliche Achsenwinkelgeschwindigkeit der Erde mehr als das fünf-fache ihrer jetzigen war. Man beachte, daß der Mond infolge der von ihm auf die Erde ausgeübten besonders starken Gezeitenwirkung sich allmählich immer weiter von der Erde entfernte. E.R.Moulton-Publ.107 of the Carnegie Inst. of Washington- findet unter der Voraussetzung, daß zur Zeit der Mondablösung die Winkelgeschwindigkeit der Erde dieselbe wie die des Mondes war, als anfänglichen Mondabstand das 2,33-fache des jetzigen Erdradius. Er gibt weiter an, daß bei geringerer Dich-

©Naturwissenschaftlicher Verein für Schwaben, download unter www.zobodat.at

te die Entfernung größer ist. Bei einer mindestens zum Teil glühendes Gas vorhandenen Erde ist es aber durchaus klar, daß ihre Dichte damals erheblich geringer war als jene der heute erkalteten Erde mit $\gamma = 5{,}5$, daß die Erde damals infolgedessen ein viel größeres Volumen hatte als die heutige Erde. Dazu kommt noch, daß sie infolge ihrer damaligen die jetzige um ein Mehrfaches übersteigenden Achsenwinkelgeschwindigkeit nicht wie die Erde von jetzt nur ganz schwach abgeplattet war, sondern sicher deutlich linsenförmig war, so daß der Radius dieser Linse eher größer als das 2,33 fache des jetzigen Erdradius war.

Wenn Venus und Merkur keinen Mond besitzen, so ist daran außer ihrer großen Nähe zur Sonne, welche die Umlaufsbewegung der Trabanten zu sehr beeinflussen würde, ihre geringe Achsenwinkelgeschwindigkeit die Ursache. Diese geringe Winkelgeschwindigkeit ist aber eine Folge der durch die große Sonnennähe verursachten starken Gezeiten, wobei noch zu beachten ist, daß Merkur und Venus infolge dieser großen Sonnennähe sicher viel länger gasförmig bzw. flüssig blieben als etwa Mars oder Pluto.

Es dürfte hier am Platze sein, ganz kurz zu zwei Hypothesen über die Entstehung der Monde Stellung zu nehmen. Die eine bezieht sich auf ein Einfangen der Monde durch die Planeten. Wie Nölke -Der Entwicklungsgang unseres Planetensystems, Ferd. Dummlers Verl. Berlin 1930- gezeigt hat, ist zum mindesten für die regulären Monde, also die weitaus überwiegende Mehrzahl die Einfanghypothese völlig unhaltbar. Seinen dahingehenden Ausführungen ist voll und ganz beizupflichten. Nach anderen Hypothesen sind die Monde von den Planeten „abgeschleudert" worden. Es ist sogar behauptet worden, daß die Stelle, an der der Erdmond aus der Erde herausgeschleudert worden sei, im nördlichen stillen Ozean in der Gegend der Midway-Inseln liege. Entgegen solchen Phantasieen wurden nach unseren Ausführungen die Monde nicht von den Planeten abgeschleudert sondern haben lediglich die Zusammenziehung

©Naturwissenschaftlicher Verein für Schwaben, download unter www.zobodat.at

der Gasnebelringsegmente nur solange mitgemacht, bis ihre Fliehkraft die Anziehungskraft des zugehörigen Planetennebelringsegmentes überstieg, worauf sie in dieser Entfernung blieben oder wie der Erdmond sich noch weiter vom Planeten entfernten, während der Planetennebel sich noch weiter verdichtete also auf einen kleineren Radius zusammenzog. Ein „Abschleudern des Mondes" kommt daher nicht in Frage, und auch dann nicht, wenn man eine vulkanische Katastrophe zu Hilfe zu nehmen versucht. Eine der größten derartigen Katastrophen hinterließ das heutige schwäbische Ries. Der dabei entstandene Krater hat einen Durchmesser von etwa 16 km; trotzdem wurden die Gesteine zum größten Teil nur bis zu 10 km fortgeschleudert und nur ganz winzige Mengen bis etwa 40 km.

Innere Planeten.

Bisher ist von der Bildung der äußeren Planeten aus Ringen oder Ringsegmenten die Rede gewesen. Es sind jetzt noch über die Entstehungen der inneren Planeten einige Ausführungen am Platze:

Einem auch nur flüchtigen Beobachter des Sonnensystems muß es auffallen, daß zwischen der Bahn des Jupiters und der des Mars ein ziemlich großer Zwischenraum ist, der bereits Kepler zu dem berühmten Ausspruch veranlaßte: Inter Martem et Jovem planetam interposui. Weiter fällt auf, daß die inneren Planeten sämtlich viel kleiner als die äußeren sind: Im Mittel beträgt ihre Masse nur 1/220 der Masse der vier äußeren Planeten und die Masse des Mars beträgt sogar nur 1/2880 der Masse des ihm benachbarten Jupiter.

Beide Punkte der große Abstand bis Jupiter- und die verhältnismässig sehr kleine Masse lassen vermuten, daß die vier kleinen inneren Planeten auf eine etwas andere Weise entstanden sind als die äußeren.

Zu eben diesem Ergebnis kommt man auch, wenn man bei der Entstehung der kleinen Planeten von Nebelringen oder Ringsegmenten ausgeht, die sich wie bei den großen Planeten unmittelbar aneinander

©Naturwissenschaftlicher Verein für Schwaben, download unter www.zobodat.at

schließen. Für eine befriedigende zahlenmäßige Erklärung der Achwinkelgeschwindigkeiten ergeben sich nämlich so außerordentlich geringe radiale Ringdicken, daß man die Bildung der inneren Planeten aus Nebelringen als unwahrscheinlich ansehen muß. Man könnte vielleicht denken, daß sich größere Ringdicken ergeben, wenn man nicht geschlossene Ringe sondern ganz kurze Ringsegmente annimmt. Aber abgesehen davon, daß dies eine Annahme ist, die sich nicht auf bereits vorliegende Beobachtungsergebnisse stützen kann, ist zu beachten, daß das Ergebnis gemäß Formel 12 mit der Achsenwinkelgeschwindigkeit der inneren Planeten in Einklang stehen muß. Es ergeben sich nämlich unter Beachtung dieses Umstandes bei Annahme eines ganz kurzen Nebelringsegmentes zwar große Breiten aber immer nur unwahrscheinlich kleine radiale Ringdicken.

Diese Gesichtspunkte sind Veranlassung, für die vier kleinen inneren Planeten eine andere Entstehungsmöglichkeit kritisch und zahlenmäßig zu prüfen.

Man denke sich einen Gasball, der sich eben von der Ursonne infolge Überwiegens der Fliehkraft über die Anziehungskraft losgelöst hat. Derselbe braucht nicht Kugelform zu besitzen: er wird aber, sowie er sich weit genug von der Sonne entfernt hat, ungefähre Kugelform annehmen. Diese Gaskugel ziehe sich infolge Wärmeausstrahlung und dadurch bewirkter Abkühlung zusammen, so daß die der Sonne näher liegenden Teile sich weiter von ihr entfernen. Genau wie bei einem Ringsegment werden diese Teile im Sinne der Entwicklung bei Gl. 7 infolge Größerwerdens ihrer Entfernung von der Sonne langsamer um die Sonne rotieren wollen als der Mittelpunkt der Gaskugel: umgekehrt werden jene Teile, welche vom Kugelmittelpunkt aus gerechnet entfernter als dieser von der Sonne sind, bei der Kugelzusammenziehung infolge Kleinerwerdens ihrer Entfernung von der Sonne rascher als der Kugelmittelpunkt um die Sonne umlaufen wollen. Die Folge ist: Die Kugel gerät in Rotation

©Naturwissenschaftlicher Verein für Schwaben, download unter www.zobodat.at

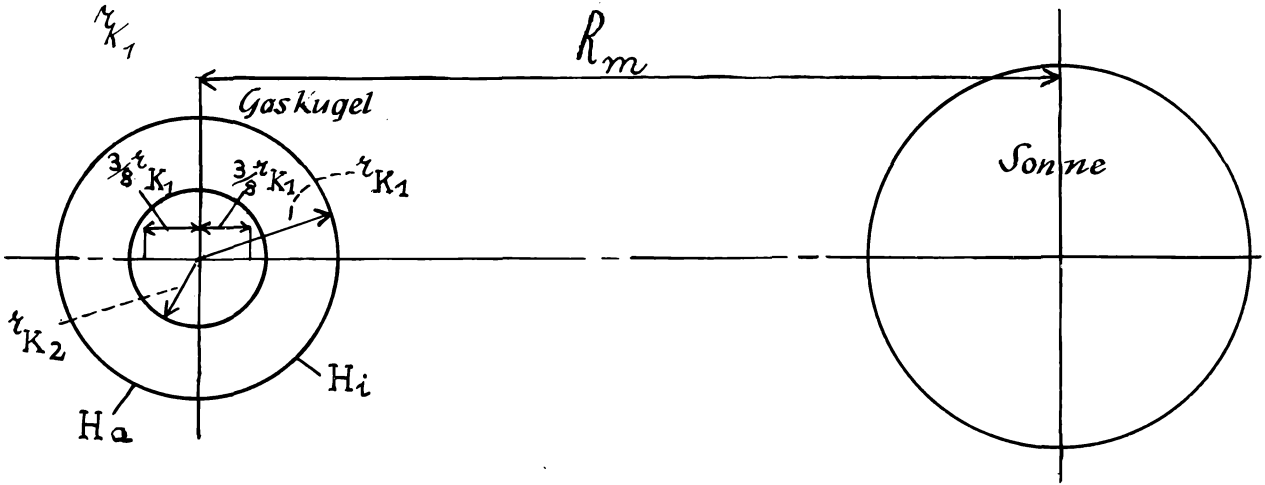


Abbildung 7

Gaskugel mit Einteilung in eine der Sonne zu- und in eine von ihr abgewandte Hälfte. Die Gaskugel schrumpft vom Radius r_{K1} und den Radius r_{K2} zusammen.

©Naturwissenschaftlicher Verein für Schwaben, download unter www.zobodat.at

um ihre Achse, wobei der Drehsinn derselbe ist wie der Umlaufsdrehsinn um die Sonne.

Es muß jetzt die so entstehende Achsenrotationsenergie mit der Achsenrotationsenergie E_o des Planeten, die er zur Zeit der Ablösung seines Satelliten besaß, d.h. also nicht mit der jetzigen Achsenrotationsenergie E_j sondern einem bestimmten Vielfachen davon übereinstimmen.

Man denke sich nun nach Abb.7 die Kugel mit Radius r_{K1} in eine der Sonne zugewandte Hälfte H_i und eine ihr abgewandte Hälfte H_a zerteilt. Der Schwerpunkt jeder Hälfte ist vom Gaskugelmittelpunkt um $3/8 \cdot r_{K1}$ entfernt. Die Energie, welche aufzuwenden ist, um die Masse der inneren Hälfte entgegen der Anziehungskraft der Sonne soweit dem Kugelmittelpunkt zunähern, daß ihr Radius auf r_{K2} zusammengeschrumpft ist, beträgt gemäß Formel 7

19. $E_i = \frac{M}{2} \cdot m_S \cdot f \left(\frac{1}{R_m - \frac{3}{8} r_{K1}} - \frac{1}{R_m - \frac{3}{8} r_{K2}} \right)$

wobei M die gesamte Masse der Gaskugel, r_{K1} der Radius der noch nicht konzentrierten, r_{K2} den Radius der bereits konzentrierten Kugel und R_m den während des Zusammenziehens der Gaskugel gleichbleibend gedachten Abstand von der Sonne darstellt.

Bei der äußeren Kugelhälfte wird die frei werdende Energie

20. $E_a = \frac{M}{2} \cdot m_S \cdot f \left(\frac{1}{R_m + \frac{3}{8} r_{K2}} - \frac{1}{R_m + \frac{3}{8} r_{K1}} \right)$

Beide Energien zusammen ergeben:

21. $E_z = \frac{M}{2} \cdot m_S \cdot f (r_{K1} - r_{K2}) \left[\frac{1}{(R_m + \frac{3}{8} r_{K1})(R_m + \frac{3}{8} r_{K2})} + \frac{1}{(R_m - \frac{3}{8} r_{K1})(R_m - \frac{3}{8} r_{K2})} \right]$

Da r_{K1} und r_{K2} gegenüber R_m sehr klein sind, vereinfacht sich die Beziehung zu

22. $E_z = M \cdot m_S \cdot f \frac{\frac{3}{8} (r_{K1} - r_{K2})}{R_m^2}$

Die jetzige Achsenrotationsenergie E_j des Planeten findet sich zu

23. $E_j = \frac{M}{2} \cdot i_j^2 \cdot \omega_j^2$.

©Naturwissenschaftlicher Verein für Schwaben, download unter www.zobodat.at

wobei i_j der Trägheitsradius und ω_j die jetzige Achsenwinkelgeschwindigkeit sind. War zur Zeit der Ablösung des Satelliten der Trägheitsradius i_a und die Achsenwinkelgeschwindigkeit $\omega_a = k \cdot \omega_j$, so wird die zugehörige Achsenrotationsenergie

24. $E_a = \frac{M}{2} i_a^2 \cdot k^2 \cdot \omega_j^2$

Die Einteilung in nur 2 Kugelhälften scheint sehr roh zu sein: es ergibt sich aber bei Einteilung in eine größere Anzahl Teile dasselbe. Der Trägheitsradius i_j bzw. i_a wird in Anlehnung an die Feststellung bei der Erde gleich dem 0,58fachen des zugehörigen Äquatorialradius gesetzt. Für eine homogene Kugel ergibt sich das 0,6325fache. Beim Trägheitsradius i_a ist mit der Möglichkeit zu rechnen, daß er noch kleiner als 0,58 r_{K1} ist, da die inneren Planeten zur Zeit der Loslösung ihrer Monde nach Nölke, der Entwicklungsgang unseres Planetensystems wahrscheinlich aus einem dichten von einer Gashülle umgebenen Kern bestanden. Durch Gleichsetzen der Ausdrücke für $E_{\mathfrak{L}}$ und E_a entsteht.

25. $m_S \cdot \frac{f \cdot \frac{3}{8}(r_{K1} - r_{K2})}{R_m^2} = i_a^2 \cdot k^2 \cdot \omega_j^2$.

Beim Mars ist nicht nur die jetzige Achsenwinkelgeschwindigkeit ω_j sondern auch aus der Umlaufwinkelgeschwindigkeit des Phobos die zur Zeit der Ablösung desselben vom Mars vorhandene mit der Phobos-Umlaufwinkelgeschwindigkeit übereinstimmende Achsenwinkelgeschwindigkeit $k\omega_j$ bekannt. Die Bahnentfernung R_m ist davon abhängig, wie man zur Zeit der Ablösung des Phobos die Umlaufwinkelgeschwindigkeit des Mars um die Sonne (Ω_o) annimmt. Sie deckt sich aber nicht mit der früher für die Zeit der Loslösung des Mars von der Ursonne ermittelten Entfernung r_o, da die Loslösung des Phobos sich erst vollzog, nachdem die Gaskugel Mars sich bereits ziemlich von der Sonne entfernt und sich etwas zusammengezogen hatte.

Da beim Mars sowohl seine jetzige Achsenwinkelgeschwindigkeit ω_j

©Naturwissenschaftlicher Verein für Schwaben, download unter www.zobodat.at

als auch die zur Zeit der Phobosablösung vorhandene ($k \cdot \omega_j$) und weiter sein jetziger Äquatorialradius (3400 km) als auch der zur Zeit der Phobosablösung vorhandene mit der jetzigen Phobosentfernung genügend genau übereinstimmende Kugelradius r_{K2} gleich 9380 km bekannt sind, ist der Verlust an Achsenrotationsenergie, den Mars seit der Phobosablösung erlitt, leicht zu ermitteln. Er ergibt sich zu:

26. $$V = \frac{1}{2} M \left[i_a^2 \cdot k^2 \omega_j^2 - i_j^2 \cdot \omega_j^2 \right]$$

Dieser Verlust muß gleich sein dem Gewinn an Umlaufenergie des Mars. Auf diese Weise läßt sich unter Zuhilfenahme des 3.Keplerschen Gesetzes die zur Zeit der Phobosablösung vorhanden gewesene Bahnentfernung des Mars von der Sonne berechnen. Es zeigt sich hierbei, daß Mars von der Phobosablösung an nur wenig, nämlich nur um 3,2% nach außen wanderte. Setzt man den so für diese Zeit gefundenen Abstand R_m in die Gl. 25 ein, so ergibt sich für den unbekannten Gaskugelradius r_{K1} ein Extremwert. Es handelt sich deshalb um einen ganz unwahrscheinlichen Extremwert, weil hierbei vorausgesetzt ist, daß die Gaskugel Mars vom Zeitpunkt der Loslösung von der Sonne bis auf diesen Abstand R_m nach außen wanderte, ohne sich abzukühlen und ohne sich zusammenzuziehen, und daß sie erst nach Erreichen dieses Abstandes sich zusammengezogen hat.

Eine andere extreme Vorstellung geht davon aus, daß die Gaskugel Mars unmittelbar nach Loslösung von der Sonne, also bereits im Abstand r_o sich auf den der Phobosentfernung entsprechenden Kugelradius r_{K2} zusammengezogen hätte.

Da die Abhängigkeit der Zusammenziehung der Gaskugel von der Entfernung R_m von der Sonne nicht bekannt ist, bleibt nichts anderes übrig, als für beide Extremannahmen den Gaskugelradius r_{K1} zu berechnen. Man wird einwenden, daß sich hierbei für den Kugelradius r_{K1} zwei sehr verschiedene Werte ergeben, da die Bahnentfernung R_m bei der er-

©Naturwissenschaftlicher Verein für Schwaben, download unter www.zobodat.at

sten Annahme rund zehnmal so groß als bei der zweiten ist und da außerdem R_m im Quadrat vorkommt. Es ist aber zu beachten, daß bereits die Größe der einzelnen Planeten einen gut brauchbaren Anhaltspunkt bietet. Mars muß sich bestimmt außerordentlich viel rascher abgekühlt und zusammengezogen haben als der ihn an Masse fast 3000 mal übertreffende Jupiter und auch immer noch sehr viel rascher als der ihn an Masse 133 mal übertreffende Uranus. Das gilt auch dann, wenn Mars die gleiche Dichte aufweisen würde wie diese Planeten. Seine Dichte ist aber dreimal so groß. Bei seiner kleinen Masse läßt sich diese größere Dichte nicht durch einen in seinem Innern auftretenden gegenüber Jupiter sehr viel größeren Druck erklären sondern nur durch das Vorhandensein wesentlich schwererer Stoffe wie bei Jupiter. Spezifisch schwere Stoffe haben aber allgemein einen höheren Schmelz- und namentlich höheren Siedepunkt als leichte Stoffe. Wäre also Mars von derselben Masse wie Jupiter, so wäre er doch wegen seiner Zusammensetzung aus spezifisch schwereren Stoffen wesentlich rascher, d.h. in verhältnismäßig wesentlich geringerem Abstand R_m von der Sonne aus dem gasförmigen in der flüssigen bzw. festen Zustand übergegangen wie Jupiter. Bei seiner gegenüber Jupiter nur 1/2880 betragenden Masse ist dies natürlich erst recht der Fall. Bei Mars wird wegen seiner sehr geringen Masse und seiner großen Dichte etwa mit den umgekehrten Werten wie bei Jupiter und Saturn zu rechnen sein.

Für den Fall $\Omega_o = 4\omega_j$ wird also ausgegangen von dem zugehörigen aus Tabelle III ersichtlichen Abstand $r_o = 21{,}86 \cdot 10^9$ m und dazu werden 7% des Unterschiedes zwischen der jetzigen Bahnentfernung $R_j = 227{,}8 \cdot 10^9$ m und r_o addiert. Damit findet sich der Radius r_{Kl} der anfänglichen Marsgaskugel zu 29360 km, also gleich dem 3,62fachen des jetzigen Marsäquatorialradius. Das Volumen der sich so ergebenden Gaskugel ist 640mal so groß als das jetzige Marsvolumen.

Für den Fall $\Omega_o = 2{,}5\,\omega_j$ wird r_{Kl} 34960 km und das anfängliche Gas-

©Naturwissenschaftlicher Verein für Schwaben, download unter www.zobodat.at

kugelvolumen 1041 mal so groß wie das jetzige Marsvolumen.

Die beiden Fälle mit $\Omega_0 = 4\omega_j$ bzw. $2{,}5 \cdot \omega_j$ genügen, weil bereits bei den äußeren Planeten gefunden wurde, daß die anfängliche Winkelgeschwindigkeit Ω_0 für die Gasnebelringe der letzteren in dem Bereich zwischen diesen beiden Werten lag, und weil sie beim Mars höchstens ganz wenig kleiner aber bestimmt nicht größer gewesen sein kann. Man kommt also für die anfängliche Gaskugel Mars zu Werten, die durchaus wahrscheinlich sein dürften, wenn man bedenkt, daß es sich um ein glühendes Gas handelt. Natürlich ist diese Einteilung in 7 und 93% nur als erste rohe Schätzung zu werten. Wenn weiter hier immer von einer Gaskugel die Rede war, so soll damit nur zum Ausdruck gebracht werden, daß diese Kugel im wesentlichen noch gasförmig war.

Für die Erde liegen die Verhältnisse insofern wesentlich schwieriger als der Erdmond wegen seiner großen Masse erhebliche Gezeiten auf der Erde hervorruft, unter deren Wirkung er sich im Gegensatz zum sehr kleinen Phobos weiter von der Erde entfernte. Mit Beachtung der bereits gemachten Ausführungen ist die Winkelgeschwindigkeit der Erde zur Zeit der Mondablösung bestimmt etwas größer als das 3,24 fache ihrer jetzigen Achsenwinkelgeschwindigkeit. (Der Beiwert 3,24 war bei Mars gefunden worden). E.R.Moulton (Publ.107 of the Carnegie Inst.of Washington) findet als anfängliche Mondentfernung das 2,33fache des jetzigen Erdradius, d.h. 14850 km. Damit sich hierbei der Mond ablösen konnte, muß die Fliehbeschleunigung mindestens so groß wie die Erdbeschleunigung an diesem großen Radius gewesen sein, d.h. die Achsenwinkelgeschwindigkeit der Erde mußte gleich dem 4,8fachen ihrer jetzigen gewesen sein.

Die anfängliche Umlaufwinkelgeschwindigkeit Ω_0 der Gaskugel Erde wird jetzt gleich $2{,}5\,\omega_j$ bzw. $4\,\omega_j$ angenommen. Nachdem sich für die äußeren Planeten herausstellte, daß Ω_0 zwischen diesen beiden Werten

©Naturwissenschaftlicher Verein für Schwaben, download unter www.zobodat.at

liegt, ist es angebracht, bei der Erde ebenfalls mit diesen beiden Werten zu rechnen. Es fragt sich jetzt noch, welche mittlere Bahnentfernung R_m einzusetzen ist. Daß der Hundertsatz in der Differenz des Bahnabstandes r_o bei der Loslösung der Erde von der Ursonne und des jetzigen Erdabstandes R_j bei der Erde größer als bei Mars zu wählen ist, ist ohne weiteres klar, weil die Masse der Erde samt Erdmond rund 11 mal so groß wie die Masse des Mars samt seinen beiden Monden ist und es daher zur Abkühlung eines längeren Zeitraumes bedurfte. Andererseits ist aber der Prozentsatz erheblich kleiner als bei Uranus und Neptun, deren Masse über 15 mal so groß wie jene der Erde ist. Im Vergleich zu Mars kommt noch hinzu, daß die Dichte der Erde mit 5,5 beachtlich größer als bei Mars ist. Eine Kugel mit der Dichte 5,5 wird sich durch Abkühlung rascher verdichten als eine gleich große mit der Dichte 4,0. Für den Hundertsatz wird man daher bedeutend weniger als bei Uranus und Neptun aber mehr als bei Mars annehmen müssen. Als Mindestsatz werden 12 v.H. und als Höchstsatz 20 v.H. geschätzt. So entsteht Tabelle X, in welcher für 12 bzw. 16 bzw. 20 v.H. die sich ergebenden Gaskugelradien als Vielfache des jetzigen Erdradius und die anfänglichen Gasvolumina als Vielfache des jetzigen Erdvolumens angeführt sind.

Tabelle X

für Radius r_{K1} und Anfangsvolumen der Erde.

Ω_o/ω_j	r_{K1}/r_{Erde}			V_{K1}/V_{Erde}		
	12%	16%	20%	12%	16%	20%
2,5	10,4	11,42	15,56	1120	1515	3760
4,0	9,0	11,04	13,52	729	1350	2465

Die angegebenen Gaskugelvolumina sind Werte, die durchaus möglich erscheinen. Ihre Unterschiede sind durchaus verständlich, je nachdem man die anfängliche Temperatur der glühenden Gaskugel annimmt. Es

©Naturwissenschaftlicher Verein für Schwaben, download unter www.zobodat.at

kommt uns aber jetzt nicht auf die anfängliche mittlere Temperatur derselben, die bei einigen Tausend Grad liegen dürfte, an, ferner auch nicht darauf, welcher von den angeführten Radius- und Volumenwerten der wahrscheinlichere ist. Es handelt sich vielmehr bei diesen Darlegungen nur darum, zu zeigen, daß die Bildung der Erde bzw. des Mars aus einem glühenden Gasball, der sich von der Sonne loslöste und in Rotation um seine Achse mit einer bestimmten Winkelgeschwindigkeit geriet, weder im Widerspruch zu den sämtlichen bisherigen Beobachtungen und Meßergebnissen noch zu den Gesetzen der Mechanik steht und insbesondere auch zahlenmäßig als durchaus wahrscheinlich angesehen werden kann.

Von Venus und Merkur war bereits kurz die Rede. Ein weiteres Eingehen auf diese beiden Planeten ist nicht am Platze, da sie keinen Satelliten besitzen, an Hand dessen ihre ursprüngliche Achsenwinkelgeschwindigkeit ermittelt werden könnte. Außerdem ist die jetzige Achsenwinkelgeschwindigkeit der Venus unsicher, da sie ständig in dichte Wolken gehüllt ist. Es dürfte aber kaum einem Zweifel unterliegen, daß sie sich ähnlich wie Mars und Erde als glühender Gasball von der Ursonne losgelöst und ihre hernach entstandene Eigenrotation infolge der starken Sonnengezeiten allmählich stark eingebüßt hat.

Bei der vorstehenden Bildung der inneren Planeten aus Gaskugeln ist aus Gründen der Rechnungsvereinfachung angenommen werden, daß die Dichte unabhängig von der Entfernung vom Mittelpunkt überall gleich gewesen sei. Dies trifft natürlich nicht zu. Sie ist in der Mitte weitaus am größten und nimmt gegen außen hin stark ab. Schon in 1/5 Entfernung vom Schwerpunkt ist die Dichte nach „Emden, Gaskugeln, Leipzig 1907" nur noch etwa 4 v.H. der Mittelpunktsdichte und in 2/5 Entfernung nur noch etwa $1^{o}/_{oo}$. Dies ändert aber an unseren Ausführungen abgesehen vom Kugelradius r_{Kl} nichts. Es ist lediglich die homogen gedachte Gaskugel durch eine sol-

©Naturwissenschaftlicher Verein für Schwaben, download unter www.zobodat.at

che zu ersetzen, bei der die Dichte nach außen hin entsprechend abnimmt. Daß dadurch natürlich der Außenradius r_{Kl} und das Volumen der Gaskugel des betr. Planeten größer werden, ist ebenso klar, wie daß der Gasdruck nach außen hin sehr stark abnimmt.

Einwände: Der erste Einwand bezieht sich auf den Flächensatz: Wenn der Radiusvektor $\mathfrak{R}$ sich vom Loslösungsabstand r_o bis auf die jetzige vielfach größere Entfernung R_j vergrößerte, dann war der Geschwindigkeitsvektor $\mathfrak{v}$ nicht senkrecht sondern etwas schräg zum Radiusvektor gerichtet. Ist es dann noch zulässig, statt $|\mathfrak{v}\mathfrak{R}|$ zu setzen ωR^2?

Wir beziehen uns in dieser Frage nur auf die Erde. Ausgehend vom Fall $\Omega_o = 4\omega_j$ ergab sich der Loslösungsabstand r_o zu $19{,}3 \cdot 10^9$ m, während der jetzige Abstand von der Sonne $149{,}5 \cdot 10^9$ m ist. Er hat sich also um $130{,}2 \cdot 10^9$ m vergrößert. Diese Vergrößerung fand statt im Laufe von etwa 4 Milliarden Jahren oder Umdrehungen um die Sonne. Während einer Umdrehung ist also der Radius im Durchschnitt nur um ~ 32 m. angewachsen, d.h. der Winkel zwischen dem Geschwindigkeitsvektor $\mathfrak{v}$ und dem Radiusvektor $\mathfrak{R}$ weicht noch nicht einmal um ein Tausendstel einer Bogensekunde von 90^o ab, so daß der Sinus dieses Winkels unbedenklich eins gleichgesetzt werden darf.

Der 2. Einwand könnte sich darauf stützen, daß der Gasnebel Ursonne zur Zeit der Planetenablösung ein mehr oder weniger flaches Rotationsellipsoid mit einer Kugel in der Mitte war und daß hierbei die Verteilung der Schwerebeschleunigung abhängig von der Entfernung vom Schwerpunkt des Nebelsterns möglicherweise anders als bei der kugelförmigen Sonne war. Zur Entkräftung dieses Einwandes geht man zweckmäßig aus von der Erde. Die Schwerebeschleunigung in der Erde hängt, wenn man die Erde als homogene Kugel auffaßt, gemäß der in Abb.8 dargestellten Kurve vom Abstand vom Erdmittelpunkt ab. Sie ist also in etwa 200 km Tiefe am größten und nimmt bis zum Mittelpunkt bis auf Null ab. Bei der in Wirklichkeit nicht homogenen Erde liegt die größte Schwe-

©Naturwissenschaftlicher Verein für Schwaben, download unter www.zobodat.at

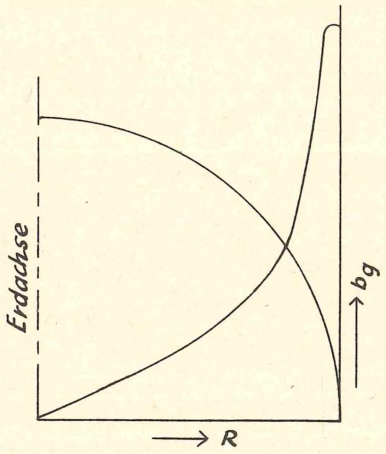


Abbildung 8

Abhängigkeit der Gravitationsbeschleunigung im Innern der Erde von der Entfernung vom Erdmittelpunkt.

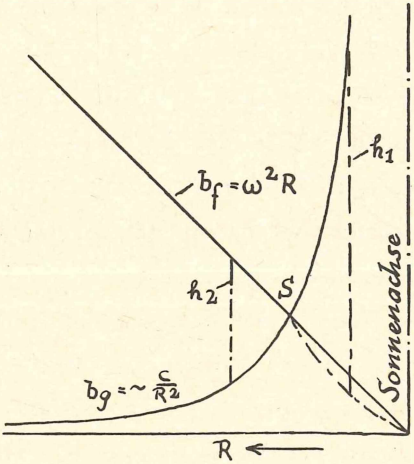


Abbildung 9

Abhängigkeit der Gravitationsbeschleunigung im Innern einer ebenen Scheibe, in deren Mitte eine die Masse der Scheibe 740 mal übertreffende Masse vereinigt ist. Der Wert 740 stellt das Verhältnis der Sonnenmasse zur Masse sämtlicher Planeten dar.

©Naturwissenschaftlicher Verein für Schwaben, download unter www.zobodat.at

rebeschleunigung tiefer und zwar in etwa 600–1000 km Tiefe. Hier haben sich auch sicher die spezifisch schwersten Teile wie Eisen und Nickel angesammelt, denn sie folgen natürlich der größten Anziehungskraft, haben also keine Ursache, gegen den Erdmittelpunkt vorzudringen. In der Nähe des Erdmittelpunktes sind also nicht, wie vielfach geglaubt wird, Eisen und Nickel sondern leichte Stoffe.

Die Gasnebellinse denken wir uns in roher Annäherung durch eine ebene kreisrunde Scheibe ersetzt, in deren Mitte punktförmig konzentriert eine die Masse der Scheibe 740mal übertreffende Masse entsprechend dem Verhältnis der Sonnenmasse zur Masse sämtlicher Planeten vereinigt sei. Hierfür findet sich abhängig von der Entfernung vom Mittelpunkt die Kurve b_g in Bild 9. Dieselbe deckt sich so genau mit der Abhängigkeit der Schwerebeschleunigung umgekehrt proportional dem Quadrat des Abstandes, daß die Unterschiede nur um etwa 0,1 v.H. herum liegen. Auch für eine andere Verteilung der Materie, z.B. Dicke der Scheibe umgekehrt proportional der Entfernung von der Schwerpunktsachse zeigt sich, daß die Abhängigkeit der Schwerebeschleunigung sich nicht allzu weit von der nach dem Gesetz: Umgekehrt proportional dem Quadrat des Abstandes sich ergebenden entfernt. Es erscheint also wohl zulässig, bei dem Gasnebelstern Ursonne ebenfalls von dieser Abhängigkeit auszugehen.

Bekanntlich geht die Mehrzahl der neueren Hypothesen über die Entstehung der Planeten von der Annahme aus, daß dieselben sich aus einer Gas- oder Staubwolke entwickelt haben, die bis zur Neptunbahn oder sogar bis weit darüber hinaus sich erstreckt habe. Da dies unseren Darlegungen, nach welchen der Gasnebel der Ursonne noch nicht einmal bis zur jetzigen Merkurbahn heranreichte, widerspricht, ist es naheliegend, auf einige Erklärungsschwierigkeiten bei diesen Hypothesen hinzuweisen:

1. Wenn die Ursonne sich bis zur Bahn der äußeren Planeten sich er-

©Naturwissenschaftlicher Verein für Schwaben, download unter www.zobodat.at

streckte, lag nach Noelke, Entwicklung im Weltall, 1926- die Temperatur ihrer äußersten Schichten dem absoluten Nullpunkt nahe. Daraus folgt, daß diese Schichten und damit die äußersten Planeten Uranus, Neptun und Pluto lediglich aus Wasserstoff, und Helium bestehen müßten, was sowohl wegen ihrer Dichte als auch wegen ihrer Albedos nicht der Fall ist.

2. Wenn Neptun schon von Anfang an seine jetzige Entfernung von der Sonne hatte, dann können die Gasnebelmassen der sonstigen Planeten von Uranus bis Merkur nur dann in ihrer jetzigen Entfernung geblieben sein, wenn bei jeder von ihnen Flieh- und Schwerebeschleunigung gerade im Gleichgewicht waren, d.h. wenn schon im Gasnebelzustand und nicht erst jetzt bei den zusammengeschrumpften Planeten die Umlaufwinkelgeschwindigkeit gegen die Drehachse hin stark zunahm. Wie erklärt man sich das Zustandekommen dieser stark nach innen zunehmenden Winkelgeschwindigkeit? Man müßte dann außerdem annehmen, daß für die Sonne dasselbe gilt, d.h. daß die Winkelgeschwindigkeit ihrer Teile umso größer ist, je näher sie der Drehachse liegen. In Wirklich- ist es aber gerade umgekehrt.

3. Die stark progressive Zunahme der Planetenbahnentfernungen von der Sonne konnte bei einem bis zur Neptunbahn oder weit darüber hinaus reichenden Gasnebel nicht erklärt werden. Sie findet aber bei einem durch eine äußere Ursache in Rotation geratenen und noch nicht bis zur heutigen Merkurbahn sich erstreckenden Gasnebel eine einfache Erklärung.

4. Das Zustandekommen der Rotation um die Sonnenachse erfordert zwangsläufig eine äußere Ursache. Nimmt man an, daß der Gasnebel Ursonne bis zur heutigen Neptunbahn oder darüber hinausreichte, so ergibt dies eine ganz ungeheure Verdünnung. Auch wenn man voraussetzt, daß hier bereits ein Sonnenkern entsprechend der Masse der heutigen Sonne vorhanden war, ist es unmöglich, sich vorzustellen, daß durch eine äußere also außen in der Neptunentfernung angreifende Kraft die

©Naturwissenschaftlicher Verein für Schwaben, download unter www.zobodat.at

Sonne in Rotation versetzt werden konnte. Auch wenn man mit einer gleichmäßigen, also nicht nach außen hin abnehmenden Dichte des den Sonnenkern umgebenden Gasnebels, aus dem die sämtlichen Planeten entstanden, rechnet, so ergibt sich die Dichte einer solchen Gaskugel wie folgt: Das Gewicht sämtlicher Planeten beträgt $2{,}71 \cdot 10^{27}$ kg, das Volumen einer Kugel vom jetzigen Neptunabstand $3{,}79 \cdot 10^{41}$ dm, also findet sich die Dichte γ zu $0{,}73 \cdot 10^{-14}$. (Zum Vergleich sei die Dichte der Luft bei 5 mm Hg und 0^0 C mit $0{,}85 \cdot 10^{-5}$ angeführt. Die Dichte dieses Gasnebels beträgt also ein Milliardstel davon.) Daß die Viskosität eines solch äußerst dünnen Gasnebels verschwindend gering ist, bedarf keiner Erörterung. Nur durch Viskosität kann aber eine Drehkraft im Gasnebel von außen nach innen übertragen werden. Wie will man sich aber dann vorstellen, daß eine außen angreifende Kraft über eine Entfernung von $4496 \cdot 10^9$ m hinweg die massige Sonne in Rotation gebracht haben kann. Demgegenüber ist bei unseren Darlegungen die Dichte etwa 10^8 bis 10^9 mal so groß und außerdem die Entfernung vom Neptungasnebel bis zur Ursonne außerordentlich viel kleiner.

5. Schließlich wird man fragen, warum nicht auch bei den äußeren Planeten von einer von der Ursonne sich abspaltenden Gaskugel sondern von einem Gasnebelring ausgegangen wurde. Es wurde bereits am Anfang des Abschnittes über die Rotationsgeschwindigkeit der Planeten besonders hervorgehoben, daß man statt von einem geschlossenen Ring ebenso gut von einem Ringsegment ausgehen kann, ohne daß sich an der Entwicklung etwas ändert. Es sollte aber damit nicht zum Ausdruck gebracht werden, daß die Gasmassen, aus denen die äußeren Planeten entstanden sind, genau Kreisringsegmentform gehabt haben müssen. Das Kreisringsegment wurde ebenso wie bei den inneren Planeten die Kugelform nur angeführt, um überhaupt eine Rechnung durchführen zu können, bei der sich noch einfache übersichtliche Beziehungen ergeben. Nimmt man jetzt bei den äußeren Planeten an, sie seien aus

©Naturwissenschaftlicher Verein für Schwaben, download unter www.zobodat.at

Gaskugeln statt aus Gasringsegmenten hervorgegangen, so ergibt sich zunächst folgende Schwierigkeit: Um die äußere die Rotation hervorrufende Kraft über die Gaskugeln hinweg auf die Sonne übertragen zu können, müssen die Gaskugeln sich berühren. Kugeln berühren sich nur punktförmig. Wie kann lediglich durch Punktberührung von im Gaszustand sich befindenden Kugeln eine so große Drehkraft auf die Sonne übertragen werden, daß deren ungeheure Masse in Rotation gerät?

Weiter ist zu beachten, daß bei der Annahme des Entstehens der äußeren Planeten aus Gaskugeln für ω_{dj}/ω_{Pl} und ω_{do}/ω_{Pl} sich Werte ergeben, die unter den aus der Tab.VII auf Grund der Geschwindigkeiten der Monde errechneten Werte $\omega_{Äq}/\omega_{Pl}$ liegen. Man müßte dann schon annehmen, daß sich das Zusammenziehen zu den jetzigen Kugelgrößen schon vollzog, sowie die äußeren Planeten sich von der Sonne losgelöst hatten. Dies ist aber ganz unwahrscheinlich.

Es steht aber kaum etwas im Wege, wenn man statt Ringsegmenten oder Ringen eine etwas an eine Kugel sich annähernde Form annehmen will.

Endlich sei noch auf eine wertvolle amerikanische Arbeit: „The Tidal and other problems" (Die Gezeiten und andere Probleme), Washington 1909, und zwar auf die Unterabschnitte: „Über gewisse Beziehungen unter den möglichen Änderungen in den Bewegungen von sich gegenseitig anziehenden Weltkugeln, wenn sie durch Gezeiten beeinflußt werden" und „Über die Möglichkeit der Teilung von sich zusammenziehenden flüssigen Massen" von dem Astronomieprofessor F.R. Moulton eingegangen.

Ganz kurz gesagt findet Moulton, daß eine Teilung von Weltkörpern unter dem Einfluß von Gezeiten nicht in Frage kommt. Dies widerspricht unseren Darlegungen in keiner Weise: denn 1.) setzt Moulton flüssige und nicht wie wir anfänglich gasförmige Weltmassen voraus, 2.) führen wir die Gezeiten nur an als Erklärung der Verringerung der Achsenwinkelgeschwindigkeit von Planeten. Insbesondere sieht aber

©Naturwissenschaftlicher Verein für Schwaben, download unter www.zobodat.at

3.) Moulton bei seiner sehr verdienstvollen theoretischen Arbeit ausdrücklich von dem Einfluß einer äußeren Ursache ab (not disturbed by external forces), während wir von der äußeren Ursache bei unseren Ausführungen als einer notwendigen Voraussetzung ausgehen.

Größenverhältnisse der Planeten.

Dieser Punkt ist eigentlich schon durch die vorausgegangenen Ausführungen etwas geklärt: Wenn die äußeren Planeten aus reichlich dicken Ringen, die inneren dagegen nur aus verhältnismäßig kleinen Gaskugeln entstanden sind, so ist es klar, daß ihre Massen viel kleiner als die der äußeren Planeten sein müssen.

Wenn der äußerste Planet Pluto wieder klein ist, so erklärt dies dadurch, daß seine Materie am äußersten Rand des Gasnebels Ursonne sich befand, wo dieser bereits eine sehr geringe Dichte und Dicke und damit auch nur geringe Masse aufwies.

Wenn ferner das Gasnebelringsegment, aus dem Jupiter entstand, nicht nur, wie von uns zunächst angenommen, bis in einige Nähe der Marsbahn sondern bis zum Grenzradius der Ursonne hin reichte und der gesamte Gasnebel gegen die Ursonne hin eine größere Dicke und Dichte aufwies, wie es aus theoretischen Gründen bestimmt zu erwarten ist, so ist es klar, daß von den äußeren Planeten Jupiter der größte sein wird.

Natürlich ist es nicht möglich, ein genaues Zahlenverhältnis für die Volumina und Massen der einzelnen Planeten theoretisch ermitteln zu wollen. Man sieht doch auch bei den planetarischen Nebeln, daß trotz gewisser wichtiger Übereinstimmung auch recht wesentliche Unterschiede unter ihnen vorhanden sind. Es ist aber im Vorstehenden gezeigt worden, daß man wenigstens die ganz groben Unterschiede der einzelnen Planeten durchaus verstehen kann.

©Naturwissenschaftlicher Verein für Schwaben, download unter www.zobodat.at

Dichte der Planeten.

Ausgegangen wird wieder von der Vorstellung, daß der Gasnebel Ursonne durch irgend einen exzentrischen Anstoß von außen in Rotation geriet. Durch einen solchen Anstoß konnte weniger dichte Materie leichter mitgenommen werden als dichtere. Die schwereren Teile haben also eine geringere Winkelgeschwindigkeit bekommen als die spezifisch leichteren und erhielten damit auch eine kleinere Fliehbeschleunigung. Infolgedessen hatten sie weniger das Bestreben, nach außen zu wandern als die leichteren. Man darf sich durch die Erfahrung des täglichen Lebens nicht täuschen lassen, daß nämlich ein Stein weiter geworfen werden kann als etwa eine gleich große und gleich geformte Papierkugel. Auf der Erde spielt der Luftwiderstand eine sehr erhebliche Rolle, der beim Gasnebel im leeren Weltraum vollständig fehlt.

Hinzu kommt weiter, daß sich bereits vor Beginn der Rotation entsprechend der Verteilung der Schwerebeschleunigung in Abhängigkeit vom Abstand vom Schwerpunkt des Gasnebels die spezifisch schwereren Stoffe dort angesammelt haben, wo die Schwerebeschleunigung größer als an andern Stellen ist. Dies ist aber weder ganz außen noch ganz innen der Fall sondern irgendwo dazwischen, wie wir beim Sonderfall der Erde bereits ausgeführt haben, also beim Gasnebel Ursonne etwa in der Gegend der inneren Planeten. Aus diesem und dem zuvor genannten Grund ist es daher gut verständlich, warum die Dichte bei den äußeren Planeten und der Sonne wesentlich geringer ist als bei den inneren Planeten. Aus dem gleichen Grunde ist auch einzusehen, warum auf die Meteoriten, die gelegentlich auf unsere Erde niederstürzen, eine noch größere Dichte entfällt. Die Meteoriten sind der Hauptsache nach Massen, die sich bei der Loslösung der Ringe der äußeren Planeten nur ziemlich wenig außerhalb des Grenzradius der Gasnebelscheibe befanden, d.h. von vornherein in einer Gegend mit großer Dichte aber kleinem Überschuß der Fliehbeschleunigung über die Schwerebeschleunigung.

©Naturwissenschaftlicher Verein für Schwaben, download unter www.zobodat.at

Sie bewegen sich in dem Gebiet der kleinen Planeten, werden aber wegen ihrer geringen Masse durch letztere in ihren Bahnen ziemlich stark beeinflußt. Weiter können sie wegen ihrer sehr geringen Masse nicht nur die bei gewöhnlicher Temperatur bereits flüchtigen Stoffe wie Wasserstoff, Stickstoff usf. sondern auch alle jene Stoffe nicht halten, die bei bei Temperaturen um 2–4000° C gas- oder dampfförmig sind. Es bleiben daher nur die sehr schwer vergasbaren Stoffe wie Eisen und Nickel bei ihnen übrig.

Sonnenachse nicht rechtwinklig zur Ebene der Planetenbahnen.

Gegen die Entstehung der Planeten aus der Ursonne wurde eingewendet, daß die Planetenbahnen hierbei symmetrisch um die Ebene des Sonnenäquators gruppiert sein müßten, während sie dies recht angenähert zur Ebene der Jupiterbahn sind. Wenn die Drehachse der Sonne nicht senkrecht sondern ein wenig schief zur mittleren Ebene der Planetenbahnen steht, so erklärt sich dies wie folgt:

Vor Beginn der Rotation des Gasnebels Ursonne war die Verteilung der im Ursonnenkern befindlichen Materie bestimmt nicht genau symmetrisch zu einer Schwerpunktsachse. Es wäre bestimmt ein ganz unwahrscheinlicher Zufall, wenn ein Gasnebel vor seiner Rotation von vornherein zu einer Achse vollkommen symmetrisch gewesen wäre. Wir betrachten jetzt den Sonnenkern der Einfachheit halber als starren Körper von etwas unregelmäßiger Form, um den sich eine Gasnebelmasse roh angenähert in einer Ebene gruppiert habe. Jeder starre Körper hat drei aufeinander senkrecht stehende freie Achsen. Dieselben brauchen aber wegen der nicht ganz regelmäßigen Form des Ursonnenkerns nicht senkrecht zur Ebene der ihn umgebenden Gasnebelscheibenmasse zu stehen oder in diese Ebene zu fallen. Wirkt jetzt eine exzentrische Kraft auf die Ursonne, so kann dieselbe durch eine durch den Schwerpunkt der Ursonne gehende Kraft, die nur eine Translationsbewegung

©Naturwissenschaftlicher Verein für Schwaben, download unter www.zobodat.at

hervorruft und uns daher nicht weiter interessiert, und durch ein Kräftepaar ersetzt werden. Wirkt ein Kräftepaar auf den Ursonnenkern, so dreht sich derselbe nicht um eine zur Ebene des Kräftepaares senkrecht stehende Achse sondern um eine seiner freien Achsen, und zwar um jene, die am wenigsten schräg zur Senkrechten zur Ebene des Kräftepaares steht. Es ist also, da die Gasnebelscheibe zusammen mit dem Ursonnenkern keinen starren Körper darstellt, durchaus möglich, daß die Rotationsachse des Ursonnenkerns etwas schief zur Rotationsachse der ihn umgebenden Gasnebelscheibe stand und daß auch jetzt die Rotationsachse der Sonne nicht genau senkrecht zur mittleren Ebene der Planetenbahnen steht. Dies wäre nur ausgeschlossen, wenn man mit Bestimmtheit nachweisen könnte, daß das sogenannte Trägheitsellipsoid des gesamten Gebildes, bevor dieses den Anstoß zur Rotation erhielt, ein genaues Umdrehungsellipsoid gewesen wäre. Dieser Nachweis ist aber unmöglich.

Wenn der Planet Merkur eine ähnliche Bahnneigung gegen die Ekliptik hat wie die Sonnenachse, so erklärt sich dies aus dem Umstand, daß er als letzt geborenes Kind der Sonne und als das wegen seines geringen Abstandes von ihr buchstäblich ihr anhänglichstes Kind ihr am meisten verhaftet ist.

Achsen des Saturn, Uranus und Neptun.

In der Tabelle XI ist für die drei Planeten Saturn, Uranus und Neptun in Spalte 2 die Bahnneigung gegen die Ekliptik und in Spalte 3 die Achsenneigung ihres Systems angeführt.

Tabelle XI.

Planet	Bahnneigung	Achsenneigung	$a_1 \cdot 10^{-9}$ m	$a_2 \cdot 10^{-9}$ m
Saturn	2,491°	28°		
Uranus	0,773	98	1443	43,4
Neptun	1,775	151	1627	28,5
Pluto	17,14	–	1402	375,5

©Naturwissenschaftlicher Verein für Schwaben, download unter www.zobodat.at

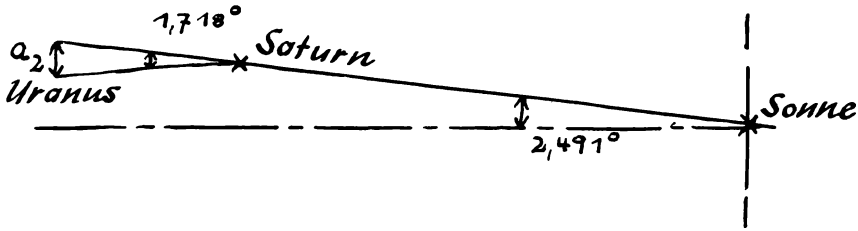


Abbildung 10

Entfernungen von der Sonne und Bahnneigungswinkel für Saturn und Uranus (verzerrt dargestellt)

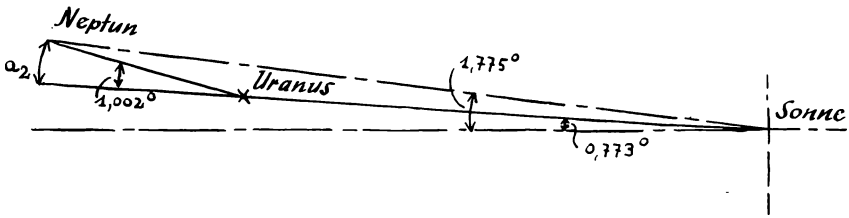


Abbildung 11

Entfernungen von der Sonne und Bahnneigungswinkel für Uranus und Neptun (verzerrt dargestellt)

©Naturwissenschaftlicher Verein für Schwaben, download unter www.zobodat.at

Die Achsenneigungen von Uranus und Neptun sind eine bemerkenswerte bisher noch nicht erklärte Besonderheit, zu deren Erklärung unsere bisherigen Ausführungen nicht hinreichen. Bei denselben wurde nämlich stillschweigend vorausgesetzt, daß sowohl jetzt wie auch seinerzeit vor der Planetenloslösung beim Gasnebel Ursonne alle Materie symmetrisch um eine Ebene, nämlich die Ekliptik gruppiert gewesen sei. Das ist aber ein Idealfall, mit dem man mindestens nicht genau rechnen darf. Man sieht dies deutlich an den Bahnneigungen der einzelnen Planeten. In Abb. 10 sind in verzerrtem Maße die Entfernungen von der Sonne und die Bahnneigungswinkel für Saturn und Uranus und in Abb.11 in gleicher Weise für den Uranus und Neptun eingetragen. Um ein leicht verständliches Bild zu erhalten, war die Verzerrung notwendig, da die Neigungswinkel sehr klein sind. Der in der Tabelle XI mit a_1 bezeichnete Abstand der Uranusbahn von der Saturnbahn beträgt entsprechend den Entfernungen von der Sonne $(2869-1426)\cdot 10^9 = 1443\cdot 10^9$ m, der Abstand a_2 des Uranus von der Bahnebene des Saturn ergibt sich aus dem Bogenmaß des Winkels zu $43{,}9\cdot 10^9$ m.

Nachdem die Bahnen der genannten Planeten noch jetzt eine gewisse Neigung gegen die Ekliptikebene haben, ist es sicher, daß sie mindestens die gleiche, wahrscheinlich aber eher eine größere Neigung gegen die Ekliptikebene zu der Zeit hatten, als die Nebelringe, aus denen sie entstanden sind, sich aus dem Gasnebel Ursonne lösten, und auch schon zu der Zeit, als die Veranlassung zur Rotation dieses Gasnebels auf sie einzuwirken begann. Bereits weiter oben waren verschiedene Möglichkeiten angeführt worden, wie es zur Rotation des Gasnebels Ursonne kommen konnte. Es soll auch jetzt nicht eine Entscheidung versucht werden, welche von diesen Möglichkeiten die tatsächlich eingetretene war. Irgend eine exzentrisch angreifende Kraft hat aber auf alle Fälle auf den Gasnebel eingewirkt. Diese exzentrische Kraft hat jedoch sicherlich nicht zufällig gerade genau in einer Symmetrieebene oder rich-

©Naturwissenschaftlicher Verein für Schwaben, download unter www.zobodat.at

tiger Schwerebene des bestimmt von Anfang an unregelmäßig gestalteten Gasnebels tangential eingewirkt sondern entschieden wahrscheinlicher etwas seitlich, also um einige Winkelgrade verschoben. Die Folge ist, daß sie den ihrem Angriffspunkt benachbarten Gasnebelteilen infolge des zu deren Schwerpunkt exzentrischen Angriffs eine Rotation erteilte, gleichzeitig aber auch dem ganzen Gasnebel Ursonne eine Rotation um den Gesamtschwerpunkt. Die Rotation um den Teilschwerpunkt wird sich auf die weiter innen gelegenen Massen des Saturnnebelringsegments wegen der dort viel größeren Masse nur ziemlich wenig mitgeteilt haben und erst recht nicht auf das weitaus größere Jupitergasringsegment oder gar auf den Ursonnenkern.

Es ist so durchaus vorstellbar, daß Uranus sich um eine Achse dreht, welche nahezu in die Bahnebene um die Sonne fällt und daß der Saturn, etwas beeinflußt von dieser Drehung des Uranusgassegmentes, eine Achsendrehung ausführt um eine um 22^0 zur Bahnebene geneigte Achse. Wenn jetzt die Annahme gemacht wird, daß die exzentrische Kraft nicht ganz in der äußersten radialen Entfernung von der Schwerpunktsachse des Gasnebels Ursonne sondern in der Gegend des Uranusgasnebelteiles angriff, wobei sich aber außerhalb desselben noch der Neptungasnebelteil befand, kam infolge des jetzt auf diesen bezogenen exzentrischen Kraftangriffes bei ihm außer der allgemeinen Drehung des Gesamtgasnebels Ursonne um die Sonnenachse noch eine Drehung um seine eigene Schwerpunktsachse zustande, die aber, weil dieser Schwerpunkt auf der entgegengesetzten Seite vom Kraftangriffspunkt wie die Sonnenachse lag, im entgegengesetzten Drehsinn wie die Drehung um die Sonnenachse erfolgte, wie es tatsächlich beobachtet wird.

Gewiß ist dies nur als ein Erklärungsversuch zu werten, der aber immerhin solange nicht von der Hand gewiesen werden sollte, solange man nicht eine bessere und überzeugendere Erklärung findet. Es sei jetzt nur noch auf einen etwaigen Einwand eingegangen: Bei dem Ab-

©Naturwissenschaftlicher Verein für Schwaben, download unter www.zobodat.at

schnitt über die Achsenrotationsgeschwindigkeiten der Planeten wurde als Dicke des Ringsegments für Uranus ermittelt, daß dieses Ringsegment sich ohne Lücke innen an den Ringteil des Saturn anschließt. Wenn aber der Uranusnebel sich nicht nur symmetrisch zur Ekliptikebene erstreckt sondern auch etwas senkrecht hierzu, dann sind die Gleichungen 7–13 dafür nicht mehr ohne weiteres verwendbar, sondern bedürfen einer Abänderung. Aus Raumgründen und, weil die oben geschilderte Erklärung nur als erster Versuch zu werten ist, soll hierauf nicht näher eingegangen werden.

Eine andere Erklärung, die aber die zuvor genannte nicht aufzuheben braucht, ist folgende:

Bereits weiter oben wurde erwähnt, daß bei der Lostrennung des Gasnebels Ursonne aus dem Milchstraßenring sich am Rande des Gasnebels Wirbel gebildet haben werden. Diese Möglichkeit besteht auch, wenn man voraussetzt, daß der Gasnebel Ursonne bei der Bildung einer Nova oder Supernova aus einem noch größeren Gasnebel entstand. Es ist hierbei ohne weiteres anzunehmen, daß die Achsen dieser Wirbel nicht gerade senkrecht auf der Ebene der Jupiterbahn standen; ein soleher Zufall ist im Gegenteil sehr unwahrscheinlich. Es kann auch sogar bei einem kleinen Teilstück des Gasnebels an dessen Rand sich ein gegenläufiger Wirbel gebildet haben, wie dies bei Wirbelbewegungen in Flüssigkeiten und Gasen die Regel ist. Damit würde sich die starke Neigung der Bahnen einiger Monde der äußeren Planeten und insbesondere die Rückläufigkeit der Jupitermonde VIII und IX, des Saturnmondes Phöbe und des Neptunmondes zwanglos erklären, ohne daß man an ein Einfangen von nicht zum Sonnensystem gehörenden Massen durch die zugehörigen Planeten denken muß. Dieses Einfangen ist ohnehin, wie G.H.Darwin in Periodic Orbits, Acta mathematica, Vol.21,1897 S.170, einer außerordentlich schätzenswerten Arbeit zeigt, sehr unwahrscheinlich.

Ferner wurde bereits früher dargelegt, daß das Einwirken der

©Naturwissenschaftlicher Verein für Schwaben, download unter www.zobodat.at

äußeren Ursache und die Übertragung der Bewegung auf etwas weiter innen liegende Gasnebelmassen nur durch turbulente Reibung erfolgt sein kann. Bei derselben bilden sich, wie schon aus dem Beiwert „turbulent" hervorgeht, stets Wirbel. Wo Wirbel entstehen, bilden sich aber auch zu den Hauptwirbeln gegenläufige Wirbel. Auf solche können ebenfalls die gegenläufig umlaufenden Monde zurückgeführt werden. Diese Erklärung ist viel naheliegender und zwangloser als das sogenannte Einfangen.

Warum hat nur der Saturn Ringe und nicht auch die anderen Planeten und die Sonne?

Zur Beantwortung dieser naheliegenden Frage sei nochmals die Abb. 9 herangezogen. In derselben ist strichpunktiert für die Fliehbeschleunigung b_f die sich nach den an der Sonne von Adams festgestellten Werten ergebende Abhängigkeit von der Entfernung von der Sonnenachse eingetragen. Man erkennt, daß von dem, dem Grenzradius entsprechenden Schnittpunkt S - das Übergewicht der Schwerebeschleunigung b_g über die Fliehbeschleunigung gegen die Drehachse also im Bild nach rechts hin außerordentlich rasch zunimmt. So ist z.B. in halber Entfernung von der Drehachse dieses Übergewicht bereits 2,84 mal so groß als die Schwerebeschleunigung b_g allein im Schnittpunkt S. Siehe die Strecke h_1. Demgegenüber nimmt das Übergewicht der Fliehbeschleunigung b_f über die Schwerebeschleunigung b_g außerhalb dem Schnittpunkt S, also im Bild nach links hin entschieden nicht so stark zu wie das Übergewicht im Gebiet zwischen S und der Drehachse. Siehe Strecke h_2! Massen, die im letzteren Gebiet liegen, werden also mit großer Kraft gegen die Drehachse hin gezogen. Ebenso werden Massen, die außerhalb dem Schnittpunkt S sich befinden, infolge Überwiegens der Fliehbeschleunigung b_f über b_g weiter nach außen gezogen: d.h. der Gasnebelring wird weiter außen zerreißen, weil sein Umfang immer größer wird, während

©Naturwissenschaftlicher Verein für Schwaben, download unter www.zobodat.at

er weiter innen vom Zentralkern verschluckt wird.

Es kann sich ein Ring auf die Dauer nur halten, wenn er gerade in dem Gebiet um den Schnittpunkt S herum sich befindet. Dabei ist aber auch notwendig, daß die Temperatur in dieser Gegend so niedrig ist, daß die Teilchen in den festen Aggregatzustand übergehen: denn die Saturnringe bestehen aus unzähligen festen Teilchen. Gasförmige Ringe in der geringen Breite der Saturnringe würde man ohnehin nicht erkennen können. Feste Teilchen sind aber beim Grenzradius der Sonne, d.h. in einer Entfernung gleich einem Viertel der Merkurentfernung wegen zu hoher Temperatur ausgeschlossen, so daß für die Sonne schon aus diesem Grunde Ringe nicht in Frage kommen können.

Bei den Planeten Merkur und Venus konnte sich wegen ihrer jetzt viel zu geringen Achsenwinkelgeschwindigkeit und außerdem bei diesen beiden, der Erde und dem Mars wegen ihrer zu geringen Masse und namentlich bei Erde und Mars wegen ihrer bei Ihrer Entstehung entschieden zu großen Winkelgeschwindigkeit um die eigene Achse -siehe Tabelle IX- zum Teil nicht einmal ein Mond und erst recht kein Ring bilden.

Ringbildung ist allgemein nämlich dann möglich, wenn die Fliehbeschleunigung gleich oder nur ganz wenig größer als die Schwerebeschleunigung ist, wozu noch kommt, daß der Grenzradius nur ziemlich wenig größer sein soll als der Äquatorialradius des zugehörigen Planeten. Zur Erleichterung der Vorstellung braucht man sich nur zu denken, daß auf der Erde die Fliehbeschleunigung eine Kleinigkeit größer wäre als die Erdbeschleunigung: Alles, was nicht niet- und nagelfest ist, würde dann anfangen, in angemessenem Abstand um die Erde herumzu rotieren: insbesondere würde dies für die riesigen Sandmassen der Wüste Sahara und das Wasser der Ozeane gelten und wir hätten dann einen aus festen und flüssigen Teilchen bestehenden Erdenring.

Am ehesten treffen die Bedingungen beim Saturn zu, der ein Verhältnis des Grenzradius zum Äquatorialradius von 111,7/69,4 gleich 1,84 für

©Naturwissenschaftlicher Verein für Schwaben, download unter www.zobodat.at

die Jetztzeit aufweist. Beim Jupiter ist es mit 2,22 schon wesentlich ungünstiger und erst recht beim Uranus mit 2,46. Dabei beziehen sich diese Zahlen aber auf die jetzige Achsenwinkelgeschwindigkeit ω_{pj} der Planeten. Für die Entstehung der Ringe ist aber nicht diese sondern die Achsenwinkelgeschwindigkeit zur Zeit der Entstehung der Planeten und der Ringe maßgebend. Dieselbe liegt aber nach den gemachten Darlegungen zwischen dem doppelten und dem vierfachen Wert der jetzigen, wobei als Mittelwert ungefähr das 2,5 fache oder ein wenig mehr am meisten Wahrscheinlichkeit für sich hat. In diesem Falle sind aber die eben angegebenen Verhältniszahlen mit $\frac{1}{\sqrt[3]{2{,}5^2}} = 0{,}542$ zu multiplizieren. Man erhält dann beim Saturn 1

" Jupiter 1,21

" Uranus 1,36.

Daraus erkennt man, daß beim Saturn die Möglichkeit einer Ringbildung durchaus gegeben ist, daß sie aber beim Jupiter und erst recht beim Uranus schon entschieden unwahrscheinlich ist; ein Ergebnis, das vollständig klärt, warum nur der Saturn und sonst kein Planet Ringe besitzt.

Da es immer Verwunderung erwecken wird, warum gerade der Saturn mit Ringen ausgezeichnet ist, während sie sogar dem ihm am nächsten befindlichen und mit ihm sowohl hinsichtlich Größe, Dichte, Achsenwinkelgeschwindigkeit wie auch Mondzahl vergleichbaren Jupiter fehlen, sei diese Frage noch von einem etwas anderen Standpunkt aus erläutert:

Die Schwerebeschleunigung beträgt am Äquatorialradius des Jupiter 26 m/s^2, die Fliehbeschleunigung bei seiner jetzigen Achsenwinkelgeschwindigkeit 2,225 m/s^2. Bei seiner Bildung als Planet war seine Achsenwinkelgeschwindigkeit 2,5mal so hoch oder noch ein wenig höher als jetzt. Unter der Annahme, daß damals der Äquatorialradius gleich dem jetzigen gewesen ist, ergibt sich die Fliehbeschleunigung immer erst zu 14 m/s^2, liegt also noch ziemlich erheblich unter 26 m/s^2.

Beim Saturn ist die Schwerebeschleunigung an seinem Äquatorradius

©Naturwissenschaftlicher Verein für Schwaben, download unter www.zobodat.at

11,2 m/s^2, die Fliehbeschleunigung bei seiner jetzigen Achsenwinkelgeschwindigkeit 1,62 m/s^2. Da die Achsenwinkelgeschwindigkeit bei seiner Bildung als Planet bzw. der Bildung der Ringe 2,5 mal so groß wie die jetzige war, so ergibt sich für damals die Fliehbeschleunigung zu 10,15 m/s^2. Nun ist es durchaus möglich, daß sie noch eine Kleinigkeit größer war; außerdem ist es auch wahrscheinlich, daß damals, da der Saturn noch nicht abgekühlt war, sein Äquatorradius um etwa 10% größer als jetzt war. Damit kommt man aber auf eine Fliehbeschleunigung, welche gerade gleich der Schwerebeschleunigung oder eine Kleinigkeit größer ist, d.h. Sand am Saturn würde sich erheben und als Ring um ihn schweben.

Schließlich kann man beim Saturn noch fragen, woher es kommt, daß die drei Ringe zusammen eine radiale Dicke von 63,10^{6}m haben, d.h. ein wenig mehr, als dem Äquatorradius des Saturn entspricht. Wie bereits früher erläutert, hat die Achsenwinkelgeschwindigkeit des Saturn im Lauf der Zeit sicher abgenommen; damit hat sich auch sein Grenzradius verändert, so daß für die Ringe nicht eine schmale Zone sondern eine nicht zu geringe radiale Dicke in Frage kommt; außerdem ist auch für einen gegebenen Grenzradius eine gewisse Ringdicke durchaus zu erwarten.

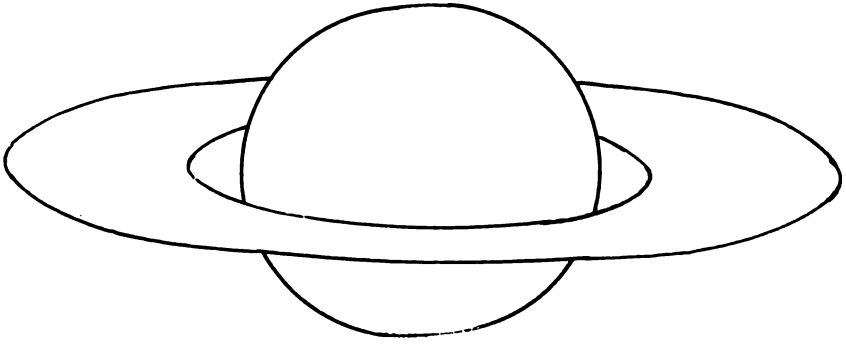


Abb. 12. Saturn und seine Ringe im gleichen Maßstab. Die radikale Ringdicke ist etwas größer als der Saturnhalbmesser.

©Naturwissenschaftlicher Verein für Schwaben, download unter www.zobodat.at

Schlußbemerkung

Die vorstehende Arbeit behandelt Fragen, die in ihrer Bedeutung weit über sonst übliche Fragen in dem umfangreichen Gebiet der Naturwissenschaft hinausgehen. Es wurde gezeigt, daß zur Erklärung der Eigenheiten der Planeten weder das Einfangen von Weltkörpern durch die Sonne noch das Fortschleudern von solchen durch gewaltige Eruptionen, Gas- oder Vulkanausbrüche noch das „Herausziehen eines Schwanzes von Materie" aus der Sonne durch einen in ihrer Nähe vorbeiziehenden Fixstern notwendig ist und erst recht nicht das Entstehen von Materie aus dem Nichts.

Abgesehen davon, daß gegen solche irrige Meinungen vom dynamischen Standpunkt aus bestens begründete und überzeugende Einwendungen geltend gemacht werden können, bieten die dargelegten Ausführungen nicht nur allgemein sondern auch zahlenmäßig wenigstens in guter Annäherung Aufschluß über die wichtigsten Gesichtspunkte, die uns bei den Planeten interessieren, über ihre progressiv zunehmenden Entfernungen, über die progressive Entfernung bei ihren Monden, über die bei den einzelnen Planeten stark verschiedene Zahl der Monde, über die Umdrehgeschwindigkeiten um die Planetenachsen, über die Frage, warum der Saturn Ringe besitzt und die andern Planeten und die Sonne keine, über die Größen- und Dichteverhältnisse der Planeten u.s.f.

Es wurde weiter gezeigt, daß zur Erklärung aller dieser Besonderheiten verhältnismäßig einfache Formeln und Rechnungen genügen, die einem gebildeten mathematisch mit den Anfangsgründen vertrauten Leser leicht verständlich sind. Mit aus diesem Grunde wurde bewußt darauf verzichtet, auf thermische, magnet-elektrische und nukleare Einflüsse einzugehen. Solche sind natürlich vorhanden. Zur Erklärung der untersuchten Fragen brauchen sie aber nicht herangezogen zu werden.