

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA

II

L. inw.

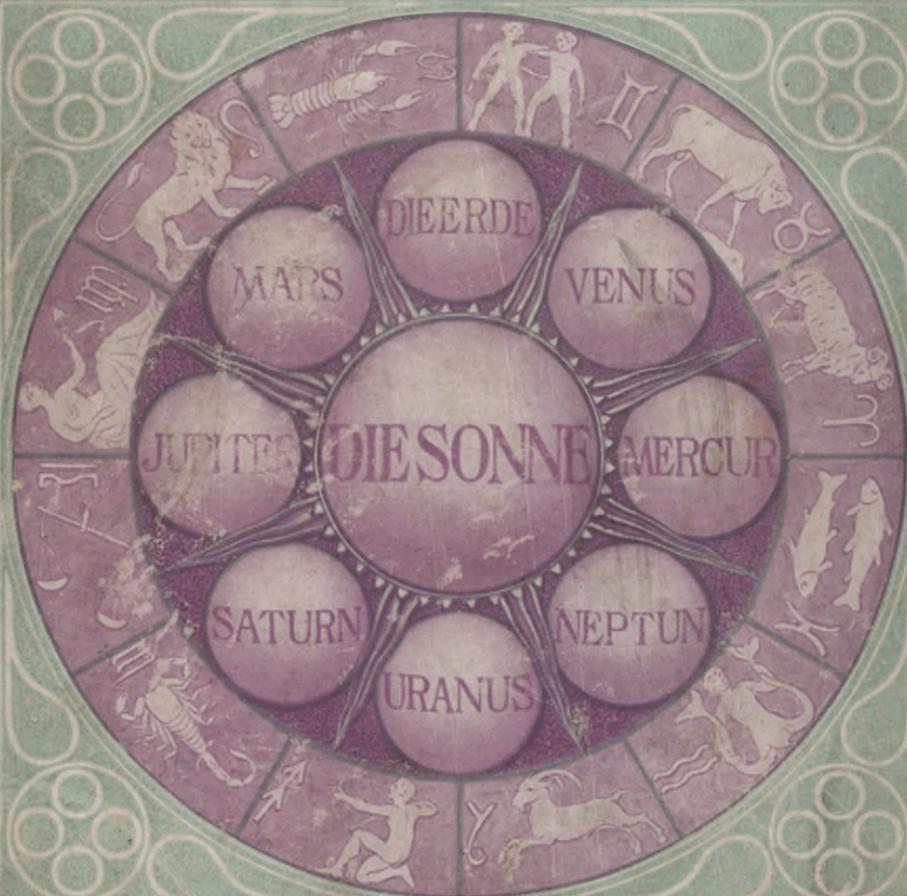
4726

terne Chor  
ne sich stellt

von Franz Rusch

\* \* \*

Mit zahlreichen Zeichnungen des Verfassers



Deutsche Naturwissenschaftliche Gesellschaft  
Geschäftsstelle: Theod. Thomas Verlag, Leipzig

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000298956

# Wie der Sterne Thor um die Sonne sich stellt

Von Gymnasial-Oberlehrer

Franz Rusch

Mit 27 Abbildungen



[ 1314 ]

Arbeiter-Zentral-Bibliothek, Magdeburg

Deutsche Naturwissenschaftliche Gesellschaft  
Geschäftsstelle Theod. Thomas Verlag, Leipzig

#  
184



II 4726 Inhalt.

	Seite
Geschichtliche Einleitung . . . . .	5
Gründe und Gegengründe. Ein Beitrag zur Entwicklung der menschlichen Geisteskräfte . . . . .	13
Die Gesetzmäßigkeit im Planetensystem . . . . .	17
Die Entstehung des Planetensystems . . . . .	23
Die Entstehung des Planetensystems. Kosmogonie . . . . .	23
Kosmogonie . . . . .	23
Merkur . . . . .	30
Venus . . . . .	34
Die Erde . . . . .	42
Der Erdmond . . . . .	54
Mars . . . . .	65
Die kleinen Planeten . . . . .	75
Jupiter . . . . .	79
Saturn . . . . .	84
Die äußersten Geschwister der Erde . . . . .	88
Schluß . . . . .	90

Alle Rechte, insbesondere das der Uebersetzung, vorbehalten.

Akc. Nr. 3155/50

## Geschichtliche Einleitung.

Der „Sterne Chor, der um die Sonne sich stellt“, ist den meisten Menschen dem Namen nach geläufig: Merkur, Venus, Erde, Mars, Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun. Fünf waren schon den alten Babyloniern und Ägyptern als „Planeten“, d. i. Wandelsterne, bekannt. Es ist sicher, daß sie die Bahnen der Planeten wohl beobachteten, in wissenschaftlicher Weise, nicht nur um Sterndeuterei (Astrologie) zu treiben. So hatten sie schon unter dem König Sargon 3700 v. Chr. Erkenntnisse von der Gesetzmäßigkeit der Mondfinsternisse, die sie in einer Art Kalender festgelegt haben\*). Weitergehende Beobachtungen haben die Babylonier in den letzten Jahrhunderten vor Christi Geburt nachweislich gemacht. Aus jener Zeit stammen die genauen Angaben der verschiedenen Länge der Jahreszeiten, die Mond- und Sonnenfinsternisperiode, vor allem auch Planetenbeobachtungen. Die Babylonier dürften ihre Kenntnisse den Ägyptern überliefert haben, von diesen haben sie die Griechen übernommen.

Doch verlieren die Griechen nach den neuesten Forschungen immer mehr von dem Ruhm, originelle Leistungen auf diesen Gebieten hervorgebracht zu haben, je mehr unsere Archäologen von den noch unbearbeiteten Keilschriften und Tafeln der Chaldäer entziffern. Die Chaldäer sind die Väter der Astronomie und der Planetenkunde.

Auf spekulativem Gebiet sind die Griechen die grundlegenden. Der griechische Geist hatte offenbar eine apriorische philosophische Begabung, gepaart mit einer ungeheuer glücklichen Phantasie, zwei Geschenke, die ihn zu seinen Kunstleistungen einerseits, zu seinen spekulativen Leistungen andererseits befähigten. Was die moderne exakte Forschung ringend schafft an klaren Bildern des Makro- oder des Mikrokosmos, es liegt im Keime in irgendeinem griechischen Geiste schon vor uns: Heraklid († 478 v. Chr.) entdeckt die Denknöthwendigkeit einer periodischen Weltentwicklung. „Alles fließt“. Die Dauer einer Entwicklung gibt er — so mischt sich Sinn und Unsinn bei den Alten — zu 10800 Jahren an. Er soll sogar — er wäre dann der erste — die Kugelgestalt der Erde und ihre Bewegung um die Sonne gekannt

\*) Sañce, Transact. of the soc. bibl. arch III 1, 1874 nach Hoppe, Math. u. Astr. im klass. Altertum.

haben. Leider kennen wir über diesen größten naturwissenschaftlichen Denker der Griechen kein zusammenhängendes Werk. Hoppe nennt ihn — ein Unrecht gegen Goethe — wohl den größten Pantheisten aller Zeiten. Demokrit von Abdera nimmt mit seinem Lehrer Leukipp die Atomentheorie voraus.

Wie aber steht es mit dem Weltbilde im großen? Wir können nicht mit Gewißheit angeben, wer zuerst sich Gedanken über die Größe, Entfernung und Anordnung der Weltkörper im Raum gemacht hat. Sicher ist, daß die Kugelgestalt der Erde zur Zeit Platons schon in Wettbewerb mit der Lehre von der Scheibengestalt getreten war, sicher ist, daß Plato selbst in der Übergangszeit von der alten zur neuen Anschauung gestanden hat, ja es ist nach dem Zeugnis seiner Schüler sehr wahrscheinlich (Aristoteles, Cicero, Theophrastus), daß Plato Kugelgestalt und Achsendrehung (Rotation) der Erde, sowie die Drehung der Erde um die Sonne (Revolution) gelehrt habe. Allerdings hat er die Lehre in ein mystisches Gewand gekleidet, er spricht von allerlei Gottheiten, deren vornehmste die Sonne sei, von einem „Mittelsten“, um das alles im Kreise geführt werde. Wie dem auch sei, es dauerte nur noch hundert Jahre und Aristarch von Samos sprach die Lehre vom „Sonnensystem“ klar und offen aus, wie eine Stelle bei Plutarch klar erweist: „Hänge uns nur keinen Prozeß wegen Unglaubens an den Hals, Teuerster, wie es einst Kleantes wollte, als er ganz Griechenland aufforderte, den Samier Aristarch als Religionsverächter anzuklagen, da er das heilige Weltzentrum verschiebe, indem er, um die Himmelserscheinungen richtig zu stellen, den Fixsternhimmel feststehen ließ, dagegen die Erde sich auf einem geneigten Kreise bewegen und gleichzeitig um ihre Achse drehen ließ\*.“

Noch schöner beweist eine Stelle bei Archimedes\*\*), daß Aristarch sein System wohl durchdacht hatte: „Denn er (Aristarch) nimmt an, daß alle Fixsterne und die Sonne feststehen, die Erde aber um die Sonne in einem Kreise herumgehe mit der Sonne als Mittelpunkt. . .“ Aristarch lebte um 270 v. Chr.

Beweise für seine Ansichten hat Aristarch ebenfalls gegeben, Archimedes sagt „er hat aus den Voraussetzungen abgeleitet“, doch wurde er angegriffen. In diesen Angriffen erstand ihm später ein kongenialer Verteidiger in dem mit griechischem Geist befruchteten Chaldäer Seleukos, seinem Schüler, von dem wir sonst nichts wissen, als daß er Aristarchs System bewiesen und zur Erklärung von Ebbe und Flut benutzt habe. Plutarch scheint den Seleukos mehr in den Vordergrund stellen zu wollen als den Aristarch, so daß wir wohl nicht fehlgehen, in ihm den ersten Begründer des „heliozentrischen“ Systems zu sehen. Es ist wohl kein Zufall, daß ein Chaldäer, der in griechischer Schule aufgewachsen war, diese geradezu staunenswerte Leistung des

\*) Plutarch, de facie 6, 923, zitiert nach Hoppe.

\*\*) Arch. Arenarius I 4 nach Heiberg.

Altertums vollbrachte. Ein und einhalbes Jahrtausend später schuf ein Menschengenoss in Deutschland den gleichen Gedanken noch einmal, ohne Kenntnis seiner Vorgänger, Kopernikus, und an seinen Namen hat man die Unsterblichkeit gehängt und hat das System das kopernikanische genannt.

Stehen auf der einen Seite die Spekulativen, so muß man doch auch den reinen Beobachtern und „Rechnern“ ihr Verdienst lassen, die ein System schufen, das erklären sollte, das als Grundlage zu Berechnungen brauchbar sein sollte.

Dem „großen“ Mathematiker Apollonius ([265 ?] 170 v. Chr.) ist wohl der erste Ansatz zu einer Erklärung der sonderbaren Bahnen zu verdanken, in denen die bekannten fünf Planeten am Himmel wandeln. Nach ihm bewegen sich die Planeten nicht direkt um die Erde, sondern auf einem Kreise (Epizykel), dessen Mittelpunkt wieder auf einem Kreise (Deferent) um die Erde läuft. In der Tat ist diese Annahme geeignet die Rückläufigkeit und bei schiefer Lage der beiden Kreise auch die Schleifenbildung zu erklären. Die Theorie wurde infolgedessen von allen vorsichtigen Beobachtern angenommen, die sich auf die Spekulationen des Aristarch und Seleukos nicht einlassen mochten. So steht Hipparch ganz auf dem Boden der „Epizykentheorie“, nur tut er (beim Monde) zur Erklärung einer Bewegungsanomalie noch hinzu, daß der Mittelpunkt des Deferenten selbst noch erst auf einem Kreise um die Erde laufe. (So hat also der Mond drei „Sphären“.) Noch weiter baut endlich Claudius Ptolemäus (etwa bis 150 n. Chr.) dieses System aus und gelangt so zu der Konstruktion des nach ihm benannten geozentrischen Weltsystems. Dieses System hat bis in die Zeit Keplers hinein allen Berechnungen zugrunde gelegen. Ptolemäus brauchte zur Erklärung aller Erscheinungen wieder noch einen Kreis mehr als Hipparch, so daß ein für die Anschauung sehr kompliziertes, für die mathematische Behandlung sehr geeignetes System entstanden war. Sehr bezeichnend für den durchaus einwandfreien Standpunkt des Ptolemäus ist eine Bemerkung, die er in seinen „Hypothesen“ macht, daß er nämlich nicht glaube mit seinem System das „wirklich zugrunde Liegende“ erkannt zu haben.

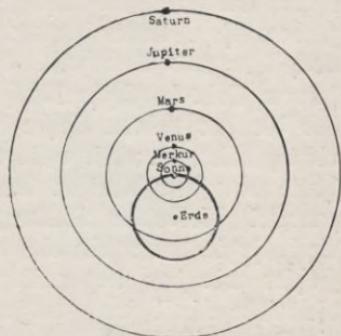


Abb. 1. Tycho Brahes System.

Zwei Jahrhunderte nach Ptolemäus war die griechische Wissenschaft gestorben, abgegeben zum Teil an die Araber, die, was ihnen behagte — und das war viel in der Astronomie — über die Zeiten gerettet haben. Erst am Ausgange des Mittelalters knüpft eine andere Menschheit, ein anderer Geist den Faden wieder auf, der 1¼ Jahrtausende am Boden geschleift hatte.

Zwei Jahrhunderte nach Ptolemäus war die griechische Wissenschaft gestorben, abgegeben zum Teil an die Araber, die, was ihnen behagte — und das war viel in der Astronomie — über die Zeiten gerettet haben. Erst am Ausgange des Mittelalters knüpft eine andere Menschheit, ein anderer Geist den Faden wieder auf, der 1¼ Jahrtausende am Boden geschleift hatte.

Nicolaus Kopernikus wurde als Sohn eines Thorner Kaufmanns 1473 geboren, studierte in Krakau, Wien und Bologna Mathematik, Astronomie, Medizin und Theologie. Nach einer Heimreise studierte er weiter in Padua und Ferrara, lebte 1505—1512 in dem Städtchen Heilsberg und wurde endlich Kanonikus in Frauenburg. (Sein Denkmal in Frauenburg liegt unserem Titelblatt zugrunde.)

Sein Leben hat er hauptsächlich der Astronomie gewidmet, immer wieder zurückkehrend zu der Frage nach einer anschaulichen Erklärung der himmlischen Bewegungen. Seine Anschauungen faßte er schließlich, unterstützt und gefördert von Rhæticus in Wittenberg, an seinem Lebensende in dem Werk „De revolutionibus orbium coelestium“ (Über die Bewegung der Himmelskörper) zusammen. Kurz vor seinem Tode soll er gerade das erste Exemplar seines gedruckten Werkes in die Hände bekommen haben (1543). Die augenblickliche Wirkung seines Werkes war gering. Luther nannte ihn einen „Narren“. Die meisten Astronomen besaßen nicht genügend tiefe Erkenntnis, um seine Leistung zu begreifen. Unter den wenigen ihn Verstehenden war außer Rhæticus noch Erasmus Reinhold. Ein großer Gegner aber erstand ihm nach seinem Tode in Tycho Brahe, dem dänischen Astronomen (1546—1601), der die der reinen Lehre des Kopernikus anhaftenden Fehler zuerst richtig erkannte: Diese liegen einmal darin, daß Kopernikus sich nicht hatte von den Kreisen losmachen können, und daß er auch die sich parallel bleibende Stellung der Erdochse nicht klar erfaßt hatte. Tycho setzte dann sein eigenes System an die Stelle, das aber dieselben Fehler wie das kopernikanische beibehielt, nur daß die Sonne um die Erde läuft statt umgekehrt. Alle anderen Planeten laufen um die Sonne (Abb. 1).

Es mag hier hervorgehoben werden, daß die beiden Systeme des Tycho und des Kopernikus an sich beide eine Lösung des Problems sind, daß Tychos System eben nur die „Relativität“ der Bewegung von Sonne und Erde umkehrt. Nach dem klassischen Relativitätsprinzip (nicht zu verwechseln mit dem gänzlich andersgearteten, modernen) ist es gleichgültig, wenn zwei Körper A und B sich bewegen, welchen man als ruhend annimmt. Man denke an die Täuschung im Eisenbahnzuge, wenn ein anderer abfährt, der eigene Zug stillsteht. Diese „Gleichgültigkeit“ hört aber sofort auf, wenn man ein Bezugsobjekt (zum Beispiel den Bahnsteig) betrachtet. Sofort erkennt man, eine Täuschung vor sich zu haben. Dieses Bezugsobjekt ist nun für die Sonne und die Erde der Fixsternhimmel, und erst in späteren Zeiten hat man die Bewegung der Erde „relativ“ zum Fixsternsystem, d. h. also dieses als ruhend gedacht, nachweisen können. Es sei hier schon bemerkt, daß auch dieser Nachweis eine Bedingung hat, so daß diese wieder in unsere Behauptung von der Bewegung der Erde um die Sonne eingeht. Damit geraten wir in die Frage nach der Begründung der Lehre vom Planetensystem, die keine leichte ist, und die wir uns für einen späteren Abschnitt aufheben.

Daß sich also die Gelehrten der beginnenden Neuzeit sobald und so überzeugt auf Kopernikus' Seite stellten, kann diese Begründung nicht haben. Doch sehen wir uns einmal den geschichtlichen Verlauf weiter an.

Der wirkliche Schöpfer des Planetensystems von heute ist erst Johannes Kepler (1571—1630). Geboren in Weil, der Stadt, von der Schule in Maulbronn, von der Universität in Tübingen geht er nach Graz, von dort zu Tycho nach Prag, wo er nach dessen Tode Hofmathematiker wurde. Von hier kam er nach Linz in Ober-Österreich, lebte aber seit 1626 in Ulm und starb auf einer Reise nach Regensburg, wo er beim Reichstag eine alte Gehaltsforderung ohne Erfolg vertreten hatte. Seiner Prager Zeit verdanken wir seine

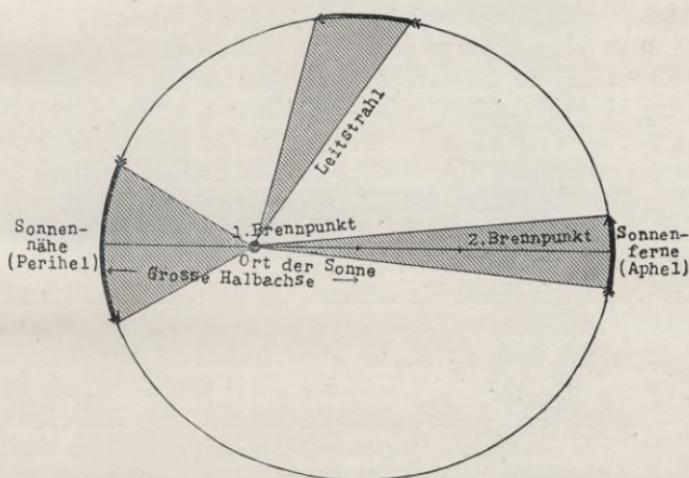


Abb. 2. Bahn eines Planeten. Die drei hervorgehobenen Flächen sind gleich, die drei Pfeilstrecken werden daher in gleichen Zeiten durchlaufen. Die gezeichnete Ellipse entspricht der stärksten Abweichung vom Kreise, die im Planetensystem vorkommt.

Schriften über Optik, die ihn Galilei näherten und sein Hauptwerk: *Astronomia nova seu physica coelestis*. Der größte Schritt vorwärts in der Entdeckung der wahren Natur des Planetensystems! Er findet, da er glücklicherweise von Tychos vorzüglichen Beobachtungen den Mars ausuchte, daß die Annahme, der Mars laufe in einer Ellipse um die Sonne, die in einem Brennpunkt der Ellipse steht, völlig die scheinbare Bahn des Mars erkläre. Dies sprach er als erstes seiner Gesetze aus. Aus der Erfahrung heraus findet er auch das zweite, welches da besagt, daß der Planet in der Sonnennähe schneller läuft als in der Sonnenferne (Abb. 2), und zwar so, daß der „Leitstrahl“ Sonne—Planet in gleichen Zeiten gleiche Flächen beschreibt. Später fand er nach vielen mystischen und phantastischen Versuchen auch das

dritte Gesetz, daß die Quadrate der Umlaufzeiten zweier Planeten in demselben Verhältnis stehen wie die dritten Potenzen ihrer mittleren Entfernungen von der Sonne.

Der Mann, der den Schlußstein in dies Gebäude einfügte, ist der Engländer Isaac Newton (1642—1727). Wie es meist mit den größten Gedanken der Menschheit geht, sie werden nicht im Augenblick geboren, so hat auch Newton seine Entdeckung jahrzehntelang mit sich getragen, sogar verheimlicht, vielleicht weil die falschen Erdmaße, die er seiner Rechnung zugrunde legte, sein Ergebnis fälschten und mit dem im Geiste als absolute Wahrheit Geschauten nicht in Einklang bringen ließen (1666). Sein Gedanke war der: es muß eine Kraft da sein, welche die Himmelskörper um die Sonne zieht, welche den Mond um die Erde zieht. Diese Kraft muß auf der Erdoberfläche noch stärker wirken als in der Entfernung des Mondes: es muß also eine ihrer Größe nach bekannte Kraft sein. Diese Kraft sah er in der Schwerkraft, die den Stein an die Erde zieht. Sie ist es, die auch den Mond seine Bahn um die Erde führt, die die Erde um die Sonne herumwirbelt. Wie man sieht, liegt dieser Erkenntnis der Kraftbegriff und die Anschauung des Trägheitsgesetzes zugrunde; ihr Entdecker Galilei ist daher der Mann, auf dessen Schultern Newton steht. 1682 erfuhr Newton von einer neuen Erdmessung (die schon 1671 veröffentlicht war! Man denke an die Geschwindigkeit, die heute die Verbreitung von Entdeckungen über die ganze Welt vermittelt!). Da löste sich seine Rechnung auf zu dem gesuchten Ergebnis. Die Kraft, die den Mond von der geraden in die Kreisbahn zwingt, ist 3600mal kleiner, wie die Kraft, die den Stein an der Erdoberfläche fallen läßt; dafür aber ist der Mond 60mal weiter vom Erdmittelpunkte entfernt, von dem die Kraft ausstrahlend gedacht werden kann. Die Kraft nimmt also in der doppelten Entfernung auf den vierten Teil usw., allgemein mit dem Quadrat der Entfernung ab.

Newtons Gesetz von der „allgemeinen Schwere“ lautet also: Jeder (Himmels-)Körper zieht jeden anderen mit einer Kraft an, die uns als „Schwere“ bekannt ist und die beider Massen gemäß ist, aber mit der Entfernung der beiden Körper im Quadrat abnimmt. Doch sein Geist ging tiefer: Der geborene Mathematiker in ihm (Schulmathematik hatte er als selbstverständlich nie getrieben, sondern sich selbst entwickelt, wird erzählt) ging weiter: er zog die strengen Folgerungen aus seinem Gesetz und fand, daß „wie die Nacht dem Tage“ aus seinem Gesetz folge, daß

1. die Planeten in Ellipsen laufen müßten,
2. der Zeitstrahl in gleichen Zeiten gleiche Flächen beschreiben müsse,
3. die Quadrate der Umlaufzeiten sich wie die dritten Potenzen der mittleren Entfernungen verhalten müßten.

Das sind die von Kepler aus Beobachtungen „empirisch“ gefundenen Gesetze. Newton gibt den Grund für Keplers Gesetze an. Newton ist

auch der Vater der modernen Bahnberechnungen, der Vorläufer Gauß'. Sein Schüler Halley berechnete nach Newtons Methoden die erste Kometenvorausage.

Lagrange hat die Tat Newtons gewürdigt: er hat ihn nicht nur den größten Menschen, auch den glücklichsten genannt, denn es „gab nur ein Newtonsches Gesetz zu entdecken“. Wann aber wird uns das Genie geboren, das den nächsten Schritt tut, das, wie Newton den Grund zu Keplers Gesetzen fand, uns den physikalischen Grund zu Newtons Gesetz aufdeckt? Warum ziehen sich die Körper an?

Damit stehen wir an der Wende zur neuesten Zeit der letzten zwei Jahrhunderte.

Wir können jedoch diesen Zeitabschnitt der großen Entdeckungen nicht liegen lassen, ohne Galileis zu gedenken. Abgesehen davon, daß er ein eifriger Verfechter des kopernikanischen Systems war, schenkte er der Welt die wissenschaftliche Grundlage der Mechanik, auf der Newton weiterbaute. Abgesehen aber auch davon, konstruierte er mit als Erster ein Fernrohr und benutzte es zu Beobachtungen der Himmelskörper, also auch der Planeten. Er entdeckte die vier großen Jupitermonde, das „Sonnensystem im kleinen“. Er zeichnete die erste Mondkarte und erzählte der staunenden und — zweifelnden Welt von Mondgebirgen. Er ist mit der Geschichte des Planetensystems unauflöslich verbunden, als der Märtyrer um seiner Überzeugung willen. Es ist ja bekannt, wie seine Schriften, die Gründe für das heliozentrische System beizubringen suchten, ihm den Haß und die Verfolgung der Kirche zuzogen, für Kopernikus aber noch fast 100 Jahre nach seinem Tode den Erfolg hatten, daß sein Werk auf den Index der verbotenen Bücher gesetzt wurde (1616), auf dem es über 200 Jahre verblieb: Vorgänge, an denen Starrköpfigkeit von beiden Seiten die Schuld trug und die keinem zur Ehre gereichten.

Die 200 folgenden Jahre räumten nun schnell mit dem Alten auf. Nach Kepler und Newton war an der Wahrheit des heliozentrischen Systems kein Zweifel mehr: es gab eben jetzt eine weitere Denknöthwendigkeit! Nicht die Bewegungen allein sollten erklärt werden, das konnte schließlich auch Ptolemäus oder Tycho, die Kraft soll nachgewiesen werden, die die Triebfeder des Systems ist. Und das leistet allein das heliozentrische System. Newton also ist der erste Begründer des heliozentrischen Systems.

Ogleich also mit der Entdeckung der Newtonschen Gravitation bereits der vollendetste Beweis für das heliozentrische System geliefert ist, hat man sich — schon Galilei vor Newton — doch nach gewissermaßen handgreiflichen Beweisen dafür umgesehen, und wir wollen diese Geschichte der geistigen Entdeckung des Planetensystems mit der Aufzählung dieser Taten beschließen. Galilei glaubt, die Achsendrehung der Erde ließe sich auf keine Weise aus mechanischen Versuchen beweisen, da der Erfolg der Versuche stets derselbe sein müßte sowohl bei ruhender wie bei bewegter Erde. Er führt in seinem

„dialogo“ geradeswegs den Vertreter der alten Schule, Simplicio, damit aufs Glatteis, daß er ihn einen Fehler gegen diese Erkenntnis machen läßt: wenn eine Kugel von der Mastspitze aus das Deck eines Schiffe fiele, so fällt sie immer auf denselben Punkt, gleich ob das Schiff stillsteht oder sich bewegt. Dieser Fehler bei Galilei ist nur ein bezeichnendes Merkmal für die wirkliche Fortentwicklung der menschlichen Geisteskräfte: Galilei, der Vater der Mechanik, vergißt hier, was heute kein Schüler vergessen wird. Seine Gedanken, seine Entdeckungen kennen nur die geradlinigen Bewegungsgesetze, oder vielmehr diese sind ihm am geläufigsten. Bei ihrer Übertragung auf die Drehung überträgt er das von ihm selbst entdeckte Trägheitsgesetz mit auf diese. Und das ist falsch. Denn Drehung eines Körpers läßt sich sehr wohl auf ihm selbst nachweisen ohne ein Bezugssystem außer ihm. Erst Newtons Geist sah 1679 diese Möglichkeit: läßt man von hohem Turme eine Kugel herabfallen, so führt sie zwei Bewegungen aus: Die Fallbewegung und die — angenommene — Drehung um den Erdmittelpunkt. Je tiefer sie fällt, desto näher kommt sie aber dem Mittelpunkt, d. h. auf Punkte, die langsamer sich drehen (eben weil sie in der gleichen Zeit sich einmal herumdrehen), desto mehr eilt sie diesen Punkten in der Richtung der Erddrehung voraus. Hooke hat im Auftrage Newtons den Versuch, doch ohne Erfolg, ausgeführt. Im Jahre 1791 machte Guglielmini in Bologna an dem Turm degli asinelli Messungen und fand Resultate, die die Erddrehung bejahten: Die Kugel wich nach Osten von der Lotrichtung ab. Benzenberg hat dann 1804 den Versuch in der Michaeliskirche in Hamburg und in einem Kohlenschacht zu Schlebusch in der Grafschaft Mark wiederholt, und seine Messungen ergaben ebenfalls eine volle Bejahung.

Es sei hier schon kurz darauf hingewiesen, daß das Trägheitsgesetz die Voraussetzung dieses Beweises ist, und daß das Ergebnis daher vorsichtiger heißen muß: Bezogen auf die Bewegung, die ein Körper ausführt, der von keiner Kraft beeinflusst sich bewegt, dreht sich die Erde.

Dieselbe Voraussetzung hat der 1851 von Foucault angegebene berühmte Pendelversuch.

Ganz verschieden von diesen beiden Versuchen sind die Versuche, die Bewegung der Erde um die Sonne anschaulich nachzuweisen. Diese Nachweise gelangen einmal Bradley mit der Entdeckung der Aberration und in neuester Zeit mit Hilfe des Dopplerschen Prinzips der Spektralanalyse. Die Voraussetzung bei beiden ist nun eine viel schwierigere wie oben das Trägheitsgesetz: nämlich die Annahme eines ruhenden Äthers, in dem die Erde und das Licht sich bewegen. Beide Entdeckungen aber enthalten auch noch durch einen Induktionschluß einen Wahrscheinlichkeitsbeweis: Bradley fand nämlich bei allen Fixsternen eine jährliche Bewegung in einer mehr oder minder flachen Ellipse, deren große Achse aber stets dieselbe ist. Es ist daher sehr wahrscheinlich, daß die Bewegung eines Körpers diese Erscheinung hervorruft.

Ebenso zeigt die Spektralanalyse Verschiebungen der Spektrallinien um den gleichen Betrag bei — unter gewissen Umständen — allen Fixsternen. Es ist also auch hier wahrscheinlich der Grund in der Bewegung eines Körpers zu suchen. Beide Schlüsse sind aber — es kommt mir darauf an, dies festzuhalten — Wahrscheinlichkeitschlüsse, wenn auch die Wahrscheinlichkeit wegen der großen Zahl der Sterne, die alle die gleichen Veränderungen zeigen, an Gewißheit grenzt: Kennzeichen der induktiven Schlußform der exakten Naturwissenschaften.

## Gründe und Gegenründe.

Ein Beitrag zur Entwicklung der menschlichen Geisteskräfte.

Von den Gegnern des kopernikanischen Systems sind im Laufe der Zeit mannigfache Gründe dagegen vorgebracht worden, die sich selbst bis in die allerneueste Zeit fortgesetzt haben.

Wenn wir hier diese Gegenründe einer Betrachtung unterziehen wollen, so kann der Zweck dieses Vorgehens nur der sein, die Entwicklung des menschlichen Denkens darin nachzuweisen. Von Gegnern der Entwicklungstheorien wird ja mit Vorliebe vorgebracht, eine Entwicklung der menschlichen Geistes „fähigkeiten“ sei in historischer Zeit nicht erfolgt. Ich sehe gerade in der Geschichte der Lehre des Kopernikus ein schlagendes Gegenbeispiel für diese Ansicht. Denn was sind denn die vermeintlichen Gegenbeweise anderes als die „Unfähigkeit“ des Geistes, sich das System vorzustellen. Was ist die Aufstellung des Systems, was ist jede große Tat der exakten Wissenschaften anders, als eine Höherentwicklung der Geisteskräfte des Menschen? Die Ausarbeitung des Kraftbegriffs, die Erkenntnis Newtons sind eben erst dann möglich, wenn ein Geist zu ihnen fähig ist, und bedeuten dann eine Weiterentwicklung der Fähigkeit.

Die „Beweise“, die Kopernikus selbst für sein System gibt, sind die folgenden. Was zunächst Merkur und Venus betrifft, schließt er sich Marcianus Capella an, der schon wußte, daß diese die im Mittelpunkt ihrer Bahn befindliche Sonne umkreisen; denn „sie können sich von dieser (der Sonne) nur so weit entfernen, als es die Krümmung ihrer Bahnen erlaubt.“ (10. Kapitel des ersten Buches.) Den Gegengrund, daß dann Merkur und Venus auch einmal zwischen Erde und Sonne treten und die Sonne verdunkeln müßten, entkräftet er mit Recht durch die Worte: „einen so kleinen Fleck bei dem überaus starken Licht der Sonne zu sehen, ist nicht leicht.“

Als Hauptgrund für die Bewegung der äußeren Planeten um die Sonne führt er dann folgendes aus\*): „Es steht fest, daß diese (Saturn,

\*) Nach den bekannten Übersetzungen, 3. T. nach Kistner.

Jupiter, Mars) der Erde näher sind, wenn sie abends aufgehen (die Erde steht dann zwischen ihnen und der Sonne) und von der Sonne am weitesten entfernt sind (im Winkelabstand ist gemeint!), als wenn sie abends untergehen.“ Dieses „es steht fest“ zeigt uns, daß Kopernikus aus der Helligkeit der Planeten seine Schlüsse gezogen hat, daß er also, wie wir heute sagen würden, photometrische Beobachtungen gemacht hat. Denn sonst ist für seine Zeit dies „es steht fest“ nicht anders zu beweisen gewesen, während es heute ja aus Entfernungsbestimmungen gefolgert werden könnte.

Der springende Punkt des ganzen Systems, daß nämlich die Erde selbst auch um die Sonne läuft, selbst ein Planet ist, mußte notgedrungen bei Kopernikus durch Analogie erschlossen werden! Die eigentliche Tat des Kopernikus zerfällt zunächst in die strenge Lösung der Frage, um wen sich die andern Planeten bewegen. Ihr zweiter Teil, die Aussage: die Erde ist auch ein Planet, mußte bei ihm eben Behauptung bleiben. In der Tat hat nach ihm niemand mehr die Bewegung der äußeren Planeten um die Erde behauptet, während seine Wahrheit von der Planetennatur der Erde — wie wir sehen, nicht ohne Grund — angefochten wurde. Denn selbst heute würde ein Analogieschluß allein nicht ausreichen, um so alte Anschauungen zu beseitigen, wie es damals die Anschauung von der ruhenden Erde war. Kurz ausgedrückt: Die Entscheidung zwischen dem tychonischen und dem kopernikanischen System muß einer späteren Zeit vorbehalten bleiben, die den Kraftbegriff erst noch zur Klarheit zu entwickeln hatte. Der Geist war noch nicht „fähig“.

Damit ist nicht gesagt, daß es Unrecht von Kopernikus war, die von ihm erkannte Wahrheit auszusprechen. Dabei ist auch bei der Erde eigentlich zwischen zwei Behauptungen zu unterscheiden: Die tägliche Drehung der Erde konnte er mit Recht behaupten, wenn die jährliche angenommen war. Denn die Fixsterne, die sich bei der jährlichen Bewegung der Erde nicht veränderten, sind deswegen so weit anzunehmen, daß sie unmöglich in 24 Stunden die Erde umkreisen können. So folgt aus der einen Annahme die andere Behauptung.

In der Tat wurde dieser Punkt sogleich von seinen Gegnern angegriffen, zum Teil mit theologischen, zum Teil mit astronomischen u. a. Gründen. Luther selbst hat den Ausspruch: „Der Narr will die ganze Kunst Astronomiae umkehren. Aber wie die Heilige Schrift anzeigt, hieß Josua die Sonne stillstehen und nicht das Erdreich.“

Melanchthon sagt in seinen Anfangsgründen der Naturlehre: „Unsere Augen bezeugen es, daß sich der Himmel in 24 Stunden herumbewegt.“ Seine Gegenbeweise faßt er in dem hübschen Ausspruch zusammen: „Bei der Umdrehung eines Kreises bleibt der Mittelpunkt unbeweglich, das ist allen bekannt; die Erde befindet sich aber im Mittelpunkt der Welt, also ist die Erde unbeweglich.“

Hören wir weiter die Gegenründe des größten Astronomen seiner Zeit, Tycho Brahes, aus einem Brief des Jahres 1589.

„Da ist zunächst die tägliche Drehung, die in 24 Stunden vor sich gehen soll und den Lauf der Gestirne von Ost nach West erklären soll! Nun sage mir, wie kann denn eine Bleikugel den genau unter ihr lotrecht liegenden Punkt der Erde treffen? Selbst bei unserer hohen geographischen Breite müßte sich ein Erdpunkt in einer Sekunde noch um etwa 150 Doppelschritte weiter drehen.“ Er stellt sich also die Erde unter dem Bleistück fortbewegt vor, sein Geist ist noch nicht so weit entwickelt, daß Galileische Trägheitsgesetz zu erfassen, zu übertragen. Denn nur an der Anwendung, an der Fähigkeit des Erfassens kann es liegen; dieselben Tatsachen, die Galilei zur Erkenntnis führten, kennt auch Tycho. Denn sonst müßte er auf dieselbe Weise wie oben für die Bleikugel schließen, daß ein Pfeil in dem Augenblick nicht mehr weiterfliegt, wo er die Sehne verlassen hat! Er konnte sich eben noch nicht erklären, weil sein Erkenntnisvermögen noch auf einer zu niederen Stufe stand.

Die jährliche Bewegung widerlegt er mit dem Hinweis, daß Saturn nicht 700mal weiter von der Fixsternsphäre entfernt sein könne als von der Sonne, da sonst die Fixsterne Umfänge wie die Erdbahn selbst haben müßten.

Wir sahen hier die Gegner des Kopernikus mit Gegenbeweisen vorgehen, wie sie einst Lactantius (†340) gegen die Kugelgestalt der Erde vorbrachte, da er sich nicht anderes vorstellen konnte, als daß die Gegenfüßler auf dem Kopfe stehen müßten oder daß der Regen von der Erde fortfallen müsse u. a.

Wir wollen uns gewiß nicht der Überhebung schuldig machen: hat die neuere Zeit nicht vielleicht gleiche hartnäckige Ungläubigkeit gezeigt? Was hat Chadni sich sagen lassen müssen, als er nachwies, daß die Meteore tatsächlich vom Himmel gefallene Steine seien, was hat man erst gegen die Entdecker der Bahnen des Mikrokosmos geschleudert, und was wird man noch gegen sie schleudern, wer kann heute den Gedankengängen Lorentz-Einsteins völlig folgen?

Der eigentliche Begründer des kopernikanischen Gedankens, wenigstens des Teiles des Systems, nach dem die Erde sich um die Sonne bewegt, ist eben erst Newton. Denn erst mit der strengen Fassung der Kraft, die die Planeten bewegt, ergibt sich die Notwendigkeit, die Denknöwendigkeit. Die Erde ist ein Planet. Seit Newton ist denn auch kein Versuch mehr gemacht worden, Besseres an seine Stelle zu setzen, wenn man von der Verirrung Johannes Schlafs aus der neuesten Zeit absieht.

Vor einem Fehlschluß mag aber gewarnt werden: die Relativitätstheorie, nach der Raum und Zeit miteinander ihrem Maß nach verknüpfte Größen sind, ändert an der erkannten Wahrheit nichts, im Gegenteil. Es ist oberflächlich gedacht und falsch, wenn man jetzt

hier und da liest: es ist ja nach der neuesten Relativitätstheorie gleichgültig, ob man sagt, die Erde läuft um die Sonne oder umgekehrt. Wer das sagt, kennt das wahre Problem der Relativitätstheorie nicht. Wenn man mit Kant oder Helmholtz natürlich an die Lösung des letzten Grundes der Welt, Raum und Zeit herantritt, so liegen Rätsel in der Bewegung der Erde um die Sonne, aber nicht andere und nicht größere, als wenn der Herr Meier sich auf seinem gewohnten Morgenspaziergang „durch Raum und Zeit bewegt“; wenn man an diesem Grunde rüttelt, ist eben jede Bewegung ein ungelöstes Rätsel.

Sehen wir uns den Newtonschen Schluß genau an: auf der Erde gilt das Schwerkgesetz. Newton überträgt es auf den gesamten Weltenraum. Er findet es in der Bewegung der Himmelskörper bestätigt. Also befolgen auch die Himmelskörper den Satz, der aus dem Newtonschen Gesetz leicht abzuleiten ist: Ist in einem System von zwei Körpern die Masse des einen verschwindend klein im Vergleich zu der des anderen, so liegt der gemeinsame Schwerpunkt, um den sich beide Körper in Ellipsen bewegen, im Mittelpunkt des schweren. Wenn wir also die Sonne als der Erde an Masse überlegen voraussetzen, so dreht sich eben die Erde um die Sonne. Daß die Sonne viele Male schwerer als die Erde ist, darf man getrost aus dem Newtonschen Gesetz wahrscheinlich machen, da man die Wahl hat, entweder die Erde 333000mal leichter anzunehmen als die Sonne (das führt zu Kopernikus' System) oder die Sonne 330000mal leichter anzunehmen als die Erde. (Das führte zu Tycho's System.) Die letztere Annahme führte aber zu der Unwahrscheinlichkeit, die Dichte der Sonne (deren Entfernung 150 Millionen Kilometer und scheinbare Größe 31' aus direkten Messungen ohne Newtons Gesetz bekannt sind) zu

0,000000000001

anzunehmen. Woher sollte dieser leichte Gasball dann die Riesenwärmemengen hernehmen, die er uns seit Jahrtausenden zustrahlt. Immerhin ist's ein Wahrscheinlichkeitsbeweis.

Es gibt ja aber ein Bezugssystem, mit Hilfe dessen wir die Bewegung von Erde und Sonne feststellen können. Das ist, wie oben schon erwähnt, das Fixsternsystem. Deshalb sind auch die augenfälligen und nicht anzugreifenden Beweise der Erddrehung die spektroskopischen Messungen, daß im Verlaufe eines Jahres alle Radialbewegungen von Fixsternen (d. i. Bewegung auf uns zu oder von uns fort!) Veränderungen von +30 bis -30 km/sec. zeigen. Auf derselben Stufe steht der Beweis aus der Aberration der Fixsterne. Bradley entdeckte im 18. Jahrhundert, daß alle Fixsterne im Laufe eines Jahres an der Himmelskugel Ellipsen beschreiben, deren große Achse stets dieselben und gleich dem Verhältnis der Bahngeschwindigkeit der Erde (30 km/sec) zur Lichtgeschwindigkeit (300000 km/sec) ist. Er erklärte die Erscheinung richtig als analog der Erscheinung, daß man auf ein bewegtes Gefährt von einem ruhenden Punkt aus vor-

beischießen wird, wenn man genau „draufhält“. Man muß etwas „vorhalten“. Genau so müssen unsere Fernrohre im Laufe eines Jahres zunächst nach der einen Seiten, dann nach der anderen „vorgehalten“ werden, damit das Licht des Sterns ins Fernrohr trifft, d. h. der Stern scheint hin und her zu gehen.

Wir hätten uns bei diesen einfachen Dingen nicht solange aufgehalten, wenn nicht heute „falsche Propheten“ austräten, die verwirrt vielleicht durch Phantasien oder durch unklare Vorstellungen über das moderne Relativitätsprinzip gegen das kopernikanische System schrieben. Es ist unmöglich auszusprechen, was für einen Rückschritt dies bedeutet. „Die Zahl der Toren ist unermesslich“ schreibt Galilei 4. August 1597 an Kepler.

Das alte — sogenannte klassische — Relativitätsprinzip sagt also: die Erde bewegt sich — die Fixsterne als ruhend gedacht — um die Sonne. Das moderne Relativitätsprinzip aber beschäftigt sich mit einer aus Versuchen abstrahierten „Relation“, Beziehung zwischen Raum und Zeit, einer Abhängigkeit der Raumzeitgrößen von der Bewegung des Beobachters und hat gar nichts mit den Problemen der klassischen Mechanik, zu denen das gelöste Problem der Mechanik des Planetensystems gehört, zu tun.

Fassen wir zusammen: Das kopernikanische System ist nur induktiv bewiesen, weil es die fast unendliche Zahl der Beobachtungen allein erklärt. Aber es ist induktiv bewiesen! Und da alles menschliche Beweisen Induktion ist, so ist es eben so weit bewiesen, wie der Mensch überhaupt etwas beweisen kann.

## Die Gesetzmäßigkeit im Planetensystem.

Außer den aus dem Newtonschen Anziehungsgesetz folgenden Keplerschen Gesetzen herrscht in der Anordnung der Planeten um die Sonne eine Regelmäßigkeit, die ebenfalls schon Kepler aufgefallen war. Die Abstände in denen die Planeten folgen, sind nicht ohne Ordnung. Man vergleiche folgende Zahlen, die Kepler ja schon bekannt waren, da sie aus seinem dritten Gesetz folgen:

0,39	mittlerer Abstand	des Merkur	von der Sonne		
0,72	„	„	der Venus	„	„
1,00	„	„	der Erde	„	„
1,52	„	„	des Mars	„	„
5,20	„	„	Jupiter	„	„
9,54	„	„	Saturn	„	„

In der ersten rohen Annäherung kann man etwa vermuten, in den Zahlen Vielfache von 0,39 zu finden, daß heißt, die Planetenbahnen stehen in gleichen Abständen voneinander. Für die vier inneren Planeten ist dies angenähert richtig. Wir haben eine Schrift Keplers aus dem Jahre 1596 mit dem Namen „Das Geheimnis des Weltbaus“, in der er über diese Zahlenregelmäßigkeit nachgedacht hat. Er sagt: „Die Erdbahn liefert die Grundkugel für alle anderen. Beschreibe um sie das Dodekaeder. Die Kugel, die dieses von außen berührt, enthält die Bahn des Mars. Lege um diese Kugel das Tetraeder. Die Kugel, die diesen Körper außen berührt, gehört dem Jupiter. Lege um diese den Würfel; seine Ecken bestimmen die Kugel, in der die Saturnsbahn liegt. Lege dann in die Kugel, die die Erdbahn enthält, das Ikosaeder. Die Kugel, die dieses von innen berührt, gehört zur Bahn der Venus. Lege in ihre Sphäre das Oktaeder. Die es innen berührende Kugel enthält die Merkursbahn. Damit ergibt sich der Grund für die Anzahl der Planeten.“ Kepler bringt also die sechs Planeten mit den fünf regelmäßigen Körpern Platons zusammen und wäre arg in Verlegenheit gekommen, wenn er nun auch noch den Uranus und Neptun hätte unterbringen sollen. Die Übereinstimmung der berechneten Zahlen mit der Wirklichkeit ist zudem eine sehr schlechte. Eine Nachrechnung ergab mir:

	Nach Kepler	Wahrer Wert
Merkur . . . . .	0,459	0,39
Venus . . . . .	0,795	0,72
Erde . . . . .	1,00	1,00
Mars . . . . .	1,26!	1,52
Jupiter . . . . .	3,78!	5,20!
Saturn . . . . .	5,20!]	9,54

Es ist nicht recht einzusehen, wie sich Kepler mit dieser Genauigkeit begnügen konnte.

Erst im Jahre 1766 beschritt der Wittenberger Professor Titius diesen Weg wieder. Er fand die heute nach seinem Wiederauffinder Bode das „Bode-Titiusche“ Gesetz genannte Zahlbeziehung, daß man vom Merkur ausgehend die Abstände der anderen Planeten als Glieder der Reihe erhält

$$\begin{aligned}
 &0,4 + 0,3 \times 1 \\
 &0,4 + 0,3 \times 2 \\
 &0,4 + 0,3 \times 4 \\
 &0,4 + 0,3 \times 8
 \end{aligned}$$

So ergibt sich

*	Nach Titius	Wahrheit
Merkur . . . . .	0,4	0,39
Venus . . . . .	0,7	0,72
Erde . . . . .	1,0	1,00
Mars . . . . .	1,6	1,52
Jupiter . . . . .	5,2	5,20
Saturn . . . . .	10,0	9,54
[Uranus] . . . . .	19,6 $\frac{1}{2}$	19,19
[Neptun]. . . . .	38,8! $\frac{1}{2}$	30,07

Die Übereinstimmung ist eine 3.  $\tau$ . auffallende, wenn auch die später entdeckten äußersten Planeten, besonders der Neptun, starke Abweichungen zeigen. Das Gesetz hat historisch bei der rechnerischen Entdeckung des Neptun von Leverrier und Adams Berücksichtigung gefunden. Allerdings hat es dabei eher geschadet, als genützt. Die meisten Astronomen haben wohl in dem Gesetz nicht mehr gesehen als eine „Zahlenspielerlei“, doch muß man in dieser Beziehung vorsichtig sein. Schon manche Zahlenspielerlei hat in späteren Zeiten den tiefen Sinn gezeigt, der ja oft im „kindischen Spiel“ liegen soll. Was zunächst die Reihe selbst betrifft, so hat Gauß, der Fürst der Mathematiker, an ihr die mangelnde Konsequenz des Anfangsgliedes getadelt<sup>\*)</sup>. Denn dies müßte, richtig gebildet,  $0,4 + 0,3 \cdot \frac{1}{2}$  heißen, also = 0,55 sein, und erst der Grenzwert würde 0,4 ergeben. Ehe wir auf Schlußfolgerungen eingehen, die hieraus ein moderner Astronom gezogen hat, sei noch bemerkt, daß das Glied

$$0,4 + 0,3 \cdot 8 = 2,8$$

in unserer Tabelle oben ausgelassen ist. Dieses Glied überbrückt den Sprung von Mars zu Jupiter, in dem später dann die kleinen Planeten entdeckt wurden. Die Fortsetzung der Reihe nach unten liefert nun, wenn man sie mathematisch einwandfrei fortsetzt (sie ist eine geometrische Reihe!),

$$0,4 + 0,3 \cdot \frac{1}{2}$$

$$0,4 + 0,3 \cdot \frac{1}{4}$$

$$0,4 + 0,3 \cdot \frac{1}{8}$$

Die Werte dieser Reihe sind von der Venus aus

$$0,7; 0,55; 0,475; 0,488 \dots 0,400.$$

Erst das Schlußglied der Reihe ergibt die Merkursbahn. In den letzten Jahren hat der bekannte französische Mathematiker Poincaré, der

<sup>\*)</sup> In einem Brief an Sach.

verstorbene Bruder des Präsidenten der Republik, nachgewiesen, daß die Titiusche Reihe doch mehr sein könnte, als ein bloßes Zahlenspiel, daß sie nämlich den mathematischen Ausdruck dafür bildet, daß bei der Annahme einer Bildung des Planetensystems aus einem Sonnennebel durch Abtrennung der einzelnen Planeten in Ringen die Abtrennung nach immer gleichen Zwischenzeiten erfolgt sei. C. D. L. Charlier in Lund glaubt nun, die Gaußsche Fortsetzung der Reihe dürfte ebenfalls Planeten entsprochen haben, so daß also zwischen Venus und Merkur eine theoretisch unendlich große Zahl von Planeten abgetrennt wäre; diese Planeten, die schon wegen ihrer großen Zahl klein sein müßten, würden einen Ring um die Sonne gebildet haben, dessen Dichtigkeit nach der Merkursbahn zu allmählich mehr und mehr zugenommen hätte. Die Mehrzahl dieser Planeten hätten sich dann mit Merkur vereinigt. Es wäre aber denkbar, daß doch noch einige dieser Körperchen zu finden seien. Sie würden dann die Verstöße, die Merkur sich gegen das allmächtige Newtonsche Gravitationsgesetz gestattet, durch dies Gesetz zu erklären gestatten. Wo aber wären diese zu suchen? Die mathematische Behandlung des „Problems der drei Körper“ sagt uns in einem Spezialfall, — der allgemeine Fall ist noch nicht gelöst — daß solche kleinen Körper sich von der Vereinigung mit dem Hauptkörper, in diesem Fall also mit Merkur dadurch schützen können, daß sie möglichst genau in seiner Bahn ihm um  $60^\circ$  nach- oder vorlaufen, derart, daß die 3 Körper also ein gleichseitiges Dreieck bilden. Der Fall ist bei Jupiter vorhanden, bei Merkur also immerhin möglich. Charlier wird bei Gelegenheit der totalen Sonnenfinsternis 1914 August 21 in Schweden nach diesen kleinen Planeten suchen.

Wir wissen ja heute, daß die großen Planeten mehrere Monde um sich vereinigt haben, die sie nach denselben Keplerschen Gesetzen umkreisen, wie die Planeten die Sonne. Es lag nahe, wenn die Bode-Titiusche Reihe mehr als ein bloßes Zahlenspiel ist, wenn ihr eine Entstehungsursache bei der Bildung solcher Systeme zugrunde liegt, das Gesetz auch bei den Monden der großen Planeten zu vermuten. Böhlin hat schon 1897 nachgewiesen, daß die Abstände der Saturnsmonde durch das Bode-Titiusche Gesetz dargestellt werden können. Charlier hat den Versuch wiederholt und findet mit einer kleinen Abweichung von Böhlin:

$$d = 1,5 + 1,6 \times (1,5)^{n-1}.$$

Die nachstehende Tabelle zeigt die Übereinstimmung, die der schwedische Astronom dabei erreicht.

Dem Gesetz fügen sich, wie man sieht, die meisten Monde ohne Zwang, wenn auch die Übereinstimmung bei den äußeren Gliedern des Systems keine gute mehr ist. An den Stellen  $n=5, 8, 10$  und  $11$  entsprechen der Reihe keine Monde. Vielleicht kann man also an diesen Stellen noch auf zu entdeckende Begleiter rechnen. Das Interessante ist aber natürlich, daß sich der Ring der Berechnung fügt, bzw.

daß die auf ihm wohl aufgebaute Rechnung in den weiteren Gliedern stimmt!

	Nach Struves Aufstellung	n	Nach Charliers Formel
Innere Begrenzung des Ringes	1,5	$-\infty$	1,5
Äußere Grenze des Ringes . .	2,3	$-1$	(2,6)
I Mond Mimas . . . . .	3,1	0	3,1
II „ Enceladus . . . . .	3,9	1	3,9
III „ Tethys . . . . .	4,9	2	5,1
IV „ Dione . . . . .	6,2	3	6,9
V „ Rhea . . . . .	8,7	4	9,6
	—	5	13,6
VI „ Titon . . . . .	20,2	6	19,7
VII „ Hyperion . . . . .	24,5	7	28,8
	—	8	42,5
VIII „ Japetus . . . . .	58,9	9	63,0
IX „ Rhoëbe . . . . .	214	12	209

Eine äußere Grenze für den Ring ergibt sich nach der Formel natürlich überhaupt nicht. Wenn Charlier den Wert [2,6] dafür annimmt, so ist das willkürlich. Denn die Monde beginnen sich allmählich mehr und mehr zu drängen ohne plötzliche Zunahme der Dichte der Aufeinanderfolge. Es wäre zudem denkbar, daß die regelmäßige Figur, die die Theorie verlangt und bei der eine äußere Grenze im Laufe der Zeit einer mehr gleichmäßigen Verteilung von innen nach außen Platz gemacht hätte.

Daher dürfen wir heute mit einigem Recht in der Formel von Bode-Titius mehr sehen als eine Zahlenspielerlei: ihr scheint eine Bedeutung für die Jugend unseres Planetensystems zuzukommen.

In Ostwalds Annalen der Naturphilosophie veröffentlichte Goldschmidt in Heidelberg 1906 einen neueren Versuch, zahlenmäßige Beziehungen zwischen den Abständen der Planeten von der Sonne festzustellen. Er knüpft an die Reihe der harmonischen Obertöne an, deren Schwingungsverhältnisse er durch die Reihe  $0 \frac{1}{4} \frac{1}{3} \frac{1}{2} \frac{2}{3} 1 \frac{3}{2} 2 \frac{3}{4} \infty$  darstellt. (Die Willkür darin ist offenbar!) Immerhin spielen diese Zahlenverhältnisse in der Kristallographie und in der Spektralanalyse eine Rolle. Goldschmidt wendet nun auf die acht großen Planeten seine Reihe an und findet sie auch bei den vier großen Jupitermonden, bei den Monden des Saturn und Uranus bestätigt. Nur VII Hyperion fügt sich nicht. Auch muß Goldschmidt die Saturnsmonde in zwei Abteilungen trennen. Durch Poincarés Entwicklungen hat nun das Bode-Titiusche Exponentialgesetz einen Vorsprung erhalten. Da sie auch die Zusammenhang infolge Abkühlung nach einem Exponentialgesetz vor sich geht, wo die Zeit im Exponenten steht, so heißt eben die Titiusche Reihe:

die Planeten sind nach ungefähr gleichen Zeiträumen vom Sonnennebel abgetrennt.

Bringen wir die Massen der Planeten in eine der Größe nach geordnete Reihe: Jupiter, Saturn, Neptun, Uranus, Erde, Venus, Mars und Merkur, so entsprechen (Erde = 1) ihr die Zahlen:

Einzelmasse	3150	940	167	144	1,00	0,81	0,17	0,055
Summe der kleineren	1253	313	146	2,035	1,035	0,225	0,055	—

Man sieht aus diesen Zahlen, daß jeder Planet im allgemeinen die Summe der übrigen kleineren an Masse überragt, bis auf die Erde, die etwa gleich der Summe von Venus, Mars und Merkur ist.

Eine schon ziemlich komplizierte Gesetzmäßigkeit hat H. Nies in Gleiwitz gefunden. Er weist nach, daß ein verwickelter mathematischer

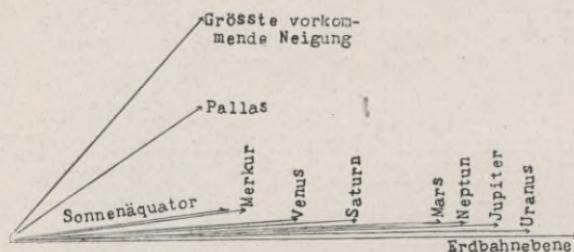


Abb. 3. Die Neigungen der großen Planeten und des Sonnenäquators. Zwei Ausnahmeneigungen von kleinen Planeten.

Ausdruck, in den so ziemlich alle Größen eingehen, die an einem rotierenden Planeten Bedeutung haben, für Erde, Mars, Jupiter und den Erdmond konstant ist, nämlich gleich 6,3343 bzw. 6,3362; 6,3365 und 6,3389 der Reihe nach. Die Übereinstimmung ist in der Tat auffällig. Nies berechnet aus seinem Gesetz die Rotationsdauer der Venus (die sehr strittig ist!) zu  $24^h 57^m 36^s, 25$ . Hier liegt der Prüfstein des Gesetzes, das bisher noch nichts anderes als ein empirisches ist und keine Deutung bisher erfahren hat.

Wir dürfen dies Kapitel von der Gesetzmäßigkeit im Planetensystem nicht beschließen, ohne die Ordnung zu erwähnen, die außer in dem Abstände der Bahnen auch in der Ebene der einzelnen Bahnen und der Richtung sich kennzeichnet, in der die Bahnen durchlaufen werden. Wir dürfen sagen, daß alle Planeten (z. T. sogar alle Monde) in Bahnen laufen, die nahe mit der Erdbahnebene zusammenfallen und sämtlich vom Nordpol der Erde aus gesehen im umgekehrten Sinne des Uhrzeigers durchlaufen werden. Dasselbe gilt für die Drehung des Zentralkörpers, der Sonne, um ihre Achse (Abb. 3).

*	Neigung der Bahnebenen
Sonne . . . . .	7 <sup>o</sup> 15'
Merkur . . . . .	7 <sup>o</sup> 0'
Venus . . . . .	3 <sup>o</sup> 24'
Erde . . . . .	0 <sup>o</sup> 0'
Mars . . . . .	1 <sup>o</sup> 51'
Jupiter . . . . .	1 <sup>o</sup> 19'
Saturn . . . . .	2 <sup>o</sup> 30'
Uranus . . . . .	0 <sup>o</sup> 46'
Neptun . . . . .	1 <sup>o</sup> 47'

Außer den Umläufen der Planeten um die Sonne wissen wir von der Erde, vom Mars, Jupiter und Saturn mit Sicherheit, daß sie eine Achsendrehung haben, welche nicht allzusehr von der Ebene der Ekliptik abweicht und in demselben Sinne — vom Nordpol der Erde aus gesehen im „Gegenzeigersinn“ — erfolgen.

Endlich stehen die Dichten der Himmelskörper, das ist das Verhältnis von Gewicht zum Rauminhalt in einem ganz auffälligen Verhältnis. Merkur, Venus, Erde und Mars haben ziemlich hohe Dichte, die äußeren Planeten geringe Dichte. Der Unterschied ist sehr beträchtlich, 5mal so schwer wie Wasser sind die inneren Planeten, während die äußeren Planeten 1,1 bis 1,3mal so schwer wie Wasser sind.

Eine letzte Gesetzmäßigkeit besteht in der Anzahl der Monde: Merkur und Venus haben keinen, die Erde einen, Mars zwei, Jupiter vier große und vier kleine, Saturn bis zehn, Uranus vier und Neptun nur einen. Die Gründe für alle diese Gesetzmäßigkeiten sucht der menschliche Verstand in der Entstehungsgeschichte des Planetensystems, d. h. wir bilden uns eine Kosmogonie derart, daß sie alle diese Beobachtungen erklärt; von diesen Kosmogonien wird also mit Recht der nächste Abschnitt handeln.

## Die Entstehung des Planetensystems.

### Kosmogonie.

Eine Menge von Gesetzmäßigkeiten beherrschen die Anordnung und den Bau des Systems, das wir heute kennen. Es widerstrebt uns, diese als Erzeugnis des Zufalls hinzustellen, unser Verstand verlangt nach dem zureichenden Grunde, dem die Gesetzmäßigkeiten ihr Bestehen verdanken.

Die meisten Forscher, denen sich dieser Zwang auftrat, gehen von dem gleichen Gedanken aus, daß die Sonne und die Planeten ursprünglich ein Ganzes gebildet haben, das einem Nebel nicht unähnlich gesehen hat, wie wir sie heute noch am Himmel erblicken.

Nach noch ziemlich mystischen Versuchen Descartes war wohl Kant der erste, der 1755 geordnete Gedanken über die Entstehung des Sonnensystems veröffentlichte, zunächst ohne sie mit seinem Namen zu decken. Er denkt sich den Raum des Sonnensystems von meteorartigen Körperchen erfüllt, die der allgemeinen Gravitation nach zur Mitte hin eine Anhäufung besitzen und dieser zustreben. Dabei kommt es zu Zusammenstößen, die das Ganze in Rotation versetzen. Wegen der Dichte der Anordnung ist die Rotation nur in einer Richtung möglich. Die Häufigkeit der Zusammenstöße führt zur Vereinigung zu allmählich größeren Massen, wobei die größte Masse im Mittelpunkt erzeugt wird, die kleineren die großen alle in demselben Sinne umkreisen.

Man hat dagegen eingewandt, daß zunächst ein Rotationsmoment niemals durch Zusammenprall zweier Teilchen des Ganzen entstehen kann, wenn es nicht schon vorher vorhanden ist. Doch könnte diese Vorstellung Kants derart gewesen sein, daß durch Zusammenprall (durch Störung würden wir heute sagen) ein kleinerer Körper etwa aus dem System entfernt werden würde. Dann würde für die übrigbleibenden in der Tat ein Rotationsmoment sich ergeben. Es ist bei der — für heutige Begriffe — langatmigen und verwaschenen Ausdrucksweise der damaligen Zeit, nicht zu entscheiden, ob Kant sich dies richtig vorgestellt hat. Zum andern wirft man der Kantschen Hypothese vor, sie erkläre gar nicht, was sie erklären wolle: den gleichen Rotationsinn in gleicher Ebene, da ja durch die Zusammenstöße eine ganz ungeordnete Rotation hervorgerufen werden muß. Das stimmt aber nicht, denn Kant spricht immer von der Materie im „Urzustande“, denkt also an eine ganz feine Verteilung, wie er ja auch das Beispiel der Nebel heranzieht (deren echte Gasnatur ihm zwar nicht, deren „nebelartige“ ihm aber bekannt war!). In einem solchen Gasnebel sind aber nicht gut ungeordnete Bewegungen möglich.

Gewißlich: Kants Anschauungen sind von Klarheit noch weit entfernt und darin hat Gockel ganz recht: es ist nicht angängig, Kant mit seinem Nachfolger Laplace in einem Topf zu werfen und von Kant-Laplacescher Hypothese zu sprechen. Laplace stand eine wesentlich weitergehende mathematische Methode und Schulung zu Gebote, und mit diesem schärfsten aller Geisteschwärter drang er weiter in den Urwald der Unkenntnis und Unklarheit vor.

Laplace nimmt zunächst mit Recht die Rotation des ganzen Sonnennebels als vorhanden an. Ihr Nichtvorhandensein ist ja auch eine Unwahrscheinlichkeit, die einen organischen Zusammenhang mit dem Fixsternsystem voraussetzen und daher erklärt werden müßte. Die Rotation bedarf also keiner Erklärung. Dieser Gasball zieht sich nun

zusammen. Bei dieser Zusammenziehung vergrößert sich die Rotationsgeschwindigkeit, es wächst die Zentrifugalkraft (Fliehkraft). Schließlich tritt der Fall ein, daß Zentrifugalkraft und Gravitation gleich werden für den äußeren Teil des Nebels. Dann nehmen diese — und das ist der Gedanke Laplaces — nicht mehr an der Kontraktion teil, sie bleiben als Ring stehen, rotieren für sich und vereinigen sich schließlich, wenn Massenanhäufungen auf ihnen vorhanden sind, zu einem einzigen Körper, dem Planeten. Den Gedanken der Ringbildung hat Laplace am Ring des Saturn gefaßt. Er stellt sich den Ring fest vor, das Äußere schneller rotierend als das Innere, so daß bei der Vereinigung die Rotation im richtigen Sinne herauskommt.

Das ist offenbar der wunde Punkt der Theorie. Denn wir können uns nicht gut massive Ringe vorstellen, die um die Sonne rotieren. Bestehen sie aber aus einzelnen Partikelchen, so rotieren nach dem dritten Gesetz Keplers die äußeren langsamer, es könnte also bei Vereinigung nicht der Drehungssinn sich ergeben, der vorhanden ist. Einen weiteren Einwand bot — mit Unrecht — der innere Marsmond, der schneller rotiert als sein Planet. Wahrscheinlich ist dieser Mond aber kein systematisches Glied des Systemes, sondern ein eingefangener Herumstreicher. Auch hat G. H. Darwin den Einwand entkräftet, da die Rotationen des Marsystemes sich verändert haben könnten, durch die Wirkung der von der Sonne auf dem Mars hervorgerufenen Flutwelle, so daß sehr wohl im Laplaceschen System der Planet langsamer rotieren kann als der Mond. Einen Einwand, mit dem meines Erachtens die ganze Hypothese Laplaces fallen könnte, hat Newcomb gemacht: Wenn die Abtrennung beim Gleichwerden von Fliehkraft und Gravitation eintritt, so muß sie kontinuierlich wirken, es müssen sich nicht Ringe bilden, sondern, sagt Newcomb, die ganze Materie müßte in Gestalt einer flachen Scheibe verteilt werden. Er hätte unserer Ansicht noch besser gesagt: es träte überhaupt nichts ein, als im ganzen System ein vollständiger Gleichgewichtszustand zwischen Fliehkraft und Gravitation! Es müßte ein System entstehen, bei dem die Verteilung sämtlicher Moleküle kontinuierlich derart ist, daß jedes Molekül für sich frei seinen Weg beschreibt, auf dem stets Fliehkraft und Gravitation gleich sind. Der ganze Laplacesche Endzustand ist nämlich, darauf möchte ich hier in aller Schärfe — soviel ich weiß zum erstenmal — hinweisen, der Anfangszustand des Systems. Denn es ist nicht gut anders möglich, als daß ein Molekül so läuft, daß die beiden Kräfte einander gleich sind. Denn wäre dies nicht der Fall, so würde es der überwiegenden Kraft folgen, bis es die Stelle der Gleichheit gefunden hat oder die Extremlagen Null oder Unendlich suchen, d. h. in die Sonne stürzen oder das System verlassen. Wenn also Planeten sich auf diese Weise bilden sollen, so müssen sie in den Zeiten des Suchens, der Unordnung entstehen; dann aber lassen sich keine Regelmäßigkeiten erklären. Eine neue Kraft führt Birkeland in die Erklärungsversuche der Entstehung des Planetensystemes ein,

indem er annimmt, daß die Sonne negativ geladene Teilchen von sich abstoße. Diese Teilchen laufen dann als kosmischer Staub im Raume, bis sie sich zunächst zu Ringen, später zu Planeten bzw. Monden der Planeten anordnen. Birkeland geht von dem Versuch aus, daß innerhalb hoher Vakua, z. B. in Röntgenröhren, das den negativen Pol bildende Platin zerstäubt und gegen die Glaswand geschleudert wird, wo es sich sehr bald als feiner Spiegel festsetzt. So schleudert auch die Sonne nach Birkeland fortwährend — doch auch heute noch — Materie in den Raum, von der ein Teil infolge seiner Geschwindigkeit die Sonne verläßt, während ein zweiter in sie zurückstürzt; nur Teilchen mit ganz bestimmter Geschwindigkeit halten sich im Weltenraum und bilden später die Planeten.

Da diese neue Kosmogonie erst neuerdings (1913) aufgestellt ist, so hat die Wissenschaft zu ihr noch keine Stellung genommen. Ihre schwachen Seiten sind ja aber offenbar. Vor allem möchte der Verfasser auf die Unmöglichkeit der Dreiteilung hinweisen, die Birkeland nach der Geschwindigkeit bei den abgestoßenen Teilchen annimmt. Denn die beiden, das Teilchen bewegenden Kräfte heißen Gravitation und elektrische Abstoßung. Beide folgen aber bekanntlich demselben Gesetz der Abnahme mit dem Quadrat der Entfernung. Wenn also an der Sonnenoberfläche die elektrische Abstoßung die Gravitation des Teilchens überwiegt, so wird sie dies in jeder Entfernung, die das Teilchen erreicht, ebenfalls tun, d. h. auf das Teilchen wirkt andauernd eine Kraft nach außen: es verläßt die Sonne auf Nimmerwiedersehen. Diese Überlegung gilt für jede Richtung des Abschleuderns; der Weg des Teilchens könnte nur aufgehalten werden, wenn es seine Ladung im Raum verliert, oder wenn seine spezifische Ladung, das Verhältnis  $e:m$  geringer würde. Wodurch diese Verringerung oder Abgabe der Ladung hervorgerufen werden soll, ist nicht ersichtlich, wenn nicht schon Materie — ungeladen — im Raume vorhanden ist.

Warum Birkeland die Zerstäubung der Platinkathode zur Kosmogonie heranzieht, statt an einen viel naheliegenderen Versuch anzuknüpfen, ist dem Verfasser entgangen: Wir möchten daran erinnern, daß ein ähnliches Zerstäuben von Materie noch auf andere Weise bekannt ist: nämlich bei den Fäden der Glühlampen, mögen sie nun aus Kohlefäden oder Metallen bestehen. Dieses Zerstäuben hat sicherlich nichts mit elektrischen Abstoßungen zu tun, wenn es auch manchmal dafür erklärt wird. Denn sonst könnte es nicht so stark von der Temperatur abhängen, wie es der Fall ist. Wir haben es hier wahrscheinlich mit einer Loslösung von Molekülen infolge ihrer Wärmebewegungen zu tun, da wir uns ja die Molekeln eines warmen Körpers in Bewegung gegeneinander vorstellen. Diese Zerstäubung wäre dann eine dem Verdunsten von Flüssigkeiten ähnliche Erscheinung. Die so abgerissenen Teilchen könnte man aber viel eher zur Erklärung der Ausschleuderung von Materie aus der Sonne in den Weltenraum benutzen! Denn hier wirkt auf das Teilchen keine eigent-

liche abstoßende Kraft, es folgt nur seiner kinetischen Energie, die es durch die Wärmebewegung — bei der ja die einzelnen Molekeln auch einmal wesentlich größere Geschwindigkeiten erreichen, als dem Mittelwert entspricht — erhalten hat. Dieser Bewegungsenergie aber setzt sich die Gravitation entgegen, so daß dann in der Tat Bahnen der Teilchen herauskommen, die Kegelschnitte um die Sonne sind. Da ein Verlassen der Sonne bei den geringen Geschwindigkeiten nicht sehr wahrscheinlich ist, so geschähe auch der Gesamtmasse dabei kein Abbruch. Wäre der Verfasser ein Freund von Kosmogonien, so könnte er dies leicht zu einer solchen ausbauen. Doch kommen ihm alle solche Versuche vorläufig wie das Greifen des Säuglings nach dem Monde vor.

Wie wir gesehen haben, sind die beiden ursprünglich herrschenden Kosmogonien von Kant und Laplace heute fast ganz aus unserem Vorstellungskreis verschwunden und durch kaum mehr zu stützen, als durch „den Glanz der Namen ihrer Urheber“ (Emden). Dagegen hat sich mehr und mehr fast aller Gelehrten die Überzeugung bemächtigt, daß die „kosmische Staubwolke“, wie sie G. H. Darwin, Lord Kelvin, Saye, v. Seeliger, Arrhenius, Emden u. a. betrachtet haben, eine jedenfalls sehr wichtige Stufe der Weltentwicklung ist, die zu betrachten auch dann interessant bleibt, wenn man nicht die ganze Leiter erklimmen kann. (Manche Gedankengänge Laplaces finden hier natürlich wieder eine berechtigte Stelle!)

Emden faßt in seinem Werk „Gaskugeln“ diese Gedanken kurz zusammen: „Ungleiche Massenverteilung zwang die Komponenten der Staubmasse an Stellen zufälliger größter Dichte sich immer mehr anzusammeln, in immer zahlreicheren Zusammenstößen sich immer mehr zu erhitzen und schließlich zu den großen Kugeln zusammenzuschweißen, die als Sonne, Planeten und Monde gemäß dem Newtonschen Gravitationsgesetz ihre Bahnen zurücklegen und größtenteils in gleichem Sinne laufen und rotieren, aufgezwungen durch Rotation der ursprünglichen Masse. Die dem System schon ursprünglich angehörigen Meteoritenschwärme und die Kometen, das Zodiakallicht und der Saturnring zeugen noch von jenen fernen Zeiten.“

Emden findet zunächst, daß die einzelnen „Steine“ einer Staubwolke (die Atome, Steine oder auch Sterne sein können, wenn nur die Abstände groß im Verhältnis zum Durchmesser sind) nicht ruhen können, da sie sonst in 63,4 Jahren (im Falle unseres Planetensystems) im Zentrum zusammengefallen wären.

Bei der Bewegung der Steine findet G. H. Darwin, daß sehr wohl einige Gramm zweier mäßiger Steine beim Zusammenprall hell aufleuchtende Gase liefern können, die in ihrer Gesamtheit die ganze Staubwolke uns als „Gasnebel“ sichtbar machen könnte. Ferner findet man, daß zwei solche Steine sich gegenseitig in ihrer Bewegung nur dann merklich beeinflussen, stören, wenn sie sich berühren, da ihre Anziehungskräfte zu klein sind. Darwin hat dann festgestellt, daß kugelförmige Staubmassen in gewissen Fällen durch-

aus stabil sind, daß aber eine äußere Grenze der Kugel angebbar ist, außerhalb deren, wegen der geringen Zahl der Zusammenstöße, sich die einzelnen Steine nach dem Gravitationsgesetz bewegen. Die Dichte nimmt dabei so plötzlich ab, daß man praktisch von einer Oberfläche der Staubkugel sprechen kann.

Der wichtigste Gedankengang ist nun der, daß eben die Spiralnebel in Wirklichkeit Staubmassen sein können, entstanden durch den Zusammenprall (bzw. durch große Annäherung) zweier Massen mit eigener Rotation. Die einzelnen Zweige des Spiralnebels sind dann die Stellvertreter der Laplaceschen Ringe, aus denen durch Vereinigung die Planeten werden. Für unser Sonnensystem speziell wäre z. B. denkbar, daß der störende Körper selbst von der Sonne festgehalten mit ihr zu einem System vereinigt wurde, derart, daß einer der beiden Körper die inneren, der andere die äußeren Teile der Spirale geliefert hat.

Gegenüber den Anschauungen Laplaces bedeuten G. H. Darwins nicht in allem etwas Neues, aber doch etwas Sicheres. Darwin hat auch die Einwirkung zweier zusammenstoßender Körper aufeinander (denen also ein Spiralnebel und damit ein Planetensystem sein Entstehen verdankt), die Ebbe und Flut in größtem Maßstab, genauer untersucht und kommt dabei für das System Erde-Mond z. B. zu interessanten Resultaten, auf die wir an Ort und Stelle eingehen werden. Zusammengefaßt sind dann alle weltgeschichtlichen Theorien von Zehnder zu seiner „Meteoritentheorie“. Kant spricht z. B. dem Weltenbau wegen der „Vortrefflichkeit seiner Errichtung Million Jahrhunderte“ Dauer zu. Doch genügt diese Dauer dem heutigen Denken nicht mehr. Heute sucht der Naturphilosoph die Denknöwendigkeit der „unendlichen Dauer“, dieses Postulat des menschlichen Verstandes, auch als befriedigt durch die Welt zu erweisen, mit anderen Worten: er sucht nach Weltentheorien, die der Welt ein unendliches Dasein gewährleisten. Das ist der innere Zwang, den Zehnder dadurch befriedigt, daß er die Materie, die jetzt auf Verdichtung hinarbeitet, eine Stufe bei der Verdichtung erreichen läßt, wo die auseinandertreibenden Kräfte die zusammenziehenden überwinden oder ersetzen, wo sich der Sinn des Weltgeschehens umkehrt, den anderen Halbkreis durchläuft, um wieder den ersten durchlaufen zu können.

Soweit wir heute wissen, ist unser Sonnensystem ein Organismus, der ein Ende hat, wenn alle Bewegungen in ihm in eine Richtung und alle Massen in eine Masse gebracht und vereinigt sind. Dann haben wir eine Zentralmasse, gleich der Temperatur des Weltenraumes, die nur noch Rotation und Fortschritt im Raume hat. Es ist der Wärmetod des Sonnensystems eingetreten. Viele moderne Denker trösten sich mit dem „Radium“, von dem wir noch zu wenig wissen. Ob uns das Radium einen Ausweg aus dieser Sackgasse des menschlichen Denkens finden lassen wird, ist heute noch nicht zu sagen. Wer an die Lösung dieser Fragen herangeht, ist dem Kinde zu vergleichen, das nach der

Erklärung — sagen wir — von Bliß und Donner fragt und sich mit irgendeiner Notlüge der Mutter trösten läßt. Auf dem Wege, den die menschliche Erkenntnis geht, sind solche Notlügen nicht zu vermeiden gewesen. Die irrende Taube sucht über der unendlichen Flut des Seienden nach dem Ölbaum, auf dem sie ruhen kann. Trotz alledem bleiben alle solche „Spekulationen“ doch „Notlügen“. Denn wie wollten wir den Weg unseres Systems durch Raum und Zeit klar erkennen und ausdrücken, wir, die wir erst am Beginn unserer Erkenntnis dessen stehen, was Raum und Zeit selbst sind! Denn was Kants kritischer Geist ausspricht, was heute durch Versuche geahnt vor unser geistiges Auge tritt, ist doch erst der rohe Umriß eines Bildes vom wahren Erkennen dessen, was Raum und Zeit sind! Auch hier werden wir einst vor gelösten Rätseln stehen und mit Lächeln der Irrtümer gedenken, die den Weg zur Wahrheit pflastern.

Ich möchte an dieser Stelle besonders scharf auf das hinweisen, was denn unser Erkennen überhaupt bedeutet, und daß der Weg zur Erkenntnis im Allbekannten daselbe wie im Neuen, Allerneuesten ist: ein „Zwängenwollen der Natur in Formen“, wie ein Mann gesagt hat, auf den uns das Schicksal des Planetensystems mit Notwendigkeit führen muß. Jedes Erkennen ist ein Gewaltakt des Subjekts gegenüber dem Objekt und das, was wir erkennen, ist ebensowenig das reine Objekt mehr, wie der in Fesseln gelegte Verbrecher noch ein „Verbrecher“ ist. Wir sezieren nur Leichen. Das Leben entschlüpft uns: will sagen, daß es keinen Sinn hat, nach dem Ende der Welt, nach der Zukunft der Welt zu fragen, deren Gegenwart wir im letzten philosophischen Grunde nicht erfaßt haben. — Die Lösung des Rätsels vom Raum und der Zeit muß erst da sein, ehe wir weiterfragen können.

Aber die Notlüge! Henri Poincaré sagt: „Wir können nicht warten, bis wir die nötige Grundlage für eine Erklärung des Weltalls besitzen, weil unser Verstand eine Lösung dieser Fragen fordert.“ In seinen im Vorjahre erschienenen „Vorlesungen über kosmogonische Hypothesen“ holt hier der geniale französische Mathematiker zusammen, was die Geister über das Werden eines Planetensystems gedacht haben und baut selbst rüstig an dem großen Gebäude weiter. Er steht bis auf Einzelheiten auf dem System seines geistvollen Landsmannes Laplace und zeigt, wie unnötig es ist, an den Gedanken dieses Mannes zu rütteln, wie mit kleinen Abänderungen dies System sehr wohl wieder zu einem festen Hause werden kann, in dem auch die moderne Wissenschaft noch wohnen mag, da die „zahlreichen Sprünge des Gebäudes immer wieder aufs sauberste ausgebessert worden sind“.

Ob die Wissenschaft Poincarés Ausführungen folgen wird, bleibt abzuwarten; uns scheinen die Gegengründe gegen Laplaces Ansichten so triftig, daß dies kaum zu erwarten ist.

Werfen wir zum Schluß noch einen Blick auf die Zukunft unseres Systems. Katastrophen, gegenseitige Zerstörungen der Planeten sind für Millionen Jahre ausgeschlossen, da die Störungen der einzelnen

Planeten sich gegenseitig fast völlig aufheben. Aber jeder einzelne Planet erfährt auf seinem Lauf um die Sonne Hemmungen durch die Meteore, die auf ihn herabfallen oder auch durch die Reibung im doch sicher nicht absolut leeren Weltenraum. Beide hemmen seinen Lauf und sorgen dafür, daß seine Entfernung vom Zentralkörper immer kleiner wird, bis schließlich die Vereinigung doch eintritt. Planetensysteme sind also nur eine Entwicklungsstufe der allgemeinen Massenvereinigung eines Nebels zu einer einzigen Masse. Einen Ausweg aus dieser Sackgasse bietet der oben von mir angedeutete Gedanke, daß von heißen Körpern jederzeit oberflächlich Atome abgeschleudert werden müssen, so daß eine der Zusammenziehung entgegenwirkende Tatsache in diesem Atombombardement auftritt, das immer wieder Planetenmassen außerhalb entstehen läßt, bzw. schon vorhandene kleine Massen verstärkt. Dieses Ausschleudern, das eine Folge der Erhitzung des Zentralkörpers ist, wäre auch die erste bisher entdeckte Möglichkeit, aus der Wärmeenergie eines Körpers wieder Bewegungsenergie zu gewinnen. Ihre letzten Folgerungen würden zu ganz neuen Anschauungen über den Entwicklungsgang unseres Systems führen: denn diese Ausschleuderung bedeutet Energie- und Massenverlust für den Zentralkörper; die abgestoßenen Massen aber würden wahrscheinlich von dem bisher größten Planeten eingefangen werden — der vielleicht dereinst die Rolle der Sonne zu übernehmen hätte, wenn der gewaltige Energieverlust durch Strahlung nicht wäre, von dem wir heute noch nicht Ziel und Ende wissen.

### Merkur.

Als sonnennächster Planet wandelt Merkur seine stark exzentrische Bahn. Mit bloßem Auge ist der Planet selten zu erkennen, da er nur  $29^\circ$  im Höchstfalle von der Sonne sich entfernen kann. Dieser äußerste Wert, wo der Planet also etwa zwei Stunden vor Sonnenuntergang oder nach Sonnenuntergang untergeht, tritt zudem nur ein, wenn der Planet sich in dem sonnenfernen Teile seiner Bahn befindet, im sonnennahen Teile seiner Bahn kann er sich nur  $20^\circ$  von ihr entfernen. Nach 116 Tagen erreicht der Planet wieder dieselben Stellungen von der wandelnden Erde aus gesehen. (116 Tage ist seine „synodische“ Umlaufszeit.) Das entspricht einer wahren „siderischen“ Umlaufszeit von 88 Tagen. Die wahren Bahnverhältnisse zeigt Abb. 4.

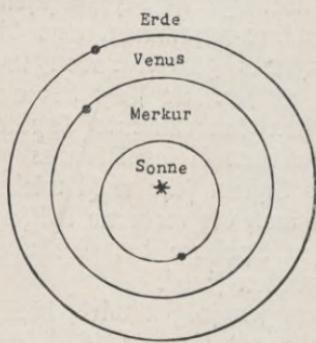


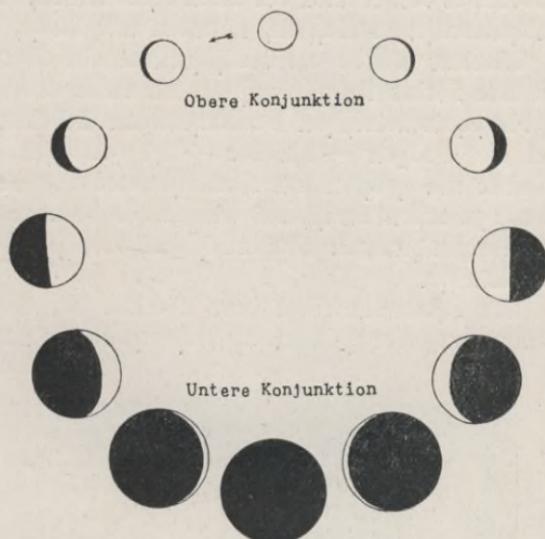
Abb. 4.

Bahnlage von Merkur, Venus und Erde. Stand der Planeten am 1. Januar 1915.

Merkur erscheint uns am größten zur Zeit seiner „oberen Konjunktionen“,

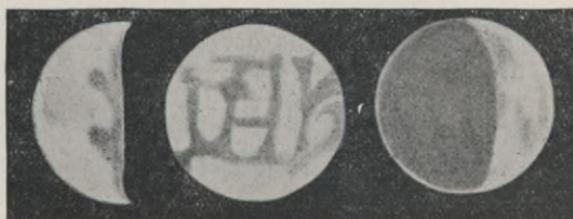
nämlich 13" groß, d. i. der 140. Teil des Monddurchmessers; in dieser Stellung kehrt er uns seine unbeleuchtete Seite zu, da er zwischen Sonne und Erde steht. Würde seine Bahnebene mit der Erdbahnebene zusammenfallen, so würde er in dieser Stellung stets vor der Sonnenscheibe von Ost nach West vorüberziehen. Wegen der Neigung seiner

Abb. 5.  
Merkurs scheinbare Größe und zugehörige Phase. 1 mm = 1". In 1 Meter Entfernung erscheinen die Abbildungen wie in einem Fernrohr von 200 facher Vergrößerung.



Bahn kann dies nur eintreten, wenn die untere Konjunktion mit einem Durchgang durch den Schnitt beider Ebenen, die „Knoten“, wie der Astronom sagt, zusammenfällt. In den Knoten steht Merkur Anfang Mai und November. Diese Ereignisse treten bei Merkur ziemlich häufig ein, so z. B. am 14. November 1907 und am 7. November 1914. Sie befolgen eine Periode von 46 Jahren, in denen sieben Vorübergänge

Abb. 5a.  
Merkurzeichnungen.



eintreten. In anderen Stellungen seiner Bahn zeigt Merkur Sichelgestalt, „Phase“, wie der Mond der Erde immer die beleuchtete Seite der Sonne zukehrend. Vergl. Abb. 5.

Wer ihn mit bloßem Auge sehen will, wird ihn um die Zeit der „Elongationen“, der größten scheinbaren Abstände von der Sonne suchen. Er ist dem Verfasser mehrere Male in dieser Zeit als heller Stern auf-

gefallen, dessen feurgelber Glanz selbst durch die Dünste leuchtet, die in unseren Breiten den Horizont überlagern. Daß Kopernikus es auf seinem Totenbette bedauert haben soll, ihn nie gesehen zu haben, ist sicherlich eine Fabel. Heute ist Merkur recht häufig in der Weichselniederung, wo Kopernikus beobachtete, leicht zu erkennen. Allerdings verdient er den Namen der alten Astronomen, die ihn ein sidus dolosum, ein hinterlistiges Gestirn, nannten mit Recht, auch heute noch.

Merkur würde am Nachthimmel ein Stern erster Größe sein, so hell wie Sirius im günstigsten, wie Aldebaran im ungünstigsten Falle, da die photometrischen Beobachtungen Geheimrat Müllers in Potsdam ihm die Größen  $-1,2$  bis  $+1,1$  zuweisen. Nach Müller erscheint Merkur am hellsten am Abendhimmel vor der Elongation, wenn er gerade zu erkennen ist, und nimmt von da ab regelmäßig ab, umgekehrt am Morgenhimmel. Natürlich gilt dies für bestimmte atmosphärische Verhältnisse.

Der Astronom rückt dem Merkur bei Tage zu Leibe, da in der Dämmerung der Planet dem Horizont zu nahe steht und kaum Be-



Abb. 5b.  
Karte Merkurs.

obachtungen oder Messungen gestattet. Bei hellem Tage erscheint Merkur im Fernrohr völlig farblos, ein blasses Scheibchen, auf dem selten Einzelheiten zu erkennen sind. Schröter und Harding haben auf eine Abweichung der Hörner der Sichel aufmerksam gemacht, die nach  $24^h$  wiederkehrt und aus der sie auf eine Rotation, Achsendrehung des Planeten von wenig mehr als  $24^h$  schlossen. Doch ist diese Beobachtung in späteren besseren Instrumenten nicht wiedergesehen worden. Flecken sind dann in neueren Zeiten häufiger gesehen worden, und sie scheinen der Oberfläche des Planeten selbst anzugehören. So hat Vogel in dem Beginn seiner Laufbahn auf der Bothkamper Sternwarte bei Kiel solche Flecken gezeichnet, Schiaparelli hat 1882—1889 in Mailand aus solchen Beobachtungen geschlossen, daß Merkur eine Rotation hat, die mit seiner Revolution, Umdrehung um die Sonne, zusammenfällt, so daß er der Sonne stets dieselbe Seite zukehrt, wie der Erdmond der Erde. Auf seiner Seite stehen die Beobachtungen Percival Lowells. Gegner dieser Ansicht ist Leo Brenner, der aus seinen Beobachtungen eine Rotation von  $33\frac{3}{4}$  Stunden berechnet hat. Brenner zeichnet auch „Polflecke“, ähnlich wie bei Mars, die sonst nicht be-

stätigt sind. Wir werden wohl noch geraume Zeit auf die Entscheidung dieser Frage warten müssen, da Merkurbeobachtungen zu den undankbarsten Theilen der Astronomie gehören: Denn in der größten Phase, wie in der kleinsten steht er der Sonne zu nahe. Die Beobachtungen liegen daher alle zwischen 50° und 120° Phasenwinkel, wenn man von den bei totalen Sonnenfinsternissen gewonnenen Beobachtungen absieht.

Die Helligkeit Merkurs stellt sich folgendermaßen von der Phase abhängig dar:

Phasenwinkel	Helligkeit	Helligkeit des Erdmondes
50°	— 0,90	— 0,90
60°	— 0,61	— 0,63
70°	— 0,29	— 0,32
80°	+ 0,04	+ 0,43
90°	+ 0,40	+ 0,87
100°	+ 0,77	+ 1,36
110°	+ 1,17	+ 1,13
120°	+ 1,59	+ 1,10

Berechnet man nach irgendwelchen Strahlungsgesetzen (Lambert) die theoretisch sich ergebende Helligkeit, so findet sich eine sehr schlechte Übereinstimmung mit diesen gemessenen Werten, d. h. die Oberflächenverhältnisse auf Merkur entsprechen den Annahmen der Strahlungstheorien nicht. Eine ganz gute Übereinstimmung dagegen zeigen die beobachteten Helligkeiten des Erdmondes, so daß man für Merkur ähnliche Oberflächenverhältnisse wie für diesen annehmen kann. Besonders gestützt wird diese Annahme durch die Messung, daß sowohl der Erdmond wie Merkur nahe dieselbe Reflexionsfähigkeit, „Albedo“, haben, nämlich 0,13 beim Monde bzw. 0,14 beim Merkur. Da eine Atmosphäre sofort eine wesentlich größere Albedo hervorrufen würde, folgt, daß der Merkur höchstens eine sehr dünne Atmosphäre besitzen kann.

Arrhenius hat einen Gedanken zuerst ausgesprochen, wonach man bei Planeten mit Rotation eine Atmosphäre erwarten darf, während solche Planeten, bei denen die Rotation und Revolution zusammenfallen — wie es Schiaparelli für Merkur will —, eine Atmosphäre eine Unmöglichkeit ist. Denn wäre sie vorhanden, so müßte sie sich längst auf der von der Sonne abgewandten Seite kondensiert haben, da diese eine sehr tiefe Temperatur annehmen müßte. Dieser Schluß gibt also die Möglichkeit, die Frage nach der Rotation mit der der Atmosphäre zu verbinden.

Die Atmosphäre verrät sich bei Vorübergängen vor der Sonne nicht, doch scheinen spektroskopische Beobachtungen, die allerdings bisher wohl nur Vogel 1873 in Bothkamp gemacht hat, Wasserdampf

anzudeuten. Man darf wohl dieses Ergebnis ruhig als sehr zweifelhaft hinstellen. Denn im Merkurspektrum, das nur am Abend nahe dem Horizont zu beobachten ist, spielt die Erdatmosphäre schon eine so bedeutende Rolle, daß keine zwingenden Schlüsse mehr zu ziehen sind. Damit nähern wir uns der Annahme eines atmosphärelosen und der Sonne dieselbe Seite zukehrenden Körpers.

Um von den physikalischen Zuständen auf Merkur einen Begriff zu bekommen, muß man bedenken, daß Merkur seiner Albedo nach ein sehr dunkler Körper ist, etwa so dunkel wie heller Ton; auf diesen dunklen Körper brennt die Sonne  $6\frac{2}{3}$  mal so stark herab wie auf die Erde, gemildert durch eine sehr dünne Atmosphäre. Die Temperatur der Erdoberfläche wäre ohne Sonnenstrahlung zu  $-73^\circ$  anzunehmen, d. h. die Erwärmung durch die Sonne bedingt einen Effekt von  $88^\circ$  Temperaturerhöhung. Der Strahlungseffekt ist also bei Merkur  $88^\circ$  mal  $6\frac{2}{3}$ , das sind  $590^\circ$ . Selbst wenn also der Merkur ohne Sonnenstrahlung die Temperatur des Weltraumes  $-273^\circ$  hätte, so muß die der Sonne zugewandte Seite eine Temperatur von über  $300^\circ$  haben. Wasser kann dort also nur in Dampfform vorkommen. Leben, wie auf der Erde, ist mithin ausgeschlossen.

Messungen der scheinbaren Durchmesser Merkurs haben zu dem Resultat geführt, daß sein Durchmesser in der Entfernung „Eins“ (mittlere Entfernung der Erde von der Sonne) gleich 6", 68 ist (nach Leverrier). Dem entspricht ein wahrer Durchmesser von 4800 km. Merkur ist damit von den acht großen Planeten der kleinste, etwas größer als der Mond der Erde. Eine Abplattung hat sich bisher an dem Planeten nicht messen lassen.

Die Bestimmung der Masse Merkurs, d. h. seines Gewichtes, bezogen z. B. auf die Sonne als Einheit, ist eine der schwierigeren Aufgaben der Astronomie gewesen. Während es nämlich elementarer Rechnung möglich ist, die Masse der Planeten zu finden, die von Monden umkreist werden, mußte man bei Merkur seine Anziehungskraft an einem Kometen messen, der ihm nahe kommt und von ihm aus seiner normalen Bahn abgelenkt, „gestört“, wird. Darnach ergibt sich, daß die Sonne 6000000 mal schwerer ist wie der Merkur. Da die Sonne 330000 mal schwerer ist wie die Erde, folgt aus den Größenverhältnissen von Erde und Merkur, daß der Merkur spezifisch etwas leichter wie die Erde ist; seine Dichte ist 0,8 der Dichte der Erde, seine Masse ist also 4,9 mal so schwer wie Wasser. Nach anderen älteren Bestimmungen ist seine Masse etwas größer, so daß seine Dichte sogar etwas größer als die der Erde wird. So erklären sich die abweichenden Angaben (4,9 bis 5,8), die man hierüber manchmal findet.

### Venus.

Jedermann ist der hellglänzende Abend- oder Morgenstern bekannt, der „holde“, wie ihn Wolfram von Eschenbach in Wagners Tannhäuser besingt. Er ist das zweitjüngste der Geschwister in der Sterne Chor

und von den beiden inneren Planeten der Erde am nächsten. Venus kann sich fast  $48^\circ$  scheinbar von der Sonne entfernen, ist also bis über  $3^h$  nach Sonnenuntergang bzw. vor Sonnenaufgang am Himmel. Sie ist von allen Sternen der weitaus hellste, da sie über drei Größenklassen heller als Sirius werden kann. Sie ist auch der einzige Stern, der dem bloßen Auge am hellen Tage zu Zeiten sichtbar ist, wenn man nur das Auge vor dem blendenden Licht der Sonne schützt. Bei Sonnenfinsternissen taucht sie zuerst an dem bleifarben werdenden Himmel auf. Nach einem Jahr und 219 Tagen wiederholen sich ihre Stellungen zur Sonne im Mittel, was einer Umlaufszeit von 225 Tagen um die Sonne entspricht. Die Bahn weicht im Gegensatz zu Merkur sehr wenig von der Kreisform ab. Ihre scheinbare Größe schwankt noch mehr wie die des Merkur, nämlich zwischen  $9''$ ,  $8$  und  $63''$ ,  $3$  (für das Jahr 1914 z. B. an den Tagen Februar 15 und November 28). Erscheint sie uns am größten, so kehrt sie uns ihre Nachtseite zu, es muß also kurz vor diesem Zeitpunkt die größte Fläche beleuchtet sein, d. h. die Venus „im größten Glanz“ sein. Dies ist etwa 38 bis 40 Tage vor und nach ihrer unteren Konjunktion mit der Sonne der Fall. Die Abbildungen 4 und 6 zeigen diese Bahnverhältnisse.

Im Mittel ergibt sich aus den genauesten Messungen, daß Venus in der Entfernung Eins den Durchmesser  $16''$ ,  $80$  zeigt. Dem entspricht ein wahrer Durchmesser von  $12100$  km. Sie ist also nahezu so

groß wie die Erde mit  $12700$  km Durchmesser. Aus den Störungen, die sie auf Merkur und die Erde ausübt, hat Newcomb ihre Masse zum  $408000$ sten Teil der Sonnenmasse gefunden. Daraus folgt, daß sie  $0,94$  mal so dicht ist wie die Erde, d. h.  $5,2$  mal so schwer wie Wasser. Die Bahn der Venus führt sie, falls Anfang Juni oder Anfang Dezember der Planet in unterer Konjunktion steht, über die Sonnenscheibe. Diese „Venusdurchgänge“ sind viel interessanter als die Merkursvorübergänge, ereignen sich aber viel seltener. Die letzten fanden statt am 8./9. Dezember 1874 und 6. Dezember 1882; der nächste Durchgang findet am 8. Juni 2004 vormittags und am 6. Juni 2012 statt: doch niemand von denen, die diese Worte lesen, wird das Glück haben, sie noch zu erleben. Vergl. die Abbildungen 7 und 8.

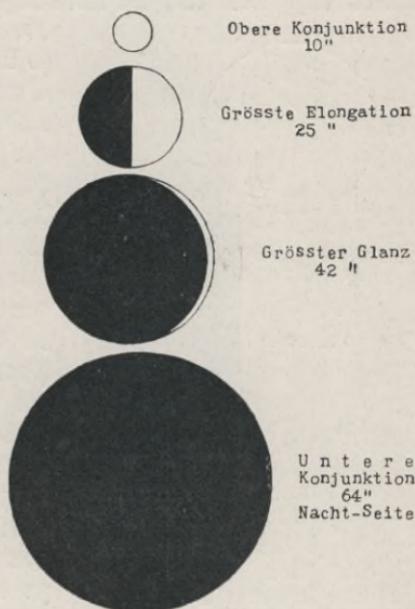


Abb. 6. Die vier Hauptansichten der Venus.  $1\text{ mm} = 1''$  (wie bei Merkur).

Die Venusvorübergänge sind in mancherlei Hinsicht interessant. Sie geben zunächst lange Zeit das beste Mittel, um die Entfernung Sonne—Erde zu bestimmen. Denn wenn auch die Keplerschen Gesetze die Verhältnisse der Entfernungen im Sonnensystem auszudrücken gestatten, derart, daß man sich ein Modell des Systems bauen kann, so ist natürlich eine Messung der absoluten Abstände nur möglich, wenn man von zwei Punkten der Erde aus die Richtungen nach einem der Planeten festlegen und messen kann. Diese beiden nicht völlig parallelen Geraden schließen einen kleinen Winkel miteinander ein, der Verschiebung oder „Parallaxe“ heißt. Messung von Entfernungen laufen also stets auf Bestimmung der Parallaxe hinaus. Wenn nun

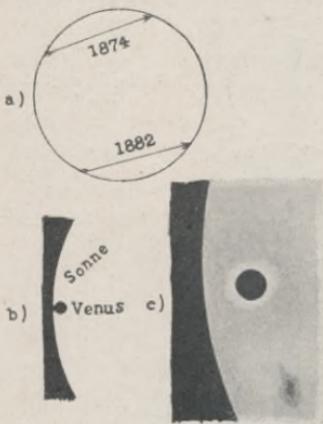


Abb. 7 und 8. Venus vor der Sonne.

- a) Wege des Planeten 1874 und 1882.
- b) Der schwarze Tropfen.
- c) Die helle Venusatmosphäre.

die Venus vor der Sonne vorübergeht, so beschreibt sie von zwei weit entfernten Orten auf der Erde aus zwei voneinander etwas verschiedene Sehnen auf der Sonne. Aus diesen Sehnen folgt dann die Differenz der Parallaxen von Venus und Sonne. Diese Differenz ist eben bei der Venus größer als die Sonnenparallaxe allein, da die Venus der Erde näher ist als die Sonne. Merkur ist der Sonne näher als Erde, seine Parallaxe ist nur wenig größer als die Sonnenparallaxe, und die Differenz beider ist kleiner, daher schlechter zu bestimmen als die Sonnenparallaxe. So umgibt die Natur ihre Rätsel, wie es scheint, mit tausendfachen Schwierigkeiten, macht dem Menschen Mühe, sie zu lösen; statt der sehr häufigen Merkursdurchgänge müssen wir auf die sehr seltenen Venusdurchgänge warten. Aber

dies nicht allein! Die Venusdurchgänge schienen einen ganz besonderen Vorteil darin zu bieten, daß eben Ein- und Austritt des Planeten in die Sonnenscheibe ein besonders scharfes Maß für die Länge der beschriebenen Sehnen bieten müßten; aus der Länge folgt dann der genaue Abstand. Die Sonnenscheibe selbst ist — wie der Astronom sagen würde — das Kreismikrometer, und aus den scharf zu beobachtenden „Antritten“ des Planeten müßte sich die gesuchte Parallaxe mit größter Schärfe ergeben. Alle Welt rüstete daher zur Beobachtung der beiden Venusdurchgänge in den siebziger und achtziger Jahren. Da spielte die Natur dem Forschungsdrang des Menschen einen ganz besonders schlechten Streich!

Es kam darauf an, die Momente scharf zu erfassen, in denen die schwarze Planetenscheibe von außen und von innen die Sonnenscheibe berührte. Da bildete sich zwischen dem schwarzen Scheibchen und dem schwarzen Himmel beim Beobachten der zweiten Berührung eine schwarze

Brücke, der sogenannte schwarze Tropfen, und als er zerriß, war die Venus schon ein Stückchen in die Sonne vorgerückt und — der Moment der inneren Berührung war verpaßt!

Wir wissen heute, daß diese Erscheinung eine Beugungsercheinung des Lichtes ist, die eintreten mußte. Aber vorher hatte doch niemand daran gedacht. Man halte z. B. Zeigefinger und Daumen sich fast berührend dicht vor ein Auge. Kurz vor der Berührung wird man, wenn man ins Helle sieht, eine dunkle Brücke zwischen beiden entstehen sehen. Ganz ähnlich bildet sich die dunkle Brücke zwischen der dunklen Umgebung der Sonne und dem dunklen Planeten vor der Sonne. Wenn man nun auch theoretisch die Erscheinung wieder hinweggerechnet hat, so dürfen wir doch froh sein, daß es dem Berliner Astronom Dr. Witt gelungen ist, mit der Entdeckung des kleinen Planeten Eros, der uns näher kommt als die Venus und der in seiner Punktförmigkeit auch sonst noch Vorzüge vor diesem Planeten besitzt, ein besseres Mittel zur Bestimmung der Sonnenparallaxe gefunden zu haben. Immerhin sind bisher die aus Venusbeobachtungen berechneten Werte mit die genauesten für die Entfernung Sonne—Erde, die „Sonnenweite“.

Noch in einer letzten Beziehung sind die Venusdurchgänge lehrreich: der dunkle Planet erscheint umsäumt von einem deutlich sichtbaren hellen Saum, in dem wir wohl mit Recht die brechende Wirkung einer Atmosphäre erblicken.

Für das Vorhandensein einer Atmosphäre auf der Venus sprechen auch sonst noch zahlreiche Gründe. Die spektralanalytische Untersuchung ist ja ohne Mühe auszuführen. Es zeigt sich allerdings, daß die absorbierende Wirkung der Venusatmosphäre nur schwach ist, wenn sie auch deutlich vorhanden ist. Scheiner und Vogel haben im allgemeinen völlige Übereinstimmung zwischen Venus- und Sonnenspektrum gefunden, nur die Wasserdampflinien waren in geringem, aber sicherem Maße verstärkt. Daß diese Verstärkung nur gering ist, läßt sich zunächst auf zwei Weisen erklären: erstens könnte die vorhandene Menge Wasserdampf gering sein, zweitens — und hierfür spricht sonst alles — könnte das Sonnenlicht schon nach kurzem Wege in der Venusatmosphäre zurückgeworfen werden. Dann müßte die Atmosphäre gerade sehr dicht sein, bzw. schon in dünnen Schichten stark reflektierende Eigenschaften haben. Das ist es nun, was wir auch an den weißglänzenden Wolken der Erde feststellen können. Während diese Wolken doch sicherlich mit Feuchtigkeit gesättigt sind, zeigt ihr Spektrum kaum eine Verstärkung der Wasserdampfbanden im Sonnenspektrum.

Wenn die Venusatmosphäre aber mit dichten Wolken erfüllt ist, muß ihre Reflexionsfähigkeit gleich der der weißen Wolken sein. In der Tat ist nach Müller die Albedo der Venus gleich 0,76, ein Wert, der nahe der Reflexionsfähigkeit der weißen Wolken liegt. Also eine volle Bestätigung.

Einen letzten Beweis für das Vorhandensein einer Atmosphäre bildet das Aussehen des „Terminators“, d. i. der Luftgrenze der sichelförmigen

Venus, der Tag-Nachtgrenze. Diese erscheint fast stets nicht ganz scharf, ist die Venus der Erde nahe, so hat man sie mehrmals verwaschen gesehen. Hiermit gleichbedeutend ist, daß die Hörnerspitzen der Sichel mehr als  $180^\circ$  am Rande umspannen, daß also eine deutliche Dämmerungszone nachgewiesen ist, wie sie nur von einer Luftshülle erzeugt werden kann.

Der Reichtum der Venusluft an weißen Wolken erklärt den hellen Glanz des Abendsterns. Nach Müller ist Venus am schwächsten bei  $20^\circ$  Phasenwinkel, nämlich 3,3 Größenklassen heller als Arktur im Bootes; am hellsten bei etwa  $118^\circ$  Phasenwinkel, nämlich —4,3. Größenklasse, d. h. 4,3 Größenklasse heller als  $\alpha$  Bootis. Ebenowenig wie bei Merkur ist der Verlauf ihrer Helligkeitszunahme durch irgendeines der theoretischen Strahlungsgesetze zu erklären. Doch sind die Abweichungen zwischen Beobachtung und Rechnung nicht so groß wie bei jenem sidus dolosum.

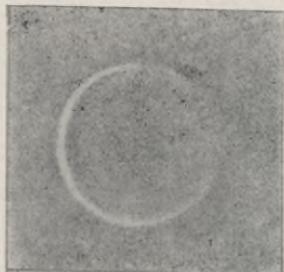


Abb. 9.  
Das aschfarbene Licht.

Eine ganz besonders rätselhafte, wenn auch schon lange bekannte Erscheinung, ist die Sichtbarkeit der nicht erleuchteten Teile des Planeten. Sie tritt stets nur zur Zeit der oberen Konjunktion ein, d. h. wenn von dem Planeten nur eine schmale Sichel noch erleuchtet ist. Vergl. Abb. 9. Die alten Beobachter haben für sie den Namen des „aschfarbenen Lichtes“ geprägt. Die Erscheinung ist oft bei Tage gut zu sehen. Da ein Mond der Venus als Leuchte ihrer dunklen

Nächte nicht vorhanden ist, so hat man nach anderen Erklärungen gesucht. Der phantasievolle Gruihuisen hat an „allgemeine Freudenfeuer“ gedacht und stützt dies durch die Tatsache, daß 1759 Mayer und 1806 Harding das aschgraue Licht besonders stark gesehen hätten. Andere haben an Nordlichter gedacht, die am Nachthimmel der Venus brennen sollen. Diese von M. Wilhelm Meyer aufgestellte Theorie hat den einen Vorzug, daß sie die sicher festgestellte Tatsache zu erklären vermag, weshalb das aschgraue Licht der Venus zuzeiten sehr stark ist, zu anderen oberen Konjunktionen gar nicht zu erkennen ist. Es wäre dann zur Zeit der größten Sonnenfleckenstätigkeit auf eine gute Sichtbarkeit des aschgrauen Lichtes zu schließen. Leider fügen sich die Zeitangaben dieser Bedingung nicht. Eine letzte Erklärung stammt von Vogel. Er sah das aschgraue Licht nämlich nicht den ganzen dunklen Teil der Venus bedecken, sondern nur den Rand. Wir hätten es dann eben nur mit einer Erleuchtung der Atmosphäre zu tun, in dem zur Zeit der oberen Konjunktion auch der zweite Halbkreis des Dämmerungsfaumes, die Scheibe umschließend, sichtbar wird. Die Erhellung der ganzen dunklen Seite wäre dann eine leicht erklärbare optische Täuschung.

Ein besonders schwieriges Problem ist die Beobachtung von Einzelheiten auf der glänzenden Scheibe des Planeten. Betrachtet man ihn

in der Dämmerung oder Dunkelheit durch ein Fernrohr, so ist sein Licht so blendend, zudem seine Höhe über dem Horizont so gering, daß man unmöglich Einzelheiten auf ihm erkennen kann. Deshalb ziehen es die meisten Astronomen vor, ihn bei Tage zu beobachten, wo sein weißes Scheibchen klar und scharf erscheint. Aber auch da ist es nur selten möglich, etwas von Flecken zu erkennen. Wir schauen offenbar auf eine dicke Wolkendecke, die nur selten sich lichtet, um uns einen Blick in die tieferen Schichten der Atmosphäre oder gar auf die feste Oberfläche zu gestatten. Deshalb sind auch alle älteren Berichte über Flecke auf der Venus mit Vorsicht aufzunehmen. Es ist nicht anzunehmen, daß Cassini, Bianchini, Schröter u. a. Zeichnungen auf ihr er-

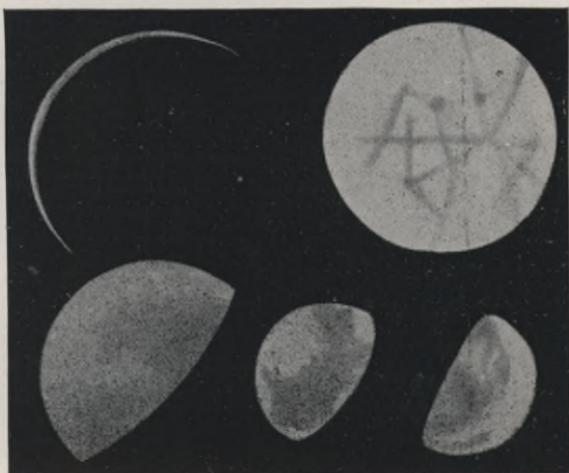


Abb. 10 und 11. Venuszeichnungen.

kannt haben, während die guten Instrumente, z. B. schon Herschels Riesenteleskope bei seiner Beobachtungskunst nie Flecken auf dem Planeten zeigten. Erst in der neuesten Zeit sieht man wieder mehr. So zeichnete Vogel im Jahre 1871 deutliche Flächen geringerer Helligkeit. (Denn anders als leichte Schattierungen treten diese Gebilde nie hervor!) Bis zu einem Erkennen von festen, von mehreren Beobachtern zu verschiedenen Zeiten gleich gesehenen Umrissen sind wir noch nicht eingedrungen. Unsere Abbildungen 10 und 11 geben die Zeichnungen verschiedener Beobachter wieder, damit der Leser sich ein Bild von der Schwierigkeit der Aufgabe machen kann, die sich nun an diese Zeichnungen anschließt, nämlich die Frage: ob die Venus eine Achsendrehung zeigt oder nicht.

Alle älteren Beobachter sind sich darin einig, daß die Venus in nahezu 24 Stunden um eine Achse rotiere. Schröter gibt bei einer Abstumpfung der Sichelspitzen, die sich wiederholt zeigte, sogar die

genaue Zahl  $23^h 21^m$  an! Demgegenüber trat Schiaparelli mit der Behauptung auf, die Venus rotiere sehr langsam, nämlich in 225 Tagen, das ist in derselben Zeit, in der sie sich um die Sonne dreht. Sie soll danach der Sonne stets dieselbe Seite zukehren. Mascari und Lowell haben sich dem angeschlossen, während Leo Brenner in neuester Zeit auf Grund seiner in bester Luft und vor allem mit vorzüglichen Augen gemachten Beobachtungen einer Rotation von etwa 24 Stunden das Wort redet. Diese Gegensätze sind zunächst einmal leicht verständlich. Es ist nämlich nicht so, wie es auf den ersten Blick erscheint: die lange und die kurze Rotation bringen nämlich von Tag zu Tag ziemlich die gleichen Erscheinungen hervor. Nehmen wir an, ein deutlicher Fleck stände heute in der Nähe der Schattengrenze, so steht er nach 24 Stunden wieder in der Schattengrenze, sowohl bei einer Rotation von 24 Stunden wie bei der sehr langsamen von 225 Tagen. Will man also die Rotation von 24 Stunden nachweisen, so muß man an einem Tage längere Zeit die Verschiebung der Flecken beobachten. Denkt man nun daran, daß am Tage die Venus nur kurze Zeit zu beobachten ist, daß die Flecke verwaschen und sehr schwer erkennbar sind, so sieht man ein, weshalb die Entscheidung zwischen der langsamen und raschen Rotation ihre Schwierigkeiten hat.

Belopolsky hat die Frage daher auf anderem Wege zu beantworten versucht. Bekanntlich verschiebt eine Spektrallinie ihren Ort im Spektrum nach dem blauen Ende, wenn der leuchtende (oder licht-reflektierende) Körper auf uns zukommt, bzw. nach Rot zu, wenn er sich von uns entfernt. Es ist heute leicht, dieses „Dopplersche Prinzip“ beim Schall z. B. zu beobachten. Ein Automobil nähert sich uns: die Hupe ertönt, im Augenblick des Vorbeifahrens sinkt der Ton. Oder: ein Automobil oder Eisenbahnzug fährt in der Richtung auf eine Wand zu, die uns den Schall als „Echo“ zurücksendet. Das „Echo“ klingt merklich höher. Wissenschaftlich ausgedrückt: die Schwingungszahl ist größer. Genau so beim Licht. Doch sind diese Verschiebungen beim Licht sehr klein, da ihre Größe von dem Verhältnis der Geschwindigkeit des Körpers zur Lichtgeschwindigkeit abhängt, von denen die letzte überragend groß ist. Zurück zur Venus: wenn die Venus rotiert, wird der eine Rand sich auf uns zu bewegen, der entgegengesetzte von uns fort (den unwahrscheinlichsten Fall, daß die Rotationsachse auf die Erde zu zeigt, schließen wir aus!). Infolgedessen muß jede Spektrallinie in zwei zerfallen, von denen die eine nach Rot, die andere ebensoviel nach Blau verschoben ist. Diesen sehr geringen Effekt maß Belopolsky und fand eine Geschwindigkeit von 0,7 km in der Sekunde, woraus sich die Rotationsdauer zu 19 Stunden etwa ergibt (1900). 1903 schon fand der Mitarbeiter Lowells auf der Flagstaff-Sternwarte diese Geschwindigkeit nicht, entschied sich also mit seinem Meister für die lange Dauer.

Swante Arrhenius scheint mir mit einem Schlage den Knoten zerhauen zu haben. Er gibt einen physikalischen Grund für die — kurze

Rotation an. Da wir schon bei Merkur seinen Gedanken gefolgt sind, können wir uns hier kurz fassen. Die als sicher erwiesen anzunehmende Venusatmosphäre ist ja bei einer langen Rotationszeit nicht denkbar. Da dann nämlich die Nachtseite der Venus nie die Sonnenwärme zu spüren bekäme, müßten sich Stickstoff, Sauerstoff und Wasserdampf dort kondensiert haben, eine Atmosphäre also unmöglich sein.

Dem ist jedoch nicht ohne weiteres so; ich möchte vor allem auf folgenden Gegengrund aufmerksam machen: die Erdtemperatur wäre etwa  $-70^{\circ}$  ohne die Strahlung der Sonne. Die „Eigenwärme“ der Venus muß noch etwas größer sein, wie die der Erde. Wir dürften also auf der ewigen Nachtseite der Venus wahrscheinlich eine Temperatur von über  $-70^{\circ}$  annehmen! Bei dieser Temperatur ist aber weder Stickstoff noch Sauerstoff kondensiert. Diese beiden sind also sicher als Gase vorhanden. Dann aber ergeben sich gerade bei der langen Rotationsdauer ungeheure Konvektionsströme in der Luft, derart, daß die warmen Gase dem kalten „Rücken“ der Frau Venus zuströmen müssen und umgekehrt. Da sie sich dabei mit Feuchtigkeit sättigen müssen, ergibt sich ein Zustand der Atmosphäre, derart, daß nahe der Schattengrenze stets starke Wolkenbildung eintreten muß. Nur um den sphärischen Mittelpunkt der bestrahlten Seite wird Klarheit herrschen. Diesen aber sehen wir nur in der Nähe der oberen Konjunktion bis zur größten Elongation. Zweitens ist Arrhenius entgegenzuhalten, daß die Kondensation durch eine Rotation von etwa 200 Tagen schon aufgehoben würde, daß also sein Gedankengang kein Beweis für eine schnelle Rotation ist.

Somit haben wieder die Beobachter das Wort!

Zum Schluß möchte ich noch folgendem Gedanken Raum geben, der vielleicht geeignet ist, uns von der dichten Wolkendecke Rechenschaft zu geben, von der die Venus umhüllt ist. Setzen wir die Temperatur, die die Venus ohne Sonnenstrahlung an ihrer Oberfläche erhalten könnte, auf  $-50^{\circ}$  fest, so gehen wir damit sicher nicht allzuweit fehl, da bei der etwas „älteren“, also kühleren Erde dieselbe Temperatur  $-74^{\circ}$  betragen würde. Wie nun die Strahlungsenergie der Sonne die mittlere Erdtemperatur um  $88^{\circ}$  heraufsetzt auf  $+14^{\circ}$ , so müßte sie die nähere Venus um  $186^{\circ}$  erwärmen. Das heißt: Die mittlere Jahrestemperatur auf der Venus beträgt ungefähr  $118^{\circ}$ . Da Wasser bei einem Druck von 2 Atmosphären bei  $120^{\circ}$  siedet, so muß also die Venusatmosphäre diesen Druck etwa haben, wenn sich in ihr bzw. auf der Oberfläche des Planeten flüssiges Wasser bilden soll. Es ist danach durchaus nicht sicher, daß auf der Oberfläche der Venus schon flüssiges Wasser vorkommt. Sicher aber ist, daß es als Dampf in großen Mengen in der Atmosphäre vorhanden sein muß. Daraus folgt, daß in einer gewissen Höhe, in der die Temperatur soweit gesunken ist, daß flüssiges Wasser möglich ist, sich Wolken bilden werden. Diese Wolken werden für eine Überführung der Wärme von unten nach oben sorgen und müssen eine undurchdringliche Decke bilden, da jede freie

Stelle notwendig — wegen des fehlenden Wärmetransportes — kühler sein muß als die Umgebung, also sofort sich schließen müßte. Die Wolkendecke der Venus ist also eine notwendige Folge ihrer hohen Oberflächentemperatur. Venus entspricht in allen Stücken ihres Zustandes dem Bilde, das wir uns von einem Planeten machen, der in der Entwicklung noch hinter unserer Erde zurück ist.

### Die Erde.

Die Erde als Planet betrachtet ist ein Gebiet für sich. Denn da sie der uns nächste Weltkörper und fast der einzige ist, den wir handgreiflich untersuchen können, so werden wir aus diesem Umstande manchen Vorteil, aber auch manchen Nachteil für ihre Erforschung erwarten dürfen. Während sich z. B. die Erforschung ihrer Atmosphäre wesentlich leichter bewerkstelligen läßt und weitergehende Resultate verspricht als bei anderen Planeten, ergibt sich für die Bestimmung ihrer Abplattung, die wir beim Jupiter einfach aus zwei Messungen des polaren und äquatorialen Durchmesser im Fernrohr in wenigen Minuten durch elementare Rechnung finden können, ein weiter und beschwerlicher Umweg.

Die Erde ist für uns trotz allem doch das beste Untersuchungsobjekt gewesen; sie wird uns auf diesen Blättern auch am längsten beschäftigen, selbst wenn wir alle Betrachtungen über sie ausschließen, die nicht auf ihre kosmische Natur gehen.

Wir werden mit den rein astronomischen Tatsachen beginnen und uns dann den mehr kosmisch-physikalischen Fragen zuwenden.

Die Auffassung von der scheibenförmigen Erde dürfte im Altertum bis zu Anaximander bestanden haben. Auf dieser Scheibe ruhte der Himmel auf, eintauchend in das Weltmeer. So kennt Homer z. B. die Erde, und diese Auffassung genügte der damaligen Zeit, sie war sogar die einzig mögliche, da keine Tatsachen vorhanden waren, die ihr widersprachen. Anaximander erst sprach aus, daß der Himmel nicht mit der Erde verbunden sein könne, sondern daß die Erdscheibe frei in seiner Mitte schwebe und daß der Himmel nicht eine halbe, sondern eine volle Kugel darstelle. Pythagoras vervollständigte dann dieses Weltbild, indem er die Kugelgestalt der Erde aussprach. Doch handelte es sich lediglich um Hypothesen, da erst Aristoteles die ersten Beweise für sie erbracht hat. Er schließt sich an die richtige Erklärung der Mondfinsternisse durch Anaxagoras an und schließt, wenn die Erde stets kreisförmige Schatten werfe, so müsse sie eine Kugel sein.

Von Plinius stammt dann der erste einwandfreie Grund (Aristoteles' Grund hat ja Voraussetzungen), der auf dem direkten Anblick weit entfernterer Gegenstände beruht, bei denen z. B. an der See nur die oberen Teile sichtbar sind.

Aristoteles hat auch auf das Höhersteigen von Süd nach Nord der Gestirne aufmerksam gemacht, das eintritt, wenn man von Nord nach Süd wandert. Diese Tatsache ist dann der ersten Erdmessung zugrunde gelegt, die Eratosthenes zwischen Alexandria und Syene (heute Assuan) in Ägypten ausgeführt hat. Er fand, daß die Sonne in Alexandria noch um  $\frac{1}{50}$  des ganzen Kreises vom höchsten Punkt des Himmels, dem Zenit, an demselben Tage absteht, an dem sie in Syene (das auf dem Wendekreis des Krebses liegt) senkrecht steht. Dementsprechend wäre der Erdumfang 50mal so groß wie die Entfernung von Alexandria bis Syene, die Eratosthenes nach den Angaben der „königlichen Wegmesser“ zu 5000 Stadien annahm. Welches der üblichen Maße mit dem Stadion gemeint ist (sie schwanken zwischen 174,5; 185,136; 189,94 und 221,6 m), wissen wir nicht. Da die Breitendifferenz  $7^{\circ},2$  sehr gut ist, so kann man umgekehrt vielleicht auf die Länge des zugrunde gelegten Stadion schließen. Bei 40031 km Erdumfang findet sich also  $\frac{1}{50}$  des Erdumfangs zu 801 km; folglich mußte das benutzte Stadion gleich 160,2 m. Das würde einen bedenklichen Fehler in der Messung der Länge ergeben; selbst wenn man das kleinste der Stadien, das kleine pharaonische zu 174,5 m annähme, ergäbe sich ein Fehler von 8,2% ! Die Gradmessung des Eratosthenes ist ( $7^{\circ},20$  statt  $7^{\circ},14$ ) jedenfalls viel genauer.

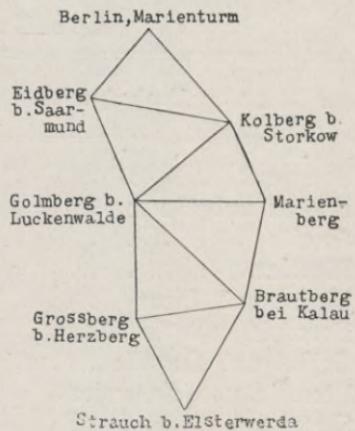


Abb. 12.  
Triangulationsnetz bei Berlin.

Mit wie einfachen Mitteln man beobachten kann, zeigen die von Eratosthenes benutzten Instrumente: ein tiefer Brunnen in Syene, in dem sich die Sonne am längsten Tage senkrecht spiegelte und Schattenmessungen in einer hohlen „Kugel“ in Alexandria.

Sehen wir von den praktisch mit zu großen Fehlern behafteten Methoden der Erdmessung aus der Kimmtiefe und Konvergenz von Loten ab, so erfolgen alle Erdmessungen heute noch nach der Methode des Eratosthenes. Man mißt die Entfernung zweier Orte auf gleichem Meridian (die also nord-südlich voneinander liegen) in Graden astronomisch, in einem Längenmaß geodätisch direkt, woraus die Größe des Meridians folgt. Die geodätische Messung des Längenmaßes wird wieder durch Triangulation ausgeführt, wobei man eben eine möglichst kleine Strecke direkt im Längenmaß anzugeben hat. Denn durch das Aneinandersetzen von Maßstäben, ohne das eine Längenmessung — z. B. in Metern — nicht möglich ist, ergeben sich additive Fehler, die bei zahlreicher Wiederholung beträchtliche Summen erreichen, während die Triangulation bei der heutigen Güte der Winkelmeßinstrumente fast bis zu jeder verlangten Genauigkeit getrieben werden kann. So

sind heute die Kulturstaaten überzogen mit einem Dreiecksnetz von trigonometrischen Punkten (vergl. Abb. 12). Die erste solche Triangulation führte Snellius von 1615—1617 in dem flachen Holland aus. Seine Grundlinie betrug nur — umgerechnet — 328 m, der gemessene Bogen war über 1° groß. Der Erdumfang fand sich 1670 durch Picard zu 20½ Millionen Toisen = 40036 km, ein Wert, den Newton seinen Rechnungen zugrunde gelegt hat.

Ordnet man die Gradmessungen nach der Breite, so findet man, daß die Länge von 1° vom Äquator nach dem Pole zu langsam zunimmt, wie folgende Tabelle zeigt. Daraus ergibt sich, daß die Erde an dem Äquator gekrümmter sein muß als an den Polen, daß sie also an den Polen abgeplattet ist.

Tabelle der Länge von 1°.

Beobachter	Jahr	Breite	Länge von 1° in km
Bouguer . . . . .	1736	1°	110,4
Reuben und Barrow . . . . .	1791	23°	110,8
Lacaille . . . . .	1750	33°	} 110,8
Maclear . . . . .	1840	33°	
Mason und Dixon . . . . .	1764	39°	110,8
Boscovich und Le Maire . . . . .	1752	42°	111,1
Cassini und Lacaille . . . . .	1740	45°	111,1
Beccaria und Canonica . . . . .	1764	45°	111,2
Liesgang . . . . .	1768	46°	[110,8!]
Liesgang . . . . .	1768	48°	111,2
MauPERTIUS . . . . .	1776	66°	} 111,4
Svanberg . . . . .	1802	66°	

Bekanntlich ordnete dann im Jahre 1800 die französische Nationalversammlung die Einführung von 0,513074 Toisen = 1 m als Einheitsmaß an, von dem sich heute alle Maße ableiten. Leider wurde der zugrunde gelegte Wert von 57008,22 Toisen = 1° schon im Jahre 1808 durch die 1791 beschlossene französische Erdmessung umgestoßen, die 57013,5 Toisen = 1° ergab. Damit wird der Erdumfang 40003,424 m.

Die erste Hälfte des 19. Jahrhunderts brachte dann die ostindische und russische Gradmessung, und im Jahre 1841 bestimmte Bessel, 1880 Clarke (auch die russisch-skandinavische mitbenutzend) die Gestalt der Erde. Sie stellen die Erde als ein Rotations-Ellipsoid dar, dessen große Halbachse (Äquatorradius) gleich 6378, 250 km, und dessen kleine Halbachse (halbe Achse von Pol zu Pol) 6356,515 km beträgt (nach Clarke). Bessels Bestimmungen weichen nur um Bruchteile der Kilometer hiervon ab. Die Abplattung folgt nach Clarke zu 1:293.

Die Abplattung der Erde zu erklären, ist die Annahme einer Rotation der Erdkugel vonnöten, die dann aus der flüssigen Kugel das eben abgeplattete Rotationsellipsoid gemacht hat. Wir wenden uns daher der Frage der Erddrehung zu.

Aristarch hat als Erster die Auffassung vertreten, daß die Erde rotiere, und gab als Beweis an, es sei unwahrscheinlich, daß Sonne, Mond und Sterne sich alle in nahezu gleicher Zeit um die Erde bewegen. Wir haben heute eine Unzahl von Argumenten für diese Tatsache. Richer ging im Jahre 1671 mit einer guten Pendeluhr von Paris nach Cayenne, um die Parallaxe des Mars zu beobachten; er fand, daß seine Pariser Uhr in Cayenne um 147 Sekunden täglich zurückblieb. Er glaubte zuerst an eine Veränderung des Pendels infolge des Transports. Als er aber nach seiner Rückkehr in Paris bemerkte, daß die Uhr nun wieder täglich 147 Sekunden vorlief, war diese Erklärung unhaltbar, es war bewiesen, daß die auf das Pendel wirkende Kraft, die Schwerkraft der Erde, am Äquator kleiner ist als in höheren Breiten. Newton erklärte sehr bald, daß die Abnahme der Schwerkraft nur scheinbar sei, bewirkt durch die infolge der Rotation der Erde auftretende, am Äquator ihr Maximum besitzende Fliehkraft, die der Gravitation entgegenwirkt. Ein erster Beweis für die Rotation der Erde ist also das gesetzmäßige Abnehmen der Schwere vom Pol zum Äquator hin.

Man sieht gewöhnlich in der Tatsache der Abplattung der Erde einen zweiten Grund für diese Tatsache. Dabei übersieht man oft, daß die Abplattung eine Folge der Fliehkraft ist, und auch durch Messungen der letzteren nachgewiesen wird, daß also weder theoretisch noch praktisch ein neuer Beweisgrund hierin zu sehen ist. (Wenigstens, wenn man davon absieht, daß durch genaue Gradmessung die Abplattung auch festgestellt werden kann.)

Ein weiterer Beweis ist der Foucaultsche Pendelversuch. Man denke sich ein Fadenpendel in einem rechteckigen Rahmen aufgehängt schwingend; es schwingt in einer Ebene, der Schwingungsebene. Drehen wir den Rahmen irgendwie um den Aufhängepunkt, so bleibt diese Schwingungsebene erhalten. Wir erkennen die Wirkung des Trägheitsgesetzes, es tritt ja keine Kraft auf, die das Pendel aus seiner Ebene herauszuziehen sucht. Könnten wir ein solches Pendel am Nordpol aufhängen, so würde dieses Pendel jedoch bei ruhendem Rahmen in 24 Stunden seine Schwingungsebene um  $360^\circ$  drehen. Daraus schließen wir, daß der Rahmen nur scheinbar ruht, in Wirklichkeit rotiert er mit der Erde.

Etwas verwickelter ist die Bewegung des Pendels zwischen Pol und Äquator. Die Theorie ergibt eine Drehung nicht um  $360^\circ$  täglich, sondern um  $360 \sin \varphi$ , wenn  $\varphi$  die geographische Breite ist. Foucault machte 1851 den Versuch mit 2, 11 und schließlich 67 m langem Pendel im Pantheon. Garthe fand im Kölner Dom mit einem fast ebenso langen Pendel eine Drehung in der Stunde um  $11^\circ 39', 5$ , während die

obige Formel  $11^{\circ} 38',8$  ergibt. Das ist eine überraschende Übereinstimmung.

Ein letzter Grund für die Rotation ergibt sich aus der östlichen Abweichung beim freien Fall. Kein Körper fällt nämlich senkrecht, wie es in roher Annäherung die Mechanik zunächst lehrt. Denn in seinem Ausgangspunkte macht er die Rotation der Erde mit, d. h. er hat eine seitliche nach Osten gerichtete Geschwindigkeit, die am Äquator am größten, nämlich 464 m in der Sekunde beträgt. In der Breite  $\varphi$  multipliziert sie sich natürlich mit dem Kosinus der Breite. Mit dieser Geschwindigkeit bewegt sich nach dem Trägheitsgesetz der fallende Körper weiter nach Osten. Da er aber beim Fallen nach Orten gelangt, die der Erdoberfläche näher sind, also eine geringe Geschwindigkeit nach Osten haben, so wird er diese Punkte überholen müssen, d. h. nach Osten von der Lotrechten abgelenkt werden. Versuche sind sehr zahlreich über diese Wirkung der Erddrehung angestellt. So fand Reich in einem Schachte von 158,5 m Tiefe in Freiberg eine Abweichung von 28,4 mm, während die Theorie 27,6 mm fordert. Mit gleich gutem Erfolge sind in neuester Zeit die Versuche wiederholt worden.

Außer diesen Folgen der Erdrotation ergibt sich eine Einwirkung auf die Luft- und Wasserströme. Ein Nordwind auf der nördlichen Halbkugel kommt allmählich in Gegenden, die von der Erdoberfläche weiter entfernt sind, also absolut schneller rotieren. Er muß also nach Westen abgelenkt werden, ebenso ein Südwind der südlichen Halbkugel. (Das gleiche gilt für Geschosse, Wasserströmungen, Eisenbahnzüge und die Flüsse.) Die Erdrotation bewirkt also auf der Nordhalbkugel eine seitliche Kraft nach rechts, umgekehrt auf der Südhalbkugel. Es gibt eine große Zahl von Beispielen für diese Kraft. Ein Fluß nagt sich nach rechts stets schneller weiter als nach links, was besonders zur Geltung kommt, wenn er die bekannte „Mäanderbildung“ (schlangenartigen Lauf) aufweist. Dann nagen die rechts von der Stromrichtung liegenden Bogen sehr viel deutlicher aus. Man benennt das Gesetz der Rechtsverschiebung von Flüssen nach seinem Entdecker das Baersche. Es ist sogar von Fontès an der Baisse nachgewiesen worden, daß der Wasserspiegel am rechten Ufer höher steht als am linken. Suez, der kürzlich verstorbene große Geologe, weist darauf hin, daß die Donau das Marchfeld nicht gradlinig vom Wiener Wald bis zum Leithagebirge, den zwei festgegebenen Punkten, durchfließt, sondern nach rechts ausbiegt.

Am deutlichsten zeigt sich die ablenkende Kraft der Erdrotation beim Winde: nehmen wir eine Stelle tiefen Drucks, ein „Tief“ irgendwo auf der Nordhalbkugel an, so strömen die Winde darauf zu, aber nicht radial, sondern infolge der Ablenkung nach rechts: tangential, so daß eben der Tiefdruckwirbel lingsherum entsteht. (Buns-Ballotsche Windregel.) Daß die Tiefs auf der Südhalbkugel rechtsherum umströmt werden, ist also ebenso eine Folge, umgekehrt ein Beweis der Erddrehung. Ebenso schön zeigen die Meeresströmungen diese Er-

scheinung. Ebenso wie die Passate Nordost auf der nördlichen und Südost auf der südlichen Halbkugel laufen, weisen die Meeresströmungen längs des Äquators der Erddrehung entgegen (bis auf einzelne durch die lokale Lagerung der Kontinente erklärbare Ausnahmen!).

Also dreht sich die Erde. Aber in den Beweisen steckt doch ein letzter Rest. Alle setzen sie voraus, daß das Trägheitsgesetz gilt, das von Galilei ausgesprochen ist. Wir müssen immer noch vorsichtig sein: schießen wir bei Ausschluß jeder Kraft von einem Punkte nach drei aufeinander senkrechten Richtungen Kugeln ab, so werden diese, wie man gewöhnlich sagt, drei gerade Linien, ein sogenanntes Koordinatensystem beschreiben. Bezogen auf dieses durch das Trägheitsgesetz gegebene System dreht sich die Erde.

Es hat keinen Zweck, weiter zu fragen: soweit die menschliche Anschauung reicht, gilt das Galileische Grundgesetz. Soweit dreht sich auch die Erde. Der Dinge letzten Grund sehen wir nicht, das hinter der Anschauung liegende „Ding an sich“ zu erforschen, ist unserem Sein nicht gegeben: denn unser Sein ist Anschauen.

Vielleicht kommt das Genie dereinst, das uns zeigt, wie wir auch das „Ding an sich“ Kants, den „Willen“ Schopenhauers, die „Energie“, wie wirs zu nennen belieben, fassen und halten können! Vielleicht ist die Lösung schon in den simplen Worten enthalten: Die Erde ist eine Addition von Energie, deren einer Teil uns als Rotation der Erde zur Anschauung kommt.

Doch auf dieses spiegelglatte Gebiet möchte ich den Leser nicht weiterführen. Zu wünschen wäre, daß wir wieder mehr den Grundfragen des Erkenntnis unsere Beachtung schenken, nachdem wir den Gesetzen des Geschehens in der Anschauung so ausgiebig nachgespürt haben. Dann werden die Bemühungen der Philosophen von der einen Seite, der Naturwissenschaftler von der andern Seite sich vereinen zur Lösung der letzten Fragen nach dem, was das „Sein“ ist.

Doch zurück zur Erde; wir „sehen“ es, sie dreht sich.

Man kann die Frage auch noch anders wenden, nach Mach mehr der Utilität, der Bequemlichkeit Rechnung tragen und sagen: man kann die Erde sich ruhend denken, dann aber muß man das Trägheitsprinzip ändern. (Für jeden Himmelskörper gibt es dann sogar ein besonderes!) Da dies „unbequem“ ist, so ziehen wir vor, die Erde sich drehen zu lassen. Philosophisch kommt beides auf das eine heraus, da das „Bequeme“ doch immer das ist, was der Anschauung die geringsten Schwierigkeiten macht. Ein reizendes Experiment würde uns die alte Erde gestatten, wenn sie nicht so faul wäre und sich schneller drehte! Lassen wir sie nur tausendmal schneller laufen, so wird die ablenkende Kraft auf die Kugel so groß, daß die Kugel auf der Nordhalbkugel rechts herum in einem Kreise läuft, was man auf jeder Eisbahn ausprobieren könnte. Ja, wir selbst würden, wenn wir uns geradeaus bewegen wollten, stets im Kreise rechts herum laufen müssen, erst mit einer besonderen Kraft würden wir aus diesem

sogenannten „Trägheitskreise“ herauskommen. Aber die Erde rotiert sehr langsam und der Trägheitskreis hat für Körper mit 1 m Geschwindigkeit schon 28 km Durchmesser und es ist sehr leicht — geradeaus zu gehen!

Einen sehr hübschen Gedanken hat Trabant an diese Tatsache angeknüpft: nehmen wir an, die Erde rotiere schneller, so schnell, daß die Trägheitskreise ganz klein würden. Wie verwickelt auch die dabei auftretenden Erscheinungen wären (anders an jedem Ort der Erde, anders bei verschiedenen Geschwindigkeiten der geworfenen Körper!), ein genialer Kopf müßte aus allen Beobachtungstatsachen doch ableiten, daß sie am einfachsten erklärt würde, wenn außerhalb der Erde das Trägheitsgesetz Galileis gilt und wenn eine Erddrehung angenommen wird gegen die Fixsterne.

Galilei hat es leichter gehabt.

Die Beweise für die Planetennatur der Erde haben wir schon oben gebracht. Hier sei ein besonders „anschaulicher“ nachgeholt. Die Erde wird vom Weltenraum aus von Geschossen getroffen; kleine Splitter, kosmischer Staub ist es, der ihr in den Weg tritt und von ihr aufgesammelt wird. Wenn sich die Erde nun wirklich im Weltenraum bewegt, so muß die mit 30 km in der Sekunde dahinschießende Kugel auf ihrer Vorderseite von mehr Geschossen getroffen werden. Die Weltengeschosse erscheinen uns aber als Sternschnuppen. Schmidt hat die durchschnittliche Zahl der Sternschnuppen in den einzelnen Nachtstunden festgestellt und findet folgende Zahlen:

Uhr	Zahl der Sternschnuppen
6—7	5
7—8	6
8—9	8
9—10	10
10—11	12
11—12	15
12—1	17
1—2	20
2—3	22
3—4	22
4—5	18
5—6	17

Bedenken wir, daß in den Morgenstunden wegen der Erhellung des Himmels die Zahl voraussichtlich abnehmen muß, so finden wir eine ständige Zunahme vom Abend bis zum Morgen. Hiernach werden wir schließen, daß der Teil der Erdkugel im Weltenraum vorausgeht,

der gerade „Morgen“ hat. Das ist nur möglich, wenn die Erde sich um die Sonne dreht.

Einen ähnlichen Beweis möchte ich hier noch anführen. Nennen wir den Punkt, auf den die Erde im Raum zufliegt, den Apex (er liegt stets  $90^\circ$  westlich [rechts] von der Sonne in der Ekliptik), seinen Gegenpunkt Antiapey, so ist leicht nachzuweisen, daß alle Sternschnuppen, die in der Richtung vom Apex nach dem Antiapey laufen, schneller laufen, wie die entgegengesetzt sich bewegenden. So treten vom 2. bis 3. Januar zwei Sternschnuppenschwärme auf, bei deren einem der Ausstrahlungspunkt (Radiant) in der Nähe des Apex liegt, während der andere vom Antiapey ausstrahlt (sehr ungefähr!). Die Geschwindigkeitsdifferenzen sind aber doch deutlich.

Die Masse der Erde im Verhältnis zur Sonnenmasse ist leicht zu bestimmen; denn die Anziehungskraft der Sonne hält die Erde in ihrer Bahn und ist daraus bekannt, die Anziehungskraft der Erde hält den Mond in seiner Bahn und ist also ebenfalls, zudem auch aus Fallbeobachtungen bekannt. Das Verhältnis der Anziehungskräfte ist aber nach Newton das Verhältnis der Massen. So weiß man mit großer Genauigkeit, daß die Erde 330000 mal leichter als die Sonne ist. Doch damit ist noch nicht allzuviel geleistet; es kommt jetzt darauf an, die Masse der Erde mit der Masse von einem Kilogramm zu vergleichen, sie zu „wiegen“. Da man nun die Erde nicht auf eine Wagschale legen kann, da man aber andererseits ihre Anziehungskraft kennt, so kann man umgekehrt vielleicht die Anziehungskraft des eines Kilogramms bestimmen, um dann sagen zu können: folglich enthält die Erde soviel mal mehr Masse als ein Kilogramm, wiegt also ... Kilogramm! Und so hat es Cavendish gemacht, indem er zwei schwebend an einer etwa 2 m langen Stange sitzende, an einem Silberdraht von 1 m Länge in der Mitte der Stange als „Drehwage“ aufgehängte Bleikugeln von 5 cm Durchmesser jederseits von zwei Bleikugeln von 30 cm Durchmesser aus der Ruhelage anziehen ließ. Die Versuche sind von Cornu und Baille und anderen verfeinert wiederholt worden. Aus allen Messungen ergibt sich, daß die Erde 5,55 mal so schwer ist, als wenn sie aus Wasser bestände, daß ihr spezifisches Gewicht oder ihre Dichte 5,55 ist. Jolly war der erste, der eine andere Methode anwandte: er benutzte eine Wage mit vier Wagschalen, ein Paar lag 21 m tiefer als das obere Paar. Eine Masse wurde zuerst auf der oberen Wagschale ins Gleichgewicht gebracht, dann wurde die Masse — nicht die Gewichte — auf die unter ihr befindliche Wagschale gelegt. Es ergab sich, daß die Masse unten „schwerer“ war. Brachte man unter sie nun noch eine Bleimasse von dem gewaltigen Durchmesser 1 m, so wurde die Masse noch „schwerer“. Daraus folgt die Masse der Erde. Jolly fand 5,7 als Dichte. Diese Methode ist in neuerer Zeit von mehreren Physikern verfeinert — mit Massen von 100000 kg, die man zwischen die Wagschalen der einen Seite brachte. Die besten Bestimmungen ergeben ein mit dem obigen fast genau übereinstimmendes

Resultat, nämlich 5,56, so daß man hiernach nicht fehl geht, die Dichte der Erde bei 5,55—5,56 zu suchen.

Man hat schon im Jahre 1856 eine ganz andere Methode zur Bestimmung der Erddichte angewandt, nämlich die durch Bergmassen hervorgebrachte „Lotabweichung“. Denken wir uns nördlich und südlich von einem Berge astronomisch in einem Abstand von 1852 m = 1 Seemeile = 1' des Erdumfangs die geographische Breite bestimmt, so müßten die Bestimmungen eine Differenz von 1' eben ergeben. Bei den Messungen wird der Nullpunkt des Instrumentes aber durch Einstellung eines Fernrohrs senkrecht zu einer Quecksilberoberfläche festgestellt. Die Quecksilberoberfläche aber wird von der Masse des Berges beiderseits abgelenkt, und zwar derart, daß die Breite des südlichen Ortes verkleinert wird, die des nördlichen Ortes aber vergrößert erscheint, statt der obigen zu erwartenden Differenz erscheint also eine größere. Die Vergrößerung — ein kleiner Winkel — heißt die Lotabweichung. Sie gestattet anzugeben, wievielmals stärker das Lot bzw. der Quecksilberspiegel von der Erdmasse wie von der Masse des Berges angezogen wird. Kennt man die Masse des Berges — aus seiner Form und Dichte — so kann man unter Berücksichtigung der verschiedenen Entfernungen der Anziehungsmittelpunkte des Berges und der Erde die Masse der Erde angeben. James und Clarke fanden nach dieser Art 5,52.

Als Masse der Erde folgt in Kilogrammen  $6 \cdot 10^{24}$ , d. h. eine Zahl die nach einer 6 noch 24 Nullen enthält, lies 6 Quadrillionen Kilogramm.

Die Dichte der Erde gestattet den Schluß auf einen festen Erdkern, der schwerer ist als die Gesteine der Oberfläche, da deren Dichte etwa bei 2,6 im Mittel anzusehen ist.

Ehe wir auf weitere Folgerungen hieraus eingehen, müssen wir uns die Gestalt der Erde noch etwas ansehen. Wie schon erwähnt, gestatten sowohl direkte Messungen wie Schweremessungen den Schluß, daß die Erde abgeplattet, daß also ihr äquatorialer Durchmesser größer ist als ihr polarer. Doch sind die direkten Messungen ungenau: sie ergeben Werte zwischen 1:293 und 1:299. Theoretisch ergibt sich eine Einwirkung der Abplattung auf die Mondbahn, die sich in Bewegungsungleichheiten äußert. So berechnet Helmert nach Hansens Mondtafeln die Abplattung aus der Längen- und Breitengleichung zu 1:298 im Mittel.

Die Abplattung hat aber auch für die Erde selbst eine Folge, die als Präzession und Nutation bezeichnet wird und in einer Veränderung der Erdachsenrichtung im Raume besteht, die ähnliche Bewegungen beschreibt wie ein im Umfallen begriffener Kreisler. Aus diesen Bewegungen der Erdachse folgt nach Wiechert 1:298. Der genaueste Wert folgt aus den Messungen der Schwere. Hieraus schließt Helmert auf 1:298,3. Dabei ist allerdings angenommen, daß die Schichtung der Erde kugelförmig und die einzelne Schicht homogen ist.

Verlassen wir die feste Oberfläche der Erde und suchen wir zu erforschen, was in ihr ist. Es ist bekannt, daß unterhalb der Oberflächenschichten, die von den Strahlungsverhältnissen der Sonne noch beeinflusst werden, was in 15 m Tiefe unter Land sicher erreicht ist, eine langsame Zunahme der Erdtemperatur nach unten auftritt. Die Anzahl Meter, in denen die Temperatur um  $1^{\circ}$  steigt, bezeichnet man als geothermische Tiefenstufe. Sie findet sich zu 25—35 m, so daß auf 100 m die Temperatur um  $3^{\circ}$  zunimmt. In etwa 40 km Tiefe würde also eine Temperatur von  $1200^{\circ}$  erreicht sein, bei der alle Gesteine der Erdoberfläche zu schmelzen beginnen. Bei 60 km Tiefe ist auch das Eisen an seinem Schmelzpunkt angelangt, so daß tiefer als 60 km kaum noch feste Körper anzutreffen sein werden, da ja Eisen der Hauptbestandteil des Erdkerns sein dürfte. Die erstarrte Erdkruste dürfte kaum den 100. Teil des Halbmessers der Erde betragen, an einem Globus von 2 m Durchmesser also z. B. nur 1 cm dick sein. Dürfte man die geothermische Tiefenstufe bis zum Erdmittelpunkt gelten lassen, so folgt für ihn rund  $200000^{\circ}$  als „Temperatur“. Natürlich heißt dies nur, daß das Erdzentrum ebenso einer Beschreibung seiner physikalischen Verhältnisse spottet, wie das Zentrum der Sonne. Jedenfalls aber fließt Wärme vom Innern der Erde zu ihrer Schale. Eine Rechnung zeigt allerdings, daß diese Wärmemenge gar nicht in Betracht kommt gegenüber der Strahlung der Sonne: Die Erdoberflächentemperatur ist nur das Produkt der Sonnenstrahlung. Trotzdem mag es uns beruhigen, daß das Erdinnere auf jeden Fall 40 Billionen Jahre „heiß“ bleibt.

Diese ganzen Überlegungen sind in neuester Zeit etwas erschüttert worden durch die Entdeckung der Eigenschaften der radioaktiven Substanzen. Diese liefern auf Grund intraatomistischer Vorgänge Energie in Form von Wärme, und man hat ausgerechnet, daß sehr wohl der Gehalt der Erde an Radium genügen würde, um die Erwärmung des Erdinnern hervorzurufen.

Auf Grund anderer Überlegungen hat Wiechert auf eine Dicke des Gesteinsmantels der Erde von über 1000 km geschlossen, der einen Eisenkern umschließen soll.

Um uns den Zustand des Erdinnern zu veranschaulichen, wollen wir bedenken, daß es für jeden Körper eine Temperatur gibt, die sogenannte kritische Temperatur, oberhalb deren der Körper nur als Gas vorkommt. Es ergibt sich also, wenn man von einem heißen Erdkern spricht, daß dieser noch obendrein gasförmig ist. Aber zu der Temperatur kommt ja auch noch der ungeheure Druck der über den Gasen lastenden Schichten (genauer ausgedrückt: der unter dem betrachteten Punkte liegenden Erdmasse!). Dieser Druck muß aus dem Gas einen Körper machen, der „so zäh ist wie Schusterpech“. Kommt doch noch dazu, daß die „innere Reibung“ mit steigender Temperatur stark zunimmt. So nur ist es erklärlich, daß Schlüsse aus der Reaktion des Erdkerns auf die Einwirkung des Mondes, analog von Ebbe und

Flut der Ozeane, Thomson dazu führten, den Erdkern so starr wie Stahl zu nennen. Da man die Elastizität der Erdkruste aus der Geschwindigkeit der Erdbebenwellen kennt, findet sich die des Kerns aus Annahmen über die Dichteverteilung größer als die des Stahls.

Trabert, dessen Ausführungen in seinem „Lehrbuch der kosmischen Physik“ wir hiermit gefolgt sind, stellt an diesem Wärmestrom eine Berechnung an, die ihn zu einer Zahl für das Alter der Erde führt. Überlegt man nämlich, daß am Grunde der Ozeane, d. h. im Mittel in einer Tiefe von 4300 m eine Temperatur von  $0^{\circ}$  etwa herrscht, wegen der Dichteverhältnisse des Wassers, während wegen der geothermischen Tiefenstufe in 4300 m Tiefe unter dem Kontinent etwa  $140^{\circ}$  herrschen werden, so folgt, daß der Wärmestrom aus dem Erdinnern ein größerer unterhalb der Ozeane, als in den Kontinenten sein muß. Demgemäß muß — wenn wir nicht anormale Erscheinungen bei der Erde als Grenzen annehmen wollen — die Zusammenziehung der Erde unter den Ozeanen eine stärkere sein, als in den Kontinenten, d. h. die Massen müssen allmählich „einsinken“. (Auch muß die Dichte unter den Ozeanen eine größere sein, was in der Tat durch Pendelbeobachtungen nachgewiesen ist!) Auf Grund der gewissen Höhenunterschiede von Kontinent und Meeresboden und auf Grund der obigen Annahme berechnet sich dann die Zeit, die zur Bildung dieses Höhenunterschiedes nötig wäre zu 300000 Millionen Jahren, und die Erde müßte zum Beginn dieser Zeit doppelt so groß gewesen sein, wie sie es jetzt ist.

Daß die Erde überhaupt zusammengeschrumpft ist, ist ja nach Sueß u. a. die einzig mögliche Erklärung der „Saltung“ der Erdkruste, d. h. der Entstehung der Gebirge einerseits, der Spalten andererseits, sowie der Erscheinungen des Vulkanismus und der Erdbeben.

Innerhalb der oben angegebenen Zeit haben die geologischen Perioden ausreichenden Platz, so daß hier ein Widerspruch gegen ein so ungeheures Alter der Erde nicht zu erwarten ist. Ich möchte das ungeheure Alter der Erde noch durch folgende Rechnung stützen: berechnet man die Zeit, die notwendigerweise vergangen sein muß, bis die Temperatur der Erde von  $100^{\circ}$  auf etwa  $10^{\circ}$  sinkt — ohne Berücksichtigung der Sonnenstrahlung — so findet man 500 Millionen Jahre. Dabei wird diese Zeit durch die Sonnenstrahlung in gewaltiger Weise verlängert, ebenso wie durch bei der Kontraktion der Erde freiwerdende Energiemengen eine langsamere Abkühlung eintreten würde. Physikalisch ist also in der Tat ein so gewaltiges Alter der Erde sehr wahrscheinlich.

Die Erde als Himmelskörper ist umgeben von einem Luftmantel, der für sie zahlreiche Vorteile bietet: er wirkt vor allem wie ein Puffer allen kosmischen Eindringlingen gegenüber, hat in früheren Zeiten die Rolle eines „Sonnenschirms“ gespielt, als die wassergesättigte Atmosphäre ihr die versengende Kraft der Sonne abhielt und wird dereinst ihr ein wärmender Pelzmantel sein, wenn die Energie der Sonne nicht mehr eine so angenehme Mitteltemperatur auf der Erde

zu erhalten imstande ist, da sie immer noch mehr Strahlung von der Sonne herein als von der Erde wieder herausläßt.

Die untersten Schichten der Atmosphäre sind in jeder Beziehung gut erforscht. Die ersten 10 km an Höhe bilden das Gebiet der meteorologischen Erscheinungen von Wolken und Wind. Regen- und Haufewolken sind die tiefsten, von den Schichtwolken, die gleich über dem Nebel schweben, abgesehen, die Mitte halten die Wolkenscheiter, während die höchsten die Federwolken sind. In diesem durch Ballonfahrten erforschten Gebiet zeigt sich eine Abnahme der Temperatur (im Mittel!), die von  $10^{\circ}$  an der Oberfläche bis  $-50^{\circ}$  in einer Höhe von 10 km geht. Dementsprechend bestehen die hohen und höchsten Wolken aus Eiskristallen statt der Nebeltröpfchen. Von diesem durchschnittlichen Verlauf kann jedoch besonders im Winter das gerade Gegenteil eintreten, nämlich eine Zunahme mit der Höhe. Ähnlich tritt in noch größeren Höhen als 10 km, wie sie durch Registrierballons erforscht werden, immer ein Stehenbleiben oder gar ein Steigen der Temperatur ein, wie z. B. nach Asmann in 14 km Höhe noch  $-54^{\circ}$  als Mittel sich findet.

Darüber hinaus fehlen alle Daten. Das Vorhandensein einer Atmosphäre wird bis 60 km aus dem Vorhandensein der Dämmerungsercheinungen, bis 200 km aus dem Auftreten der Sternschnuppen und Nordlichter geschlossen. 300 km sollen sich aus einer Beobachtung Bödickers als Höhe der Atmosphäre ergeben, wonach 3 Minuten vor Beginn einer Mondfinsternis die Wärmestrahlung des Mondes abzunehmen beginnt.

Wie die Atmosphäre in diesen Höhen aussieht, mag man ermessen, wenn man bedenkt, daß dort nur noch ein Luftmolekül auf das Kubikmeter kommen mag. Die Gase der Atmosphäre sind Stickstoff (mit den seltenen Edelgasen Argon, Neon, Krypton und Helium 79% des Gesamtvolumens), Sauerstoff (fast 21%) und sehr geringe Mengen von Kohlensäure. An dieser Zusammensetzung sind kaum jemals Änderungen beobachtet. Doch schließt Hann theoretisch auf eine Zunahme des Stickstoffs mit der Höhe derart, daß in 100 km Höhe nur noch 5% Sauerstoff vorhanden sind. Man neigt heute zu der Annahme, in größeren Höhen sowohl dem Wasserstoff, dem leichtesten aller Gase, wie dem Helium, dem zweitleichtesten, mehr Beteiligung an der Bildung der Atmosphäre zuzugestehen. Denn einem Vorhandensein von nur 0,01% Wasserstoff nach Gautier an der Oberfläche der Erdrinde würden 93% Wasserstoff in 100 km Höhe entsprechen.

Im ganzen dürfte die Masse der „Luft“ nahezu 5,3 Trillionen Kilogramm, d. i. der millionte Teil der Masse der festen Erde, wiegen, wie Emden theoretisch berechnet hat.

Nach neuesten Anschauungen soll auch das Zodiakallicht eine Erscheinung der Atmosphäre der Erde sein. Dann müßten wir uns die Luft in Gestalt einer flachen Linse in der Ebene der Erdbahn ausgebreitet denken bis zu Entfernungen von der Erde, die viele Male größer sind, als die oben angegebenen Zahlen. Diese Theorie dürfte

aber schon deshalb wenig bei den Astronomen anklingen, da ziemlich sicher nachgewiesen ist, daß die Achse des Zodiaklichtes mit der Ebene der Sonnenrotation zusammenfällt, daß das Licht mit der Sonne mehr zu tun hat als mit der Erde.

Theoretisch geht die Erdatmosphäre allmählich in den leeren Weltraum über oder vereint sich mit der allgemeinen Atmosphäre des Sonnensystems, gegen deren Verdünnung selbst die höchsten „Röntgenvakua“ noch dicke Atmosphären darstellen.

Nach der kinetischen Gastheorie ist die Atmosphäre überhaupt stark von der Anziehungskraft des Planeten abhängig. Da nämlich die Gasmoleküle in heftiger Bewegung sind, derart, daß zu einer als Mittel in die Erscheinung tretenden — die Temperatur des Gases bedingenden — Geschwindigkeit der Moleküle das einzelne Molekül doch wesentlich größere (auch kleinere) Geschwindigkeiten nach dem Verteilungsgesetz der Wahrscheinlichkeitsrechnung erlangen kann, so werden stets bei bestimmter Temperatur einige solche Moleküle der Erde Lebewohl sagen und sie in parabolischer Bahn verlassen. Nach einer bekannten Formel kann man leicht ausrechnen, daß dies für Wasserstoff bei der Erde gerade schon ziemlich häufig der Fall sein wird, so daß Wasserstoff nur in großen Höhen bei sehr geringer Temperatur vorhanden sein wird. Dem ist allerdings eine Berechnung A. Ritters und Emdens entgegenzuhalten, wonach die Temperatur, bei der eine Wasserstoffatmosphäre die Erde gänzlich verlassen müßte, doch so hoch ist, 15060° absoluter Temperatur, daß man berechtigt ist zu sagen, Wasserstoff kann sehr wohl von der Erde festgehalten werden.

### Der Erdmond.

Unter allen Monden von Planeten nimmt der Erdmond seines Größenverhältnisses wegen eine besondere Stelle ein: sein Durchmesser ist der 3,7. Teil, seine Masse der 81. Teil der Erde. Seine Entfernung von der Erde, 385000 km im Mittel, gestattet uns auch eine wesentlich eingehendere Erforschung seiner Oberfläche, als dies die anderen Planeten tun.

Allerdings ist seine Nähe auch ein Nachteil besonders für die rein astronomische Festlegung seiner Bahn, da alle „Störungen“ seiner Bahn uns in Größenverhältnissen erscheinen, die wir sonst nicht gewohnt sind. Zusammen mit dem obigen Umstande, daß die Störungen wegen der Stellung und des Massenverhältnisses von Sonne, Erde und Mond die größten Beträge im ganzen Planetensystem erreichen, ergibt sich das Resultat, daß die Mondbahn von allen Bahnen am unzuverlässigsten bestimmt ist, so daß in der Voraussage von Sonnenfinsternissen immer noch eine für den sonstigen Stand der Astronomie bedeutende Ungenauigkeit (bis zu  $\frac{1}{2}$  Minute) herrscht.

Die bedeutendste Störung der Mondbahn ist das Wandern der Apfidenlinie, der großen Achse der Bahnellipse, die durch die Sonne

hervorgebracht wird. Steht nämlich der Mond der Sonne nahe, der Erde fern (Neumond in Erdferne), so entfernt ihn die Sonne noch etwas mehr von der Erde, die Apsidenlinie schreitet vor, da die Erdferne eben noch etwas später eintritt. Ebenso wenn Vollmond mit Erdnähe zusammenfällt. Außer dem Vorschreiten erfolgt in den entgegengesetzten Fällen, z. B. wenn Neumond mit Erdnähe zusammenfällt, ein Rückschreiten. Im ganzen überwiegt aber das Vorschreiten, so daß in 9 Jahren etwa ein Umlauf erreicht ist. Ähnlich wirkt die Sonne störend auf die Knoten der Mond- und Erdbahn ein. Die Mondbahn ist  $5^\circ$  gegen die Erdbahn geneigt: die Schnittlinie beider Bahnebenen heißt die Knotenlinie. Nun zieht die störende Anziehung der Sonne den Mond stets in die Erdbahnebene. Wenn also die Knotenlinie nicht gerade auf die Sonne zeigt, so beschleunigt diese Kraft sein Absteigen und Aufsteigen in die Ebene, er erreicht den Knoten früher als er es nur der Erdschwere folgend täte. Die Knotenlinie läuft also zurück, in 18,6 Jahren einen Rücklauf vollendend. Die Neigung selbst wird ebenfalls gestört, aber in beiderlei Sinn, so daß sich die Beträge im Mittel aufheben.

Die Mondbahn erscheint, infolge des Wanderns der Knoten, nach einiger Zeit in anderer Richtung gegen die Erdbahn um  $5^\circ$  geneigt. Bekanntlich finden in den Knoten die Sonnen- und Mondfinsternisse statt. So ergibt sich die als Saros bekannte Periode der Finsternisse von 18,6 Jahren. Nach dieser Zeit treten die Finsternisse wieder an demselben Himmelsort und damit (wegen der Sonnenstellung) an den gleichen Jahrestagen auf. Auf dieser Periode beruhte die Finsternisvorhersage der alten Kulturvölker. Das Wandern der Knotenlinie bringt noch eine andere Wirkung hervor: denn da die Ekliptik selbst gegen den Äquator geneigt ist — die Sonne steht im Sommer im oberen Bogen oberhalb des Äquators und umgekehrt im Winter — so kann, wenn der aufsteigende Knoten der Mondbahn mit dem aufsteigenden Knoten der Ekliptik gegen den Äquator zusammenfällt, der Mond noch nördlicher stehen als der Sommerbogen der Ekliptik. Seine Neigung addiert sich zur Neigung der Ekliptik:  $23,05 + 5^\circ = 28,0^\circ$ . Der Mond kann also noch  $5^\circ$  höher zu stehen kommen als die Sonne am 21. Juni. Das ist im Sommer zwar der Neumond, im Winter aber der Vollmond. Vielleicht ist dem Leser diese extreme hohe Mondstellung, die gerade „aktuell“ ist, im vorigen Winter aufgefallen. Ebenso tief steht dementsprechend der Sommervollmond. Ja, in etwa  $61^\circ$  Breite ist der Mond im Dezember 1913 und 1914, ähnlich der Mitternachtssonne, in  $66\frac{1}{2}^\circ$  Breite am hellen Mittag zu sehen gewesen: Die Sonne tief im Süden, der Vollmond im Norden gerade im Horizont. Dafür ist im Sommer 1913 und 1914 in diesen Breiten der hübsche Fall eingetreten, daß weder Sonne noch Vollmond sichtbar waren. Die Erscheinung der extremen Mondstellungen wollen einige Wetterpropheten mit dem extremen Wetter zusammenbringen, das uns die letzten Jahre gebracht haben. Wenn nämlich der Mond aus hohen nördlichen Deklinationen

herabsteigt zu ebenso tiefen südlichen, so muß er durch die Ebbe und Flut des Luftmeeres eine bedenkliche Unruhe und große monatliche Schwankungen in dieses hineinbringen. Hoffen wir also auf die Zeit um 1921 herum, wo der entgegengesetzte Fall eintreten wird: die Mondbahn liegt dann zwischen Ekliptik und Äquator und das Auf und Ab des Mondes beträgt nur  $37^\circ$  gegen jetzt  $57^\circ$  in einem Monat.

Außer diesen Hauptstörungen erleidet die Mondbahn noch weitere feinere Störungen, so daß Hansen, dessen klassischen Mondtafeln noch heute die Rechnungen zum Teil folgen, 1857 beim Vorwärtsschreiten des Mondes (in Länge) 202 Störungen (Gleichungen sagt der Astronom, weil er sie in Gleichungen faßt und damit rechnet), beim Auf- und Absteigen zur Erdbahn (in Breite) 124 Gleichungen und in der Entfernung von der Erde (im Radiusvektor) 189 zählt. Der Mond ist damit kein leichtes Problem für den Rechner, seine Bahn ist die verwickelteste, die wir kennen. Und vielleicht urteilt der Leser weniger hart, wie jener guter Bürger, der sich schwer beklagte, als eine vom Verfasser gelieferte Sonnenfinsternisberechnung bis auf  $\frac{1}{2}$  Minute nicht „stimmt“. Aber abgesehen von der eigentlichen Bahn hat der Mond auch sonst noch große Besonderheiten: er zeigt Phase, der Sonne immer die beleuchtete Seite zukehrend, während er der Erde immer das gleiche Gesicht zeigt, da er es so einzurichten versteht, sich in der gleichen Zeit einmal um sich selbst zu drehen, in der er um die Erde tanzt. (Die Alten sahen nicht ein, daß er sich dabei selbst auch drehen müsse!) Aber infolge seiner Bahnverhältnisse, die ja recht unregelmäßig sind, klappt dies Versteckspielen nicht immer so ganz, da doch die Achsendrehung natürlich ganz regelmäßig erfolgt. Infolgedessen zeigt uns unser Gesicht doch im Westen und Osten ein wenig von seiner Rückansicht, was die Astronomen als Libration bezeichnen: „hin- und herwiegen“; es gibt nämlich noch mehrere Gründe der obigen Art: da die Mondachse nicht auf der Mondbahn senkrecht steht, so können wir „dem Burschen außer hinter die Ohren auch über den Scheitel“ und unter das Kinn sehen, um mit den Worten Julius Franz' zu reden, von dem die Formeln stammen, nach denen heute die Libration berechnet wird. Eine letzte Libration, die im Gegensatz zu der bisher erwähnten sogenannten optischen, die parallaktische heißt, erfolgt, weil wir beim Aufgang dem Mond hinter die westliche (am Himmel, östliche für einen Mondbewohner) Seite, umgekehrt bei seinem Untergang hinter seinen östlichen Rand (sein rechtes Ohr) blicken können. Im großen und ganzen ist der Betrag nicht groß, etwa  $10^\circ$  höchstens, die dazu noch in starker Verkürzung erscheinen.

Die Einwirkung des Mondes auf die Form der Erdrinde führt uns weiter: Newton hat zuerst richtig die Erscheinung von Ebbe und Flut als Folge der Anziehung des Mondes erklärt. Der Mond zieht die ihm zugewandten Ozeane stärker an, als den Kern der Erde; diesen wieder stärker als die ihm abgewandten Massen. Daher wird die Erde in der Richtung auf den Mond in ihrer Form verändert, ver-

längert. Bezogen auf den Mittelpunkt der Erde bilden sich also zwei Flutberge um die Orte aus, die den Mond über bzw. unter sich haben. Da die Erde sich schneller dreht als der Mond in seiner Bahn, so müssen die Flutberge die Erde umkreisen, zweimal in 25 Stunden Flut und zweimal Ebbe erzeugend. Es ist bekannt, daß die Flutwelle in einzelnen große Verschiedenheiten aufweist, je nach der Ausdehnung und Tiefe der Ozeane und der Gestalt und Lage der Küsten (von dem Einfluß des Windes ganz abgesehen!). So hat die Ostsee nur wenige Zentimeter Gesamtflut, die Nordsee 2—3,5 m (Wilhelmshaven), England kennt schon 9—12 m Gesamtflut, in der Fundy-Bai in Kanada mißt man 21,5 m Gesamtflut durch das Anstauen der Wassermassen in Buchten. Flutvorausgogen sind natürlich für die Schiffahrt eine wichtige Sache, wobei besonders die Fluthöhe bei Einfahrtsschwierigkeiten von Wert ist. Man benutzt in England eine Maschine, um die jederzeit zu erwartende Höhe ablesen zu können, die sehr stark natürlich von der mehr nördlichen oder südlichen Stellung des Mondes, von seiner Entfernung von der Erde, von seiner Stellung zur Sonne u. a. abhängt. Die Flut entwickelt sich im Stillen Ozean, durchläuft den Stillen Ozean, tritt am Kap der guten Hoffnung in den Atlantik und durchläuft ihn ausstrahlend von Südost nach Nordwest. Die Nordsee erhält ihre Flutwelle einerseits aus dem Ärmelkanal, andererseits aus dem Norden Englands. Diese Flutwelle ist natürlich nur noch ein „Ausläufer“ der eigentlichen Flutwelle; man nennt sie „freie Welle“. Sie kommt merklich später an, als der Mond den Meridian passiert. Die Differenz heißt Hafenzzeit. Sie ist für jeden Ort nahezu eine Konstante, ändert sich mit der Stellung des Mondes zur Sonne.

Uns interessiert hier die Erscheinung von Ebbe und Flut eigentlich mehr in Beziehung auf den Mond: denn genau so wie die Erde vom Mond, wird der Mond von der Erde beeinflusst werden, wird also Ebbe und Flut gezeigt haben, als er noch selbst flüssig war oder Wasser enthielt. Diese Flutbewegungen mußten aber notwendigerweise der Rotation des Mondes entgegenwirken und sie zu verhindern streben (genau so wie sie dies bei der Erde tun müssen). Es erklärt sich also bei der Stärke der Einwirkung durch die größere Erdmasse, daß der Mond der Erde dieselbe Seite zuwendet, und wir dürfen erwarten, daß dies nicht nur bei unserem Mond der Fall sein wird, sondern bei allen Monden im Planetensystem, falls sie der Erzeugung einer Flutwelle zugänglich gewesen sind. Ja wir haben bei Merkur und Venus gehört, daß wahrscheinlich die Sonne ihre Planeten zu dem gleichen Schicksal zu verdammen sucht, und vielleicht verdankt die Erde ihre schnelle Rotation überhaupt nur dem Vorhandensein des Mondes, dessen Flutwelle viel bestimmender für sie ist, wie die von der Sonne erzeugte. Wenn diese Einwirkung der Erde auf unseren Mond richtig ist, muß seine Gestalt in zweifacher Weise von einer Kugel abweichen: erstens muß er abgeplattet sein, wegen seiner Achsendrehung, zweitens muß er verlängert sein in der Richtung auf die

Erde. Während das erste nicht nachweisbar ist, hat Franz in Königsberg aus einem Nivellement das zweite feststellen können: der Mond ist um 1:1000 in Richtung auf die Erde verlängert.

Außer diesem direkten Einfluß der Erde auf den Mond muß aber eine Rückwirkung der gebremsten Flutwelle der Erde auf den Bahn-umlauf des Mondes vorhanden sein, derart, daß der Mond ebenfalls in seiner Bahn zurückgehalten wird. Während die Flutwelle auf der Erde also den Tag zu verlängern sucht, bewirkt die die Flutwelle bremsende Erde eine Verlängerung der Umlaufzeit des Mondes, des Monats. Diese Verlängerung muß auch heute noch anhalten und wird nach Darwin bewirken, daß dereinst Erdentag und Monat beide gleich 55 unserer heutigen Tage sind. Mit diesem Vorgang ist eine Entfernung des Mondes von der Erde verbunden. Gehen wir umgekehrt zurück, so muß es einen Zeitpunkt gegeben haben, in dem sowohl Tag wie Monat sehr klein waren (Darwin findet 5 Stunden). Dann war der Mond der Erde sehr nahe, sie bildeten das System eines sich berührenden Sternpaares oder eine Masse, die der Poincaréschen birnenförmigen Flüssigkeitsmasse entsprechen könnte. Darwin gibt auch die Möglichkeit einer Erklärung der Abtrennung des Mondes an und benutzt dabei zum ersten Male einen Gedankengang, der überhaupt eine große Rolle bei der Sprengung der Himmelskörper gespielt haben dürfte: die Resonanz. Die Schwingungen eines Körpers werden am heftigsten auftreten, wenn die erzeugende schwingende Kraft die gleiche „Periode“ hat, sich in gleichen Zeiten wiederholt, wie die „Eigenschwingung“ des Körpers. Als nun noch Mond und Erde einen Körper bildeten, der schnell rotiert haben wird, wird die Sonne auf dieser Erde Fluten erzeugt haben. Diese umlaufenden Fluten sind aber weiter nichts als Schwingungen. Sobald daher durch die Flutreibung die Rotation der Erde soweit verlangsamt war, daß ihr Tag gleich der Periode ihrer Eigenschwingung war, mußten die Fluten zu gewaltigen Höhen ansteigen, die schließlich zur Lostrennung eines Flutberges als „Mond“ führten. Darwin führt diese Spekulation unter allem Vorbehalt an; in der Tat läßt sich viel dagegen sagen (wie sollte z. B. eine zweite Abtrennung vor sich gehen oder gar vier beim Jupiter, wo doch der übrigbleibende Körper eine kleinere Periode der Eigenschwingung haben wird?).

Wenden wir uns dem Gesicht des Mondes selbst zu. Schon dem bloßen Auge zeigt er die grau-grünen Flecke, die als Mare bezeichnet werden. Sie umziehen den Mond in einem Gürtel, der sich auch auf der Rückseite fortzusetzen scheint. Schon in mäßigen Fernrohren zeigen sich in ihnen Bodenwellen und kleine oder größere Bergformationen, so daß wir in ihnen nur ausgedehnte Ebenen, nicht wirkliche Meere vor uns haben. Franz' Höhenschichtenkarte des Mondes zeigt, daß ihr Niveau zum größten Teil allerdings tiefer liegt als das „Normalnull“ des Mondes, doch befindet sich z. B. das Mare Tranquillitatis ziemlich hoch, so daß man nach dem heutigen Stande nicht einmal

behaupten kann, die Mareebenen wären früher Meeresboden gewesen.

Im Fernrohr zeigt der Mond noch folgende Oberflächeneinheiten: Krater, das sind ringförmige Wälle jeder Größe, wenige aber ausgedehnte und hohe Kettengebirge, eigenartige Risse, Rillen genannt, und besonders in der Nähe des Vollmondes von Kratern ausgehende weiße Strahlen.

Die Krater kommen in allen Größen vor, vom kleinsten Tüpfelchen, daß sich ziemlich spitz aus einem Mare aufwirft und eine gerade noch erkennbare Vertiefung hat, bis zum Durchmesser von 100 km; noch größer werdend verlieren sie die regelmäßige Rundung, man nennt sie dann Wallebenen; diese wieder gehen in die Mareebenen über, so daß man berechtigt wäre alle Formationen dieser Art einheitlich zu behandeln. Demgegenüber zeugen die Kettengebirge, daß die gleichen gebirgsbildenden Kräfte wie auf der Erde auch auf dem Mond geherrscht haben. Die Mondkrater dürfen kaum mit den

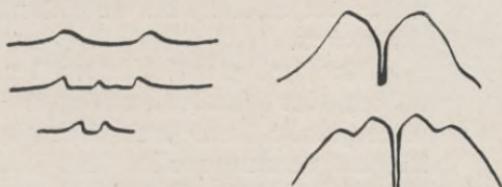


Abb. 13. Querschnitt von terrestrischen (rechts) und lunaren (links) Kratern.

irdischen Vulkanen auf eine Stufe gestellt werden, da ihr Querschnitt zu große Verschiedenheiten zeigt (Abb. 13). Andererseits zeigen irdische Gegenden mit starkem Vulkanismus große Ähnlichkeit mit Mondlandschaften. Dieser äußeren Ähnlichkeit dürfte auch zum größten Teile eine Analogie der Entstehung entsprechen.

So sind die meisten Forscher, Sueß, Ebert, Stübel, Günther u. a., von den verschiedensten Seiten her an das Problem herangehend, zu dem Schluß gekommen, daß die auf der Erde wirkenden vulkanischen Kräfte genügen dürften, die Mondkrater zu erklären, wenn man nur bedenkt, unter wie veränderten Umständen sie auf dem Monde zu wirken Gelegenheit hatten. Ist doch die Schwerkraft an der Oberfläche des Mondes nur der 6. Teil der an der Erdoberfläche wirkenden Schwere, so daß gleiche bei der Zusammenziehung auftretende Kräfte sechsmal größere Beschleunigungen (z. B. beim plötzlichen Zerreißen einer Erstarrungskruste) hervorbringen werden. Ferner aber müssen auch die Kräfte noch stärker auftreten wie auf der Erde. Denn die Größe vulkanischer Kräfte wird im großen und ganzen der Schnelligkeit der Abkühlung entsprechend sein, diese aber ist beim Monde wesentlich größer gewesen wie bei der Erde, da das Verhältnis der Oberfläche

zur Masse bei ihm 6mal größer ist, so daß sich etwa 36mal größere Wirkungen vulkanischer Kräfte erwarten lassen.

Das Aussehen der Mondkrater führt aber zu einer Verfeinerung unserer Vorstellungen: viele Mondkrater haben deutliche Terrassenbildungen auf dem Innern ihrer Wälle, so daß wir berechtigt sind, an eine Entstehung durch mehrmaliges Emporschnellen flüssiger Magmen zu denken; als Zeuge des letzten Emporquellens ist dann oft ein Zentralberg übriggeblieben, und es ist nicht verwunderlich, daß Ebert u. a. mit geschmolzenen Metallen solche Bildungen mehr oder weniger „lunarischen“ Aussehens erzeugen konnte. Hierbei wird aber unseres Erachtens die Grundbedingung nicht erfüllt: denn wenn eine Erstarrungskruste reißt und hervorquellenden Magmen den Weg an die Oberfläche freigibt, so wird sie längs Bruchlinien reißen und nicht in einzelnen Punkten. Hier scheint eine Anschauung von Sueß und Stübel ergänzend einzutreten, der mehr an ein Aufschmelzen von der Tiefe aus denkt, wobei natürlich Bruchlöcher entstehen werden. Ebert denkt mehr an Überflutungen. Uns scheint das mehr dem Anblick, den der Mond darbietet, zu entsprechen.

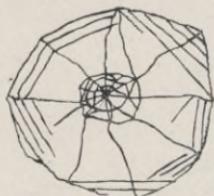


Abb. 14. Polygonale Risse nach Prinz.

Man hat zur Erklärung der ringsförmigen Gebirge des Mondes auch an aufstürzende Meteore gedacht, durch deren Durchschlagslöcher das Magma herausgequollen sein soll. Woher aber die Meteore die Energie nehmen sollen eine feste Kruste von einiger Mächtigkeit zu durchschlagen, die bei der sechsmal stärker anziehenden Erde keine bedeutenden Wirkungen hervorbringen, ist nicht ersichtlich. Nach anderen sollen die Meteore in Staubmassen einschlagen und man kann in der Tat in Sand oder Mehl durch Aufschlagen von Kugeln mondkraterartige Gebilde herstellen. Aber bei der Größe der Mondgebilde (die Mare eingeschlossen) ist ähnliches undenkbar. Zudem ist nachgewiesen, daß das Material der Mareebenen einem Glasfluß ähnlich ist, also nicht aus Staub besteht. Daß es sich nicht um Eis handelt, wie Fauth u. a. verteidigen, ist wegen der Hitze ausgeschlossen, die sich während der 14tägigen Sonnenbestrahlung wenigstens oberflächlich entwickeln muß.

Wir werden gut tun, die Aufschmelzungstheorie von Sueß und Stübel im großen und ganzen für die Krater, Ringgebirge, Wallebenen und Meere des Mondes als die beste Erklärung anzusehen.

Noch weiter verfeinert hat Prinz die Vorstellung von dem Entstehen der ringsförmigen Mondberge. Er schreibt dem Druck der flüssigen Gesteine von unten her nicht die Kraft zu, die Oberdecke aufzuschmelzen oder gar zu sprengen. Er nimmt an, daß die Kruste bei der Zusammenziehung gerissen sei und daß durch diese Risse das Magma herausgequollen sei. Die Risse in einer erstarrenden Schicht ordnen sich mehr oder minder in der Form der Abb. 14 an, so daß das herausquellende Magma die Form des Kraters erzeugte. Prinz stützt seine

Anschauung in dem auffälligen, nicht kreisrunden, sondern mehr sechs- oder achteckigen Umriß vieler Mondkrater und findet auch an dem Kilaueakrater und dem Mauna Loa diesen Umriß auf der Erde wieder. Prinz will selbst in keiner Weise diese Erklärung für alle Formen fordern, er stellt sich mit Bestimmtheit auf den Standpunkt, daß, eine einheitliche Erklärung aller Mondgebilde geben zu wollen, eine unrichtige Methode sei. Dabei setzt er natürlich stillschweigend doch voraus, daß die Bilder, die wir uns von einzelnen Vorgängen machen, sich zu einem widerspruchslosen Ganzen fassen lassen. Wir werden sehen, daß es hiermit noch schlecht bestellt ist.

Außer den ringförmigen Gebirgen kennen wir auf dem Mond eine Reihe bedeutender Kettengebirge, die namentlich das Mare Imbrium umgrenzen: Die Alpen, Apenninen und Karpathen. Sie dürften



Abb. 15. Skizze der Ariadäus- und Hyginusrille.

durch Faltung bei der Schrumpfung der Mondkugel entstanden sein, wie die Kettengebirge der Erde. Prinz ist geneigt mehr an Brüche zu denken und führt dafür als Beweis den steilen Böschungswinkel und den scharfen Grat an, was beides die irdischen Gebirge nicht zeigen. Doch dürfte eben der Faltungsprozeß auf dem Monde mit viel stärkeren Umwälzungen wie auf der Erde verbunden gewesen sein, so daß geringere Schwerkraft mit schnellerer Abkühlung wohl zur Erzielung der scharfen Formen genügten. Dazu ist das Material des Mondes wahrscheinlich nicht so schwer, wie das der Erde. Denn die mittlere Dichte des Mondes ist nur 6 Zehntel der Erddichte.

Damit wenden wir uns den rätselhafteren Bildungen des Mondes, den Rillen und Strahlen zu. An zahlreichen Stellen des Mondes sehen wir scharfe Risse weite Strecken den Boden durchziehend, spitz beginnend, spitz endigend, durch Täler und Erhebungen hinlaufend, hier einen Krater durchschneidend: es sind Rillen, deren größte zwei, die Ariadäusrille und die Hyginusrille ziemlich nahe beieinander liegen (Abb. 15). 425 Rillen beschreibt schon Schmidt, seitdem sind von Brenner, Fauth u. a. viele kleine hinzuentdeckt worden. Zu ihrer Er-

klärung erinnern die meisten Mondforscher an die Sprünge, die sich beim Eintrocknen in feuchtem Schlack bilden. Prinz und der deutsche Selenologe H. J. Klein haben auf die Ähnlichkeit wenigstens der großen Rillen mit den bei Erdbeben auftretenden Spalten hingewiesen und haben damit auf den Punkt gedeutet, der wohl am ehesten in der Geschichte der Entstehung unseres Trabanten eine Rolle gespielt haben wird. Vielleicht sind die Rillen die Überbleibsel der Risse, aus denen im allgemeinen die glutflüssige Lava herausquoll; so wäre z. B. das 13 km breite und über 100 km lange Quertal in den Alpen eine sehr hoch gelegene Rille, die von unten wieder fast völlig ausgefüllt worden wäre (Sauth). So erklärt sich z. B. auch das Aussehen der Hyginusrille, die der Länge nach mit winzigen kleinen Kratern besetzt ist, ja vielleicht überhaupt nur in einer Folge von solchen Kraterchen besteht. Wir möchten dazu vor allem noch bemerken, daß man sich nicht auf Grund photographischer Aufnahmen, wie sie zu stark vergrößert von den meisten abgebildet werden, ein Bild der Rillen machen soll. Im

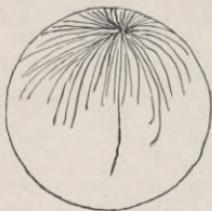


Abb. 16. Sprünge in einer von innen gesprengten Glaskugel.

(Nach Nasmuth und Carpenters Versuch.)

Fernrohr erscheinen sie dem geübten Auge viel charakteristischer. Die Detailphotographie der Planeten und Monde wird es wohl niemals zu anderer Bedeutung bringen, als der, die im Festhalten des Bildes liegt: Die feinsten Einzelheiten sieht nur das Auge. Alle Zeichner lehnen daher die Photographie mit Recht ab. Solange die amerikanischen Riesensfernrohre nicht mehr im Photogramm festhalten, als ein kleines Fernrohr von 10 cm Objektivdurchmesser zeigt, werden Mond- und Planetenzeichnungen ihre beherrschende und allein entscheidende Stellung behalten.

Noch rätselhafter als die Rillen sind die Strahlensysteme, die nur in der Nähe des Vollmonds sichtbar von vielen der größeren Krater, so besonders von Tycho ausgehen und gewaltige Strecken alles überdeckend die Mondkugel umspannen. Meist sind sie größte Kreise der Kugel, bei Kopernikus z. B. aber sind sie auch gekrümmt. Sauth sagt: „es ist gerade so, als ob jemand auf einem blaßcremefarbenen Reliefglobus radiale, flüchtig über die Höhen streifende Pinselstriche gemacht hätte, so daß etwa alle hervorstehende Rücken und Teile der Ebene, welche zwischen ihnen in geringe Berührung mit dem Pinsel gekommen wären, Spuren der weißen Farbe behalten hätten.“ Bei Tycho liegt zwischen dem Kraterwall und dem Beginn des weißen Strahlenkranzes ein dunkler Streifen, und die weißen Ringe und Flecken auf der Mondoberfläche sind wahrscheinlich der Beginn derselben Erscheinung um sichtbare oder unsichtbare Krater. Erhebungen oder Vertiefungen sind die Strahlen nicht. Zur Erklärung der Strahlensysteme hat man an Aschenauswürfe zunächst gedacht. Dann an eine chemische Zersetzung durch Gase. (Sueß) Nasmuth und Carpenter sprengten eine Glaskugel, wobei sich Sprungsysteme bildeten, die auch in

größten Kreisen um die Kugel laufen (Abb. 16). Eine restlose Erklärung ist damit noch nicht geliefert. Denn wie sollten Aschenauswürfe mit der Aufschmelzungstheorie in Zusammenhang stehen? Oder chemische Beschläge mit der auffälligen Tatsache der Sichtbarkeit nur im Vollmonde. In letzter Zeit haben Miethe und Seegert an eine Entdeckung Woods angeknüpft und nachgewiesen, daß die verschiedenen Mondgegenden sehr verschieden „gefärbt“ sind, sehr unterschieden in ihrer Reflexion ultravioletter bzw. roter Strahlen. Zwei Bilder des Vollmondes, von denen das eine mit Rot-, das andere mit Ultraviolett-



Abb. 17. Selektive Reflexion des Mondes nach Miethe und Seegert. Schraffierte Stellen reflektieren mehr Ultraviolett, punktierte mehr die langen Wellen. Gekreuzt ist der Woodsche Fleck.

filter photographiert ist, zeigen starke Helligkeitsunterschiede. So fehlt dem von Wood entdeckten Fleck bei Aristarch fast jede Reflexion von Ultraviolett (Abb. 17). Miethe und Seegert hoffen mit ihrer Methode einen Schritt weiter auf dem Wege zu kommen, der zur Beantwortung der Frage führt: welches Material bildet die Mondoberfläche? Die sonst so mächtige Spektralanalyse versagt bei nicht selbstleuchtenden Körpern völlig.

Auch das Polarisoskop hat man auf den Mond angewandt und gefunden, daß der Polarisationswinkel des Mondmaterials am besten dem einiger glasartigen Gesteine entspricht, keinesfalls aber dem Eis. Auch die Albedo des Mondes (er sendet uns etwa 10—14% des auf-

fallenden Lichtes zurück) spricht für ein ziemlich dunkles Gestein und gegen eine vereiste Oberfläche.

Daß Wasser und Luft auf dem Monde so gut wie nicht vorhanden sind, geht aus Beobachtungen von Sternbedeckungen am Rande des Mondes hervor, die urplötzlich ohne Helligkeitsabnahme erfolgen. Pickering will einmal beim Freiwerden des Jupiter spektroskopisch Wasserdampf nachgewiesen haben. Auch bei Sonnenfinsternissen mußte sich die Atmosphäre als Rand verraten. Nach einer irrtümlichen, seinerzeit viel Aufsehen machenden Rechnung Hansens läge die Hydro- und Atmosphäre des Mondes auf der von uns abgewandten Seite, da der Schwerpunkt des Mondes 59 km hinter seinem Mittelpunkt von der Erde aus läge. Da sich aber Wasser und Luft als Kugel um den Schwerpunkt formen, so bleibt die vordere Halbkugel frei von beiden. Die 59 km waren aber ein Fehler!

Versehen wir uns nach diesen Kenntnissen auf den Mond, so dürften wir auf einem trostlosen toten Stein anlangen: kein Wasser, keine Luft, kein Leben, blendende heiße Sonnenstrahlung oder schwarze Nacht, keine Dämmerung, kein Schutz vor Meteoren, kein Verwittern oder Abschleifen der scharfen Gesteinsoberflächen durch die Tätigkeit von Wasser und Luft. Dafür aber ein wundervoller Himmel: die Sonne im dunklen Weltenraum hängend, neben ihr die Sterne jederzeit sichtbar, Merkur, Venus nahe der Sonne und vor allem stets an der gleichen Stelle des Himmels die Erde, ein viermal größerer „Mond“ mit dem wechselvollen Schauspiel der Achsendrehung, der Phase, den deutlichen Unterschieden von Land und Wasser, Wolken und Schnee an den Polen. Zu Zeiten, die wir „Neumond“ nennen, sehen die Mondbewohner, die gerade Nacht haben, die ewig beständige Erde voll beleuchtet, sie haben „Voll“-Erde, ihre Nacht wird deutlich erhellt, wie wir Erdbewohner an der jungen Mondsichel sehen können, deren dunkler Teil in einem matten Schein zu erkennen ist. Leonardo da Vinci, der ja nicht nur Maler, sondern auch ein kluger Erfinder und Beobachter war, hat das Licht zuerst richtig als her- stammend von der Erde erklärt. Heute will man sogar deutliche Unter- schieide in der Helligkeit dieses Erdlichts erkennen, je nachdem ob Land- oder Wassermassen oder helle Wolken das Licht dem Monde zusenden. — Daß das Erdlicht übrigens einem viel kleineren Kreise anzugehören scheint, als die helle Sichel, wird bekanntlich als Überstrahlung (Irra- diation) erklärt: helle Körper erscheinen stets größer als sie sind.

Die Mondforschung der letzten Jahrzehnte hat einem ganz beson- deren Problem eigentlich wenig Aufmerksamkeit erwiesen: der Frage, ob noch heute auf dem Monde Veränderungen seiner Oberfläche vor sich gehen und groß genug sind, erkannt zu werden. Der wahre Grund für das Nichtinteressante ist ein doppelter: einmal ist es sehr schwer, Veränderungen nachzuweisen. Dazu gehören der Natur der Sache nach sehr genaue Zeichnungen. (Die Photographien könnten höchstens als mehr oder minder rohe Unterlagen für Zeichnungen dienen). Aber auch

genaue Zeichnungen, selbst wenn sie vom ganzen Monde vorhanden wären, lassen nicht ohne weiteres Veränderungen nachweisen, da dieselbe Örtlichkeit auf dem Monde je nach dem Sonnenstande und der Jahreszeit, dem Monatstag und je nach der Größe der Libration ganz verschiedene Ansichten zeigt. Dieselbe Gegend bei zunehmendem und abnehmendem Mond hat ja ihren Schattenwurf nach entgegengesetzten Seiten, sie erscheint völlig neu. Diese Schwierigkeit ist so groß, daß die meisten Forscher heute gelegentlich behauptete Umbildungen auf ihr Schuldteil setzen, ob mit Recht oder Unrecht läßt sich noch nicht entscheiden.

Lassen wir mit H. J. Klein Schröters unsichere Ansichten fort, so scheint Julius Schmidt in Athen der erste gewesen zu sein, der am Krater Linné eine Veränderung feststellen zu können glaubte, indem er sich auf die Autorität der Karten von Lohrmann und Mädler, verdienten Mondtopographen, stützte. Danach soll Mädler einen richtigen Krater an dieser Stelle (frei im Mare Serenitatis) gesehen haben. An dieser Stelle erscheint aber heute nur noch ein heller Fleck, der allerdings nach Pickering auch sein Aussehen verändert haben soll. Es ist auffällig, daß der alte Mädler, auf die vermutete Veränderung aufmerksam gemacht, behauptete, ihn so wie stets zu sehen. Er war allerdings schon sehr alt und schlecht bei Gesicht, als dies geschah. Es war dann im Jahre 1877 H. J. Klein, der eine Neubildung in der Nähe von Hyginus behauptete und auch heute noch bei seiner Meinung geblieben ist. Auch Brenner will südlich von Hyginus Veränderungen der Oberfläche bemerkt haben, ebenso Krieger 1894 nahe der Kleinschen Kratergrube einen kleinen Krater, der früher nicht vorhanden gewesen sein soll. Jedenfalls ist die Gegend des Hyginus verdächtig geworden, und vielleicht bringen die kommenden Zeiten hier einmal den unanfechtbaren Beweis eines Einsturzes; denn um Einstürze vielleicht infolge der Temperaturschwankungen kann es sich wohl heute nur noch handeln. Eine vulkanische Tätigkeit kann man heute auf dem Monde nicht mehr annehmen.

### Mars.

Nach ungefähr 780 Tagen erscheint am Nachthimmel ein schöner feuerroter Planet, zuletzt im Januar 1914 in den Zwillingen, der Mars. An ihm hat Tycho Brahe seine Messungen gemacht, auf Grund deren Kepler die Elliptizität der Bahn festgestellt hat. In der Tat ist die Marsbahn erheblich elliptisch, so daß der Mars in Sonnennähe 207 Millionen Kilometer, in Sonnenferne aber 249 Millionen Kilometer vom Zentralkörper entfernt ist. Ein Glück für Kepler! Die Bahn durchläuft er in 687 Tagen. Die Elliptizität der Bahn bringt es auch mit sich, daß er nicht immer der Erde in der Opposition (Sonne—Erde—Mars in einer Geraden) gleich nahe ist. In der günstigsten Opposition ist Mars nur 55 Millionen Kilometer von der Erde entfernt, in der

ungünstigsten aber 102 Millionen Kilometer. Daher die Unterschiede in den Entdeckungsmöglichkeiten bei den einzelnen Oppositionen: im günstigsten Falle erscheint Mars 27", im ungünstigen 15" groß. Günstige Oppositionen treten aber nur in Abständen von 15 Jahren etwa ein.

Die Masse des Mars ist leicht und genau zu bestimmen, da er zwei Monde besitzt. Danach ist Mars 3093 500 mal leichter als die Sonne. Daraus folgt, daß er 94 mal leichter als die Erde ist. Da aus Messungen seines scheinbaren Durchmessers (9,"4 in der Entfernung Eins, d. i. 149 500 000 km) sein wahrer Durchmesser zu 6780 km folgt (12750 bei der Erde), so ergibt sich, daß sein Material nur 0,7 mal so dicht wie das der Erde ist.

1666 bestimmte G. D. Cassini die Umlaufszeit des Mars aus Fleckenbeobachtungen zu 24<sup>h</sup> 24<sup>m</sup>. Genauere Bestimmungen lieferte



Abb. 18 Schnee am Pol des Mars.

dann Herschel mit seinen großen Spiegelteleskopen. Auf Grund dieser nun schon mehr als hundert Jahre zurückliegenden Beobachtungen wissen wir die Rotationsdauer des Mars heute sehr genau: 24<sup>h</sup> 37<sup>m</sup> 22<sup>s</sup>,65 beträgt sie. Ebenso hat man gefunden, daß diese Drehung des Mars nicht parallel zu seiner Bahnebene erfolgt, sondern daß beide Ebenen wie bei der Erde (Schiefe der Ekliptik = 23° 27') einen Winkel von fast 25° einschließen. Diese Schiefe der Rotationsachse zur Bahnebene bewirkt aber das Auftreten der Jahreszeiten, indem der Nordpol des Planeten abwechselnd nach einem halben Umlauf der Sonne zu- oder abgewandt ist. (Die Achse bleibt wie die Achse eines freischwebenden Kreisels, z. B. die Achse eines Geschosses aus gezogenem Lauf, sich selbst parallel.)

Schon vor Herschel sah Huyghens 1672 mit seinem einlinzigen, nicht auf Farbenfreiheit verbesserten Glas am Südpol des Mars einen hellen Fleck, die Polarkappe, die heute jedes mittlere Fernrohr zeigt, wenn sie vorhanden ist. Sie ist nämlich immer auf dem Pol vorhanden,

der gerade von der Sonne abgewandt ist, der also Winter hat. Auf dem Pol, der Sommer hat, ist sie meist verschwunden oder im Verschwinden begriffen. Übrigens bildet sich der Polarsleck, den man einfach als „Schnee“ (nix) bezeichnet, stärker auf dem Südpol des Mars aus. (In der Tat ist wegen der Elliptizität der Bahn der Winter für die Südhalbkugel länger.) Wilhelm Herschel entdeckte dann die Veränderlichkeit der Polkappen und sprach als erster die Vermutung aus, daß es sich um Schnee handeln könne, da die Abnahme mit dem Fortschreiten der Jahreszeiten zu tun habe. Die verschiedenen Winter sind verschieden ausgedehnt gewesen. 1837 dehnte sich der Südpolarsleck bis in 55° südlicher „areographischer“ Breite aus, 1877 nur bis —75°, in den letzten Jahren sind stärkere Winter nicht zu verzeichnen gewesen. Im Sommer erreicht der Fleck wenige Breitengrade Ausdehnung oder verschwindet sogar gänzlich. Bei dem Verschwinden der weißen Flecke wird ihr Rand dunkler, oft von einem dunklen Streifen umgeben, auch werden sie von dunklen Zonen zerschnitten, bis schließlich nichts oder nur ein kleiner Fleck in der Nähe des Pols übrigbleibt.

Wenden wir uns erst weiteren Beobachtungstatsachen zu, ehe wir an eine Erklärung der Marsphänomene herangehen. Nachdem schon Herschel die größten Oberflächengebilde des Mars festgelegt hatte, zeichneten anfangs des 19. Jahrhunderts Beer und Mädler mit gutem Fernrohr die erste Marskarte (1830). Auf ihr treten bereits feinere Einzelheiten, runde helle Flecke, die von dunklen Linien umgeben sind, auf, auch dunkle runde Punkte und sehr feine Linien. Das vorhandene Material wurde schon 1864 von Kaiser in Leyden zu einer Karte des Mars verarbeitet. Daraus, daß alle Beobachter im großen und ganzen dasselbe gezeichnet haben, wenn man von perspektivischen Verzerrungen nach dem Rande der Kugel hin absieht, folgt ein wichtiger Beweis dafür, daß wir es mit Wirklichkeiten zu tun haben, die ungefähr so sind, wie sie gezeichnet werden, und sich nicht stark verändern. Da brachte in den Oppositionen die Siebziger Jahre der Mailänder Schiaparelli († 1910) mit einem Schlage unsere Kenntnis der Oberfläche des Nachbarplaneten um ein gewaltiges Stück weiter. Während man bisher die hellen gelblichen Flecke und die etwa grünlichblauen dunklen ziemlich getrennt gezeichnet hatte, entdeckte Schiaparelli, daß ein Netz feiner grünlichblauer Linien die Flecken gleicher Farbe („Seen“ genannt) durch die hellen gelben Flecke („Land“ genannt) verbände. Schiaparelli nannte die Linien „Kanäle“, ohne damit etwas anderes zunächst zu beabsichtigen als im Bilde der einmal gewählten Bezeichnungen zu bleiben. Diese Kanäle haben die Auffälligkeit, schnurgerade zu laufen selbst auf Längen von 1000 und mehr Kilometer hin. Die Breite schwankt von 300 km beim Nilosyrtsis bis zu den feinsten, die eben das Auge noch wahrnehmen kann. Wichtig ist, daß kein Kanal im Lande anfängt oder endet, und daß alle Kanäle, die über den Äquator hinlaufen, diesen schneiden, ohne von ihrer Geradlinigkeit irgendwie abzuweichen. Schiaparelli sah lange Zeit die Kanäle

allein, erst allmählich lernten auch andere Beobachter sie erkennen, selbst solche mit größeren optischen Mitteln wie der Mailänder Astronom. Daß die Kanäle ebenfalls, wenn man so sagen darf, einen „reellen Hintergrund“ haben, geht daraus hervor, daß nicht nur die bedeutendsten, sondern oft auch ganz feine von verschiedenen Beobachtern gleich gezeichnet worden sind. Daraus folgt nun natürlich nicht, daß sie auf dem Mars so aussehen, wie unsere Fernrohre und aufs äußerste angestregten Augen sie uns zeigen. Auch heute noch sieht Lowell in Flagstaff die Kanäle als Linien, während andere, wie Antoniadi, der in Meudon bei Paris arbeitet, behaupten, nicht mehr schnurgerade Linien, sondern Anhäufungen von unregelmäßig verteilt liegenden Flecken zu sehen. Doch weiter: 1877/78 und 1881 hatte Schia-

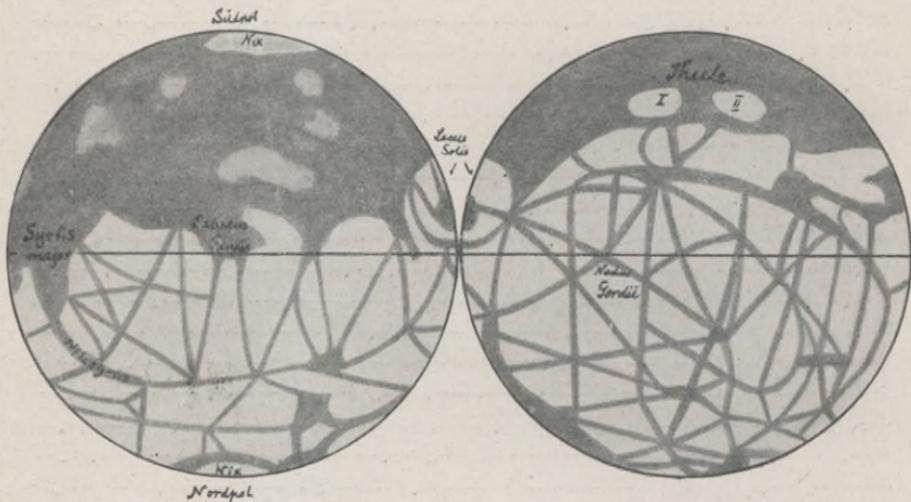


Abb. 19. Karte der beiden Halbkugeln des Mars nach Schiaparelli. Die Gegenstände und die Breite der Kanäle sind der Deutlichkeit wegen übertrieben.

parelli eine große Zahl von Kanälen, die er nacheinander gesehen hatte, zu einer Marsskarte vereinigt (Abb. 19), da entdeckte er 1882 in einer sehr günstigen Opposition des Mars am Nordhimmel, daß der Kanal Protonilus doppelt erschien. Bald erkannte er die Verdoppelung auch an anderen Kanälen. Dabei ist auffällig, daß die Verdoppelung meist nur sichtbar war, wenn der Kanal nahe der Mitte der Marsscheibe angelangt war. In der Tat zeigen Schiaparellis Zeichnungen, daß die verdoppelten Kanäle nach den Polen hin nicht mehr zu finden sind. Der Verdoppelung geht ein Verwaschensein voraus, es ist, als ob eine „Linie Soldaten durcheinanderlief, um sich dann in zwei getrennten Linien neu zu gruppieren.“ Auch die Verdoppelung ist von vielen Beobachtern gesehen worden, so daß an dem Sehen der Erscheinung jedenfalls nicht zu zweifeln ist.

Weitere Beobachtungen der Marsoberfläche haben dann das Auftreten von Trübungen einzelner Teile nachgewiesen, die besonders im Frühling—Herbst des Mars aufzutreten scheinen. Ganze Gegenden sind dann völlig unsichtbar. Im Winter wiederum zeigen sich die hellen gelblich-roten Flecke mit einer weißen Schicht überzogen, die niemals sich auf die grünen Flecke ausdehnen soll. Es wurde sogar berichtet, daß quer zu einem „Kanal“ ein weißer Streifen aufgetreten sei, durch den der Kanal aber dunkel hindurchgeführt hätte.

Stellen wir vor einen Erklärungsversuch noch die spektroskopischen Befunde: das Marspektrum ist natürlich zunächst einfach gleich dem Spektrum des Sonnenlichts, enthält also genau die gleichen Linien in gleicher Stärke. Zu diesen Linien könnten aber noch weitere Linien beim Durchgang des Lichts durch die Marsatmosphäre treten, oder vorhandene Linien könnten verstärkt werden. Da z. B. Wasserdampf sehr charakteristische Linien im Spektrum erzeugt und auf der Sonne nicht vorkommt, so wäre es nicht schwer, diese Linien oder aber ihr Fehlen im Marspektrum festzustellen, wenn nicht das Licht vom Mars her noch durch die Erdatmosphäre zu laufen hätte. Die Erdatmosphäre erzeugt also im Marspektrum auf jeden Fall die Wasserdampfbanden. Man hat dann im Mond einen hilfsbereiten Gesellen: er hat keine Atmosphäre, sein Spektrum zeigt nur die Wasserdampflinien so stark, wie sie beim Durchgang durch die Erdatmosphäre entstehen. Die Frage lautet dann also: zeigt das Marspektrum stärkere Wasserdampflinien als das Mondspektrum, und sie dürfte bejaht werden können, nach Lowell sogar sehr entschieden. Ähnlich ist es mit Sauerstoff.

Als sicher nachgewiesen kann allerdings Wasser auf dem Mars erst gelten, seitdem Campbell 1910 die Wasserdampflinien des Mars von denen der irdischen Atmosphäre getrennt hat, indem er die Tatsache benützte, daß die Spektrallinien sich (seitlich) verschieben, wenn der beobachtende und der beobachtete Körper sich gegeneinander bewegen (Dopplers Prinzip). Steht nun der Mars in Quadratur, das heißt ist der Winkel Sonne—Erde—Mars  $90^\circ$  groß, so läuft die Erde nahezu auf den Mars zu. An dieser Stelle ist der erwartete Effekt am größten, und hier sah in der Tat Campbell neben den sogenannten tellurischen Wasserdampflinien verschoben feine Linien, von fast dem dritten Teil der Stärke der ersten, die also durch Wasserdampf in der Marsatmosphäre hervorgerufen sein müssen. Da das Licht in der



Abb. 20. Schiaparellis Zeichnung eines Schneefalles senkrecht zu Kanälen.

Marsatmosphäre denselben Weg zweimal läuft, so muß also die Marsluft höchstens den 5. Teil an Wasserdampf enthalten, wie er damals über dem Mount Hamilton, auf dem Campbell beobachtete, lagerte. Mit dieser dünnen Atmosphäre steht die gefundene Albedo des Mars in Einklang; er sendet nur 22% des auffallenden Lichtes zurück.

Wenn aber Wasser auf dem Mars vorhanden ist, so liegt es nahe, die Polkappen als Eis anzusprechen, oder besser wohl als eine verhältnismäßig dünne Schneeschicht, da sie sehr schnell abschmelzen. Demnach würden die Seen und Kanäle, da sie restlos mit der Gegend um die Polkappen in Verbindung stehen und sich von ihnen aus mit vorschreitendem Frühjahr auffüllen, Wasser enthalten. Durch Konvektion, Transport in der Atmosphäre wird dieses Wasser immer wieder zu den kühleren Polen geleitet, wo es sich als Schnee oder Reif niederschlägt. Mit dem spektroskopischen Befund steht das im Einklang: Mars enthält sehr wenig Wasser.

Demgegenüber wird behauptet, daß die Oberflächentemperatur des Mars nur Eis anzunehmen gestatte. Denn aus der Sonnenbestrahlung folgt für Mars  $-37^{\circ}$  als Temperatur (Christiansen). Für die Erde folgt aber danach  $+6^{\circ},5$ , während doch die Temperatur der Erde im Mittel  $16^{\circ}$  etwa beträgt und im Extrem bis  $30^{\circ}$  ansteigen kann. Für den Mars folgt danach  $-27^{\circ}$  bzw.  $-13^{\circ}$ . Wegen der Klarheit seiner Atmosphäre dürften die Mittel-Temperaturen noch wesentlich höher sein, so daß wir Arrhenius jedenfalls soweit folgen können, sie, wenn auch nicht bei  $+10^{\circ}$ , so doch über  $0^{\circ}$  anzunehmen. Die Extreme aber müssen notwendig sehr viel größer sein. Der Einfluß der Kontraktionswärme ist dabei überhaupt nicht berücksichtigt und auch schwer zu fassen. Jedenfalls geht hervor, daß die weißen Polarkappen Schnee und nicht feste Kohlenäure sind, wie auch einmal ausgesprochen ist. Wir sind also berechtigt, in den dunklen Stellen Wasser zu sehen. Trübungen der Atmosphäre sind Wolken. Sie sind nahe der Lichtgrenze von Lowell mehrere Male gesehen. Weiße Streifen sind Neuschnee oder Reif, der die Wasserarme (oder auch Sumpfgenden) der „Seen“ und „Kanäle“ freiläßt. Daran wird auch durch die neuerdings entwickelten Ansichten von der völligen Vereisung des Mars nichts geändert. Nach Baumann wären zum Beispiel die roten hellen Flecke festes Eis, große Eisschollen, die in den „Kanälen“ geborsten dort Packeis etwa aufgeworfen hätten. Um die rote Farbe der Eisschollen zu erklären, muß er dann schon an Vulkanstaub denken und kommt damit zu einer Vulkanvereisungshypothese. Das einfachste aber muß man so lange als richtig annehmen, als es nicht widerlegt wird.

Die Geradlinigkeit der Kanäle ist allerdings etwas Rätselhaftes; es schien eine Zeitlang so, als ob die Geradlinigkeit sich als optische Täuschung herausstellen sollte. Cerulli, Maunder und andere behaupteten, eine Reihe unregelmäßiger Flecke wurden vom Auge summiert zu geraden Linien, und Antoniadi zeichnet heute die Kanäle dementsprechend mit unregelmäßigen Flecken, während er früher mit ge-

ringeren optischen Mitteln gerade Linien zeichnete. Maunder bewies seine Ansicht, indem er Schulkinder Figuren mit unregelmäßigen Flecken aus großen Entfernungen zeichnen ließ, die dann in der Tat

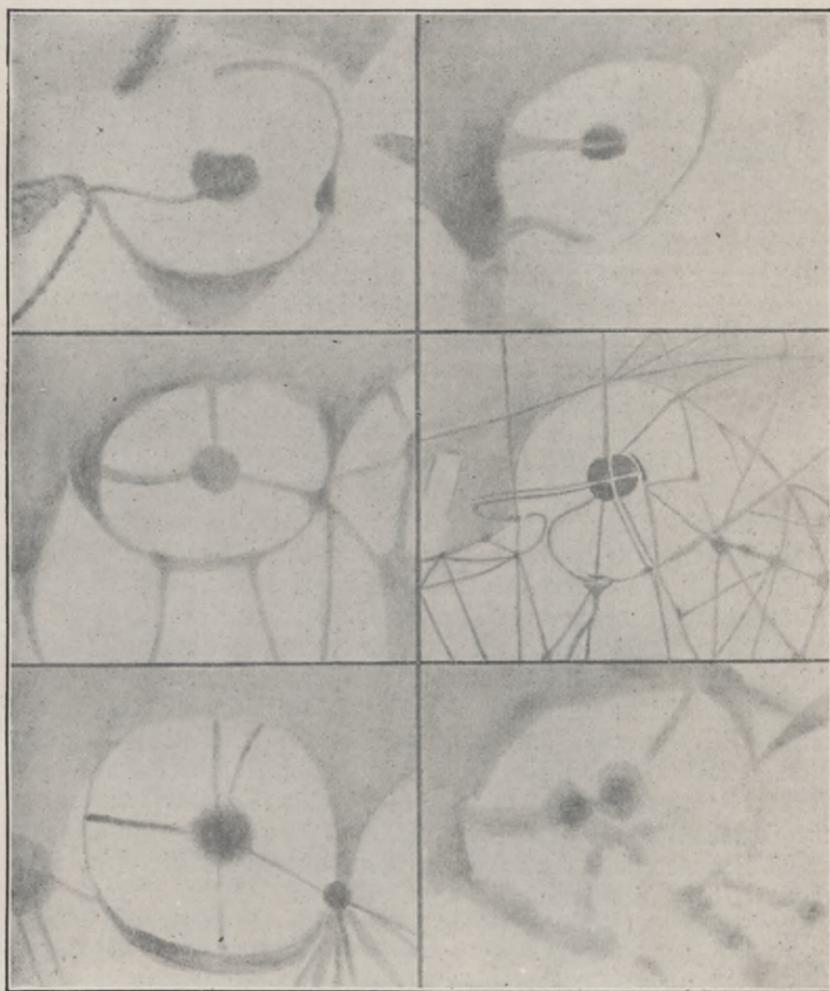


Abb. 21. Der „Sonnensee“ nach Zeichnungen von  
 Beer und Mädler (1830)                      Kaiser (1864)  
 Schiaparelli (1879)                              Lowell (1894)  
 Brenner (1902)                                      Antoniadi (1909)

auch gerade Linien zeichneten. Cerulli machte ähnliche Experimente und wies z. B. auf den Mond hin, in dem man mit einem Opernglas auch Kanäle sehen könne, die schon in kleinen Fernrohren ihr wahres Wesen als unregelmäßige Flecke erwiesen. Die Erklärung ist möglich und sehr einfach. Ob sie der Wahrheit entspricht, ist damit

nicht gesagt. Lowell steht ihr auch heute noch entgegen. Er zeichnet immer noch ziemlich gerade Linien. Maunder erhofft die Lösung durch Photographie, was wir für völlig aussichtslos halten. Die Photographie wird niemals das leisten, was visuelle Beobachtungen an dem gleichen Instrument zu leisten vermögen. Die Planetenphotographie speziell hat zwar sehr schöne Erfolge zu verzeichnen, an sich, betrachtet man aber Zeichnungen dagegen, so ergibt sich ihre Unzulänglichkeit. Aber auch in der Photographie leistet Lowell jedenfalls mit das Hervorragendste, so daß es nicht angängig ist, seine Beobachtungen mit dem Auge zurückzustellen hinter den Photographien Hales z. B., welche nach Maunder Detail zeigen sollen, das Lowell übersehen hat. Das Auge hat dasselbe Detail vielleicht anders, besser gesehen oder ignoriert, da Wichtigeres zu zeichnen war. Denn wenn auch der Verstand, der beim Auge dazukommt, eine Gefahr ist, ein Vorteil ist er schließlich doch auch. Dazu bemerke man doch, daß Fernrohrfehler bei der Photographie mit eingehen und Summationen oder Fehler des Auges beim Betrachten der Photographien durchs Mikroskop ebenfalls! Hinzu kommen also die Plattenfehler (Korn) und die Mikroskopfehler. Man sieht den Zweck des Umweges nicht recht ein. Noch einen anderen günstigen Umstand kann die Photographie nie ausnützen. Jeder Beobachter weiß, daß die Luftunruhe nur Momente des Sehens (also auch Photographierens!) gestattet, wenigstens des allerbesten Sehens, und diese Momente wartet der Beobachter ab. Seine Aufmerksamkeit konzentriert sich auf sie (Ungeübte sehen daher so wenig!), er erfährt blitzschnell und verbessert in dem nächsten günstigen Moment den gewonnenen Eindruck. Die Platte zeichnet wahllos das Mittel aus allen Bildern während der (ziemlich langen) Expositionsdauer auf. Schlechte Augenblicke gehen also ebenso in das Bild ein und häufiger, als die oben erwähnten blitzartigen guten. „Es ist, als ob ein Schleier in diesen Augenblicken von dem Planeten gezogen wurde“, sagt Schiaparelli. Wir werden also gut tun, Lowell der Photographie entschieden vorzuziehen, zumal Schiaparelli, Brenner und andere mit ihm durchaus übereinstimmen. Lowell behauptet aber direkt, daß die Kanäle so aussehen, daß sie auf keinen Fall natürlichen Ursprungs seien, sondern daß wir in ihnen die Zeugen und Werke vielleicht früherer, im Kampf mit dem Wassermangel untergegangener intelligenter Wesen vor uns haben. Das ist der Kernpunkt der Sache, daß eine jahrzehntelange Arbeit den Amerikaner nicht von dieser Ansicht abgebracht hat. Er hat zum mindesten das Verdienst, gezeigt zu haben, wie nahe die Veränderungen in dem Aussehen und der Erkennbarkeit der Kanäle mit dem vorrückenden Frühjahr auf dem Mars zusammenhängt. Wir brauchen uns natürlich gar nicht vorzustellen, daß die Kanäle völlig mit Wasser erfüllt sind (was wegen ihrer Breite ausgeschlossen ist). Es dürfte sich um Sumpfland bzw. nach Lowells Erklärung um angelegte Rieselanlagen großen Stils handeln, die natürlich in den Niederungen des Planeten errichtet sind. Was wir dunkel sehen, ist also die grüne Farbe der Vegetation. Ein

Mittel zur Entscheidung dieser Frage bietet vielleicht das sog. Kobaltglas. Durch dies blaue Glas, das blaues, violette und rotes Licht durchläßt, erscheinen nämlich grüne Blätter, rot, oder besser braunrot (auch grüne Seidenstoffe). Leider ist die Intensität der Marsflecken zu gering, um diesen Farbumschlag zu erkennen.

Die rote Farbe des Landes schrieb man früher der Atmosphäre zu; später sollten sie von einer rötlichen Vegetation bedeckt sein, heute darf man sie für Wüstensand erklären, bei dem die rote Farbe in praller Sonne auch auf der Erde von Malern erkannt wird. Interessant ist, daß besonders die Kanäle nahe den Polen im Herbst gelblich werden, so daß sie sich kaum von den Landmassen abheben. Das stützt doch die Annahme, daß wir es mit Pflanzengrün zu tun haben, noch ein wenig.

Übrigens haben Lowells Ansichten auch unter den Sachastronomen Anhänger. So hat sich Pickering einmal sehr dafür eingesetzt, daß in der Tat Lowell auf seinem Observatorium viel besser dran ist, wie die Beobachter in nördlicheren Breiten, und daß durchaus nicht die großen Instrumente immer mehr zeigen als die mittleren. (Übrigens benutzte Lowell die feinsten Instrumente, so damals bereits ein Fernrohr von 60 cm Öffnung). Auffällig bleibt, daß fast alle Beobachter zugeben, daß die Kanäle mit kleinerer Öffnung meist besser zu sehen seien als mit großer. Das kann für Cerullis und Antoniadis Ansicht, sie seien Summationen unregelmäßiger feiner Flecken, sprechen, es kann aber auch darin seinen Grund haben, daß die Augenblicke besten Sehens, von denen wir oben gesprochen haben, sehr bald selten werden, wenn eine mittlere Öffnung überschritten ist. Denn in der riesigen Lufröhre, durch die die großen Rohre blicken, ist irgendwo immer Unruhe, die sich dem guten Bilde überlagert und stört. Pickering glaubt, daß 20 bis 25 cm Öffnung genügend seien — in Orten, die über die beste Luft verfügen (Tropen).

Wenden wir uns der schon von Schiaparelli bemerkten Verdoppelung der Kanäle zu! Sie ist noch rätselhafter wie die bisher beschriebenen Tatsachen. Lowell sah sie gleichfalls und zeichnet sie so wie Schiaparelli. Auffällig ist, daß in verschiedenen Instrumenten die beiden Linien nicht den gleichen Abstand zu zeigen scheinen (was natürlich die Nichtwirklichkeit wahrscheinlich machen würde). An großen Teleskopen haben nur wenige Beobachter die Verdopplung gesehen. Nach Lowell zeigt etwa der vierte Teil aller Kanäle die Verdoppelung, und nur diese! Lowell meint nun, daß diese stets doppelt sind. Ist der eine Kanal aber unsichtbar, so sieht man sie einfach. Pickering weist darauf hin, daß einzelne Seen im großen eine ähnliche Erscheinung zeigen: sie werden gegen Herbst in der Mitte heller und erscheinen etwa ringförmig. Träte dies bei einem breiten Kanal ein, so wäre die Verdopplung da. Daß sie immer nur momentan gesehen wird, liegt an der Schwierigkeit der Beobachtung. Eine andere Erklärung geht von optischen Erscheinungen aus: es soll sich eine zpln-

drische Wasserdampfklage exzentrisch über dem Kanal entwickeln, in der es zwei Wege gibt, auf denen das Licht zur Erde gelangen kann. Es ist klar, daß diese auf höchst unwahrscheinlicher Annahme aufgebaute Erklärung auch theoretisch falsch ist. Zwar könnte eine Lichtlinie verdoppelt werden. Ein einigermaßen breiter Streifen aber wird (da die Dampfhülle doch die Breite des Streifens nicht allzusehr überschreiten kann), nur verbreitert und in der Mitte verdunkelt. Warum zeigen denn auch nur gewisse Kanäle die Verdopplung?

Das Problem der Marsbewohner hat natürlich zunächst mit der Frage der Kanäle nichts zu tun. Erst muß eine möglichst gute Beschreibung des Marsantlizes festgelegt werden, dann können wir an Erklärungen gehen. Wenn wir vorläufig die Kanäle nicht erklären können, ohne so bedeutende Beobachter wie Schiaparelli, Brenner, Lowell zu ignorieren, so werden wir nach neuen Tatsachen suchen, aber nicht wissenschaftliche Fragen mit einer so problematischen verquicken, wie es die Frage nach lebenden Wesen auf einem anderen Planeten ist.

Schon Mädler hat mit einem Vierzöller 1830, d'Arrest 1864 mit dem Kopenhagener Zehnzöller nach Monden des Mars gesucht, ohne sie zu finden. In der Tat sind die beiden Monde mit das schwierigste Objekt, das für unsere Beobachter vorhanden ist. Denn sie sind beide kaum heller als ein Stern 13. Größe und stehen in der unmittelbaren Nähe des hellen Hauptplaneten, der das Auge stark blendet. Am 11. August 1877 fand Hall in Washington an dem neu erbauten Instrument von 26 Zoll Öffnung ein kleines Sternchen, das sich mit Mars mitbewegt hatte, als er es am 16. August wieder sah. Er hatte auf Anraten seiner Frau die Nachforschungen, die er schon aufgeben wollte, wieder aufgenommen. Am 17. August fand er ein zweites ebenso winziges Sternchen, das ihm zuerst ein großes Rätsel war: es erschien nämlich in einer Nacht links und rechts vom Mars, so daß Hall zuerst an drei Monde glaubte. Schließlich stellte er aber fest, daß hier der bis dahin nicht bekannte Fall einer Umlaufszeit vorläge, die schneller ist, als die Umdrehung des Hauptplaneten. Hall entnahm ihre Namen dem Homer: Deimos und Phobos sind die Begleiter des Mars. (Surcht und Schrecken.) Die Umlaufzeiten sind  $30^h 17^m 54^s$  bzw.  $7^h 39^m 14^s$ . Beide Monde bieten, vom Mars aus gesehen etwas Ungewöhnliches. Der äußere, Deimos, braucht ja nur  $5^h 40^m$  länger zu seinem Umlauf, wie der Hauptplanet, bleibt also in einem Tage nur um so viel zurück. Da beide Monde sehr nahe im Äquator des Mars laufen, so ist Deimos fast zwei Tage und zwei Nächte lang ununterbrochen am Mars-Himmel.

Noch interessanter ist der Anblick des Phobos vom Mars aus; denn da er schneller läuft als der Hauptplanet, so geht er im Westen auf und im Osten unter, und zwar dreimal an einem Tage. Die beiden Monde scheinen also einander entgegenzulaufen.

Pickering hat die Größenklasse in Sterngrößen der beiden Monde zu

12<sup>m</sup>, 68 und 12<sup>m</sup>, 74 bestimmt. Unter der Voraussetzung gleicher Albedo mit Mars folgt hieraus ihr Durchmesser zu 8,6 bzw. 8,4 km. Es handelt sich also um wirklich sehr kleine Körperchen. Selbst vom Mars aus gesehen unterscheiden sie sich kaum der Größe nach von hellen Sternen, bei dem näheren Phobos, der dreimal so groß wie uns die Venus erscheint, wird ein gutes Auge eines Marsbewohners gerade die Phasen erkennen. Immerhin sind sie mit der Erde und Jupiter die schönsten Sterne am Marshimmel.

### Die kleinen Planeten.

Schon Kepler hat auf die Lücke zwischen Mars und Jupiter hingewiesen. Wir haben gesehen, daß das Titiusche Gesetz ebenfalls einen Planeten zwischen Mars und Jupiter fordert. In der Tat haben Zach und Schröter Ende des 18. Jahrhunderts schon nach dem vermuteten Planeten gesucht. Am 1. Januar 1801, dem Geburtstage des 19. Jahrhunderts, fand Piazzi in Palermo im Stier einen Stern 8. Größe, bei dem er am 2. und 3. Januar Bewegung unter den Fixsternen feststellte und den er daher für einen Kometen hielt. Er setzte seine Beobachtungen bis zum 11. Februar fort, in welcher Zeit das Gestirn einen Bogen von 3° zurückgelegt hatte. Bode äußerte sofort den Verdacht, daß man es mit keinem Kometen, sondern mit dem lange gesuchten Planeten zwischen Mars und Jupiter zu tun hätte. Dieser Verdacht wurde zur Gewißheit, als sich herausstellte, daß eine Kreisbahn die Beobachtungen besser darstellte als die Parabel, in der die Kometen zu laufen pflegen. Piazzi gab dem Planeten den Namen Ceres.

Ehe die von Piazzi benachrichtigten Astronomen Bode und Olbers (nach 8 Monaten!) die „Post“ erhielten, war Ceres in den Abendsonnenstrahlen verschwunden; es war ausgeschlossen, sie auf Grund der Kreisbahn bei ihrem Erscheinen am Morgenhimmel wiederzufinden. Hier griff das junge Genie Gauß' ein, auf Grund seiner neuen Rechnungsmethode einer elliptischen Bahn fand Zach am 7. Dezember 1801 die Ceres in Gotha wieder auf.

Am 28. März 1801 fand Olbers in der Nähe der Ceres einen zweiten Planeten 7. Größe, der den Namen Pallas erhielt. Beide Planeten entsprechen zufällig ziemlich genau dem von der Titiuschen Reihe verlangten Werte 2,8 der mittleren Entfernung. Für Ceres fand Gauß 2,767 Erdbahnhalbmesser, für Pallas 2,770. So hatte man zwei statt eines Planeten. Die Bahnen liegen sich an einer Stelle ziemlich nahe, wenn auch die Bahn der Pallas sehr extrem sowohl in der großen Neigung gegen die Erdbahn (34° 43' gegen 10° 36' bei Ceres) wie in der Elliptizität (0,239 Exzentrizität gegen 0,080 bei Ceres) ist. Daher sprach der Arzt und Astronom Olbers in Bremen schon den Gedanken aus, daß man es mit Trümmern eines größeren Planeten zu tun hat, und daß man wahrscheinlich noch mehr Körper

dieser Art finden würde. Das letzte hat sich bestätigt, das erste wohl nicht, wenn auch heute noch einiges dafür spricht. Wir kennen heute an 800 dieser „kleinen Planeten“, Asteroiden oder Planetoiden, deren Bahnen wie ein verwickeltes Garnknäuel durcheinanderlaufen, so daß trotz vielem Suchen kein gesetzmäßiges Band auf die Entstehung aus einem Planeten führt. Die Entdeckungen waren zunächst noch immer Großtaten, da noch keine so guten Sternkarten vorhanden waren, auf Grund deren ein Stern als „neu“, d. h. also als der Planetennatur verdächtig erkannt werden konnte. 1804 entdeckte Harding die „Juno“, 1807 Olbers die „Vesta“. Dann trat eine lange Pause ein bis 1845, wo der Postmeister Hencke in Driesen die Asträa entdeckte. Bis 1850 hatte man es auf 13 gebracht, bis 1860 auf 62, bis 1870 auf 112, bis 1880 auf 219, 1890 waren es 302. Man bemerkt das plötzliche Ansteigen, in den Jahren, seit denen gute Sternkarten zur Verfügung standen, wie die von Chacormes, die der Gebrüder Henry und die B. D., die Bonner Durchmusterung Argelanders. Seit 1890 aber trat ein ganz neues Hilfsmittel auf den Plan: Die Photographie. Wolf in Heidelberg hat mit am ersten und rüstigsten an der Entdeckung kleiner Planeten auf photographischem Wege gearbeitet: auf Dauerphotographien, bei denen die Fixsterne als kleine Punkte abgebildet werden, zieht der Planet einen kleinen Strich, der ihm zum Verräter wird. Denn die „tägliche Bewegung“ eines kleinen Planeten beträgt in der Opposition etwa  $\frac{1}{4}^{\circ}$ , bei einer Dauerphotographie von einer Stunde bewegt sich also der Planet um  $0,01^{\circ}$  weiter. Bei einer Brennweite von 1 m des photographischen Apparates sind das etwa 0,2 Millimeter; das ist schon erkennbar. Nach einer anderen Methode arbeitet Reverend Metcalf: er hält gewissermaßen den zu entdeckenden Planeten als Punkt fest und läßt die Fixsterne Striche ziehen. Dadurch konzentriert er das Licht und gewinnt den Vorteil mit seinen Instrumenten auch ganz kleine Planeten zu entdecken; Wolf zieht seine Methode mit Recht vor, da die Sternaufnahmen auf seine Weise auch sonst noch brauchbar sind. Zudem erreicht Metcalf keine absolute Genauigkeit, da er ja den Planeten nicht kennt, also hypothetisch seine Kamera verschieben muß. Jedenfalls bewirkte die photographische Methode ein außerordentliches Anschwellen der Entdeckungen kleiner Körper: Bis 1900 hatte man es auf 463 gebracht, bis 1908 auf 680 und heute ist die Zahl der 800 nahe. Die Planeten haben (bis auf gewisse Ausnahmen, auf die wir noch kommen) alle weibliche Namen erhalten, daneben eine Nummer. Heute erhält jeder (manchmal nur scheinbar) neu entdeckte Planet eine provisorische Bezeichnung von der Zentralstelle in Kiel, z. B. 1909 J. C., der sich z. B. bei der Berechnung mit Nr. 50 Virginia als identisch erwies, oder 1909 G. A., der sich als der VII. Jupitermond erwies. Die Namen waren zunächst klassisch, später war die klassische Mythologie erschöpft, und man hielt sich an die moderne, wobei viel Beziehungen hinein-geheimnist wurden. So nannte Wolf den ersten photographisch ent-

deckten Planeten zu Ehren einer Spenderin Miß Bruce eben Brucia und heute kann fast jeder weibliche Vorname, Hertha, Maria, Elsa, Isolda, Charlotte, Ella, Hedwig usw. mit Grazie, mit Recht behaupten in den Sternen geschrieben zu sein.

Die Helligkeiten der kleinen Planeten bewegen sich naturgemäß abwärts. 11 liegen zwischen 6. und 9. Größe, einige 20 bis zur 10. Größe. Während Vesta noch dem bloßen Auge sichtbar werden kann, ist Wolf jetzt bei Westentaschenplaneten, wie 1908 SN und 1911 NE, angekommen, die als Sternchen 18. und 16. Größe angegeben wurden, also noch wesentlich kleiner wie die Marsmonde sein müssen.

Die Bahnen der kleinen Planeten liegen zwischen 1,5 und 5,2 Erdbahnradien, seitdem in Nr. 433 „Eros“ ein Planet entdeckt ist, der der Erde näher wie Mars kommen kann und seitdem die Jupitergruppe der homerischen Helden „Achilles, Patroklos, Hector und Nestor“ gefunden ist, die fast in einer Bahn mit Jupiter laufen. Ebenso finden wir Kreisbahnen neben stark elliptischen wie 132 Aethra mit 0,381 Exzentrizität. Ebenso gibt es extreme Neigungen bis  $48^{\circ} 8'$  bei.

In diesen weiten Grenzen ordnen sich aber die kleinen Planeten stets um das „Normale“ am dichtesten an, d. h. die Neigungen sind meist geringe, wenn auch viel größer als für die großen Planeten. Die Zone, in der sie sich verteilen, nimmt die ganze leere Stelle von Mars bis Jupiter ein, ist aber am dichtesten zwischen 2,5 und 3,0 „Sonnenweiten“, was der Titiuschen Zahl 2,8 sehr schön entspricht.

Eine Abnahme der Zahl der Entdeckungen ist kaum wahrzunehmen. Es scheint also, als ob eine Grenze der Kleinheit nicht vorhanden ist.

Interessant ist der Einfluß Jupiters auf die Gruppe: nehmen wir an, ein Planet hätte gerade die halbe Umlaufzeit Jupiters, so würde er nach zweimaligem Umlauf mit Jupiter die gleiche Stellung haben; die Störungen Jupiters auf seine Bahn würden immer in demselben Sinne wirken und ihn schließlich aus seiner Bahn bringen. In der Tat findet sich dann, wie Stroobant gezeigt hat, an diesen Stellen, an denen Planeten mit den Umlaufzeiten  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{3}$ ,  $\frac{2}{3}$ ,  $\frac{2}{5}$ ,  $\frac{3}{5}$  usw. der Umlaufzeit Jupiters laufen würden, Lücken in dem Ring der kleinen Planeten.

Abgesehen von der Jupitergruppe der kleinen Planeten, die uns ein Beispiel für einen speziellen Fall des Dreikörperproblems liefern und mit Jupiter im gleichseitigen Dreieck laufen, drei voraus und einer nach Jupiter, ist ein kleiner Planet besonders wichtig geworden, der am 13. August 1898 von Witt in Berlin (von Charlois in Nizza ebenfalls photographisch) aufgefunden wurde: der (433) Eros. Er läuft zum Teil innerhalb der Marsbahn wie jene in der Jupiterbahn. Für solche Planeten wählt man heute die männlichen Namen. Eros kann sich in günstiger Opposition der Erde bis auf 19 Millionen Kilometer nähern. Es ist dann der nächste Planet, fast dreimal so nahe wie Mars. Er bietet also das zurzeit beste Mittel zur Bestimmung

einer Entfernung im Planetensystem, da seine Parallaxe fast 1' betragen kann. Aus einer gemessenen Entfernung ergeben sich die anderen, da ihr Verhältnis durch die Keplerschen Gesetze in der strengen Form bekannt ist. Eros gestattet die Bestimmung der „Sonnenparallaxe“, die nur 8",80 beträgt, die der Entfernung Sonne—Erde = 1 entspricht, sagt deshalb der Astronom.

1901 entdeckte v. Oppolzer in Wien auffällige Helligkeitsschwankungen am Eros von etwas mehr als zwei Größen innerhalb 2 Stunden und 20 Minuten etwa. Immerhin sind die Beobachtungen Deichmüllers z. B. nicht durch eine eindeutige Periode sehr gut darzustellen. Wäre dies der Fall, dann wäre man berechtigt, auf eine Rotation des Eros in dieser Zeit zu schließen. Dabei könnte man an eine helle und dunkle Seite des Planeten denken, auch an eine spiegelnde Stelle, oder aber daran, daß der Planet ein längliches Bruchstück seiner Gestalt nach ist und uns bald mit der Spitze eine kleine Fläche bald mit der Breitseite eine größere zuwendet. Eine Entscheidung dürfte erst in der nächsten günstigen Opposition im Jahre 1931 fallen. Natürlich würde ein solches Bruchstück wieder sehr stark für die alte Hypothese von Olbers sprechen, wonach die kleinen Planeten durch Zertrümmerung eines großen entstanden sind. Leider waren die Helligkeitsschwankungen 1907 photographisch nicht nachweisbar.

Barnard hat die Durchmesser der drei größten kleinen Planeten Ceres, Pallas und Vesta durch direkte Messungen zu 780, 490 und 390 km bestimmt. Daraus ergibt sich, daß Ceres z. B. die Albedo 0,12 hat, daß sie mithin nur 12% des auffallenden Lichtes zurückwirft. Diese Albedo stimmt in auffälliger Weise mit der unseres Mondes überein. Wir dürfen jedenfalls in Ceres einen Körper von sehr dunkler Oberfläche sehen, die etwa die „Weiße“ von Ackererde hat.

Müller in Potsdam hat in den achtziger Jahren photometrische Helligkeitsbeobachtungen an den kleinen Planeten ausgeführt und daraus ihre Durchmesser berechnet, in dem er eine Albedo zwischen der des Merkur und Mars annahm. Danach ergaben sich ihm die Durchmesser von (1) Ceres zu 770 km, (2) Pallas zu 595 km, (3) Juno zu 296 km, (4) Vesta 844 km. Den kleinsten von Müller berechneten Durchmesser hat (261) Prymno: nämlich 37 km. Die Mehrzahl aber würde Durchmesser von wenigen Kilometern erhalten.

Massenbestimmungen der kleinen Planeten sind bisher nicht möglich gewesen, da noch niemals zwei einander so nahe gekommen sind, daß sie merklich störend aufeinander eingewirkt haben. Die Voraussage solcher Zusammenkünfte setzt überhaupt recht genaue Bahn- und Ortsberechnungen voraus, was natürlich bei der großen Zahl und bei den starken Störungen, die die großen Planeten auf die Körperchen ausüben, eine Riesenrechenarbeit erfordert, mit der auch das astronomische Recheninstitut nicht fertig zu werden vermag. Brendel in Frankfurt hat deshalb eine internationale Arbeitsgemeinschaft gegründet, die

nach seiner neuen Methode der „instantanen Elemente“ diese Rechnungen ausführen wird.

### Jupiter.

Der größte aller Planeten zieht im 5,2fachen Abstände, wie die Erde um die Sonne, seine Bahn in 4333 Tagen gleich 11 Jahren 315 Tagen, nur  $1^{\circ} 19'$  gegen die Erdbahn geneigt. Dem ersten, der ein Fernrohr auf ihn richtete, Galilei, lohnte der Planet schon mit dem Anblick der Scheibengestalt und der vier großen Monde: dem Sonnensystem im kleinen.

Jupiter ist im Fernrohr ein ansehnliches Objekt, denn da sein scheinbarer Durchmesser  $50''$  in der größten Nähe beträgt, so erscheint er schon in mittleren Fernrohren 5—10mal so groß wie unser Mond (wenn auch der Laie sich dabei stets arg verschätzt!). Seine Scheibe ist nicht kreisrund, sondern stark abgeplattet. Der Durchmesser von Pol zu Pol ist um 1:16 kürzer als der parallel zum Äquator. Wir schließen also auf eine schnelle Rotation, die man schon im Verlaufe einer Stunde an dem Wandern von Flecken erkennen kann. In 9 Stunden 50 Minuten ist ein Umlauf vollendet.

Die wahren Maße Jupiters sind 11mal größer als die der Erde. Seine Masse folgt, da seine Monde sie sehr genau zu bestimmen gestatten, zu 1:1047 der Sonnenmasse; d. h. er ist 315mal schwerer als die Erde. Da er  $11 \times 11 \times 11 = 1331$ mal so groß ist wie die Erde, ist er um  $\frac{1}{4}$  spezifisch leichter, weniger dicht als die Erde. Da die Dichte der Erde bezogen auf Wasser gleich 5,55 ist, folgt für den größten Planeten die Dichte 1,4; Jupiter ist im Mittel kaum schwerer als Wasser. Dies Ergebnis ist so zu deuten, daß sein Rauminhalt gewissermaßen überschätzt wird, indem wir als Jupiterdurchmesser den Durchmesser seiner sehr hohen Atmosphäre messen. Um über die Höhe dieser Luftschicht einen Anhalt zu bekommen, setzen wir einmal die Dichte des festen Kerns Jupiters gleich 4,2, dann würde seine Lufthülle etwa drei Zehntel des Halbmessers betragen, was ein allerdings außerordentlicher Wert wäre, verglichen mit der Lufthülle der Erde. Daß der Jupiter aber eine gewaltige Atmosphäre besitzt, geht ohne Zweifel aus zahlreichen Beobachtungstatsachen hervor.

Bedeckt Jupiter einen Fixstern oder, was viel häufiger eintritt, verschwindet einer seiner großen Monde hinter seiner Scheibe, so nimmt das Licht allmählich ab, es wird beim Eintreten in die Atmosphäre langsam verschluckt und ausgelöscht. Auf eine starke Lufthülle deutet die Albedo 0,62 des Jupiters; so weiß sind nur Wolken. Ja man kommt durch Beobachtung der Helligkeitsverhältnisse für die hellsten Teile der Jupiteroberfläche zu dem Ergebnis, daß diese alles Licht zurücksenden, das auf sie auffällt, vielleicht sogar mehr, d. h. das sie selbst leuchten oder noch von einer zweiten Lichtquelle her Licht erhalten. Das könnte natürlich nur die Oberfläche des festen Kerns sein. Wir

brauchen nicht daran zu denken, daß die ganze Oberfläche noch leuchtet und etwa  $500^{\circ}$ — $1000^{\circ}$  heiß ist: es genügen örtliche Ausbruchsstellen der Decke des Kerns, welche die Wolken über sich zu einem geringen Teile durchleuchten. Man hat dagegen mit Unrecht eingewandt, daß ein selbstleuchtender Jupiter auch Licht auf die Monde werfen müßte, so daß diese in den häufig eintretenden Mondfinsternissen nicht völlig verschwinden könnten, wie es tatsächlich der Fall ist. Doch kann natürlich die Erhellung der dunklen Monde eine so schwache sein, daß sie uns selbst in den größten Fernrohren nicht sichtbar sind. Sind die Monde z. B. 15. Größe im Schatten des Jupiter, so erhalten sie vom Jupiter rund 4000mal weniger Licht als von der Sonne. Sehen wir die Sonne in der Jupiterentfernung 24 Größenklassen heller als einen Stern 1. Größe, so müßte die dunkle Seite Jupiters dem Monde leuchten wie ein Stern — 15. Größenklasse. Von der Erde aus gesehen, würde



Abb. 22. Jupiter.

solch ein selbstleuchtender Stern etwa erster Größe sein. Dann wären etwa 64% des Lichtes Jupiters Eigenlicht, der Rest Sonnenlicht. Da mehr Prozent sicherlich nicht Eigenlicht sind, so kann man also sagen, daß die Monde im Schatten sicherlich höchstens 15. Größe sein können. Sie werden in unmittelbarer Nähe des hellstrahlenden Jupiter niemals erblickt werden können. Ebensovienig dürfte die Spektroskopie den Beweis für die Theorie der Glutflüssigkeit Jupiters erbringen. Wir sind auf die vergleichende Photometrie seiner Oberfläche angewiesen.

Die Oberfläche selbst zeigt schon einem kleinen Fernrohr zwei dunkle Streifen, die parallel zum Äquator den Planeten umspannen (Abb. 22). Sie lösen sich in stärkeren Mitteln in Einzelheiten von hellen und dunklen Streifen auf, die immer die Richtung parallel zum Äquator haben. Die einzelnen Streifen sind von vielen Beobachtern wellenförmig gezeichnet worden. Außer den Streifen treten noch helle und dunkle Flecke auf. Die Gebilde haben sämtlich ziemlich lange Bestand und ändern sich erst im Verlaufe von längeren Zeiten. Doch sind die Einzelheiten in den Streifen selbst schon nach einem Umlauf oft deutlich verändert. Das Aussehen und die Lage der Streifen ändern sich in einer langen Periode, die mit der zwölfjährigen Periode der Sonnenflecke zu tun zu haben scheint oder auch mit der zwölfjährigen Umlaufzeit Jupiters in Zusammenhang steht. Alles dies spricht für die atmo-

sphärische Natur der Erscheinungen. Nicht recht im Einklang damit zu bringen ist die leicht rotbraune Farbe der dunklen Streifen und des ganzen Äquatorgürtels. Auch das Auftreten des roten Flecks im südlichen Äquatorstreifen, der von 1831 bis 1872 sich bildete, ist rätselhaft und nicht gut mit einer einfachen Wolkentheorie zu erklären. Im Jahre 1878 erreichte der rote Fleck eine Auffälligkeit der Färbung, die an die düstere Glut eines Feuerscheins erinnerte. Er hatte längliche Gestalt, war 40000 km lang und 10000 km breit. Dann ist er ebenso langsam, wie er sich entwickelte, abgeblaßt, aber heute noch angedeutet, sogar in letzter Zeit wieder deutlicher geworden. Der Fleck hat außerdem eine Verlangsamung seiner Rotationszeit, also eine Eigenbewegung gezeigt, woraus manche Forscher schließen, daß er in keiner Weise mit einem festen Kern zu tun haben kann. Zwei Streifen der südlichen Halbkugel sind durch ein dunkles verwaschenes, über 100000 km langes Gebilde, den „Schleier“ verbunden, der eine besonders schnelle Rotation zeigt und den roten Fleck in zwei Jahren einmal überholt. Dabei scheint der Schleier sich an dem Fleck zu stauen, fließt dann um den Fleck zu beiden Seiten herum, um sich hinterher wieder zu vereinigen. Die Erklärung geht meist von Strömungen aus, die die atmosphärischen Gebilde, Wasserdampfwolken und vulkanischen Staub, von West nach Ost bewegen (wie z. B. auf der Erde ebenfalls). Der rote Fleck wäre dann eine Stelle aufsteigender Strömungen über einer heißen (vielleicht offenen) Stelle Jupiters. Das Stauen des Schleiers wäre ein Aufsteigen.

Das Spektroskop zeigt die Wasserdampflinien verstärkt und außer ihnen ein vorläufig unbekanntes dunkles Absorptionsband im Orange, bei  $\lambda$  6180, das bei Saturn, Uranus und Neptun noch stärker nachgewiesen ist und vielleicht einem für die Atmosphäre der äußeren Planeten charakteristischen Gase angehört.

Aus Fleckenbeobachtungen wurde die Erkenntnis gewonnen, daß die einzelnen Zonen der Jupiteroberfläche verschieden schnell rotieren, der Äquator am schnellsten. Die Umlaufzeiten verändern sich von 9 Stunden 50,2 Minuten am Äquator bis zu 9 Stunden 55,8 Minuten in  $20^\circ$  bis  $25^\circ$  nördlicher Breite. Weiter nach den Polen scheint sie wieder abzunehmen. Hiermit steht das Aussehen der Ränder der hellen Streifen in Zusammenhang, die sich nach Keeler u. a. oft in feine Spitzen ausziehen, die stets entgegengesetzt der Rotation zeigen. In der Tat ist ein ziemlich scharfer Sprung von der schnellen zur langsameren Rotation an dieser Stelle vorhanden. Das ganze erinnert lebhaft an die „Diskontinuitätsflächen“, die Emden theoretisch in sich abkühlenden Gaskugeln nachgewiesen und zur Erklärung der Sonnenphänomene herangezogen hat. Scheiner weist aber darauf hin, daß das Gesetz, nach dem die Sonnenrotation vom Äquator nach den Polen hin abnimmt, ein anderes wie bei Jupiter ist.

Jupiter hat acht Monde. Die vier großen sind recht respektable Himmelskörper von 3950, 3290, 5730, 5380 km Durchmesser nach

Barnard: Sie haben manches astronomische Problem gefördert: es sei nur an Olaf Rømers Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit erinnert: die drei innern Monde treten nämlich bei jedem Umlauf in den Schattenkegel des großen Jupiter. Die Momente der Verfinsterungen sind natürlich aus der Umlaufszeit zu berechnen. Olaf Rømer fand nun 1676, daß die von Cassini berechneten Tafeln, die für die Opposition (Sonne—Erde—Jupiter in einer Geraden) zu frühe Zeiten angaben, je mehr sich die drei Gestirne der Konjunktion (Jupiter—Sonne—Erde in einer Geraden) näherten. Und zwar trafen die Finsternisse 22 Minuten zu spät ein. Die 22 Minuten waren ein Beobachtungsfehler, es sind  $16^m$  und etwa  $40^s$ . Rømer erklärte die Erscheinung sofort richtig: das Licht hat im zweiten Falle einen um den Erdbahndurchmesser längeren Weg zurückzulegen: 300000000 km in  $16^m 40^s$  ergibt als Fortpflanzungsgeschwindigkeit 300000 km in der Sekunde. Daß die Erklärung richtig ist, folgt schon daraus, daß dieselbe Zahl aus etwa vier anderen Methoden ebenfalls als Lichtgeschwindigkeit folgt, und heute ist die Sache — wie Pringsheim bemerkt hat — umgekehrt: heute kann die physikalisch gemessene Lichtgeschwindigkeit dazu dienen, den Durchmesser der Erdbahn und damit die grundlegende Konstante des Systems, die Sonnenparallaxe zu bestimmen. Nehmen wir als „Lichtzeit“ für den Durchmesser der Erdbahn (zwei Sonnenweiten) 16 Minuten 41,6 Sekunden und für die Lichtgeschwindigkeit im Mittel der von Cornu, Michelson und Newcomb angestellten Messungen 299890 km:sec (eine Zahl, die mit einem wahrscheinlichen Fehler von nur 0,01% behaftet ist), so folgt als Erdbahndurchmesser 299370000 km. Die Sonnenparallaxe mit diesen Werten wäre:

$$\pi = 8'',788 \text{ gegen } 8'',805,$$

wie sie die Astronomen annehmen. Erwähnt möge noch werden, daß das Studium der Bewegungsverhältnisse der vier großen Monde darauf hinweist, daß die Jupiterdichte vom Kern nach der — uns sichtbaren — Oberfläche zu stark abnimmt.

Durchaus eigenartig sind die Helligkeitsverhältnisse der vier großen Jupitermonde. Schon Herschel hat ihre „Reihenfolge“ sehr häufig notiert. Ist I, II, III, IV ihre Reihenfolge vom Jupiter aus, so ist die Reihenfolge der Helligkeit nach III, I, II, IV wie 1,0:0,6:0,5:0,4. Die Helligkeit ist aber offenbar rätselhaften Veränderungen unterworfen, die Herschel der Ältere schon beschrieben hat. Engelmann hat sie 1870 gemessen, Pickering hat sie 1877 und 1878 nicht bestätigt gefunden. In neuester Zeit hat Guthnik sogar starke Schwankungen gefunden, nämlich von 5,5. bis 6,4. Größe bei I; 5,7. bis 6,1. Größe bei II. Es erscheint ausgeschlossen, daß eine so starke Schwankung Pickering entgangen sein könnte. Nach Guthnik entspricht die Periode den Umlaufzeiten. Während Wirtz dies bestätigt fand, konnte Wendell keine Änderungen feststellen. Wir müssen also annehmen, daß die Schwankung selbst stark veränderlich ist. Scheiner weist darauf hin, daß dasselbe rätselhafte Verhalten auch

schon der kleine Planet Eros zeigt. Man hat aus dem Lichtwechsel geschlossen, daß die Umlaufszeit der Monde mit ihrer Umdrehungszeit zusammenfällt, daß sie dem Jupiter dieselbe Seite zuwenden, wie der Erdmond der Erde. So wahrscheinlich diese Annahme bei den starken Fluterscheinungen ist, die Jupiter einst auf den Monden hervorgebracht haben kann, so genügt sie nicht, den Lichtwechsel zu erklären. Man wird zuerst einmal die Gesetze des Lichtwechsels klarzulegen haben, ehe man weitere Schlüsse ziehen kann. Hier bietet sich mithin dem Amateurastronom ein Feld seiner Tätigkeit.

Außer den schon erwähnten Finsternissen, bei denen die Monde in den Jupiterschatten eintreten, beobachtet man bei jeder „unteren Konjunktion“ einen Vorübergang der Monde und meist auch ihrer Schatten vor der Scheibe Jupiters. Hierbei sind die Monde selbst manchmal kaum zu erkennen gewesen (gleiche Albedo), aber auch dunkel, sogar hell zu erkennen. Barnard beobachtete, daß ein Mond „defekt“ erschien, ein Stück des Kreisrings fehlte; er führt dies auf einen besonders hellen Fleck zurück, der gerade auf dem Monde vorhanden war. Vielleicht gewinnen solche Beobachtungen einst eine ganz andere Bedeutung. Zeichnungen der Monde sind von Brenner, Tomas, Sola, Barnard u. a. geliefert. Natürlich sind diese Versuche nicht sehr vielversprechend bei den Durchmesser um 1" herum, die die Trabanten zeigen.

Die Albedo der Monde wäre nach den Barnardschen Durchmesser 0,41; 0,49; 0,26; 0,12. Die Albedo von I und II erregt durch ihre Größe entschiedene Bedenken, da wir eine Wolkenatmosphäre bei so kleinen Himmelskörpern nicht annehmen können.

Eine eigenartige Messung gelang Riñenpart in Chile. Er beobachtete nach einer Berechnung von Banachiewicz in Warschau eine Bedeckung eines Sterns durch den größten Jupitermond III. Wenn auch die Beobachtungen im einzelnen viele Ungenauigkeiten aufweisen, so glaubt Riñenpart doch nachgewiesen zu haben, daß Mond III größer ist, als Barnard gemessen hat. Nach seiner Ausgleichsrechnung ist der Mond III deutlich abgeplattet. Zu den vier galileischen Monden entdeckte 1892 Barnard einen Mond V, noch näher an Jupiter als Mond I, der in fast 12 Stunden einen Umlauf vollendet. Er hat seiner Helligkeit nach nur 160 km Durchmesser. Während nun die fünf inneren Monde nur geringe Neigungen ihrer Bahnen gegen die Ekliptik zeigen, laufen Mond VI und VII, die 1904/05 von Perrine photographiert wurden, 28° bzw. 31° gegen die Ekliptik geneigt in wesentlich erzentrischeren Bahnen als I bis V. Übrigens liegen die beiden Bahnen nicht allzu fern. Das interessanteste Objekt aber ist der von Melotte 1908 photographierte Mond VIII. Seine Bahn wird nämlich im entgegengesetzten Sinn durchlaufen, wie es sonst im Sonnensystem „üblich“ ist, nämlich von Norden gesehen wie der Uhrzeiger. Man nennt das rückläufig. Auch ihre Neigung ist sehr groß, 31°, oder vielmehr 149°, wie der Astronom zu schreiben pflegt, um damit gleich-

zeitig die Rückläufigkeit auszudrücken. Dazu ist die Bahn stark elliptisch. Er kann sich 34,4 Millionen Kilometer vom Jupiter entfernen, sich ihm aber auch bis auf 17,2 Millionen Kilometer nähern. Man nimmt an, daß VIII, wahrscheinlich auch VI und VII, kleine Planeten sind, die bei einem Zusammentreffen mit Jupiter von diesem eingefangen und ihm hörig geworden sind. Man kann sich einen exzentrischen Kreis (oder Kugel) um Jupiter denken mit dem Halbmesser 24,6 Millionen Kilometer, mit dem Mittelpunkt auf der Verlängerung der Verbindungslinie Jupiter—Sonne, und zwar 740000 km von Jupiter entfernt. Innerhalb dieses Kreises überwiegt die Anziehung Jupiters die der Sonne, außerhalb überwiegt die Anziehung der Sonne, jedoch so, daß auf der Rückseite der Kugel (von der Sonne aus gesehen) ein Körper durch die Sonnenanziehung der „Einflußsphäre“ Jupiters näher gebracht wird. Daraus ergibt sich, daß es wahrscheinlicher für Jupiter ist, Körper einzufangen, die außerhalb seiner Bahn laufen.



Außer bei diesen eingefangenen Körpern hat Jupiter noch Einfluß gehabt auf die Bahnen der Kometen, und die Annahme ist nicht von der Hand zu weisen, daß er überhaupt der Körper ist, dem wir die Umwandlung der meist in parabelnahen Ellipsen laufenden einmal beobachteten Kometen in periodische verdanken.

Eine ganze Reihe der in Ellipsen laufenden Kometen hat nämlich ihre Sonnenferne in der Nähe der Jupiterbahn. Dann folgt ein Sprung, wonach wieder einige ihre Sonnenferne in der Nähe der Saturnbahn haben. Es scheint also sicher, daß die großen Planeten diesen Körpern ihre elliptischen Bahnen aufgezwungen haben. Man hat auch für Uranus und Neptun solche „Kometenfamilien“ gefunden. Zu Jupiter gehören etwa 30 Kometen, deren Sonnenferne in Sonnenweiten zwischen 4,1 und 6,5 liegt, und im Mittel 5,4 beträgt (Sonne—Jupiter gleich 5,2!). Interessant ist die Häufungskurve dieser Distanzen, die in der Nähe Jupiters den Höchstwert hat. Saturn hat drei Kometen mit 8,0; 10,4 und 11,1; d. i. im Mittel 9,8 (Saturns Entfernung gleich 9,5). Uranus hat ebenfalls drei Kometen mit im Mittel 20,4 Sonnenferne (Uranusentfernung gleich 19,2) und Neptun wieder sechs Kometen mit im Mittel 33,6 Sonnenferne (Neptunsentfernung 30,1). Dazwischen sind keine Kometen vorhanden! Die äußeren Planeten sorgen damit für eine Anreicherung unseres Systems an Masse.

Abb. 23. Alte Saturnzeichnungen.

Der Saturn bewegt sich im Mittel 9,5 mal so weit von der Sonne entfernt wie die Erde in einer schwach elliptischen (Exzentrizität 0,056)

### Saturn.

Der Saturn bewegt sich im Mittel 9,5 mal so weit von der Sonne entfernt wie die Erde in einer schwach elliptischen (Exzentrizität 0,056)

Bahn im Verlauf von 10759 Tagen. Am Himmel treten seine Bewegungen in einer Periode von 378 Tagen ein; die Bahn weicht nur  $2^{\circ} 30'$  von der Ekliptik ab. Da er zahlreiche Monde besitzt, kennen wir seine Gesamtmasse recht genau. Sie beträgt nach Bessel den 3502. Teil der Sonnenmasse, das ist das 94fache der Erdmasse. Dem entspricht eine Dichte, die kaum so groß ist, wie die des Wassers. Wir können mithin für Saturn die gleichen Schlüsse wie für Jupiter auf eine Atmosphäre ziehen.

Im Fernrohr ist der Saturn wegen seines Ringystems einzigartig. Schon die alten chromatischen Fernrohre zeigten, daß bei Saturn etwas Besonderes im Aussehen vorhanden sei. Der Stern hatte bald etwas wie „Henkel“, bald wie Spitzen, bald war er stark in die Länge gezogen. Huyghens erst erkannte 1658, daß es sich um einen Ring handelt, der in unveränderlicher Ebene den Saturn umschwebt und uns daher im Laufe eines Saturnumlaufs gestattet, ihn einmal von oben, einmal von unten und dazwischen zweimal auf die scharfe Kante zu sehen. Huyghens zeichnete bereits einen Umlauf Saturns mit den verschiedenen Ansichten des Ringes (vergl. unsere Abbildungen 24a und b). Schon die verbesserten Fernrohre Cassinis zeigten, daß der Ring doppelt ist (Cassinische Trennung, 1715).



Abb. 24 a.  
Huyghens Saturnzeichnung.

Die wahren Abmessungen des Saturn sind: 277600 km äußerer Ringdurchmesser, 175000 km innerer Ringdurchmesser, 117800 km Durchmesser des Saturn. Der Breite des Ringes von etwa 100000 km steht nur eine Dicke von höchstens 550 km entgegen (nach Barnard). Diese „Schärfe“ des Ringes erklärt es, weshalb der Ring für kleinere Instrumente unsichtbar wird, wenn die Erde sich in seiner Ebene befindet oder Sonne und Erde auf verschiedenen Seiten des Ringes stehen.

Von den durch die Cassinische Trennung geteilten Ringen ist der innere weitaus heller und am hellsten an seinem äußeren Rande, wo er scharf gegen die Trennung absetzt. Auf dem äußeren Ringe entdeckte Ende noch eine als „Bleistiftlinie“ bezeichnete Trennung. Dazu ist zu bemerken, daß man zeitweise noch weitere Trennungen (bis zu sieben) erkannt hat, die Trennungen sind aber nichts Festes, sondern schließen sich auch wieder. Innerhalb des inneren Ringes entdeckte Bond 1850 einen oft fälschlicherweise als „dunkel“ bezeichneten, äußerst schwachen Ring, der früher Florrying genannt wurde, da er durchscheinend ist.

Der Ring fällt nahezu in die Ebene des Saturnäquators und bildet mit der Ekliptik  $28^{\circ} 5'$ , während der Äquator nur  $27^{\circ}$  geneigt ist. Dementsprechend müßte in der größten „Öffnung“ der Saturnring um  $3''$  bis  $4''$  über die Saturnkugel heraus schauen. Barnard hat 1913/1914 festgestellt, daß dies nicht eingetreten ist. (Die meisten

Saturnzeichnungen lassen in voller Öffnung den Ring jedenfalls zu weit „herübergucken“.)

Interessant ist der Anblick beim Verschwinden des Ringes. Dies kann ob zweier Gründe eintreten: weil die Erde in der Ringebene sich befindet, oder weil Sonne und Erde auf verschiedenen Seiten der Ringebene stehen. Im ersten und im Übergang zum zweiten Fall müßte der Ring als feine Lichtlinie zu sehen sein. Das ist aber nicht der Fall. Man sieht die Lichtlinie immer feiner und feiner werden, bis sie sich schließlich in einzelne Striche auflöst. 1907 blieben zwei Striche übrig, die äußeren Grenzen der beiden äußeren Ringe angehend. Daß ist leicht erklärlich und entspricht der Erscheinung, daß man bei Rauchringen, wenn man sie als Gerade sieht, an den Enden Knoten erblickt.

Die Saturnkugel selbst ist stark abgeplattet, der polare Durchmesser ist um 1:10 kürzer als der äquatoriale. In der Tat läuft der Saturn in 10 Stunden 14 Minuten um seine Achse. Die Albedo



Abb. 24b. Der Anblick Saturns während eines Umlaufs von 28 Jahren; in Wahrheit bleibt die Ebene des Ringes erhalten.

des Saturn selbst ist 0,72; das ist fast die der Venus, die Albedo des Ringes ist in den hellsten Teilen ebenso groß, photographisch (für blaues Licht) sogar größer. Die letzte Tatsache ist befremdend, da eine Atmosphäre auf dem Ring nicht vorhanden sein kann. Scheiner denkt an spiegelnde Oberfläche. Es erscheint uns aber fraglich, ob spiegelnde Oberflächen auf jeden Fall die hohe Albedo erklären können. Saturn zeigt ähnliche Streifen wie Jupiter, nur viel matter, so daß sich über Abnahme der Rotationszeit noch nichts hat feststellen lassen.

Schon Cassini hat den Ring für eine Ansammlung kleiner Körper erklärt, da ein fester Ring nicht bestehen könne. Aber erst Keeler hat spektrographisch den Nachweis erbracht, daß dies der Fall ist. Ein fester Ring müßte am Außenrande am schnellsten rotieren, also hier die stärksten Linienverschiebungen spektrographisch ergeben. Einzelne Körperchen aber müßten nach Keplers Gesetzen außen langsamer rotieren, also außen die geringsten Linienverschiebungen ergeben. Keeler fand nun als Geschwindigkeiten der Rotation für den Saturnäquator 10,3 km pro Sekunde, für den inneren Ringrand 20,0 km pro Sekunde, dagegen für den äußeren Ringrand 16,4 km pro Sekunde. Der Ring besteht also aus zahlreichen kleinen Monden, die jeder für sich ihre Bahn um den Planeten laufen. So erklärt sich die Durchsichtigkeit des Bond-

sehen Ringes, so erklärt sich auch das Auftreten der Trennungen, die in der Tat (wie bei den kleinen Planeten!) an den Stellen liegen, wo die störenden Kräfte der Saturnmonde ein Maximum werden, weil die Umlaufzeiten in einfachem Zahlenverhältnis stehen. Setzen wir die Umlaufzeit des größten Saturnmondes Titan gleich 15,95 Tagen bei einer Entfernung von 1193000 km, so ergibt sich nach dem dritten Keplerschen Gesetz für einen Mond in der Cassinischen Trennung (Entfernung 239000 km) als Umlaufgerade 1,6 Tage, das ist, auffällig genug, gerade der zehnte Teil der Umlaufzeit des Titan! Ähnliches ist für die anderen auftretenden Trennungen bewiesen.

In neuester Zeit sind sehr schnelle Änderungen der Ausdehnung des Ringes sehr wahrscheinlich gemacht worden, die schon in Stunden sich vollziehen. Auch diese Tatsache steht durchaus im Einklang mit der Vorstellung, daß der Saturnring aus Einzelmonden besteht. Auch



Abb. 25. Weg des Uranus Sommer 1915 im Steinbock.

ist ein sehr schwacher Ring außerhalb des äußersten Ringes vermutet worden. Daß das Band im Spektrum bei  $\lambda$  6180 bei Saturn, Uranus und Neptun noch deutlicher hervortritt wie bei Jupiter, ist schon gesagt.

Büry hat den Versuch gemacht, dieses und einige andere Absorptionsbänder als dem Ozon angehörig nachzuweisen: doch ist bei so breiten ausgedehnten Bändern der Beweis noch nicht sehr zwingend. Büry weist auf die Tatsache hin, daß das Band bei den äußersten Planeten immer stärker hervortritt und daß die Ozonbänder dasselbe Verhalten zeigen, wenn man zu tieferen Temperaturen übergeht. Doch ist dies eine allgemeine, aus den Strahlungsgesetzen folgende Tatsache fast aller Absorptionsbänder, so daß hieraus ein zwingender Schluß nicht möglich ist.

Saturn wird von zehn Monden umkreist, deren hellsten, Titan, schon Huyghens 1655 sah; er ist 9. Größe und nach Barnard 4400 km groß. Fünf Monde laufen innerhalb Titan, vier außerhalb. Die beiden kleinsten sind 1898 und 1905 erst von Pickering entdeckt. Von diesen beiden ist Phoebe, der äußerste Mond des Saturn überhaupt, wieder wie der VIII. Jupitermond rückläufig.

Von den kleineren Saturnmonden sind Rhea, Thetis, Dione und

Japetus in mittleren Fernrohren sichtbar, da sie die 11. Größe nach Pickering in der mittleren Opposition erreichen. Sie dürften eher etwas heller, als Pickering angibt, sein, da sie in kleinen Fernrohren manchmal sichtbar werden. Die beiden nächsten Saturnmonde und der fernere Hyperion sind jedoch recht schwierige Objekte. Ihrer Helligkeit nach berechnet Pickering ihre Durchmesser zu 300 bis 600 km. Japetus, der von Pickering 11,7. Größe gesetzt wird, zeigt nach Cassini und Herschel Helligkeitsschwankungen, die eine seiner Umlaufzeit gleiche Periode haben und nach Herschel drei Größenklassen betragen. Pickering hat dies bestätigt gefunden. Japetus kehrt mithin Saturn immer dieselbe Seite zu, wie unser Mond der Erde.

### Die äußersten Geschwister der Erde.

1781 kündigte Herschel die Entdeckung eines Kometen an, der durch seine geringe Bewegung und durch seine ziemlich scharfbegrenzte Scheibe auffiel und sich bald als in einer Kreisbahn laufend, als Planet herausstellte. Er erhielt — nach mißglückten Versuchen — den Namen Uranus. Bode fand, daß er schon 1690 von Flamsteed beobachtet worden war, ohne als Planet erkannt zu werden, ebenso 1756 von Tobias Mayer und 1768/69 von Lemonnier. Der letzte hätte ihn entdecken müssen, wenn er seine Beobachtungen gleich — berechnet, reduziert hätte, da er ihn achtmal vermessen hatte.

In 84 Jahren läuft er seine sonnenferne Bahn, 19mal weiter vom Zentralfeuer entfernt als die Erde, also nur noch den 370. Teil an Strahlung von ihr erhaltend, da ihm die Sonne nur mehr wie ein Punkt von 1,6 Minuten Durchmesser (doppelt so groß wie uns die Venus!) erscheint. Dementsprechend sind seine „Tage“ nur noch unserer Dämmerung zu vergleichen, doch immer noch 1000mal heller als eine Vollmondnacht. Uranus ist dem bloßen Auge zur Oppositionszeit erkennbar, sechste Größe, etwas leichter im Prismenglas zu sehen. (Vergl. das Kärtchen Abb. 25). Er zeigt ein Scheibchen von nur 4" Durchmesser, das grünlich gefärbt erscheint und stark abgeplattet (nach Bergstrand 1:15) erscheint. Flecken will der Amerikaner Holden und Brenner gesehen haben. Die Albedo ist fast genau gleich der des Jupiter. Hale hat spektroskopisch Rotation festgestellt, Lowell hat sie gemessen zu 10 Stunden 50 Minuten und die Achse als 98° gegen seine Bahnebene geneigt festgelegt.

Herschel will sechs Monde gesehen haben, von denen sich jedoch nur zwei als reell herausgestellt haben: Titania und Oberon. Die andern müssen kleine Fixsterne gewesen sein. Dagegen entdeckte Lassell 1851 zwei sehr kleine Monde, Ariel und Umbriel, die dem Uranus näher als die Herschelschen Monde sind. Alle vier Monde umkreisen den Planeten im umgekehrten Sinne. Die Masse des Planeten ergibt sich aus der auf die Monde ausgeübten Anziehungskraft als 1:22869 der Sonne (Hill), Uranus ist also 14mal so schwer wie Erde und gerade so dicht wie Jupiter.

Die Monde laufen in einer Ebene senkrecht zur Ekliptik, woraus sich der seltene Anblick ergibt, daß wir auf die Bahn heraufsehen können, was sonst bei keinem Mond der Fall ist. Das ist zweimal in 84 Jahren der Fall, dazwischen tritt zweimal der Fall der Geradlinigkeit ein.

Im Jahre 1789 gab Delambre Tafeln für den Uranus heraus, die seine Stellung unter den Fixsternen für die Zukunft festlegten und aus einer Bahn berechnet waren, die die alten Beobachtungen mitbenutzt hatte. Aber nach zwei bis drei Jahrzehnten zeigten sich Abweichungen, und Bouvard fand schon in den zwanziger Jahren des 19. Jahrhunderts, daß eine Änderung der Uranusbahn vor sich gegangen sein müsse. Er berechnete neue Tafeln, die aber ebenfalls um 1840 deutliche Abweichungen zwischen Beobachtung und Rechnung zeigten. Das Genie Bessels gab die Erklärung dafür: er suchte nach



Abb. 26. Weg des Neptun Winter 1914/15 im Krebs.

einem Planeten, der außerhalb der Neptunsbahn anzunehmen sei und dem eine Bahn und Masse derart zuzuschreiben seien, daß die Störungen der Uranusbahn sich erklären ließ. Bessel starb 1846. Ohne Kenntnis seiner Gedanken hatte sich inzwischen Leverrier an die Berechnung dieses Problems herangemacht. Natürlich sind gewisse Annahmen über Entfernung und Bahnlage von ihm gemacht, die aber 3. T. nicht einmal der Wirklichkeit entsprechen. Trotzdem gelang es Halle in Berlin am 23. September 1846, den Planeten nur 1° von dem berechneten Orte zu finden. Die „Duplizität“ der Entdeckungen waltete auch hier: der Engländer Adams hatte schon 1845 ebenfalls einen angenäherten Ort für den gesuchten Planeten gefunden. Er war auch am 4. und 12. August gemessen worden, aber wie bei Uranus nicht erkannt.

Daß so ein Himmelskörper „mit der Spitze der Feder“ eher gesehen wurde, wie mit dem Fernrohr, war übrigens schon einmal dagewesen. Hatte doch Bessel den Begleiter des Sirius auch „errechnet“, der erst lange nach seinem Tode von Clarke wirklich gesehen wurde.

Der Neptun steht der Sonne viel näher, als Leverrier nach der Titiuschen Reihe vermutete. Seine von der Sonne 4495 Millionen Kilometer entfernte Bahn durchläuft er in 164,8 Jahren, während

Leverrier 5400 Millionen Kilometer bzw. 217 Jahre angegeben hatte. In der Tat hätte der Fehler im Ort wesentlich größer sein können, Leverrier selbst behauptete nur, daß er kleiner als  $10^0$  sein werde, er war aber kaum  $1^0$  groß.

Am 10. Oktober 1846 entdeckte Lassell den bis heute einzigen Neptunmond, 17 Tage nach der Entdeckung des Planeten durch Galle, aber erst im Juli 1847 war seine Mondnatur zu beweisen. (Einen Ring, den Lassell um Neptun zu sehen glaubte, hat man in den modernen Rieseninstrumenten nicht erkennen können.) Er ist ein Sternchen 13,6. Größe, was etwa 3600 km Durchmesser ergibt, wenn man gleiche Albedo wie bei Neptun annimmt. Da dies unwahrscheinlich ist, dürfte er bedeutend größer sein. Denn Neptun reflektiert 52% des auffallenden Lichtes, hat also eine dichte Atmosphäre. Der Mond ergibt — ebenso wie die Uranusstörungen — eine Neptunmasse gleich 1:19500 der Sonnenmasse, das ist 14mal schwerer als die Erde. Daraus folgt als Dichte für Neptun 1,1mal der Dichte des Wassers.

Wir haben daher in den vier äußeren Planeten sehr enge Geschwister fast in jeder Beziehung vor uns.

Neptun steht als Sternchen 7.—8. Größe augenblicklich auf der Grenze der Sternbilder Zwillinge und Löwe, wo man ihn nach unserem Kärtchen mit einem Feldstecher finden kann. Sein 2"—3" großes Scheibchen ist grünlich und macht in kleinen Fernrohren einen verwaschenen Eindruck. Einzelheiten sind auf ihm äußerst schwer erkennbar. Da sein Mond rückläufig ist (er läuft auch scheinbar augenblicklich rechts herum wie der Uhrzeiger!), so dürfen wir auch bei der Rotation eine rückläufige und anormale wie bei Uranus vermuten. Wir scheinen damit auf ein Gesetz zu stoßen, daß, wie wir gesehen haben, noch keine Kosmogonie in voller Klarheit erkannt hat.

Eines aber scheint noch zu ergründen zu sein: es mehrten sich die Anzeichen, daß auch Neptun noch Störungen durch einen unbekanntem „transneptunischen“ Planeten erleidet. Auch aus der Lage der Sonnenferne der stark elliptischen Kometen ist auf die Existenz eines, oder (nach Pickering) sogar dreier solcher Planeten zu schließen. Pickering hat die Orte berechnet, an denen sie sich finden sollten — aber sie fanden sich nicht. Metcalf soll nach einem transneptunischen Planeten suchen und ihn 12. Größe annehmen. Wir erleben also vielleicht noch Überraschungen.

### Schluß.

Wir hatten gehört, daß es bis heute noch nicht gelungen ist, der Entwicklung eines Planeten oder des Systems der Planeten oder auch des Sonnensystems eine andere als eine endliche Dauer zuzuschreiben. Unsere Kenntnisse der Energie- und Massengesetze fordern vielmehr von uns gebieterisch die Vorstellung: Jeder einzelner Körper und jedes System von Körpern hat wie ein lebendiger Organismus eine Entwick-

lungsrichtung, die nicht umkehrbar ist und bei der fortlaufend Energie für die Entwicklung verloren geht. Kein Herumwinden bringt uns um diesen Schluß herum. Auch die Annahme einer Zahl von unendlichen Systemen zerhaut den Knoten, statt ihn zu lösen. Und doch ist der Schluß, dem wir uns nähern müssen, klar: unsere Kenntnis der Energie- und Massengesetze ist lückenhaft! Wir müssen noch lernen, ehe wir wissen werden. So gesehen ist die gesamte Arbeit aller Nationen eine Einheit, mit einem Zweck: uns den Boden zu festigen, von dem wir „die Erde bewegen“ werden. Kein Verneinen, kein pessimistisches ignorabimus, keine Drohung mit der Unendlichkeit des zu Erkennenden will uns heute mehr schrecken, der Menscheng Geist wühlt sich weiter in das Chaos der ihn umgebenden Natur. Seine „Hebel und Schrauben“ fassen fester zu wie vor hundert Jahren. Geniale Hypothesen werden in der Klarheit des direkten Sehens als Leben, als Tatsache erwiesen. Molekülgruppen kolloidaler Substanzen sehen wir durchs Mikroskop, Atome in den Kanalstrahlen sehen wir durchs Spektroskop mit riesigen Geschwindigkeiten fliegen; Massen sehen wir sich wandeln in andere Massen und in Energie, wenn wir die Kette der radioaktiven Substanzen ablaufen sehen. Noch gelingt es uns nicht, die Hämmer zu schmieden, mit denen wir die Atome selbst in Energie zerschmettern. Aber kommen wird es, kommen muß es. Was ist dann der Satz von der Erhaltung von Energie und Masse? Wie dürfen wir heute noch Schlüsse aus einem Satz ziehen, von dem jeder, der unseren Gedankengängen folgt, ahnt, daß er Ausnahmen haben muß, die ihn allerdings nur bestätigen werden. Denken wir an ganz neue Gedanken: die Quantentheorie der Energie, die das Analogon zur Atomistik geworden ist! Denken wir an die Naivität unserer Raum- und Zeitvorstellungen! Was ist denn der Raum, die Zeit? Denken wir an die sehr wahrscheinlich gemachte Vorstellung, daß Schwerkraft absorbiert werden kann, wie ein dunkles Glas das Licht verschluckt, ein Gedanken, der so neu und so eigenartig ist, daß eben erst weitere und äußerst schwierige Messungen seine Grundlagen feststellen können. Denken wir daran, daß Einstein eine Ablenkung des Lichts durch die Schwerkraft fordert — um zu wissen, was wir noch lernen müssen, um „die Welt“ zu kennen! Dann werden wir die Bescheidenheit wiedergewinnen, die unser Stolz sein sollte: niemand ist, der etwas wüßte! Wir alle lernen!

Dort bläht ein Schiff die Segel  
Frisch saust hinein der Wind!  
Der Anker wird gelichtet,  
Das Steuer flugs gerichtet,  
Nun fliegts hinaus geschwind.  
Ein kühner Wasservogel  
Kreist grüßend um den Mast,  
Die Sonne brennt herunter,

Manch Fischlein blank und munter,  
Umgaukelt keck den Gast.  
Wär' gern hineingesprungen,  
Da draußen ist mein Reich!  
Ich bin ja jung von Jahren  
Da ist's mir nur ums Fahren,  
Wohin? Das gilt mir gleich!



**Arbeiter-Zentral-Bibliothek, Magdeburg**

# Einladung zum Beitritt in die Deutsche Naturwissenschaftl. Gesellschaft

**Jeder, der sich für die Natur interessiert,  
muß Mitglied werden!**

Für den geringen Jahresbeitrag von nur 6 Mark, also für  
**50 Pfg. monatlich**, erhalten die Mitglieder jährlich

**24 reich illustrierte Hefte** der Zeitschrift „Natur“, Halbmonatsschrift für alle Naturfreunde, Herausgeber: Prof. Dr. Bastian Schmid u. Dr. Curt Chesing, jedes Heft 32 Seiten stark, teils mit mehrfarbigen Kunstblättern, und

**5 wertvolle Bücher** mit zahlreich. Abbildungen und bunten Umschlägen (wenn gebunden, pro Einband 40 Pfg. extra). Die D. N. G. gewährt ihren Mitgliedern besondere

**Vereinspreise** auf ihre Veröffentlichungen, bei Vorträgen, Ferienkursen, beim Bezug von Lichtbildern mit Vortragstexten usw. Die Gesellschaft arrangiert Preisausreiben, Studienfahrten usw. Sie gibt über naturw. Fragen kostenfreie Auskünfte usw. Die Mitgliedschaft bringt neben diesen Vorteilen noch viele andere

**Vergünstigungen.** Außer der pünktlichen Zahlung des Mitgliedsbeitrages haben die

**Mitglieder keinerlei Verpflichtungen.**

**Beitritt** kann jederzeit erfolgen durch Anmeldung bei einer beliebigen Buchhandlung oder durch Abonnement der Zeitschrift „Natur“ mit 5 Buchbeigaben bei jeder Postanstalt. Bei Aufgabe von Postabonnements wolle man bemerken, ob

**Ausgabe A**, Preis vierteljährlich M. 1.50 mit gehefteten Buchbeigaben oder

**Ausgabe B**, Preis vierteljährlich M. 2.— mit gebundenen Buchbeigaben.

Die in vorhergehenden Quartalen erschienenen Hefte der „Natur“ nebst Buchbeigaben werden auf Wunsch gegen Zahlung des entsprechenden Mitgliedsbeitrages nachgeliefert.

Prospekte und Probehefte stehen kostenfrei zur Verfügung.

Wo die Anmeldung zur Mitgliedschaft bzw. der Bezug der „Natur“ auf Schwierigkeiten stößt, wende man sich an die

**Deutsche Naturwissenschaftliche Gesellschaft**  
Geschäftsstelle: Theod. Thomas Verlag, Leipzig,

## Deutsche Lande — deutsche Maler

Von Dr. E. W. Bredt. Mit 79 Vollbildern, 61 Abbildungen im Text und 12 Tafeln im Farbendruck. In Künstlerleinen gebunden 10 Mark.

Die Freude an der Schönheit unserer großen deutschen Heimat rauscht als voller Akkord durch dieses Buch; wie deutsche Lande im Geist und Auge deutscher Maler sich zu allen Zeiten spiegelten, will dieses eigenartige, im schönsten Sinne festliche Buch dem still sich versenkenden Betrachter vorführen.

Bohemia

Ein außergewöhnlich schönes und feines, und ein feinsinniges Buch, das jedem künstlerisch empfindenden Freunde unserer deutschen Landschaft und ihrer malerischen Darstellung auserlesene Genüsse in vornehmer Form bietet.

Blätter für Architektur und Kunsthandwerk

## Das alte Bauernleben der Lüneburger Heide

Studien zur nieder-sächsischen Volkskunde. In Verbindung mit dem Deutschen Verein für ländliche Wohlfahrts- und Heimatspflege herausgeg. von Prof. Dr. Eduard Rück. Mit 41 Abb., 24 Singweisen und einer Karte. Geheftet 6 M., gebunden M. 7.50.

Ein packendes Bild, das der Verfasser uns gibt, ein Buch, so recht geeignet für alle Schichten unseres Volkes, ein Werk, das wieder einmal ahnen läßt, welche Schätze uns die Volkskunde noch erschließen wird. Eine Ketterarbeit ist es, die der Verfasser hier leistet, da der alten Sitten und Gebräuche tiefer Sinn der neuen Zeit verloren gegangen ist.

Hamburger Fremdenblatt

Eine mustergiltige Volkskunde, der wir kaum eine gleichwertige zur Seite zu stellen wüßten.

Deutsche Volkszeitung

## Der Schwarzwald

(Deutsche Landschaftstypen, Heft 1). Von Dr. Erwin Scheu. Mit 8 Tafeln und 11 Abbildungen im Text. Kartoniert 1 Mark 20 Pfg.

Der von gediegener Sachkenntnis zeugende Text, dessen Vorzug nicht zum mindesten in seiner Klarheit und Prägung besteht, erläutert 8 vortreffliche Abbildungen, die zum Teil durch eigens für diesen Zweck aufgenommene Photographien hergestellt sind; Scheu will aber nicht nur eine bloße Beschreibung geben, sondern führt uns die geologischen Bedingungen für die gegenwärtige Struktur des Gebirges vor Augen und gibt uns einen Einblick in die Entwicklung der Bodenformation.

Breslauer Hochschul-Rundschau

Theod. Thomas Verlag in Leipzig



Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000298956