

der Mondbahn überhaupt unberücksichtigt gelassen und dafür eine reine Kreisbahn gewählt. Der dadurch entstehende Fehler ist wegen der verhältnismäßig kleinen Exzentrizität der Mondbahn von 0,055 erträglich, es entsteht höchstens ein Stellungsfehler von etwa  $6^{\circ}$  in der Bahn.

Eine weitere Aufgabe war die Darstellung der Mondphasen, sie schien am einfachsten durch eine kleine mattierte Glühlampe lösbar zu sein, deren eine Hälfte geschwärzt ist, und die unmittelbar durch ein Projektionsobjektiv an der Wand abgebildet wird. Wenn die Lampe langsam gedreht wird, müssen die Mondphasen entstehen. Dieser Weg erwies sich aber nicht als gangbar. Einerseits lassen sich die Lampen nicht hinreichend klein herstellen, und andererseits ist die Flächenhelligkeit trotz der Mattierung nach dem Rande viel zu gering. Deshalb wurde im Projektionsapparat dicht hinter der kreisrunden Blende, die das Bild des Vollmondes erzeugt, eine kleine Zusatzblende von der in Abb. 9 bis 11 dargestellten Form drehbar angebracht.

Damit ließen sich die Phasen des Mondes für eine Periode, d. h. von Vollmondstellung bis zur nächsten Vollmondstellung, in befriedigender Weise darstellen. Aber bei weiterer Drehung ergeben sich leider nicht die richtigen Phasen der nächsten Periode, sondern deren Spiegelbilder. Um die richtigen Phasen zu gewinnen, hätte man die Blendscheibe beim Vollmond sprungweise einmal um  $180^{\circ}$  weiterdrehen müssen. Dieser Weg ist aber aus verständlichen Gründen nicht besprochen worden. Vielmehr ist zur Darstellung der zweiten

Periode ein zweiter Projektionsapparat in fester Verbindung mit dem ersten vorgesehen worden, der immer abwechselnd mit dem ersten in Betrieb kommt. Damit war es möglich, für die Phasenblenden eine gleichförmige Drehung zu erzielen. Besondere Verdunkelungsblenden, die ebenfalls gleichförmig bewegt werden, sorgen dafür, daß beide Apparate in richtiger Reihenfolge zur Wirkung gelangen.

An die Mondapparatur schließen sich in den folgenden Feldern noch die Projektionsgetriebe für die Planeten Merkur, Venus, Mars, Jupiter und Saturn an. Diese Apparate sind alle nach dem Schema aufgebaut, das für den Merkur bereits beschrieben wurde. Die Phasen der Planeten sind nicht berücksichtigt worden, weil sie auch am Himmel mit bloßem Auge nicht erkennbar sind.

Beim Antrieb des ganzen Planetariums mußten zwei Möglichkeiten vorgesehen werden. Bei der Darstellung der Tagesvorgänge ist das ganze System um die Polachse zu drehen. Der Antrieb erfolgt durch einen Elektromotor, der seitlich an der Tragsäule fest angebracht ist. Durch ein Wechselrädervorgelege können verschiedene Geschwindigkeiten erzielt werden, in der Weise, daß ein Tag in  $4\frac{1}{2}$  min, 2 min oder 40 sec dargestellt werden kann. Alle übrigen Bewegungen werden von der Tagesachse zwangsläufig abgeleitet. Dabei verlaufen natürlich die Bewegungen von Sonne, Mond und Planeten gegenüber den Fixsternen sehr langsam. Um diese Bewegungen zu veranschaulichen, muß die Drehung der Polachse (der Tagesgang) ausgeschaltet werden. Dann ergibt sich die Möglichkeit, die Bewegungen der zum Planetensystem gehörenden Himmelskörper gegenüber dem nunmehr ruhenden Fixsternhimmel mit sehr erheblich gesteigerter Bewegungsgeschwindigkeit zu zeigen. Der Antrieb erfolgt nach Abschaltung der Tagesachse durch einen zweiten Elektromotor, der durch ein Zahnradvorgelege unmittelbar die Hauptachse der Planetengetriebe treibt. Dabei sind wieder drei Geschwindigkeiten vorgesehen, in der Weise, daß die Vorgänge eines Jahres in  $4\frac{1}{2}$  min, 50 sec oder 7 sec ablaufen können. Der letzte Schnellgang ist hauptsächlich

dazu gedacht, größere Zeiträume schnell zu überspringen um die Sternstellung für einen beliebigen Zeitpunkt einzustellen. Auch Rückwärtsgang ist vorgesehen.

Bei Benutzung des Jahresganges zeigen sich nun die schleifenartigen Bahnen der Planeten in vorzüglicher Weise. Uebrigens steht auch hierbei der Fixsternhimmel nicht ganz fest, weil er infolge der Präzession eine ganz langsame Drehung um den Pol der Ekliptik erfahren muß.

Alle Mechanismen sind, abgesehen von dem abschaltbaren Tagesgang, durch Zahnräder unveränderlich zwangsläufig miteinander gekuppelt. Ein Zählwerk an der Planetenachse gestattet, den gerade eingestellten Zeitpunkt zu bestimmen.

Die Genauigkeit der Darstellung über sehr lange Zeiträume hängt, wie man leicht erkennen kann, jetzt nur noch von der passenden Wahl der Zahnradübersetzungen ab, die für den Antrieb von Sonne, Mond und Planeten auszuführen sind.

Zur Bestimmung der Zähnezahlen wurden aus dem Uebersetzungsverhältnis, das durch die astronomischen Festwerte gegeben ist, jeweils unter Benutzung von Kettenbrüchen Näherungsbrüche abgeleitet. Diese wurden dann durch Addition oder Subtraktion von Zähler und Nenner in solcher Weise kombiniert, daß schließlich stets Zahlenwerte entstanden, die sich in hinreichend kleine Faktoren zerlegen ließen, so daß größere Zähnezahlen vermieden wurden.

Als Beispiel seien nur die Werte für den Merkur angegeben. Für die allen Planeten gemeinsame Antriebsachse wurden 10 Umdrehungen während eines siderischen Jahres angenommen, so daß der Antrieb des Sonnenapparates mit der Uebersetzung 1:10 erfolgen konnte. Für den Merkur ergab sich damit aus den astronomischen Daten das Uebersetzungsverhältnis  $0,415209106$ , das sich durch den Bruch  $\frac{3^8 \cdot 11 \cdot 43}{2 \cdot 7 \cdot 13^3}$  mit einem verbleibenden Fehler von  $1:10^7$  nähern ließ. Dieser Fehler ist so gering, daß ein Lagefehler von  $1^{\circ}$  für den Merkur hieraus erst nach einem Zeitablauf von 5000 Jahren eintritt.

Bei den anderen Planeten sowie beim Monde ließ sich der Restfehler für diesen Zeitraum noch kleiner halten, ohne daß ein größerer Aufwand an Zahnrädern nötig gewesen wäre.

Die Bewegungswiderstände für den Antrieb sind trotz der starken Häufung von Getrieben dadurch klein gehalten worden, daß fast an allen Lagerstellen Kugellager ausgeführt worden sind.

In Abb. 12 u. 13 ist das fertige Planetarium in Sommerstellung und Winterstellung dargestellt. Neben der Tragsäule steht die Schalttafel, von der aus alle Bildwerferlampen und die Antriebsmotoren eingestellt werden können. Im Hintergrund erkennt man die Schattenrisse des Münchener Horizonts, so wie er von der Plattform des Museums aus erscheint.

Bei der Vorführung der Tagesbewegung müßte, wenn man die natürlichen Vorgänge möglichst nachbilden wollte, beim Aufgang der Sonne der ganze Raum durch eine Allgemeinbeleuchtung so stark erhellt werden, daß die Sterne verschwinden. Davon wurde abgesehen, weil es viel wichtiger erschien, auch am Tage den Gang der Sonne durch die Sternbilder des Tierkreises und die Bewegungen der Planeten in der Nähe der Sonne zu verfolgen.

Eine sehr wirkungsvolle Darstellung der Himmelsbewegungen läßt sich mit dem Apparat auch noch dadurch erzielen, daß beide Antriebe, Tagesgang und Jahresgang, gleichzeitig und in solchem Geschwindigkeitsverhältnis eingeschaltet werden, daß die Sonne am Himmel ihre Mittagslage beibehält. Die Wirkung entspricht derjenigen, die für einen Beobachter auf der Erde herauskommen würde, wenn die Erde der Sonne immer die gleiche Hälfte zuwenden würde, etwa wie der Mond der Erde. Man sieht in diesem

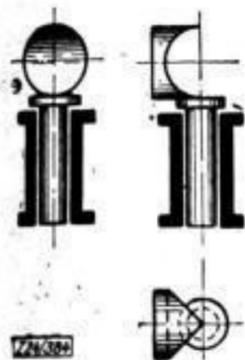


Abb. 9 bis 11.  
Mondphasenblende.