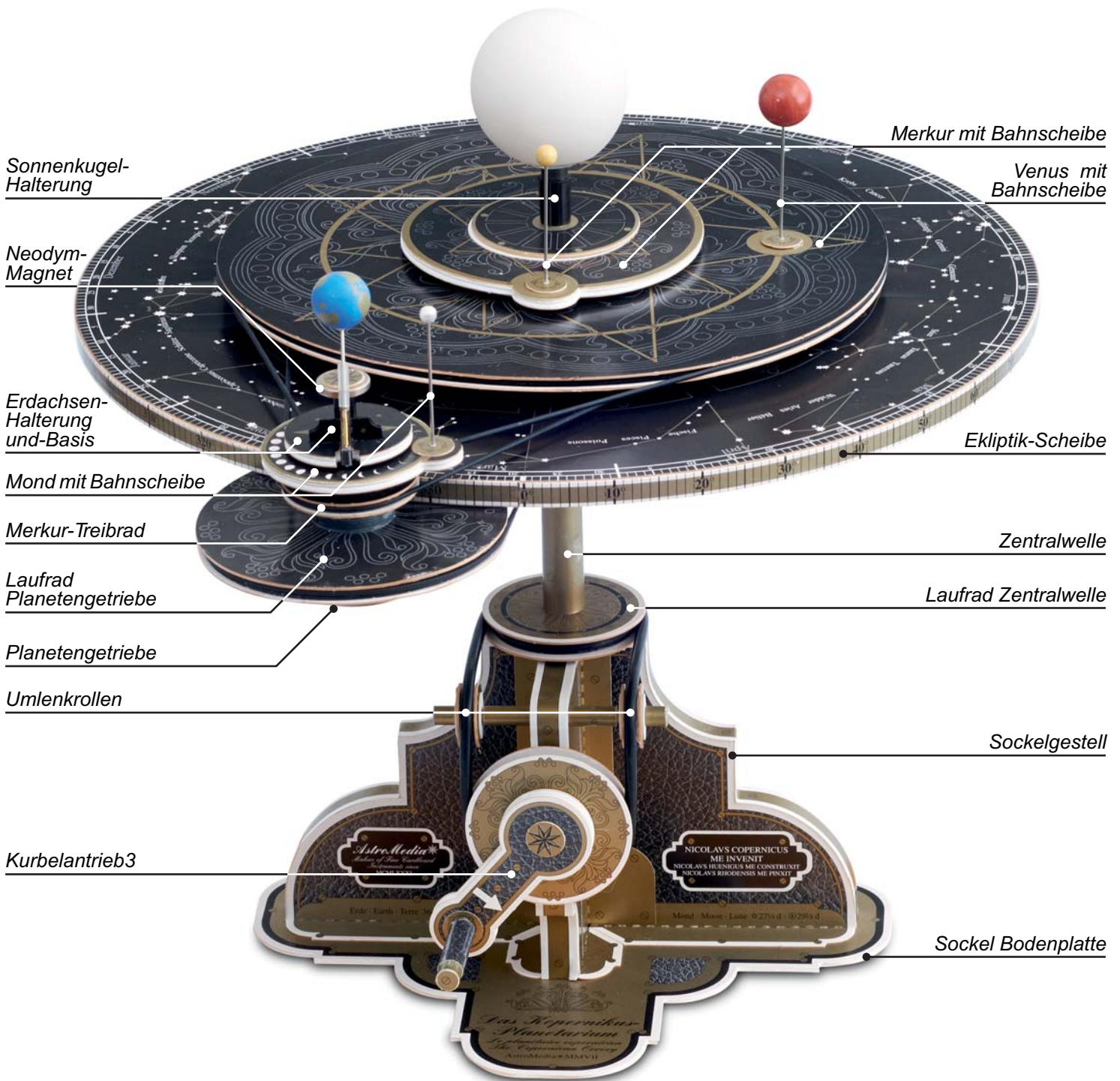


Klaus Hünig

# Das Kopernikus-Planetarium

Bauanleitung



AstroMedia 

Mechanische Planetarien gab es schon im alten Griechenland, auch wenn die Darstellung der Planetenbahnen mit ihren Schleifen, wie sie das **ptolemäische Weltbild** mit der ruhenden Erde als Weltmittelpunkt vorsah, dabei mechanisch wohl kaum wiedergegeben werden konnte. Das berühmteste Beispiel ist der in einem antiken Schiffswrack gefundene **Antikythera-Mechanismus**, der eher eine Art Rechenmaschine war. Auch von **Archimedes** ist überliefert, dass er den Gang zumindest von Sonne und Mond mechanisch demonstrieren konnte.

Die mechanischen Planetarien der Neuzeit basieren fast alle auf den Ideen des **Nikolaus Kopernikus** (1473–1543), der von der Sonne als Zentrum der Welt ausging. Er lehrte, dass die Erde nicht still steht, sondern drei Bewegungen macht: Sie dreht sich in 24 Stunden einmal um sich selbst, wandert in einem Jahr auf einer Kreisbahn um die Sonne und dreht mit einer dritten Bewegung ihre Achse so, dass sie immer in die gleiche Richtung und nicht zur Sonne zeigt. Dieses Weltbild gewann trotz heftigen Widerstands insbesondere der Kirche kontinuierlich an Boden und wurde von zahlreichen Gelehrten zum heute allgemein akzeptierten naturwissenschaftlichen Weltmodell weiterentwickelt, so von **Johannes Kepler**, der die elliptische Natur der Planetenbahnen entdeckte.

Zu Beginn des 18. Jahrhunderts gaben der **Earl of Orrery** und andere englische Adlige bei Uhrmachern mechanische Planetenmodelle mit Kurbelantrieb in Auftrag, die seitdem im englischen Sprachgebrauch **Orreries** heißen. Eines der größten und bekanntesten beweglichen Planetenmodelle baute der friesische Wollkämmer **Eise Eisinga** von 1774 bis 1781 in der Stadt Franeker, wo es heute noch zu besichtigen ist.

Heute wird der Begriff „Planetarium“ meistens für **Projektions-Planetarien** verwendet, wie sie erstmals von der Fa. Zeiss zu Beginn des letzten Jahrhunderts gebaut wurden und bei denen die Sterne in eine große Kuppel projiziert werden.

Das **Kopernikus-Planetarium** von AstroMedia\* steht in der Tradition der mechanischen Planetenmodelle mit Kurbelantrieb, die als Meisterwerke der Uhrmacher- und Feinmechanikerkunst in den Vitrinen ausgewählter Museen zu besichtigen sind. Seine einfache Treibriemen-Mechanik, die robuste Kartonkonstruktion und die Herstellung als erschwinglicher Bausatz machen dieses interessante und lehrreiche Gerät wieder einem größeren Interessentenkreis zugänglich.

## Das benötigen Sie für den Zusammenbau:

- Ein scharfes **Bastelmesser** („Cutter-Messer“, z.B. das AstroMedia\* Bastelmesser) oder ein Skalpell mit schlanker Spitze.
  - **Alleskleber**, z.B. *Tesa Alleskleber*. Er kann für alle Teile verwendet werden. Lösungsmittelhaltiger Alleskleber hat den Vorteil gegenüber einem lösungsmittelfreien Kleber auf Wasserbasis, dass er den Karton nicht wellt, viel schneller trocknet und auf den mit Drucklack geschützten Oberflächen besser haftet. Tipp: Sie werden wahrscheinlich mehrere Tuben bzw. Flaschen benötigen.
  - **Sekundenkleber** mit nicht zu kurzer Abbindezeit für die Verbindungen von Karton mit Kunststoff oder Metall und, falls das einmal nötig werden sollte, zum Kleben der Rundriemen aus NBR-Kautschuk. Gut bewährt hat sich Uhu-*Alleskleber „Super Strong & Safe“*. Bitte beachten Sie die besonderen Verarbeitungs- und Sicherheitshinweise bei Sekundenklebern!
  - Rasch abbindender **Weißleim**, z.B. *Ponal Express*, kann auch für die großen Teile an Stelle von Alleskleber verwendet werden, allerdings nicht so gut auf den lackierten Druckflächen. Die Trocknungszeiten sind zwar wesentlich länger, dafür werden die verklebten Verbindungen etwas steifer.
  - Feines **Sandpapier** (oder z.B. die AstroMedia\* Sandblatt-Bastelfeile), um überstehende Kartonränder abzuschleifen. Praktisch ist auch eine **Rundfeile** Ø 8 mm, falls Löcher in den Graukarton-Scheiben erweitert werden müssen.
  - Eine **Schneideunterlage**, z.B. aus fester Pappe (ohne Welle) oder Kunststoff oder Holz. Am Besten sind so genannte „selbstheilende“ Schneidematten, bei denen sich Einschnitte wieder schließen.
  - Ein **Lineal** oder ein **Geodreieck**, zum Schneiden, Messen und um rechte Winkel zu überprüfen. Letzteres ist ersatzweise auch mit den rechtwinkligen Ecken eines Papierblattes möglich.
  - Eine **Kombizange** oder einen Seitenschneider, mit dem sich Drahtstifte kürzen lassen.
  - Eine **Stecknadel** und eine **Nähnadel** oder idealerweise eine 1 mm-Bohrnadel, um die nur angestochenen Löcher in der Drahtstift-Basis auf 1 mm zu erweitern.
  - **Klebefilm** (Tesa o.ä.) zum Verstärken von Kartonoberflächen.
  - Etwas **Maschinen-** oder **Silikonöl** (kein Speiseöl!) gegen Quietschen an den Stellen, wo die Kunststoff-Lagerscheiben auf Holz reiben.
- OPTIONEN:** Mit dem Wort **OPTION** und *kursiver Schrift* sind innerhalb der Bauanleitung Schritte gekennzeichnet, die Sie ausführen können, aber nicht müssen. Dafür benötigen Sie:
- Ein Stück **Sperrholz** o.ä. ca. 21 x 21 cm zur Verstärkung der Bodenplatte, wenn das Kopernikus-Planetarium für häufige Benutzung gerüstet werden soll, z.B. in Schulen.
  - Einen dicken **schwarzen Filzstift** und **weiße Deckfarbe** oder **Korrektur-Fluid** wie z.B. **Tipp-Ex**, wenn Sie die sonst sichtbaren Kanten der Graukarton-Scheiben nicht grau lassen wollen.
  - **Deckfarben, farbige Filzstifte, Tipp-Ex**, wenn Sie die Holzkugeln von Erde, Mond und den Planeten farbig bemalen wollen.
  - **Strass-Steine** (kleine Glaskristalle zum Aufkleben) für den, der es ganz perfekt mag, um die Hauptsterne des Tierkreises zum Glitzern zu bringen (gibt es günstig im Internet)

## Dieser Bausatz enthält:

- Stanzbögen A4: 6 Bögen unbedruckter Grau-Karton 1,13 mm (Blatt 1 bis 6), 12 Bögen bedruckter Offset-Karton 0,5 mm (Blatt 7 bis 18), 1 Bogen bedrucktes Offset-Papier 0,13 mm (Blatt 19)
- Kartonröhren und Hartpapier-Hülsen (Achsen und Wellen): 1 St. 100 x 12 x 10 mm (Länge x Außendurchmesser x Innendurchmesser), 1 Stück 27 x 8,8 x 7,5 mm, 1 St. 38 x 6,5 x 5 mm, 1 St. 14,5 x 34 x 32 mm
- Rundholz (Achsen und Wellen): 1 St. Ø 8 x 240 mm, 1 St. Ø 4 x 70 mm, 2 St. Ø 4 x 56 mm, 1 St. Ø 4 x 38 mm
- Kunststoff-Lagerscheiben mit Loch (Lager für Achsen und Wellen): 6 St. 14 x 4,1 mm, 2 St. 20 x 8,2 mm, 2 St. 20 x 6,6 mm, 2 St. 25 x 4,1, 2 St. 50 x 29,3 mm, 2 St. 55 x 34,3 mm
- Drahtstifte aus Federstahl (Halterung für Mond und Planeten): 4 St. Ø 1 x 43,5 mm
- Holzkugeln (Mond und Planetenkörper) mit Sackloch-Bohrung: 2 St. Ø 16 mm, 1 St. Ø 6 mm, 1 St. Ø 4,5 mm
- Messinghülse (Lagerung Erdachse): 1 St. Ø außen 1,5 x Ø innen 1,1 x 10 mm
- Neodym-Magnet (Antrieb Erdrotation): 1 St. Ø 15 x 2,5 mm
- Silikon-Schlauch (Antrieb Erdrotation): 1 St. Ø außen 2,8 x Ø innen 0,8 x 12 mm
- Treibriemen aus NBR-Kautschuk: 1 St. Ø 4 mm, 5 St. Ø 2 mm
- Perma-Ferritmagnete (Halterung Sonne): 2 St. Ø 8 x 4 mm
- LED-Leuchtkugel (Sonne): 1 St. Ø 49 mm

# Die wichtigsten mechanischen Elemente des Kopernikus-Planetariums

Die Kraftübertragung im Kopernikus-Planetarium erfolgt über ein **Riemengetriebe**, das aus **Rillenscheiben** bzw. **Rillenrädern** und **Rundriemen** aus NBR-Kautschuk-Schnüren besteht. Ein **Kurbelantrieb** mit einem Kurbelgriff stellt die Kraft zur Verfügung.

Als **Welle** werden die Kartonhülsen oder Rundhölzer bezeichnet, die fest mit mindestens einem Rad verbunden sind und sich mit ihm drehen, im Gegensatz zu einer **Achse**, die fest steht, so dass sich auf ihr ein Rad oder eine Hohlwelle drehen kann. Wellen können Kräfte übertragen, Achsen nicht.

Als **Kunststoff-Lagerscheibe** werden die Lochscheiben aus gestanztem weißem Hartkunststoff bezeichnet. Das Loch dient als Drehlager für Achsen oder Wellen, die Fläche als Gleitlager. Die Kennzeichnung ist immer „Außendurchmesser mal Innendurchmesser“, also z.B. „14 x 4,1 mm“.

Als **Treibrad** wird ein Rad bezeichnet, das Kraft auf einen Treibriemen überträgt und damit ein anderes Rad antreibt. Dieses wird dann als **Lauftrad** bezeichnet, weil es durch die Kraft des anderen zum Mitlaufen gezwungen wird.

Die große feststehende Scheibe, in deren Zentrum die Sonne sitzt, ist die **Ekliptik-Scheibe**, die von der im Endausbau später nicht mehr sichtbaren **Zentralachse** aus Holz gehalten wird. Um die Zentralachse dreht sich die **Zentralwelle**, die ihre Kraft vom Kurbelantrieb empfängt und über mehrere Treibräder verteilt.

Die Gruppe fest miteinander verklebter Scheiben, die sich am Rand der Ekliptikscheibe entlang bewegt, ist das **Planetenge triebe**. In ihm frei beweglich gelagert ist die hohle Welle für die **Erdneigung**, mit der die konstante Ausrichtung der schräg stehenden Erdachse bewirkt wird, und wiederum in dieser die Welle für die **Erdrotation**, jede mit ihrer eigenen Geschwindigkeit.

## Tipps für einen erfolgreichen Zusammenbau - Bitte vor Baubeginn lesen

**Tipp 1:** Die Bauanleitung wurde in **viele kleine Schritte** gegliedert. Das sieht zunächst nur nach viel Text aus, aber dafür bleibt der Zusammenbau übersichtlich und führt zu einem erfolgreichen Ergebnis. Bitte lesen Sie jeden Schritt vor seiner Durchführung ganz durch und **gönnen Sie sich genügend Zeit**. Das Kopernikus-Planetarium ist ein hochwertiges astronomisches Modell mit einer zwar einfach zu bauenden, aber doch recht komplexen Antriebsmechanik. Je mehr Zeit Sie sich lassen, umso schöner und besser wird es werden. Wichtig: Halten Sie die Reihenfolge der Schritte ein. **Einen detaillierten, reich bebilderten Baubericht finden Sie unter [www.michelswunderland.de/solderiron/tellurium.html](http://www.michelswunderland.de/solderiron/tellurium.html)**.

**Tipp 2:** Jedes Teil auf den bedruckten Stanzbögen ist mit seinem **Namen** und einer **Teilenummer** gekennzeichnet, die aus einem Buchstaben und einer Nummer besteht, die der Reihenfolge des Zusammenbaus folgt. Nur auf den unbedruckten Stanzbögen aus Graupappe müssen die Teilenummern noch nachgetragen werden, wie im ersten Arbeitsschritt erläutert wird. Die **Buchstaben** in den Teilenummern sind innerhalb einer **Baugruppe** gleich. Lösen Sie am besten immer nur die Teile heraus, die Sie gerade benötigen, oder schreiben Sie die Teilenummern auf die Rückseite, sofern sie nicht schon auf dem Teil gedruckt sind.

**Tipp 3:** Mit „R“ oder „Reserve“ sind einige wenige Teile gekennzeichnet, die aus technischen Gründen mitgestanzt werden mussten, aber nicht unbedingt benötigt werden.

**Tipp 4:** Es empfiehlt sich, die Teile nicht aus dem Karton zu reißen, sondern die kleinen Haltestege mit einem Messer **durchzuschneiden**, damit die Kanten ganz glatt werden.

**Tipp 5:** Die durch **Perforationsschnitte** markierten Linien werden alle „nach vorne“ gefalzt, also zu mir hin, wenn ich auf das Teil blicke.

**Tipp 6:** Die Stellen, auf die etwas geklebt

wird, sind in der Regel durch **graue Flächen** gekennzeichnet. Tipp bei **lösungsmittelhaltigem Alleskleber** für kleine Flächen: Tragen Sie einseitig eine nicht zu dünne Schicht Alleskleber auf, drücken Sie die Teile zusammen, so dass sich er auf beiden Seiten flächig verteilt, und ziehen Sie die Teile wieder auseinander. Blasen Sie 2- bis 3-mal darüber und drücken Sie sie passgenau und kräftig zusammen - die Klebung hält sofort. Beachten Sie aber: Diese Methode wirkt nur bei lösungsmittelhaltigem Klebstoff. Das Abbinden von **Sekundenkleber** wird dagegen durch Anhauchen beschleunigt, weil er mit Wasser und damit auch auf die Luftfeuchtigkeit des Atems reagiert.

**Tipp 7:** Größere Klebeflächen sollten beim Trocknen **gepresst** werden, z.B. mit ein paar Büchern auf einer ebenen Fläche, damit sie sich nicht verwölben.

**Tipp 8:** Offset-Karton wird in Rollen-Druckmaschinen verarbeitet und hat deshalb eine **Laufrichtung**, d.h. eine bevorzugte Richtung, in der er sich etwas leichter wölbt. Vor dem Zusammenkleben zweier größerer Teile ist es deshalb wichtig, die Laufrichtung zu suchen und zu markieren und sie dann so zusammen zu fügen, dass die Laufrichtungen übereinstimmen, wie in Schritt 20 beschrieben. Beim Graukarton ist das nur bei den sehr großen Teilen von Merkur- und Venuslauftrad nötig.

**Tipp 9:** Wer es ganz perfekt machen will, bestreicht die Kanten der Graukarton-Scheiben nach dem Zusammenkleben, aber noch bevor die seitlichen Führungsscheiben aus weißem Karton aufgeklebt werden, mit Klebstoff. Dadurch werden sie gehärtet.

**Tipp 10:** Die Lagerscheiben aus Hart-Kunststoff sind auf der Oberseite etwas glatter als auf der Unterseite, wo ein kleiner Grat übersteht. Kleben Sie sie immer mit dieser weniger glatten Seite auf den Karton. Sollte das Loch in der Scheibe für die dafür bestimmte Achse zu eng sein, können Sie es nach dem Aufkleben mit einer Schere o.ä. weiten, die sie mit etwas Druck darin drehen. Achten Sie immer gut darauf, dass die Lagerscheiben sehr exakt mittig aufgeklebt werden.

### Allgemeine Hinweise zur Verarbeitung des Graukartons und der Kartonröhren:

Die Bögen 1 bis 6 bestehen aus Graukarton und sind nur gestanzt, aber nicht bedruckt. Um die Teile eindeutig identifizieren zu können, müssen sie vor dem Herauslösen mit ihrem Buchstaben und ihrer Nummer so beschriftet werden, wie Sie es auf den verkleinerten Abbildungen der Bögen am Ende der Bauanleitung sehen können. Schreiben Sie auch Blatt 1, Blatt 2 usw. auf jeden Graukarton-Bogen. Die Teile L1 bis L4 auf den Bögen 3 und 4 werden nicht benötigt und können ignoriert werden.

Technisch bedingt entstehen beim Stanzen des Graukartons keine rechtwinkligen, sondern leicht schräg laufende Kanten. Die Oberseiten der Teile sind deshalb um Millimeterbruchteile kleiner als die Unterseiten. Werden mehrere identische Teile zusammengeklebt, wie z.B. bei den Innenlagern der Rillenräder, kommen deshalb immer die etwas kleineren Oberseiten gegeneinander zu liegen, wenn nichts anderes angegeben ist.

Aus dem gleichen Grund scheint der Durchmesser des Loches in den Scheiben auf der Unterseite immer etwas zu klein zu sein. Er lässt sich aber bei Bedarf problemlos weiten, z.B. mit einer Rundfeile, oder indem man den Holzkonus eines gespitzten Bleistifts oder eine zusammengeklappte Schere mit ganz leichtem Druck darin dreht. **WICHTIG:** Schleifen oder schneiden Sie den dabei entstehenden Krater wieder weg.

Karton ist ein Naturmaterial, bei dessen Dicke mit bemerkbaren Maßtoleranzen gerechnet werden muss, sowohl bei den Stanzteilen aus Graukarton als auch bei den Kartonröhren. Wenn eine Röhre nicht in das für sie bestimmte Loch in einer Scheibe passen will, muss man dieses wie oben beschrieben weiten und/oder das Röhrenende mit etwas Schleifpapier verjüngen.

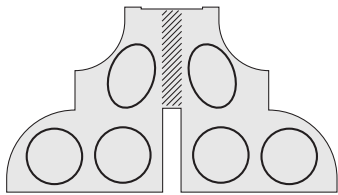
## Abschnitt A: Das Sockelgestell

Das Sockelgestell besteht im Kern aus zwei Sockelwänden, die rechtwinklig ineinander gesteckt werden und so für ausreichende Stabilität sorgen. Sie setzen sich jeweils aus 2 Wänden aus Graukarton zusammen, zwischen die 6 Distanzringe mit 8 mm Breite geklebt werden und die anschließend mit Teilen aus bedrucktem Karton verkleidet werden. Die Sockelwand aus den Teilen A13, Bogen 5, und A14, Bogen 6, ist symmetrisch, die andere aus den Teilen A15, Bogen 5, und A16, Bogen 6, ist asymmetrisch. Zusammengesteckt entstehen drei identische geschwungene Sockelschenkel und ein mehr geradlinig verlaufender, an dessen senkrechter Kante der Kurbelantrieb eingebaut wird.

Der Sockel wird erst am Ende von Bauabschnitt B auf seine Bodenplatte geklebt.

**Wichtig: Vor Beginn die Graukartonteile beschriften!**

**Schritt 1:** Lösen Sie die 12 Distanzringe [A1 bis A12] aus den Bögen 11 bis 16, biegen Sie sie grob rund und kleben Sie sie mit einer Überlappung von ca. 10 mm zu Ringen von knapp 30 mm Durchmesser zusammen. Die Enden müssen gerade und ohne Verschränkung übereinander sitzen, so dass die liegenden Ringe überall nicht mehr als



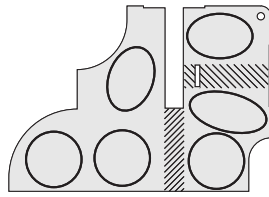
Skizze 1: Distanzringe auf Sockelwand 1

8 mm hoch stehen. Knicke stören dagegen nicht.

**Schritt 2:** Kleben Sie 6 Distanzringe entsprechend Skizze 1 auf die Vorderseite der Sockelwand 1 [A13, Bogen 5]. Die schraffierte Fläche muss frei bleiben. Gut trocknen lassen und dabei immer wieder andrücken. Bestreichen Sie dann die oberen Ränder der Distanzringe mit reichlich Klebstoff und legen Sie die Wand 2 des Sockels [A14, Bogen 6] so darauf, dass die Kanten der beiden Wände genau übereinander liegen. Stoßen Sie die so entstandene Sockelhälfte mit der Unterkante auf der Arbeitsfläche auf, um sicher zu sein, dass beide Wandteile auf gleicher Höhe sind, prüfen Sie noch einmal durch einen Blick auf die Seite, dass keines mit seinem Ende über das andere übersteht, und legen Sie das Ganze dann mit Wand 2 nach unten hin, so dass der noch tropf-flüssige Kleber zur neuen Klebstelle hin und nicht von ihr weg läuft. Legen Sie ein Buch o.ä. zum Beschweren darauf.

**Schritt 3:** Kleben Sie eine Kunststoff-Lagerscheibe 14 x 4,1 mm mit Sekundenkleber zwischen die beiden Hälften des Innenlagers der Kurbelwelle [A17 + A18, Bogen 5 + 6]. Das Loch der Scheibe muss dabei genau in der Mitte des Loches im Karton und die beiden Kartonteile deckungsgleich über-

einander liegen. Die Kunststoff-Lagerscheibe steht an den längeren Kanten über. Diesen Überstand nach dem Trocknen mit einem Messer sauber abschneiden.



Skizze 2: Distanzringe auf Sockelwand 2

**Schritt 4:** Entfernen Sie den Karton aus dem kleinen Loch und dem kleinen Schlitz in der Sockelwand 3 [A15, Bogen 5] und kleben Sie das Innenlager der Antriebsachse [A17 + A18] mit einer der beiden längeren Kanten in den kleinen Schlitz, am besten mit Sekundenkleber. Kleben Sie dann die restlichen 6 Distanzringe wie in Skizze 2 dargestellt auf die selbe Seite der Sockelwand. Die schraffierten Flächen müssen wieder frei bleiben.

**Schritt 5:** Machen Sie Loch und Schlitz in der Sockelwand 4 [A16, Bogen 6] frei. Bestreichen Sie wieder die Oberkanten der Distanzringe reichlich mit Klebstoff, ebenso den Schlitz in Sockelwand 4, und setzen Sie diese auf die Sockelwand 3 mit ihren Distanzringen und dem Achsen-Innenlager. Dieses muss dabei mit seiner oberen Kante in den Schlitz einrasten. Richten Sie die beiden Wandhälften wieder so aus, dass sie nicht versetzt aufeinander liegen, und drehen Sie die Sockelhälfte dann wieder so, dass der Klebstoff zu den neuen Klebestellen hin fließen kann. Achten Sie besonders gut darauf, dass die beiden Löcher genau übereinander liegen, damit die Umlenkrollen-Achse, die später hindurch gesteckt wird, nicht schief steht.

**Schritt 6:** Stecken Sie nach dem Trocknen die beiden Sockelhälften ineinander. Sie müssen oben und unten gleich abschließen und wackelfrei auf der Arbeitsfläche stehen. Ziehen Sie sie wieder etwas oder ganz auseinander, bringen Sie an den Kontaktstellen Klebstoff an und stecken Sie sie wieder zusammen. Stecken Sie auch provisorisch und ohne Klebstoff in der Mitte die Zentralachse aus 8 mm starkem Rundholz durch, bis sie unten mit dem gekreuzten Sockel bündig ist. Sie versteift die Konstruktion und dient zunächst als eine Art Handgriff. Achten Sie auch darauf, dass die Abstände der Graukartonteile der beiden Sockelwände oben auf allen Seiten gleich sind, sonst lassen sich im übernächsten Schritt die Streifen der Außenkanten [A32 bis A35, Bogen 19] nicht gut aufkleben.

**Schritt 7:** Falzen Sie bei allen 8 Wandverkleidungen des Sockels [A19 bis A26, Bogen 7 bis 10] die Fußlaschen nach vorne und kleben Sie sie so auf die Sockelwände, dass die gerundeten Außenkanten exakt übereinander liegen, also nirgendwo überstehen oder zurück bleiben.

**TIPP:** Die beiden Wandteile A19 und A20 mit den aufgedruckten Text-Kartuschen kann man aus Gründen der Symmetrie rechts und links neben die Sockelwand für den Kurbelantrieb kleben.

An den Innenecken des Sockels, wo sich die Wandverkleidungen begegnen, bleibt ein kleiner Spalt. Er wird später überklebt.

Die Kantenverkleidungen des Sockels [A31 bis A35, Bogen 19] haben keine durch Perforationsschnitte vorgegebenen Falzlinien, weil die zu prominent sichtbar wären. Der nächste Schritt enthält deshalb einen kombinierten Wechsel von Aufkleben und Falzen. – Auf der Oberseite haben alle vier Sockelschenkel eine Vertiefung von etwa 1 mm. In sie wird später das scheibenförmige Lager für die Zentralwelle geklebt. Die gleiche Vertiefung findet sich auch in der vertikalen Kante des Sockelschenkels, der den Kurbelantrieb aufnehmen wird. Mit diesem Sockelschenkel wird begonnen:

**Schritt 8:** Halten Sie die Kantenverkleidung 1 [A31, Bogen 19] mit dem Ende, auf dem sich nur eine Schraube befindet, auf die Oberseite des Sockelschenkels für den Kurbelantrieb. Das Ende des Papierstreifens soll dabei etwa 1 mm von der oben erwähnten Vertiefung Abstand haben. Schmiegen Sie den Streifen zunächst ohne Kleber an die Kanten an und prüfen Sie, ob diese auch den richtigen Abstand voneinander haben. Bestreichen Sie die Ränder des Papierstreifens auf der Unterseite mit reichlich Klebstoff und kleben Sie den Streifen auf die Kanten des Sockels. Der Streifen bedeckt jetzt die Öffnung zwischen den beiden Sockelwänden von der oberen horizontalen Vertiefung bis zur seitlichen vertikalen Vertiefung. Legen Sie dann die Kantenverkleidung 2 [A32, Bogen 19] mit dem Ende, wo drei Schrauben beieinander stehen, auf das kurze vertikale Stück des selben Sockelschenkels unterhalb der seitlichen Vertiefung, und schmiegen Sie es um die Ecke herum, die zur anschließenden Rundung führt, so dass diese Ecke sich im Papier abdrückt. Nehmen Sie den Streifen wieder ab und machen Sie an der Stelle des Eckenabdrucks einen scharfen, sauberen Knick. Schmiegen Sie dann den Streifen auch in die sich anschließende Rundung hinein und kleben Sie ihn dann komplett auf die Sockelkanten. Der kleine Überstand unter dem Sockel wird nach dem Trocknen glatt abgeschnitten.

**Schritt 9:** Halten Sie die Kantenverkleidung 3 [A33, Bogen 19] mit dem Ende, wo zwei Schrauben dicht beieinander stehen, auf das obere horizontale Stück eines der anderen Sockelschenkel, wieder mit ca. 1 mm Abstand von der Vertiefung. Formen Sie die Ecke im Papier ab, machen Sie dort einen glatten Falz und kleben Sie dann dieses oberste horizontale Streifenstück fest. Schmiegen Sie dann den Streifen in die sich anschließende Rundung bis zur nächsten Ecke, formen Sie sie wieder ab, falzen Sie, und kleben Sie auch dieses gerundete Stück des Streifens fest. Schmiegen Sie dann den Streifen an das sich anschließende vertikale Sockelstück und drücken Sie

ihn z.B. mit einem Messer in die nächste Ecke hinein, so dass sie sich abdrückt. Machen Sie wieder einen glatten Falz und kleben Sie dieses Stück fest. Schmiegen Sie dann den Rest des Streifens über die sich anschließende Rundung, kleben Sie ihn fest und schneiden Sie nach dem Trocknen den Überstand ab. – Verfahren Sie dann mit den Kantenverkleidungen 3 und 4 [A34 + A35, Bogen 19] auf den beiden verbleibenden Sockelkanten genau so.

**TIPP:** Mit den goldbedruckten Rändern, die in Bogen 19 zurückbleiben, lassen sich später die Kanten von Mond- und Merkur-Bahnscheiben sowie der Erdachsenbasis verkleiden, als Alternative zum Bemalen.

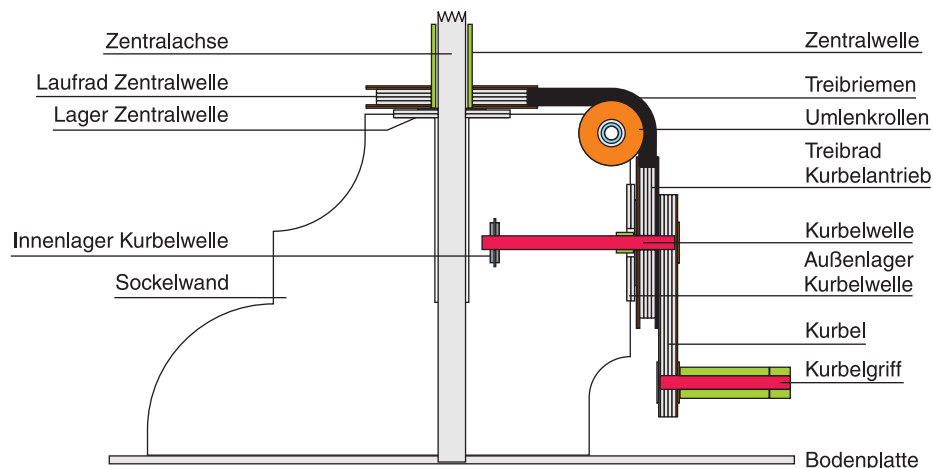
**Schritt 10:** Falzen Sie die 4 Eckenverkleidungen [A27 bis A30, Bogen 19] nach vorne und kleben Sie sie in die Innenecken, wo sich die Wandverkleidungen begegnen.

**Schritt 11:** Kleben Sie die beiden Teile des Zentralwellen-Lagers [A36 + A37, Bogen 3] zusammen. **OPTION: Kanten weiß einfärben oder mit einem weißen Papierstreifen bekleben.** Ziehen Sie die hölzerne Zentralachse aus dem Sockel, stellen Sie sicher, dass sich das Zentralwellen-Lager problemlos in die Vertiefung oben in der Mitte des Sockels legen lässt. Streifen Sie das Zentralwellen-Lager über die Zentralachse, bestreichen Sie die Kanten der Sockelwände, auf die das Lager geklebt werden soll, mit Klebstoff, stecken Sie Zentralachse wieder in den Sockel und schieben Sie das Zentralwellen-Lager herunter, bis es passgenau an seinem Platz sitzt, genau über der Kreuzung der Sockelwände. Es wird später nicht nur das Lager für die Zentralwelle sein, die sich um die Zentralachse dreht, sondern auch der Zentralachse selber einen festen Halt geben. Kleben Sie dann auf die Unterseite des Zentralwellen-Lagers die vier Verkleidungsstücke [A38 bis A41, Bogen 15 + 16].

*Damit ist der Sockel bereit zur Aufnahme des Kurbelantriebs.*

## Abschnitt B: Der Kurbelantrieb

*Alle Schnurräder des Riemengetriebes haben im Prinzip den gleichen Aufbau: Im Kern bestehen sie aus 2 bis 4 Graukarton-Scheiben („Mitte“), die zusammen die gleiche Dicke haben wie der Riemen, der über dieses Rad laufen wird, und auf beide Seiten wird zur Führung des Riemens eine etwas größere Scheibe geklebt, die aus 2 Lagen („Außenseite“ + „Innenseite“) des bedruckten weißen Kartons besteht. Der Kurbelantrieb besteht aus dem Treibrad mit Kurbelarm und Kurbelgriff und zwei Umlenkrollen. Die Kraftübertragung auf das Laufrad der Zentralwelle erfolgt über einen 4 mm starken Treibriemen, weshalb die Mittenteile der beteiligten Räder aus 4 Graukarton-Scheiben bestehen (s. Skizze 3).*



**Skizze 3: Sockel mit Kurbelantrieb**

**Schritt 12:** Stecken Sie das 70 mm lange Rundholz so durch das Loch, das sich oben auf dem Sockelschenkel befindet, dass es auf beiden Seiten genau gleich weit absteht. Eventuell müssen die Löcher dazu etwas erweitert werden. Das ist die Achse für die Umlenkrollen. Markieren Sie mit einem Bleistift auf beiden Seiten, wo die Umlenkrollen-Achse aus dem Karton austritt, und vergewissern Sie sich noch einmal, dass diese Markierungen auch genau gleich weit von den Enden entfernt sind und dass die Achse rechtwinklig auf der Sockelwand steht. Ziehen Sie dann die Achse etwa 5 bis 10 mm weit wieder heraus, bestreichen Sie sie dort mit Klebstoff, schieben und drehen Sie sie wieder zurück und dann noch ein Stück weiter, bestreichen Sie sie auf der anderen Seite auch mit Klebstoff und schieben Sie sie dann in ihre Ausgangslage zurück, so dass die Bleistiftmarkierungen wieder sichtbar werden und die Achse auf beiden Seiten gleich weit herausragt. Trocknen lassen.

**Schritt 13:** Wickeln Sie die Verkleidungen 1 und 2 der Umlenkrollen-Achse [B1 + B2, Bogen 19] ohne Klebstoff auf eines der noch übrigen Rundhölzer, damit sich die Papierstreifen etwas wölben und besser aufkleben lassen. Kleben Sie dann das graue Ende des einen Streifens mit der Rückseite auf die Umlenkrollen-Achse, direkt im Anschluss an die Sockelwand, aber nur die ersten Millimeter des Streifens. Lassen Sie diese Klebung antrocknen, bestreichen Sie den restlichen Streifen mit Klebstoff und wickeln Sie ihn zu einer dichten, fest verklebten Hülse auf und drücken Sie vor dem Trocknen mit einer der Kunststoff-Lagerscheiben 14 x 4,1 fest an die Sockelwand. Verfahren Sie dann mit dem anderen Papierstreifen auf der anderen Seite der Umlenkrollen-Achse genau so. Die Enden der beiden Achsen-Verkleidungen liegen dann ca. 40 mm auseinander und sorgen dafür, dass die Umlenkrollen den richtigen Abstand voneinander haben.

**Schritt 14:** Lösen Sie die 4 Mittenteile der Umlenkrolle 1 [B3 bis B6, Bogen 3] aus dem Graukarton und kleben Sie zunächst 2 Teile mit ihren Oberseiten gegeneinander, dann auf jede Seite noch einmal ein Teil mit

seiner Oberseite. **OPTION: Kanten schwarz einfärben.** Beachten Sie, dass die Scheiben passgenau aufeinander liegen müssen. Kleben Sie dann die Außenseite 1 von Umlenkrolle 1 [B7, Bogen 7] auf die Rückseite der dazu gehörenden identischen Innenseite [B9, Bogen 9] und verfahren Sie mit der Außenseite 2 [B8, Bogen 7] und der Innenseite 2 [B10, Bogen 9] ebenso. Die beiden doppellagigen Seitenteile werden dann auf beide Seiten der vierlagigen Mitte aus Graukarton geklebt. Achten Sie dabei gut darauf, dass Mitte und Seitenteile genau zentrisch aufeinander sitzen. Anschließend wird auf beide Außenseiten mit Sekundenkleber je eine Kunststoff-Lagerscheibe 14 x 4,1 geklebt, ebenfalls genau zentrisch.

**TIPP:** So gelingt das zentrische Aufkleben der Kunststoffscheiben: Legen Sie eine Scheibe ohne Kleber auf das Kartorad und prüfen Sie mit einem Blick durch das Loch von der anderen Seite, ob sie zentrisch liegt. Dann die Scheibe am Rand mit Klebefilm fixieren, hochklappen, mit Kleber bestreichen, wieder hinklappen und nach dem Trocknen den Klebefilm entfernen.

Setzen Sie die Umlenkrolle nach dem Abbinden des Klebers auf die Holzachse und prüfen Sie, ob das Loch in den Kunststoff-Lagerscheiben genügend Spiel hat, damit sich die Rolle leicht drehen kann. Falls nötig, wird das Loch wie oben beschrieben geweitet. – Verfahren Sie mit den Teilen der Umlenkrolle 2 [B11 bis B14, Bogen 4 und B15 bis B18, Bogen 8 + 10] genau so.

**Schritt 15:** Schieben Sie beide Umlenkrollen auf die Holzachse. Betupfen Sie vorher die Stellen, wo die Kunststoff-Lagerscheiben reiben werden, mit etwas Öl, zur Vorsorge gegen Quietschen. Kleben Sie dann auf die überstehenden freien Enden der Achse je eine Arretierung [B19 + B20, Bogen 19], damit die Rollen nicht mehr herausfallen können. Verfahren Sie dabei nach der gleichen Methode wie schon bei den beiden Achsen-Verkleidungen. Achten Sie darauf, dass die Rollen genügend Spiel

zwischen Achsenverkleidung und Arretierung haben und sich ungehindert drehen können. Kleben Sie zum Schluss die Abdeckungen 1 und 2 [B21 + B22, Bogen 19] auf die Enden der Umlenkrollen-Achse.

*Das Treibrad des Kurbelantriebs besteht aus dem Rillenrad, dem aufgeklebten Kurbelarm mit Kurbelgriff und der Kurbelwelle aus einem 56 mm langen Rundholz, die fest im Rillenrad sitzt. Das eine Lager der Kurbelwelle sitzt schon im Inneren des Sockels, das andere wird außen aufgeklebt.*

**Schritt 16:** Kleben Sie die beiden Teile [A42 + A43, Bogen 4] zum Kurbelwellen-Außenlager zusammen und stellen Sie sicher, dass es sich problemlos in die seitliche Vertiefung in der Sockelkante unterhalb der Umlenkrollen drücken lässt. **OPTION: Kanten weiß einfärben oder mit einem weißen Papierstreifen bekleben.** Kleben Sie eine Kunststoff-Lagerscheibe 25 x 4,1 mm auf eine Seite des Kurbelwellen-Außenlagers.

**WICHTIG:** Es wird jetzt noch nicht auf den Sockel geklebt.

**Schritt 17:** Kleben Sie die Mitte des Treibrads für den Kurbelantrieb aus den vier Teilen [B23 bis 26, Bogen 5 + 6] zusammen. **OPTION: Kanten schwarz einfärben.** Stellen Sie dann die Vorderseite des Treibrads aus den Teilen [B27 + B29, Bogen 11 + 13] und die Rückseite aus den Teilen [B28 + B30, Bogen 12 + 14] her und kleben Sie Vorder- und Rückseite passgenau auf das vierlagige Mittenteil aus Graukarton.

**Schritt 18:** Nehmen Sie eines der beiden 56 mm langen Rundhölzer und markieren Sie mit einem Bleistift einen Abstand von genau 11 mm vom Rand. Rollen Sie die Kurbelwellen-Arretierung [B31, Bogen 19] einmal über das Rundholz, damit es sich gut biegen lässt, und wickeln und kleben Sie den Streifen so an die Markierung auf dem Rundholz, dass auf einer Seite die 11 mm frei bleiben. Stecken Sie dann dieses 11 mm lange Ende von hinten durch die Öffnung des Kurbelwellenlagers, so dass ca. 10,5 mm Holz aus der aufgeklebten Kunststoff-Lagerscheibe heraus schauen. Stecken Sie dieses Holzende zunächst ohne Kleber so tief in das Loch auf der schwarzen Rückseite des Treibrads, dass es ca. 4 mm weit auf der Vorderseite heraus schaut. Das Treibrad ist jetzt dank der aufgeklebten Arretierung am Kurbelwellen-Außenlager fixiert. Es muss sich gut und frei drehen können mit nicht zu viel, aber auch nicht zu wenig Spiel. Ziehen Sie die hölzerne Kurbelwelle wieder heraus und kleben Sie sie in der soeben ausprobierten Position fest. Auf die ca. 4 mm weit herausragende Kurbelwelle wird später der Kurbelarm aufgeklebt werden.

**Schritt 19:** Stecken Sie das lange Ende der Kurbelwelle so in die seitliche Öffnung des Sockels, dass sie in das Innenlager einrastet, das in der Sockelwand verborgen eingeklebt ist. Das Außenlager der Kurbelwelle rastet dann in die seitliche Vertiefung des Sockels ein. Bringen Sie zunächst etwas Öl an den Stellen der Holzachse an, wo die

innere und die äußere Kunststoff-Lagerscheibe reiben werden und kleben Sie dann das Lager in dieser Position auf den Kanten der Sockelwand fest und kleben Sie auf die noch sichtbaren Teile der Graukarton-Scheibe die Verkleidungen 1 und 2 [A44 + A45, Bogen 15 + 16].

*Jetzt kann der Sockel auf die Grundplatte geklebt werden:*

**Schritt 20:** Markieren Sie bei der Ober- und Unterseite der Bodenplatte [A47 + A48, Bogen 15 + 16] die Laufrichtung des Kartons, d.h. die Richtung, in welcher er sich etwas leichter biegen lässt. Am einfachsten ist es, wenn Sie auf die Rückseiten beider Teile, noch bevor sie aus dem Karton gelöst wurden, einen Strich in gleicher Richtung machen. Kleben Sie die beiden Teile auf die beiden Seiten der Graukarton-Bodenplatte [A46, Bogen 2], und zwar so, dass ihre Laufrichtungen gleich verlaufen. **OPTION: Kanten weiß einfärben oder mit einem weißen Papierstreifen bekleben.** Gut und lange pressen, damit sich die Grundplatte nicht verzieht.

**TIPP:** Wenn sich ein großes Teil wie z.B. die Grundplatte nach dem Trocknen dennoch verwölbt hat, kann es helfen, sie bei 60° bis 70° im Backofen zu erhitzen, wodurch der ausgehärtete Kleber wieder weich wird, und dann erneut zu pressen. Das funktioniert allerdings nur bei lösungsmittelhaltigem Kleber.

**Schritt 21:** Stecken Sie die Zentralachse durch den Sockel hindurch, bis sie unten zur Hälfte wieder austritt. Bestreichen Sie die Klebelaschen des Sockels mit Klebstoff, stecken Sie das Ende der Zentralachse in das Loch der Grundplatte und schieben Sie den Sockel herunter, bis die Klebelaschen an ihrem Ort aufsitzen. Richten Sie den Sockel genau aus und pressen Sie ihn leicht. Nach dem Trocknen können Sie die Zentralachse wieder entfernen.

**WICHTIG:** Die Zentralachse wird jetzt noch nicht festgeklebt.

**Schritt 22:** Solange die Zentralachse noch nicht festgeklebt ist, können Sie sie zum Wickeln der Sonnenkugel-Halterung [K1, Bogen 19] verwenden. Um aus dem Papierstreifen eine Hülse herzustellen, wickeln Sie ihn zunächst ohne Klebstoff um das Rundholz, damit er sich biegt. Das schwarze Ende soll ganz außen liegen. Wickeln Sie dann eine erste Windung ohne Klebstoff, bringen Sie zunächst nur wenig Kleber auf und lassen Sie diesen Anfang erst einmal trocknen. Dadurch können Sie besser kontrollieren, dass die Hülse einerseits genügend dicht auf dem Holz sitzt, andererseits aber auch noch gut abgezogen werden kann. Kleben Sie dann die Hülse aus dem Streifen ganz zu Ende und legen Sie die Hülse beiseite, sie wird erst ganz zum Schluss benötigt.

**Schritt 23:** Kleben Sie die Mittenteile des Kurbelarms [B32 bis 35, Bogen 5 + 6] zusammen. **OPTION: Kanten des Graukartons weiß bemalen oder mit einem weißen Papierstreifen bekleben.**

Kleben Sie darauf die Vorder- und die Rückseite [B36 + B37, Bogen 15 + 16]. Der Kurbelarm hat am einen Ende eine größere, am anderen Ende eine kleinere Rundung. Stecken Sie ohne Klebstoff in das Loch der kleineren Rundung die Achse des Kurbelgriffs, das 38 mm lange Rundholz. Schieben Sie die Verkleidung der Kurbelgriff-Achse [B38, Bogen 19] über das Rundholz auf den Kurbelarm und kleben Sie sie dort auf.

**Schritt 24:** Die Hülse der Kurbelgriff-Achse [B39, Bogen 19] wird aus einem Papierstreifen zu einer Hülse gewickelt und verklebt. Sie muss sich auf der Holzachse mit etwas Spiel drehen können, deshalb muss das Rundholz, auf dem sie gewickelt wird, zunächst etwas verdickt werden. Nehmen Sie dazu das letzte verbliebene 56 mm lange Rundholz, die künftige Erdrotations-Welle, als provisorischen Wickelkern und kleben Sie zur Verdickung mit Tesafilm 2 Lagen Zeitungspapier (oder 1 Lage normales Papier) herum. Rollen Sie den Papierstreifen zunächst einmal komplett auf den Wickelkern, damit er sich rundet. Wickeln Sie dann zunächst nur gut eine Windung auf und fixieren Sie diese in sich selber mit etwas Klebstoff.

**WICHTIG:** Vergewissern Sie sich, dass sich die angefangene Hülse auf dem Wickelkern verschieben lässt und nicht an ihm festklebt.

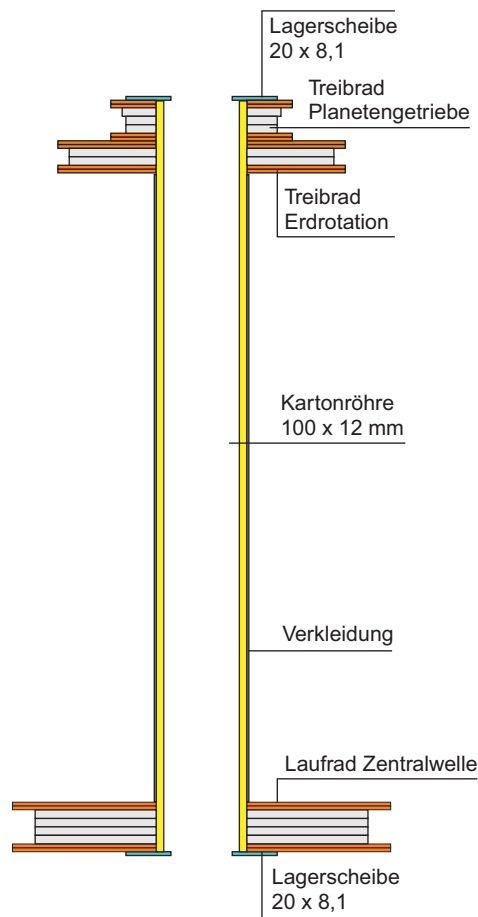
Wickeln und kleben Sie dann den Rest des Streifens auf und achten Sie dabei darauf, dass die Wicklungen kantengleich aufeinander liegen. Ziehen Sie die fertige Griffhülse nach dem Trocknen ab und entfernen Sie das zur Verdickung aufgeklebte Papier vom Rundholz. Schieben Sie die Griffhülse über die im Kurbelgriff steckende Griffachse.

**TIPP:** Wenn das Planetarium häufig benutzt werden soll, empfiehlt es sich, die Griffhülse mit Klebefilm zu umwickeln, damit sich die Druckfarbe nicht abgreift.

**Schritt 25:** Kleben Sie auf das überstehende Holzende der Griffachse die Arretierung für die Griffhülse [B40, Bogen 19], Ziehen Sie dazu am Besten die Achse noch einmal aus dem Kurbelarm und wickeln und kleben Sie die Arretierung bündig um das Ende des Rundholzes in der schon mehrfach praktizierten Weise (Papier wölben, Ende ankleben, Rest mit Kleber aufwickeln). Stecken Sie die Hülse wieder auf die Achse und kleben Sie das Rundholz in das dafür vorgesehene Loch im Kurbelgriff, aber nur so tief, dass sich die Hülse mit etwas Spiel noch frei drehen kann. Kleben Sie die Abdeckungen [B41 + B42, Bogen 19] auf die beiden Enden der Kurbelgriff-Achse.

**Schritt 26:** Kleben Sie den Kurbelgriff auf das Treibrad des Kurbelantriebs. Das in der Mitte des Treibrads überstehende Ende der Kurbelwelle verschwindet dabei im Loch des Kurbelgriffs. Kleben Sie auf dieses Loch die Abdeckung [B43, Bogen 11].

*Damit ist der Kurbelantrieb fertig gestellt. Es folgt die von ihm angetriebene Zentralwelle.*



Skizze 4: Zentralwelle

## Abschnitt C: Die Zentralwelle

Die Zentralwelle dreht sich um die Zentralachse. Ihre Aufgabe ist es, mit dem am unteren Ende sitzenden Laufrad die vom Kurbelantrieb kommende Kraft aufzunehmen und über die am oberen Ende sitzenden Treibräder in zwei unterschiedlichen Geschwindigkeiten an das Planetengetriebe weiterzugeben. Im Kern besteht die Zentralwelle aus der 100 mm langen und 12 mm dicken Kartonnöhre (s. Skizze 4).

**Schritt 27:** Kleben Sie aus den Teilen [C1 bis 4, Bogen 5 + 6] die vierlagige Mitte des Zentralwellen-Laufrades zusammen. Prüfen Sie vorher bei jeder Scheibe, ob die Kartonnöhre in das Loch passt. Falls nötig, wird das Loch, wie anfangs beschrieben, geweitet und eventuell auch das Ende der Kartonnöhre etwas verjüngt. **OPTION: Kanten des Graukartons schwarz bemalen.**

**Schritt 28:** Kleben Sie die Oberseite [C5, Bogen 11] und die Unterseite des Laufrads [C6, Bogen 12] mit je einer Innenseite [C7 + C8, Bogen 13+14] zusammen und kleben Sie diese doppellagigen Führungsscheiben genau zentrisch auf die beiden Seiten des Zentralwellen-Laufrades.

**TIPP:** Dazu können Sie sich auf die 10 cm lange Kartonnöhre „auffädeln“, wobei Sie nur die Scheiben untereinander verkleben und die Röhre danach wieder herausziehen.

Kleben Sie dann eine Kunststoff-Lagerscheibe 20 x 8,1 mit Sekundenkleber mittig auf die schwarze Unterseite.

**Schritt 29:** Stecken Sie die 10 cm lange Kartonnöhre so in die Oberseite des Laufrades, dass sie an die Kunststoff-Lagerscheibe angrenzt und rechtwinklig auf dem Laufrad steht. Prüfen Sie die Rechtwinkligkeit mit dem Geodreieck oder einer Papierecke nach. Kleben Sie die Kartonnöhre in dieser Position im Laufrad fest.

**TIPP:** Man sieht sofort, ob das Rad schief oder rechtwinklig zur Kartonnöhre steht, wenn man das Rad mit Röhre auf die im Sockel steckende Zentralachse schiebt und dreht.

**Schritt 30:** Kleben Sie aus den Teilen [C9 + C10, Bogen 2] die Mitte des Treibrads für die Erdrotation zusammen. Prüfen Sie, ob die Kartonnöhre in das Loch passt und führen Sie, falls nötig, die Korrekturen durch. **OPTION: Kanten des Graukartons schwarz bemalen.** Kleben Sie die seitlichen Führungsscheiben aus Ober- und Unterseite [C11 + C12, Bogen 11 + 12] und den beiden Innenseiten [C13 + C14, Bogen 13 + 14] zusammen und dann die Führungsscheiben auf die beiden Seiten des Mittenteils aus Graukarton.

Bei den meisten Rillenrädern des Riemengetriebes verlässt der 2 mm starke Treibriemen die Räder geradlinig. Es genügen dann für die Mitte der Rillenräder 2 Lagen Graukarton, was 2,3 mm Dicke ergibt. Der Riemen für den Antrieb des Planetengetriebes muss jedoch verkantet aus und zu seinen Rillenrädern geführt werden. Damit er nicht herauspringt, müssen in diesem Fall die Rillen von Treib- und Laufrad breiter sein und werden deshalb aus 3 Scheiben Graukarton gebaut. Eine dieser Scheiben ist etwas größer als die anderen, wodurch eine erwünschte leichte Asymmetrie auf der Lauffläche des Rillenrades entsteht.

**Schritt 31:** Bauen Sie das Treibrad für das Planetengetriebe, indem Sie zunächst die Mittenteile [C15+C16, Bogen 2] mit ihren Oberseiten gegeneinander kleben, so dass sich zwischen ihnen am Rand eine kleine Rille bildet. Kleben Sie dann darauf das dritte, etwas größere Mittelteil [C17, Bogen 2] mit seiner Oberseite. **OPTION: Kanten des Graukartons schwarz bemalen.** Die kleine Rille am Rand liegt damit etwas neben der Mitte der nunmehr dreilagigen Scheibe. Stellen Sie nach dem Trocknen wieder sicher, dass die Kartonnöhre der Zentralwelle in das Loch passt. Kleben Sie dann die Ober- und Unterseite der Führungsscheiben [C18 + C19, Bogen 11 + 12] auf die Innenseiten [C20 + C21, Bogen 13 + 14]. Kleben Sie die Führungsscheibe mit dem Golddruck zentrisch auf die größere der drei Graukarton-Scheiben des Mittenteils, die andere auf die gegenüber liegende Seite.

**Schritt 32:** Legen Sie das Schritt 30 gebaute Treibrad für die Erdrotation so auf Ihre Arbeitsfläche, dass die Seite mit der grauen Klebmarkierung oben liegt, und kleben Sie das soeben fertiggestellte kleine Treibrad für

das Planetengetriebe mittig so darauf, dass die goldbedruckte Außenseite oben liegt und damit auch die größere der drei Graukarton-Scheiben. Vergewissern Sie sich nach dem Trocknen noch einmal, dass sich die Zentralwelle in das Loch stecken lässt, und kleben Sie dann mit Sekundenkleber die eine verbleibende Kunststoff-Lagerscheibe 20 x 8,1 mm mittig auf das kleine Planetengetriebe-Treibrad. Kleben Sie dann diesen Verbund aus zwei Rillenrädern so auf das freie Ende der Kartonnöhre, dass dieses die Kunststoff-Lagerscheibe berührt und dass die Räder nicht schief, sondern exakt rechtwinklig auf der Kartonnöhre sitzen. Zur Prüfung können Sie die so entstandene Zentralwelle auf die Zentralachse setzen und drehen.

**Schritt 33:** Runden Sie die Verkleidung der Zentralwelle [C22, Bogen 19], indem Sie sie um einen Bleistift oder auch um die Zentralachse wickeln, und kleben Sie sie dann auf die Kartonnöhre der Zentralwelle. Kleben Sie zunächst nur die Rückseite des grau markierten Randes an und wickeln und kleben Sie dann Rest auf.

Damit ist die Zentralwelle fertig.

## Abschnitt D: Die Ekliptikscheibe

Die fest mit der Zentralachse verbundene Ekliptikscheibe gibt den Abstand für die Kreisbewegung des Planetengetriebes vor, das sich dabei auf ihrer Außenkante wie auf einer Schiene entlang wälzt. Durch die Gummiriemen, die das Planetengetriebe gegen die Außenkante pressen, wird ein beträchtlicher Druck auf die Ekliptik-Scheibe ausgeübt. Hinzu kommt die wechselnde ungleiche Belastung durch das wandernde Planetengetriebe. Diesen starken mechanischen Beanspruchungen hält die Ekliptik-Scheibe durch drei Baumerkmale stand: Eine massive Randverstärkung aus Graukarton, eine sehr leichte und zugleich verwindungsfreie Hohlbauweise und eine stabile Fixierung an der Zentralachse.

**Schritt 34:** Legen Sie die Oberseiten-Hälften der Ekliptik-Scheibe [D1 + D2, Bogen 7 + 8] nebeneinander auf Ihre Arbeitsfläche, mit der bedruckten Seite nach unten. Mit den Verbindungsstreifen [D5 + D6, Bogen 11 + 12] werden die Hälften zu einer ganzen Scheibe zusammen geklebt. Markieren Sie dafür zunächst entlang der geraden Kante 10 mm Abstand vom äußeren Rand. Diesen Abstand müssen die Verbindungsstreifen für die umlaufende Randverstärkung aus Graukarton frei lassen. Kleben Sie dann erst bei einer Scheibenhälfte die Verbindungsstücke so auf, dass sie zur Hälfte überstehen und einen Abstand zum Scheibenrand von 10 mm, zum Scheibenzentrum von gut 18 mm haben. Drehen Sie dann die Scheibenhälfte um, bestreichen Sie die überstehenden Verbindungsstreifen mit Klebstoff und setzen Sie die andere Scheibenhälfte so darauf, dass die äußeren Kanten exakt auf gleicher Höhe liegen und eine Scheibe mit perfekter Kreisform entsteht. Verfahren Sie mit der Unterseite der Ekliptik-Scheibe

[D3 + D4, Bogen 9 + 10] und den Verbindungsstreifen [D7 + D8, Bogen 13 + 14] ebenso. Die Scheibe mit den Tierkreis-Sternbildern ist die künftige Oberseite der Ekliptik-Scheibe.

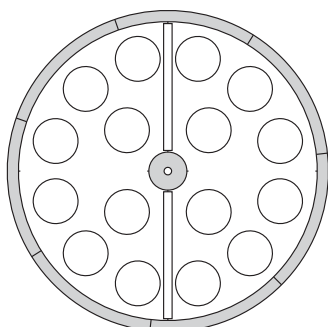
**Schritt 35:** Lösen Sie die 42 Stücke der Randverstärkung [D9, Bogen 1] so aus dem Graukarton, dass auf der gewölbten Außenseite der einzelnen Teile kein Haltesteg die saubere Rundkante stört. Diese 42 Teile werden im Folgenden in 6 ringförmigen Lagen zu je 7 Stück als massiver Rand zwischen die Oberseite und die Unterseite der Ekliptik-Scheibe geklebt.

**WICHTIG:** Achten Sie darauf, dass Ihre Arbeitsfläche völlig eben ist, damit sich die Ekliptik-Scheibe beim Aufkleben des Randes nicht verwölbt.

**Schritt 36:** Kleben Sie das erste Stück der Randverstärkung so auf die Rückseite der unteren Ekliptik-Scheibe, dass es eine der beiden Nahtstellen überbrückt und mit seiner Außenkante genau über der Außenkante der Ekliptik-Scheibe liegt. Kleben Sie dann ohne Lücke anschließend die anderen 6 Stücke der ersten Lage auf. Bei den darauf folgenden Lagen wird das erste Stück immer etwas versetzt über eine Nahtstelle der ersten Lage geklebt, wie bei einem Ziegel-Mauerwerk.

**WICHTIG:** Achten Sie sorgfältig darauf, dass die Ränder auch der oberen Lagen genau über dem Scheibenrand liegen und kein Teil über den Rand der Ekliptik-Scheibe hinausragt. Sie können das leicht mit einem Geo-Dreieck o.ä. überprüfen, wenn Sie die rechteckige Ecke von außen gegen die Ekliptik-Scheibe halten. Wenn ein Kartenteil dagegen einmal etwas zurück bleibt, ist das nicht so schlimm.

**Schritt 37:** Prüfen Sie bei den 6 Teilen der Inneren Achsbefestigung [D10 bis D15, Bogen 3 + 4] ob sich das Rundholz der Zentralachse durch das Loch stecken lässt, und kleben Sie die 6 Scheiben dicht gedrückt aufeinander. Stecken Sie noch vor dem Trocknen den so entstandenen Block provisorisch auf die Zentralachse, ohne ihn darauf festzukleben, und drehen Sie ihn. So können Sie prüfen, ob der Block exakt rechtwinklig zur Achse sitzt und beim Drehen nicht eiert. Entfernen Sie das Rundholz wieder und kleben Sie den Block im Zentrum der Randverstärkung auf, genau über dem Loch in der Mitte der Ekliptik-Scheibe.



**Skizze 5: Ekliptikscheibe mit Distanzringen**

**Schritt 38:** Biegen Sie die Streifen der 16 Distanzringe [D16 bis D31, Bogen 15 + 16] rund und kleben Sie sie mit ca. 8 mm Überlappung zu 16 Ringen mit ca. 40 mm Durchmesser zusammen. Auch hier kommt es nicht auf die Schönheit der Rundung an, Knicke sind kein Problem. Aber die Enden der Streifen müssen wie schon bei den Sockel-Distanzringen gerade und ohne Verschränkung aufeinander sitzen. Kleben Sie die Ringe nach dem Schema in Skizze 5 mit reichlich Klebstoff auf die untere Ekliptik-Scheibe in den Raum zwischen der Randverstärkung und der Achsbefestigung, wobei Sie die Verbindungsstreifen frei lassen. Drücken Sie die Ringe während des Trocknens immer wieder an, um sicher zu stellen, dass sie allseitig aufliegen.

**Schritt 39:** Legen Sie die Oberseite der Ekliptik-Scheibe so auf die Unterseite, dass die Kanten und die Nahtlinien der beiden Scheiben genau übereinander liegen. Wenn doch irgendwo etwas von der Randverstärkung übersteht, sollten Sie das jetzt z.B. mit einem Messer abschneiden oder mit Sandpapier nachbearbeiten. Um die Oberseite auf die Unterseite zu kleben, verfahren Sie wie beim Zusammenbau der Sockelwände: Bestreichen Sie alle Kanten der Distanzringe üppig mit Klebstoff, ebenfalls, nur nicht ganz so üppig, den Verstärkungsrand und die Achsbefestigung, legen Sie die obere Ekliptik-Scheibe darauf, wieder mit Nahtlinie auf Nahtlinie, und drehen Sie das Ganze um, damit der Klebstoff auf den Distanzringen dorthin fließt, wo er kleben soll. Beschweren Sie das Ganze vorsichtig, damit alle Klebstellen dicht an dicht abbinden. Sollte die Scheibe wider Erwarten verzogen sein, versuchen Sie es mit dem TIPP nach Schritt 20.

**WICHTIG:** Die Kanten des Außenrandes (folgender Schritt) dürfen an keiner Stelle über die Ekliptik-Scheibe überstehen, weder oben noch unten. Schneiden oder feilen Sie eventuelle Überstände nach dem Trocknen ab.

**Schritt 40:** Runden Sie den Außenrand 1 der Ekliptik-Scheibe [D32, Bogen 7] mit den Gradzahlen 0° bis 90° leicht durch Ziehen über eine Kante und kleben Sie ihn so auf den Rand der Ekliptik-Scheibe, dass 0° beim Datum 21. März und 90° beim Datum 21. Juni steht. Der Anfang dieses Außenrand-Teils fällt dann mit den Nahtlinien in der Ekliptik-Scheibe zusammen. Schließen Sie die anderen Streifen des Außenrandes [D33 bis D35, Bogen 8 bis 10] so an, dass die Gradzahlen von Streifen zu Streifen weiter aufsteigen und die weiteren Stöße zwischen den Streifen beim 24. September und beim 21. Dezember zu liegen kommen. Sollten sich dabei zwischen den Streifen störende Lücken ergeben, können Sie diese mit kleinen Spänen aus Kartonresten füllen.

**Hinweis:** Die Gradzahlen auf den Randstreifen zeigen die heliozentrische ekliptikale Länge an.

**Schritt 41:** Das Treibrad für die Erdneigung besteht, wie das Treibrad für das Planetengetriebe in Schritt 31, in der Mitte aus zwei gleichen und einer etwas größeren Scheibe aus Graukarton. Kleben Sie zunächst die Teile [D36 + D37, Bogen 3 + 4] mit ihren

Oberseiten gegeneinander und dann das etwas größere Teil [D38, Bogen 2] darauf, so dass wieder eine nicht in der Mitte der Kante verlaufende Rille entsteht. **OPTION: Kanten des Graukartons schwarz bemalen.** Kleben Sie aus den Teilen [D39 + D41, Bogen 11 + 13] die dazu gehörige obere Führungsscheibe und aus den Teilen [D40 + D42, Bogen 12 + 14] die untere Führungsscheibe zusammen (diese Teile finden sich im Zentrum der Teile für die Venusbahn). Kleben Sie die goldbedruckte Rückseite der unteren Führungsscheibe auf die Seite des Mittenteils, wo sich die größere der drei Graukarton-Scheiben befindet, die andere auf die gegenüber liegende. Kleben Sie dann das Treibrad mit seiner grauen Seite so auf die goldbedruckte Unterseite der Ekliptik-Scheibe, dass die beiden Löcher genau übereinander liegen. Die beiden kleineren Graukarton-Scheiben des Treibrades und damit auch die kleine Rille in der Lauffläche des Rades liegen dann näher bei der Ekliptik-Scheibe. Stecken Sie die Zentralachse durch Treibrad und Ekliptik-Scheibe bevor der Kleber ganz trocknet, nehmen Sie die Zentralwelle wie einen Griff in die Hand stecken Sie die Zentralachse hinein. Jetzt können Sie die Scheibe drehen und dabei sofort sehen, ob sie auch genau rechtwinklig zur Achse steht und nicht eiert.

**Schritt 42:** Schieben Sie die Zentralachse so durch die Ekliptik-Scheibe, dass sie auf der Oberseite genau 23 mm weit heraus schaut. Stecken Sie das lange Ende durch die Zentralwelle, wobei das Ende mit den zwei Rillenrädern zur Ekliptik-Scheibe weisen soll, und schieben Sie die Zentralachse so tief in den Sockel, dass sie unten bündig mit der Bodenplatte ist. Die Zentralwelle muss gerade noch genügend Spiel haben, damit sie sich ganz frei und ohne Widerstand drehen kann. Wenn sie zu viel Spiel hat, müssen Sie die Ekliptik-Scheibe durch Hin- und Herdrehen etwas absenken, wodurch sich das überstehende Ende der Zentralachse etwas verlängert. Wenn sie zu wenig Spiel hat und zwischen Sockel und Ekliptik-Scheibe klemmt, müssen Sie die Zentralachse aus dem Sockel wieder etwas heraus ziehen. Markieren Sie die Stelle, wo das Holz aus der Scheibe tritt, mit einem umlaufenden Bleistiftstrich.

**WICHTIG:** Der Überstand muss mindestens 23 mm betragen.

**Schritt 43:** Ziehen Sie die Zentralachse mit samt der Ekliptik-Scheibe wieder aus dem Sockel und prüfen Sie noch einmal mit Hilfe der Zentralwelle als Handgriff, ob sie auch rechtwinklig steht und nicht eiert. Schieben Sie die Achse um etwa 20 mm weiter aus der Ekliptik-Scheibe heraus, bestreichen Sie sie mit Klebstoff und drehen und ziehen Sie sie wieder zurück, bis der Bleistiftstrich die Scheibe wieder erreicht. Prüfen Sie das Ganze wieder auf Rechtwinkligkeit und lassen Sie es gut trocknen.

**Schritt 44:** Entnehmen Sie 14 der 18 oberen Achsbefestigungs-Scheiben [D43, Bogen 1, 5 + 6] aus dem Graukarton, der Rest ist Reserve. Prüfen Sie, ob sich die Schei-



ben gut und ohne Spiel auf die Zentralachse auffädeln lassen. **OPTION: Kanten des Graukartons schwarz bemalen.** Bestreichen Sie die Unterseiten der 14 Scheiben nacheinander mit Klebstoff und schieben Sie sie auf das überstehende Stück der Zentralachse. Drücken Sie sie zu einem massiven zylindrischen Block zusammen, der fest mit der Ekliptik-Scheibe und auch mit der Zentralachse verbunden ist. Sollte seitlich Klebstoff austreten, können Sie damit die Zylinderwand bestreichen. Vergewissern Sie sich während des Trocknungsprozesses noch einmal, dass die Ekliptik-Scheibe nach wie vor allseitig rechtwinklig zur Zentralachse steht. Deren herausstehendes Ende ist jetzt nur noch ca. 6 bis 8 mm lang.

*Die Zentralachse könnte jetzt im Sockel festgeklebt werden. Es empfiehlt sich aber, damit bis zum letzten Schritt, der Anbringung der Treibriemen, zu warten, weil diese sich dann leichter anbringen lassen.*

## Abschnitt E: Das Planetengetriebe

Das Planetengetriebe hat die Funktion, in einer Wälz-Bewegung um den Rand der Ekliptik-Scheibe herum zu wandern. Es besteht aus der Walze und mehreren fest mit ihr verklebten Rillenrädern, darunter dem großen Laufrad auf ihrer Unterseite. Im Inneren befindet sich eine Hartpapier-Hülse als durchgehende Hohlwelle, in der sich weitere Elemente mit eigenen Geschwindigkeiten drehen können (Erdneigung und Erdrotation). Durch seine wälzende Bewegung treibt das Planetengetriebe gleichzeitig über zwei Rillenräder die Bahnscheiben von Merkur und Venus an, was seinem Namen die Bedeutung gibt. Die Bahnscheibe des Mondes ist fest mit dem Planetengetriebe verklebt, da dessen Umdrehungs- und Umlaufgeschwindigkeiten denen des Mondes um die Erde entsprechen, auch wenn der im kopernikanischen Sinne kein Planet ist (s. Skizze 6).

**Schritt 45:** Die Mitte des Planetengetriebe-Laufrads besteht ebenfalls aus drei Graukarton-Scheiben, von denen eine etwas größer ist. Kleben Sie erst die zwei kleineren Teile [E9 + E10, Bogen 5 + 6] mit ihren Oberseiten gegeneinander und diese dann auf die Oberseite der größeren Scheibe [E8, Bogen 2]. **OPTION: Kanten schwarz einfärben.** Prüfen Sie, ob sich die 27 mm lange und knapp 9 mm dicke Hartpapier-Hülse stramm in das Loch stecken lässt und erweitern Sie es notfalls. Kleben Sie die Oberseite des Laufrads [E11, Bogen 11] auf die Innenseite 1 [E13, Bogen 13], aber entsprechend der Laufrichtung, wie in Schritt 20 beschrieben, und ebenso die Unterseite [E12, Bogen 12] auf die Innenseite 2 [E14, Bogen 14]. Kleben Sie dann das Mittenteil mit der größeren der drei Graukarton-Scheiben genau zentrisch auf die Rückseite der goldbedruckten unteren Führungsscheibe. Auf die andere Seite kommt die schwarze Oberseite.

**Schritt 46:** Kleben Sie mit Sekundenkleber eine der beiden Kunststoff-Lagerscheiben 20 x 6,6 mm genau mittig auf die goldbedruckte Unterseite des Planetengetriebe-Laufrads und kleben Sie nach dem Abbinden die 27 mm lange Hartpapierhülse so tief in das Loch auf der anderen Seite, dass sie die Lagerscheibe dabei berührt. Vergewissern Sie sich mit Geo-Dreieck und durch Drehen auf einer Achse, dass sie genau rechtwinklig auf dem Laufrad sitzt.

**Schritt 47:** Lösen Sie die 7 Walzenscheiben [E1 bis E7, Bogen 2] so aus dem Bogen, dass an den Rändern keine Haltestege stehen bleiben, und stellen Sie sicher, dass sie sich auf die Hartpapier-Hülse schieben lassen, die im Laufrad steckt. **OPTION: Kanten schwarz einfärben.** Stecken Sie alle 7 Scheiben mit der gleichen Seite nach unten und zunächst noch ohne Kleber auf die Hartpapier-Hülse und prüfen Sie, ob sie sich gut zu einer massiven Walze zusammendrücken lassen. Kleben Sie sie dann in dieser Position fest und vergewissern Sie sich vor dem Trocknen, ob die Rechtwinkligkeit der Hülse und damit auch der Walze zum Laufrad nach wie vor gegeben ist. Glätten Sie nach dem Trocknen, falls nötig, die zylindrische Wand der Walze mit Schleifpapier, färben Sie sie gegebenenfalls nach und bestreichen Sie sie mit Klebstoff, um den weichen Graukarton etwas zu festigen.

**Schritt 48:** Kleben Sie die Mitte des Merkur-Treibrads aus den Teilen [E15 + E16, Bogen 2] zusammen. **OPTION: Kanten schwarz einfärben.** Stellen Sie auch hier sicher, dass sich das Loch auf die Hartpapier-Hülse aufstecken lässt. Kleben Sie Ober- und Unterseite des Merkur-Treibrads [E17 + E18, Bogen 7 + 8] je auf eine der Innenseiten [E19 + E20, Bogen 9 + 10] und kleben Sie dann die beiden doppellagigen Führungsscheiben zentrisch auf das Mittenteil aus Graukarton.

*TIPP: Das Treibrad wird auf der Ekliptik-scheibe aufsitzen und entlanggleiten. Um die Gleitfähigkeit seiner Unterseite zu erhöhen, können Sie sie mit Klebefolie oder Klebefilm überziehen.*

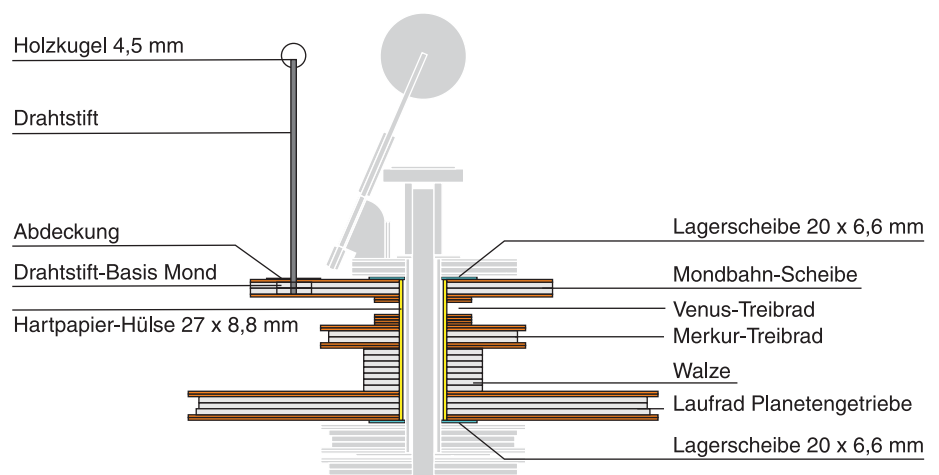
**WICHTIG:** Führen Sie den nachfolgenden Schritt besonders gründlich durch, weil durch ihn sicher gestellt wird, dass sich das Planetengetriebe ungehindert um die Ekliptik-Scheibe bewegen kann:

**Schritt 49:** Stecken Sie das Merkur-Treibrad ohne Kleber so auf die Hartpapier-Hülse, dass die Unterseite mit dem stilisierten Blumenmotiv auf die Walze zu liegen kommt. Drücken Sie das Treibrad mit den Fingern fest an, so als wäre es schon festgeklebt. Zwischen dem großen Laufrad und dem kleineren Merkur-Treibrad hat sich ein rechteckiger Schlitz gebildet, dessen Breite der Walzenhöhe entspricht. Stecken Sie nun das Planetengetriebe auf die Kante der Ekliptik-Scheibe, mit dem Merkur-Treibrad oben, und prüfen Sie sorgfältig, ob es sich ohne Widerstand auf allen Seiten wälzend bewegen kann. Wenn Sie den Eindruck haben, dass die Wälzbewegung irgendwo behindert wird, kommen folgende Abhilfen in Frage:

**Möglichkeit 1:** Die Höhe der Walze und damit der Abstand zwischen dem Laufrad und dem Merkur-Treibrad ist zu gering, es klemmt allseitig und überall. Abhilfe: Legen Sie auf die Walze eine oder mehrere der Ausgleichsscheiben [E21 bis E24, Bogen 19]. Es braucht nur wenig Spiel entstehen, in jedem Fall ist aber ein bisschen zu viel Spiel weniger schlimmer als ein bisschen zu wenig.

**Möglichkeit 2:** Die Außenrandstreifen der Ekliptikscheibe stehen doch noch an der einen oder anderen Stelle über. Abhilfe: Den Überstand abschleifen oder abschneiden.

**Möglichkeit 3:** Die Walze ist leicht asymmetrisch geworden, ihre Oberfläche und damit auch das Merkur-Treibrad liegen nicht genau parallel zum großen Laufrad, und dann schleift das Planetengetriebe an manchen Stellen. Abhilfe: Machen Sie die Oberfläche der Walze parallel, indem Sie etwas abschleifen oder auftragen.



**Skizze 6: Planetengetriebe (Hell: Erdneigungs-Ausrichtung und Erdrotation)**

Wenn Sie zufrieden mit der Bewegungsfähigkeit des Planetengetriebes sind, kleben Sie das Merkur-Treibrad auf der Walze fest. Gut trocknen lassen.

**Schritt 50:** Lösen Sie vorsichtig die kleinen Scheiben der Drahtstift-Basis mit dem eingestochenen Loch [E33 + E34, Bogen 2] aus dem Graukarton-Teil der Mondbahn-Scheibe [E31 + E32, Bogen 2]. Durchstoßen und erweitern Sie dieses Loch mit einer Nadel, bis es groß genug ist, um einen der 43,5 mm langen Drahtstifte hindurch stecken zu können. Kleben Sie die beiden kleinen Scheiben mit den etwas größeren Unterseiten gegeneinander und kleben Sie die entsprechende kleine bedruckte Scheibe [E37, Bogen 17] darauf, nachdem Sie dort auch das Loch erweitert haben. Prüfen Sie noch einmal, ob sich der Drahtstift ganz durchstecken lässt und einigermaßen gerade in ihm steht. Dieser kleine Block ist die Drahtstift-Basis für den Mond.

**Schritt 51:** Kleben Sie die Mittenteile der Mondbahn-Scheibe [E31 + E32, Bogen 2] mit ihren Vorderseiten deckungsgleich gegeneinander. **OPTION: Kanten schwarz oder weiß einfärben.** Kleben Sie dann die Ober- und die Unterseite [E35 + E36, Bogen 17 + 18] auf, nachdem Sie das mit [R] gekennzeichnete Reservestück aus der Unterseite entfernt haben. Stellen Sie sicher, dass sich die Kartonhülse des Planetengetriebes in das Loch stecken lässt. Drücken Sie dann die kleine Drahtstift-Basis zunächst probeweise ohne Klebstoff in das dafür bestimmte Loch in der Mondbahn-Scheibe. Stecken Sie den Drahtstift hinein und drücken Sie das Blöckchen so lange von verschiedenen Seiten, bis es unten bündig mit der Mondbahn-Scheibe ist und der Drahtstift rechtwinklig auf ihr steht. Es darf nicht oben über die Mondbahn-Scheibe hinausragen. Kleben Sie es dann in dieser Position fest und ziehen Sie den Drahtstift wieder heraus. Kleben Sie dann die verbliebene Kunststoff-Lagerscheibe 20 x 6,6 mm mit Sekundenkleber mittig über das Loch der Oberseite in der Mondbahn.

*Das Venus-Treibrad hat ausnahmsweise kein Mittenteil aus Graukarton, diese Funktion erfüllt die Hartpapier-Hülse selber. Es werden also nur Führungsscheiben benötigt.*

**Schritt 52:** Kleben Sie die Innenseite des Venus-Treibrads [E25, Bogen 11] mit der Oberseite [E27, Bogen 13] zusammen und kleben Sie diese doppelagige Führungsscheibe mit der grauen Seite mittig auf die Unterseite der Mondbahn-Scheibe. Auch hier muss das Loch, falls nötig, angepasst werden. Schieben Sie die vier restlichen Teile des Venus-Treibrads [E26 + E28 bis E30, Bogen 12 + 14 bis 16] ohne Klebstoff auf die Kartonhülse, die aus dem Merkur-Treibrad des Planetengetriebes herausragt, und stecken Sie oben die Mondbahn darauf. Zwischen den lose aufgesteckten und den unter der Mondscheibe festgeklebten Scheiben des Venus-Treibrads hat sich ein Schlitz gebildet. Er muss gut 2 mm breit sein, damit der Treibriemen in ihm laufen kann.

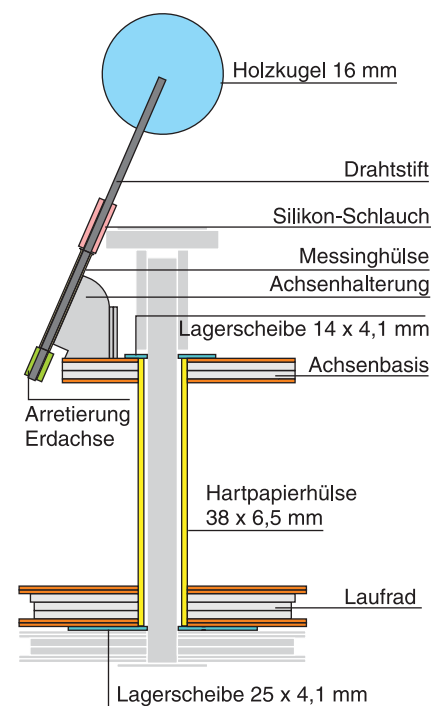
Prüfen Sie den Abstand mit der beiliegenden Gummi-Rundschnur. Wenn der Abstand zu gering ist und die Rundschnur darin klemmen würde, müssen Sie die Mondbahn-Scheibe wieder etwas herausziehen. Wenn sie so weit heraus gezogen werden muss, dass sie sich nicht mehr stabil festkleben lassen würde, müssen sie die Zahl der losen Scheiben reduzieren.

**Schritt 53:** Entfernen Sie die Mondbahn und die losen Scheiben wieder von der Kartonhülse. **OPTION: Wand der Kartonhülse dort schwarz einfärben, wo sie sichtbar bleibt.** Schieben und kleben Sie nun die unteren Scheiben des Venus-Treibrads auf die Kartonhülse und kleben Sie oben die Mondbahn-Scheibe auf, mit dem vorher bestimmten Abstand von gut 2 mm für den Treibriemen. Prüfen Sie durch einen Blick von der Seite und durch Hin- und Herdrehen, ob die Mondbahn-Scheibe auch parallel zum Merkur-Treibrad liegt.

*Jetzt ist das Planetengetriebe fertig und bereit zum Einbau der Erdneigungs-Ausrichtung und der darin laufenden Erdrotation.*

## Abschnitt F: Ausrichtung der Erdneigung

*Während ihres Umlaufs um die Sonne soll die schräg stehende Achse der Erde immer gleich ausgerichtet bleiben, wie in der Natur auch. Das macht eine eigene mechanische Vorrichtung notwendig, bei der die Basis der Erdachse mit der fest stehenden Zentralachse verbunden und synchronisiert wird. Dadurch wird sie während eines Jahresumlaufs sozusagen um eine Umdrehung zurück gedreht, was dann in einem scheinbaren Stillstehen resultiert. Kopernikus hat in dieser Rotation neben der Tagesrotation und der Jahreswanderung eine dritte Eigenbewegung der Erde gesehen, was erstaunlicherweise fast nie erwähnt wird.*

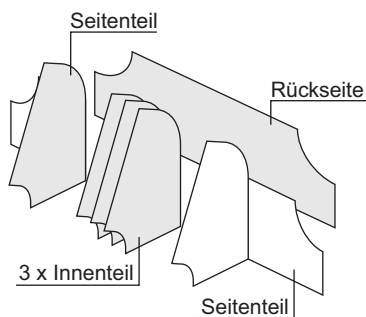


**Skizze 7: Erdneigungs-Ausrichtung.**  
(Hell: Erdrotation)

**Schritt 54:** Kleben Sie die Mittenteile der Achsenbasis [F1 + F2, Bogen 5 + 6] zusammen. Die seitlichen Einbuchtungen müssen dabei exakt übereinander liegen. **OPTION: Kante schwarz oder weiß einfärben.** Schneiden Sie mit einem scharfen Messer die nur angestanzten Linien auf der Oberseite der Achsenbasis [F3, Bogen 17] ganz durch. In die so entstehenden Rillen wird später die Halterung für die Erdachse eingeklebt. Die angestanzten Linien der Unterseite der Achsenbasis [F4, Bogen 18] werden nicht durchgeschnitten, sie kann dadurch als Reserve dienen, falls es auf der Oberseite einen Fehlschnitt gibt. Kleben Sie Ober- und Unterseite auf das Mittenteil und versuchen Sie dabei, möglichst wenig Kleber in die ausgeschnittenen Rillen laufen zu lassen. Prüfen Sie, ob die 38 mm lange und 6,5 mm dicke Hartpapier-Hülse in das Loch passt und erweitern Sie es, falls nötig. Legen Sie die letzte Kunststoff-Lagerscheibe 14 x 4,1 mm auf das Zentrum der

Oberseite. Sie bedeckt teilweise die ausgeschnittenen Rillen. Schneiden Sie mit einem geraden Schnitt so viel von der Lager-scheibe ab, dass sie noch etwa 1 mm Abstand zu den Rillen hat, wenn sie mit ihrem Loch genau zentrisch über dem Loch der Erdbahn-Achsenbasis liegt. Kleben Sie sie in dieser Position mit Sekundenkleber fest.

*Die Halterung der Erdachse, die auf der Achsenbasis montiert wird, hat eine schräge Kante, die um  $23\frac{1}{2}^\circ$  von der Senkrechten abweicht, was der Neigung der Erdachse entspricht. Sie besteht aus drei Innenteilen und zwei etwas breiteren Außenteilen mit je einer seitlich abgewinkelten Stütze, auf die dann das Rückseitenteil geklebt wird (s. Skizze 8).*



**Skizze 8: Halterung Erdachse**

**Schritt 55:** Kleben Sie die 3 Teile der inneren Achsenhalterung [F5 bis F7, Bogen 10] zu einem kleinen Block aufeinander. Falzen Sie beide seitlichen Achshalterungen [F8 + F9, Bogen 10] an den perforierten Stellen nach vorne. Sie bestehen jede aus einem Teil wie die inneren Achsenhalterungen, nur etwas breiter, und der seitlich weggefalteten Stütze. Kleben Sie den kleinen Block so zwischen die beiden ähnlich gestalteten Teile der Seitenteile, dass sie unten und hinten an der Rundung gemeinsam abschließen, während vorne, an der schrägen Kante, eine Rille entsteht, weil die Seitenteile etwa einen Millimeter weiter vorstehen. Die Rille ist 3 Kartonlagen und damit 1,5 mm breit und wird die Messinghülse aufnehmen, in der sich die Erdachse drehen kann. Kleben Sie die beiden seitlich weggefalteten Stützen auf die Rückseite der Achsenhalterung [F10, Bogen 10], die an den Enden die gleichen runden Ausschnitte aufweist. Der Grundriss der fertigen Achsenhalterung ist dann ein T mit einem sehr kurzen Bein und einem sehr breiten Querstrich und entspricht der ausgeschnittenen Rille auf der Achsenbasis. Prüfen Sie, ob sie sich in diese Rille hineinsetzen lässt und erweitern Sie sie, falls nötig, mit einem scharfen Messer.

**WICHTIG:** Die Unterkante der Achshalterung muss ganz in die ausgeschnittenen Rille eingesenkt werden können, sonst würde sie schief auf der Basis sitzen und der Neigungswinkel der Erdachse nicht mehr stimmen.

**Schritt 56:** Drücken Sie zunächst ohne Kleber die Messinghülse so in die schräg laufende Rille der Achsenhalterung, dass das trichterförmig erweiterte Ende oben liegt und

mit den Kartonteilen abschließt. Kleben Sie sie in dieser Position mit Sekundenkleber fest, ohne dass Klebstoff in eine der Öffnungen eintritt. Kleben Sie dann die komplette Achsenhalterung stumpf in die T-förmigen Rillen hinein.

**TIPP:** Statt der Erdachsen-Arretierung aus Papier, wie sie im nächsten Schritt beschrieben wird, können Sie auch ca. 3 mm vom Silikon-schlauch abschneiden und auf das Ende der Erdachse stecken. Sie lässt sich dann später bei eventuell nötigen Wartungsarbeiten leichter entfernen.

**Schritt 57:** Wickeln und kleben Sie den schmalen Papierstreifen der Erdachsen-Arretierung [F11, Bogen 19] auf das Ende eines der Drahtstifte. Wickeln Sie ihn dazu, wie schon mehrfach praktiziert, erst ohne Kleber auf, um ihn zu rollen. Kleben Sie dann zunächst nur die kurze Kante mit Sekundenkleber fest und wickeln und kleben Sie dann den Streifen zu einer gut 3 mm dicken Rolle, die mit dem Drahtende abschließt. Stecken Sie nach dem Trocknen den Draht von unten durch die Messinghülse. Die Arretierung verhindert, dass die Erdachse vom Magnet-Treibrad nach oben aus der Messinghülse herausgezogen werden kann. Schieben Sie dann den Silikon-Schlauch von der oberen Seite her so tief auf den Drahtstift, dass dieser gerade noch genug Spiel hat um sich ungehindert in der Messinghülse drehen zu können. Zwirbeln Sie den Drahtstift zwischen Ihren Fingern, um die Leuchtgängigkeit seiner Umdrehungen zu prüfen und beseitigen Sie etwaige Hindernisse.

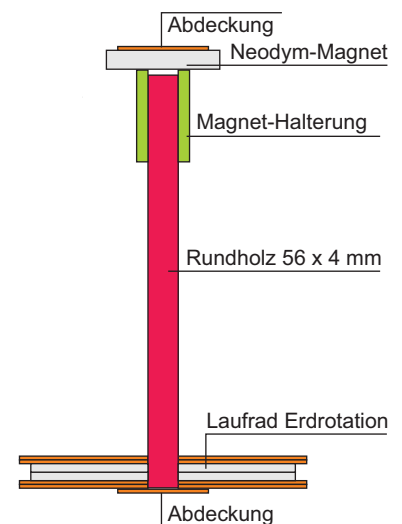
**Schritt 58:** Stecken Sie eine der beiden 16 mm dicken Holzkugeln auf das Ende des Drahtstifts und prüfen Sie, ob sie genau mittig über dem Loch im Zentrum der Achsenbasis steht. Wenn sie zu weit darüber hinaus ragt, müssen Sie den Drahtstift mit der Kombizange oder einem Seitenschneider etwas kürzen. Sie können die Kugel schon jetzt mit Sekundenkleber festkleben, wenn sie unbemalt bleiben soll, ansonsten erst, wenn sie bemalt ist. Stecken Sie die 38 mm lange Hartpapier-Hülse in die Achsenbasis und prüfen Sie, ob sie sich gut in die Mitte der Mondbahn-Scheibe und durch das Planetengetriebe hindurch stecken lässt. Kleben Sie sie dann in der Achsenbasis fest und prüfen Sie durch Drehen, dass sie genau rechtwinklig in ihr steckt und nicht eiert.

**Schritt 59:** Das Erdneigungs-Laufrad besteht in der Mitte aus drei Graukarton-Scheiben, von denen eine etwas größer ist. Kleben Sie die beiden kleineren Mittenteile [F12 + F13, Bogen 3 + 4] mit den Oberseiten gegeneinander und darauf das dritte, etwas größere Mittenteil [F14, Bogen 2]. **OPTION: Kanten schwarz einfärben.** Stellen Sie die obere und untere Führungsscheibe aus den Teilen [F15 + F17, Bogen 15 + 17] und [F16 + F18, Bogen 16 + 18] her und kleben Sie die weiße Oberseite auf das größere der drei Graukarton-Mittenteile, die Unterseite mit der kleinen grauen Klebemarkierung

kommt auf die andere Seite. Stellen Sie sicher, dass sich die 38 mm lange Hartpapier-Hülse gut in das Loch stecken lässt und kleben Sie dann mit Sekundenkleber die verbliebene Kunststoff-Lagerscheibe 25 x 4,1 mm auf die Unterseite des fertigen Laufrades, also dort, wo die beiden kleineren Graukarton-Scheiben liegen. Stecken Sie die Hartpapier-Hülse mit der Erdneigungs-Basis von oben in das Planetengetriebe hinein, und stecken Sie auf das unten herausragende Ende der Hülse das Laufrad. Prüfen Sie dann, ob sich Laufrad und die Erdachsenbasis frei drehen können. Nach oben und unten darf nur gerade so viel Spiel sein, wie für eine ungehinderte Bewegung nötig ist. Falls das Spiel zu groß ist, muss die Hartpapier-Hülse leicht gekürzt werden. Umwickeln Sie die Hartpapier-Hülse an den Stelle, wo die Kunststoff-Lagerscheiben des Planetengetriebes an ihr reiben werden, zum Schutz mit etwas Klebefilm. Kleben Sie dann das Laufrad auf der Hülse fest und vergewissern Sie sich durch wiederholtes Drehen, dass es rechtwinklig auf ihr sitzt und nicht eiert.

## Abschnitt G: Die Erdrotation

*Die Drehung der Erdachse erfolgt über einen Neodym-Magneten, der den vom Silikon-Schlauch umhüllten Drahtstift an seinem Rand anzieht und dadurch zur Rotation zwingt, wenn er sich dreht (s. Skizze 9).*



**Skizze 9: Erdrotation**

**Schritt 60:** Kleben Sie den Papierstreifen [G1, Bogen 19] zu einer 12 mm langen, außen schwarzen Hülse mit 4 mm Innendurchmesser zusammen, indem Sie ihn nach bekannter Methode um das letzte, 56 mm lange und 4 mm starke Rundholz wickeln. Sie darf zwar stramm auf dem Holz sitzen, aber keinesfalls an ihm festkleben, sondern muss sich noch abziehen lassen. Rauen Sie die eine Kante des  $\varnothing 15 \times 2,5$  mm großen Neo-

dym-Magneten mit Sandpapier etwas an, was ihm eine bessere Griffbarkeit am Silikon-Schlauch der Erdachse verleiht, und kleben Sie die Hülse mit Sekundenkleber mittig auf diejenige Seite des Magneten, dessen Rand nicht aufgeraut wurde. Achten Sie gut darauf, dass die Hülse rechtwinklig und mittig auf dem Magneten steht.

**Schritt 61:** Kleben Sie aus den Teilen [G2 + G3, Bogen 3 + 4] die Mitte des Erdrotations-Laufrades zusammen. **OPTION: Kanten schwarz einfärben.** Stellen Sie dann die Oberseite aus den Teilen [G4 + G6, Bogen 15 + 16] und die Unterseite aus den Teilen [G5 + G7, Bogen 15 + 16] her und kleben Sie sie auf die Mittenteile. Kleben Sie die Abdeckung [G8, Bogen 12] unter das Loch in der Unterseite und stecken und kleben Sie das 56 mm lange Rundholz ganz hinein. Prüfen Sie durch Drehen, ob es auch genau rechtwinklig auf dem Laufrad steht. Kleben Sie die Abdeckung [G9, Bogen 13] mittig auf den Magneten.

**Schritt 62:** Schieben Sie nun das Rundholz von unten durch die Hohlwelle der Erdneigungs-Ausrichtung hindurch und halten Sie gleichzeitig oben den Magneten mit seiner Papierhülse hin. Er zieht mit seiner Kante sofort die Erdachse an. Schieben und drehen Sie das oben herausragende Ende des Rundholzes in die Hülse hinein und prüfen Sie, ob die Hülse auch nicht zu lang ist. Der Magnet wäre dann zu einer Schrägstellung gezwungen und Sie müssten in diesem Fall die Hülse etwas kürzen. Prüfen Sie ebenfalls, ob das Rundholz möglicherweise zu lang ist und das Laufrad unten dann zu viel Abstand zum Laufrad der Erdneigungs-Ausrichtung hat. Dann müssten Sie das Rundholz etwas kürzen (Messer mit etwas Druck auf die Schnittstelle setzen und Holz vor und zurück rollen). Wenn das Rundholz oben kürzer ist als die Papierhülse, spielt das keine Rolle.

**WICHTIG:** Das Rundholz wird in die Papierhülse des Magneten nicht geklebt, sondern nur gesteckt, damit später einmal eventuelle Reparaturen leichter möglich sind.

**TIPP 1:** Sollte die Hülse zu weit sein und das Rundholz nicht fest genug in ihm stecken, können Sie mit einer dünnen Schicht Klebstoff das Ende des Rundholzes verdicken und/oder das Innere der Papierhülse verjüngen. Aber gut trocknen lassen, bevor Sie die Teile wieder zusammenstecken!

**TIPP 2:** Die schlauchumhüllte Erdachse kann sich nur mit dem Magneten mitdrehen, wenn sie seine Kante berührt. Ist das nicht der Fall, muss durch eine kleine Unterlage o.ä. dafür gesorgt werden, dass der Magnet etwas höher steht.

*Jetzt ist das Planetengetriebe einschließlich der eingebauten beweglichen Elemente fertig, und Sie können sich den inneren Planeten Merkur und Venus zuwenden.*

## Abschnitt H: Die Merkur-Bahnscheibe

*Die Merkur-Bahnscheibe kann nicht direkt über einen Riemen angetrieben werden, weil der mit dem Drahtstift für die Venus kollidieren würde. Stattdessen wird ein Laufrad angetrieben, das über eine Hohlwelle mit der darüber liegenden eigentlichen Merkur-Bahnscheibe verbunden ist, und die Venus-Bahnscheibe dreht sich dann um diese Hohlwelle (s. Skizze 10). – Aus produktionstechnischen Gründen muss die Oberseite des Merkur-Laufrads aus den 2 Teilen [H3 + H5] zusammengesetzt werden, ebenso die Unterseite aus den Teilen [H4 + H6].*

**WICHTIG:** Die Merkur- und die Venus-Bahnscheibe (Abschnitt J) sind die größten Scheiben aus Graukarton. Bei dieser Größe würden sich auch kleine Verwölbungen störend bemerkbar machen. Vor dem Herauslösen aus dem Kartonbogen müssen deshalb die Laufrichtung markiert und dann die Teile mit gleichgerichteter Laufrichtung gegeneinander geklebt und ggf. vorher etwas zurechtgebogen werden. Unter Druck ganz austrocknen lassen.

Sollten sie sich nach dem Trocknen trotzdem noch wölben, können Sie sich so helfen: Bringen Sie mit einem Cutter-Messer und einem Lineal im Abstand von ca. 1 cm tiefe Schnitte auf der nach innen gewölbten Seite an, und zwar parallel zur Richtung der Wölbungsrinne. Auf diese Weise wird die Spannung aus dieser Fläche genommen, und die Scheibe lässt sich wieder gut zurecht biegen. Die so gewonnene Planlage wird dann fixiert, wenn die Ober- und Unterseite aufgeklebt wird.

**Schritt 63:** Markieren Sie bei der Mitte des Merkur-Laufrads [H1 + H2, Bogen 3 und 4] die Laufrichtung und kleben Sie die Teile bei gleichgerichteter Laufrichtung gegeneinander. Gut pressen. Markieren Sie bei Ober- und Unterseite sowie den beiden Innenseiten 1 und 2 [H3 + H4 und H7 + H8, Bogen 17 + 18] vor dem Herauslösen die Laufrichtung, indem Sie auf jedem Teil einen Strich in der Richtung der längeren Kante des Bogens anbringen. Kleben Sie dann mit gleichsinniger Laufrichtung je eine der Innenseiten gegen die Ober- und die Unterseite, die beide eine Lücke haben, und kleben Sie gleich noch in jede Lücke eines der beiden Ergänzungsstücke [H5 + H6, Bogen 17 + 18]. Pressen Sie die Teile und lassen Sie sie gut trocknen. Kleben Sie danach Ober- und Unterseite des Merkur-Laufrads so auf die Teile aus Graukarton, dass die Seiten mit der ergänzten Lücke jeweils außen liegen und die Laufrichtungen wieder gleich sind. Wieder gut pressen beim Trocknen. Kleben Sie die letzte Hartpapier-Hülse mit den Maßen  $\varnothing 34 \times 14,5$  mm so in das Loch, dass es unten bündig ist und damit rechtwinklig auf der Scheibe steht. Kleben Sie dann die eine Kunststoff-Lagerscheibe  $50 \times 29,3$  mm mit Sekundenkleber mittig über das Loch in der Unterseite.

**Schritt 64:** Lösen Sie die Teile der Drahtstift-Basis [H13 + H14, Bogen 3 + 4] aus den Graukarton-Mittenteilen der Merkur-Bahnscheibe, weiten Sie, wie schon bei der Mond-Bahnscheibe praktiziert, die eingestochebenen Löcher und kleben Sie die Teile zusammen und dann das bedruckte Kartonteil [H15, Bogen 15] aus der Oberseite darauf. Kleben Sie das Mittenteil der Merkur-Bahnscheibe aus den Teilen [H9 + H10, Bogen 3 + 4] zusammen und pressen Sie es dabei gut. **OPTION: Kanten schwarz oder weiß einfärben.** Kleben Sie darauf die Ober- und die Unterseite [H11 + H12, Bogen 15 + 16] und pressen Sie wieder gut. Drücken und kleben Sie dann die Drahtstift-Basis so in ihr Loch, dass der Drahtstift (der aber noch nicht eingeklebt wird) in ihr gerade steht. Prüfen Sie, ob sich die Scheibe auf die Hartpapier-Hülse stecken lässt, die im Laufrad klebt, und erweitern Sie das Loch nötigenfalls. Kleben Sie mit Sekundenkleber die andere Kunststoff-Lagerscheibe  $50 \times 29,3$  mm genau mittig auf die verzierte Oberseite der Merkur-Bahnscheibe. Stecken Sie dann die Bahnscheibe nach dem Abbinden ohne Klebstoff auf die Hartpapier-Hülse und prüfen Sie, ob sich dieser Verbund aus zwei Scheiben und einer Hohlwelle auf die obere Achsbefestigung der Ekliptik-Scheibe schieben lässt. Der Block aus 14 Graukarton-Scheiben dient als Achse für die beiden Kunststoff-Lagerscheiben. Wenn die Lagerscheiben zu stramm sitzen und sich nicht frei drehen können, müssen sie auf der Innenseite vorsichtig etwas ausgeschabt werden. Wenn von dem Achsenblock weniger als eine halbe Graukarton-Scheibe oben herausragt, müssen Sie eventuell noch eine der Reservescheiben darauf kleben. Das kann aber auch jederzeit nachgeholt werden.

## Abschnitt J: Die Venus-Bahnscheibe

Aus produktionstechnischen Gründen ist das Mittenteil der Venus-Bahnscheibe nicht massiv, sondern ein Ring, dessen innere Aussparung für das Innenteil des Merkur-Laufrades verwendet wurde.

**Schritt 65:** Kleben Sie das Mittenteil der Venus-Bahnscheibe, die zugleich auch Lauf- rad ist, aus den beiden großen Ringen [J1 + J2, Bogen 3 + 4] mit gleichgerichteter Lauf- richtung zusammen und pressen Sie es gut, damit es sich nicht verwölbt. Falls nötig, bringen Sie wieder Einschnitte an, wie im letzten WICHTIG-Kasten beschrieben. **OPTI- ON: Kanten schwarz einfärben.** Markieren Sie hinten auf der Oberseite [J3, Bogen 11] und der Innenseite 1 der Bahn- scheibe [J5, Bogen 13] die Laufrichtung, entfernen Sie das kleine zur Drahtstift-Basis gehörende Teil [J11] aus der Oberseite und das entsprechende Reserveteil aus der Unterseite und kleben Sie Ober- und Innen- seite so aufeinander, dass die kleinen Löcher für die Drahtstift-Basis übereinander liegen. Gut pressen. Verfahren Sie mit Unterseite [J4, Bogen 12] und Innenseite 2 [J6, Bogen 14] ähnlich, nur dass die kleinen mit [R] markierten Scheiben nicht herausgelöst und auch nicht übereinander geklebt werden.

**Schritt 66:** Lösen Sie die kleinen Scheiben der Drahtstift-Basis [J9 + J10, Bogen 3 + 4] aus dem Graukarton, weiten Sie die Löcher, kleben Sie sie zusammen und darauf die Scheibe [J11] aus dem Oberteil. Kleben Sie nun die beiden Halterungs-Teile für die Drahtstift-Basis [J7 + J8, Bogen 3 + 4] zusammen. Diese haben die Form einer seitlich abgeschnittenen Scheibe. Legen Sie die Venus-Bahnscheibe mit der bedruckten Oberseite nach unten auf Ihre Arbeitsfläche, so dass die Rückseite oben liegt, und kleben Sie die Halterung für die Drahtstift-Basis [J7 + 8] so über das kleine Loch, dass die abgeschnittene Seite nach außen zum Rand hin zeigt. Kleben Sie dann das ring- förmige Mittenteil aus Graukarton mittig auf

die Oberseite und dann die Unterseite dar- auf. Pressen Sie das Ganze gut beim Trock- nen.

**Schritt 67:** Drücken und kleben Sie die Drahtstiftbasis von der Oberseite her in ihr Loch und beachten Sie wieder, dass der Drahtstift dabei gerade stehen kann. Kleben Sie dann die beiden letzten Kunststoff- Lagerscheiben 55 x 34,3 mm mit Sekunden- kleber mittig auf Ober- und Unterseite der Venus-Bahnscheibe beachten Sie dabei, dass diese sehr genau übereinander ste- hen müssen. Entfernen Sie die nur aufge- steckte Merkur-Bahnscheibe und prüfen Sie, ob sich die Venus-Scheibe sich auf die Hohl- welle im Merkur-Laufrad schieben lässt und sich frei um sie drehen kann. Wenn nicht, muss sie durch Ausschaben etwas erwei- tert werden. Setzen Sie die Merkur-Bahn- scheibe wieder als Abschluss auf die Hohl- welle. Wenn sie fest genug klemmt, muss sie nicht festgeklebt werden, was den Vor- teil hat, dass sich das Merkur-Venus- Scheibensystem bei Bedarf auch wieder auseinander nehmen lässt. Beachten Sie dabei, dass die Bahnscheibe des Merkur ganz parallel zu seinem Laufrad sein muss. Setzen Sie das Ganze dann auf den Achsen- block oben auf der Ekliptik-Scheibe und prü- fen Sie alles noch einmal auf gute Beweg- lichkeit.

*TIPP: Wenn bei häufiger Benutzung der Achsenblock aus Graukarton durch die Reibung der Kunststoff-Lagerscheiben angegriffen wird, können Sie ihn zunächst noch einmal mit Klebstoff bestreichen und dann nach dem Trocknen mit Klebefilm umwickeln.*

**Schritt 68:** Kleben Sie die Ober- und Unter- seite der Abdeckung für die Ekliptik-Scheibe [D44 + D45, Bogen 17 + 18] gegenein- ander und berücksichtigen Sie dabei die Laufrichtung des Kartons. Stecken Sie sie auf den kleinen Überstand der Zentralachse. Sie klemmt nur auf ihr und wird nicht festge- klebt, damit das Merkur-Venus-System leichter zugänglich ist.

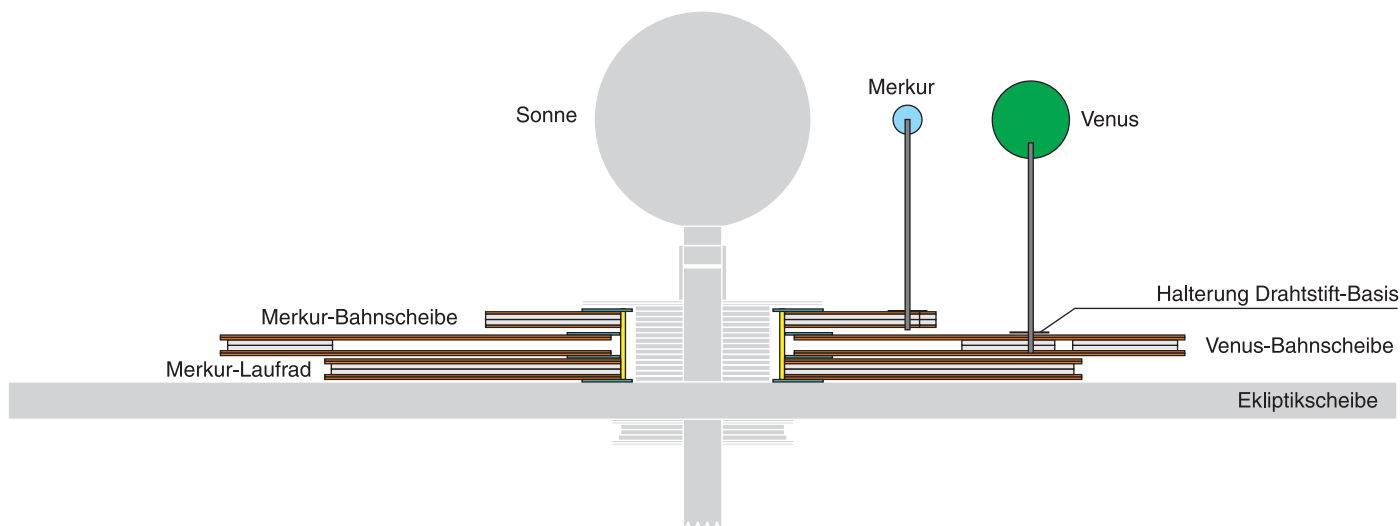
## Abschnitt K: Die Sonne

Die Sonne wird durch eine kleine LED-Lampe beleuchtet, die von einer Schaumstoffscheibe in der Kugelöffnung gehalten wird. Eine Drehung am Batteriedeckel schaltet sie an und aus. Zu Transportzwecken befinden sich Lampe und Halterung im Inneren der Kugel.

**Schritt 69:** Die Papierhülle der Sonnenkugel- Halterung wurde schon in Schritt 22 gewickelt. Kleben Sie in das eine Ende einen der beiden Magnete  $\varnothing$  6mm hinein, möglicherweise müs- sen Sie das Ende der Hülse ein bisschen wei- ten. Stecken Sie die Hülse auf die Zentralach- se, womit zugleich auch die darunter liegende Abdeckung zusätzlich festgehalten wird, und setzen Sie darauf den zweiten Magneten. Um diesen unter die LED-Lampe der Leuchtkugel kleben zu können, muss die kleine Öse unter dem Batteriedeckel der Lampe entfernt werden. Das geht sehr einfach mit einer Zange oder einer Feinsäge. Entfernen Sie die letzten Reste, indem Sie die Lampe auf Schleifpapier hin- und her bewegen, bis der Boden glatt ist, und kleben Sie dann den Magneten mit Sekunden- oder Alleskleber darauf. Achten Sie auf die richtige Seite, damit er vom anderen Magneten nicht abgestoßen wird. Gut trocknen lassen. Ziehen Sie den Plastikstreifen (Batterieschutz) aus der LED-Lampe und schalten Sie sie probeweise an und aus. Stecken Sie sie dann so weit durch das Loch in der Scheibe, dass der Batteriede- ckel mit dem Magneten noch einen knappen Zentimeter weit herausragt, und drücken Sie die Scheibe in den Kragen der Kugel. Setzen Sie die Lampe auf den Magneten der Sonnenkugel- Halterung und prüfen Sie, ob sich der Mittel- punkt der Sonne ungefähr auf der gleichen Höhe befindet wie der Mittelpunkt der Erdkugel, wenn das Planetengetriebe auf den Rand der Ekliptik-Scheibe gesteckt wird. Schieben Sie, falls nötig, das Ende der Lampe weiter in die Halterung hinein oder aus ihr heraus.

*TIPP: Um die Lichtstreuung zu verbessern, können Sie die Schutzkappe abziehen und LED und Schutzkappe mit feinem Sandpapier matt schleifen. Seien Sie vorsichtig, um die Lötstellen nicht zu beschädigen. Die LED-Lampe lässt sich so auch ohne die Kugel einsetzen, z.B. um den Mondschatten auf der Erdkugel bei einer Sonnenfinsternis beson- ders scharf abzubilden.*

Jetzt ist das Kopernikus-Planetarium bis auf die Riemen des Getriebes fertig gestellt.



Skizze 10: Merkur- und Venusbahnscheibe. (hell: Ekliptikscheibe mit Sonne)

## Abschnitt L: Die Fertigstellung

**TIPP:** Wischen Sie die Treibriemen mit Spiritus o.ä. ab, das erhöht die Rauigkeit ihrer Oberflächen und vermindert dadurch den Schlupf. Und dehnen Sie die Ringe, bevor Sie sie auf die Schnurräder aufziehen. Der Gummi verträgt ohne weiteres Dehnungen bis fast zum Eineinhalbfachen seiner Länge.

**Schritt 70:** Ziehen Sie zunächst noch einmal die Zentralachse aus dem Sockel, legen Sie den vorgedehnten 4 mm starken Ring sowie die drei kleineren der fünf Ringe aus 2 mm starker Schnur oben darauf und stecken Sie die Zentralachse wieder hinein.

*Diesen Schritt können Sie auch aufschieben, bis alle Gummiringe an ihrem Platz sitzen.*

**Schritt 71:** Sie können jetzt die Zentralachse im Sockel festkleben. Ziehen Sie sie aus dem Sockel heraus, entfernen Sie die Zentralwelle und bringen Sie etwas Öl auf die Stellen, wo die Kunststoff-Lagerscheiben der Zentralwelle reiben. Stecken Sie sie dann wieder mit Zentralwelle etwa zur Hälfte in den Sockel. Der quadratische Schacht, in dem die Zentralachse steckt, hat in der unteren Hälfte nur auf 2 Seiten Wände. Geben Sie von unten reichlich Klebstoff auf die letzten Zentimeter dieser Wände und drehen Sie die Zentralachse wieder so tief in den Sockel, dass die Zentralwelle sich nach wie vor mit nicht zu viel Spiel frei bewegen kann. Es empfiehlt sich, die Nahtlinie auf der Ekliptik-Scheibe nach den Sockelwänden auszurichten. Gut trocknen lassen.

**TIPP:** Wenn die Achse einmal festgeklebt ist, müssen ausgetauschte oder reparierte Treibriemen künftig über den Sockel gezogen werden. Das ist etwas mühsamer, aber ohne weiteres möglich, wenn man die Riemen vorher wie beschrieben dehnt und eventuell zusätzlich erwärmt.

**Schritt 72:** Ziehen Sie den dicken Ring auf Treibrad und Umlenkrollen des Kurbelantriebs und auf das Laufrad unten an der Zentralwelle. Prüfen Sie, ob sie sich gut mitdreht, wenn Sie die Kurbel bewegen.

**Schritt 73:** Stecken Sie das Planetengetriebe auf den Rand der Ekliptik-Scheibe. Legen Sie den kleinsten aller dünnen Ringe über das Treibrad der Erdneigung, das unten an der Ekliptik-Scheibe festgeklebt ist, und ziehen Sie es auf das zweite Laufrad von unten am Planetengetriebe, das mit der Basis der Erdneigung verbunden ist. Legen Sie einen der beiden identischen kleineren Ringe über das kleine Rillenrad oben an der Zentralwelle und ziehen Sie ihn auf das große Laufrad am Planetengetriebe. Beachten Sie, dass diese beiden Riemen von ihrem Treibrad zu ihrem Laufrad die Etagen wechseln und sich, von der Seite betrachtet, überkreuzen (s. Skizze 12).

*Bevor Sie unten den dritten Riemen anlegen, sollten Sie oben einen Gegenzug schaffen:*

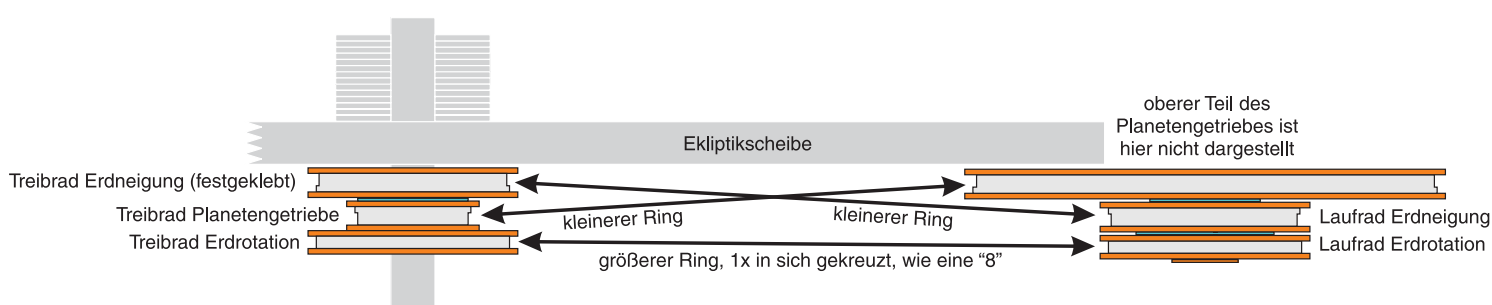
**Schritt 74:** Ziehen Sie den kleineren der zwei großen Ringe auf das Merkur-Laufrad, das unter der Venus-Bahnscheibe verborgen ist, und auf das Merkur-Treibrad, das direkt auf der Ekliptik-Scheibe aufliegt. Sie können dazu die nur aufgesteckte Merkur-Bahnscheibe und die Venus-Scheibe vorübergehend entfernen. Die Venus-Bahnscheibe selber wird über den größten Riemen mit ihrem kleinen Treibrad verbunden, das sich direkt unter der Mondbahn-Scheibe befindet.

**Schritt 75:** Ziehen Sie zuletzt auf der Unterseite der Ekliptik-Scheibe den letzten freien Riemen auf die beiden verbliebenen Rillenräder des Erdrotations-Antriebs. Dabei muss der Gummiring um eine halbe Umdrehung zu einer liegenden Acht verdreht werden, sonst würde sich die Erdkugel in der falschen Richtung drehen, und der Riemen wäre auch viel zu locker. Wenn Sie jetzt an der Kurbel drehen, sollten sich alle Teile in der gewünschten Weise mitdrehen. Lösungen für eventuell auftauchende Probleme finden Sie im letzten Abschnitt.

**Schritt 76:** Kleben Sie die 3 Drahtstifte mit Sekundenkleber in die Drahtstift-Basis von Mond, Venus und Merkur. Fädeln Sie vorher je eine der Abdeckungen [E38, H17 + J13, Bogen 11 bis 13] auf den Draht und bedecken sie mit ihr die Klebestelle. Richten Sie den Drahtstift ganz senkrecht aus. Stecken Sie dann zunächst probeweise die Kugeln auf die Drahtstifte: Die kleinste ist der Mond (Ø 4,5 mm), die mittlere der Merkur (Ø 6 mm) und die größte die Venus (Ø 16 mm). Kleben Sie sie so mit Sekundenkleber fest, dass sie alle auf etwa der selben Höhe sind wie die imaginäre Linie zwischen Sonnen- und Erdmittelpunkt. Sollte ein Drahtstift dafür zu lang sein, müssen Sie ihn etwas kürzen. Sollte der Mittelpunkt der Sonne höher liegen als der der Erde, können Sie die Hülse, auf der sie sitzt, etwas kürzen.

**OPTION:** Wenn Sie die Kugeln bemalen wollen, sollten Sie das vor dem Festkleben tun. Sie können sie dazu auf eine aufgebohrte Büroklammer spießen. **TIPPS:** Verwenden Sie keine glänzenden Lackfarben und grundieren Sie die Kugeln vor dem Bemalen, z.B. mit Deckweiß oder Tipp-Ex. **ERDE** (Ø 16 mm): Nur den Äquator und 4 Meridiane (Verbindungslinien von Pol zu Pol) einzeichnen, oder die Kugel blau grundieren, darüber weiße Wolkenschichten (Tipp-Ex, Deckfarbe) und den Äquator als dünne Linie („Unser blauer Planet“), oder die Kontinente andeuten, oder... Ihrer Fantasie sind keine Grenzen gesetzt! **MOND** (Ø 4,5 mm): Weiß, das zeigt im Dunkeln die Mondphasen konturierter. **VENUS** (Ø 16 mm): Kupferrot (Kupfer ist das traditionell der Venus zugeordnete Metall) oder grün (ebenfalls eine traditionelle Zuordnung). **MERKUR** (Ø 6 mm): Gelb, eine der traditionellen Merkur-Farben.

**Jetzt ist das Kopernikus-Planetarium fertig. Herzlichen Glückwunsch! Sie haben mit viel Geschick und Geduld ein wertvolles astronomisches Demonstrationsgerät gebaut. Es würde bestimmt einen prominenten Vitrinen-Platz verdienen, noch viel besser aber eignet es sich zum Staunen, Zeigen und Lernen.**



Skizze 12: Verlauf der Treibriemen unter der Ekliptik-Scheibe.

## Das können Sie mit dem Kopernikus-Planetarium zeigen:

Als Beobachter auf der Erde empfinden wir uns immer im Mittelpunkt dessen, was wir sehen. Diese Art der Weltbetrachtung, die auch dem antiken Weltbild zu Grunde lag, hat nach wie vor ihre Gültigkeit, insbesondere in unserem auf die Naturerscheinungen bezogenen Alltag. Aus gutem Grund sprechen wir ja beim morgendlichen Hellwerden vom "Sonnenaufgang" und nicht vom "Erde-Wegdreh"! Die Erklärungen auf der Basis des kopernikanischen Weltbildes dagegen, bei dem wir uns in Gedanken in den Mittelpunkt der Sonne versetzen, gibt für viele Erscheinungen eine besonders einfache und plausible physikalische Erklärung und ist damit nicht minder gültig. Man muss sich nur immer über den Standpunkt im Klaren sein, von dem aus man gerade etwas anschaut und erklärt, dann kann man beide Weltbeschreibungen gleichzeitig verstehen und anerkennen, etwa so wie man den selben Handschuh völlig anders empfinden und beschreiben muss, je nach dem man ihn von innen oder von außen berührt. In diesem Sinne ist das Kopernikus-Planetarium ein hilfreiches Werkzeug, um vertraute, nur auf der Erde erlebbare Vorgänge von einem Standpunkt aus zu erklären, dessen Blick das ganze Sonnensystem umfasst. Die Größe von Erde, Mond und Planeten (nicht aber der Sonne) stehen im richtigen Verhältnis zueinander, keineswegs aber die Entfernungen, die jede Modellabbildung sprengen würden. Die Umlaufzeiten dagegen stimmen in ihren Verhältnissen in etwa mit denen der Himmelskörper überein. Eine Kurbelumdrehung bewegt alles um 7 Tage weiter. Beachten Sie aber bitte, dass es bei einem Riemenge triebe immer zu einem Schlupf und damit zu gewissen Ungenauigkeiten kommt.

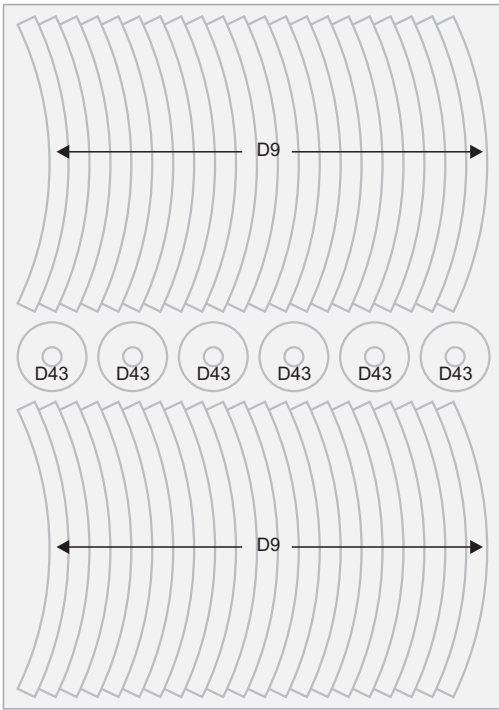
- **Um die Position der Erde auf ein bestimmtes Datum einzustellen**, muss die Sonne von der Erde aus betrachtet im gewünschten Datum am Ekliptikrand erscheinen. Das Planetengetriebe mit der Erde steht dann gegenüber. Beispiel: Um das Datum der Sommer-Sonnenwende am 21. Juni einzustellen, muss das Planetengetriebe mit der Erde auf dem gegenüber liegenden Datum stehen, also auf dem 21. Dezember. Die Neigung der Erdachse weist dann zur Sonne hin.
- **Dem Wechsel von Tag und Nacht** und dem Wandern der Sonne im Tageslauf entspricht die tägliche Drehung der Erde um ihre Achse. (*Technisch bedingt macht die Erdkugel nur etwa 5 statt 7 Rotationen pro Kurbelumdrehung, was aber nicht auffällt.*)
- **Dem Lauf des Jahres mit dem Wechsel der Jahreszeiten** entspricht der Gang der Erde um die Sonne (ca. 52 Kurbelumdrehungen). Dabei bleibt die Ausrichtung der schräg stehenden Erdachse gleich, so dass innerhalb eines Umlaufs einmal die nördliche und einmal die südliche Hälfte der Erdkugel mehr Licht empfängt als die andere. Justieren Sie durch Verdrehen dazu die Basis der Erdneigung so, dass der (obere) Nordpol der Erdkugel an der Position des 21. Juni zur Sonne zeigt (Sommer-Sonnenwende).
- **Der Tierkreis** ist die Reihe von traditionell 12 Sternbildern, in welchen wir von der Erde aus im Laufe eines Jahres die Sonne stehen sehen.
- **Der Wechsel der Mondphasen** erklärt sich aus der wechselnden Stellung des Mondes zu Erde und Sonne. Der Mond ist immer zur Hälfte von der Sonne beschienen, aber er zeigt uns diese Hälfte nur bei Vollmond, ansonsten nur anteilig und bei Neumond gar nicht. Dasjenige Phasensymbol auf der Mondbahn-Scheibe, das zur Sonne weist, zeigt die Mondphase an, die dann von der Erde aus zu sehen ist. Während eines Jahresumlaufs der Erde macht der Mond etwa  $12\frac{1}{3}$  mal alle Phasen durch (ca. 4 Kurbelumdrehungen pro Monat). Er zeigt der Erde stets die selbe Seite.
- **Mond- und Sonnenfinsternisse** entstehen, wenn der Mond in den Schatten der Erde eintaucht bzw. wenn die Erde vom Schatten des Mondes getroffen wird. *Hinweis: Wegen des notwendigerweise falschen Entfernungsmaßstabes dieses Modells kommt es bei jeder Vollmondstellung zu einer Mondfinsternis und bei jedem Neumond zu einer Sonnenfinsternis, was natürlich nicht der Realität entspricht.*

Um nur die vorstehenden Phänomene nachzustellen, kann man auch die Merkur- und Venus-Bahnscheiben entfernen. Man spricht dann von einem „Tellurium“, einem Erde-Mond-Sonne-Modell. Das Planetengetriebe wird dann nur durch die unteren Treibriemen festgehalten.

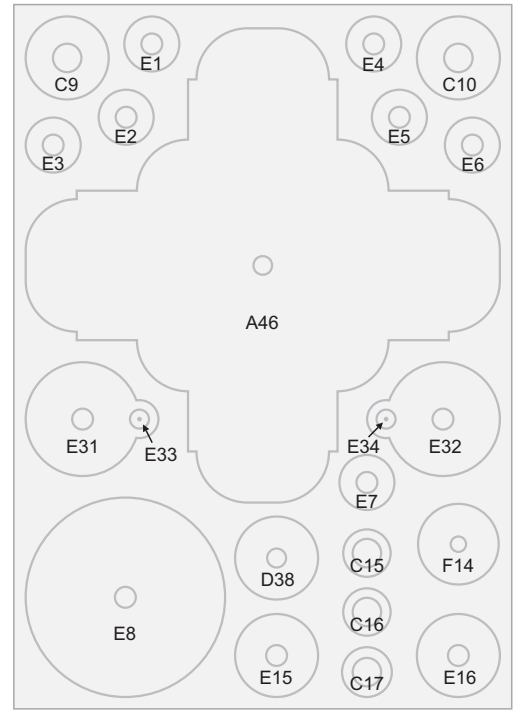
- **Die Venus als Morgenstern** ist dann zu erleben, wenn sie für den irdischen Beobachter rechts von der Sonne steht. Sie geht dann vor ihr auf. Als **Abendstern** sehen wir sie, wenn sie links von ihr steht. Sie geht dann erst nach ihr unter.
- **Die Phasen der Venus** sind nur im Teleskop beobachtbar. Sie entstehen, wenn von der Erde aus nur ein kleiner Teil der von der Sonne beleuchteten Venus gesehen werden kann.
- **Obere und untere Konjunktionen von Merkur und Venus** entstehen, wenn der entsprechende Planet von der Erde aus gesehen genau vor der Sonne steht (Untere Konjunktion) oder genau hinter ihr (Obere Konjunktion). Im Gegensatz zum Mond und den sogenannten äußeren Planeten Mars, Jupiter, Saturn usw. können Venus und Merkur nie in Opposition, d.h. von der Erde aus gesehen entgegengesetzt zur Sonne stehen.
- **Das Pentagramm der Venus-Konjunktionen** erhält man, wenn man die Punkte auf dem Tierkreis miteinander verbindet, an denen von der Erde aus gesehen Sonne und Venus während einer Oberen Konjunktion stehen (Gleiches gilt für die Unteren Konjunktionen). Man sieht darin den Grund für die seit dem Altertum bekannte Zuordnung des Pentagramm-Symbols zur Venus. Ähnlich spricht man bei den Merkur-Konjunktionen von einem **Merkur-Dreieck**, das aber lange nicht so ausgeprägt ist.
- **Die siderische Umlaufzeit** eines Planeten oder des Mondes bezeichnet die Dauer eines ganzen Umlaufs um die Sonne, bis er wieder beim selben Fixstern steht (lat. *sider*). Das sind beim Merkur 88 und bei der Venus 225 Tage, beim Mond  $27\frac{1}{4}$  Tage (von der Erde aus gesehen).
- **Die synodische Umlaufzeit** eines Planeten oder des Mondes ist die Zeit, bis er von der Erde aus gesehen wieder die gleiche Position zur Sonne einnimmt. Beim Merkur sind das 116, bei der Venus 584 und beim Mond  $29\frac{1}{2}$  Tage (eine Lunation, die Zeit von Neumond zu Neumond).

### Probleme? Hier sind einige Lösungsvorschläge:

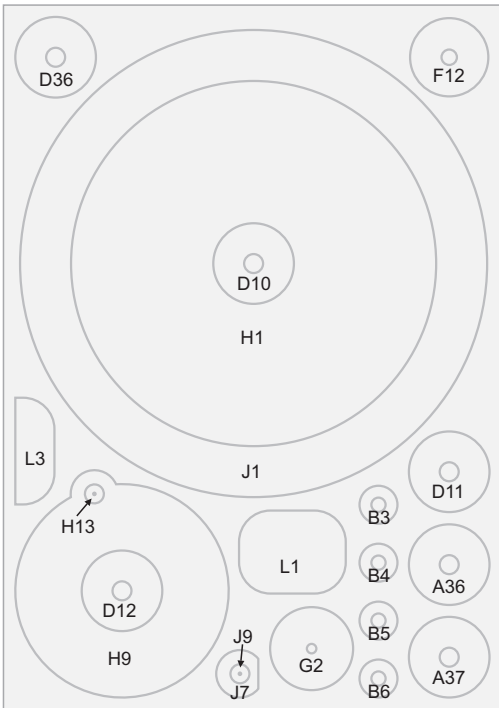
- 1) Wie lassen sich die Planeten für ein bestimmtes Datum einstellen?** Auf der Seite zum Kopernikus-Planetarium unter [www.astromedia.de](http://www.astromedia.de) können Sie eine entsprechende PDF-Datei herunterladen.
- 1) Die Erde dreht sich verkehrt um ihre Achse:** Hat der Riemen der Erdrotation eine Kreuzung, wie eine liegende 8?
- 2) Die beleuchteten Hälften der Planeten erscheinen zu schwach kontrastiert:** Ist die Oberfläche der Kugeln rau genug, so dass sie nicht spiegelt? Muss bei bestimmten Demonstrationen eventuell die spiegelnde Oberfläche von Merkur-, Venus- und Ekliptikscheibe abgedeckt werden?
- 3) Die Umlaufzeiten weichen sehr stark von den Sollzeiten ab:** Hat das Getriebe an irgendeiner Stelle zu großen Widerstand? Sitzt eine Kunststoff-Lagerscheibe zu stramm auf ihrer Achse? Schleift oder klemmt ein Getriebeteil?
- 4) Die Umlenkrollen quietschen beim Kurbeln:** Geben Sie einen Tropfen Maschinenöl oder noch besser Silikonöl (kein Speiseöl!) mit einem Zahnstocher o.ä. neben die Kunststoff-Lagerscheiben.
- 5) Ein Treibriemen dreht durch:** Sind die Riemen ausreichend entfettet? Bei längerem Nicht-Gebrauch lohnt es sich, die Riemen abzuspannen. Sie gewinnen dann ihre ursprüngliche Zugkraft wieder. Ersatzriemen erhalten Sie bei Astro-Media\*. Wenn der dicke Kurbelriemen durchdreht, können Sie zur Erhöhung der Reibung kleine Kartonstückchen als Noppen auf die Lauffläche des Treibrades kleben.
- 6) Ein Treibriemen springt aus seinem Rillenrad:** Muss ein umgeknickter Rillenrand aufgerichtet und mit Klebstoff gehärtet werden? Muss ein schief sitzendes oder verzogenes Rillenrad gerichtet werden? Müssen die Ränder von zu engen Rillen aufgebogen werden, indem man z.B. mit einer stumpfen Spitze in ihnen entlang fährt?
- 7) Der Riemen für die Erdrotation ist zu straff:** Wenn der Zug des untersten Riemens zu groß zu sein scheint, versuchen Sie ihn durch einen normalen Büro-gummi-Ring zu ersetzen.



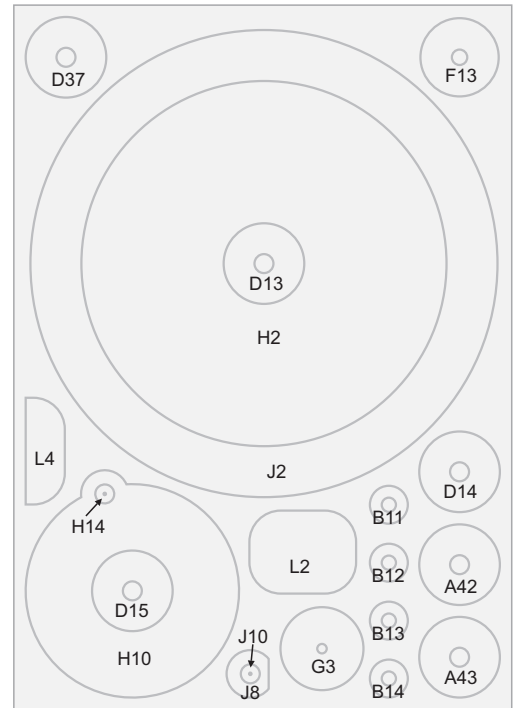
**Bogen 1**



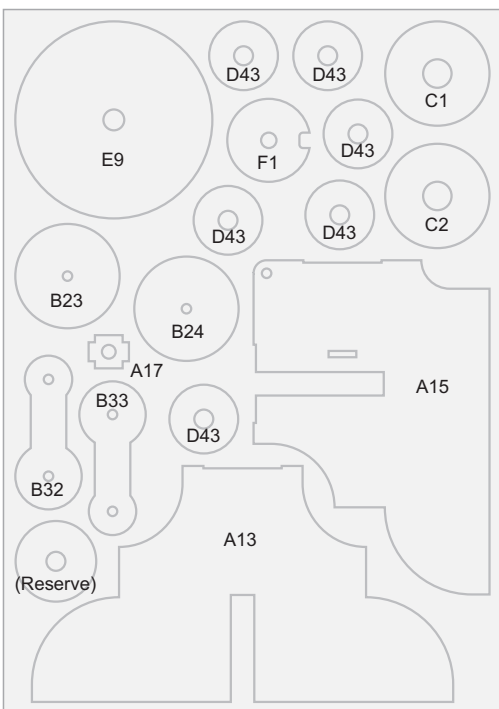
**Bogen 2**



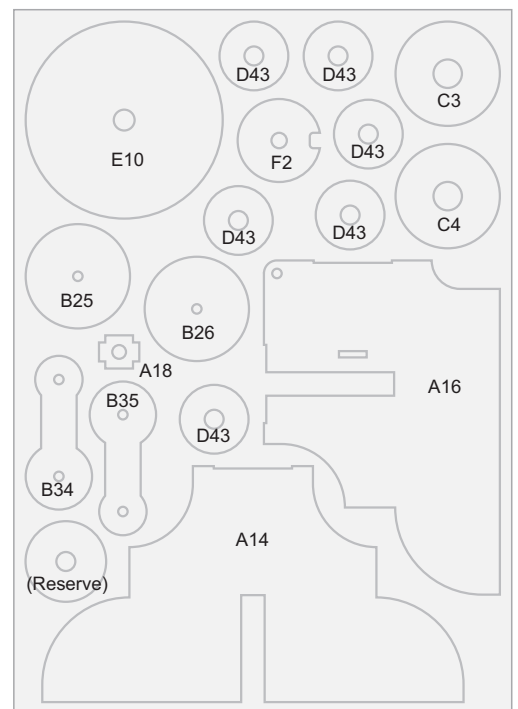
**Bogen 3**



**Bogen 4**



**Bogen 5**



**Bogen 6**