

Unterwegs im inneren Sonnensystem auf dem Sonnensystemweg des HdA

In Bezug zu „Aktuelles am Himmel: Sonnensystem“ in der Zeitschrift »Sterne und Weltraum« 12/2019,
Zielgruppe: Unterstufe bis Oberstufe, WIS-ID: 1421031

Olaf Fischer

Planetenwege stellen eine weit verbreitete (siehe: <https://de.wikipedia.org/wiki/Planetenweg>) Variante eines Maßstabsmodells zu Teilen des Sonnensystems dar. Ihr Zweck besteht vor allem darin, die Ausmaße und Abstände der beteiligten Himmelskörper den Wegbeschreibern eindrucksvoll zu verdeutlichen. Zudem sollen sie etwas über die betrachteten verschiedenartigen Sonnensystemobjekte erfahren. Da es sich im vorliegenden Beispiel nicht nur um Planeten handelt, wird der Terminus Sonnensystemweg verwendet.

Der vorliegende WIS-Beitrag soll die Idee dieser besonderen Maßstabsmodelle etwas ausleuchten. Er soll anregen zum Nutzen oder gar Anlegen eines Sonnensystemwegs im Umkreis der Schule. Es werden Möglichkeiten aufgezeigt, die Wegstationen abwechslungsreich zu gestalten und die Schüler zu aktivieren (mögliche Beteiligung der Schüler mittels der Methode „**Lernen durch Lehren**“). Die mit Schulmitteln einfach zu bewerkstellende Beobachtung von Sonnensystemobjekten (vor allem Planeten) kann durch die Begehung des Sonnensystemwegs sehr passend eingeleitet oder ergänzt werden.

Übersicht der Bezüge im WIS-Beitrag		
Astronomie	Sterne, Planeten, Kleinkörper	Sonnensystem, Umlaufbahn , Aphel , Perihel , heliocentrische ekliptikale Länge , Sonne , Planet, Merkur , Venus , Erde , Mars , Heidelberga , Jupiter , Saturn , Uranus , Neptun , Pluto , Zwergplanet , Komet , Asteroid , Asteroidengürtel , Halley , Kuipergürtel , Plutino , Oortsche Wolke , Himmelskörpertypen, Distanzen im Sonnensystem, Astronomische Einheit
Physik	Optik, Mechanik	Hohlspiegel , Strahlung sammeln , Keplersche Gesetze
Fächerverknüpfung	Astro – Ma, Astro – Geo Astro – Technik	Maßstab, Winkelerhalt bei Maßstabsveränderung , Ellipse und Kreis Modellbau
Lehre allgemein	Kompetenzen (Wissen, Erkenntnis, Kommunikation), Unterrichtsmittel	Kennen Objekte des Sonnensystems, entwickeln Dimensionsvorstellungen, Arbeit mit Maßstabsmodellen , Gruppenprojekt mit verteilten Verantwortlichkeiten, Lernen durch Lehren , Planetenzeigermodell , Planetenweg, Sonnensystemweg , Stationenkarten



Abbildung 1: Tasche für didaktische Hilfsmittel für die Begehung des Sonnensystemwegs. Bilder (auf den Rückseiten der Stationenkarten), Kleinmodelle, Freihanddemonstrationen, u. a. ermöglichen es, die Objekte an den Wegstationen für die „Wanderern im Sonnensystem“ interessanter zu machen. Die aktive Einbindung der Wanderer ist dabei von Bedeutung. © SuW.

Das Sonnensystem im Dezember 2019

Wenn man den Sonnensystemweg aus der „Vogelperspektive“ dem Schüler vorstellt (siehe Abb. 5), könnte / sollte man auch den Blick auf die aktuelle reale Situation, d. h. die Draufsicht auf die Ekliptikebene, werfen, wie sie u. a. in SuW unter der Rubrik „Aktuelles am Himmel: Sonnensystem“ gezeigt wird. Diesen Anblick kann man sich aber auch leicht selbst konstruieren, indem man die heliozentrischen ekliptikalen Längen der Planeten und der anderen Sonnensystemobjekte erst in Erfahrung (siehe <https://omniweb.gsfc.nasa.gov/coho/helios/planet.html>) und dann in einem „Planetenzeigermodell“ zur Darstellung bringt (siehe Abb. 2+3).

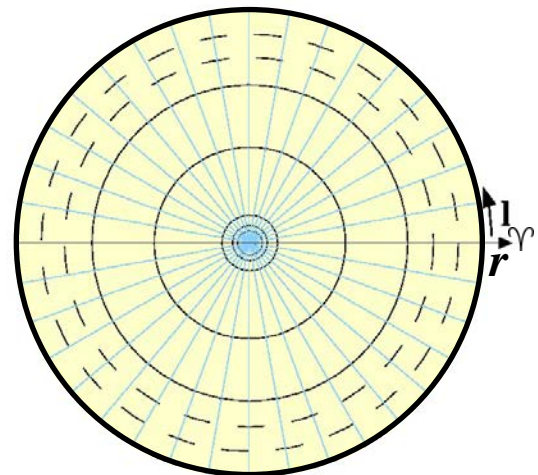
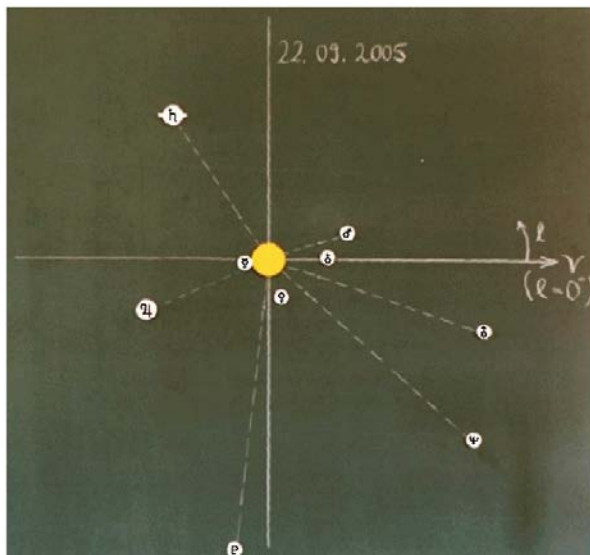
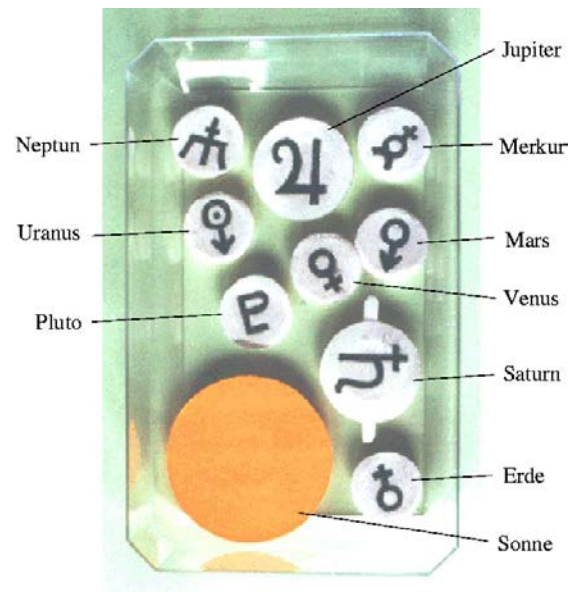
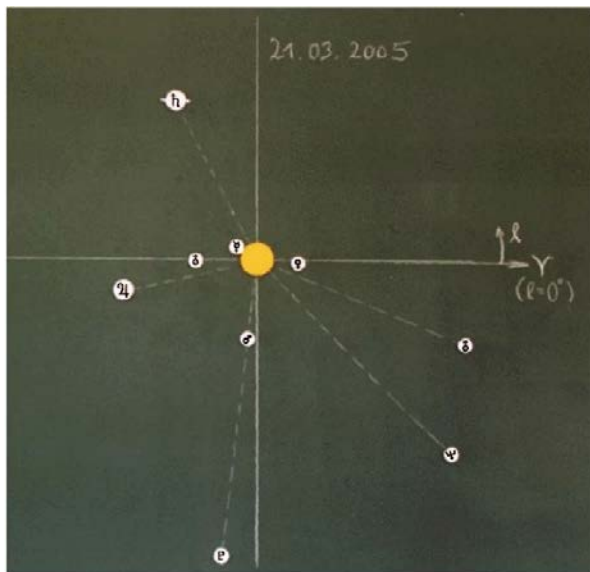


Abbildung 2: Beim „Planetenzeigermodell“ werden die Planetenörter in der Ekliptikebene durch die Polarkoordinaten Abstand r und heliozentrische ekliptikale Länge l (Polarwinkel) festgelegt. Die Abstände werden vereinfacht als konstant betrachtet, so dass die Planetenbahnen schon als Kreise vorgezeichnet sind. Die variablen heliozentrischen ekliptikalen Längen der Planeten müssen für das entsprechende Datum ermittelt werden. Sie werden dann ausgehend von der Achse, die zum Frühlingspunkt (Symbol: γ) zeigt, in Richtung des Planetenumlaufs (entgegen dem Uhrzeigersinn aus Sicht vom ekliptikalischen Nordpol aus) abgetragen. Die so ermittelten Orte werden mit den entsprechenden Planetensymbolen (rechts oben im Bild, Pluto gilt seit 2006 als Zwergplanet) gekennzeichnet (z. B. durch eine Haftapplikation). Beispielhaft wird dies hier im Bild links für die Planetenpositionen für den Frühlings- und Herbstanfang 2005 gezeigt. © Olaf Fischer.

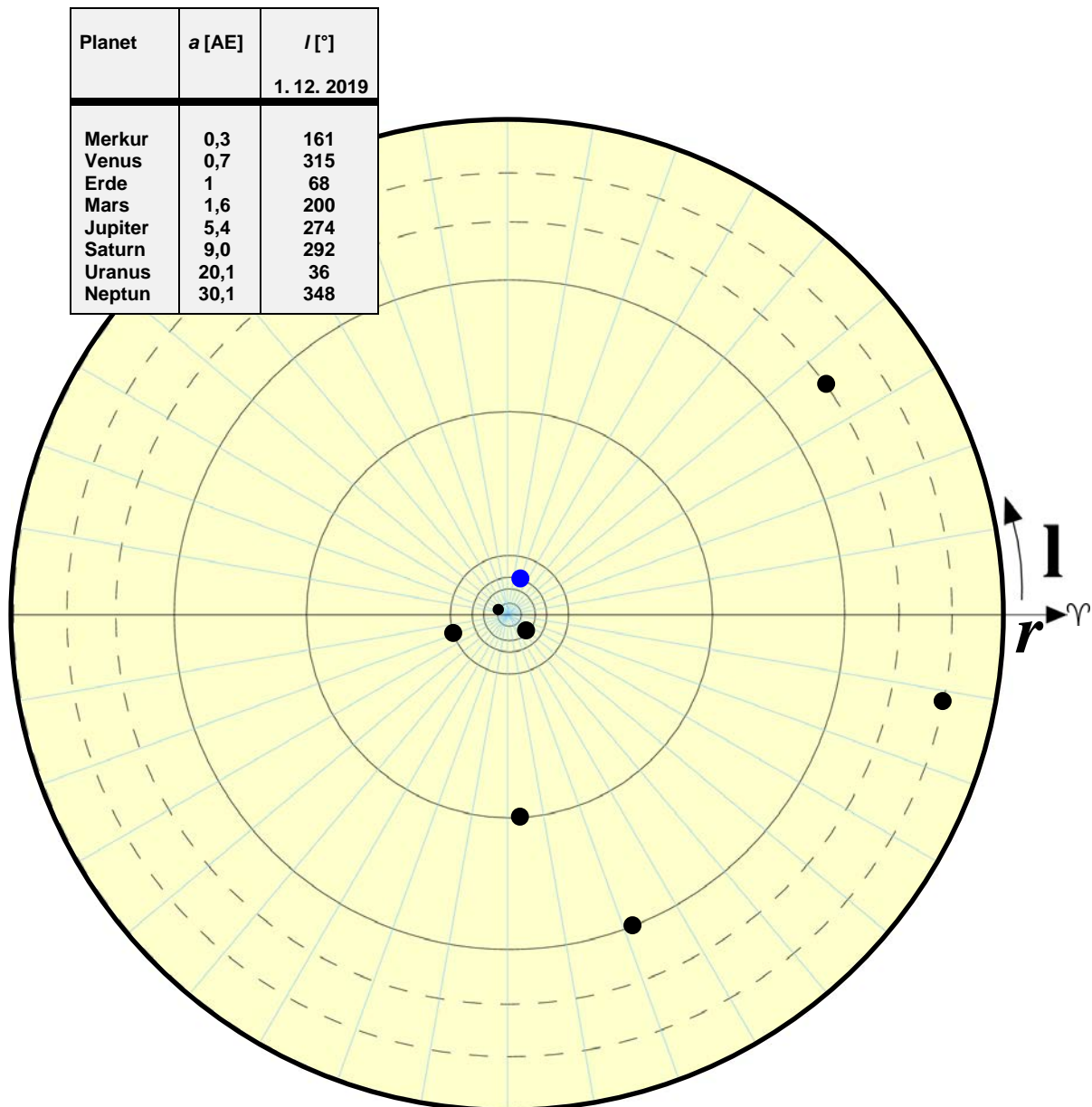


Abbildung 3: Stellung der Planeten am 1. 12. (der 335. Tag des Jahres) 2019 im „Planetenzeigermodell“. Die heliozentrischen ekliptikalen Längen wurden online berechnet (<https://omniweb.gsfc.nasa.gov/coho/helios/planet.html>). Von der Erde (blau) aus gesehen erscheint die Venus am Abendhimmel des 1. 12. 2019 zwischen Jupiter und Saturn. © Olaf Fischer.

Ein am Ende eines jeden Jahres wiederkehrendes Himmelsschauspiel bietet der Sternschnuppenstrom der Leoniden, der in der Nacht vom 17. zum 18. 12. 2019 seinen Höhepunkt hat. Die Leoniden kommen aus Richtung des Ekliptiksternbilds Löwe, welches einen ekliptikalen Längenbereich von etwa 138° - 174° einnimmt. Dementsprechend sind die Sternschnuppen (am 17. 12. 2019 leider in Richtung des Mondes) in der zweiten Nachthälfte ein kleines Stück westlich von Mars zu beobachten.

Der Sonnensystemweg – ein Maßstabsmodell

Maßstabsmodelle sind für Naturwissenschaft und Technik von großer Bedeutung, um sowohl Überblick als auch Detailsblick für das jeweilige Betrachtungsobjekt zu erhalten. Sie ermöglichen die notwendige Anschauung, um etwas zu verstehen und eventuell in originaler Größe zu reproduzieren.

Im Zusammenhang mit der Schule können sofort viele Maßstabsmodelle genannt werden. So kennen wir maßstäbliche Modelle aus der Technik (z. B. Modelleisenbahn), aus der Biologie (z. B. Modell des Auges oder eines Insekts), aus der Geografie (z. B. das Relief eines Berges oder im Rahmen der Kartografie) oder auch einfach aus dem kindlichen Alltag (z. B. Puppenstube).

Von zentraler Bedeutung für den Vergleich (und die eventuelle Umsetzung) ist der gekonnte Umgang mit dem **Maßstab** als dem Verhältnis zwischen der Größe im Modell und der realen Größe.

Planetenwege nutzen häufig den Maßstab $1 : 10^9$. Die kleinste darzustellende Größe - der Durchmesser von Merkur (4880 km) – nimmt dann im Modell ca. 5 mm ein und ist damit noch gut sichtbar. Die größte darzustellende Größe – die Entfernung von Neptun (ca. $4,5 \cdot 10^9$ km) – schlägt mit 4,5 km (einer noch erlaubbaren Strecke) zu Buche.

Zur Verkleinerung der Laufstrecke oder zur Anpassung des Modells an ein gegebenes Gelände (wie im vorliegenden Fall) ist es erforderlich, den Abstandsmaßstab vom Durchmessermaßstab zu entkoppeln, was jedoch etwas „didaktische Mehrarbeit“ erfordert.

Der im Folgenden vorgestellte **Sonnensystemweg des HdA** verwendet als **Größen- bzw. Durchmessermaßstab $1 : 10^9$** und als **Abstandsmaßstab $1 : 2 \cdot 10^{10}$** (7,5 m entsprechen einer Astronomischen Einheit, kurz: AE). Um die Abstände der Himmelskörper mit ihren Größen zu vergleichen, müsste man diese also 20-fach vergrößern.

Der Sonnensystemweg des HdA besitzt 13+1 Stationen, welche die Objektvielfalt im Sonnensystem (1 Stern, 8 Planeten, 1 Zwergplanet, 1 Planetoid und 1 Kometenkern) repräsentieren und in einer Station die Datenübertragung von Planetensonden wie auch das Sammeln von Strahlung thematisieren. Die abschließende Station „13+1“ (am Ort der Station 13) führt gedanklich zum „Rand“ des Sonnensystems und bis hin zum möglichen Nachbarsystem um den benachbarten Stern Proxima Centauri.

Neben den Stationen ist der Weg selbst ein wesentliches Modellobjekt. Dieser gibt dem Nutzer eine erste Ahnung von den gigantischen kosmischen Weiten und verleiht dem Terminus ‚**Raum**‘ eine neue Bedeutung. Der bisher eher nur mathematisch erfasste alltägliche Raum wird in seinen kosmischen Dimensionen später zu einer neu verstandenen physikalischen Größe werden, die verwoben ist mit der Zeit (→ Raumzeit) und der Masse (→ Raumkrümmung).

Aktivierung und Einbindung der Nutzer des Sonnensystemwegs

Jede Station des Sonnensystemwegs erfordert eine Vorstellung des erreichten Objekts (samt Hinweisen zu seiner Beobachtbarkeit) und die Anleitung zu einer kleinen Aktivität. Die aktive Einbindung der Wegnutzer ist für den Lernerfolg bzw. die Freude am Kennenlernen von großer Bedeutung.

Die Stationen werden im Weiteren auf sogenannten Stationenkarten (im Anhang: ‚Stationenkarten.pdf‘) vorgestellt. Diese enthalten einige weitere Daten und Zusatzinformationen sowie Ideen zu möglichen Aktivitäten. Auf den Rückseiten der laminierten Stationenkarten sind eindrucksvolle Bilder der Objekte (oft aufgenommen von Sonden) abgedruckt. Diese Karten sowie alle weiteren didaktischen Hilfsmittel (siehe dazu in den Anhang) befinden sich in der Tasche für didaktische Hilfsmittel (siehe Abb. 1).

Eine Möglichkeit des sehr aktiven Kennenlernens des Sonnensystemwegs ist es, die Nutzer unter Anwendung der Methode ‚**Lernen durch Lehren**‘ (siehe WIS 7/2019) einzubinden. Dazu gilt es, die 13+1 Stationen (Vorbereitung, Präsentation und Anleitung) auf 14 Personen bzw. Kleingruppen aufzuteilen.

Der Sonnensystemweg des HdA

Zur Unterstützung der didaktischen und pädagogischen Arbeit vor Ort wurde im Jahre 2016 der Sonnensystemweg des HdA in Betrieb genommen. Er löste den Planetenweg ab, der auf dem Gelände der Landessternwarte existierte und verbindet nun das Areal des Max-Planck-Instituts für Astronomie mit dem der Landessternwarte.

Aus praktischen Gründen kommen 2 verschiedene Maßstäbe zur Anwendung.

Für die Abstände gilt, dass 7,5 m im Modell einer Entfernung von einer Astronomischen Einheit (AE, rund 150 Mio km) entsprechen (Maßstab 1 : $2 \cdot 10^{10}$). Die Sonne hätte in diesem Modell einen Durchmesser von 7 cm.

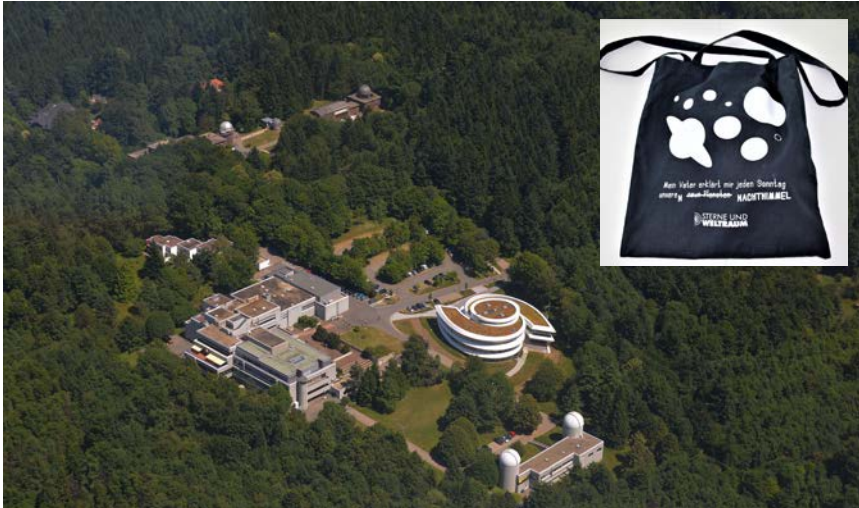


Abbildung 4: Der Sonnensystemweg des HdA verbindet das Gelände des Max-Planck-Instituts für Astronomie (unten) mit dem Gelände der Landessternwarte (oben).
© MPIA.

Der Größenmaßstab für die Himmelskörper ist mit 1 : 10^9 so gewählt, dass die Kleinsten in der Regel (evt. mit Sehhilfe) noch erkennbar sind. Die Sonne hat bei diesem Maßstab einen Durchmesser von 1,4 m und die Erde ist ca. 12,5 mm groß. Die folgende Tabelle, die Draufsicht in Abb. 5 und die Informationen zu den Wegstationen auf den Stationenkarten (im Anhang) geben Überblick und Einblick in eine mögliche Nutzung.

Himmelskörper (Typ und Eigenname) im Modell	Entfernung von Sonne in Realität in AE im Modell im Abstandsmaßstab im Modell im Größenmaßstab	Durchmesser in Realität in km im Modell im Abstandsmaßstab im Modell im Größenmaßstab
Stern Sonne	-	1,4 Mio km / 70 mm / 1400 mm
Planet Merkur	0,387 AE / 2,9 m / 58 m	4.879,4 km / 0,24 mm / 4,9 mm
Planet Venus	0,723 AE / 5,4 m / 108 m	12.103,6 km / 0,61 mm / 12,1 mm
Planet Erde	1 AE / 7,5 m / 150 m	12.756 km - 12.713 km / 0,64 mm / 12,7 mm
Planet Mars	1,524 AE / 11,4 m / 229 m	6.792 - 6.752 km / 0,34 mm / 6,8 mm
Planetoid Heidelberga	3,209 AE / 24,1 m / 481 m	im Mittel 76 km / 0,004 mm / 0,08 mm
Planet Jupiter	5,203 AE / 39,0 m / 780 m	142.984 - 133.708 km / 7,1 - 6,7 mm / 143 - 134 mm
Planet Saturn	9,5826 AE / 71,9 m / 1437 m	120.536 - 108.728 km / 6,0 - 5,4 mm / 121 - 109 mm
Planet Uranus	19,201 AE / 144,0 m / 2880 m	51.118 - 49.946 km / 2,6 - 2,5 mm / 51 - 50 mm
Planet Neptun	30,070 AE / 225,5 m / 4510 m	49.528 - 48.682 km / 2,5 - 2,4 mm / 50 - 49 mm
Kometenkern Halley (kurz nach dem Aphel)	0,586 AE (P) - 35,082 AE (A) / 4,4 - 263,1 m / 88 - 5262 m	15,3 × 7,2 × 7,2 km 0,0008 × 0,0004 × 0,0004 mm / 0,015 × 0,007 × 0,007 mm
Zwergplanet Pluto	29,658 (P) - 49,305 AE (A) / 222,4 - 369,8 m / 4449 - 7396 m	2374 km / 0,1 mm / 2,4 mm

Tabelle 1: Größenangaben zum Sonnensystemweg des HdA. Die realen Daten stammen aus Wikipedia. Die Werte für die Modellgrößen sind zum Teil stärker gerundet. Zur Verdeutlichung der Modellgrößen der Kleinkörper könnten Vergleiche mit Teilchen von Gesteinsstaub (0 – 0,020 mm) oder Zement (0,0005 – 0,1 mm) dienen. Dazu wäre ein Röhrchen mit derartigem Staub dienlich.

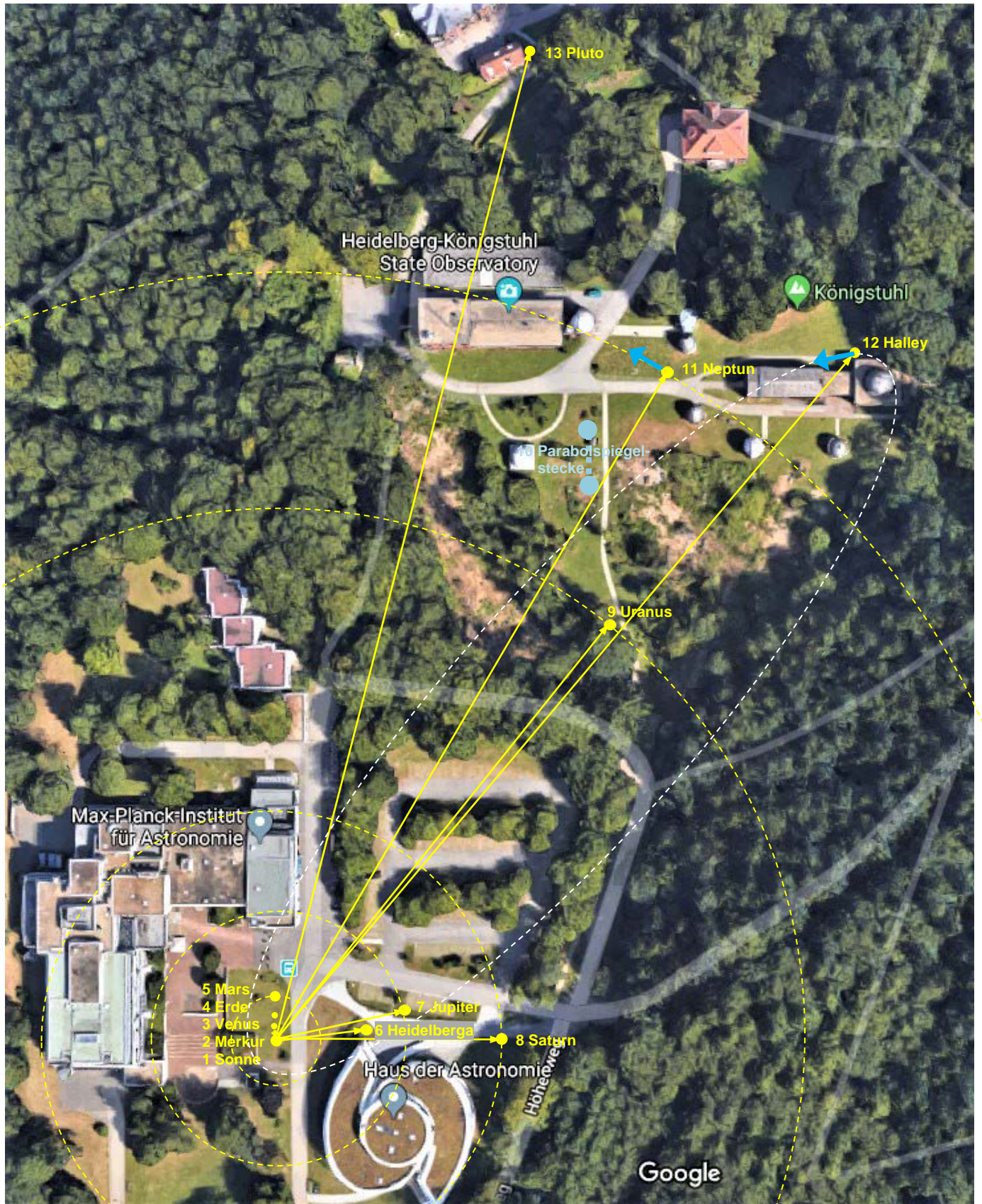


Abbildung 5: Draufsicht auf den Sonnensystemweg des HdA mit seinen 13 Stationen. Für die meisten Sonnensystemobjekte wurden Kreisbahnen (gelb gestrichelt, Radius = mittlerer Abstand) angenommen. Aus Platzgründen wurden die Bahnen von Merkur, Venus und Mars nicht markiert. Die Halleybahn (weiß gestrichelt) hat in Realität eine große Halbachse von 17,74 AE und eine kleine Halbachse von 4,55 AE. Pluto befindet sich im Modell zwischen seinem kleinsten (ca. 30 AE) und seinem größten (ca. 49 AE) Abstand zur Sonne.
© Olaf Fischer, basierend auf einer Aufnahme von GoogleEarth.

ANHANG

Übersicht zu den Stationenkarten mit Zusatzinformationen und Aktivitätsideen (Stationenkarten in anhängender Datei „Stationenkarten.pdf“)

STATION 1 „Die heiße Sonne“



Einige Daten: (aus Wikipedia)

- Masse:** Ca. 330.000-fache Erdmasse
- Radius:** Ca. 109-facher Erdradius (d. h. in die Sonne passen mehr als 1 Million Erden!)
- Energieabstrahlung:** In 1 s gibt die Sonne so viel Energie ab, wie alle im Jahr 2011 vorhandenen Kernkraftwerke der Erde in 750.000 Jahren in Elektroenergie umwandeln.

Information:
Die Sonnenoberfläche (Photosphäre) hat eine Temperatur von ca. 5500 °C und gibt den Großteil der Strahlung (vor allem sichtbares Licht) ab. Das sichtbare Licht der Sonne besteht aus verschiedenen Farben und mischt sich zum weißen Licht zusammen. Kühlerer Gebiete der Sonnenoberfläche (Flecken) erscheinen dunkel.
Obwohl die Sonne eine Kugel aus mehr oder weniger ionisiertem Gas (Plasma) ist, hat sie einen scharfen Rand, weil die lichtstreuende Photosphäre im Vergleich zum Sonnendurchmesser sehr dünn ist (ca. 400 km, d. h. etwa 0,06 % des Sonnenradius).

Aktivitäten:

- Sonne durch Spezialbrille im Weißlicht betrachten (scharfer Rand, Mini-Rand-Verdunklung, evtl. Flecken).
- Farbspektrum der Sonne erzeugen (und betrachten).

Bild auf Rückseite: Sonne im Weißlicht mit Flecken am 7. 1. 2013.

STATION 2 „Der schnelle Merkur“



Einige Daten: (aus Wikipedia)

- Oberflächentemperatur:** Tagseite: bis +425 °C
Nachtseite bis -170 °C
Damit hat Merkur die größten Oberflächentemperaturschwankungen aller Planeten.
- Rotation „im Takt“:** Merkur dreht sich genau dreimal bei zwei Umläufen um die Sonne.

Information:
Merkur, Venus, Erde und Mars sind Gesteinsplaneten, deren Oberflächen in der Frühzeit des Sonnensystems stark durch Einschläge geformt wurden. Merkur hat keine Atmosphäre, Venus hat eine sehr dichte CO₂-Atmosphäre, die CO₂-Atmosphäre von Mars ist dagegen sehr dünn. Die Atmosphäre der Erde ist etwas Besonderes, weil sie neben dem Stickstoff (ca. 78 %) auch Sauerstoff (ca. 21 %) enthält.
Je weiter ein Planet von der Sonne entfernt ist, desto langsamer ist er (3. Kepler'sches Gesetz). Umlaufzeit Merkur: rund 88 Tage, Umlaufzeit Venus: rund 225 Tage, Umlaufzeit Erde: rund 365 Tage und Umlaufzeit Mars: rund 687 Tage.

Aktivitätsmöglichkeit:
Planetenmodelle im Vergleich: Kinder laufen als Merkur und Erde im passenden Umlaufverhältnis um die Sonne herum. Während eines Erdumlaufs läuft Merkur fast viermal um die Sonne (1 Erdjahr = 4 Merkurjahre). Den genauen Zusammenhang zwischen Umlaufzeit und Abstand hat Kepler in seinem 3. Gesetz formuliert.

Rückseitenbild: Krateroberfläche des atmosphärenlosen Gesteinsplaneten Merkur.

STATION 3 „Die bewölkte Venus“



Einige Daten: (aus Wikipedia)

- Rotation „anders herum“:** ... und dazu noch sehr langsam: ca. 243 (Erde-)Tage
- Atmosphäre:** Ca. 90-fache Masse der Erdatmosphäre, Druck am Venusboden wie in etwa 900 m Meerestiefe auf der Erde. Schwefelsäurewolken regen. Starker Treibhauseffekt: mittlere Temperatur am Boden: 464 °C

Information:
Merkur, Venus, Erde und Mars sind Gesteinsplaneten, deren Oberflächen stark durch Einschläge geformt wurden. Venus besitzt eine sehr dichte Atmosphäre, Merkur hat dagegen keine Atmosphäre. Die Gesteinsoberfläche der Venus läuft wegen der Schwefelsäurewolken in der Atmosphäre (Aerosole) im sichtbaren Licht nicht betrachtet werden. Radarechos durchdringen die Atmosphäre und machen eine Oberflächenkartierung möglich.

Aktivitätsmöglichkeit:
Vergleich des Aussehens von Venus und Merkur auf den Schulbildern. (Ergebnis: bei Merkur ist die Gesteinsoberfläche sichtbar, bei der Venus nicht.)

Bild auf Rückseite: Atmosphärenoberfläche der Venus.

STATION 4 „Unsere Heimat: die Erde“



Einige Daten: (aus Wikipedia)

- Dichte:** Die mittlere Dichte der Erde beträgt 5,515 g/cm³. Damit ist sie Rekordhalter bei den solaren Planeten.
Dichten zum Vergleich:
Sandstein: 2,3 – 2,67 g/cm³,
Granit: 2,7 g/cm³,
(Eisen: 7,86 g/cm³)

Information:
Die Erdoberfläche wurde nur in der Frühzeit stark durch Einschläge geformt. Heute macht dies die Plattentektonik. Die Oberfläche der Erde ist zu ca. 2/3 mit Wasser bedeckt, das größtenteils flüssig ist und für den Namen „blauer Planet“ einsteht (Grundlage für Leben).

Aktivitätsmöglichkeiten:
„Freihandwaage“ mit Folgen: Ein Pflasterstein aus Granit wird mit der Hand „gewogen“. Ein Stein mit der mittleren Dichte der Erde hätte die doppelte Masse. Was lässt sich daraus über die Erde ableiten? Antwort: Erde muss im Zentrum viel Eisen enthalten.

Malstab und Ansehbar: Größe der Sonne im Abstandsmalstab (7-cm-Kugel) zeigen. Betrachtung 7-cm-Sonnenkugel von der Modell-Erde aus (d. h. bei 7,5 m Abstand). Schätzung des Winkeldurchmessers. Es zeigt sich, dass dieser Winkeldurchmesser (0,5°) dem der realen Sonne am Himmel entspricht.
➔ Bei nur einem Malstab blieben die Winkel (das Aussehen) erhalten.

Bild auf Rückseite: Erde – der blaue Planet.

STATION 5 „Mars – Rekordhalter bei Bergen und Tälern“



Einige Daten: (aus Wikipedia)

- Durchmesser:** Ca. 1/10-ter der Erdmasse. Die mittlere Dichte von Mars ist also deutlich kleiner als die der Erde
- Oberflächentemperatur:** stammt von Hämatis, einem Eisenoxid („Rost“), entstanden durch die Verwitterung von eisenhaltigen, vulkanischen Basalten.

Information:
Mars hält hinsichtlich seiner Oberfläche Rekorde:

- Mit **Valles Marineris** hat er das größte bekannte Grabenbruchsystem des Sonnensystems (ca. 4000 km lang, bis zu 700 km breit, bis zu 7 km tief)
- **Alba Patera** ist der Vulkanberg (3 km hoch) mit dem größten Basaldurchmesser (mehr als 1200 km) im Sonnensystem.
- **Olympus Mons** ist der höchste bekannte Berg im Sonnensystem (etwa 21,3 km über dem mittleren Null-Niveau).

Aktivitätsmöglichkeit:
Man suche auf der rückenständigen Marsaufnahme die drei Rekordhalter bei Bergen und Tälern im Sonnensystem: **Valles Marineris, Alba Patera und Olympus Mons.** (Ergebnis siehe Bild rechts.)

Bild auf Rückseite: „Wüstenplanet“ Mars mit Oberflächendetails.

STATION 6 „Asteroid Heidelberg – nur kosmisch gesehen klein“



Einige Daten: (aus Wikipedia)

- Asteroidengröße:** Im Abstandsbereich von 2,0 bis 3,4 AE laufen etliche 100.000 Asteroiden um die Sonne (bis 2017 wurden mehr als 650.000 registriert)

Information:
Entdeckung durch den Heidelberger Astronom Max Wolf (1862-1932, siehe Bild unten) am 4. März 1902 in seiner Privatsternwarte in der Murgasse in Heidelberg (vermutlich mit dem unten gezeigten Doppelteleskop). Er gibt auch einen Asteroiden Mannheim (entdeckt 2010, 3,5 km mittlerer Durchmesser) und einen Asteroiden Stuttgart (entdeckt 2009, 2 km mittlerer Durchmesser).

Aktivitätsmöglichkeit:
Abkürzung:
Schätze ab, wie oft die Ostsee (Rauminhalt: 21.000 km³) die Raumhöhe von Heidelberg (Annahme: Kugel mit 38 km Radius oder Würfel mit 30 km Kantenlänge) ausfüllen würde!
a) 1-mal,
b) 3-mal,
c) 10-mal.

Ergebnis: Heidelberg hat ein Volumen von rund 230.000 km³. Entsprechend passt die Ostsee ca. 11-mal hinein.

Bild auf Rückseite: Asteroid Mathilde (ähnliche Größe wie Heidelberg)

STATION 7 „Jupiter – nicht nur im Mythos ein Beschützer“



Einige Daten: (aus Wikipedia)

- Masse:** Ca. 318 Erdmassen
- Durchmesser:** Ca. 11-facher Erddurchmesser
- Himmelskörpertyp:** jupiterartiger Gasplanet
- Atmosphäre:** Wirbelstreifen, die sich gegeneinander bewegen und so Wirbel erzeugen

Information:
Jupiter vereint in sich etwa 2,5-mal so viel Masse, wie in allen anderen Orbitobjekten des Sonnensystems insgesamt enthalten ist. Damit schützt er den inneren Bereich vor Asteroideneinschlag, indem er den Asteroidengürtel stabilisiert (man denke an einen Hirtenhund).

Aktivitätsmöglichkeit:
Der Massenunterschied der Kugeln von Jupiter und Erde wird mit der Hand gefühlt. Dazu sind 2 Holztafeln im Handgeköll, 1 cm und 7 cm Durchmesser, siehe Bild.) (Der geringere Orbitalunterschied wie in Realität ist nötig, weil es bei dem Holztafelgürtel keinen Dichtunterschied gibt.)

Bild auf Rückseite: Blick auf Jupiter mit Streifen, Wirbeln und Polarität in seiner Atmosphäre.

STATION 8 „Saturn – Herr der Ringe“



Einige Daten: (aus Wikipedia)

- Masse:** Ca. 95 Erdmassen
- Durchmesser:** Ca. 9,5-facher Erddurchmesser
- Dichte:** Unter allen Planeten geringste mittlere Dichte (etwa 0,69 g/cm³)
- Himmelskörpertyp:** jupiterartiger Gasplanet

Information:
Der Saturnring erstreckt sich in radialer Richtung von etwa 67.000 – 480.000 km, ist aber nur wenige hundert Meter dick.

Aktivitätsmöglichkeit:
Schätzfrage: Wie dick müsste der Saturnring im Größenmaßstab des Modells (1 mm entspricht 1000 km) dargestellt werden?
Antwort: nur einige Zehntel Millimeter. Zum Vergleich: Ein Blatt Papier mit einer Flächenmasse von 120 g/m², ist 0,15 mm dick.

Freihandmodellierung:
Zeige mit einer Modellderle und einem Modellsaturn die sich von Opposition zu Opposition verändernde Lage des Saturnrings in Bezug auf die Erde!

Bild auf Rückseite: Saturns Ringsichtbarkeit bei den Oppositionsstellungen.

STATION 9 „Uranus – der Geoplatte“



Einige Daten: (aus Wikipedia)

- Masse:** Ca. 14 Erdmassen
- Durchmesser:** Ca. 4-facher Erddurchmesser
- Himmelskörpertyp:** Gasplanet, „Eisriesen“ (auch Ein im Inneren)

Information:
Uranus besitzt eine stark gekippte Rotationsachse (97,77° – 99°) bedingt durch die Kollisionen. Er scheint deshalb auf seiner Bahn zu „rollen“. Uranus erscheint blaugrün, weil das Methan in der oberen Atmosphäre dem roten Anteil des entfallenden und an der darunterliegenden Wolkenschicht wieder reflektierten Sonnenlichts „verschluckt“.

Aktivitätsmöglichkeit:
Mit einer Kugel mit gut sichtbarer Achse zeigen (lassen), dass die Rotationsachse beim Orbit um die Sonne stabil im Raum steht.

Bild auf Rückseite: Uranus mit Ring und Wolken (Hubble Space Telescope 2005).

ANHANG

Übersicht zu den Stationenkarten mit Zusatzinformationen und Aktivitätsideen (Stationenkarten in anhängender Datei „Stationenkarten.pdf“)

STATION 10
„Wellen sammeln und bündeln - Flüstertalstecke“



Einige Fakten:
(aus Wikipedia)

Europäer Large Telescope: 2025 wird voraussichtlich das ELT als weltweit das größte optische Teleskop mit 39 m Nennspiegeldurchmesser in Betrieb gehen.

Voyager 2: Die Parabolantenne zur Datenübertragung (siehe Bild auf Rückseite) hat einen Durchmesser von ca. 3,6 m.

Information:
Uranus ist mit bloßem Auge ab und an noch beobachtbar, Neptun nicht mehr. Um dessen Lichtwellen wahrzunehmen, müssen wir mit Hilfe von Teleskopen mehr Licht auf sammeln und ins Auge lenken. Auch die Funksignale ferner Raumsonden werden so empfangen bzw. die Raumsonden empfangen diese so (siehe Bild auf Rückseite).

In Analogie zum Sehen (Lichtwellen) kann man das Hören (Schallwellen) betrachten. Um schwach hörbare akustische Wellen wahrzunehmen, braucht man „größere Ohren“, die mehr Schallwellen aufnehmen als das menschliche Ohr allein.

Aktivitätsmöglichkeiten:
Schallwellen bündeln: Die Hörbarkeit eines akustischen Signals durch Sammeln und Bündeln von Schallwellen verdeutlichen, wie schwache Licht- oder Funksignale durch Sammeln und Bündeln mehr empfangen werden können. Man hält entweder sein Ohr an das offene mit einem „Flüstertalstecke“ verbundene Rohr, oder man flüstert hinein, d. h. ohne die Sammelwirkung des „Flüstertalstecke“, kann man die andere Person nicht hören verstehen.

Bild auf Rückseite:
Voyager 2, gestartet 1977, Entfernung im Juni 2019: ca. 121 AE, sendet und empfängt immer noch Funksignale zur/von der Erde.

STATION 11
„Neptun - der Langsame“



Einige Daten:
(aus Wikipedia)

Durchmesser: Ca. 17 Erdmassen

Durchmesser: Ca. 4-facher Erddurchmesser

Himmelskörpertyp: Gasplanet, „Eisriesen“ (im Inneren auch Eis)

Information:
Die Bahngeschwindigkeit von Neptun (Perihel: 29,812 AE, Aphel: 30,328 AE) zeigt, dass seine Bahn fast kreisförmig ist.

Aktivitätsmöglichkeiten:
Neptunbahn weiter erkunden: Beim Neptun standet wurde man die Richtung zur Sonne. Nun laufe man ein kurzes Stück in Richtung der Neptunbahn auf dem gepflasterten Stück in der Wiese (im Bild oben markiert). Welchen Winkel haben beide Richtungen zueinander? Für welche Bahnrunde gilt dies? Wie lang ist eine Runde im Modell? Wie schnell läuft Neptun im Modell? Versuche, sein Tempo zu geben!
Antworten: Die beiden Richtungen verlaufen nahezu immer senkrecht zueinander, weil Neptuns Bahn nahezu kreisförmig ist. (Für eine Kreisbahn gilt, dass die Bahnrichtung tangential zur Verbindungslinie (Fokus-Sonne ist.) Bei einem Modellabstand von 225,5 m beträgt die Bahnlänge von Neptun ca. 1,4 km. Die Umlaufzeit von Neptun sind ca. 165 Jahre. Die mittlere Umlaufgeschwindigkeit beträgt dann 8,43 km / a. Im Modell wären es etwa 1 mm / h. Zum Vergleich dazu Merkur: eine Runde in 88 Tagen, Umfang ca. 19 m, also 19 m in 88 Tagen → 47,36 km/a also ca. 9 mm / h (etwa 10-fach schneller!)

Bild auf Rückseite:
Neptun mit Wolken und Wolkern, Voyager 2-Aufnahme von 1989.

STATION 12
„Komet Halley wird zum Raser“



Einige interessante Daten:
(aus Wikipedia)

Halley ist schwarz; Albedo 0,05
Halley ist so leicht wie Kohle; mittlere Dichte: 0,55 g/cm³

Bahnellipse:
Aphel: 35,082 AE, Perihel: 0,586 AE
Bahngeschwindigkeit im Perihel: 54,57 km / s (rasend schnell!)

Information:
Rätsel: Obwohl Halley in der Modellsituation von der Sonne weiter weg ist als Neptun, braucht er für einen Umlauf deutlich weniger Zeit: 75,32 Jahre (anstatt 165 Jahre für Neptun). Wie das?
Antwort: Halley ist auf einer langgestreckten Ellipse unterwegs. Seine Bahnhälfte ist deshalb doch kleiner als die von Neptun.

Aktivitätsmöglichkeiten:
Lupe: Betrachtung des Kometenkerns mit einer Lupe (optisches Hilfsmittel, um nahe Dinge zu vergrößern – so, wie das Okular beim Fernrohr, mit dem man das Bild in der Brennebene des Objektivs vergrößert). Mit der Lupe wird hoffentlich erkennbar, dass kosmische Kleinkörper in der Regel nicht kugelförmig sind.
Bahnform und Umlaufzeit: Man betrachte ein Stück der Halley-Bahn (ist auch in der Wiese gepflastert, im Bild unten gestrichelt) und stelle fest, dass diese hier nur nicht mehr tangential wie bei Neptun verläuft, also kein Kreis mehr sein kann. Zur Illustration dient die Draufsicht auf die Bahnen von Neptun und Halley.



Bilder auf Rückseite: Kometenkern von Halley aufgenommen durch die Sonde Giotto und Halleys Kometenschweif aufgenommen von der Erde aus, 1986.

STATION 13
„Zwergplanet Pluto - König des Kuiperürtels“



Einige Daten:
(aus Wikipedia)

Bahngeschwindigkeit: Perihel: 29,658 AE
Aphel: 49,305 AE
(die Bahnen ist also sehr exzentrisch)

Massen: Ca. 1/5-er Erdmasse

Durchmesser: Ca. 2/3-er Merkurdurchmesser

Himmelskörpertyp: Zwergplanet, transneptunisches Objekt → Kuiperürtelobjekt → Plutino

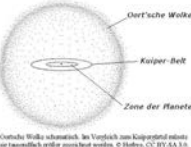
Information:
• **Kuiperürtel:** scheibenförmiges ektipisches Gebiet im Radiusbereich 30 – 50 AE, in dem Kleinkörper und Zwergplaneten konzentriert sind. Der Kuiperürtel ist eine Unterzone der transneptunischen Objekte.
• **Plutinos:** sind Objekte mit plutonischen (stabilen) Bahnen. Sie bilden eine Unterzone der Kuiperürtelobjekte. Man schätzt ihre Zahl auf mehr als 1000.



Aktivitätsmöglichkeiten:
Schätzfrage: Wie viele Objekte mit mehr als 100 km Durchmesser gibt es vermutlich im Gebiet des Kuiperürtels?
Antwort: Im Kuiperürtel existieren schätzungsweise mehr als 70.000 Objekte mit mehr als 100 km Durchmesser.

Bilder auf Rückseite:
Pluto - „Herrscher des Kuiperürtels“. Aufnahme der Sonde New Horizons, 2015.

STATION 13+
„Oortische Wolke ... und weiter“



Einige Daten:
(aus Wikipedia)

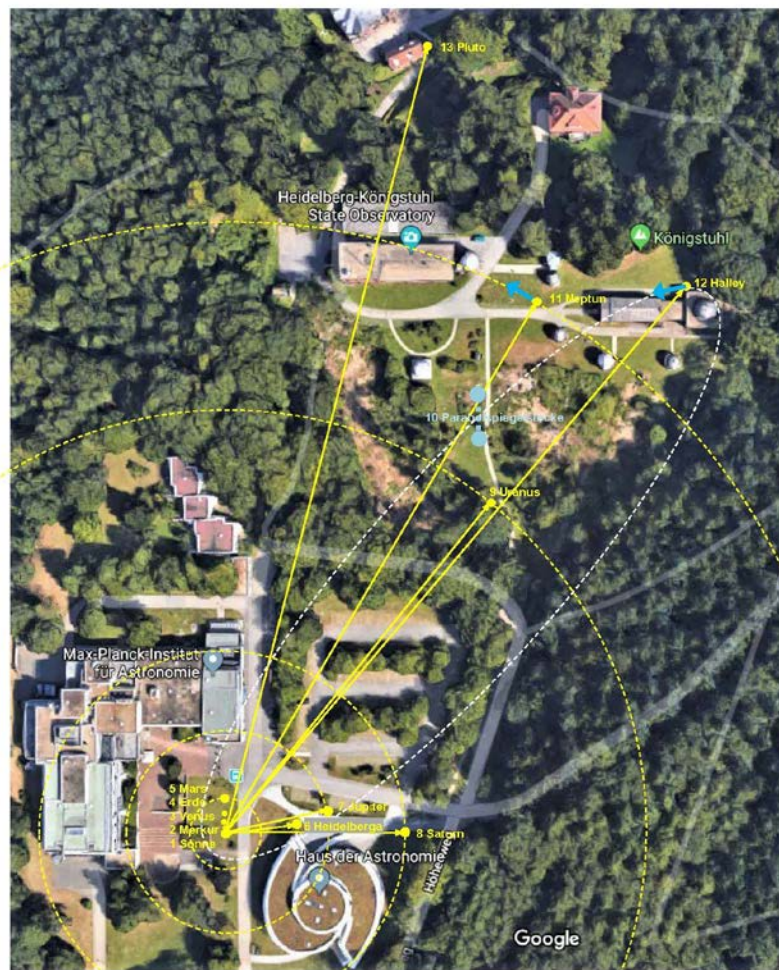
Annahme: Kugelförmiger Bereich, der bis 100.000 AE reicht (ca. 1,6 Lichtjahre)

Information:
• **Oortische Wolke:** eine angonometrisch nach außen hin immer kugelförmiger werdende Ansammlung von (meist) Kleinkörpern aus Eis und Gestein (auch Staub), die den äußeren Bereich des Sonnensystems bildet.
• **Unser Nachbarstern:** Proxima Centauri hat einen Abstand von 4,24 Lichtjahren (268.332 AE).

Aktivitätsmöglichkeiten:
Schätzfrage: Welche Annahme hätte die Oortische Wolke im Modell des Sonnensystems des HdA? Was weit wäre es im Sonnensystem etwa bis zum Nachbarstern Proxima Centauri?
Antworten: Die Oortische Wolke reicht im Modell des Sonnensystems bis in eine Entfernung von 100.000 - 2,5 m = 750 km, d. h. sie überdeckt ganz Deutschland. Proxima Centauri ist im Modell 2012,5 km entfernt. Das entspricht etwa der Luftlinienentfernung von Heidelberg nach Moskau.

Bilder auf Rückseite:
Ganz außen im Sonnensystem: Oortische Wolke

Sonnensystemweg des HdA aus der Vogelperspektive



Draufsicht auf den Sonnensystemweg des HdA mit seinen 13 Stationen. Für die meisten Sonnensystemobjekte wurden Kreisbahnen (gelb gestrichelt, Radius = mittlerer Abstand) angenommen. Die Halleybahn (weiß gestrichelt) hat in Realität eine große Halbachse von 17,74 AE und eine kleine Halbachse von 4,55 AE. Pluto befindet sich im Modell zwischen seinem kleinsten (ca. 30 AE) und seinem größten (ca. 49 AE) Abstand zur Sonne. © Olaf Fischer, basierend auf einer Aufnahme von GoogleEarth.

ANHANG

Didaktische Materialien zum aktiven Kennenlernen des Sonnensystemwegs



Foto mit allen Inhalten der Sonnensystemweg-Tasche:

- Tragetasche „Mein Vater Erklärt Mir Jeden Samstag Unseren Nachthimmel“
- A3- und A4-Übersichtsbild mit Sonnensystemweg aus der Vogelperspektive
- 14 laminierte Stationenkarten ①
- **Station 1:** 3 Spezialbrillen zur Sonnenbeobachtung (mit Sonnenfilterfolie leicht auch selbst herstellbar) ②
- **Station 1:** 2 Prismen ③
- **Station 4:** Steine aus Granit, aus rotem (regionalem) Sandstein und Kalkstein ④ (all diese Steine haben etwa die halbe Masse, wie ein gleich großer Stein aus einem Material mit der mittleren Erddichte)
- **Station 4, 7, 8, 9:** 1 Holzkugel (durchbohrt) mit 7 cm Durchmesser als Modell-Sonne oder Modell-Jupiter Modell-Saturn oder Modell-Uranus ⑤
- **Station 8, 9:** 1 Holzstab als Achse für Modell-Saturn oder Modell-Uranus ⑥
- **Station 7:** 1 Holzkugel (Durchmesser 1 cm) als Modell-Erde ⑦
- **Station 8:** 1 Papierkreis, 120-g-Papier ist ca. 0,15 mm dick zur Verdeutlichung der Saturnringdicke im Modell ⑧
- **Station 8, 9:** 1 Pappiring (Innendurchmesser 7 cm) zum Aufstecken auf Holzkugel zur Veranschaulichung der Ringe von Saturn und Uranus ⑨
- **Station 6, 12:** Lupe ⑩