
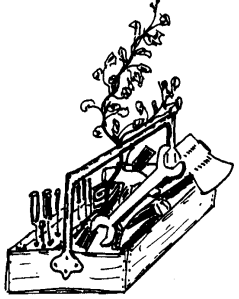


Unterrichtsprojekte Natur und Technik

Landeshauptstadt **Hannover** Vinnhorster Weg 2
30419 Hannover

Telefon: 0511-168-47665/7
Fax: 0511-168-47352
E-mail: schulbiologiezentrum@hannover-stadt.de
Internet: www.schulbiologiezentrum.info

 Schulbiologiezentrum Hannover



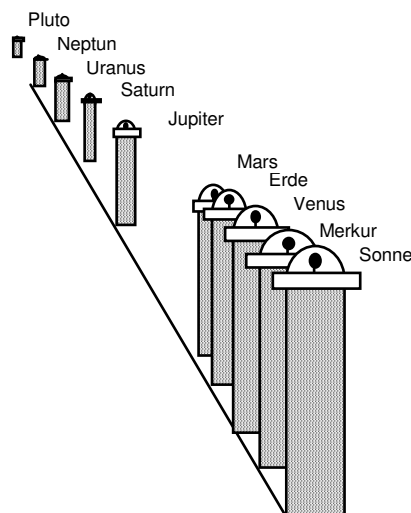
19.38

**Besucherinformation und Nachbuanregung
für fächerübergreifenden Unterricht,
Arbeitsgemeinschaften, Projektwochen
und Schullandheimfahrten:**

Wenn die Sonne ein Golfball wäre... Der "Weltraumpfad" im Schulbiologiezentrum



"Die Astronomie ist vielleicht die Wissenschaft...wo der Mensch am besten lernen kann, wie klein er ist" Georg Christoph Lichtenberg (Aphorismen C181, 1772 - 1773)



"Der Weltraum - unendliche Weiten....." so begannen alle Folgen des "Raumschiff Enterprise". Mit "Sol-" und später mit "Warp-Antrieb" jagte es mit Über-Lichtgeschwindigkeit durch unsere Milchstraßen-Galaxis und brachte fremde Welten auf unsere Fernsehschirme. Im realen Leben aber befinden wir uns nicht in einer "fernen Zukunft", sondern fest verwurzelt im "Raumschiff Erde" und brauchen uns zwischen den täglichen

Pflichten eigentlich keine Gedanken um die Größe des Weltalls zu machen. In klaren Sternennächten mag der eine oder andere dennoch hinaufschauen und grübeln, welche Rolle wir im Kosmos wohl spielen mögen....

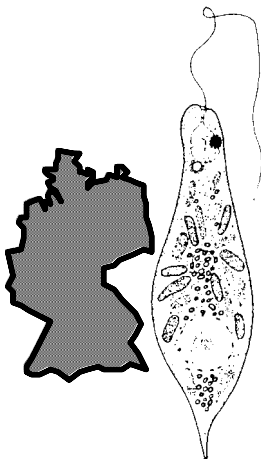
Eine Positionsbestimmung im All ist von großem pädagogischen Wert: Zeigt sie doch, wie klein und unbedeutend menschliches Tun auf diesem Krümelchen Erde ist. Sie macht deutlich, dass wir den Kurs unserer irdischen Existenz nur geringfügig und - wenn überhaupt - nur innerhalb der Wände des "Raumschiffs" festlegen können. Um diesen Gedanken stärker im Unterricht zu verankern, haben wir 1996 unter dem Titel "Mit dem Taschenrechner durch das All" einen Vorschlag zur "ambulanten" Darstellung des Sonnensystems veröffentlicht. Dabei wird von einem etwa 40 cm großen Gymnastikball als Sonne ausgegangen. Er und die neun Planeten reihen sich dabei für einen Unterrichtsvormittag entlang der 1800 m langen "Lindenallee" im Georgengarten Hannovers auf.

In Ergänzung zu dieser Arbeitshilfe stellen wir nunmehr den 174 m langen, größen- und abstandsgetreuen "Weltraumpfad" im Schulbiologiezentrum vor. Er ist Teil des Themengartens "Sonne, Energie und Klima", der zusammen mit sechs weiteren Themengärten als EXPO-Beitrag des Schulbiologiezentrums entsteht und der den "Raumschiffcharakter" der Erde aus verschiedenen Blickwinkeln heraus in den Mittelpunkt stellt.

- Sehen Sie, wie klein die Planeten im Verhältnis zum dazwischenliegenden Raum sind.
- Sehen Sie, wie einsam unsere Erde im Weltall ist.
- Bewegen Sie sich in Gedanken zu Fuß, mit dem Auto oder mit dem Flugzeug von Planet zu Planet.
- Wandern Sie mit "Lichtgeschwindigkeit" durch das Sonnensystem.
- Erfahren Sie, wie "alt" das Licht der Sonne ist, wenn es die einzelnen Planeten erreicht.
- Erfahren Sie, wie ungeheuer weit unsere Nachbarsterne von uns entfernt sind.

Wenn die Sonne ein Golfball wäre...

Uns standen zum Bau des Sonnensystems entlang des Hauptweges 174 Meter Länge zur Verfügung. Der mittlere Abstand Sonne - Pluto liegt bei 5946,5 Millionen Kilometer. Nach diesem Wert wurden alle Längen und Größen in die zur Verfügung stehende Strecke projiziert. Das Abbildungsverhältnis ist:



5946500000 km im All entsprechen 0,174 km im Schulbiologiezentrum

1 km im All entspricht $0,174 \text{ km} : 5946500000 \text{ km} =$

$2,926 \times 10^{-11} \text{ km}$ oder $2,926 \times 10^{-5} \text{ mm} = 0,00002926 \text{ mm} !$

Ein Bakterium = 100 Kilometer lang!

Ein Kilometer schrumpft auf diese Weise auf ca. 0,00003 mm oder 0,03 µm (Mikrometer)

Länge. Das Pockenvirus ist etwa 0,4 µm groß und entspricht einer Länge von über 10 Kilometern. Das aus Heuaufgüssen bekannte Bakterium *Bacillus subtilis* ist 2 - 3 µm lang, das Darmbakterium *Escherichia coli* 1 - 5 µm. Ein Bakterium ist in unserem Modell etwa 100 Kilometer lang. Das Augentierchen *Euglena viridis* (0,05 mm oder 50 µm) wäre schon größer als Deutschland

(s. Abbildung)... Das Pantoffeltierchen *Paramecium* mit einer Länge von 0,3 mm oder 300 µm entspräche einer Länge von 10000 km (Hannover - San Francisco). Die Erde selbst wäre so groß wie die kleinsten der "Wimperkugeln" *Volvox* (350 - 2000 µm), die in vielen unserer Teiche schwimmt.

Mit dem Mikroskop können Schüler und Schülerinnen alle genannten Organismen im Schulbiologiezentrum einem anschaulichen Größenvergleich unterziehen.

Schulbiologiezentrum Hannover, Arbeitshilfe 19.38

Bei allen errechneten Distanzen wurden die mittleren Abstände zu Grunde gelegt. Die Umlaufbahnen der Planeten sind in Wirklichkeit von Fall zu Fall unterschiedlich stark exzentrische Ellipsen. Daher schwankt der Abstand Sonne - Planet, was natürlich im fest aufgebauten Modell genauso wenig Berücksichtigung finden kann, wie der natürlich ständig sich ändernde Abstand der Planeten zueinander. Gerundet ergeben sich folgende Ergebnisse:

	mittlere Entfernung (Sonne) in Mill. km	Abstand zur Sonne in AE*	Distanz im "Weltraumpfad"	Durchmesser in km	Durchmesser in Erddurchmessern	Durchmesser im Modell
Sonne	-	-	-	1392000	109	38,15 mm
Merkur	57,91	0,39	1,70 m	4840	0,38	0,13 mm
Venus	108,21	0,72	3,14 m	12228	0,97	0,34 mm
Erde	149,60	1	4,36 m	12756	1,00	0,35 mm
Mars	227,94	1,52	6,63 m	6770	0,53	0,18 mm
Jupiter	778,34	5,2	22,67 m	143650	11,2	3,92 mm
Saturn	1427,01	9,6	41,86 m	120670	9,47	3,31 mm
Uranus	2869,67	19,3	84,15 m	47100	3,75	1,31 mm
Neptun	4496,54	30,1	131,24 m	50000	3,50	1,22 mm
Pluto	5946,60	29,6 - 49,3	174,0 m	ca. 2500	0,46	0,16 mm

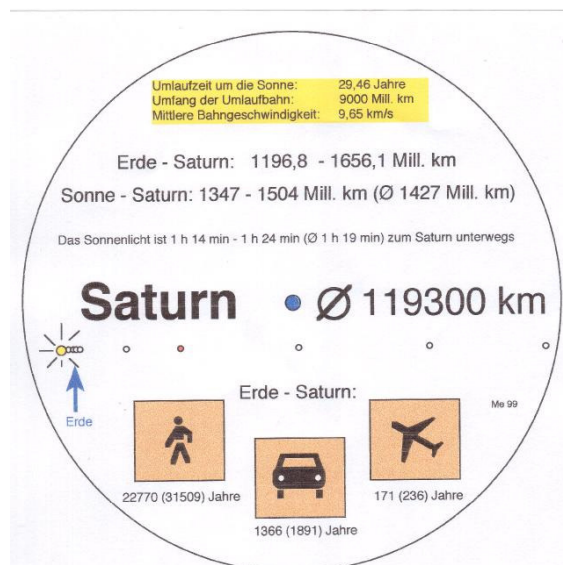
*) Astronomische Einheit AE:

Die mittlere Entfernung Sonne - Erde (=149000000 km) wird im astronomischen Sprachgebrauch als "Astronomische Einheit" (AE) bezeichnet. Das Rechnen mit AE reduziert die Zahl der Ziffern, die beim Umgang mit Kilometern unweigerlich auftreten (Für größere Distanzen geht man zu "Lichtjahren" über, dazu im folgenden mehr).

1 AE entspricht dann $0,00002926 \text{ mm} \times 149000000 \text{ km} = 0,00436 \text{ km}$, also 4,36 m. Dies ist der mittlere Abstand Sonne - Erde in unserem Modell. Die Sonne hat im Modell die Größe eines Golfballs.

Der Erddurchmesser beträgt $0,00002926 \text{ mm} \times 12000 \text{ km} = 0,35 \text{ mm}$. Damit ist sie kleiner als ein Stecknadelkopf. Der (Erd)Mond hat einen Durchmesser von 3476 km und ist im Mittel 384403 km von der Erde entfernt, in unserem Modell ist er 0,1 mm groß und er hat einen Abstand von 11,3 mm.


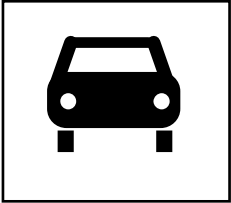
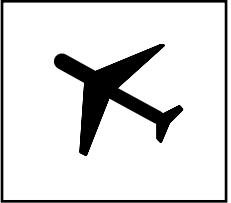
Zu Fuß, mit dem Auto und mit dem Flugzeug unterwegs...



Um einen weiteren vorstellbaren Begriff von den riesigen Distanzen im All zu vermitteln, schrumpfen wir, rein gedanklich, auf die zum Modell passende Größe und machen uns zu Fuß oder mit bekannten Verkehrsmitteln auf den Weg zu unseren "Nachbarn". Sie können die entsprechenden Geschwindigkeiten, Zeiten und Entfernungen nacherleben, wenn Sie den "Weltraumpfad" im "richtigen" Rhythmus durchschreiten. Gehen Sie in unserem Maßstab zu Fuß (6 km/h), dann kommen Sie pro Stunde um $0,00002926 \text{ mm} \times 6 = 0,00017556 \text{ mm}$ voran. Das sind etwa 0,004 mm pro Tag. Vergleichen Sie diese Geschwindigkeit mit dem Wachstum unserer Haare (0,4 mm/Tag) oder Fußnägel (0,04 mm pro Tag).

Mit dem Auto (100km/h) kämen wir auf eine Tagesleistung von "schon" 0,07 mm, mit dem Flugzeug (800 km/h) können Sie mit 0,56 mm/Tag die wachsenden Haare "überholen".

Mittlere Distanz der Planeten zur Sonne und die (natürlich rein gedankliche!) Dauer der Reise zu Fuß, mit dem Auto oder mit dem Flugzeug (in Jahren):

	Distanz zur Sonne in Mill. km	 6 km/h	 100 km/h	 800 km/h
Merkur	57,91	1102 J	66 J	8 J
Venus	108,21	2059 J	124 J	15 J
Erde	149,60	2846 J	171 J	21 J
Mars	227,94	4337 J	260 J	33 J
Jupiter	778,34	14809 J	889 J	111 J
Saturn	1427,01	27150 J	1629 J	204 J
Uranus	2869,67	54598 J	3276 J	409 J
Neptun	4496,54	85551 J	5133 J	642 J
Pluto	5946,60	113139 J	6788 J	849 J

Darstellungsform der Himmelskörper im "Weltraumpfad"



Die Sonne und die neun sie umkreisenden Planeten sind auf dem "Weltraumpfad" in einer Reihe auf halbmeterhohen Granitstelen angeordnet. Unter transparenten Acrylkuppeln befindet sich jeweils das größengetreue Modell des Himmelskörpers und eine Informationstafel (s. Abbildung links). Die Sonne ist als Golfball dargestellt, die Planeten sind Stecknadelköpfe unterschiedlicher Größe und Farbe auf einem kleinen Podest aus Naturkork in der Mitte der kreisrunden Informationstafel. Die Informationstafel enthält Daten zur Umlaufbahn und Bahngeschwindigkeit, zum (kleinsten bzw.

größten) Abstand Erde - Planet und dem (wechselnden bzw. mittleren) Sonne - Planet, zur Position im Sonnensystem und zur Größe. Weiterhin erfahren Sie, wie lange das Licht der Sonne zum jeweiligen Planeten unterwegs ist. Vorstellbarer werden die Distanzen, wenn Sie sich die hypothetische Reisedauer zu Fuß, mit dem Auto und dem Flugzeug vergegenwärtigen.

Planeten kreisen um die Sonne

Alle neun Planeten kreisen in gleicher Bewegungsrichtung (von oben gesehen gegen den Uhrzeigersinn!) mit unterschiedlicher Bahngeschwindigkeit um die Sonne. Dabei nimmt die Umlaufgeschwindigkeit des Planeten mit der Distanz zur Sonne ab. Wenn wir wieder unseren

"Modellkilometer" (1 km = 0,000029 mm) zugrunde legen, können wir die tatsächlichen Bahngeschwindigkeiten leicht auf die Verhältnisse des "Weltraumpfads" umrechnen.

	Mittlere Bahngeschwindigkeit um die Sonne in km/s	mm pro Sekunde im "Weltraumpfad"	mm pro Stunde im "Weltraumpfad"	Umlaufzeit in Jahren und Tagen
Sonne	-	-	-	-
Merkur	47,87	0,0014	5,0	88 T
Venus	35,02	0,0010	3,6	225 T
Erde	29,79	0,0009	3,2	365 T
Mars	24,10	0,0007	2,5	1 J 322 T
Jupiter	13,06	0,0004	1,4	11 J 314 T
Saturn	9,65	0,0003	1,1	29 J 167 T
Uranus	6,80	0,0002	0,7	84 J 5 T
Neptun	5,33	0,0002	0,7	164 J 282 T
Pluto	4,70	0,0001	0,4	248 J 116 T

Wie "alt" ist das Sonnenlicht, wenn es die Planeten erreicht?

Die **Lichtgeschwindigkeit** im Vakuum liegt bei ca. 300000 km/s oder 1080 Mill. km/h. In unserem Modell bedeutet das 0,0316 km/h = 31,6 m/h oder 0,5267 m/min. Das sind etwa zwei Fußlängen in einer Minute! Setzen Sie also alle 30 Sekunden einen Fuß direkt vor den anderen, dann wandern Sie mit Lichtgeschwindigkeit durch das All!

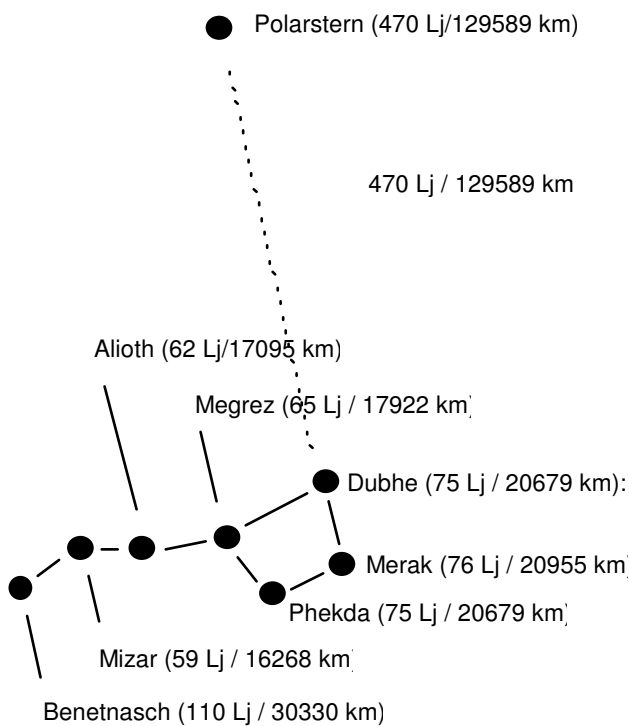
	mittlere. Entfernung von der Sonne in Mill. km	Licht braucht von der Sonne
Sonne	-	-
Merkur	57,91	3min 13s
Venus	108,21	6min 1s
Erde	149,60	8min 19s
Mars	227,94	12min 40s
Jupiter	778,34	43min 14s
Saturn	1427,01	1h 19min 17s
Uranus	2869,67	2h 39min 26s
Neptun	4496,54	4h 9min 49s
Pluto	5946,60	5h 30min 22s

1 **Lichtjahr** (Lj) ist die Strecke, die das Licht (im Vakuum) im Laufe eines Jahres durchläuft: Dies sind 9,46 Billionen km ($9,46 \cdot 10^{12}$ km) oder 63240 AE (Abstand Sonne - Erde).

1 Lichtjahr, dargestellt in unserem System, ist eine Strecke von 0,00436 km x 63240 = 275,7264 km Länge. Das ist die Entfernung Hannover-Köln, Hannover-Frankfurt oder Hannover-Berlin.

Außerhalb des Sonnensystems

Der nächste helle Nachbar ist nur im Süden der Erde zu sehen: Alpha Centauri im Sternbild Centaurus ist mit ca. 4 Lichtjahren Distanz. Er ist im Modell unseres Sonnensystems 275,7264 km x 4 Lj = 1103 km weit entfernt, also etwa so weit von Hannover entfernt wie die Bretagne, Nordschottland oder (fast) wie Rom... Den hellen, am Winterhimmel leicht zu findenden Sirius müsste man mit etwa 8 Lichtjahren Erdbestand bereits südlich der Straße von Gibraltar oder in Kreta suchen. Er hätte etwa den doppelten Durchmesser unseres Golfballs.



Das Sternbild "Großer Wagen" ist meist auch den Nicht-Sternguckern bekannt. Es lässt sich am Himmel leicht finden und hat in unseren Breiten den Vorteil, nie unterzugehen. Die Entfernungen zu den Sternen des Großen Wagens sind bekannt. Das Licht der meisten seiner Sterne ist so lange zu uns unterwegs wie ein durchschnittliches Menschenalter währt. Der Polarstern, zum "Kleinen Wagen" gehörig, ist erheblich weiter von uns entfernt. Als das Licht, das uns heute erreicht, von ihm ausgesandt wurde, befanden wir uns noch im Mittelalter. Mit unserem Modell-Lichtjahr von etwa 275,7 km Länge können Sie die Licht-Entfernung leicht in die entsprechenden Modellabstände umrechnen.

Im **Anhang** finden Sie eine Tabelle mit einer Auswahl hellerer, am Himmel leicht aufzufindender Sterne. Angegeben ist ihr

"Lichtalter", d.h. das Alter des uns auf der Erde erreichenden Lichts, also der Abstand in Lichtjahren. Wenn wir z.B. im Winter den hellen Sirius sehen, ist das, was wir sehen, schon etwa acht Jahre alt. Was heute auf dem Sirius geschieht, wissen wir demzufolge erst in acht Jahren. Dass das "Lichtalter" der aufgelisteten Sterne individuellen oder historischen Daten zugeordnet werden kann, macht einen besonderen Reiz. Ein 17-jähriger Mensch könnte den Stern Altair im Adler (leicht am Sommerhimmel zu finden!) anschauen und sagen: Das Licht, das ich jetzt sehe, ist genauso lange unterwegs gewesen wie ich lebe.

Die Entfernung Erde - Stern ist in der letzten Spalte auf die Größe unseres Modell-Sonnensystems umgerechnet worden. Deutlich wird hier, dass die Distanzen zu den Sternen schnell auch den Rahmen des schon sehr reduzierten "Weltraumpfades" sprengen.

Die Milchstraße

Die Längsausdehnung unserer Milchstraßen-Galaxis beträgt ca. 100000 Lichtjahre. Multipliziert mit 275 km ergibt das eine Modellgröße von 27,5 Millionen Kilometern.

Andere Galaxien

Die fast schon als "Nachbar" zu bezeichnende Andromeda-Galaxis umfaßt etwa 400 Mrd.

Sterne und ist $2,2 \times 10^6$ Lichtjahre entfernt. Die Modelldistanz beträgt damit 606598080 km (606,5 Mill. km).

In ihrer Ausdehnung ist sie der Milchstraßen-Galaxis ähnlich.

Diese Größen sind auch in ihrer reduzierten Form nur schwer fassbar. Deshalb schlagen wir einen weiteren Schritt vor:

Wenn das ganze Sonnensystem in einen Golfball passte.....:

Zwängen wir die Strecke Sonne - Pluto (5946,60 Mill. km) in den Golfball (38,15 mm).

1 km wäre dann etwa 0,000000006 mm lang. Die Erde wäre dann 0,00008 mm groß. 1 AE, d.h. also die mittlere entspräche dann 0,9 mm. Das Licht käme 0,0018 mm pro Sekunde oder 0,11 mm pro Stunde voran.

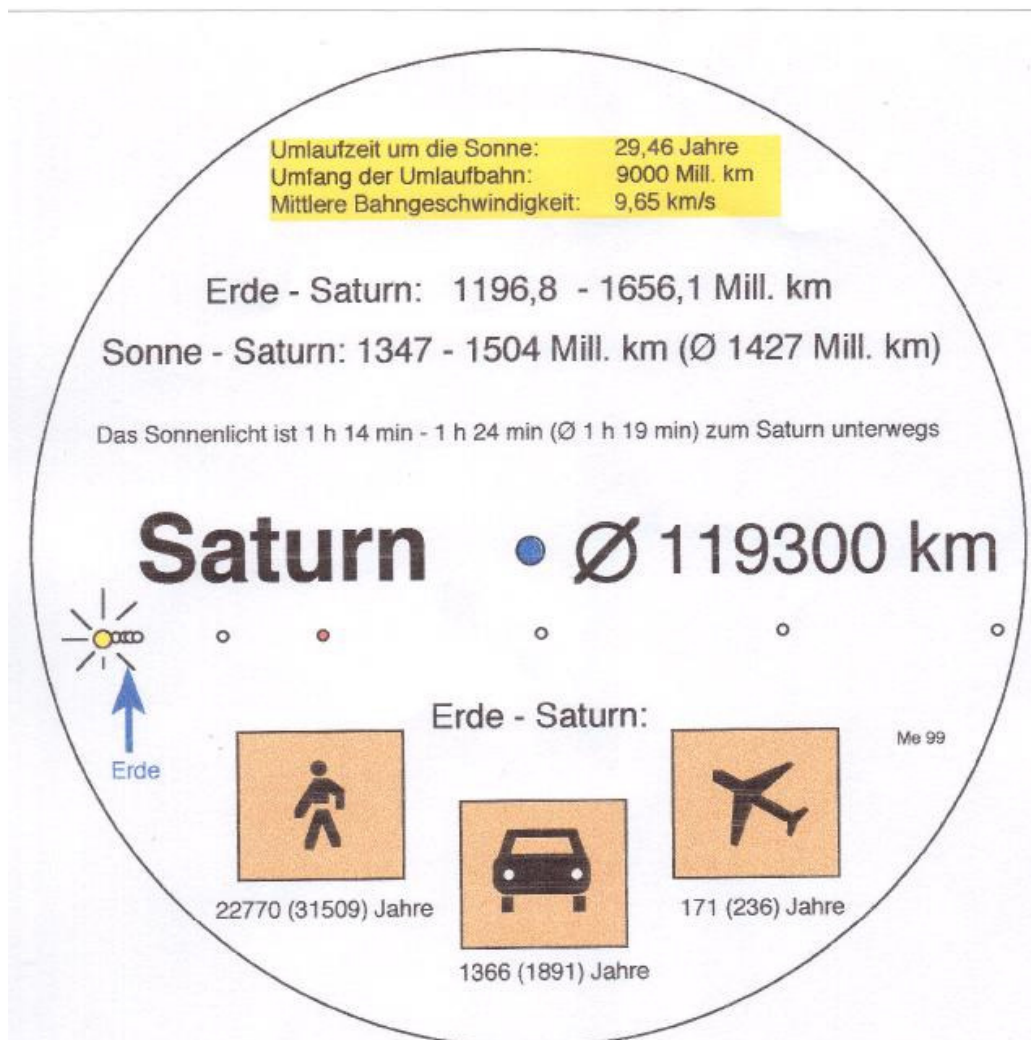
1 Lj wäre dann 56,8 m lang und Alpha Centauri dann 227 m weit vom Zentrum des Golfballs entfernt. Zum Sirius (8 Lj) bräuchten wir 455 m, zum Aldebaran (85 Lj) 4,8 km, zum Rigel im Orion (910 Lj) 276,2 km. Der 2 Millionen Lichtjahre entfernte Andromedanebel wäre mit 667814,4 km Modellentfernung doppelt so weit wie unser Mond.

....aber das kann ich mir auch eigentlich nicht mehr vorstellen!

Diese Arbeitshilfe ist ausdrücklich als Nachbuanregung zu verstehen!

Ingo Mennerich, Juli 1999

Überarbeitete, leicht veränderte Fassung November 2002



Anhang:

Entfernung ausgewählter Sterne in Lichtjahren ("Lichtalter") und Entfernung im "Weltraumpfad"

Name des Sterns	Entf (Lj)	Sternbild	km (Modell)	Name des Sterns	Entf (Lj)	Sternbild	km (Modell)
Sirius (α Canis Majoris)	8	Gr. Hund	2206	Homam (ζ Pegasi)	160	Pegasus	44116
Procyon (α Canis Minoris)	11	Kl. Hund	3033	Matar (η Pegasi)	170	Pegasus	46873
Altair (α Aquilae)	17	Adler	4687	Scheat (β Pegasi)	180	Pegasus	49631
Wega (α Lyrae)	26	Leier	7169	Sulafat (γ Lyrae)	190	Leier	52388
Pollux (β Geminorum)	36	Zwillinge	9926	Rasalgethi (α Herculis)	220	Herkules	60660
Arktur (α Bootis)	36	Bootes	9926	Alcyone (η Tauri, Plejaden)	240	Stier	66174
Denebola (β Leonis)	39	Löwe	10753	Spica (α Virginis)	260	Jungfrau	71699
Capella (α Aurigae)	42	Fuhrmann	11581	Sheliak (β Lyrae)	300	Leier	82718
Castor (α Geminorum)	46	Zwillinge	12683	Beteigeuze (α Orionis)	310	Orion	85475
Mizar (ζ Ursa Majoris)	59	Gr. Bär	16268	Antares (α Scorpii)	330	Skorpion	90990
Alioth (ϵ Ursa Majoris)	62	Gr. Bär	17095	Bellatrix (γ Orionis)	360	Orion	99262
δ Cassiopeiae	62	Ruchbah	17095	Albireo (β Cygni)	390	Schwan	107533
Megrez (δ Ursa Majoris)	65	Gr. Bär	17922	Polarstern (α Ursa Min.)	470	Kl. Bär	129591
Aldebaran (α Tauri)	68	Stier	18749	Algenib (γ Pegasi)	490	Pegasus	135106
Alpheratz (α Andromedae)	72	Andromeda	19852	ζ Tauri	490	Stier	135106
Dubhe (α Ursa Majoris)	75	Großer Bär	20679	Enif (ϵ Pegasi)	520	Pegasus	143378
Phecda (γ Ursa Majoris)	75	Gr. Bär	20679	Mirzam (β Canis Majoris)	720	Gr. Hund	198523
Alhena (γ Geminis)	85	Zwillinge	23437	Alfirk (β Cephei)	750	Cepheus	206795
Hamal (α Arietes)	85	Widder	23437	Sadr (γ Cygni)	750	Schwan	206795
Regulus (α Leonis)	85	Löwe	23437	Mintaka (δ Orionis)	820	Orion	226096
Mirach (β Andromedae)	88	Andromeda	24264	Rigel (α Orionis)	910	Orion	250911
Algol (β Persei)	95	Perseus	26194	Sadalmelik (α Aquarii)	950	Wasserm.	261940
Mira (\omicron Ceti)	95	Wal	26194	Sadalsuud (β Aquarii)	980	Wasserm.	270212
Kochab (β Ursa Minoris)	95	Kl. Bär	26194	Alnitak (ζ Orionis)	1110	Orion	306056
Markab (α Pegasi)	100	Pegasus	27573	Atik (ζ Persei)	1110	Perseus	306056
Vindemiatrix (ϵ Virginis)	100	Jungfrau	27573	Alnilam (ϵ Orionis)	1210	Orion	333629
Benetnasch (η Urs. Ma.)	110	Gr. Bär	30330	Orionnebel M 42	1500	Orion	413590
Schedar (α Cassiopeiae)	120	Cassiopeia	33087	Deneb (α Cygni)	1830	Schwan	504579
Elnath (β Tauris)	130	Stier	35844	(ι Orionis)	1860	Orion	512851
β Canis Majoris	140	Kl. Hund	38602	\omicron^2 Canis Majoris	2810	Gr. Hund	774791
Nekkar (β Bootis)	140	Bootes	38602	δ Canis Majoris	3070	Gr. Hund	846480
Izar (ϵ Bootis)	150	Bootes	41359	ϵ Aurigae	4570	Fuhrmann	1260070

Fett gedruckt: Beispiele für Sterne, die Sie mit Ihren Schülern am Himmel aufsuchen sollten!