

1 Beschreibung der Stern- und Planetenbewegung

\$Id: Anleitung_Astro.tex,v 1.3 2013/11/04 11:50:47 bkt2fe Exp \$

1.1 am Südfenster

Im Lauf einer Nacht tauchen immer wieder Sterne von unten seitlich - östlich - in Deinem Blickwinkel auf, steigen am Himmel an bis zu einem Scheitelpunkt ihrer Bahn genau im Süden, um dann wieder - westlich - seitlich unten unterzugehen. Nie siehst Du Sterne mit einer geschlossenen Bahn am Himmel.

Im Verlauf eines Jahres beginnen zu einer festen Uhrzeit immer andere Sternbilder ihre Reise. Am Ende des Jahres ist alles wieder so wie am Anfang. Bild(??).

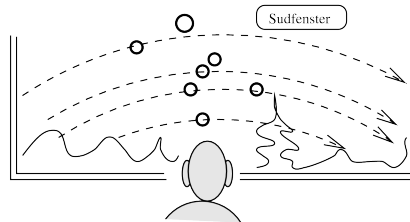


Figure 1: Sternenhimmel am Südfenster, Nordhalbkugel, oder am Nordfenster, Südhalbkugel

1.2 am Nordfenster

Am Nordfenster siehst Du ebenfalls Sterne unten seitlich aufgehen, die dann ziemlich steil aufsteigen, um wieder seitlich zu verschwinden. Aber Du siehst auch Sterne, die die ganze Nacht am Himmel bleiben. Und Du siehst, daß sie sich scheinbar um einen festen Punkt am Himmel drehen, den Polarstern.

Für eine Umdrehung brauchen sie etwa 24 Stunden, pro Nacht schaffen sie es also halb herum (Bild(??)).

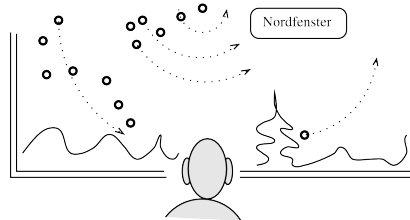


Figure 2

2 Die Sonne...

An der Tagesdrehung der Sonne bemerkst Du prinzipiell keinen Unterschied zu der der Sterne. Sie geht 'seitlich' auf, steigt über dem Südhimmel und sinkt im Westen wieder unter den Horizont. Doch ein Stern hat sich ein für allemal festgelegt, auf welcher Bahn er laufen möchte und spult sein Programm jede Nacht ab, dagegen die Sonne wechselt ständig. Mal geht sie flach auf und erreicht am Südhimmel kaum Höhe, mal geht sie schon nördlicher als Osten auf und erreicht am Südhimmel beinahe die Senkrechte. Sie scheint also ihre Tagesbahn mit den Jahreszeiten zu wechseln (Bild(??)).

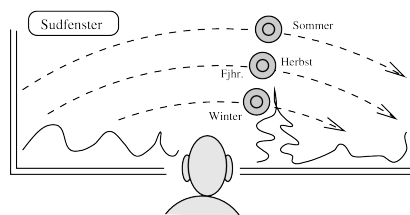


Figure 3: Tagesbogen der Sonne am Südfenster, Nordhalbkugel, für verschiedene Jahreszeiten

3 Die Planeten...

Mit der Planetenbewegung ist das so eine Sache. Wenn dir jemand ohne Fernglas einen Planeten zeigt, so siehst Du einen hellen Punkt, einen Stern. Nur, wenn Du immer wieder ein bis mehrere Jahre vergleichst, welche Sterne um diesen hellen Punkt herum stehen, siehst Du, daß auch die Planeten, analog zum Jahresgang der Sonne, eine, allerdings oft mehrjährige, Eigenbewegung haben. Sie kehren manchmal sogar, genauer, bei äußeren Planeten einmal im Jahr, ihre Bewegung relativ zu den benachbarten Sternbildern kurz (=Monat) um, und laufen dann wieder in der alten Richtung weiter (Bild(??)).

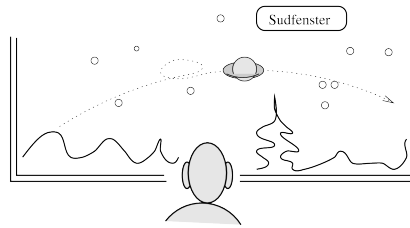


Figure 4: Beispiel einer Planetenbahn, wenn man jede Nacht genau dann beobachtet, wenn der Sternenhimmel identisch ist (alle 23 h 56 min).

4 Weshalb bewegen sich die Sterne am Himmel?

Nun, bis vor wenigen hundert Jahren war dies eine ziemlich mystische Frage. Inzwischen jedoch ist es einfach üblich, zu antworten: Na weil die Erde sich dreht. Stimmt. Aber sich dann mal klarzumachen, wo diese Sterne dann sitzen, wie sie sich genau bewegen und wie der Anblick des Nachthimmels vom Breitengrad abhängt, ist dann nicht mehr so einfach.

Also. Die Erde dreht sich. Dabei dreht sie sich natürlich um eine gedachte Achse, eine Linie die vom Nord- zum Südpol läuft. Nehmen wir mal an, ganz weit weg von der Erde befinde sich ein Stern, wie in Bild (??) gezeigt.

Es ist eine leuchtende Gaskugel wie die Sonne. Nur viel weiter weg. Wenn wir jetzt vom Nordpol aus auf der drehenden Erde diesen Stern beobachten, beschreibt er jeden Tag einen Kreis. Und um den Stern zu sehen, müssen wir immer im gleichen Winkel nach oben schauen.

Wir erhalten also jede Nacht Sternbahnen als Kreisbögen, die ihren Mittelpunkt in dem Punkt haben, der am Nordpol genau über uns liegt.

Etwas vertrackter wird die Situation, wenn man nicht mehr am Nordpol steht. Denn nun stimmt die Richtung Zenit-Fußboden nicht mehr mit der Richtung der Erdachse überein. Das bedeutet nun, wie im Bild (??) illustriert, daß die Sterne ihre Bahnen nicht mehr um den Punkt genau über dir beschreiben.

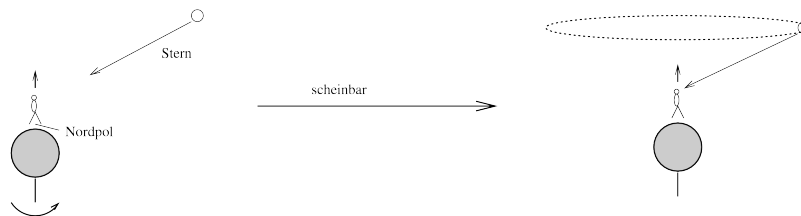


Figure 5

Um diese Sternbahnen zu verstehen, benutzt man ein einfaches Modell, die sogenannte Himmelkugel. Es geht davon aus, daß die Erde stillstehe und das feste Muster der Sterne sich mit dem Tempo der Erddrehung bewegt.

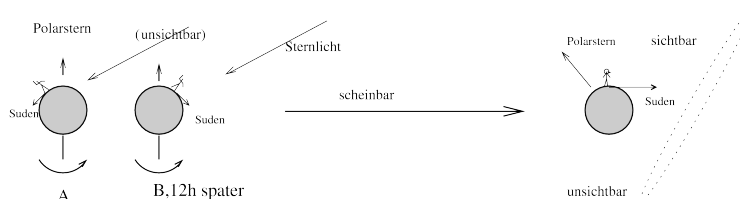


Figure 6

Auf einer großen Glaskugel sind für alle Sterne weiße Punkte aufgemalt, so daß in der Mitte der Glaskugel dasselbe Bild entsteht, wie man es am Nordpol von den Sternen hätte.

Dann wird durch die Glaskugel eine Achse geschweißt, die den Mittelpunkt der Sternbahnen durchstößt.

So, und wo bist Du, auf Deinem Stuttgarter oder Esslinger Breitengrad? Dazu legt man in diese Glaskugel eine gläserne Halbkugel mit Holzboden (Bild 7). Der Holzboden ist dein Erdboden, er hat Markierungen für Norden, Süden, Osten und Westen. Und er definiert den Zenit, den Punkt genau über dir. Der Zenit ist also die Spitze dieser Kuppel, der Punkt senkrecht über dir. Und der Effekt des Breitengrades ist es, die innere Glaskugel gegen die Äußere zu verkippen (Bild 8). Dreht sich nun die äußere Kugel, was der Erddrehung entspricht, bei fester innerer Kugel, so sieht man die Sterne richtig in irgendeiner Himmelsrichtung aufgehen, in einer mehr oder weniger gekippten Bahn über deine Himmelskuppel ziehen und wieder untergehen. Und der Stern, welcher auf der äußeren Kugel der Sterne genau ¹. an der Drehachse sitzt, scheint sich gar nicht zu bewegen, es ist auf der Nordhalbkugel der Polarstern. Um nun etwas mehr Licht ins Dunkel zu bringen, werden auf der Himmelskugel Breitenkreise (Deklinationkreise) eingeführt, die den Abstand von der Drehachse messen.

Bild (??) zeigt aber auch, daß es Sterne gibt, welche gar nicht untergehen (oberer der beiden Sterne), dann nämlich, wenn ihr Abstand von der Drehachse kleiner als die geographische Breite Φ ist.

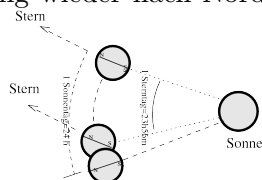
5 Was ist anders am Stern Sonne ?

Die Erde bewegt sich um die Sonne auf einer Bahn mit relativ kleinem Abstand. Darüberhinaus ist die Achse der Bahndrehung gegen die Erdachse verkippt.

Im Bild der Himmelskugel muß man wieder annehmen, die Erde stehe still, die Sonne bewege sich. Nun aber bewegt sich die Sonne nicht mehr nur mit der gedachten Erddrehungsgeschwindigkeit, nein, sie muß auch noch die gedachte Erdbahndrehung mitmachen.

Um euer räumliches Vorstellungsvermögen zu trainieren, hier ein Beispiel aus dem Alltag:

Was wir von den Sternen sehen, ihre Richtung, ist so, wie wenn man sich um sich selbst dreht und dabei vorwärts läuft, und sich während einer vollen Umdrehung die Richtungen zu einem ganz weit entfernten Baum z. B. im Norden anschaut. Das Vorwärtslaufen spielt dabei so gut wie keine Rolle. Die Änderung der Richtungen geht auf das Konto der Drehung. Wenn man nach einer Umdrehung wieder nach Norden blickt und nur 2 m weiter gelaufen ist, blickt man trotzdem noch



beinahe exakt auf diesen Baum.

Die Bewegung der Sonne aber ist so, wie wenn man sich um sich selber dreht und dabei vorwärts läuft, und während einer vollen Umdrehung die Richtung zu einem neben euch stehenden Bekannten anschaut. Nach einer vollen Umdrehung seid ihr so weit an ihm vorbei gerannt, daß ihr euch erst ein Stück mehr drehen müßt, um ihn wieder im z. B. im Süden zu sehen. Ihr habt also den Eindruck, euch langsamer zu drehen. Und - euer Bekannter steht relativ zu diesem weit entfernten Baum auch anders.

Wenn man nun nicht vorwärts, sondern im Kreis um den Bekannten rum läuft, ist es vorstellbar, daß sich dadurch scheinbar einfach die Geschwindigkeit des Richtungswechsels verändert.

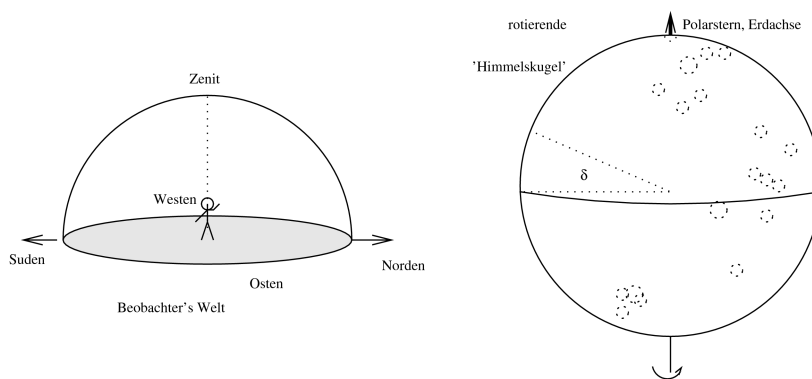


Figure 7

Also,

¹ A propos, den Winkel '90 Grad - Abstand von der Drehachse' nennt man die **Deklination** δ

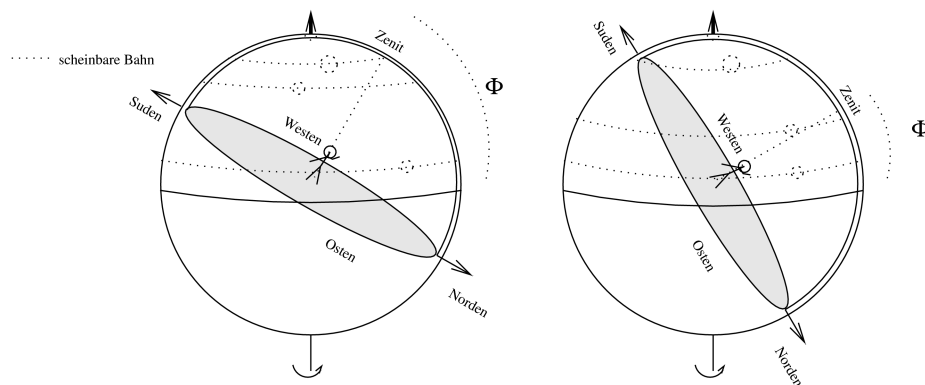


Figure 8

- eine an der Sonne bestimmte Drehung der Erde ist langsamer als eine an den Sternen festgemachte Drehung,
- und die Position der Sonne relativ zu den Sternen ändert sich dadurch ständig. Man sagt, die Sonne 'laufe durch den Tierkreis'.
- Darüberhinaus ändert sich der Winkel zwischen der Erdachse und der Sonne noch dadurch, daß die Erdbahn und der Äquator verkippt sind. Es gibt Zeiten, in denen die Erde der Sonne die Südhalbkugel zuweist, dann wieder die Nordhalbkugel und nur dazwischen liegt die Sonne kurz in der Äquatorebene (21. März und 21. September).

Verbindet man jeden Tag die Positionen der Sonne auf der Himmelskugel, indem man in der Dämmerung schaut, welche Sterne unmittelbar vor der Sonne aufgehen, erhält man in der Nähe ihres Äquators einen leicht verkippten 'Gürtel' von Sternbildern, den Tierkreis.

6 Sonnenuhren

Nun spiegeln zwar die Sterne die Eigendrehung der Erde besser wieder als die Sonne, aber für das Leben auf der Erde ist der Wechsel von Tag und Nacht das Wesentliche. So sind die irdischen Zeitbegriffe traditionell mit dem - gegen die Erddrehung etwas langsameren - Sonnentag verbunden.

Und die Messung dieses Sonnentages geht am einfachsten mit der Sonnenuhr.

Ein kurzer Einschub: Nehmt einen Apfel oder Tennisball und dreht ihn um eine beliebige, aber feste Achse. Und dann steckt so wie auf dem Bild unten an einem beliebigen 'Breitengrad' Stäbchen in verschiedenen Richtungen. Nur die Stäbchen, die parallel zu Eurer Drehachse stehen, ändern ihre Richtung bei der Drehung nicht.

Wie in Abb ?? zu sehen, bekommt man diese Richtung einfach, wenn man den Winkel seiner geographischen Breite kennt.

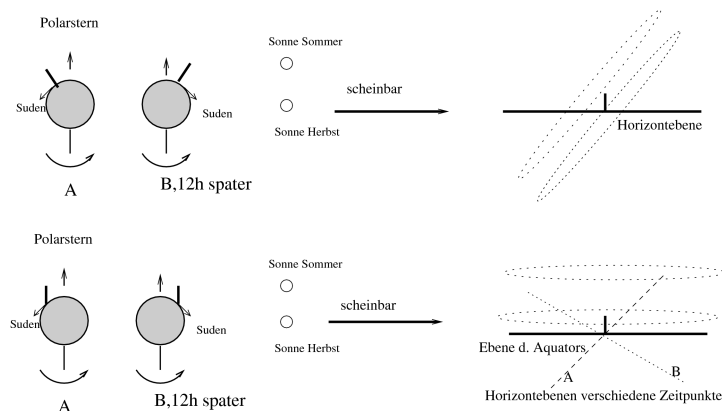


Figure 9: Nur beim Stab parallel Erdachse ist das scheinbare Bild des Sternes einfach.

Aus der Sicht eines solchen Stabes dreht sich die Sonne scheinbar während einer Tagesdrehung der Erde einfach regelmäßig um den Stab. Der Schatten, den der Stab wirft, aufgefangan auf einer Ebene senkrecht zum Stab, ist damit das einfachstmögliche Maß der sogenannten Sonnenzeit. Dies ist die sogenannte äquatoriale Sonnenuhr.

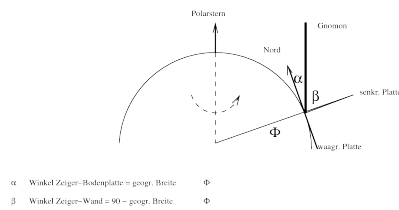


Figure 10: Wichtige Winkelbeziehungen für die Formelsammlung...

Nun, etwas kompliziert ist es schon noch, denn man fängt diesen Schatten ja normalerweise auf einer gegen den Stab verkippten, senkrechten oder waagrechten Ebene (vertikale oder horizontale Sonnenuhr) auf (Bild ??).

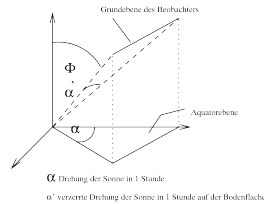


Figure 11: Verzerrung durch Projektion auf Horizontale, Φ geogr. Breite

Nun, mit zugegebenermaßen reichlich Dreiecksrechnereien, entstehen die Formeln für die verschiedenen Sonnenuhrtypen durch reine Geometrie. Diese Sonnenuhren, die nur die Richtung des geworfenen Schattens berücksichtigen, sind die ersten drei der folgenden Tabelle.

Dabei sind im einzelnen:

- Φ geographische Breite des Aufstellungsortes
- *Richtung* Regel zur Ausrichtung der Sonnenuhr
- α Winkel zwischen den Stundenlinien auf der Sonnenuhr-Platte
- α'' Winkel zwischen den Stundenlinien bei Horizontal-Typ II: Sie sind dieselben wie bei Typ I, werden aber von einem Punkt südlich des Zeigers gemessen, von dem aus ein mit Φ aufsteigender Stab die Zeigerspitze treffen würde.
- α' Winkel der Sonne am Himmelsäquator, die aus der Unterteilung des vollen Umlaufs (360 Grad) in Stundenabschnitte oder Halbstundenabschnitte entstehen. (z.B 0,15,30,45,60,... Grad = 12,13,14,15,... Uhr).
- Gnomon: Zeiger der Sonnenuhr

7 Sonnenuhrtypen

7.1 normale Sonnenuhrtypen

Typ	Grundfläche	Richtung	Gnomonwinkel	Gnomonrichtung	Stundenlinien	Anzeige
horizontale Sonnenuhr I	nicht geneigt	Std.linie 12 Süden	Φ gegen waagrecht	Norden	$\tan \alpha = \sin \Phi \tan \alpha'$	Winkel
vertikale Sonnenuhr	senk - recht	genau Ost-West	$90 - \Phi$ gegen senkrecht	Süden	$\tan \alpha = \cos \Phi \tan \alpha'$	Winkel
polare Sonnenuhr	Φ geneigt gegen waagrecht	genau Ost-West	Φ gegen waagrecht	Nord-Süd	senkrecht, Abstand $d = x * \tan \alpha'$	Winkel
horizontale Sonnenuhr II	nicht geneigt, Dekl.linien	Std.linie 12 Süden	senkrecht	keine, aber Uhr von Länge abh.!	$\tan \alpha'' = \sin \Phi \tan \alpha'$	Schatten - spitze

Horizontale Sonnenuhren erreichen im Sommer sichtbare Schatten 14 Stunden am Tag, im Winter geht es entsprechend der Tageslänge zurück. Vertikale Sonnenuhren dagegen erreichen im Sommer nur ca 7 Stunden Ablesezeit, im März und

September ca 11-12 Stunden, im Winter 8 Stunden. Dies liegt daran, daß nicht nur die Bedingung erfüllt sein muß, daß die Sonne über dem Horizont steht, sie muß auch im Süden der Uhrplatte stehen.

Die horizontale Sonnenuhr vom Typ II ist in der Berechnung und Konstruktion anspruchsvoller, aber sie läßt auch mehr Informationen zu.

Denn, wie unten gezeigt, die Bahnbewegung der Erde verlangsamt nicht nur scheinbar die Bewegung der Sonnen-Tagesdrehung, sie bringt auch die Sonne in den verschiedenen Jahreszeiten in verschiedene Winkel zur Äquatorebene. Dadurch wird die Höhe der Sonnenbahn am Himmel verändert. Die Schattenrichtungen bleiben zwar gleich, wenn der Schatten aber nicht beliebig lang ist, dann ist seine Länge auch noch eine Information über die Jahreszeit oder das Tierkreiszeichen. Die Stundenlinien α'' werden nicht vom Fußpunkt des Gnomons aus gemessen.

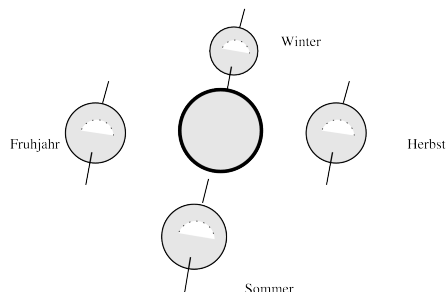


Figure 12

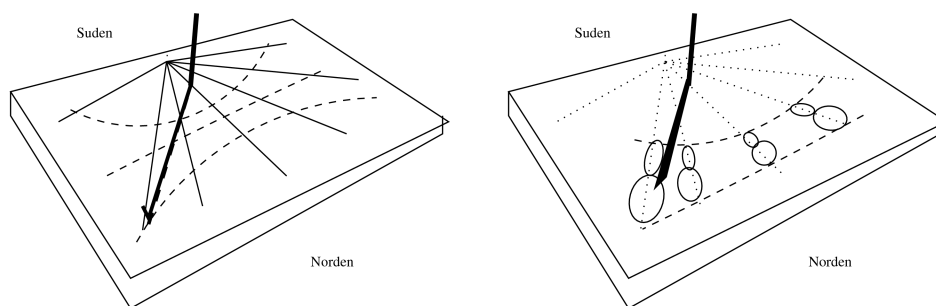


Figure 13: Sonnenuhr mit senkrechtem Zeiger, Jahreszeit und Stundenlinien, mit Stunden-Analemma.

7.2 besondere Sonnenuhrtypen

Kann für eine horizontale Sonnenuhr I kein genau waagrechter Platz gefunden werden, oder für die vertikale Sonnenuhr keine exakte Südwand, kann man auch noch abweichende Sonnenuhrtypen berechnen, es wird aber immer unschöner.

7.3 Noch stimmt nicht!

Im Vergleich mit dem Zeitzeichen funktioniert die Sonnenuhr noch gar nicht. Denn wenn die Sonne im Süden steht, zeigt die Quarzuhr nicht 12 an. Doch seit es möglich geworden ist, in kurzer Zeit weit zu reisen, benutzt man die Sonnenzeit nicht mehr — sie hängt nämlich von der augenblicklichen Stellung zur Sonne ab und ist damit für jeden Ort auf der Erde anders.

Deshalb hat man sich für Mitteleuropa geeinigt, als Zeit die Sonnenzeit des 15. Längengrades, die MittelEuropäische Zeit MEZ zu benutzen.

In 24 Stunden dreht sich die Erde einmal unter der Sonne durch. Das sind 360 Längengrade. Das heißt, alle 15 Längengrade verspätet sich die Mittagsstunde um eine Stunde. Kennt man seinen Längengrad, so kann man eine entsprechende Verspätung bis zum MEZ Längengrad einrechnen. Man ersetzt die Formel der Zifferblatt-Stundenlinien,

$$\tan \alpha = \cos \Phi \tan(15 * < \text{Stunden} \text{nr.} >) \text{ durch } \tan \alpha = \cos \Phi \tan(15 * < \text{Stunden} \text{nr.} > - \Delta \lambda)$$

$\Delta \lambda$ ist dabei der Abstand zum 15. Längengrad.

7.4 Genau ist es immer noch nicht

Aber irgendwo muß schluß sein. Denn durch die nicht kreisförmige Bahn der Erde um die Sonne und durch einige knifflige geometrische Komplikationen durch die Neigung der Sonnenbahn geht der 'Sonnenzeiger' am Himmel manchmal ganz wenig zu schnell oder ganz wenig zu langsam. Wie bei jeder Uhr schaukelt sich das übers Jahr zu ziemlichen Abweichungen der angezeigten Zeit von der MEZ auf. Das zu beheben, gibt es zwei Wege: Der erste, unserer, ist einfach eine Korrekturtabelle: Tag und zu addierende Minutenzahl.

Der zweite geschieht, indem man an einer Sonnenuhr Typ II dem Endpunkt des Schattens für jeden Tag im Jahr eine eigene Stundenlinie gibt. Das ergibt die charakteristischen 'Jahresblätter' (Analemma) wie unten auf dem Bild (13).

8 Sonnenuhr-Tabellen für Morto im August

\$Id: Anleitung_Astro.tex,v 1.3 2013/11/04 11:50:47 bkt2fe Exp \$

$\tau = \alpha' + 180$ Grad= Position der mittleren Sonne von Mitternacht ab, in Stunden statt in Grad gezählt (24h = 360 Grad). α_0 entsprechend in Grad, ohne $\Delta\Lambda$, $\alpha_0^{h,v}$ entsprechend die Winkel auf der Platte einer waagrechten oder senkrechten Sonnenuhr, α Stundenwinkel in Grad, mit $\Delta\Lambda = 3.21$ Grad oder 12.8 Minuten Korrektur zur MEZ, $\alpha^{h,v}$ entsprechend die Winkel auf der Platte einer waagrechten oder senkrechten Sonnenuhr,

τ	α_0 : α_0^v	α_0^h	α : α^v	α^h
4.00	-120.00 : -128.61	-129.88	-123.21 : -132.16	-133.46
5.00	-105.00 : -110.34	-111.20	-108.21 : -114.47	-115.46
6.00	-90.00 : -90.00	-90.00	-93.21 : -94.44	-94.64
7.00	-75.00 : -69.66	-68.80	-78.21 : -73.90	-73.19
8.00	-60.00 : -51.39	-50.12	-63.21 : -55.07	-53.84
9.00	-45.00 : -35.87	-34.64	-48.21 : -38.97	-37.70
10.00	-30.00 : -22.66	-21.75	-33.21 : -25.33	-24.34
11.00	-15.00 : -10.96	-10.49	-18.21 : -13.38	-12.80
12.00	0.00 : 0.00	0.00	-3.21 : -2.32	-2.22
13.00	15.00 : 10.96	10.49	11.79 : 8.58	8.21
14.00	30.00 : 22.66	21.75	26.79 : 20.05	19.23
15.00	45.00 : 35.87	34.64	41.79 : 32.87	31.70
16.00	60.00 : 51.39	50.12	56.79 : 47.84	46.54
17.00	75.00 : 69.66	68.80	71.79 : 65.53	64.54
18.00	90.00 : 90.00	90.00	86.79 : 85.56	85.36
19.00	105.00 : 110.34	111.20	101.79 : 106.10	106.81
20.00	120.00 : 128.61	129.88	116.79 : 124.93	126.16
21.00	135.00 : 144.13	145.36	131.79 : 141.03	142.30
22.00	150.00 : 157.34	158.25	146.79 : 154.67	155.66
23.00	165.00 : 169.04	169.51	161.79 : 166.62	167.20

Gleiche Angaben wie oben in Form einer Längenangabe: waagrechte zu messende Strecke bei senkrechter Strecke 1. Zusätzlich Deklination der Sonne im August (nur grob !!) !

τ	$s(\alpha 0^v)$	$s(\alpha 0^h)$	$s(\alpha^v)$	$s(\alpha^h)$	Tag	$\approx \delta$	
4.00	1.25	1.20	1.10	1.06	12	15	10
5.00	2.70	2.58	2.20	2.10	13	14	52
6.00	∞	∞	12.89	12.32	14	14	33
7.00	-2.70	-2.58	-3.46	-3.31	15	14	14
8.00	-1.25	-1.20	-1.43	-1.37	16	13	55
9.00	-0.72	-0.69	-0.81	-0.77	17	13	35
10.00	-0.42	-0.40	-0.47	-0.45	18	13	15
11.00	-0.19	-0.19	-0.24	-0.23	19	12	55
12.00	0.00	0.00	-0.04	-0.04	20	12	34
13.00	0.19	0.19	0.15	0.14	21	12	13
14.00	0.42	0.40	0.37	0.35	22	11	52
15.00	0.72	0.69	0.65	0.62	23	11	31
16.00	1.25	1.20	1.10	1.06	24	11	9
17.00	2.70	2.58	2.20	2.10	25	10	47
18.00	∞	∞	12.89	12.32	26	10	25
19.00	-2.70	-2.58	-3.46	-3.31	27	10	2
20.00	-1.25	-1.20	-1.43	-1.37	28	9	39
21.00	-0.72	-0.69	-0.81	-0.77	29	9	16
22.00	-0.42	-0.40	-0.47	-0.45	30	8	52
23.00	-0.19	-0.19	-0.24	-0.23	31	8	28

9 Navigation

Die Navigation, d.h., die Verfahren, die es erlauben, seinen momentanen Ort auf der Erdkugel oder aber den Kurs auf ein bestimmtes Ziel hin festzustellen, ist uralte. Vor allem im Zeitalter der Entdeckungsreisen begann sie richtig aufzublühen.

Ein Standpunkt auf der Erde ist festgelegt dadurch, daß die geographische Länge, λ , und die geographische Breite ϕ bekannt sind.

9.1 Einige einfache, astronomische Versuche

1. Die Bestimmung der geographischen Breite läßt sich einfach aus dem Anblick des Sternenhimmels erhalten. Man benutzt dazu entweder den Nordstern oder die Kulmination, das heißt, den Durchgang eines Gestirns durch seinen höchsten Bahnpunkt. Oft verwendet man die Sonne um 12 Uhr wahrer Ortszeit. Die geographische Breite ergibt sich direkt aus dem gemessenen Winkel und der tabellierten Deklination des Sternes (konstant) oder der Sonne (einfach tabellierbar, alle 4 Jahre gleich).
2. Die Bestimmung der geographischen Länge stellt mehr Anforderungen, weil es für die Bewegung des Beobachters unter der 'Sternenkuppel' keinen Unterschied macht, ob Zeit vergeht, und er sich nur mit der Erde mitdreht, oder ob er sich relativ zur Erde bewegt und damit in eine andere Zeitzone wechselt. Längengrade können nur dadurch bestimmt werden, daß die gemessenen Zeitpunkte von Ereignissen verglichen werden, die bekanntermaßen gleichzeitig sind.

Zum Beispiel kann man den 12 Uhr Ortszeit Süddurchgang der Sonne nutzen, dann und nur dann, wenn man eine Uhr bei sich trägt, die genau anzeigt, wann es an einem anderen, bekannten Ort 12 Uhr war. Die gleichzeitigen Ereignisse sind hier die gleich gehenden Uhren des Messenden und am Referenzort.

Im Mittelalter gab es keine solchen Uhren. Es gab aber (ungenau) Tabellen, wann bestimmte einmalige Ereignisse am Himmel in europäischen Städten in naher Zukunft beobachtet werden. Beliebte waren z.B. eine Sonnenfinsternis, das Verschwinden der Jupitermonde hinter dem Jupiter, die Verdeckung eines bestimmten Sternes durch den Mond. Je nach Lage auf der Erdkugel beobachtet man dieses Ereignis um bis zu 24 Stunden verschoben in wahrer Ortszeit. Daraus errechnet sich dann die Länge.

Durch die damals schlechten Vorhersagen der Mondbewegungen und die Tatsache, daß einem der Zeitpunkt der Längenmessung an einigen wenigen Tagen vorgeschrieben war (und es konnte ja bedeckt sein), war die Längenmessung bis zur Erfindung guter Uhren im 18 Jhdt. ein Stiefkind der Navigation.

10 Wie finde ich Sternbilder ?

Ausgangspunkt zum Aufsuchen von Sternbildern am Himmel sind die sogenannten Zirkumpolar-Sternbilder. Diese Sternbilder liegen so nahe an der Drehachse der Himmelskugel, daß sie im Verlauf der nächtlichen Drehung nie unter den Horizont sinken. Da nun die Jahreszeit nur bestimmt, welcher Teil der Himmelskugel um Mitternacht im Norden und welcher im Süden zu finden ist, sind diese Sternbilder das ganze Jahr zu sehen.

Im Sommer dominiert das Sommerdreieck den Nachthimmel. Es liegt praktisch gegenüber dem großen Wagen, seinen inneren Kastensternen Richtung Zenit folgend und etwas über die Senkrechte hinaus nach Westen verlängernd.

Das Dreieck besteht aus den hellen Sternen Atair (Adler), Wega (Leier) und Deneb (Schwan). In der gleichen Region findet man das große Pegasus-Viereck im Osten. Er bildet zusammen mit dem Sternbild Andromeda ein vergrößertes Abbild des großen Wagens. Auf dem zweiten Deichselstern sitzen senkrecht zwei schwache Sterne, daneben ein milchiger Fleck: der Andromeda-Nebel.

Das Band der Ekliptik zieht sich beinahe parallel zum Horizont von Osten nach Westen, ohne sich jedoch weit aus dem Dunst des Horizonts zu erheben.

Es zeigt die Tierkreissternbilder Widder, Fische, Wassermann, Steinbock, Schütze (v. O. nach W.), was bedeutet, daß die Sonne ungefähr im Löwen steht.

Das wird doch zu umfangreich...und es gibt jede Menge Literatur, drehbare Sternkarten und ähnliches...Sorry!

11 Die Planetenbewegung

Als kleine Einführung habe ich hier eine Kopie aus einem Ausstellungskatalog:

Gezeigt sind Modelle, welche Vorstellungen der Bewegung der Planeten Ptolmäus, Kopernikus, Tycho Brahe und Kepler hatten, und welche auf die Erde als Koordinatenmittelpunkt reduzierten scheinbaren Bahnen entstehen. Auf den ersten Blick **sieht man wirklich keinen Unterschied !!** Es war also keine Betriebsblindheit, sondern unzureichende Messgenauigkeit, was die - im Sinne der heutigen Messgenauigkeit - korrekte Erscheinung des Sonnensystems verschleiert hat.

Nur noch soviel zu den Planeten.

Bei den Planeten addieren sich nicht nur Eigendrehung der Erde und Bahnbewegung der Erde (erzeugt u. a. die Rückläufigkeit), sondern zusätzlich auch noch eine eigene Bahnbewegung. Mit bloßem Auge kann man sehen: Mars, Venus, Merkur, Jupiter und Saturn ohne Monde. Alle diese Planeten bewegen sich in Ebenen, die gegen die Ebene von Sonne und Erdbahn wenig verkippt sind. Scheinbar laufen die Planeten deshalb alle auch in der Nähe der Tierkreiszeichen. Je weiter außen die Planeten im Sonnensystem sind, umso kleiner ist die Rolle der Erdbahnbewegung, und die Planeten Uranus, Neptun und Pluto sind wie dunkle Sterne. Ihre langfristige scheinbare Bewegung rührt im wesentlichen von ihrer Bahnbewegung her, die so langsam ist, daß sie mit Fotoplatten untersucht werden muß.

Tafel I:

- Bild 1: Planetenbewegung heliozentrisch,
- Bild 2: ... geozentrisch, Kopernikus
- Bild 3: ... heliozentrisch, Tycho Brahe,
- Bild 4: ... Kepler.

Die Planeten auf Keplerbahnen können durch Elemente gekennzeichnet werden. Das sind zwei Größen, die die Form der Ellipse beschreiben, 3, die sie in der Richtung im Raum feststellen, und eine Größe die für einen bestimmten Zeitraum die Position des Planeten in der Bahn festlegt.

Planeten-'Elemente'						
Form	Lage		und Position			
	a	ecc	i	ω	Ω	Mo
Sonne	0	0	0	0	0	0
Merkur	0.387	0.206	7.0	48.3	29.1	235.7
Venus	0.723	0.007	3.4	76.7	54.9	135.5
Erde	1.0	0.0167	0.0	354	108	78.3
Mars	1.524	0.093	1.9	49	286	185.2
Jupiter	5.203	0.048	1.3	100	275	233.73
Saturn	9.539	0.056	2.5	113	338	259.85
Uranus	19.18	0.047	0.8	74	102	116.4
Neptun	30.06	0.009	1.8	131	235	287.4
Pluto	39.44	0.25	17.2	110	114	7.53
Halley	17.9	0.9	8.0	0	0	0
a	große Halbachse					
ecc	Form: 0:Kreis, <0 Parabel, > 0 Ellipse					
i	Neigung Bahnebenen Planet zu Erde					
ω	Verdrehung der gekippten Planetenbahn in der 'Schiene' Erdbahn					
Ω	Verdrehung der schlanken Beule der Ellipse auf der Planetenbahn					
MO	Stand des Planeten auf der Bahn als Winkel					

12 Einfache Experimente

1. Sonnenstand und Schattenwurf ??

- ²Beschreibung: Auf einer ebenen Fläche wird in gleichen Zeitintervallen die Länge des Schattens eines senkrechten Stabes gemessen. Das Ergebnis wird -evtl. für mehrere Tage - in mm-Papier aufgetragen.
- Ergebnisse: Nord-Süd-Richtung, Unterschied Zonenzeit-Sonnenzeit, geographische Breite und Länge.
- Dauer: ca 1 - 2 Tage
- Material: Haushalt, mm-Papier, für geographische Daten Uhr und Deklinationstabelle oder Versuch unten.

2. Schattenwurf über das Jahr

- Beschreibung: Der vorher bestimmte, kürzeste Schatten wird für jeden 21. des Monats in mm-Papier eingetragen.
- Ergebnisse: Darstellung der Sonnendeklination, man sieht, daß die Sonne durch die geneigte Erdbahn jeden Tag einen anderen Winkel zur Erde hat.
- Dauer: 1 Jahr
- Material: wie oben.
- Abbildung: Die Bestimmung der geogr. Breite aus der Schattenlänge.

3. Sonnenuhren

- Beschreibung: Bau einer horizontalen und einer polaren Sonnenuhr. Die horizontale Sonnenuhr hat Stundenlinien und einen schräges Gnomon, die polare besteht aus einem Halbzylinder mit Zeigerbändchen, schräg aufgestellt.
- Ergebnisse: Neben ungefährer Uhrzeit Bedeutung des schrägen Gnomons und Projektionseffekte der Skala.
- Dauer: 1 - 2 Tage
- Material: Holzbrett, Holzklötz, Pappe, Winkelmesser, Säge, Trinkhalm

4. Uhr als Kompaßersatz

- Beschreibung: Die Bestimmung der Südrichtung aus dem Uhrstand einer Armband - und einer Sonnenuhr.
- Ergebnisse: Gültigkeitsgrenzen, Ortszeiten beachten.
- Dauer: 15 min
- Material: Armanduhr, Wasserwaage, Streichholz, Sonnenuhr.

5. Sternbewegung untersuchen

- Beschreibung: Mit einer einfachen Peilvorrichtung werden Die Bewegungen der Sterne eine Nacht nach Höhe und Richtung verfolgt.
- Ergebnisse: Eindruck der Bahnform, von Zirkumpolarsternen, das Auftragen der Ergebnisse auf eine ebene Karte gibt Eindruck von Sternkarten.
- Dauer: 1 Tag Azimut und Höhenpeiler bauen, 1 Nacht beobachten.
- Material: Winkelskalen oder Winkelmesser, Holzleisten, kleines Brett, Karton, einige Schrauben, einige Reißzwecken.

6. Sternuhr = Nachtuhr = Nokturnal

- Beschreibung: Ein Nokturnal wird gebastelt, welches es erlaubt, auch nachts die Uhrzeit zu bestimmen.

²Maßband

- Ergebnisse: Erdrotation erfahren, Bemerkungen, dass die Sternzeit schneller vergeht als die Sonnenzeit, ein paar zirkumpolare Sternbilder kennenlernen.
- Dauer: 1 Tag Nokturnal bauen, 1 Nacht beobachten.
- Material: Winkelskala Tage des Jahres, Winkelskala 24 Stunden, Holz, kleines Röhrchen.

7. Einführung in die Sternkarte, ein Astrolabium.

- Beschreibung: Anhand der Sternkarte werden Sterne, die Sonne am Himmel aufgesucht, Untergangszeiten, Aufgangszeiten bestimmt, Der Einfluß der geographischen Breite auf den sichtbaren Teil des Sternenhimmels erläutert.
- Ergebnisse: s.o.
- Dauer: 1 h Erklären, irgendwann ausprobieren.
- Material: drehbare Sternkarte.

8. Die Mondbewegung

- 4 Wochen lang wird jede Nacht zum gleichen Zeitpunkt die Mondposition an Vergleichssterne und seine Phase bestimmt. Diese Werte werden in Sternkarte eingetragen.
- Ergebnisse: Die Abfolge der Phasen, Kulmination im Süden, Verschiebung der Auf und Untergangszeiten.
- Dauer: 4 Wochen
- Material: Holz zum Bau eines Jakobstabes, Sternkarte.

9. Vergleich Sonnenuhr und Mittlere Ortszeit

- Beschreibung: Der Süddurchgang der Sonne (=12 Uhr wahre Sonnenzeit) und die Zeit der Armbanduhr werden für jeden Tag notiert.
- Ergebnisse: Die Zeitgleichung, das Analemma.
- Dauer: 1 Jahr
- Material: Sonnenuhr oder Versuch 1, Armbanduhr.

10. Die Planetenbewegung

- Wie oben, aber längerer Zeitraum, mit den sichtbaren Planeten.
- Ergebnisse: Die Planeten sind relativ zu den Sternen unterschiedlich schnell, manchmal kehren sie kurz mal um. Morgen- und Abendstern.
- Dauer: mehr als 1 Jahr
- Material: Holz zum Bau eines Jakobstabes, Sternkarte.

11. Die Planetenbewegung im Mini-Planetarium gespielt

- Beschreibung: Auf den gezeichneten Bahnspuren werden die Planeten bewegt. Danach wird um die Erde ein Tierkreisring gelegt und die Position der Planeten wird relativ zur Erde gemessen.
- Ergebnisse: Verständnis der verschlungenen Bewegung der Planeten am Himmel, evtl Ausflug in die Astrologie, Tierkreiszeichen.
- Dauer: 1 h
- Material: Papier, Spielfiguren, Radien der Planetenbahnen und Umlaufzeiten, Tierkreisskala.

12. Die Volvelle - ein Gimmick

- Beschreibung: Mit Pappscheiben wird eine Mondphasenuhr gebaut.
- Ergebnisse: Verständnis wie Sonne und Mond stehen müssen, um die Phasen zu erzeugen.
- Dauer: 1 h
- Material: Papier, Volvellen- und Tierkreisskala, Reißzwecken

Astronom. Koordinaten und was sie bedeuten	
Himmelskugelsystem fest im Raum	
δ	Deklination, 'Breite auf der Himmelskugel'
RA	Rektaszension, 'Länge auf der Himmelskugel'
Himmelskugelsystem rotiert für Beobachter	
δ	Deklination, 'Breite auf der Himmelskugel'
H	Stundenwinkel, Winkelabstand der RA von dem Stern genau im Süden
und Beobachter mag viel lieber:	
A	Himmelsrichtung als Winkel, 0 = Norden
h	Winkelhöhe über dem Horizont
z	Winkelabstand vom Zenit, $90 - h$

13 Kleine Formelsammlung

Wandlung Beobachter zu Himmelskoordinaten

$$\sin \delta = \cos z \sin \phi + \sin z \cos \phi \cos A \quad (1)$$

$$\cos H = \frac{\cos z - \sin \delta \sin \phi}{\cos \delta \cos \phi} \quad (2)$$

Wandlung Himmelskoordinaten zu Beobachter

$$\cos z = \sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \cos H \quad (3)$$

$$\cos A = \frac{\sin \delta - \cos z \sin \phi}{\cos \phi \sin z} \quad (4)$$

Wahre Auf- und Untergangszeiten ($z = 90$ Grad)

$$\cos H = -\tan \delta \tan \phi \quad (5)$$

$$\cos A = \frac{\sin \delta}{\cos \phi} \quad (6)$$

Obere und Untere Kulmination ($H = 180$ Grad)

$$z = \phi - \delta \quad \text{oder} \quad \delta - \phi \quad (7)$$

Vertikal = Ost- oder Westdurchgang ($A = 90$ Grad)

$$\cos z = \frac{\sin \delta}{\sin \phi} \quad (8)$$

Projektion von H auf vertikale, bzw. Horizontebene

$$\tan H^v = \cos \phi \tan H \quad (9)$$

$$\tan H^h = \sin \phi \tan H \quad (10)$$

Schattenwurf der Spitze - horizontale Platte

$$X = S \frac{\cos A}{\tan(90 - z)} \quad (11)$$

$$Y = S \frac{\sin A}{\tan(90 - z)} \quad (12)$$

Schattenwurf der Spitze - vertikale Platte

$$X = S \tan A \quad (13)$$

$$Y = S \frac{1}{\tan z \cos A} \quad (14)$$

(S: vertikaler bzw. horizontaler Abstand von der Platte zur Spitze)