

Inhaltsverzeichnis

1	Überblick	3
2	Sonne	11
3	Historische Entwicklungen	17
4	Sternbilder	27
5	Die scheinbare tägliche Bewegung der Gestirne	37
6	Astronomische Beobachtungsinstrumente	45
7	Teleskopbedienung	53
8	Fragen	67
9	Loesungen	69
10	Autoren	71
11	Bildnachweis	73
12	GNU Free Documentation License	77

Lizenz

Permission is granted to copy, distribute and/or modify this document under the terms of the GNU Free Documentation License, Version 1.2 or any later version published by the Free Software Foundation; with no Invariant Sections, no Front-Cover Texts, and no Back-Cover Texts. A copy of the license is included in the section entitled "GNU Free Documentation License".

Kapitel 1

Überblick

Vorwort

Dieses Buch richtet sich an den interessierten Laien, der erste Kenntnisse und einen Überblick über die Erscheinungen am Himmel erwerben und vielleicht selbst beobachten möchte. Die Astronomie beschäftigt sich mit allen beobachtbaren, aber nicht greifbaren Phänomenen und Objekten oberhalb der Erdoberfläche. Die Phänomene in der Erdatmosphäre erhielten ihr eigenes Gebiet, das der Meteorologie, so dass die Astronomie heute aus der Beobachtung des Weltraums gebildet ist. Die Astrophysik dagegen versucht, das Beobachtete in Modellen zu beschreiben.

Was gibt es am Himmel zu beobachten?

Zuerst möchte ich da den Mond nennen, der fast immer gut zu sehen ist. Für die Mondbeobachtung braucht man noch nicht einmal ein gutes Teleskop, weil er ein sehr helles Objekt ist. Ein Fernglas oder ein einfaches Kaufhausteleskop reichen bereits aus, um größere Krater auf der Mondoberfläche beobachten zu können. Selbst mit dem größten Teleskop auf der Erde ist es nicht möglich, solch kleine Objekte wie das Mondauto der Apollomission zu sehen. Am interessantesten zu beobachten sind die Krater, die auf dem *Terminator* liegen. Es ist der Bereich des Mondes, der zwischen Licht und Schatten liegt. Dort kommen durch die längeren Schatten die Krater besonders gut zur Geltung. Der Terminator wandert ständig weiter über die Mondoberfläche, so dass schon einen Tag später andere Krater in diesem faszinierenden Licht beobachtet werden können. Nach dem Neumond geht das Spiel von vorne los.

Milchstraße



Abbildung 1: Sternbild Orion (deepsky Aufnahme)

Die *Milchstraße* kann in Gegenden, die nicht von großen Städten umgeben sind, in klaren Nächten schon mit dem bloßen Auge beobachtet werden. Fern von Straßenbeleuchtungen kann nach Ausschalten der Taschenlampe und ein paar Minuten Wartezeit, damit sich die Augen an die Dunkelheit anpassen, am Himmel deutlich ein hellerer Bereich erkannt werden, der sich über den ganzen Himmel erstreckt. Das ist unsere Galaxie mit Milliarden von Sternen, von der unsere Sonne nur einer ist.

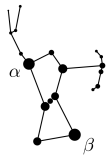


Abbildung 2: Sternbild Orion

Foto vom Sternenhimmel: In diesem Bild sind ein paar hellere Sterne zu sehen, die sich deutlich von den anderen Sternen abheben. Diese hellen Sterne gehören zum Sternbild Orion, welches in Deutschland nur im Winter zu sehen ist. Der gelbliche Stern am oberen Rand, fast in der Mitte des Bildes, wird Beteigeuze genannt und ist ein roter Riesenstern. Die drei gleich hellen weißen Sterne, die auf diesem Bild diagonal übereinander angeordnet sind, sind die drei „Gürtelsterne“ von Orion, die zwischen Beteigeuze und Rigel zu finden sind. Über das ganze Bild verteilt sind einige Milliarden Sterne der Milchstraße zu sehen, was aber nur ein kleiner Teil der Milchstraße ist. Wäre die Erde am Rande der Galaxie, wäre es möglich diese im ganzen zu sehen, aber da die Erde irgendwo im äußersten Drittel, nur fast am Rande ist, umspannt sie die Erde und macht sie dadurch zu einem Teil der Milchstraße. Es ist möglich, andere Galaxien, wie zum Beispiel die Andromedagalaxie, komplett zu sehen.

Polarlichter



Abbildung 3: Polarlichter

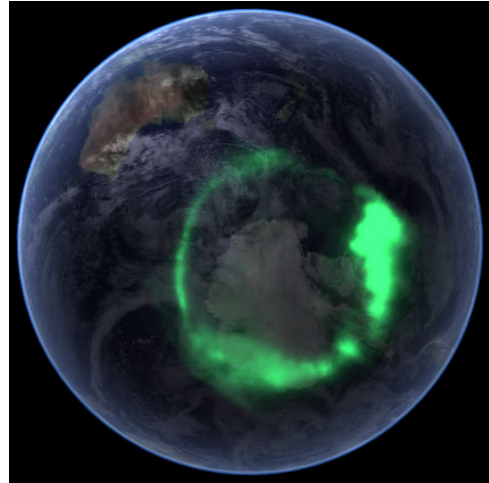


Abbildung 4: Polarlichter über der Antarktis. Fotomontage der NASA

Polarlichter können in Polnähe, also in Norwegen, Schweden, Alaska, Sibirien und in der Antarktis, bei starker Sonnenaktivität sehr häufig nachts beobachtet werden. Elektrisch geladene Teilchen der Sonne – schnelle Protonen und Elektronen – werden an den Magnetfeldern spiralförmig entlang der Magnetfeldlinien zu den Polen der Erde gebracht. Die geladenen Teilchen bringen die Teilchen der Atmosphäre – also Gase wie Sauerstoff und Stickstoff – auf ein höheres Energieniveau. Wenn diese Teilchen wieder auf ihr normales Energieniveau zurückkehren, was Rekombination genannt wird, dann senden sie die überschüssige Energie in Form von Licht aus. Rotes und grünes Leuchten wird von angeregtem Sauerstoff in unterschiedlicher Höhe erzeugt. Angeregter Stickstoff leuchtet violett. Es ist äußerst selten, dass Polarlichter in Deutschland gesichtet werden, weil die hochenergetischen Sonnenteilchen nur an den Polen in die Atmosphäre eintreten können. Das hängt von der Stärke des magnetischen Feldes der Erde und der Stärke und Menge der Sonnenteilchen ab. Die Sonnenaktivität ist einem elfjährigen Zyklus unterworfen. Das bedeutet, dass die Sonnenaktivität in diesem Zeitraum einmal zu- und wieder abnimmt. Im Jahr 2008 ist das Minimum der Sonnenaktivität erreicht. Sie steigt ab diesem Zeitpunkt wieder langsam an und wird etwa 2013 das Maximum erreicht haben. Der Anstieg und der Abfall der Aktivität ist nicht linear. Deshalb kann das Maximum schon früher erreicht werden.

Mit Sonnenaktivität ist nicht die Helligkeit der Sonne gemeint, sondern die Stärke und Häufigkeit der Ausbrüche an ihrer Oberfläche, bei denen die heiße Materie

der Sonne – ähnlich einem Vulkanausbruch – in das Universum katapultiert wird. Diese Materie – Sonnenwind genannt – erreicht die Erde nach zwei bis vier Tagen.

Meteoritenschauer

Meteoritenschauer sind jedes Jahr zu ungefähr gleichen Zeitpunkten mit bloßem Auge zu beobachten. Meteoriten sind kleine Partikel, die in unsere Atmosphäre eindringen und darin verglühen. Sie können so klein wie ein Staubkorn oder so groß wie ein Fußball sein, was für uns Menschen nicht gefährlich ist, da diese meist vollständig in der 100 Kilometer dicken Atmosphäre verglühen, bevor sie den Boden erreichen können. Sie stammen von früheren Kometen, die auf ihrem Weg durch unser Sonnensystem erhebliche Mengen an Materie verloren haben. Diese „*Staubwege im All*“ werden von der Erde auf ihrer Bahn um die Sonne regelmäßig durchquert, was die Häufigkeit von Meteoritenschauern zu diesen Zeitpunkten stark erhöht. Die Häufigkeit variiert dabei von einem Meteoriten pro Minute bis etwa 100 pro Minute. Sie kommen dabei alle aus der gleichen Richtung.

Zu diesen Zeitpunkten lohnt es sich, abends abseits der Stadt den Himmel zu beobachten:

- **Perseiden** 20. Juli bis 19. August
- **Orioniden** 15. Oktober bis 25. Oktober
- **Leoniden** 11. November bis 20. November
- **Geminiden** 06. Dezember bis 16. Dezember
- **Quadrantiden** 1. Januar bis 4. Januar

Weltraumstation ISS

Weltraumstation ISS im November 2008

Die ISS ist eines der künstlichen Objekte am Himmel, die je nach aktueller Position zumeist morgens oder abends kurz zu beobachten ist. Sie bewegt sich zügig, innerhalb von fünf Minuten, über den Himmel. Dabei ist sie dann eines der hellsten Objekte, da sie mit ihren großen Solarzellenflächen das Licht der Sonne nach unten auf die Erde reflektiert. Sie hat (bedingt durch die Solarpaneele) eine Breite von 80 Metern und soll voll ausgebaut im Jahr 2010 eine Länge von 107 Metern haben (zurzeit ist sie 57 Meter lang). Sie ist etwa 350 Kilometer von der Erdoberfläche entfernt und benötigt für eine Erdumrundung 92 Minuten. Das entspricht

einer Geschwindigkeit von 28.000 km/h. Zu sehen ist allerdings nur ein heller Punkt, der gleichmäßig schnell über den Himmel wandert.

Satelliten

Die Anzahl der künstlichen Satelliten ist in den letzten vier Dekaden gewaltig angestiegen. Mittlerweile tummeln sich über tausend verschiedene künstliche Satelliten um unseren Globus. Fernsehsatelliten befinden sich immer auf einer sogenannten *geostationären Position*. Das heißt, sie ändern ihre Position nicht. Doch Wetter-, Forschungs-, Telekommunikations-, Navigations- und Spionagesatelliten bewegen sich ständig im Orbit um die Erde. Einige davon haben große Parabolantennen, welche auf die Erde gerichtet sind. Wenn diese in einem bestimmten Winkel zur Sonne stehen, kann der Beobachter auf der Erde ein Objekt mit hoher Geschwindigkeit über den Himmel huschen sehen, das langsam heller und anschließend schnell dunkler wird. Die Helligkeit kann dabei soweit ansteigen, dass Zeitung gelesen werden könnte, wenn der Satellit nicht so schnell wieder verschwinden würde. Dieses Schauspiel dauert etwa 15 Sekunden. Satelliten bewegen sich immer auf gerader Flugbahn, sind extrem schnell und blinken nicht, wie Flugzeuge es tun.

Beobachtung mit dem Teleskop

Mit einem Teleskop können lichtschwächere Objekte am Himmel beobachtet werden, was mit bloßem Auge nicht möglich wäre, da das Teleskop das eintreffende Licht bündelt. Waren Galaxien vorher nur als schwache Nebel mit dem Auge zu sehen, können mit einem guten Teleskop einzelne Sterne voneinander unterschieden werden. Bei einem Blick auf einen Kugelsternhaufen oder eine Galaxie am herbstlichen Nachthimmel kann es passieren, dass der Hobbyastronom aus dem Staunen nicht mehr heraus kommt, weil diese wie Diamanten funkeln und strahlen. Allerdings ist das Auge nicht in der Lage, selbst mit einem großen Teleskop nicht, die Objekte wie auf den Fotografien in Farbe zu sehen, da die Farbrezeptoren in unserem Auge dafür zu unempfindlich sind. Es ist allenfalls bei Planeten möglich, sehr schwach Farben wahrzunehmen. Die Vergrößerung eines Teleskops ist für Sterne, welche mit dem Auge beobachtet werden, eine unwichtige Größe, weil Sterne viel zu weit entfernt sind, als dass sie sich vergrößert darstellen ließen. Daraus folgt, dass eine starke Vergrößerung - wenn überhaupt - nur beim Mond und den Planeten sinnvoll ist. Dagegen sollte auf die Lichtstärke eines Teleskopes geachtet werden, wenn häufig Sterne beobachtet werden sollen, um auch dunklere Sterne sehen zu können. Eine Sternwarte, welche für Besucher zugänglich ist, gibt

es bestimmt auch in Ihrer Nähe. Das größte öffentlich zugängliche Teleskop steht in der Nähe der niedersächsischen Stadt Melle. Es hat einen Spiegeldurchmesser von etwa einem Meter.

Abstände in unserem Sonnensystem

Entfernungen in unserem Sonnensystem können noch in Kilometern angegeben werden. Da dies bei den riesigen Entfernungen zu unpraktisch langen Zahlen führen würde, wurde eine neue Maßeinheit, die *Astronomische Einheit AE* eingeführt. Für die Strecke von der Erde zum Mond kann man noch 400.000 Kilometer angeben. Für die Strecke von der Sonne zur Erde wird einfach *1 AE* gesagt, was umgerechnet etwa 150 Millionen Kilometern entspricht. Entfernungen außerhalb unseres Sonnensystems werden meist in Lichtjahren angegeben. Ein Lichtjahr ist die Strecke, die das Licht in einem Jahr zurücklegen kann. Da das Licht sich mit etwa 300.000 Kilometern pro Sekunde bewegt, kommt auf das Jahr hochgerechnet eine Zahl mit so vielen Nullen heraus, dass ein Mensch sich diese Entfernungen gar nicht vorstellen kann.

Als Beispiel, um die Entfernungen zu verdeutlichen, kann gesagt werden, dass das Licht vom Mond zur Erde ca. 1 Sekunde braucht und das Licht der Sonne nach 8 Minuten die Erde erreicht. Das bedeutet, dass wir es erst nach acht Minuten bemerken würden, wenn jemand das Licht der Sonne ausknipsen würde.

Strecke	Abstand in Lichteinheiten
Erde – Mond	1 Lichtsekunde
Erde – Sonne	8 Lichtminuten
Erde – Neptun	270 Lichtminuten
Erde – Proxima Centauri	4 Lichtjahre (Nächster Stern)
Erde – Sirius	8,6 Lichtjahre (Hellster Stern am Nachthimmel)
Erde – Andromedanebel	2,2 Mio. Lichtjahre (Nächste Galaxie)

Abstände der Planeten von der Sonne

Planet	Abstand in Millionen Kilometern	Abstand in AE
Merkur	58	0,3
Venus	108	0,6
Erde	150	1,0

Mars	230	1,5
Jupiter	778	5,0
Saturn	1430	9,8
Uranus	2870	19,2
Neptun	4500	30,0

In einigen größeren Städten sind *Planetenwanderwege* eingerichtet worden. Dort kann der Wanderer meist Modelle der Sonne und den Planeten im Maßstab 1:1 Mrd. im richtigen Größenverhältnis und im richtigen Abstand zueinander sehen. Wenn Sie zügig gehen, erreichen Sie bis zu vierfache Lichtgeschwindigkeit auf dem Planetenweg.

Modell unseres Planetensystems

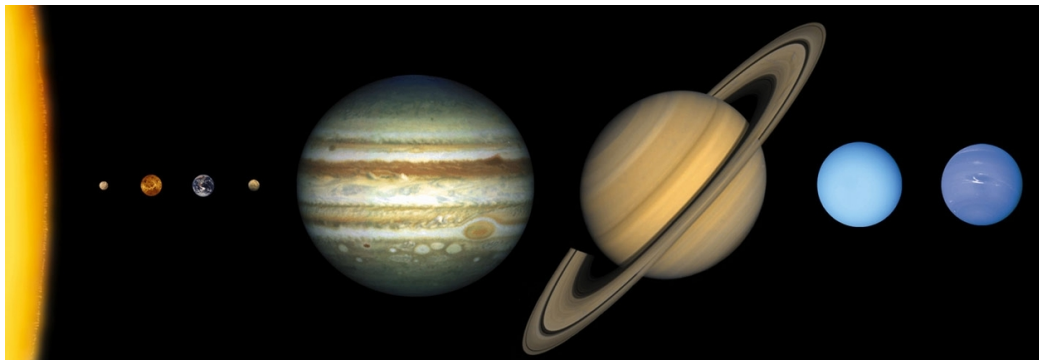


Abbildung 5: Unser Sonnensystem mit korrektem Größenverhältnis der Planeten

Kapitel 2

Sonne

Die Sonne ist unser nächster Fixstern. Sie ist im Mittel 150 Millionen Kilometer (149.598.870 Kilometer) von der Erde entfernt. Die Sonne ist der Mittelpunkt unseres Sonnensystems. Ohne die wärmende Strahlung der Sonne gäbe es kein Leben auf der Erde. Daneben ist die Sonne auch für Astronomen als Beobachtungsobjekt sehr interessant. Man muss allerdings bei ihrer Beobachtung große Vorsicht walten lassen.

Die sichere Sonnenbeobachtung

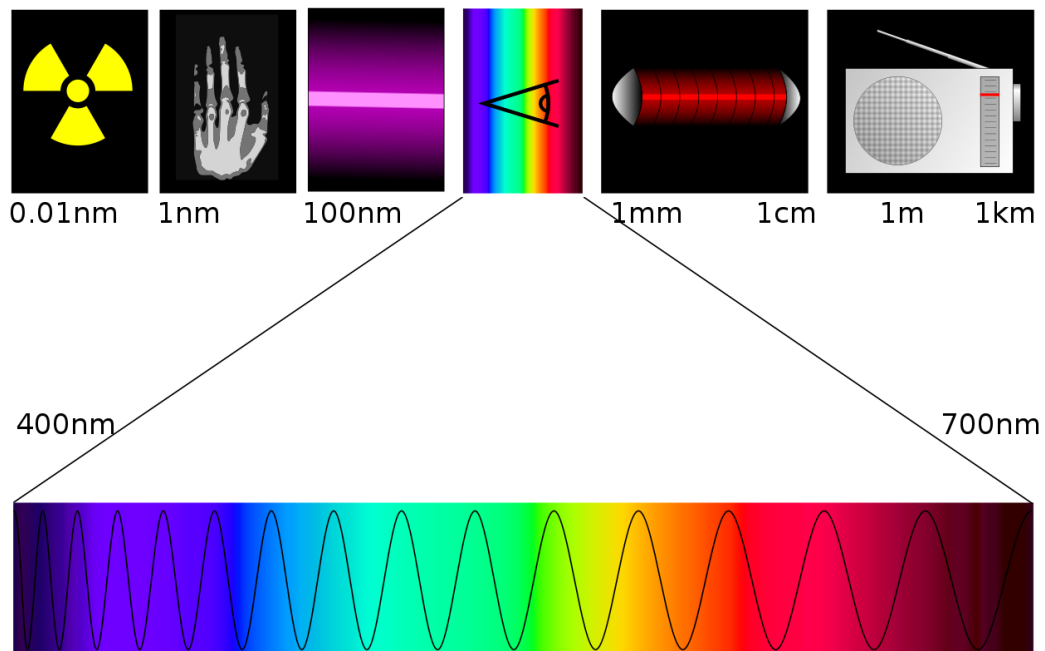


Abbildung 6: Spektrum elektromagnetischer Strahlung

Wegen der großen Helligkeit hat man bei der Sonnenbeobachtung das in der Astronomie unübliche Problem, das zu viel Licht vorhanden ist und man das Licht unbedingt reduzieren muss. Die Sonne strahlt in allen Wellenlängen des Spektrums ihre Energie ab. Die Atmosphäre der Erde filtert manche Wellenlängen unterschiedlich stark heraus, bevor die Strahlen auf dem Boden ankommen. In dem Bild rechts ist zu sehen, dass es neben dem sichtbaren Bereich noch andere Wellenlängen von Strahlung gibt. Direkt an den sichtbaren Bereich unterhalb des violetten Lichts schließt sich der Bereich der *ultravioletten Strahlung* an.

Ultraviolettes Licht kann der Mensch nicht sehen. Es ist aber trotzdem vorhanden und sehr energiereich. Es wird in der Technik benutzt, um bakterielle Keime im Trinkwasser abzutöten.

Über dem roten sichtbaren Bereich befindet sich der *infrarote Bereich*. Auch dafür gibt es in unseren Augen keine Rezeptoren, die darauf reagieren, weshalb wir keine Wärmestrahlung sehen können. Auch diese Strahlung wird durch unsere At-

mosphäre nicht vollständig absorbiert und richtet im Auge Verbrennungsschäden an, wenn man mit ungeschütztem Auge durch ein Fernrohr in die Sonne schaut.

Leichtsinn oder Fehler bei der Sonnenbeobachtung können leicht zu schweren Augenschäden bis hin zur Erblindung oder auch zur Zerstörung von Kameras und anderen Geräten führen.

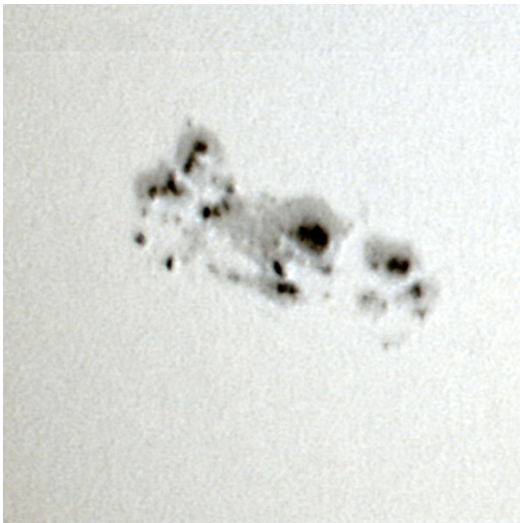


Abbildung 7: Sonnenfleck bei hoher Vergrößerung im Weißlichtbereich aufgenommen.

Auf keinen Fall darf man die Sonne - auch nicht die tiefstehende oder von Dunst geschwächte - ohne Filter mit einem Fernglas oder Fernrohr direkt beobachten, da dies durch die lichtbündelnde Wirkung dieser Geräte zu einer sofortigen Erblindung führen würde. Auch bei Filtern muss man sehr vorsichtig sein: so können sich die bei vielen billigen Fernrohren als Zubehör mitgelieferten Okularfilter durch die Sonneneinstrahlung aufheizen und platzen, da sie sich im Strahlengang des Fernrohrs in der Nähe des Brennpunkts befinden. Die menschliche Reaktionszeit reicht nicht aus, um im Fall eines geplatzten Filters rechtzeitig das Auge aus der Gefahrenzone zu bringen. Sicherer, aber auch teurer sind Objektivfilter, diese werden vor dem Teleskop angebracht. Sie können auch aus der bei Planetarien oder im Optik-Fachhandel erhältlichen Mylar-Folie (wie zum Beispiel von „Baader“) selbst angefertigt werden. Diese Folie ist auch geeignet, um Sonnenfilter für Teleobjektive herzustellen. Es gibt in Fotofachgeschäften auch Filter für Teleobjektive zu kaufen. Es sollten farbneutrale Filter der Klasse ND 6.0 verwendet werden. Für die Beobachtung mit bloßem Auge ist eine Schweißer-

oder eine sogenannte Finsternisbrille der beste Schutz. Auch Mylar-Folien erfüllen ihren Zweck, sofern ihre Verwendung als Sonnenfilter vom Hersteller explizit ausgewiesen wird. Große Vorsicht ist allerdings bei rußgeschwärzten Gläsern, schwarzen Filmstreifen und Rettungsfolien angebracht, denn diese Gerätschaften schwächen die für das Auge ebenfalls schädliche unsichtbare Infrarot- und UV-Strahlung nicht in dem erforderlichen Maße.

Generell gilt, dass man mit Sonnenfiltern zweifelhafter Herkunft nie länger als unbedingt nötig die Sonne beobachten sollte. Sie sollten keineswegs in Verbindung mit Fernrohren und Ferngläsern eingesetzt werden. Steht die Sonne sehr horizontnah oder wird ihr Licht durch Dunst stark geschwächt, so kann es vorkommen, dass man die Sonne mit dem Filter nicht mehr sieht. In diesem Fall sollte gewartet werden, bis die Sonne wieder durch den Filter sichtbar ist.

Sonnenfleckenbeobachtung

Beobachtung im Weißlichtbereich Wenn vor dem Teleskop ein Sonnenfilter angebracht wurde, welcher die einfallende Strahlung auf 0,001 Prozent verringert, dann kann mit dem Auge die *Photosphäre* der Sonne wie ein Planet zur Nachtzeit beobachtet werden. So können bereits größere Sonnenflecken und ihre Wanderung in wenigen Tagen über die uns zugewandte Oberfläche beobachtet werden. Die Sonne hat auf ihrer Oberfläche eine Temperatur von ca. 6000 °Celsius. An Stellen, die von Sonnenflecken bedeckt sind, ist sie etwa 4000 °Celsius heiß. Zum Vergleich: Gold schmilzt bei 1064 °Celsius. Die Sonne erzeugt ihre Energie durch Kernfusion von Wasserstoff. Dabei entsteht als Fusionsprodukt das Edelgas Helium. Diese beiden Stoffe, die in Spuren auch in der Erdatmosphäre zu finden sind, machen fast die komplette Masse der Sonne aus. Unter den Amateurastronomen auf der ganzen Welt gibt es einige, die systematisch die Sonnenfleckenanzahl, ihre Häufigkeit und Position wissenschaftlich dokumentieren.

Beobachtung mit H-alpha Filter

Die Sonnenbeobachtung im H- α Bereich des Sonnenspektrums ist sozusagen die Königsklasse der Sonnenbeobachtung, da hierfür ein recht teurer Spezialfilter benötigt wird, der den sichtbaren Bereich des Lichts auf einen sehr schmalen, weniger als ein *Angström* breiten Bereich um 656,28 nm begrenzt. Dadurch wird die Abbildung insgesamt schärfer, die Sonnenflecken heben sich noch besser vom Hintergrund ab und die Granulation ist stärker sichtbar. Angström ist eine noch feinere Unterteilung der Wellenlänge von Licht. Der Begriff Angström wird allerdings in der professionellen Astronomie nicht mehr offiziell benutzt. Stattdessen werden Wellenlängen prinzipiell in Nanometern angegeben. Der H- α Bereich ist der Teil des roten Spektrums, in welchem ausschließlich der ionisierte Wasserstoff Licht aussendet. Mittlerweile gibt es sogar spezielle *Sonnenteleskope* zu kaufen, die nur zur Sonnenbeobachtung geeignet sind und den H- α Filter bereits fest eingebaut haben.

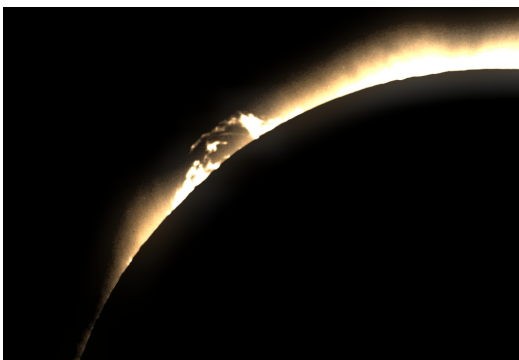


Abbildung 8: Sonnenkorona während einer Sonnenfinsternis

Eine andere Möglichkeit zur gefahrlosen Sonnenbeobachtung bietet die *Projektionsmethode*. Bei der *Projektionsmethode* wird in Verlängerung der optischen Achse des Fernrohrs hinter dem Okular ein Projektionsschirm mit einem weißen Blatt Papier angebracht.

Projektionsverfahren zur Sonnenbeobachtung sind nicht nur völlig sicher, sie ermöglichen auch mehreren Leuten gleichzeitig, die Sonnenbeobachtung zu genießen. Während der totalen Phase einer Sonnenfinsternis, die je nach Entfernung der Erde zur Sonne zwischen zwei und elf Minuten dauern kann wenn man genau auf der Linie des Kernschattens steht, wird für ein paar Sekunden kein Schutzfil-

ter benötigt. Er muss sogar während dieser Phase abgenommen werden, wenn die Korona und die Protuberanzen der Sonne zu sehen sein sollen.

Allerdings ist hierbei große Vorsicht geboten, denn die totale Phase einer Sonnenfinsternis ist kurz, und sobald der erste Lichtstrahl nach der totalen Phase wieder über den Sonnenrand hervorschaut, ist sofort wieder der Filter vor dem Objektiv anzubringen.

Der Mond ist nicht groß genug, um die ganze Erde in den Schatten zu stellen. So ist es häufig nur ein 200 Kilometer großer Kreis des Schattens, der über die Erdoberfläche zieht. Nur in diesem Kreis ist es möglich die Sonnenfinsternis als totale Sonnenfinsternis zu erleben. Während der Kernschatten über Sie hinwegzieht, wird es sehr schnell um ein paar Grad kälter, so als würde plötzlich die Nacht anbrechen.

Merkur und Venusdurchgänge

Die Planeten Merkur und Venus sind auf ihrem Weg um die Sonne dichter an ihr als die Erde und die anderen Planeten. Aus diesem Grund kann es passieren, dass sie von der Erde aus gesehen über die Sonnenscheibe wandern. Dies wird als *Durchgang* bezeichnet. Zu sehen ist bei beiden Planeten eine im Verhältnis zur Sonnenscheibe nur winzige Scheibe von etwa einer Bogenminute. Das entspricht etwa einem Dreißigstel des scheinbaren Sonnendurchmessers.

Kapitel 3

Historische Entwicklungen

Die Anfänge der Astronomie

Der Nachthimmel mit seinen unzähligen leuchtenden Objekten hat schon vor tausenden von Jahren die Phantasie und Beobachtungsgabe von vielen Menschen angeregt. Die [Himmelscheibe von Nebra](#) (1600 v.Chr.) ist die wahrscheinlich älteste konkrete Abbildung des Himmels. Obwohl man sich nicht ganz einig über den konkreten Verwendungszweck ist, kann man sie als Beispiel dafür nehmen, wie früh schon sich der Mensch mit dem Himmel und dessen Beobachtung beschäftigt hat. Nicht umsonst gilt die Astronomie als eine der ältesten Wissenschaften neben der Mathematik, auf die sie sich stützt.

Viele Kulturen haben schon vor Christi Geburt Kalendersysteme aufgestellt - Die Maya, die Azteken, die Ägypter, die Babylonier, um nur einige zu nennen. Lange prägend für die mittelalterlich-abendländische Astronomie waren aber die alten Griechen, die sich schon früh in der Mathematik und der Astronomie hervortaten.

Die Entwicklung der antiken griechischen Astronomie lässt sich bereits an frühen Schriften erahnen. Sowohl Homer als auch Hesiod beschreiben astronomische Vorgänge, lassen aber noch kein tieferes Verständnis erkennen. So beschreiben beide Morgen- und Abendstern als verschiedene Objekte (in Wirklichkeit ist beides die Venus, was zum Beispiel die Babylonier bereits wussten). Auch den Tierkreis in seiner heutigen Form beschreibt Homer nur teilweise.

Ein weitergehendes Naturverständnis erreichen bis zum 5. Jahrhundert v. Chr. die Vorsokratiker. Sie entwickeln unter anderem zunehmend genauere Zeitmessmethoden, etwa Sonnenuhren, deren Grundlagen sie wahrscheinlich von den Babyloniern übernahmen. Thales von Milet sagte 585 v. Chr. eine Sonnenfinsternis

voraus und beendete der Legende nach so einen Krieg. Er kann somit als der erste europäische Astronom betrachtet werden.

Anaximander, Zeitgenosse und Schüler des Thales, postuliert das geozentrische Weltbild, indem er als erster den Himmel als Kugelschale (Sphäre) mit der Erde im Zentrum beschreibt. Frühere Kulturen sehen den Himmel als Halbkugel nur über der Erdscheibe, ohne außerhalb von Mythen das Problem zu berühren, wo sich Sterne zwischen Auf- und Untergang befinden. Den Übergang zur Erde als Kugel macht Anaximander jedoch noch nicht.

Die griechische Kultur der klassischen Zeit ist die erste, die Astronomie ohne kultische oder astrologische Hintergründe, also rein aus philosophischen Überlegungen betreibt. Noch heute berühmt ist die erstaunlich genaue Messung des Erdumfangs durch Eratosthenes um 220 v. Chr., der die unterschiedlichen Schattenlängen der Sonne am gleichen Tag in Alexandria und Syene, wo sie genau im Zenit steht, auf unterschiedliche Breitengrade auf einer Kugel zurückführt. Weniger bekannt ist der Versuch des Aristarchos von Samos den Abstand zur Sonne im Verhältnis zum Mondabstand zu messen, der zwar aufgrund ungenügender Messgenauigkeit fehlschlägt (er wird um den Faktor 20 zu kurz bestimmt), aber methodisch korrekt ist.

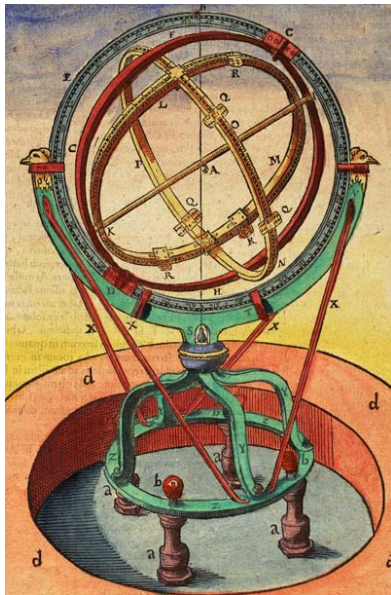


Abbildung 9: **Armillarsphäre**

Die griechischen Philosophen diskutierten zwar bereits ein heliozentrisches Weltbild, das nicht die Erde, sondern die Sonne als ruhendes Zentrum beinhaltet, kön-

nen aber noch keine unterstützenden Beobachtungen vorlegen, so dass das geozentrische Weltbild das allgemein Anerkannte bleibt. Religiöse Eiferer wettern gegen die Vorstellungen, die Sonne könne Mittelpunkt des Kosmos sein und wünschen ihrem Verfechter Aristarchos von Samos einen Prozess; die Angelegenheit bleibt aber, anders als später bei Giordano Bruno und Galileo Galilei, letztlich folgenlos.

Hipparchos von Nicäa und andere entwickeln die astronomischen Instrumente, die bis zur Erfindung des Fernrohres fast zweitausend Jahre später in Gebrauch bleiben, wie zum Beispiel die [Armillarsphäre](#). Hipparchos war es auch, der Längen- und Breitengrade einführte. Das Werk des Ptolemäus um 150 n. Chr. stellt den Höhepunkt und Abschluss der antiken Astronomie dar. Ptolemäus entwickelt das nach ihm benannte Weltbild und gibt mit dem *Almagest* ein Standardwerk der Astronomie heraus, auf dessen Sternkatalog sich Astronomen noch bis über die Renaissance hinaus berufen. Sein geozentrisches Weltbild besteht bis ans Ende des Mittelalters.

Die Kopernikanische Wende

Nicolaus Kopernikus

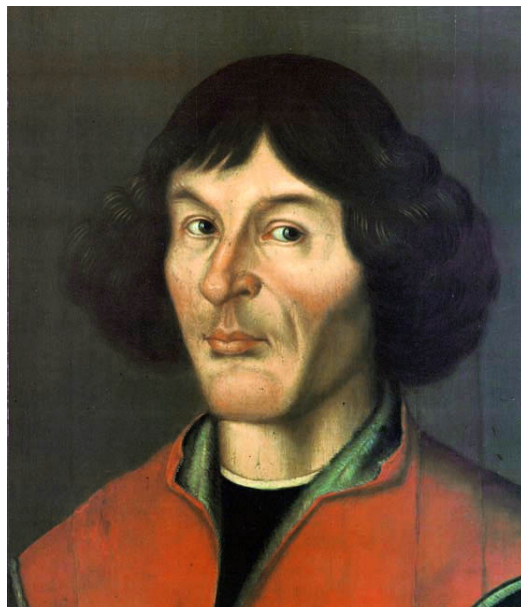


Abbildung 10: Nicolaus Kopernikus

1509 schuf Kopernikus in Lidzbark Warmiński (*deutsch*: Heilsberg) in Ermland den *Commentariolus*, in dem er die Theorie von der Sonne als Mittelpunkt der Planetenkreise und der durch die Drehung der Erde scheinbaren Bewegung der Fixsterne aufstellte. Auch kündigte er in dieser Schrift eine mathematische Ausarbeitung seiner Theorien an. Diese Arbeit machte er nur Vertrauten zugänglich, um sich nicht dem Spott der Fachwelt auszusetzen, stellte er doch damit das seit 1300 Jahren unbestrittene [geozentrische Weltbild](#) des [Ptolemäus](#) in Frage. Es gilt inzwischen als gesichert, dass Kopernikus durch die heliozentrische Theorie des antiken Astronomen [Aristarchos von Samos](#) entscheidend angeregt wurde.

Galileo Galilei

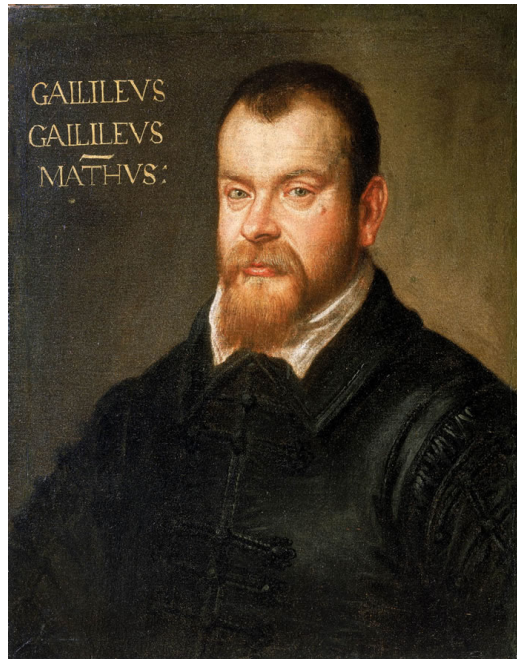


Abbildung 11: Galileo Galilei

1609 erfuhr Galilei von dem im Jahr zuvor in Holland von [Jan Lippershey](#) erfundenen [Fernrohr](#). Er baute aus käuflichen [Linsen](#) ein Gerät mit ungefähr vierfacher Vergrößerung, lernte dann selbst Linsen zu schleifen, und erreichte bald eine acht- bis neunfache, in späteren Jahren bis zu 33fache Vergrößerung. Galilei führte sein Instrument, dessen militärischer Nutzen auf der Hand lag (es lieferte übrigens im Gegensatz zum wenig später entwickelten [Keplerschen Fernrohr](#) aufrechtstehende Abbildung), der venezianischen Regierung, der Signoria, vor, machte tiefen

Eindruck und überließ ihr das (völlig illusorische) alleinige Recht zur Herstellung solcher Instrumente, woraufhin sein Gehalt verdreifacht [nach anderer Quelle verdoppelt] wurde. Entgegen der Darstellung in Brechts Drama hat Galilei die Grundidee des Teleskops wohl nicht als seine eigene Erfindung ausgegeben; eine Gehaltskürzung im folgenden Jahr deutet aber an, dass sich die Signoria durchaus hinters Licht geführt fühlte.

Als einer der ersten Menschen nutzte Galilei ein Fernrohr zur Himmelsbeobachtung. Dies bedeutete eine Revolution in der Erforschung der Himmelskörper, denn bis dahin waren die Menschen auf Beobachtungen mit dem bloßen Auge angewiesen. Mit ihm begann die Teleskop-Astronomie. Er stellte fest, dass die Oberfläche des Mondes rau und uneben ist, mit Erhebungen und Klüften. Er erkannte, dass die dunkle Partie der Mondoberfläche von der Erde aufgehellt wird („[Erdschein](#)“). Er stellte weiter fest, dass die Planeten - im Gegensatz zu den Fixsternen - als Scheiben zu sehen sind und entdeckte die vier größten Monde des Jupiter, die er in Vorbereitung seines Wechsels an den Medici-Hof die *Mediceischen Gestirne* nannte, und die heute als die *Galileischen Monde* bezeichnet werden. Er beobachtete, dass die Milchstraße nicht ein nebliges Gebilde ist (wie es dem bloßen Auge vorkommt), sondern aus unzähligen einzelnen Sternen besteht. Diese Entdeckungen (einschließlich einer Federzeichnung der Mondoberfläche von ihm selbst), veröffentlicht im *Sidereus Nuncius* (Sternenbote) von 1610, machten Galilei auf einen Schlag berühmt. Der *Sidereus Nuncius* war innerhalb weniger Tage vergriffen.

Isaac Newton

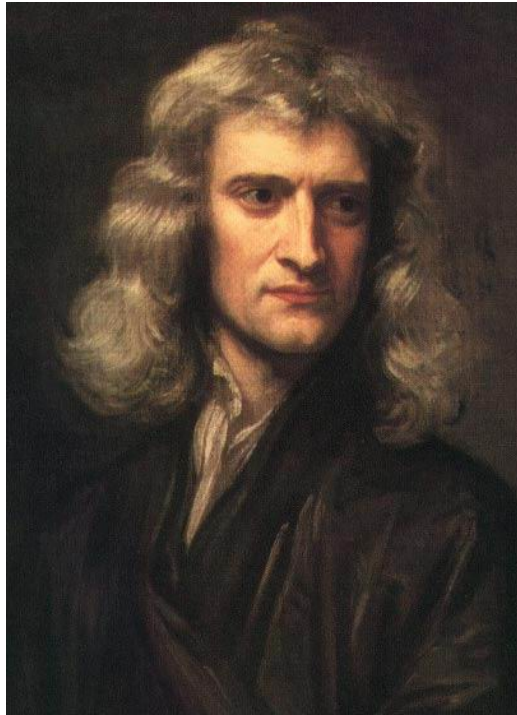


Abbildung 12: Isaac Newton

Sir Isaac Newton ist der Verfasser der [Philosophiae Naturalis Principia Mathematica](#), wo er die universelle [Gravitation](#) und die [Bewegungsgesetze](#) beschrieb und damit den Grundstein für die [klassische Mechanik](#) legte. Newton ist ebenso einer der Begründer der [Infinitesimalrechnung](#), die er fast zeitgleich mit [Gottfried Wilhelm Leibniz](#), aber unabhängig von diesem und ohne Zusammenarbeit mit Leibniz entwickelte. Während Newton vom physikalischen Prinzip der Momentangeschwindigkeit ausging, versuchte Leibniz eine mathematische Beschreibung des geometrischen Tangentenproblems zu finden.

Aufgrund seiner Leistungen, vor allem auf den Gebieten der Physik und Mathematik, gilt Sir Isaac Newton als einer der größten Wissenschaftler aller Zeiten. Die *Principia Mathematica* werden als eines der wichtigsten wissenschaftlichen Werke eingestuft.

1666 stellte er seine Gravitationstheorie auf. Er schliff Linsen und baute ein später nach ihm benanntes [Spiegelteleskop](#), das er dem König vorführte, der beeindruckt war. Das war der erste Schritt zu seinem Ruhm. In einem Brief an die Royal

Society erwähnte Newton im Zusammenhang mit dem Bau des neuartigen Teleskops gegenüber dem damaligen Sekretär Henry Oldenburg eine neue Theorie des Lichtes. 1672 veröffentlichte er seine Niederschrift „New Theory about Light and Colours“ in den Philosophical Transactions der Royal Society auf Anfrage Oldenburgs, worin er unter anderem die Brechung des Lichts erläuterte. Diese Niederschrift rief große Diskussionen hervor. Besonders zwischen ihm und Robert Hooke herrschte ein angespanntes Verhältnis, da beide angesehene Wissenschaftler waren, doch grundverschiedene Meinungen hatten und jeder auf sein Recht pochte.

Die Moderne

Albert Einstein

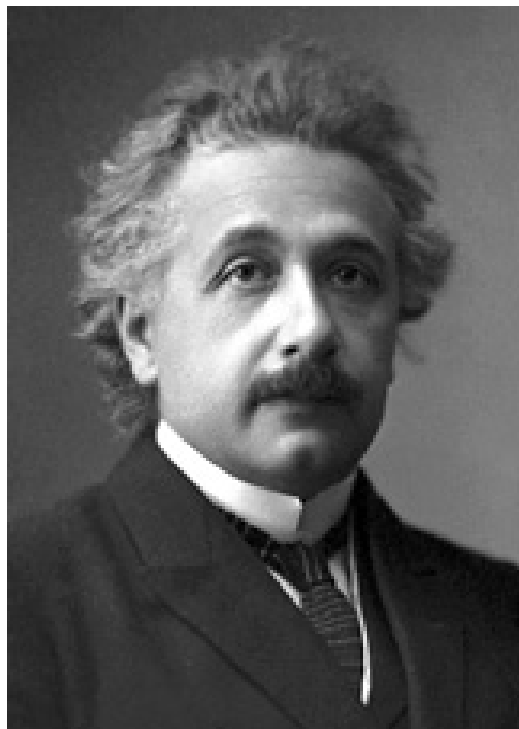


Abbildung 13: Albert Einstein

Einsteins Hauptwerk ist die Relativitätstheorie, die das Verständnis von Raum und Zeit revolutionierte. Im Jahre 1905 erschien seine Arbeit mit dem Titel „Zur Elektrodynamik bewegter Körper“, deren Inhalt heute als [spezielle Relativitätstheorie](#)

rie bezeichnet wird. 1916 publizierte Einstein die [allgemeine Relativitätstheorie](#). Auch zur [Quantenphysik](#) leistete er wesentliche Beiträge: Für seine Erklärung des [photoelektrischen Effekts](#), die er ebenfalls 1905 publiziert hatte, wurde ihm 1921 der Nobelpreis für Physik verliehen. Seine theoretischen Arbeiten spielten – im Gegensatz zur populären Meinung – beim Bau der Atombombe und der Entwicklung der Kernenergie keine bedeutende Rolle.

Albert Einstein gilt als Inbegriff des Forschers und Genies. Er nutzte jedoch seinen erheblichen Bekanntheitsgrad auch außerhalb der naturwissenschaftlichen Fachwelt bei seinem Einsatz für Völkerverständigung und Frieden. In diesem Zusammenhang verstand er sich selbst als Pazifist, Sozialist und Zionist.

Alexander Alexandrowitsch Friedmann

Albert Einstein ging in seiner allgemeinen Relativitätstheorie von einem statischen Universum aus. Dazu musste er in seinen Gleichungen die kosmologische Konstante einführen. Friedmann stellte stattdessen um 1922 verschiedene Weltmodelle auf, die ein dynamisches Universum zuließen. Er hat damit die Expansion des Universums vorausgesagt, die 1929 dann von Edwin Hubble durch astronomische Messungen bestätigt wurde.

Einstein hat daraufhin die kosmologische Konstante kurzerhand wieder gestrichen und sie angeblich als „grösste Eselei meines Lebens“ bezeichnet. In Wahrheit wurde ihm dieser Spruch jedoch nur von Gamow nachgesagt.

Später wurde diese Konstante als Repräsentant der dunklen Energie wieder eingeführt.

Die Entwicklung des Universums wird durch die Friedmann-Gleichungen beschrieben.

Edwin Hubble

Hubble studierte Physik und Astronomie in Chicago sowie Rechtswissenschaften in Oxford.

Nachdem er schon 1912 als Student an der Flagstaff-Sternwarte erste Erfahrungen mit der Relativgeschwindigkeit dieser zwei Sternsysteme gemacht hatte, konnte er 1923 am Mount-Wilson-Observatorium nachweisen, dass der Andromedanebel M31 weit außerhalb unserer Milchstraße liegt. Die Ergebnisse seiner Beobachtungen und Berechnungen, *Cepheids in Spiral Nebulae*, legte er zur Jahreswen-

de 1924/1925 der Jahrestagung der US-amerikanischen Astronomenvereinigung [American Astronomical Society](#) vor, wo sie am 1. Januar 1925 verkündet wurden.

Aufgrund der räumlichen Verteilung anderer Galaxien sowie ihrer im Spektrum nachweisbaren [Rotverschiebung](#) ergab sich Hubbles bekanntester Beitrag zur Astronomie: die Entdeckung der Expansion des Weltalls.

Hubble entdeckte, dass die Spektren verschiedener Galaxien nicht etwa zu gleichen Teilen ins Rote oder ins Blaue verschoben sind, sondern, dass es erheblich viel mehr rotverschobene Spektren gibt. Aus dem Dopplereffekt lässt sich daher ableiten, dass sich fast alle beobachteten Galaxien von uns entfernen. Damit nicht genug, entdeckte Hubble auch einen direkten proportionalen Zusammenhang zwischen der Rotverschiebung und der Entfernung der beobachteten Galaxie, was bedeutet, dass sich eine Galaxie um so schneller von uns fort bewegt, um so weiter sie entfernt ist. Aus diesen Beobachtungen leitete er die Expansion des Universums ab, die später mit dem [Urknallmodell](#) hervorragend erklärt werden konnte. Die Größe, welche diese Expansion beschreibt, wird ihm zu Ehren die [Hubble-Konstante](#) genannt. Sie beträgt nach aktueller Messung durch WMAP im Jahr 2003 71 ± 4 km/s pro [Megaparsec](#) (1 Mpc \sim 3 Millionen Lichtjahre).

Hubble hat auch die Hubble-Sequenz entwickelt, ein morphologisches Ordnungsschema für Galaxien.

Kapitel 4

Sternbilder

Sterne am Nachthimmel

Um sich am Himmel zurecht zu finden, orientiert man sich an den hellsten Sternen am Himmel. Dabei ist es typisch für den Menschen, die helleren Sterne, welche dichter beieinander stehen mit Linien zu verbinden und dann mit bereits bekannten Figuren zu vergleichen. Bevor die Sternbilder international festgelegt waren, gab es je nach Kulturkreis der Menschen unterschiedliche Namen für die Sternbilder.

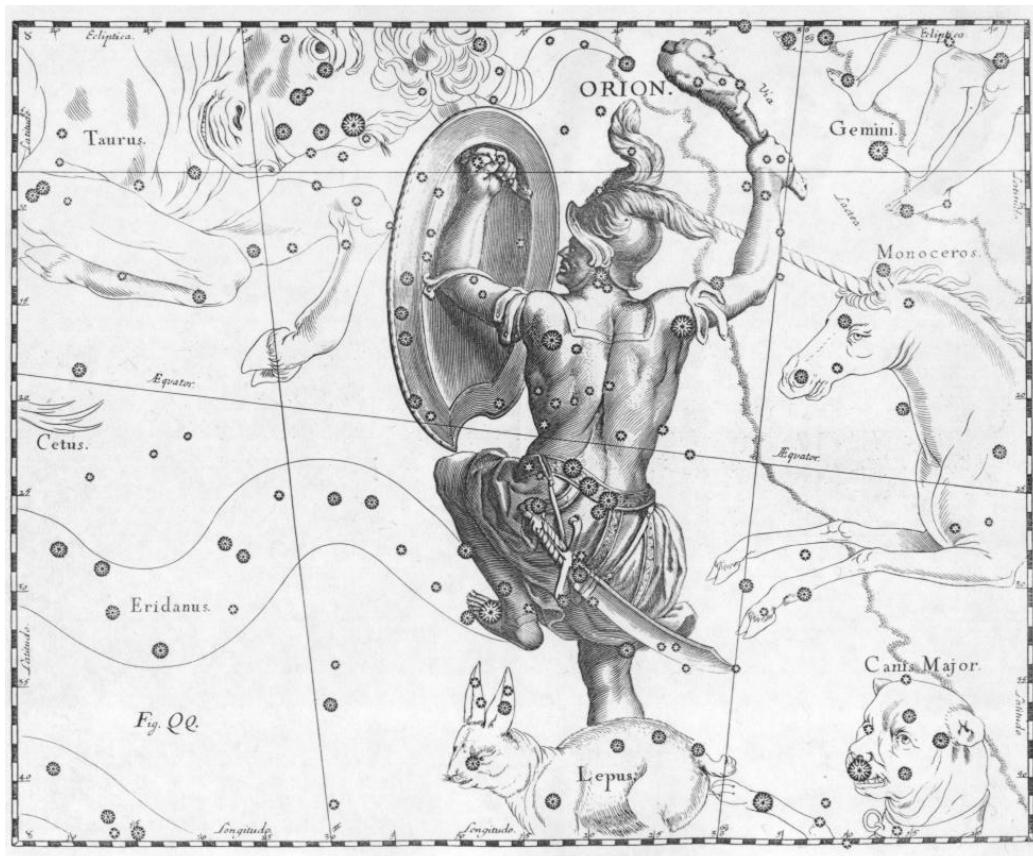


Abbildung 14: Sternbild Orion (künstlerische Darstellung)

Das ist vergleichbar mit den Figuren, die man bei Wolken oder bei Tintenflecken erkennt. Was für Bilder gewählt wurden, das hängt sehr stark von dem ab, was gerade interessant und modern war. Griechen und Römer nannten die Sterne beispielsweise nach ihren Göttergeschichten. Andere Völker vergeben Tiernamen. Natürlich nahm man nur Tiere, die man selbst kannte (Hund, Wolf, Hase) oder von denen man zumindest mal etwas in irgendeiner Geschichte gehört hatte (Drache). Zu Zeiten, wo man sich mehr für die Technik interessiert hatte, muss man sich nicht wundern, dass Sternbilder „Luftpumpe“ oder „Schiffskiel“ getauft wurden.

Wer weiß, vielleicht würde ein Automechaniker Nockenwellen, Pleuelstangen und Auspuffanlagen sehen, Landwirte würden Kühe, Schafe, Sensen, Pflugscharen und vielleicht sogar einen Traktor erkennen.

Die Namen der Sternbilder haben also nur sehr wenig mit richtiger Wissenschaft zu tun, sondern mehr mit der Kultur und den Vorstellungen und Geschichten der jeweiligen Völker. So muss man sich auch nicht wundern, dass man den großen Wagens auf lateinisch „Ursa Major“ also Großer Bär ¹ nennt. Die Kirgisen sahen in dem Wagen sieben Wölfe. Die Araber interpretierten den Kasten als Sarg, hinter dem drei Klageweiber zogen. Für die Chinesen stellte der Wagen einen Löffel dar. Im englischsprachigen Raum wird der Wagen häufig als „Große Schöpfkelle“ bezeichnet. In Frankreich sieht man im Großen Wagen eine Stielpfanne. International einigt man sich meist auf die antiken lateinischen Namen.

Zirkumpolare Sternbilder

Wer sich am Himmel zurechtfinden möchte, sollte damit beginnen, den Nordpolarstern zu finden. Die Seefahrer vergangener Tage konnten sich durch den Nordstern und durch andere markante Punkte am Himmel recht gut ohne einen Kompass orientieren.

Um den Polarstern zu finden, ist es nötig, sich das Sternbild des großen Wagens einzuprägen. Die Sterne des großen Wagens gehören alle zu den zirkumpolaren Sternen in der Nördlichen Breite, in der Deutschland liegt. Das bedeutet, dass der große Wagen das ganze Jahr über in ganz Europa am Nachthimmel zu sehen ist. Er fährt sozusagen ständig um den Polarstern herum. Je nach Jahreszeit hat er zur gleichen Uhrzeit eine andere Position am Himmel.

¹Ursa Major heißt eigentlich „größere Bärin“

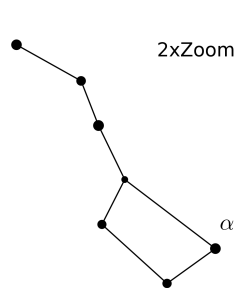


Abbildung 15: Großer
Wagen
(Teil des gr. Bären)

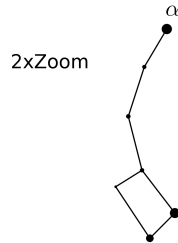


Abbildung 16: kleiner
Wagen

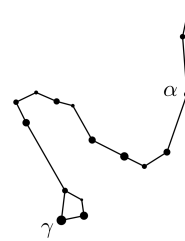


Abbildung 17: Drache

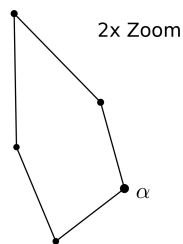


Abbildung 18: Kepheus

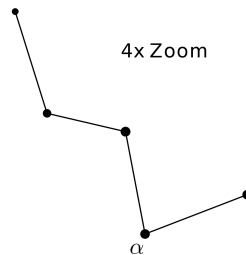


Abbildung 19: Cassio-
peia
(Himmels-W)

Von großer Bedeutung für die geografische Orientierung waren seit jeher bestimmte Sternbilder der Zirkumpolarregion.

- Der kleine Wagen ist nicht so leicht auszumachen wie seine größeren Nachbarn „Großer Wagen“ und „Cassiopeia“.
- Der kleine Wagen (und damit auch der Polarstern) befindet sich in etwa in der Mitte zwischen dem Sternbild Cassiopeia und dem großen Wagen.
- Die Strecke zwischen den zwei hinteren Kastensternen des großen Wagens wird fünf mal verlängert, um auf die Position des Polarsterns zu kommen.

Sternbilder

Es gibt Sterne am Himmel, welche nicht Zirkumpolar sind. Das bedeutet, dass diese nicht das ganze Jahr über am Himmel zu sehen sind. Deshalb gibt es Wintersternbilder, Frühjahrssternbilder, Sommersternbilder und Herbststernbilder. Wenn man im Winter am Abendhimmel nach Süden schaut, dann sieht man höchstwahrscheinlich das Sternbild Orion und zu späterer Stunde auch den Stier, da diese auf der nördlichen Erdhalbkugel typische Wintersternbilder sind.

Frühjahrssternbilder

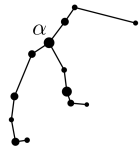


Abbildung 20: Perseus

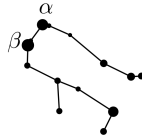
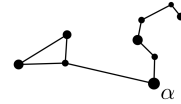
Abbildung 21: Zwillinge
(Gemini) Castor, Pollux

Abbildung 22: Löwe

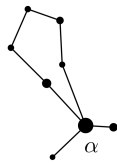


Abbildung 23: Bootes

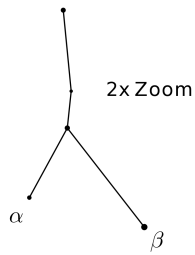
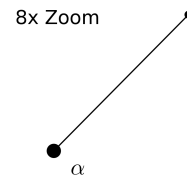
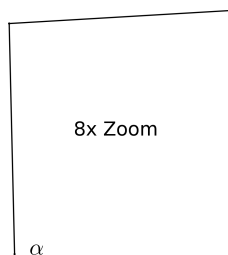


Abbildung 24: Krebs

Abbildung 25: Kleiner
HundAbbildung 26: Haar der
Berenike

Sommersternbilder

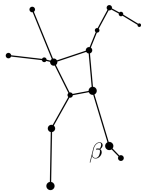


Abbildung 27: Herkules

4x Zoom



Abbildung 28: Krone
(Corona)

Herbststernbilder

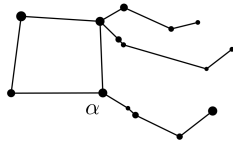


Abbildung 29: Pegasus

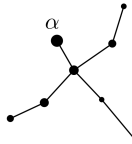


Abbildung 30: Schwan
(Cygnus)

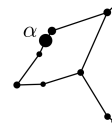


Abbildung 31: Adler
(Aquila)

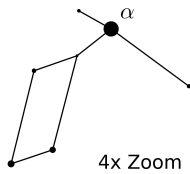


Abbildung 32: Leier

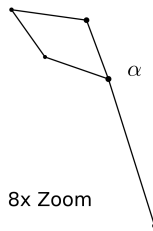


Abbildung 33: Delfin

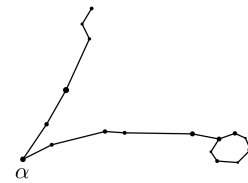


Abbildung 34: Fische

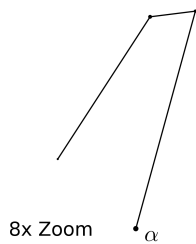


Abbildung 35: Füllen

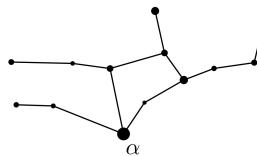
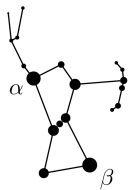


Abbildung 36: Jungfrau

Wintersternbilder



2x Zoom

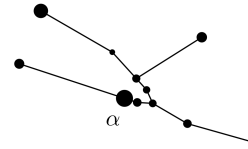
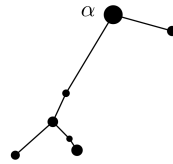


Abbildung 37: Orion

Abbildung 38: Großer Hund

Abbildung 39: Stier

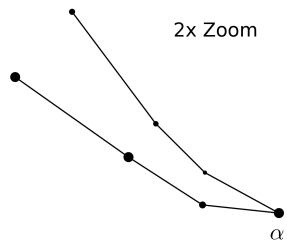


Abbildung 40: Andromeda

Kapitel 5

Die scheinbare tägliche Bewegung der Gestirne



Abbildung 41: Strichspuraufnahme. Die Blickrichtung ist Norden.

Ein Fixstern bewegt sich pro Stunde um 15° von Ost nach West über den Himmel. Er geht also genau wie die Sonne im Osten auf und im Westen unter.

Sterne, die so hoch stehen, dass sie nicht untergehen, werden *Zirkumpolarsterne* genannt. Also gibt es eine Zone von Zirkumpolarsternen auf der Nordhalbkugel und eine Zone Zirkumpolarsterne auf der Südhalbkugel. Das hat mit den Sternen eigentlich nichts zu tun, weil es nur darum geht, ob diese Sterne trotz Drehung der Erde noch sichtbar bleiben. Wenn sich der Beobachter am Äquator befindet, dann gibt es für ihn keine Zirkumpolarsterne, weil sich der gesamte Himmel über ihm bewegt. Das ist natürlich nur subjektiv, denn in Wirklichkeit stehen die Sterne still, und die Erde dreht sich unter ihnen.

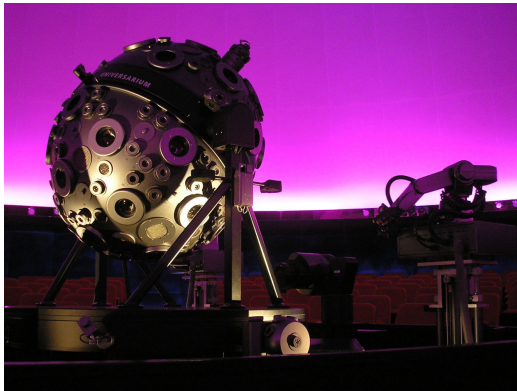


Abbildung 42: Projektor im Planetarium

Das können Sie sich gerne mal in einem Planetarium zeigen lassen. Eine Reise vom Nordpol über den Äquator zum Südpol, wo sie mal die Sterne des Südhimmels betrachten können, dauert dort nur wenige Minuten.

Fachbegriffe

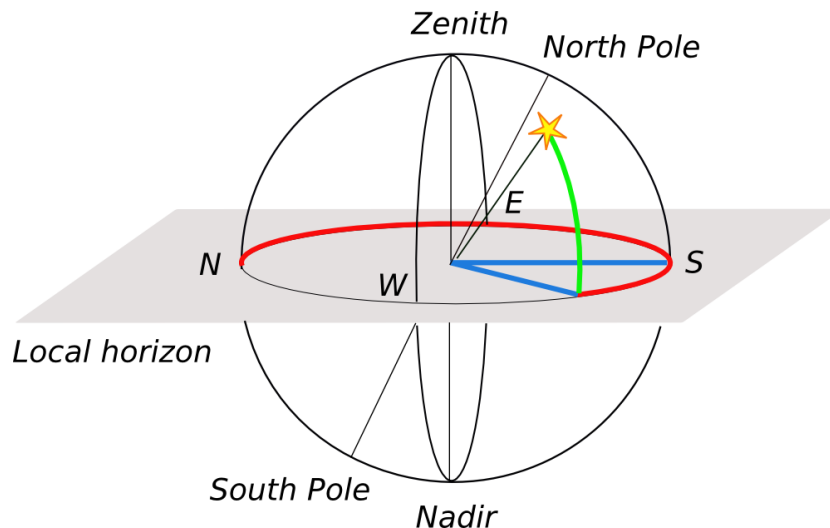


Abbildung 43: Himmelskoordinatensystem

Ekliptik

Als Ekliptik wird die gedachte Ebene bezeichnet, in der die Erde um die Sonne kreist. In der nebenstehenden Zeichnung ist das die graue Ebene. Die Bahnebenen der anderen Planeten verlaufen fast parallel zur Ekliptik, mit Abweichungen von nur 1 Grad (Jupiter, Uranus) bis 7 Grad (Merkur). Die Mondbahn ist um 5,145 Grad gegenüber der Erdbahn geneigt.

Neigung der Erdachse

Die Erdachse steht nicht senkrecht zur Ekliptik, sondern ist gegenwärtig um etwa 23 Grad gegen die Senkrechte geneigt. Die Erde dreht im Laufe des Jahres abwechselnd die Nord- und Südhalbkugel etwas mehr zur Sonne. Dadurch entstehen die Jahreszeiten. An den zwei Zeitpunkten im Jahr, an denen die Sonne den Himmelsäquator überquert, tritt die Tag-und-Nacht-Gleiche (Äquinoktium) ein. Wenn die Sonne im März von der südlichen zur nördlichen Erdhalbkugel wechselt, durchläuft sie den sogenannten *Frühlingspunkt* und markiert damit den astronomischen Frühlingsanfang.

Präzession

Genau wie ein schnell rotierender Spielzeugkreisel fällt die Erde nicht um. Dass die Anziehungskräfte von Mond und Sonne die Gezeiten verursachen, ist allgemein bekannt. Das Aufeinanderprallen dieser Kräfte führt zu einer langsamen taumelnden Bewegung der Erdachse, der sogenannten Präzession: Die Erdachse beschreibt einen Bogen am Himmel und sie braucht etwa 26.000 Jahre dafür.

Koordinatensysteme

Deklination

Auf gedruckten Sternkarten und in Tabellen werden für jeden Stern zwei Koordinaten angegeben: Die *Deklination* und die *Rektaszension*. Diese Werte werden auf der ganzen Welt einheitlich benutzt.

Eine gedachte Ebene durch den Äquator der Erde nennt man den „Himmelsäquator“. Alle Sterne, die genau in dieser Äquatorialebene liegen, haben eine Deklination von 0 Grad. Sterne nördlich des Himmelsäquators haben eine positive Deklination, die darunter liegen eine negative Deklination und die Erdachse hat eine Deklination von 90 Grad. Ein Stern, der in Deutschland im Zenit steht, hat eine Deklination zwischen 49 Grad (im Süden) bis 52 Grad (in Norddeutschland). Die Deklination eines Sterns kann man leicht mit einem Winkelmesser bestimmen, denn dieser Wert beschreibt nur den Abstand eines Sternes am Himmel zum Himmelsäquator in Grad und ändert sich nicht, wenn bei dieser Betrachtung die minimale Änderung durch die Präzession vernachlässigt wird.

Eigentlich ist die Deklination der Astronomen identisch mit dem geografischen Breitengrad, nur die Namen sind verschieden.

Der Nordpolarstern „[Polaris](#)“ oder auch „Alpha UMi“ im Sternbild „Kleiner Bär“ hat nur zufällig die Funktion eines Polarsternes, weil er ein hellerer Stern in der Nähe der Polachse der Erde ist. Auf der Südhalbkugel gibt es keinen äquivalenten „Südpolarstern“. Der Nordpolarstern befindet sich nicht genau auf der Polachse der Erde, sondern er liegt mit einer Deklination von 89 Grad 17 Bogenminuten und 13 Bogensekunden fast ein Grad daneben. Das ist nicht weiter schlimm, denn in den nächsten 100 Jahren wird er sich weiter in Richtung Polachse bewegen und ab dann wieder weiter vom Pol entfernen. In etwa 2200 Jahren wird der Stern *Er Rai* unser Polarstern sein. Um das Jahr 7000 nach Christus wird der Stern [Alderamin](#) zum Polarstern. Zu diesem Zeitpunkt wird *Polaris* bereits einen Abstand von

36 Grad zur Polachse besitzen. Nach 26.000 Jahren wenn der Zyklus der Präzession beendet ist, dann steht Polaris wieder auf der gleichen Deklination, auf der er heute steht.

Rektaszension

Um die Position jedes Sterns anzugeben, wird neben der Deklination noch eine zweite Winkelangabe benötigt. Für Punkte auf der Erdoberfläche gibt man die „geografische Länge“ an: Das ist der Winkelabstand zu einem willkürlich gewählten „Nullmeridian“ (der aus historischen Gründen durch die Sternwarte Greenwich bei London geht). Das Analogon zur „geografischen Länge“ nennt man *Rektaszension*.

Für Himmelskoordinaten kann man den Greenwich-Meridian aber nicht als Bezug nehmen. Man brauchte einen Punkt am Himmel, der sich nicht bewegt und der leicht zu bestimmen ist. Als Bezugspunkt wurde deshalb der *Frühlingspunkt* gewählt. Er ist der Schnittpunkt der Ekliptik mit dem Himmelsäquator.

Den Winkel, den ein Objekt mit dem himmlischen Längengrad des Frühlingspunktes bildet, wird als Rektaszension bezeichnet. Der Rektaszensionswert wird von diesem in östlicher Richtung vorangezählt. Die Rektaszension wird in der Form Stunden, Minuten und Sekunden (gelegentlich auch Stunden und Minuten mit Dezimalunterteilung der Minuten) angegeben. Hierbei entspricht 1 Stunde 15 Grad, eine Rektaszensionsminute 15' (Bogenminuten) und eine Rektaszensionssekunde 15" (Bogensekunden).

Die Rektaszensionszeit hat nichts mit der Uhrzeit zu tun! Es handelt sich um eine Koordinatenangabe. Davon sollte man sich nicht verwirren lassen.

Epoche Der Frühlingspunkt ist aber leider kein fester Wert. Er ändert seine Position langsam, aber beständig. Mehr noch: Nichts am Himmel bleibt so, wie es ist. Die angeblich unbeweglichen Sterne, die „Fixsterne“ bewegen sich. Dadurch verändern sich auch die Sternbilder. Als die Menschen den Sternbildern Namen gaben, sahen die Sternbilder anders aus. Fast alles verändert sich im Universum: Die Erddrehung wird durch die Gezeiten gebremst und verlangsamt sich. Der Mond entfernt sich von der Erde, die Sonne verliert durch die Strahlung mehr Masse als sie durch hineinstürzende Meteoriten gewinnt. Wegen der abnehmenden Sonnenmasse entfernt sich die Erde von der Sonne. Die Sonne umkreist das Zentrum der Milchstraßen-Galaxis, unsere Galaxis bewegt sich mit den anderen Galaxien um irgend ein entferntes Zentrum, die Sterne entfernen sich voneinander.

Manche Veränderungen brauchen viele Jahrhunderte, um mit dem bloßen Auge sichtbar zu werden, andere brauchen Millionen oder Milliarden Jahre. Wenn die Zeiträume ganz und gar unüberschaubar werden, wird von „astronomischen Zeiträumen“ gesprochen. Wann immer Sie in der Astronomie das Wort „unveränderlich“ lesen, ist es nur eine Vereinfachung.

Weil sich der Frühlingspunkt in Folge der Präzession langsam rückläufig bewegt, muss stets eine Jahreszahl, die sogenannte *Epoche* angegeben werden, für die der Wert des Frühlingspunktes als zeitweilig unveränderlich angenommen wird. Derzeit gilt die Epoche 2000 für aktuelle, gedruckte Sternkarten. Alle 50 Jahre beginnt eine neue Epoche, und es werden neue Tabellen der Sternpositionen erstellt. Für Hobbyastronomen ist das genau genug, weil die Abweichung selbst in 10 Jahren nur ein paar Bogensekunden beträgt. Sternpositionen mit der Epoche 2000 werden auch 2045 noch ausreichend genau sein, so dass der Stern im Fernrohr zu finden ist. Mit Astronomiesoftware ist es möglich, noch genauere Positionen der Sterne berechnen zu lassen. Dafür muss dann allerdings statt der 2000 die aktuelle Jahreszahl als Epoche angegeben werden. Zum Beispiel J2008 für das julianische Äquinoktium, welches sich nach dem Julianischen Kalender richtet, damit alle ihre Berechnungen nach dem gleichen Zeitsystem erstellen können.

Ephemeriden

„plánetes“ ist das altgriechische Wort für „Wanderer“. Planeten, aber auch Sonne und Mond bewegen sich so schnell, dass sie im Verlaufe des Jahres vor immer neuen Sternbild-Hintergründen zu sehen sind. Deshalb werden sie nicht in die Sternkarten eingezeichnet. Statt dessen werden ihre Positionsangaben in Tabellen erfasst.

Eine solche Tabelle der Positionen wird von den Astronomen als *Ephemeride* bezeichnet. Sie enthalten stets die Koordinaten (meist in Form von Rektaszension und Deklination unter Angabe des Zeitpunktes für den der Frühlingspunkt gewählt wird) der jeweiligen Gestirne. Als Beispiel hier die *Ephemeride des Mars* für die ersten drei Tage des Jahres 2007:

Datum	Rektaszension	Deklination	Elongation
01.01.2007	17h09m34,0s	-23°14'16"	21,8° West
02.01.2007	17h12m42,2s	-23°18'34"	22,0° West
03.01.2007	17h15m50,8s	-23°22'38"	22,3° West

Datum	Phase	Helligkeit	Winkeldurchmesser
01.01.2007	0,99	1,5 mag	3,93"
02.01.2007	0,98	1,5 mag	3,93"
03.01.2007	0,98	1,5 mag	3,94"

Daneben können Ephemeriden noch andere interessante Parameter enthalten. Diese sind zum Beispiel:

- der Winkelabstand zur Sonne, die sogenannte *Elongation*. Ein Objekt mit kleiner Elongation steht nahe bei der alles überstrahlenden Sonne am Himmel und kann in der Regel nicht beobachtet werden.
- die *Helligkeit* in Magnitudo wird abgekürzt mit *mag*. Je positiver dieser Wert ist, desto dunkler ist das Objekt. Objekte mit einer Helligkeit von 6 mag. sind bei dunklem Himmel ohne Lichtverschmutzung vom Menschen gerade noch zu erkennen. Für Helligkeiten über 6 mag. wird deshalb ein Fernglas oder ein Teleskop benötigt. Der Stern Wega hat eine Helligkeit von 0 mag. und Sirius als hellster Stern am Himmel eine Helligkeit von -1,5 mag.
- der scheinbare *Winkeldurchmesser* gibt die Größe des Objektes am Himmel an. Ein Bogengrad kann in 60 Bogenminuten ($60'$) und eine Bogenminute kann in 60 Bogensekunden ($60''$) aufgeteilt werden. Der Mond und die Sonne haben etwa einen Winkeldurchmesser von $0,5^\circ$ (Bogengrad) bzw. $1800''$ (Bogensekunden).
- Auf- und Untergangszeiten können in Ephemeriden enthalten sein. Allerdings sind diese stark ortsabhängig!
- Für manche Gestirne werden auch besondere Parameter in den Ephemeriden angegeben.
 - Mondephemeriden enthalten häufig das sogenannte Mondalter, das ist die seit dem letzten Neumond verflossene Zahl der Tage.
 - Bei Mond, Merkur, Venus und Mars sind Angaben zum *Phasenwinkel* üblich.
 - Ephemeriden des Saturn enthalten häufig die Angabe der Ringneigung, da diese für Fernrohrbeobachter von großem Interesse ist.

Kapitel 6

Astronomische Beobachtungsinstrumente

Teleskope

Linsen- und Spiegelteleskope basieren auf unterschiedlichen Arbeitsprinzipien. Jeder Teleskoptyp hat unterschiedliche Stärken und Schwächen.

Linsenteleskop

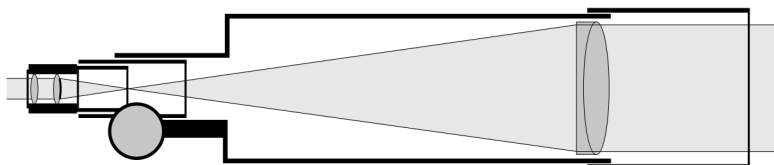


Abbildung 44: Linsenteleskop (Refraktor)

Das Linsenteleskop, auch Refraktor genannt, geht auf eine Entdeckung des Engländers Roger Bacon zurück, der entdeckte, dass sich Lichtstrahlen durch Linsen bündeln lassen. Das erste Linsenteleskop wurde von dem Holländer Hans Lipperhey um 1608 gebaut. Als Galileo Galilei davon erfuhr, baute er sich sofort eines nach. Die moderne Astronomie war geboren. Das erste Teleskop des Galileo Galilei hatte eine Vergrößerung von einem Faktor 9, was es mit einem modernen Fernglas vergleichbar macht. Erst spätere Konstruktionen erreichten eine bis zu dreißigfache Vergrößerung. Das Linsenteleskop besteht mindestens aus einem

Objektiv, welches das Licht bündelt und einem Okular in der Nähe des Brennpunkts.

Spiegelteleskop

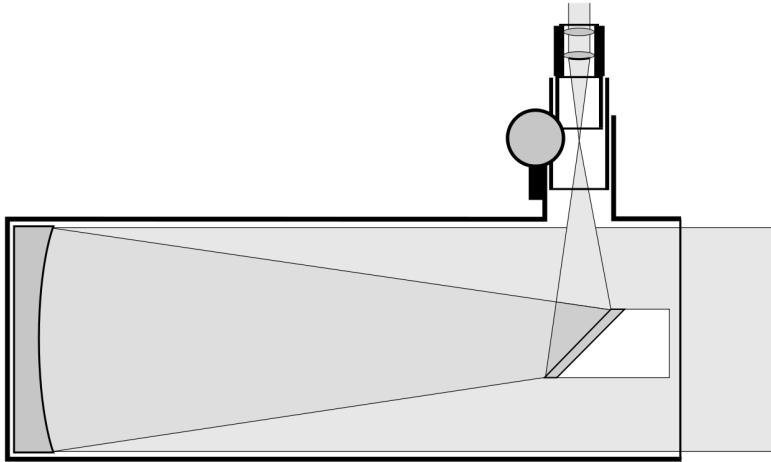


Abbildung 45: Newton Spiegelteleskop

Das Spiegelteleskop, auch Reflektor genannt, ist eine etwas modernere Erfindung als das Linsenteleskop und hat ein anderes Wirkungsprinzip.

Bei dem Spiegelteleskop wird das Licht mit einem großen Parabolspiegel aufgefangen und über mindestens einen weiteren Spiegel aus dem Strahlengang herausgeleitet, um das eingefangene Licht dann mit einem Okular betrachten zu können.

Vergleich von Linsen- und Spiegelteleskopen

Linsen brechen Licht unterschiedlicher Wellenlängen verschieden stark, so dass Licht unterschiedlicher Farbe jeweils einen anderen Brennpunkt hat. Farbsäume sind die Folge davon, da blaues Licht von Linsen stärker gebrochen wird als grünes, gelbes und rotes Licht. Deshalb liegt der blaue Brennpunkt ein Stück weiter zur Linse hin, als der rote Brennpunkt. Im Vergleich zu dem Teleskop, welches von Galileo Galilei benutzt wurde, sind moderne Teleskope jedoch um Klassen besser.

Spiegelteleskope haben diesen Farbfehler nicht. Aber sie haben einen anderen Mangel: Durch die parabolische Form des Spiegels besitzen sie die unangenehm-

me Eigenschaft, an den äußeren Ecken des Bildes einen runden Lichtstrahl zur Tropfenform zu verzerren. Je nach Brennweite und Qualität des Teleskopes sind diese Effekte unterschiedlich stark zu sehen. Je größer die Brennweite ist, desto weniger ist dieser Effekt ausgeprägt.

Die Montierung

Den „Ständer“ des Teleskops bezeichnen die Astronomen als Montierung. Im Unterschied zu einem Stativ muss sie sehr stabil und schwingungsfrei sein. Zudem muss sie dem Beobachter ermöglichen, den Sichtbereich des Fernrohrs immer wieder an das zu beobachtende Objekt anzupassen (nachzuführen). Dies kann mit modernen, motorbetriebenen Montierungen auch vollautomatisch erfolgen. Einige Steuerungen der Montierung haben sogar einen Computer, in dem die Positionen der wichtigsten Objekte eingespeichert sind.

Äquatorialmontierung

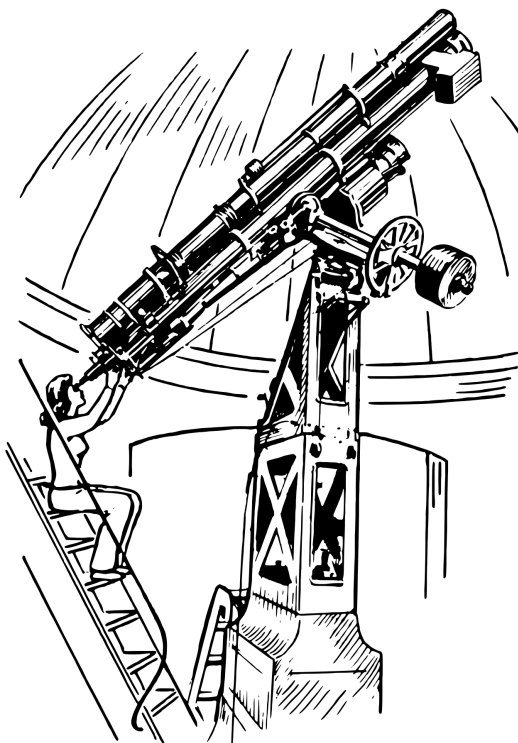


Abbildung 46: Teleskop mit äquatorialer Montierung

Die bessere Montierung für Astrofotografie ist die Äquatorialmontierung, auch deutsche Montierung genannt. Die Achse wird schräg gestellt und auf den Polarstern (genauer: auf den Himmelspol) ausgerichtet. Die Schräglage ist abhängig von der geographischen Breite des Teleskopstandortes. In diesem Fall genügt für die Sternbeobachtung ein einziger Elektromotor, der die Rektaszensionsachse (Stundenachse) entgegen der Erdrotation mit der gleichen Geschwindigkeit dreht. Die Drehung der Erde wird ausgeglichen, so dass ein einmal eingestellter Stern immer im Blickfeld des Beobachters bleibt.

Die Planeten, der Mond und Kometen bewegen sich mit einer anderen Geschwindigkeit am Himmel als die Sterne. Für diese Beobachtungen reicht der Motorantrieb der Äquatorialmontierung nicht aus. Das Teleskop muss entweder in der Deklination von Hand nachgeführt werden oder mit einem zweiten Motor ausgestattet werden.

Azimutalmontierung

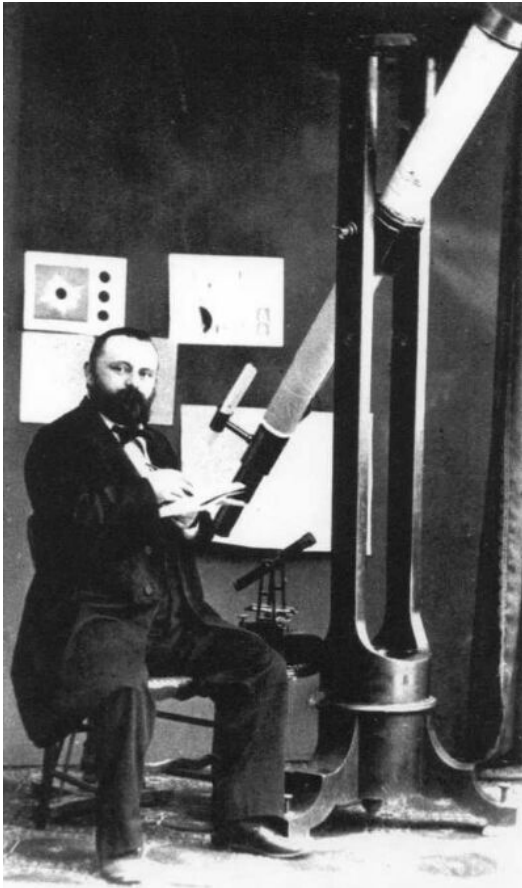


Abbildung 47: Teleskop mit azimuthaler Montierung

Die Azimutalmontierung ist einfacher aufgebaut als die Äquatorialmontierung, da sie nicht auf den Himmelsäquator ausgerichtet wird. Es kann damit die Höhe zum Horizont und der Azimut eingestellt werden. Um einem Stern in seiner Bahn zu folgen, müssen immer beide Achsen verstellt werden. Für den Amateur reicht das zur Beobachtung mit dem Auge aus, aber für fotografische Aufnahmen ist die Azimutalmontierung nur schlecht geeignet, da bei ihr eine Bildfelddrehung bedingt durch die abweichenden Achsen festzustellen ist. Große optische Teleskope und Radioteleskope benutzen trotzdem meistens die Azimutalmontierung, weil sie in dieser Baugröße kostengünstiger herzustellen ist als eine Äquatorialmontierung.

Raumflugkörper

Es gibt viele verschiedene Satelliten, welche zu astronomischen Forschungen im Weltraum eingesetzt werden. Der Berühmteste davon ist das Weltraumteleskop Hubble, welches am 25. April 1990 gestartet wurde. Satelliten werden eingesetzt, um die Atmosphäre zu überwinden, welche die meisten Lichtstrahlen absorbiert und verzerrt. Im Weltall können die Bilder ungehindert von Störungen aufgenommen werden. Auf der Erde schlecht empfangbare Spektralbereiche wie Infrarot-, Ultraviolett- und Röntgenstrahlen werden heute von Speziale Satelliten aufgefangen. Früher hat man für solche Beobachtungen auch Flugzeuge und Ballons verwendet. Es gibt zu viele Satelliten, um hier alle aufzulisten.

Hubble-Teleskop



Abbildung 48: Hubble Teleskop

Hubble ist ein Satellit 600 km über der Erdoberfläche, der hauptsächlich im sichtbaren Wellenlängenbereich Aufnahmen von Sternen und Galaxien anfertigt. In seiner mittlerweile mehr als 15 jährigen Betriebszeit hat Hubble Tausende von sehr beeindruckenden Bildern unseres Universums geschossen und so manches Geheimnis zu lüften geholfen. Ursprünglich war gar nicht geplant, Hubble so lange einzusetzen, da ein Nachfolger ihn nach ca. 10 Jahren ablösen sollte. Hubble mit seinem Spiegelteleskop von etwa 2,4 Metern Durchmesser wurde schon mehrfach im All repariert und erweitert, was allerdings nach der Katastrophe der Columbia und einigen weiteren Rückschlägen der NASA stark vermindert wurde, da weitere Reparaturen zu kostenaufwändig und zu gefährlich wären. Deshalb wäre es nur noch eine Frage der Zeit, wann die Elektronik von Hubble endgültig

ausfallen würde. Um das zu vermeiden, hat die Nasa entschieden trotz des erhöhten Risikos für die Astronauten, Hubble noch einmal auf den neuesten Stand der Technik zu bringen, da sonst eines der wichtigsten Fernrohre für die Wissenschaft verloren wäre.

Soho

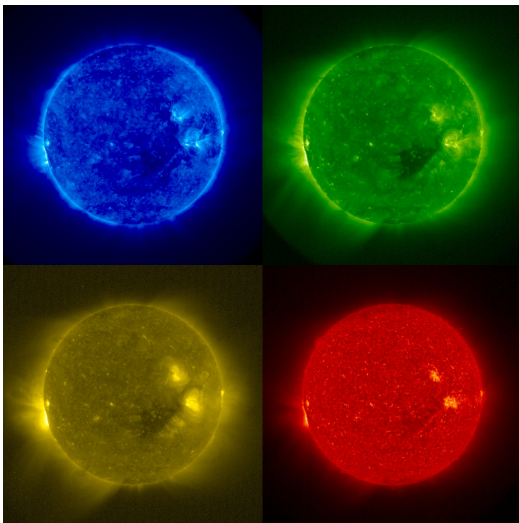


Abbildung 49: Bilder der Sonne aufgenommen durch den Soho Satelliten

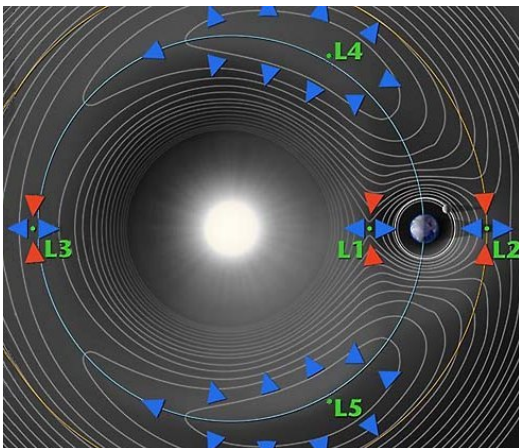


Abbildung 50: Lagrangepunkte des Erde-Sonne Systems

Soho ist ein Satellit, der 1,5 Millionen Kilometer von der Erde entfernt alle sechs Monate den Lagrangepunkt **L1** zwischen der Erde und der Sonne umkreist. An diesem Punkt sind die Anziehungskräfte der Erde und der Sonne so gut wie aufgehoben, weshalb er sich dort mit sehr geringem Energieaufwand halten kann.

Soho untersucht täglich die Emissionen der Sonne mit verschiedenen Sensoren und sendet die Daten anschließend zur Erde. Dort werden die Daten zu Fotos umgewandelt und dann im Internet veröffentlicht. Die Sonne wird unter anderem im UV-Bereich fotografiert, womit die magnetischen Stürme innerhalb der Photosphäre der Sonne besonders gut zu beobachten sind.

Kapitel 7

Teleskopbedienung

Bestandteile eines Teleskops

Teile des Fernrohrs am Beispiel eines Newton-Reflektors

Der *Tubus* (1) des Fernrohrs ist zumeist aus Kunststoff, Aluminiumblech oder aus Hartpappe gefertigt. Darin befestigt ist der *Hauptspiegel* (2), der auf einer einstellbaren Vorrichtung gelagert ist.

Am Kopfende befindet sich die *Spinne* (3), welche den Sekundärspiegel trägt. Auch dieser ist einstellbar gelagert. Das Licht, welches durch das Kopfende eintritt, die Spinne passiert, dann vom Hauptspiegel zum Sekundärspiegel geworfen wird, verlässt durch den längenverstellbaren *Okularauszug* (5) das Teleskop durch ein *Okular* (6).

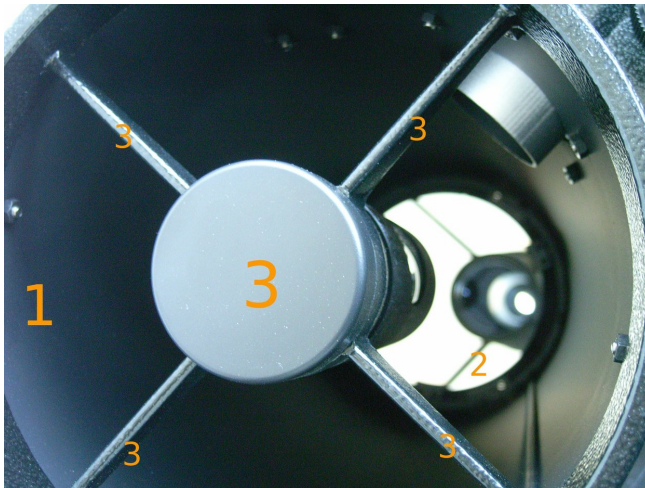


Abbildung 51: Blick in ein Newton-Teleskop



Abbildung 52: Okular an einem Newton Teleskop

Die Bildschärfe kann am Okularauszug an einem *Schraubrad* (7) eingestellt werden. Manche Okularauszüge verfügen sogar über eine *Feststellschraube* (8), mit der die einmal gefundene scharfe Abbildung gegen unbeabsichtigtes Verstellen fixiert werden kann. Die Okulare werden mit mehreren *Klemmschrauben* (9) im Okularauszug befestigt, so dass sie nicht herausfallen können.



Abbildung 53: Newton Teleskop

Der Okularauszug hat bei Amateurteleskopen für die Befestigung des Okulars meistens einen Innendurchmesser von $1 \frac{3}{4}$ Zoll. Bei großen Teleskopen kann der Okularauszug auch 2 Zoll Durchmesser haben.



Abbildung 54: Blick durch den Sucher eines Newton Teleskops

Das *Sucherfernrohr* (10) ist auf dem Tubus angebracht und hat einen viel größeren Sichtbereich als das Teleskop, um die Suche nach Sternen am Himmel zu erleichtern. Es ist mit einem Fadenkreuz ausgestattet, um die Mitte zu markieren und es

dadurch dem Astronomen zu erleichtern, den Stern auf die Mitte des viel engeren Sichtfeldes des Telegkops einzustellen.

Die Abbildung ist durch das Sucherfernrohr auf dem Kopf stehend, weil der Blick durch das Teleskop ebenfalls gedreht ist. Die Sichtachse des Sucherfernrohrs sollte möglichst am Abend nochmals überprüft werden, ob sie noch mit dem Teleskop übereinstimmt und es sollte gegebenenfalls entsprechend nachjustiert werden.

Teleskope sind empfindliche optische Geräte, welche geschont werden müssen, um lange Freude daran zu haben. Deshalb sollte niemals mit den Händen die Spiegel- oder die Linsenoberfläche berührt werden, weil sonst diese durch das Körperfett verschmutzen. Linsen sind vergütet. Das bedeutet, dass sie eine sehr empfindliche Beschichtung haben. Staub auf einem Spiegel sollte nicht mit einem Lappen abgerieben werden, weil die Oberfläche des Spiegels dadurch zerkratzt wird. Ein wenig Staub auf dem Spiegel stört weniger als ein zerkratzt Spiegel. Er wird maximal alle zwei Jahre ausgebaut und mit destilliertem Wasser abgspült.

Berechnung der Vergrößerung

Um die Vergrößerung des Teleskopes herauszubekommen, muss die Brennweite des Objektivs durch die Brennweite des Okulars dividiert werden. Fünfzehn bis zwanzig Millimeter Okularbrennweite ist dabei das „Normalokular“, da man bei diesem eine ausreichende Vergrößerung hat und ein relativ großer Bereich des Himmels gesehen werden kann. Die meisten Objekte sind damit gut zu beobachten. Eine Brennweite von 40 mm ermöglicht es, große zusammenhängende Sternfelder beobachten zu können. Mit einem 10 mm oder 7,5 mm Okular können Planeten nahe herangeholt und kleine Krater auf dem Mond studiert werden.

Teleskopbrennweite : Okularbrennweite = Vergrößerung
$1000\text{mm} : 20\text{mm} = 50$
$800\text{mm} : 10\text{mm} = 80$
$2800\text{mm} : 20\text{mm} = 140$

Eine zu starke Vergrößerung ist nicht zu empfehlen, da so auch die Verzerrung der Atmosphäre mitvergrößert wird. Das Bild wird dadurch unruhig.



Abbildung 55: Deutsche Montierung und ihre Freiheitsgrade

Deutsche Montierung im Detail erklärt

Amateurmontierungen haben meist ein Dreibeinstativ aus Holz oder aus Aluminium, um die eigentliche Mechanik der Montierung zu tragen. Die äquatoriale Montierung besitzt zwei Achsen, die vor der Beobachtung auf die Himmelsachsen ausgerichtet werden müssen.

Das Teleskoprohr (der Tubus) ist mit Rohrschellen auf der Montierung angebracht. Häufig besitzt es eine spezielle Schnellbefestigung, um einen schnellen Abbau bei plötzlich einsetzendem Regen zu ermöglichen.

Die Achsen der Montierung werden in der Regel mit flexiblen Wellen über die Schneckengetriebe eingestellt. Für schnelle und große Änderung der Ausrichtung, wird die *Klemmung* der jeweiligen Achse kurzzeitig gelöst. Die Klemmung ist eine Kupplung zwischen dem Getriebe der Achse und dem frei beweglichen Teil der Achse.

In der Rektaszensionsachse kann meist ein *Polsucherfernrohr* eingebaut werden. Jede der beiden Achsen hat eine Skala. Eine fest montierte Deklinationsskala und eine leicht verstellbare Skala für die Rektaszensionsachse (RA auch Stundenachse genannt).

Für eine feine Einstellung der Ausrichtung der Montierung auf den Himmelspol gibt es an der Montierung spezielle Einstellschrauben, mit denen die Position der Montierung auf dem Stativ oder dem Sockel sehr feinfühlig eingestellt werden kann. (Azimut und Polhöhe)

Aufstellung der Montierung

Die Aufstellung sollte wenn möglich am frühen Abend erfolgen. Das hat erstens den Vorteil, das noch alles ohne Taschenlampe gut erkannt werden kann und zweitens soll das Teleskop sich schon an die Außentemperatur anpassen, was für die Beobachtung von Sternen wichtig ist, da selbst kleine Unterschiede in der Temperatur des Spiegels oder der Linse Auswirkungen auf die Abbildung haben kann. Wenn das Teleskop wärmer als die Umgebung ist, dann steigt in ihm warme Luft auf und bildet schlieren im optischen Weg. Wenn das Teleskop kälter ist als die Umgebung, dann beschlagen die Oberflächen mit Wassertröpfchen aus der Umgebungsluft.

Ausrichtung der Stundenachse auf den Himmelspol

Ausrichtung mit Polsucher

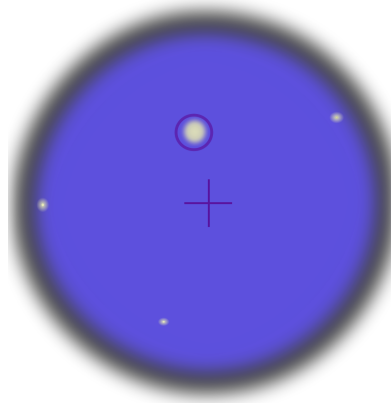


Abbildung 56: Blick durch den Polsucher

Moderne äquatoriale Montierungen für Amateure haben fast alle seit ca. 1985 ein Polsucherfernrohr eingebaut oder zumindest die Möglichkeit eines nachzurüsten. Solch ein Polsucher ist ein kleines Fernrohr in der Polachse der Montierung, durch das der Polarstern mit einer Markierung im Polsucherfernrohr abgedeckt wird und dadurch die Polachse der Montierung gut mit der Himmelsachse in Übereinstimmung gebracht werden kann. Es bedeutet eine große Erleichterung für jemanden, der häufig die Montierung an verschiedenen Orten aufstellen muss, weil es für die visuelle Beobachtung ausreichend genau ist. Wer allerdings fotografische Aufnahmen vom Himmel mit Belichtungszeiten über zehn Sekunden machen möchte, sollte die Montierung *Einscheinern*.

Das Kreuz kennzeichnet die Himmelsachse. Der helle Polarstern wird in die Mitte des kleinen Kreises eingestellt.

Ausrichtung durch Einscheinern Das Einscheinern ist die Genaueste und zugleich aufwändigere Art das Teleskop auszurichten. Dies ist aber für Montierungen die fest installiert sind und welche für die Astrofotografie benutzt werden sollen unerlässlich, weil sonst die gemachten Aufnahmen wegen der Bildfelddrehung leicht verschwommen sind. Bei professionellen Sternwarten kann das genaue Ein-

scheinern mehrere Nächte dauern. Dazu wird in der Regel ein Fadenkreuzokular benötigt, um die Sterne genau an einer Position einzustellen und zu beobachten, ob der Stern im Westen oder im Osten sich in der Deklinationsachse aus dem Fadenkreuz bewegt. Aus der jeweiligen Bewegungsrichtung kann dann auf die Korrekturrichtung geschlossen werden. Wenn sich der Stern nicht mehr aus dem Fadenkreuz bewegt, ist die Rektaszensionsachse genau auf den Himmelspol ausgerichtet.

Eine modernere und fast ebenso genaue Variante des Einscheinerns ist mit einer CCD-Kamera oder einer umgebauten Webcam, welche im Brennpunkt befestigt wird, möglich. Dadurch kann auf die Anschaffung eines teuren Fadenkreuzokulars verzichtet werden. Der Vorteil dabei ist auch, dass diese Variante deutlich schneller auszuführen geht, als die Variante mit dem Fadenkreuzokular. Außerdem kann die Abweichung live beobachtet und die (möglichst behutsame) Korrektur an der Montierung direkt überprüft werden. Der Nachteil ist, dass dazu ein Laptop mit USB-Anschluss benötigt wird. Der herausragende Vorteil ist, dass damit gleichzeitig die mechanische Ungenauigkeit der Montierung – in Fachkreisen *Schneckenfehler* genannt – bis auf die Bogensekunde genau gemessen werden kann. Dazu muss nur über die Zeitspanne mindestens einer Schneckenradumdrehung der RA-Achse, die tatsächliche Abweichung der Sternenposition aufgenommen werden. Das dauert bei den meisten Montierungen zwischen 4 bis 10 Minuten.

Das erste Objekt einstellen

Positionskoordinaten

Jede Position auf der Erde kann durch Koordinaten, den Längen- und den Breitengrad, angegeben werden. Der Breitengrad ist die Größe, die für die Aufstellung der Montierung wichtig ist. Der Längengrad ist nötig, um die korrekte Ortszeit für den aktuellen Standort zu berechnen. Das ist wichtig, weil die Sternenkarten für den nullten Meridian berechnet wurden. Ein Teleskop in Berlin würde 13 Grad und 24 Bogenminuten davon abweichen. Die Sonne geht in Berlin fast eine Stunde früher auf als in Greenwich, da Berlin östlich davon liegt.

Berechnung der Wahren Ortszeit (WOZ)

In Deutschland gilt wie in allen Ländern der Europäischen Union die [Sommerzeit](#) (MESZ) im Sommer und (MEZ) im Winter. Das ist aber nicht die Sonnenzeit an der sich die astronomischen Ereignisse orientieren. Ein Grad Abweichung im

Längengrad vom Nullmeridian aus entspricht 4 Minuten Differenz in der Sonnenzeit. Der Nullmeridian verläuft durch die englische Stadt Greenwich in der Nähe von London.

Stehen wir mit unserem Teleskop während der Sommerzeit um 22.34 Uhr in Berlin, dann müssten wir die Sommerzeit erstmal in die **Koordinierte Weltzeit (UTC)** umrechnen. **UTC= MESZ - 2 h** **UTC= MEZ - 1 h**

z.B. 22.34 Uhr MESZ - 2 h = **20.34 Uhr UTC**

Da wir uns östlich des Nullmeridians befinden, müssen wir pro Längengrad 4 Minuten von der UTC abziehen, um auf die Ortszeit zu kommen.

13,24 x 4 Minuten = **52,96 Minuten**

20.34 - 53 Minuten = **19.41 Uhr WOZ**

In Sternwarten gibt es Uhren, die auf die Ortszeit eingestellt sind, um den Bedienern des Teleskops die dauernde Umrechnung zu ersparen.

Auswahl eines Objektes für die Beobachtung Nehmen wir an, dass wir am 15.07.2006 um 22.34 Uhr mit unserem Teleskop in Berlin stehen und den Jupiter beobachten wollen. Dazu sehen wir in die Ephemeridenliste, um herauszufinden, welche Himmelskoordinaten für Jupiter an der Montierung einzustellen sind.

Datum	Rektaszension	Deklination	Elongation
12.07.2006	14h28m00,0s	-13°27'34"	109,5° Ost
13.07.2006	14h28m04,0s	-13°28'10"	108,6° Ost
14.07.2006	14h28m08,7s	-13°28'50"	107,6° Ost
15.07.2006	14h28m14,0s	-13°29'33"	106,7° Ost

Datum	Phase	Helligkeit	Winkeldurchmesser
12.07.2006	0,99	-2,2 mag	39,52"
13.07.2006	0,99	-2,2 mag	39,41"
14.07.2006	0,99	-2,2 mag	39,29"
15.07.2006	0,99	-2,2 mag	39,18"

Die negative Deklination von über -13° zeigt an, dass der Jupiter zu dieser Zeit unterhalb des Himmelsäquators steht. Er wird daher wahrscheinlich nicht sichtbar sein.

Einstellen von Objekten am Teleskop

Jedes Objekt am Sternenhimmel hat eine Koordinate. Größere Montierungen besitzen meist Achsen, an denen die Koordinaten eingestellt und abgelesen werden können. Die Deklinationsschse (*Dec*) stimmt sofort nach der Aufstellung der Montierung mit den Himmelskoordinaten überein, doch die Rektaszension (*RA*) ändert sich ständig mit dem Lauf der Sterne. Wenn Sie die Skala für die Rektaszension am Teleskop benutzen wollen, wäre es sinnvoll, diese Achse mit einem Motor nachzuführen. Die Rektaszensionsachse muss vor einer sinnvollen Benutzung und nach jedem Lösen der Klemmung erstmal auf den Himmel geeicht werden. Dazu wird mit dem Teleskop ein bekannter Stern eingestellt und dann die RA-Skala an der Montierung auf die Rektaszension dieses Sterns gedreht.

Die RA-Skala ist verstellbar Zur Eichung wird ein bekannter Stern, möglichst in der Nähe des zu beobachtenden Objekts durch das Teleskop angepeilt. Wenn dieser *Eichstern* dort in der Mitte steht, die Klemmung fest ist und die Nachführung läuft, kann die Skala der RA-Achse auf die RA-Koordinaten dieses Eichsterns eingestellt werden. Dazu muss natürlich die RA-Koordinate des Eichsterns bekannt sein. (In Sternenkatalogen oder mit Astronomiesoftware können Sie das herausbekommen.) Die Skala ist nun geeicht bis zur nächsten Öffnung der Klemmung. Jetzt kann die Skala zum Einstellen jedes beliebigen Objektes benutzt werden. Das Objekt sollte mit einem 20 mm Okular auf jeden Fall im Sichtfeld erscheinen. Wenn nicht, war die Eichung ungenau, die Montierung ist nicht richtig ausgerichtet worden oder es wurde der Eichstern mit einem anderen verwechselt.

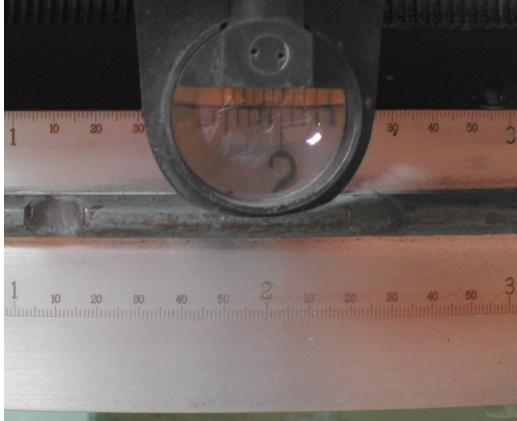


Abbildung 57: Scala der RA Achse mit Nonius

Eine andere Möglichkeit, Objekte am Himmel einzustellen wäre, sich von Stern zu Stern mit dem Auge oder dem Sucherfernrohr auf dem Teleskop an Hand von Sternenkarten vorzutasten. Dazu gehört aber, dass der Himmel dem Beobachter schon gut bekannt ist. Die Position des gesuchten Objektes sollte man sich möglichst vorher an Hand der Sternenkarte im Gedächtnis einprägen, da ein Einschalten von Beleuchtung während der Beobachtung unter Astronomen verpönt ist, weil dadurch die Anpassung des Auges an die Dunkelheit (die Dunkeladaption) wieder für eine Weile verloren geht. Rotes Licht beeinflusst die Dunkeladaption nicht sehr stark. Deshalb sind die Beleuchtungen und Taschenlampen in Sternwarten immer mit einem roten Licht ausgestattet.

Moderne Montierungen mit einem Computer und motorischer Nachführung müssen ebenso oft geeicht werden. Denn wenn die Klemmung gelöst ist, oder der Motor der RA-Achse kurz ausgeschaltet war, stimmt die RA-Koordinate nicht mehr mit den Himmelskoordinaten überein. Im Menü des Computers muss dann erst der Eichstern aus einer Liste herausgesucht werden. Es ist häufig so, dass der hellste Stern eines Sternbildes mit dem Griechischen Buchstaben α (Alpha) und dem lateinischen Namen des jeweiligen Sternbildes bezeichnet ist.

Liste von Sternen mit großer Helligkeit, welche über den Himmel verteilt sind und als Eichstern dienen können:

Name des Sterns	Sternbild	Kürzel	RA	Dec
Deneb	Schwan	α Cyg	20h41m37s	45°18'24"
Wega	Leier	α Lyr	18h37m08s	38°47'17"
Arkturus	Bootes	α Boo	14h15m58s	19°08'50"
Beteigeuze	Orion	α Ori	05h55m34s	7°24'36"
Sirius	Großer Hund	α CMa	06h45m32s	-16°43'29"
Schedir	Cassiopeia	α Cas	00h40m53s	56°34'50"
Capella	Fuhrmann	α Aur	05h17m14s	46°00'29"
Regulus	Löwe	α Leo	10h08m45s	11°55'57"
Spica	Jungfrau	α Vir	13h25m32s	-11°11'49"
Aldebaran	Stier	α Tau	04h36m20s	16°31'34"

(Sie können sich diese Liste abschreiben oder ausdrucken, um die Koordinaten bei der Beobachtung immer parat zu haben. Bei einer computergesteuerten Montierung genügt es aber, wenn nur die Namen und die Positionen der Sterne im Sternbild gelernt werden, da die Koordinaten im Computer der Steuerung gespeichert sind.)

Für diese Koordinaten gilt die Epoche 2007. Sie sind überall auf der Welt gültig und verändern sich wegen der Präzession nur mit der Zeit.

Kapitel 8

Fragen

Hier sind ein paar Fragen aufgelistet, um zu überprüfen, ob der Text aufmerksam gelesen wurde. Der Leser ist dazu aufgefordert, sich diese Fragen selbst zu beantworten. Die Lösungen stehen auf der nächsten Seite.

Allgemeines

1. Wie weit ist die Sonne von der Erde entfernt?
2. Was sind die zwei häufigsten Stoffe in der Sonne? (Tipp: Es sind Gase)
3. In welcher Himmelsrichtung geht die Sonne auf?
4. Wie heißen die zwei Planeten zwischen der Sonne und der Erde?
5. Wie weit ist der nächste Stern von unserer Sonne entfernt?
6. Wie lange braucht das Licht der Sonne zur Erde?
7. Auf welcher Ebene bewegen sich die Planeten um die Sonne?
8. Wie viele Kilometer ist der Mond von der Erde entfernt?
9. Wie heißen die beiden Wellenlängenbereiche die an das sichtbare Spektrum angrenzen und von unserem Auge nicht wahrgenommen werden?
10. Wie heißt der erste griechische Buchstabe?

Teleskopwissen

1. Welche zwei verschiedenen Arten von Teleskoptypen gibt es?
2. Wie stark ist die Vergrößerung eines Teleskops mit der Brennweite von 1000 mm und einem Okular von 10 mm?
3. Wie heißt das Sternbild, mit dem es möglich ist, den Polarstern zu finden?
4. Wie groß erscheint die Sonnenscheibe und der Mond für uns? (Angabe in Grad.)
5. Mit welcher Methode kann eine äquatoriale Teleskopmontierung genau auf den Himmelspol ausgerichtet werden? (Nur ein Wort)
6. Was ist die augensicherste Methode, um die Sonne zu beobachten?
7. Welche Deklination hat der Himmelsäquator?
8. Welche Achse muss an einer äquatorialen Montierung ständig weiterbewegt werden, um dem Sternenlauf zu folgen?

Kapitel 9

Loesungen

Allgemeines

1. 1 AE oder ca. 150 Millionen Kilometer.
2. Wasserstoff und Helium
3. Im Osten
4. Merkur und Venus
5. Ca. 4 Lichtjahre
6. Ca. 8 Minuten
7. Der Ekliptik
8. Ca. 400.000 Km (Das schwankt)
9. Infrarot und Ultraviolett. Oder IR und UV.
10. Alpha α

Teleskopwissen

1. Der Refraktor und der Reflektor. Oder das Linsenteleskop und das Spiegelteleskop.
2. $1000\text{mm}:10\text{mm}=100$
3. Der große Wagen. (Auch richtig, aber in Deutschland unüblich: Der große Bär)

4. Ca. 0,5 Grad. Oder ca. 30 Bogenminuten 30'
5. Scheinern
6. Die Projektionsmethode
7. 0 Grad
8. Die Rektaszensionsachse. Oder auch Stundenachse oder RA-Achse genannt.

Kapitel 10

Autoren

Edits	User
1	Kdkeller
2	Chirak
2	Klausmach
2	Nutzer 2206
8	ThePacker
9	Mjchael
30	Rudolf73
2	Kapege.de
4	Sundance Raphael
296	SvonHalenbach
1	Moolsan
1	PeterZF
8	MichaelFrey
1	Rauzenberg
1	Shyam
1	Timberwind
7	Klaus Eifert
24	Shogun
4	CommonsDelinker
1	Ikarus1969
1	Stratowitz
2	MichaelSchoenitzer
1	Enomil
82	Dirk Huenniger
3	Heuler06

Kapitel 11

Bildnachweis

In der nachfolgenden Tabelle sind alle Bilder mit ihren Autoren und Lizenzen aufgelistet.

Für die Namen der Lizenzen wurden folgende Abkürzungen verwendet:

- GFDL: Gnu Free Documentation License. Der Text dieser Lizenz ist in einem Kapitel dieses Buches vollständig angegeben.
- cc-by-sa-3.0: Creative Commons Attribution ShareAlike 3.0 License. Der Text dieser Lizenz kann auf der Webseite <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/> nachgelesen werden.
- cc-by-sa-2.5: Creative Commons Attribution ShareAlike 2.5 License. Der Text dieser Lizenz kann auf der Webseite <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.5/> nachgelesen werden.
- cc-by-sa-2.0: Creative Commons Attribution ShareAlike 2.0 License. Der Text der englischen Version dieser Lizenz kann auf der Webseite <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.0/> nachgelesen werden. Mit dieser Abkürzung sind jedoch auch die Versionen dieser Lizenz für andere Sprachen bezeichnet. Den an diesen Details interessierten Leser verweisen wir auf die Onlineversion dieses Buches.
- cc-by-2.0: Creative Commons Attribution 2.0 License. Der Text der englischen Version dieser Lizenz kann auf der Webseite <http://creativecommons.org/licenses/by/2.0/> nachgelesen werden. Mit dieser Abkürzung sind jedoch auch die Versionen dieser Lizenz für andere Sprachen bezeichnet. Den an diesen Details interessierten Leser verweisen wir auf die Onlineversion dieses Buches.

- PD: This image is in the public domain. Dieses Bild ist gemeinfrei.
- ATTR: The copyright holder of this file allows anyone to use it for any purpose, provided that the copyright holder is properly attributed. Redistribution, derivative work, commercial use, and all other use is permitted.

Bild	Autor	Lizenz
1	Mouser	GFDL
2	Dirk Hünninger	GFDL
3	United States Air Force photo by Senior Airman Joshua Strang	PD
4	NASA	PD
5	Updated by ComputerHotline	PD
6	Tatoute and Phrood	cc-by-sa-3.0
7	Ralf Weber	ATTR
8	Rogilbert	PD
9	Tycho Brahe	PD
10	?	PD
11	Domenico Robusti	PD
12	en Godfrey Kneller	PD
13	unknown	PD
14	Johannes Hevelius	PD
15	Dirk Hünninger	GFDL
16	Dirk Hünninger	GFDL
17	Dirk Hünninger	GFDL
18	Dirk Hünninger	GFDL
19	Dirk Hünninger	GFDL
20	Dirk Hünninger	GFDL
21	Dirk Hünninger	GFDL
22	Dirk Hünninger	GFDL
23	Dirk Hünninger	GFDL
24	Dirk Hünninger	GFDL
25	Dirk Hünninger	GFDL
26	Dirk Hünninger	GFDL
27	Dirk Hünninger	GFDL
28	Dirk Hünninger	GFDL
29	Dirk Hünninger	GFDL
30	Dirk Hünninger	GFDL
31	Dirk Hünninger	GFDL
32	Dirk Hünninger	GFDL
33	Dirk Hünninger	GFDL
34	Dirk Hünninger	GFDL
35	Dirk Hünninger	GFDL
36	Dirk Hünninger	GFDL
37	Dirk Hünninger	GFDL
38	Dirk Hünninger	GFDL
39	Dirk Hünninger	GFDL

40	Dirk Hünninger	GFDL
41	Udo Kügel	PD
42	Pudding4brains	PD
43	Francisco Javier Blanco González	GFDL
44	MesserWoland	GFDL
45	MesserWoland	GFDL
46	Pearson Scott Foresman	PD
47	unknown	PD
48	NASA	PD
49	NASA's twin Solar Terrestrial Relations Observatories (STEREO)	PD
50	NASA	PD
51	SvonHalenbach	GFDL
52	SvonHalenbach	GFDL
53	SvonHalenbach	GFDL
54	SvonHalenbach	GFDL
55	Kapege.de	cc-by-sa-2.5
56	SvonHalenbach	PD
57	CAV	cc-by-sa-2.5

Kapitel 12

GNU Free Documentation License

0. PREAMBLE

The purpose of this License is to make a manual, textbook, or other functional and useful document “free” in the sense of freedom: to assure everyone the effective freedom to copy and redistribute it, with or without modifying it, either commercially or noncommercially. Secondly, this License preserves for the author and publisher a way to get credit for their work, while not being considered responsible for modifications made by others.

This License is a kind of “copyleft”, which means that derivative works of the document must themselves be free in the same sense. It complements the GNU General Public License, which is a copyleft license designed for free software.

We have designed this License in order to use it for manuals for free software, because free software needs free documentation: a free program should come with manuals providing the same freedoms that the software does. But this License is not limited to software manuals; it can be used for any textual work, regardless of subject matter

or whether it is published as a printed book. We recommend this License principally for works whose purpose is instruction or reference.

1. APPLICABILITY AND DEFINITIONS

This License applies to any manual or other work, in any medium, that contains a notice placed by the copyright holder saying it can be distributed under the terms of this License. Such a notice grants a world-wide, royalty-free license, unlimited in duration, to use that work under the conditions stated herein. The “Document”, below, refers to any such manual or work. Any member of the public is a licensee, and is addressed as “you”. You accept the license if you copy, modify or distribute the work in a way requiring permission under copyright law.

A “Modified Version” of the Document means any work containing the Document or a portion of it, either copied verbatim, or with modifications and/or translated into another language.

A “Secondary Section” is a named appendix or a front-matter section of the Document that deals exclusively with the relationship of the publishers or authors of the Document to the Document’s overall subject (or to related matters) and contains nothing that could fall directly within that overall subject. (Thus, if the Document is in part a textbook of mathematics, a Secondary Section may not explain any mathematics.) The relationship could be a matter of historical connection with the subject or with related matters, or of legal, commercial, philosophical, ethical or political position regarding them.

The “Invariant Sections” are certain Secondary Sections whose titles are designated, as being those of Invariant Sections, in the notice that says that the Document is released under this License. If a section does not fit the above definition of Secondary then it is not allowed to be designated as Invariant. The Document may contain zero Invariant Sections. If the Document does not identify any Invariant Sections then there are none.

The “Cover Texts” are certain short passages of text that are listed, as Front-Cover Texts or Back-Cover Texts, in the notice that says that the Document is released under this License. A Front-Cover Text may be at most 5 words, and a Back-Cover Text may be at most 25 words.

A “Transparent” copy of the Document means a machine-readable copy, represented in a format whose specification is available to the general public, that is suitable for revising the document straightforwardly with generic text editors or (for images composed of pixels) generic paint programs or (for drawings) some widely available drawing editor, and that is suitable for input to text formatters or for automatic translation to a variety of formats suitable for input to text formatters. A copy made in an otherwise Transparent file format whose markup, or absence of markup, has been arranged to thwart or discourage subsequent modification by readers is not Transparent. An image format is not Transparent if used for any substantial amount of text. A copy that is not “Transparent” is called “Opaque”.

Examples of suitable formats for Transparent copies include plain ASCII without markup, Texinfo input format, LaTeX input format, SGML or XML using a publicly available DTD, and standard-conforming simple HTML, PostScript or PDF designed for human modification. Examples of transparent image formats include PNG, XCF and JPG. Opaque formats include proprietary formats that can be read and edited only by proprietary word processors, SGML or XML for which the DTD and/or processing tools are not generally available, and the machine-generated HTML, PostScript or PDF produced by some word processors for output purposes only.

The “Title Page” means, for a printed book, the title page itself, plus such following pages as are needed to hold, legibly, the material this License requires to appear in the title page. For works in formats which do not have any title page as such, “Title Page” means the text near the most prominent appearance of the work’s title, preceding the beginning of the body of the text.

A section “Entitled XYZ” means a named subunit of the Document whose title either is precisely XYZ or contains XYZ in parentheses following text that translates XYZ in another language. (Here XYZ stands for a specific section name mentioned below, such as “Acknowledgements”, “Dedications”, “Endorsements”, or “History”.) To “Preserve the Title” of such a section when you modify the Document means that it remains a section “Entitled XYZ” according to this definition.

The Document may include Warranty Disclaimers next to the notice which states that this License applies to the Document. These Warranty Disclaimers are considered to be included by reference in this License, but only as regards disclaiming warranties: any other implication that these Warranty Disclaimers may have is void and has no effect on the meaning of this License.

2. VERBATIM COPYING

You may copy and distribute the Document in any medium, either commercially or noncommercially, provided that this License, the copyright notices, and the license notice saying this License applies to the Document are reproduced in all copies, and that you add no other conditions whatsoever to those of this License. You may not use technical measures to obstruct or control the reading or further copying of the copies you make or distribute. However, you may accept compensation in exchange for copies. If you distribute a large enough number of copies you must also follow the conditions in section 3.

You may also lend copies, under the same conditions stated above, and you may publicly display copies.

3. COPYING IN QUANTITY

If you publish printed copies (or copies in media that commonly have printed covers) of the Document, numbering more than 100, and the Document’s license notice requires Cover Texts, you must enclose the copies in covers that carry, clearly and legibly, all these Cover Texts: Front-Cover Texts on the front cover, and Back-Cover Texts on the back cover. Both covers must also

clearly and legibly identify you as the publisher of these copies. The front cover must present the full title with all words of the title equally prominent and visible. You may add other material on the covers in addition. Copying with changes limited to the covers, as long as they preserve the title of the Document and satisfy these conditions, can be treated as verbatim copying in other respects.

If the required texts for either cover are too voluminous to fit legibly, you should put the first ones listed (as many as fit reasonably) on the actual cover, and continue the rest onto adjacent pages.

If you publish or distribute Opaque copies of the Document numbering more than 100, you must either include a machine-readable Transparent copy along with each Opaque copy, or state in or with each Opaque copy a computer-network location from which the general network-using public has access to download using public-standard network protocols a complete Transparent copy of the Document, free of added material. If you use the latter option, you must take reasonably prudent steps, when you begin distribution of Opaque copies in quantity, to ensure that this Transparent copy will remain thus accessible at the stated location until at least one year after the last time you distribute an Opaque copy (directly or through your agents or retailers) of that edition to the public.

It is requested, but not required, that you contact the authors of the Document well before redistributing any large number of copies, to give them a chance to provide you with an updated version of the Document.

4. MODIFICATIONS

You may copy and distribute a Modified Version of the Document under the conditions of sections 2 and 3 above, provided that you release the Modified Version under precisely this License, with the Modified Version filling the role of the Document, thus licensing distribution and modification of the Modified Version to whoever possesses a copy of it. In addition, you must do these things in the Modified Version:

- A. Use in the Title Page (and on the covers, if any) a title distinct from that of the Document, and from those of previous versions (which should, if there were any, be listed in the History section of the Document). You may use the same title as a previous version if the original publisher of that version gives permission.
- B. List on the Title Page, as authors, one or more persons or entities responsible for authorship of the modifications in the Modified Version, together with at least five of the principal authors of the Document (all of its principal authors, if it has fewer than five), unless they release you from this requirement.
- C. State on the Title page the name of the publisher of the Modified Version, as the publisher.
- D. Preserve all the copyright notices of the Document.
- E. Add an appropriate copyright notice for your modifications adjacent to the other copyright notices.
- F. Include, immediately after the copyright notices, a license notice giving the public permission to use the Modified Version under the terms of this License, in the form shown in the Addendum below.
- G. Preserve in that license notice the full lists of Invariant Sections and required Cover Texts given in the Document’s license notice.
- H. Include an unaltered copy of this License.
- Preserve the section Entitled “History”, Preserve its Title, and add to it an item stating at least the title, year, new authors, and publisher of

the Modified Version as given on the Title Page. If there is no section Entitled “History” in the Document, create one stating the title, year, authors, and publisher of the Document as given on its Title Page, then add an item describing the Modified Version as stated in the previous sentence.

- J. Preserve the network location, if any, given in the Document for public access to a Transparent copy of the Document, and likewise the network locations given in the Document for previous versions it was based on. These may be placed in the “History” section. You may omit a network location for a work that was published at least four years before the Document itself, or if the original publisher of the version it refers to gives permission.
- K. For any section Entitled “Acknowledgements” or “Dedications”, Preserve the Title of the section, and preserve in the section all the substance and tone of each of the contributor acknowledgements and/or dedications given therein.
- L. Preserve all the Invariant Sections of the Document, unaltered in their text and in their titles. Section numbers or the equivalent are not considered part of the section titles.
- M. Delete any section Entitled “Endorsements”. Such a section may not be included in the Modified Version.
- N. Do not retitle any existing section to be Entitled “Endorsements” or to conflict in title with any Invariant Section.
- O. Preserve any Warranty Disclaimers.

If the Modified Version includes new front-matter sections or appendices

that qualify as Secondary Sections and contain no material copied from the Document, you may at your option designate some or all of these sections as invariant. To do this, add their titles to the list of Invariant Sections in the Modified Version’s license notice. These titles must be distinct from any other section titles.

You may add a section Entitled “Endorsements”, provided it contains nothing but endorsements of your Modified Version by various parties—for example, statements of peer review or that the text has been approved by an organization as the authoritative definition of a standard.

You may add a passage of up to five words as a Front-Cover Text, and a passage of up to 25 words as a Back-Cover Text, to the end of the list of Cover Texts in the Modified Version. Only one passage of Front-Cover Text and one of Back-Cover Text may be added by (or through arrangements made by) any one entity. If the Document already includes a cover text for the same cover, previously added by you or by arrangement made by the same entity you are acting on behalf of, you may not add another; but you may replace the old one, on explicit permission from the previous publisher that added the old one.

The author(s) and publisher(s) of the Document do not by this License give permission to use their names for publicity for or to assert or imply endorsement of any Modified Version.

5. COMBINING DOCUMENTS

You may combine the Document with other documents released under this License, under the terms defined in section 4 above for modified versions, provided that you include in the combination all of the Invariant Sections of all of the original documents, unmodified, and list them all as Invariant Sections of your combined work in its license notice, and that you preserve all their Warranty Disclaimers.

The combined work need only contain one copy of this License, and multiple identical Invariant Sections may be replaced with a single copy. If there are multiple Invariant Sections with the same name but different contents,

make the title of each such section unique by adding at the end of it, in parentheses, the name of the original author or publisher of that section if known, or else a unique number. Make the same adjustment to the section titles in the list of Invariant Sections in the license notice of the combined work.

In the combination, you must combine any sections Entitled “History” in the various original documents, forming one section Entitled “History”; likewise combine any sections Entitled “Acknowledgements”, and any sections Entitled “Dedications”. You must delete all sections Entitled “Endorsements.”

6. COLLECTIONS OF DOCUMENTS

You may make a collection consisting of the Document and other documents released under this License, and replace the individual copies of this License in the various documents with a single copy that is included in the collection, provided that you follow the rules of this License for verbatim copying of each of the documents in all other respects.

You may extract a single document from such a collection, and distribute it individually under this License, provided you insert a copy of this License into the extracted document, and follow this License in all other respects regarding verbatim copying of that document.

7. AGGREGATION WITH INDEPENDENT WORKS

A compilation of the Document or its derivatives with other separate and independent documents or works, in or on a volume of a storage or distribution medium, is called an “aggregate” if the copyright resulting from the compilation is not used to limit the legal rights of the compilation’s users beyond what the individual works permit. When the Document is included in an aggregate, this License does not apply to the other works in the aggregate which are not themselves derivative works of the Document.

If the Cover Text requirement of section 3 is applicable to these copies of the Document, then if the Document is less than one half of the entire aggregate

gate, the Document's Cover Texts may be placed on covers that bracket the Document within the aggregate, or the electronic equivalent of covers if the Document is in electronic form. Otherwise they must appear on printed covers that bracket the whole aggregate.

8. TRANSLATION

Translation is considered a kind of modification, so you may distribute translations of the Document under the terms of section 4. Replacing Invariant Sections with translations requires special permission from their copyright holders, but you may include translations of some or all Invariant Sections in addition to the original versions of these Invariant Sections. You may include a translation of this License, and all the license notices in the Document, and any Warranty Disclaimers, provided that you also include the original English version of this License and the original versions of those notices and disclaimers. In case of

a disagreement between the translation and the original version of this License or a notice or disclaimer, the original version will prevail.

If a section in the Document is Entitled "Acknowledgements", "Dedications", or "History", the requirement (section 4) to Preserve its Title (section 1) will typically require changing the actual title.

9. TERMINATION

You may not copy, modify, sublicense, or distribute the Document except as expressly provided for under this License. Any other attempt to copy, modify, sublicense or distribute the Document is void, and will automatically terminate your rights under this License. However, parties who have received copies, or rights, from you under this License will not have their licenses terminated so long as such parties remain in full compliance.

10. FUTURE REVISIONS OF THIS LICENSE

The Free Software Foundation may publish new, revised versions of the GNU Free Documentation License from time to time. Such new versions will be similar in spirit to the present version, but may differ in detail to address new problems or concerns. See <http://www.gnu.org/copyleft/>.

Each version of the License is given a distinguishing version number. If the Document specifies that a particular numbered version of this License "or any later version" applies to it, you have the option of following the terms and conditions either of that specified version or of any later version that has been published (not as a draft) by the Free Software Foundation. If the Document does not specify a version number of this License, you may choose any version ever published (not as a draft) by the Free Software Foundation.