minærva

AS 1

SKRIPT

Der Himmel über uns

Erklärskript

Die Aufgaben 1–29 zu diesem Skript stehen im Aufgabenskript, die Lösungen im Lösungsskript. Verweise auf Aufgaben sind Links.

Astronomie – Klasse 7 bis Kursstufe

Pirmin Gohn

Nutzungshinweis: Dieses Skript darf nur im Rahmen des Unterrichts verwendet werden; insbesondere ist die eigenständige Weitergabe untersagt.

Skriptreihe AS · Astronomie (Klasse 7 bis Kursstufe)

AS1 Himmel	**AS2** Erde und Mond	**AS3** Sonnensystem	**AS4** Sonne	**AS5** Himmelsmechanik
AS6 Licht aus dem All	**AS7** Planeten und Leben	**AS8** Sterne	**AS9** Sternentwicklung	**AS10** Kosmos

Lernen mit minærva

Dieses Skript ist ein Teil von minærva. Alles gehört zusammen: Jedes Thema führt von der Erklärung zum Üben, zum Ausprobieren und ins große Bild.

minaerva.de

Skripte Verstehen
Der Stoff zum Nachlesen: Erklärungen, Herleitungen, Beispiele und typische Fehler.
minaerva.de

noctua Üben
Fragen zu jedem Abschnitt, mit sofortiger Rückmeldung.
noctua.minaerva.de

fabrica Ausprobieren
Versuche und Anschauungen zum Selbermessen und Anfassen, ohne Konto, auch auf dem iPad.
fabrica.minaerva.de

tela Vernetzen
Das Wissensnetz: worauf ein Thema aufbaut und wohin es führt.
tela.minaerva.de

So greifen die Skripte ineinander

Erklärskripte	Astronomie: zehn Themenskripte AS1–AS10 von Klasse 7 bis zur Kursstufe mit dem Stoff, aber ohne Aufgaben. Unter jeder Abschnittsüberschrift steht, aus welchem Bildungsplan der Stoff stammt (Physik, IMP, Basisfach Astrophysik, Wahlfach Astronomie) oder ob er Zusatz ist.
Aufgabenskript	Ein gemeinsames Aufgabenskript für alle Themen. Die Erklärskripte verweisen darauf; jede Aufgaben-, Abbildungs- und Tabellennummer gibt es in der Reihe nur einmal.
Lösungsskript	Die Lösungen zu allen Aufgaben, mit denselben Nummern.

Am Ende vieler Abschnitte stehen Links zur passenden Übung, zum Versuch und ins Wissensnetz. In der PDF-Datei lassen sie sich direkt antippen.

Inhaltsverzeichnis

Worum es geht **4**
1 Sterne und Sternbilder **5**
1.1 Was man am Nachthimmel sieht 5
1.2 Helligkeit und Farbe der Sterne 5
1.3 Sternbilder 6
1.4 Markante Sternbilder finden 6
1.5 Sternbilder sind nur Muster 8
1.6 Sternbilder im Lauf des Jahres 8
2 Orientierung an der Himmelskugel **9**
2.1 Himmelsrichtungen finden 9
2.2 Das Modell der Himmelskugel 9
2.3 Das Horizontsystem: Azimut und Höhe 10
2.4 Das Äquatorsystem: Rektaszension und Deklination 10
3 Die tägliche Drehung des Himmels **12**
3.1 Der Himmel dreht sich 12
3.2 Aufgang, Kulmination und Untergang 13
3.3 Zirkumpolarsterne 13
3.4 Polhöhe und geographische Breite 14
4 Hilfsmittel: Sternkarte, Apps, Fernglas und Fernrohr **16**
4.1 Die drehbare Sternkarte 16
4.2 Apps und Planetariumsprogramme 17
4.3 Das Auge und das Fernglas 17
4.4 Fernrohre: Linsen und Spiegel 18
5 Beobachten **19**
5.1 Eine Beobachtung planen 19
5.2 Dunkeladaption 19
5.3 Lichtverschmutzung 19
5.4 Seeing und Durchsicht 20
5.5 Planeten vor den Fixsternen 20

Worum es geht

Geh an einem klaren Winterabend nach draußen, weg von den Straßenlampen, und warte ein paar Minuten. Zuerst siehst du nur wenige helle Sterne. Dann werden es immer mehr. Im Süden fällt eine Gruppe auf: drei Sterne in einer Reihe, darum vier hellere. Das ist der **Orion**, das bekannteste Sternbild des Winters (Abbildung 1).



Abbildung 1: Blick nach Süden über Lörrach, Mitte Januar gegen 22:30 Uhr (berechnet, nur die hellsten Sterne). Die Gürtelsterne des Orion zeigen nach links unten auf Sirius, nach rechts oben auf Aldebaran.

Wer den Himmel kennt, findet sich auch nachts zurecht. Die Seefahrer der Vergangenheit haben sich nach den Sternen gerichtet, und auch heute ist der Sternhimmel ein guter Wegweiser. Dieses Skript zeigt dir, wie man Sterne und Sternbilder findet (Kapitel 1), wie man einen Ort am Himmel genau angibt (Kapitel 2), warum sich der Himmel im Lauf der Nacht dreht (Kapitel 3), welche Hilfsmittel es gibt (Kapitel 4) und wie man eine Beobachtung plant (Kapitel 5).

Du brauchst dafür kein Fernrohr. Die meisten Beobachtungen gelingen mit bloßem Auge, einer drehbaren Sternkarte und etwas Geduld. Wie Sonne, Mond und Jahreszeiten zusammenhängen, steht im Skript AS2.

Der Himmel über uns im Lehrplan. Stufe: ab Klasse 8. Welcher Plan welchen Abschnitt verlangt, sagen die Marken unter den Überschriften. Die Grundlagen (Sternbilder, Orientierung, Kulmination, Sternkarte, Beobachten) gehören zu IMP 8 und zum Wahlfach Astronomie. Die Abschnitte zum Äquatorsystem und zur Polhöhe sind für die Kursstufe gedacht; man erkennt sie an den Marken „Wahlfach“ und „Zusatz“.

Quellen-Marken. Unter jeder Abschnittsüberschrift steht, aus welchem Bildungsplan Baden-Württembergs der Stoff stammt: Physik 7/8 | IMP 8 | IMP 9 | IMP 10 für die Mittelstufe (Physik und Profilfach IMP), Basisfach Astrophysik | Wahlfach Astronomie für die Kursstufe (Physik-Basisfach mit Schwerpunkt Astrophysik, Wahlfach Astronomie). Zusatz heißt: Der Abschnitt steht in keinem dieser Pläne, gehört aber in anderen Ländern zum Pflichtstoff Astronomie (Sachsen-Anhalt, Mecklenburg-Vorpommern, Thüringen) und ist hier Bonus.

Die Aufgaben zu diesem Skript stehen im Aufgabenskript der Reihe, die Lösungen im Lösungsskript. Jedes Kapitel endet mit Verweisen auf passende Übungen in **noctua** und Stationen in **fabrica**. Fachbegriffe sind beim ersten Auftreten **fett** gesetzt und am Ende jedes Kapitels in einem Kasten zusammengefasst.

1 Sterne und Sternbilder

1.1 Was man am Nachthimmel sieht

IMP 8 | Wahlfach Astronomie

Am Nachthimmel leuchten ganz verschiedene Dinge. Manche sind sehr nah, andere unvorstellbar weit weg.

- Die **Sterne** sind Sonnen wie unsere Sonne, nur viel weiter entfernt. Schon der nächste Stern ist über vier Lichtjahre weg (Skript AS8). Weil sie so weit weg sind, sieht man sie auch im Fernrohr nur als Punkte. Ihre Anordnung am Himmel ändert sich in einem Menschenleben nicht merklich. Deshalb heißen sie auch **Fixsterne** (lateinisch *fixus*: fest).
- Die **Planeten** sind Himmelskörper, die wie die Erde um die Sonne laufen. Sie leuchten nicht selbst, sondern werfen das Sonnenlicht zurück. Mit bloßem Auge sieht man fünf: Merkur, Venus, Mars, Jupiter und Saturn. Sie wandern im Lauf von Wochen langsam zwischen den Sternen hindurch. Die Griechen nannten sie deshalb „Wandelsterne“ (Kapitel 5 und Skript AS3).
- Der **Mond** ist der Begleiter der Erde und mit Abstand das hellste Objekt am Nachthimmel.
- Die **Milchstraße** ist ein blasses Lichtband quer über den Himmel. Galilei beschrieb 1610 als Erster, dass es im Fernrohr in unzählige schwache Sterne zerfällt. Wir sehen damit unsere eigene Galaxie von innen (Skript AS10).
- Dazu kommen Dinge, die gar nicht zum Sternhimmel gehören: **Satelliten** (Lichtpunkte, die in wenigen Minuten gleichmäßig über den Himmel ziehen, ohne zu blinken; die Raumstation ISS ist heller als jeder Stern), Flugzeuge (blinken rot, grün und weiß) und **Meteore** oder Sternschnuppen (kurze Lichtstriche, wenn kleine Teilchen in der Lufthülle verglühen).

Typischer Fehler

Falsch: Sternschnuppen sind Sterne, die herunterfallen.

Richtig: Sternschnuppen sind Staubkörnchen und kleine Steinchen, die mit großer Geschwindigkeit in die Lufthülle der Erde eindringen und in etwa 100 km Höhe verglühen.

Ein echter Stern ist eine riesige Gaskugel, viel größer als die Erde. Er könnte gar nicht auf die Erde fallen.

1.2 Helligkeit und Farbe der Sterne

IMP 8 | Wahlfach Astronomie

Schon vor über 2000 Jahren teilte der griechische Astronom Hipparch die Sterne nach ihrer Helligkeit in sechs Gruppen ein. Die hellsten nannte er Sterne „erster Größe“, die gerade noch sichtbaren Sterne „sechster Größe“. Daraus wurden die **Größenklassen**, heute in der Einheit **Magnitude** (mag) angegeben.

Merksatz

Größenklassen (scheinbare Helligkeit)

- Je **kleiner** die Zahl, desto **heller** der Stern. Ein Stern mit 1 mag ist heller als einer mit 3 mag.
- Sehr helle Objekte haben null oder sogar negative Werte: Wega 0,0 mag, Sirius $-1{,}5$ mag, Venus bis $-4{,}6$ mag.
- Ein Unterschied von 5 Größenklassen bedeutet: Der hellere Stern schickt uns 100-mal so viel Licht. Eine Größenklasse ist etwa der Faktor 2,5.
- Mit bloßem Auge sieht man an einem dunklen Ort Sterne bis etwa 6 mag, in der Stadt oft nur bis 3 oder 4 mag.



Abbildung 2: In den Sternkarten dieses Skripts sind hellere Sterne als größere Punkte gezeichnet.

Diese Helligkeit heißt **scheinbare Helligkeit**, weil sie nur sagt, wie hell ein Stern **für uns** aussieht. Ein Stern kann hell erscheinen, weil er viel Licht aussendet, oder weil er nah ist. Wie man das auseinanderhält, steht im Skript AS8.

Wer genau hinsieht, bemerkt auch Farben. Beteigeuze im Orion leuchtet orangerot, Rigel bläulich weiß, Kapella gelblich. Die Farbe verrät die Temperatur der Sternoberfläche: Rote Sterne sind mit etwa 3000 °C die kühlsten, blauweiße mit über 10 000 °C die heißesten (Skript AS8). Schwache Sterne erscheinen uns dagegen alle weiß, weil das Auge bei wenig Licht keine Farben unterscheidet (Kapitel 5).

1.3 Sternbilder

IMP 8 Wahlfach Astronomie

Schon in der Steinzeit haben Menschen in den hellen Sternen Figuren gesehen und ihnen Namen gegeben. Ein **Sternbild** ist eine solche Gruppe von Sternen. Viele unserer Sternbilder stammen aus dem alten Griechenland. Der Astronom Ptolemäus beschrieb um 150 nach Christus 48 Sternbilder, darunter Orion, Großer Bär und Kassiopeia. Andere Völker sahen in denselben Sternen ganz andere Bilder.

Heute ist der ganze Himmel lückenlos in **88 Sternbilder** aufgeteilt. Die Internationale Astronomische Union (IAU) hat sie 1922 festgelegt und 1930 ihre Grenzen gezogen. Ein Sternbild ist also eigentlich ein **Gebiet** am Himmel, so wie ein Land auf der Landkarte. Jeder Stern gehört zu genau einem Sternbild.

Manche bekannte Figur ist gar kein ganzes Sternbild, sondern nur ein Teil davon. Der **Große Wagen** besteht aus den sieben hellsten Sternen des Sternbilds Großer Bär. Solche auffälligen Muster nennt man **Asterismen**. Auch das **Sommerdreieck** ist ein Asterismus: Es besteht aus je einem Stern dreier Sternbilder.

Woher die Sternnamen kommen

Viele helle Sterne tragen arabische Namen, weil arabische Astronomen im Mittelalter das Wissen der Griechen bewahrt und erweitert haben: Aldebaran heißt „der Folgende“ (er folgt den Plejaden), Dubhe „der Bär“. Seit 1603 bezeichnet man die Sterne eines Sternbilds außerdem mit griechischen Buchstaben, meist der Helligkeit nach: Der hellste ist α (Alpha), der zweithellste β (Beta) und so weiter. Beteigeuze heißt deshalb auch α Orionis, der Polarstern α Ursae Minoris („Alpha des Kleinen Bären“).

1.4 Markante Sternbilder finden

IMP 8 Wahlfach Astronomie

Großer Wagen und Polarstern. Den Großen Wagen findet man das ganze Jahr über am Nordhimmel. Er besteht aus vier Sternen, die den Wagenkasten bilden, und drei Sternen für die Deichsel. Verlängert man die hintere Kante des Kastens (von Merak über Dubhe) etwa fünfmal, trifft man auf einen mittelhellen Stern: den **Polarstern**. Er ist der letzte Stern in der Deichsel des **Kleinen Wagens**. Der Polarstern steht fast genau über dem Nordpunkt des Horizonts. Wer ihn gefunden hat, weiß, wo Norden ist.

Kassiopeia. Auf der anderen Seite des Polarsterns, ungefähr gleich weit entfernt wie der Große Wagen, steht ein großes „W“ aus fünf Sternen: die **Kassiopeia**. Je nach Uhrzeit und Jahreszeit sieht man es auch als „M“.

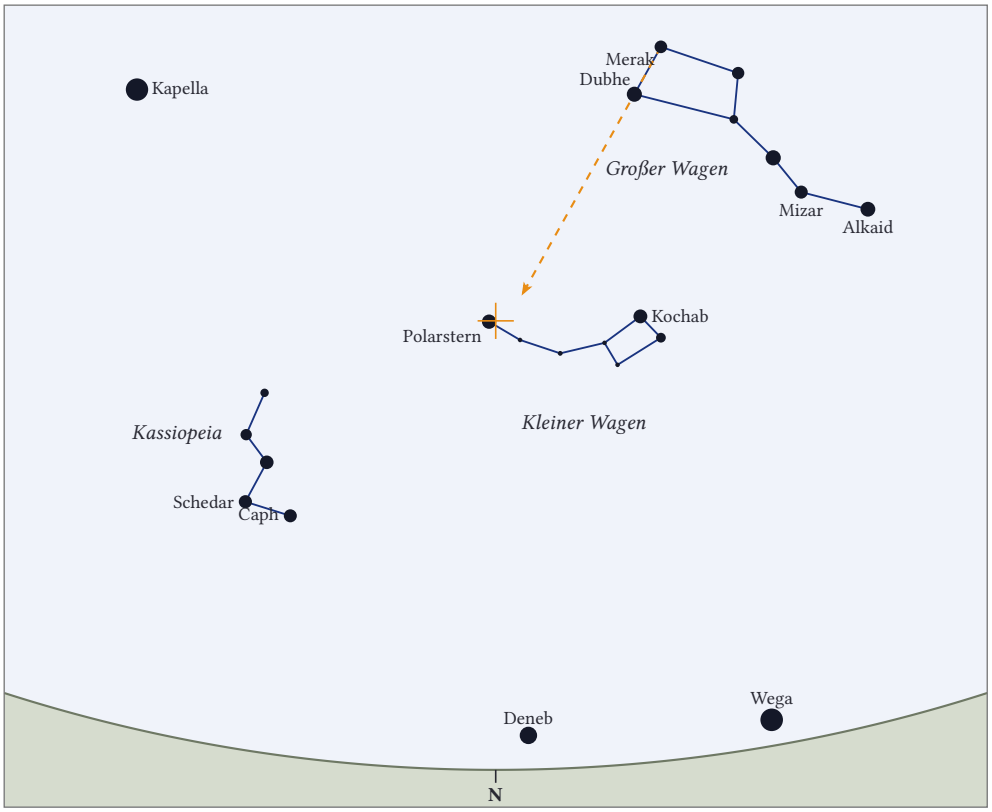


Abbildung 3: Blick nach Norden über Lörrach, Anfang März gegen 22:30 Uhr (berechnet). Die Verlängerung der Strecke Merak–Dubhe führt zum Polarstern (orangefarbenes Kreuz: Himmelsnordpol).

Orion. Im Winter beherrscht Orion, der Himmelsjäger, den Südhimmel (Abbildung 4). Sein Körper ist ein großes Viereck aus Beteigeuze, Bellatrix, Saiph und Rigel, in der Mitte stehen die drei **Gürtelsterne**. Orion ist ein guter Wegweiser: Die Gürtelsterne zeigen nach links unten auf **Sirius**, den hellsten Stern des Nachthimmels, und nach rechts oben auf den rötlichen **Aldebaran** im Stier (Abbildung 1).

Sommerdreieck. An Sommerabenden steht hoch im Süden ein großes Dreieck aus drei hellen Sternen: **Wega** in der Leier, **Deneb** im Schwan und **Atair** im Adler. Durch das Dreieck zieht die Milchstraße. Der Schwan sieht aus wie ein Kreuz; Deneb ist sein Schwanz, Albireo sein Kopf.

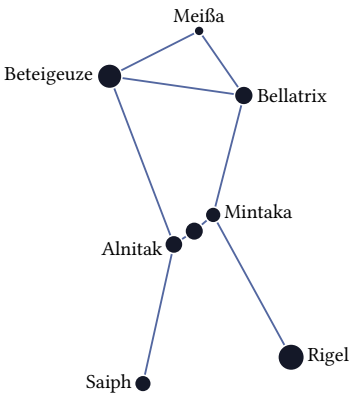


Abbildung 4: Sternbild Orion (aus Katalogwerten, Osten links).

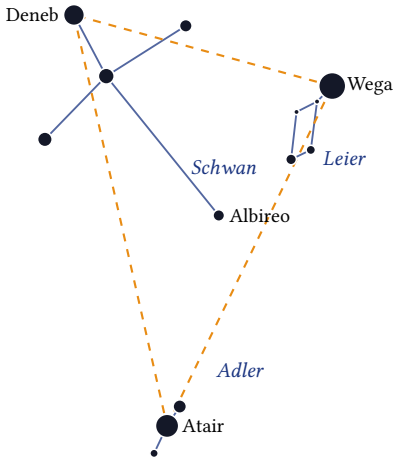


Abbildung 5: Sommerdreieck (gestrichelt) mit Leier, Schwan und Adler.

⋆ Großer Wagen, Polarstern, Kassiopeia
An jedem klaren Abend, das ganze Jahr. Stell dich so hin, dass du nach Norden schaust (zur Not mit dem Kompass im Handy). Suche den Großen Wagen; im Frühling steht er hoch, im Herbst tief über dem Horizont. Verlängere die Kastenkante Merak–Dubhe fünfmal bis zum Polarstern und suche dann auf der anderen Seite das W der Kassiopeia. Zeichne die drei Sternbilder mit Datum und Uhrzeit auf. Hilfsmittel: keine.

1.5 Sternbilder sind nur Muster

IMP 8 Wahlfach Astronomie

Die Sterne eines Sternbilds sehen aus, als stünden sie nebeneinander an einer Himmelswand. In Wirklichkeit sind sie ganz verschieden weit von uns entfernt. Sie stehen nur zufällig in ungefähr derselben Richtung. Beim Großen Wagen sind die fünf mittleren Sterne etwa 80 Lichtjahre entfernt, Dubhe aber 125 und Alkaid 105 Lichtjahre (Abbildung 6). Von einem anderen Stern aus gesehen hätte der Große Wagen eine ganz andere Form.

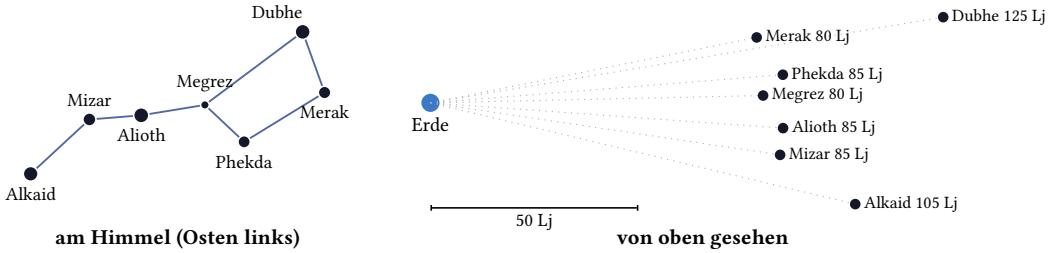


Abbildung 6: Der Große Wagen am Himmel und von oben gesehen. Die Sterne sind verschieden weit entfernt (Hipparcos, gerundet); nur von der Erde aus ergeben sie zusammen das bekannte Bild.

Das Licht von Dubhe war 125 Jahre unterwegs. Wir sehen Dubhe heute so, wie er vor 125 Jahren aussah. Jeder Blick an den Himmel ist ein Blick in die Vergangenheit (Skript AS6).

Typischer Fehler

Falsch: Die Sterne eines Sternbilds gehören zusammen und stehen dicht beieinander.

Richtig: Ein Sternbild ist ein Muster, das nur von der Erde aus so aussieht. Die Sterne sind meist ganz unterschiedlich weit entfernt und haben nichts miteinander zu tun.

Ausnahmen sind Sternhaufen wie die Plejaden: Ihre Sterne sind zusammen entstanden und stehen wirklich nah beieinander (Skript AS10).

1.6 Sternbilder im Lauf des Jahres

IMP 8 Wahlfach Astronomie

Am Abend sieht man im Winter andere Sternbilder als im Sommer. Der Grund ist der Lauf der Erde um die Sonne: Im Lauf eines Jahres steht die Sonne nacheinander vor verschiedenen Sternbildern. Die Sternbilder in Richtung Sonne sind am Taghimmel und damit unsichtbar. Nachts sehen wir in die Gegenrichtung. Jeden Abend gehen die Sterne etwa vier Minuten früher auf als am Abend davor, in einem Monat also etwa zwei Stunden früher (genauer im Skript AS2).

Jahreszeit	auffällige Sternbilder und Sterne (abends)	Wegweiser
Winter	Orion, Stier mit Aldebaran und den Plejaden, Zwillinge (Kastor, Pollux), Großer Hund (Sirius), Fuhrmann (Kapella)	Orions Gürtel zeigt auf Sirius und Aldebaran
Frühling	Löwe (Regulus), Bärenhüter (Arktur), Jungfrau (Spika); Großer Wagen hoch im Norden	Deichsel des Wagens im Bogen verlängern: Arktur, dann Spika
Sommer	Leier (Wega), Schwan (Deneb), Adler (Atair), tief im Süden Skorpion (Antares)	Sommerdreieck
Herbst	Pegasus, Andromeda, Kassiopeia hoch im Norden	Herbstviereck des Pegasus
immer	Großer und Kleiner Wagen, Kassiopeia, Drache, Kepheus (Zirkumpolarsterne, Kapitel 3)	Polarstern

Tabelle 1: Sternbilder der Jahreszeiten am Abendhimmel in Deutschland.

Fachbegriffe: Fixstern · Planet · Satellit · Meteor · Milchstraße · Größenklasse · Magnitude · scheinbare Helligkeit · Sternbild · Asterismus · Großer Wagen · Polarstern · Kassiopeia · Orion · Sommerdreieck

Üben: **noctua** ↗ Ausprobieren: **Größenklassen und Entfernungsmodul** ↗ · **Farbe und Temperatur** ↗

2 Orientierung an der Himmelskugel

2.1 Himmelsrichtungen finden

IMP 8 Wahlfach Astronomie

Ohne Kompass und Handy findet man die Himmelsrichtungen mit dem Himmel selbst:

- **Nachts** zeigt der Polarstern nach Norden. Steht man mit dem Gesicht zu ihm, ist rechts Osten, links Westen und hinter einem Süden.
- **Tagsüber** steht die Sonne gegen Mittag ungefähr im Süden, in Lörrach etwa um 12:30 Uhr (Winterzeit) bzw. 13:30 Uhr (Sommerzeit), je nach Jahreszeit bis zu einer Viertelstunde früher oder später (Skript AS2).
- Die Sonne geht ungefähr im Osten auf und im Westen unter, im Sommer eher im Nordosten und Nordwesten, im Winter eher im Südosten und Südwesten.

Typischer Fehler

Falsch: Der Polarstern ist der hellste Stern am Himmel.

Richtig: Der Polarstern ist nur mittelhell (2,0 mag). Etwa 50 Sterne sind heller. Besonders ist nur sein Ort: fast genau über dem Nordpol der Erdachse.

Wer den hellsten Stern im Norden sucht, landet im Winter bei Kapella und im Sommer bei Wega oder Deneb.

2.2 Das Modell der Himmelskugel

Wahlfach Astronomie Zusatz

Wenn man nachts unter freiem Himmel steht, sieht es so aus, als säße man in der Mitte einer riesigen Kugel, an deren Innenseite die Sterne kleben. Alle Sterne scheinen gleich weit weg zu sein. Das stimmt nicht (siehe oben), ist aber ein sehr nützliches Modell: die **Himmelskugel**. Auf ihr kommt es nur auf die **Richtung** an, in der ein Stern steht, nicht auf seine Entfernung.

Definition

Wichtige Punkte und Linien an der Himmelskugel (Abbildung 7):

- Der **Horizont** ist die Grenze zwischen Himmel und Erde. Am Meer oder auf einem Berg ist er ein Kreis um den Beobachter. Er teilt die Himmelskugel in eine sichtbare und eine unsichtbare Hälfte.
- Der **Zenit** ist der Punkt genau über dem Kopf, der **Nadir** der Punkt genau darunter.
- Der **Meridian** ist der Kreis vom Nordpunkt des Horizonts über den Zenit zum Südpunkt.
- Der **Himmelsnordpol** liegt in Verlängerung der Erdachse nach Norden. Ganz in seiner Nähe steht der Polarstern.
- Der **Himmelsäquator** liegt genau über dem Erdäquator. Er schneidet den Horizont im Osten und im Westen.

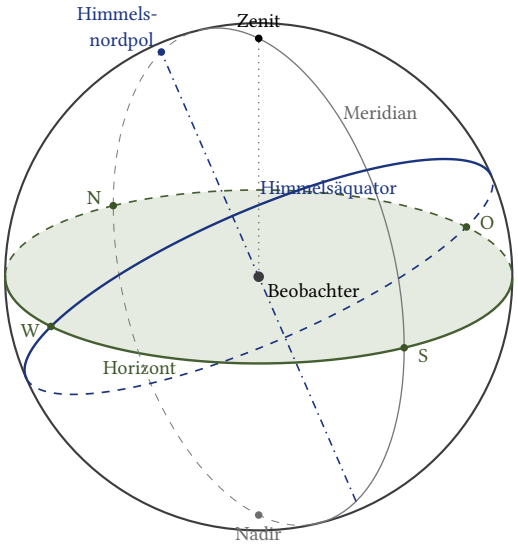


Abbildung 7: Himmelskugel für einen Beobachter in 48° nördlicher Breite (berechnet). Horizontebene grün; gestrichelt: hinterer Teil der Kugel; strichpunktiert: Himmelsachse durch den Himmelsnordpol.

Die Erde ist im Vergleich zur Himmelskugel so klein, dass man sie sich als Punkt in deren Mitte denken kann. Die Erdachse zeigt dann zum Himmelsnordpol, und der Erdäquator liegt in derselben Ebene wie der Himmelsäquator.

2.3 Das Horizontsystem: Azimut und Höhe

Wahlfach Astronomie | Zusatz

Um einem Freund zu sagen, wo ein Stern steht, braucht man zwei Angaben: in welcher Himmelsrichtung und wie hoch über dem Horizont. Genau so funktioniert das **Horizontsystem**.

Definition

- Die **Höhe** h ist der Winkel zwischen dem Horizont und dem Stern. Am Horizont ist $h = 0°$, im Zenit $h = 90°$.
- Das **Azimut** A gibt die Himmelsrichtung an. Es wird am Horizont von Norden über Osten gezählt: Norden 0°, Osten 90°, Süden 180°, Westen 270°.

In älteren Büchern wird das Azimut manchmal von Süden aus gezählt. Apps und Kompasse zählen von Norden; dieses Skript auch.

Weil sich der Himmel dreht (Kapitel 3), ändern sich Azimut und Höhe eines Sterns ständig. Eine Angabe im Horizontsystem gilt deshalb nur für einen bestimmten Ort und einen bestimmten Zeitpunkt.

Winkel schätzen mit der Hand. Streckt man den Arm ganz aus, kann man Winkel am Himmel mit der Hand messen (Tabelle 2). Das klappt bei Erwachsenen und Kindern ähnlich gut, weil längere Arme meist auch größere Hände haben.

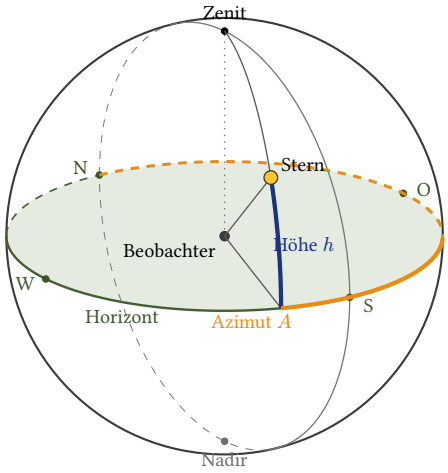


Abbildung 8: Horizontsystem: Azimut A (von Norden über Osten) und Höhe h eines Sterns.

bei ausgestrecktem Arm	Winkel	zum Vergleich
kleiner Finger	etwa 1°	Vollmond und Sonne: je etwa 0,5°
Daumen	etwa 2°	
Faust (ohne Daumen)	etwa 10°	Dubhe bis Merak: gut 5°
gespreizte Hand	etwa 20°	Länge des Großen Wagens: etwa 25°

Tabelle 2: Winkel am Himmel mit der Hand schätzen.

Beispiel 1

Lena sieht Sirius genau im Süden, zweieinhalb Fäuste über dem Horizont. Dann ist $A = 180°$ und $h \approx 25°$. Mehr kann Sirius in Lörrach auch nicht erreichen (Kapitel 3).

2.4 Das Äquatorsystem: Rektaszension und Deklination

Wahlfach Astronomie | Zusatz

Für die Kursstufe

Dieser Abschnitt geht über IMP 8 hinaus. Er gehört zum Wahlfach Astronomie („Koordinatensysteme“) und ist in Mecklenburg-Vorpommern Pflichtstoff.

Für Sternkarten und Sternkataloge ist das Horizontsystem unbrauchbar, weil sich die Werte jede Minute ändern. Man braucht ein Koordinatensystem, das sich mit dem Himmel mitdreht. Das Vorbild ist das Gradnetz der Erde: Jeder Ort hat eine geographische Breite und Länge. Projiziert man dieses Netz an die Himmelskugel, erhält man das **Äquatorsystem**.

Definition

- Die **Deklination** δ entspricht der geographischen Breite. Sie ist der Winkel zwischen dem Himmelsäquator und dem Stern: am Himmelsäquator $\delta = 0°$, am Himmelsnordpol $\delta = +90°$, am Himmelssüdpol $\delta = -90°$.
- Die **Rektaszension** α entspricht der geographischen Länge. Sie wird auf dem Himmelsäquator vom **Frühlingspunkt** aus nach Osten gezählt, und zwar in Stunden (0 h bis 24 h). Eine Stunde entspricht 15°, denn $24 \cdot 15° = 360°$.
- Der Frühlingspunkt ist der Punkt des Himmelsäquators, an dem die Sonne zu Frühlingsbeginn steht (Skript AS2). Er ist der „Greenwich“ des Himmels.

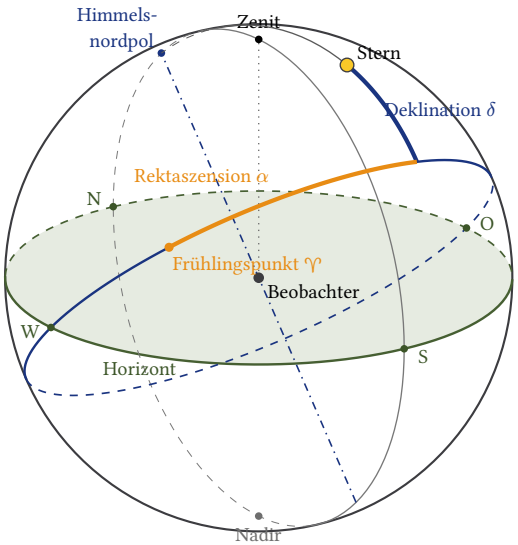


Abbildung 9: Äquatorsystem: Deklination δ (vom Himmelsäquator aus) und Rektaszension α (vom Frühlingspunkt nach Osten). Das Netz dreht sich mit dem Himmel um die Himmelsachse; α und δ eines Sterns bleiben gleich.

Rektaszension und Deklination eines Sterns ändern sich im Lauf eines Menschenlebens kaum. Man findet sie in jedem Sternkatalog: Beteigeuze hat $\alpha = 5\ \text{h}\ 55\ \text{min}$, $\delta = +7°24'$. Der Polarstern hat $\delta \approx +89{,}3°$; er steht also knapp 1° neben dem Pol.

	Horizontsystem	**Äquatorsystem**
Grundkreis	Horizont	Himmelsäquator
„Breite“	Höhe h ($-90°$ bis $+90°$)	Deklination δ ($-90°$ bis $+90°$)
„Länge“	Azimut A (0° bis 360°, ab Norden über Osten)	Rektaszension α (0 h bis 24 h, ab Frühlingspunkt nach Osten)
hängt ab von	Ort und Zeitpunkt	fast nur vom Stern
nützlich für	Beobachten, Fernrohr ausrichten	Sternkarten, Kataloge

Tabelle 3: Horizontsystem und Äquatorsystem im Vergleich.

Typischer Fehler

Falsch: Die Rektaszension wird wie das Azimut in Grad gemessen und nach Westen gezählt.
Richtig: Die Rektaszension wird in Stunden angegeben ($1\ \text{h} = 15°$) und vom Frühlingspunkt nach **Osten** gezählt.

Sterne mit größerer Rektaszension gehen später auf und kommen später in den Süden. Die Stundenzählung passt deshalb gut zur Drehung des Himmels.

Fachbegriffe: Himmelskugel · Horizont · Zenit · Nadir · Meridian · Himmelsnordpol · Himmelsäquator · Horizontsystem · Höhe · Azimut · Äquatorsystem · Deklination · Rektaszension · Frühlingspunkt

Üben: **noctua** ↗ Ausprobieren: **Gradnetz: Orte finden** ↗



3 Die tägliche Drehung des Himmels

3.1 Der Himmel dreht sich

IMP 8 Wahlfach Astronomie

Beobachtet man den Himmel über einige Stunden, sieht man: Die Sterne gehen im Osten auf, steigen im Süden am höchsten und gehen im Westen unter, genau wie die Sonne. Nur die Sterne in der Nähe des Polarsterns gehen nie unter. Sie ziehen Kreise um den Polarstern, entgegen dem Uhrzeigersinn, wenn man nach Norden schaut.

Was sich wirklich dreht, ist die Erde. Sie dreht sich in knapp 24 Stunden einmal von Westen nach Osten um ihre Achse. Wir drehen uns mit und sehen deshalb den Himmel in der Gegenrichtung von Osten nach Westen ziehen. Man unterscheidet daher:

- die **wahre Bewegung**: die Drehung der Erde,
- die **scheinbare Bewegung**: die tägliche Drehung des Himmels, die wir sehen.

Es ist wie im Karussell: Wer sich dreht, sieht die Umgebung in der Gegenrichtung vorbeiziehen.

Merksatz

Tägliche Drehung

- Der Himmel dreht sich scheinbar einmal am Tag um die Himmelsachse durch den Himmelsnordpol, von Osten nach Westen.
- In einer Stunde sind das $360° : 24 = 15°$, also etwa anderthalb Fäuste.
- Der Polarstern steht fast im Drehpunkt und bewegt sich deshalb kaum.

Sternstrichspuren. Richtet man eine Kamera auf einem Stativ nach Norden und belichtet sehr lange, zeichnen die Sterne Kreisbögen um den Himmelspol (Abbildung 10). Bei vier Stunden Belichtung ist jeder Bogen $4 \cdot 15° = 60°$ lang. Der Polarstern zieht nur einen winzigen Bogen, weil er so nah am Pol steht.

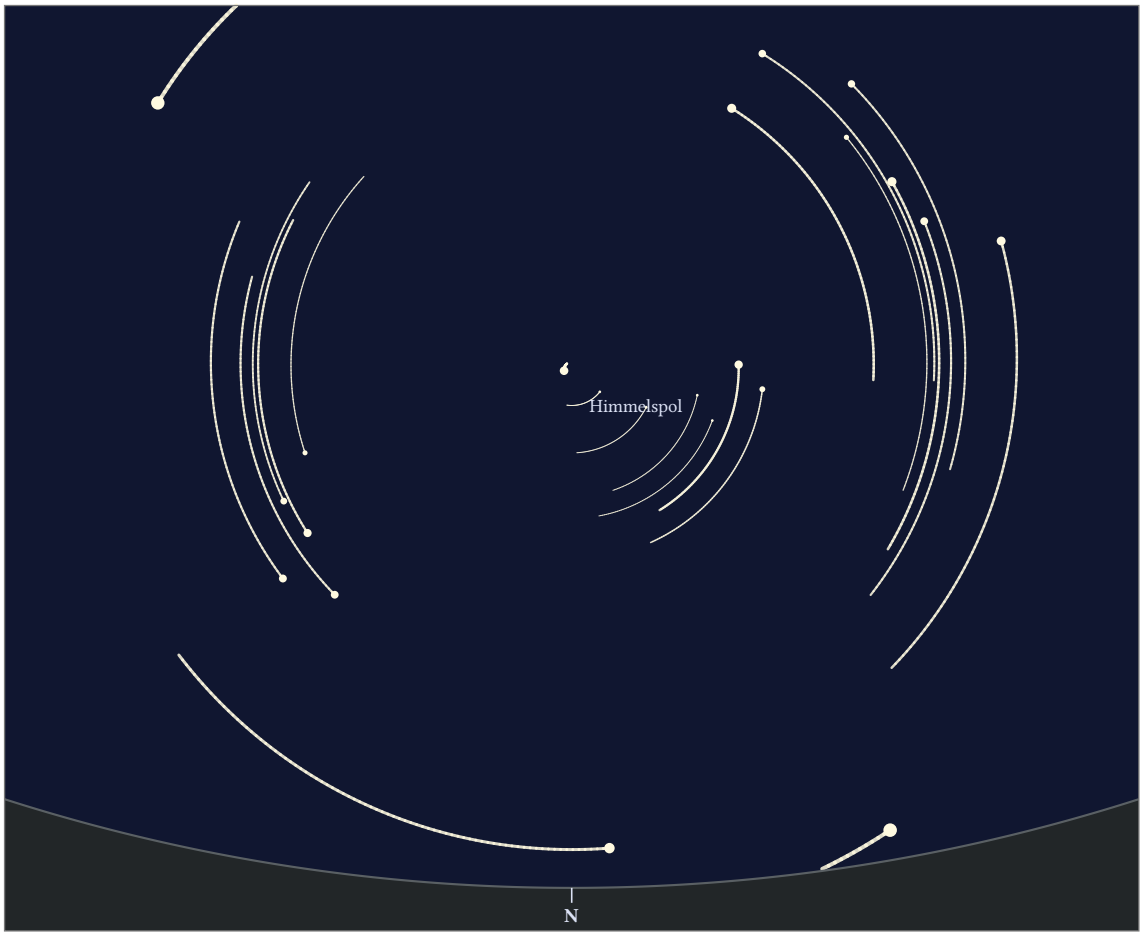


Abbildung 10: Sternstrichspuren am Nordhimmel bei vier Stunden Belichtung (berechnet für die Sterne aus Abbildung 3). Jeder Bogen ist 60° lang; Bögen nahe am Pol sind kurz, weiter außen lang.

⋆ Der Große Wagen dreht sich
An einem klaren Abend im Herbst, Winter oder Frühling. Zeichne um 19 Uhr den Großen Wagen, den Polarstern und einen festen Gegenstand am Horizont (Baum, Hausdach) auf. Wiederhole die Zeichnung vom selben Platz aus zwei und vier Stunden später. Miss jeweils mit der Faust, wie weit sich der Wagen um den Polarstern gedreht hat. Erwartung: etwa 30° in zwei Stunden. Hilfsmittel: Papier, Stift, Rotlicht-Taschenlampe.

3.2 Aufgang, Kulmination und Untergang

IMP 8 Zusatz

Jeder Stern beschreibt im Lauf eines Tages einen Kreis um die Himmelsachse. Den Teil des Kreises über dem Horizont nennt man **Tagbogen**. Auf ihm liegen der **Aufgang** des Sterns, sein höchster Punkt und sein **Untergang**.

Definition
Ein Stern **kulminiert**, wenn er seinen höchsten Punkt erreicht. Das geschieht, wenn er den Meridian überquert, für Sterne südlich des Zenits also genau im Süden. Die Höhe dort heißt **Kulminationshöhe**.

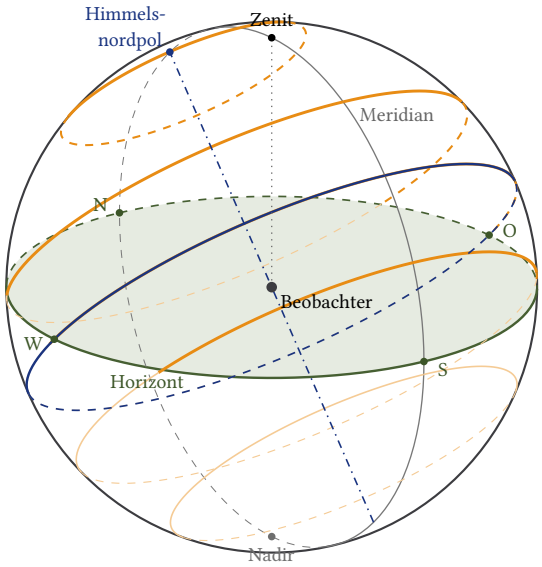


Abbildung 11: Tagbögen von fünf Sternen mit verschiedener Deklination in 48° nördlicher Breite (berechnet): +60° (geht nie unter), +20°, 0° (Himmelsäquator, blau), −20° und −45° (geht nie auf). Kräftig: über dem Horizont, blass: darunter.

Abbildung 11 zeigt drei Sorten von Sternen:

- Sterne am **Himmelsäquator** gehen genau im Osten auf und genau im Westen unter. Sie sind zwölf Stunden über und zwölf Stunden unter dem Horizont.
- Sterne **nördlich** des Himmelsäquators gehen im Nordosten auf und im Nordwesten unter. Sie bleiben länger als zwölf Stunden über dem Horizont und steigen höher.
- Sterne **südlich** des Himmelsäquators gehen im Südosten auf und im Südwesten unter. Ihr Tagbogen ist kurz und flach. Sirius zum Beispiel ist in Lörrach nur gut neun Stunden über dem Horizont und steigt höchstens auf etwa 25°.

⋆ Kulmination eines hellen Sterns
Im Winter abends: Peile vom selben Platz aus jede halbe Stunde Sirius (oder im Sommer Atair) über einem festen Punkt an. Miss jeweils seine Höhe mit der Faust oder mit einer Winkelmesser-App und schätze das Azimut. Trage die Höhe über der Uhrzeit in ein Diagramm ein. Zu welcher Uhrzeit war der Stern am höchsten? Stand er da genau im Süden?

3.3 Zirkumpolarsterne

Wahlfach Astronomie Zusatz

Sterne, die nie untergehen, heißen **Zirkumpolarsterne** (lateinisch *circum*: um … herum). Bei uns gehören der Große und der Kleine Wagen, Kassiopeia, der Drache und der Kepheus dazu; man sieht sie in jeder klaren Nacht des Jahres.

Ob ein Stern zirkumpolar ist, hängt von seinem Abstand vom Himmelsnordpol und vom Beobachtungsort ab. Der Himmelsnordpol steht in Lörrach etwa 48° hoch. Ein Stern, der weniger als 48° vom Pol entfernt ist, bleibt deshalb bei seiner Kreisbahn um den Pol immer über dem Horizont (Abbildung 10).

Merksatz

Zirkumpolar oder nicht? (für die geographische Breite φ, in Lörrach $\varphi \approx 48°$)

- Ein Stern ist zirkumpolar, wenn $\delta > 90° - \varphi$ ist, in Lörrach also bei $\delta > 42°$.
- Ein Stern geht nie auf, wenn $\delta < -(90° - \varphi)$ ist, in Lörrach also bei $\delta < -42°$. Das Kreuz des Südens ($\delta \approx -60°$) sieht man von Deutschland aus nie.
- Alle anderen Sterne gehen auf und unter.

Beispiel 2

Kapella hat $\delta = +46°$, ist also in Lörrach zirkumpolar. In Sommernächten zieht sie um Mitternacht herum nur etwa 4° über dem Nordhorizont entlang. Wega hat $\delta = +39°$ und verschwindet deshalb jeden Tag für etwa dreieinhalb Stunden knapp unter dem Nordhorizont.

3.4 Polhöhe und geographische Breite

Wahlfach Astronomie | Zusatz

Für die Kursstufe

Die Begründung in diesem Abschnitt und die Formel für die Kulminationshöhe gehören zum Wahlfach Astronomie („Standortabhängigkeit“) und zum Pflichtstoff in Sachsen-Anhalt.

Fährt man nach Norden, steht der Polarstern höher; fährt man nach Süden, sinkt er. Am Nordpol stünde er im Zenit, am Äquator am Horizont. Die Höhe des Himmelsnordpols über dem Horizont heißt **Polhöhe** h_P.

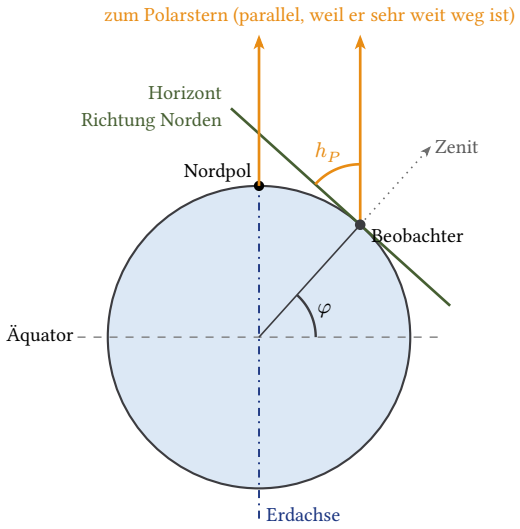


Abbildung 12: Warum die Polhöhe gleich der geographischen Breite ist: Der Polarstern ist so weit weg, dass sein Licht überall auf der Erde parallel zur Erdachse ankommt. Der Horizont steht senkrecht auf der Richtung zum Zenit.

Begründung: Die Richtung zum Zenit verlängert den Erdradius zum Beobachter; sie bildet mit der Äquatorebene den Winkel φ, die **geographische Breite**. Der Horizont steht senkrecht auf der Zenitrichtung, die Erdachse senkrecht auf der Äquatorebene. Dreht man ein Paar von Geraden um 90°, bleibt der Winkel zwischen ihnen gleich. Also schließen Horizont und Erdachse ebenfalls den Winkel φ ein. Weil der Polarstern in Richtung der Erdachse steht, gilt:

Merksatz

Polhöhe = geographische Breite: $h_P = \varphi$.

Kulminationshöhe eines Sterns mit der Deklination δ, der im Süden kulminiert ($\delta < \varphi$):

$$h_{\max} = 90° - \varphi + \delta.$$

Der Himmelsäquator steht im Süden also $90° - \varphi$ hoch, in Lörrach etwa 42°.

Beispiel 3

Sirius ($\delta = -16{,}7°$) kulminiert in Lörrach in der Höhe $h_{\max} = 90° - 48° - 16{,}7° \approx 25°$, Wega ($\delta = +38{,}8°$) in $90° - 48° + 38{,}8° \approx 81°$, also fast im Zenit.

Mit diesem Zusammenhang haben Seefahrer jahrhundertelang ihre geographische Breite bestimmt: Sie maßen nachts die Höhe des Polarsterns (oder mittags die Kulminationshöhe der Sonne) und konnten daraus ablesen, wie weit nördlich sie waren.

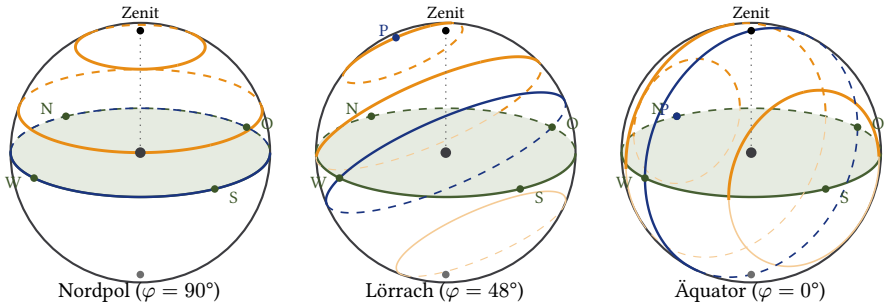


Abbildung 13: Der Himmel an verschiedenen Orten (berechnet, Tagbögen für $\delta = +60°$, $+20°$ und $-45°$). Am Nordpol laufen alle Sterne parallel zum Horizont und gehen nie auf oder unter, am Äquator gehen alle Sterne senkrecht auf und unter.

Fachbegriffe: wahre Bewegung · scheinbare Bewegung · tägliche Drehung · Sternstrichspuren · Tagbogen · Aufgang · Untergang · Kulmination · Kulminationshöhe · Zirkumpolarstern · Polhöhe · geographische Breite

Üben: **noctua ↗** Ausprobieren: **Drehbare Sternkarte ↗** · **Sonnenverlauf und Tageslänge ↗**



4 Hilfsmittel: Sternkarte, Apps, Fernglas und Fernrohr

4.1 Die drehbare Sternkarte

IMP 8 Wahlfach Astronomie

Eine **drehbare Sternkarte** zeigt für jede Nacht des Jahres und jede Uhrzeit, welche Sterne gerade über dem Horizont stehen. Sie besteht aus zwei Scheiben:

- Die untere **Sternscheibe** zeigt den ganzen Himmel, den man von Deutschland aus jemals sehen kann, mit dem Himmelsnordpol in der Mitte. Am Rand steht eine Datumsskala.
- Die obere **Deckscheibe** hat ein ovales Fenster. Sein Rand ist der Horizont. Am Rand der Deckscheibe steht eine Uhrzeitskala.

Dreht man die Sternscheibe so, dass das heutige Datum neben der gewünschten Uhrzeit steht, zeigt das Fenster genau den Himmel zu diesem Zeitpunkt. Das Drehen der Scheibe ahmt die Drehung des Himmels nach.

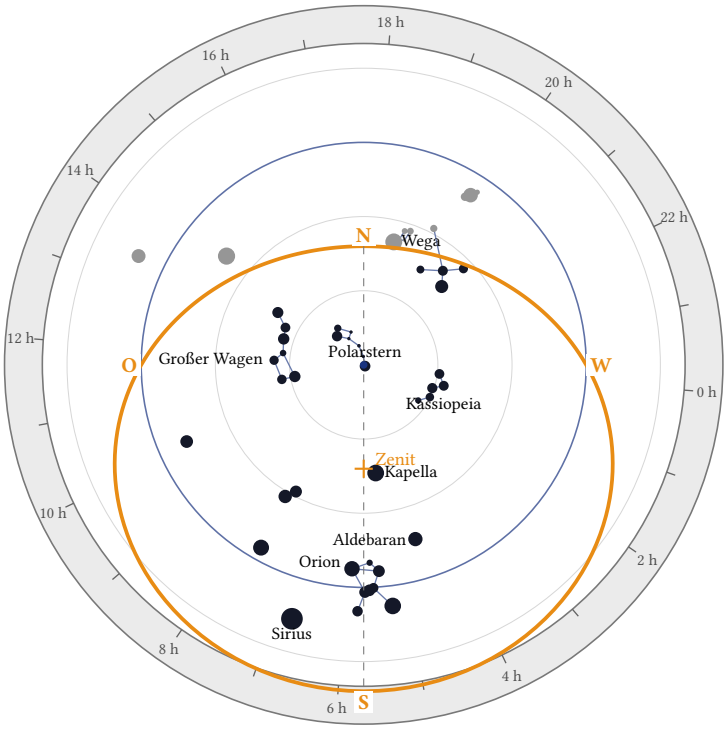


Abbildung 14: Aufbau einer drehbaren Sternkarte (Schema, berechnet für 48° Nord, eingestellt auf Mitte Januar 22:30 Uhr). Orange: Fenster der Deckscheibe mit dem Horizont; was außerhalb liegt (grau), ist gerade unter dem Horizont. Der Himmelsnordpol liegt in der Mitte.

Merksatz

Drehbare Sternkarte benutzen

a) Datum auf der Sternscheibe neben die Uhrzeit auf der Deckscheibe drehen. Im Sommer von der Sommerzeit eine Stunde abziehen, denn die Karten rechnen mit Winterzeit (MEZ).
b) Die Karte über den Kopf halten oder so vor sich halten, dass die Himmelsrichtung, in die man schaut, unten liegt.
c) Der Rand des Fensters ist der Horizont, die Mitte des Fensters der Zenit.
d) Nachts nur mit rotem Licht ablesen.

Die Karte sieht seitenverkehrt aus: Osten liegt links, Westen rechts. Das ist kein Druckfehler. Eine Landkarte schaut man von oben an, eine Sternkarte von unten: Schaut man nach Süden, ist Osten links.

4.2 Apps und Planetariumsprogramme

IMP 8 Wahlfach Astronomie

Auf dem Handy oder dem Tablet zeigen **Astronomie-Apps** den Himmel für jeden Ort und jede Zeit. Viele benutzen den Kompass und den Lagesensor des Geräts: Hält man es gegen den Himmel, erscheinen genau die Sterne, die dahinter stehen, mit Namen und Linien der Sternbilder. Am Computer leisten **Planetariumsprogramme** wie das kostenlose Stellarium dasselbe.

Vorteile digitaler Hilfsmittel

- zeigen auch Planeten, Mond und Satelliten an der richtigen Stelle
- beliebige Orte und Zeiten, auch Vergangenheit und Zukunft
- Zeitraffer macht die Drehung des Himmels sichtbar
- Zusatzinformationen zu jedem Objekt

Vorteile der drehbaren Sternkarte

- braucht keinen Akku und kein Netz
- blendet nicht (helle Displays stören die Dunkeladaption, Kapitel 5)
- zeigt den ganzen Himmel auf einen Blick
- man lernt, sich selbst zu orientieren

Bei Apps hilft der **Nachtmodus**, der alles in Rot zeigt. Der Kompass im Handy kann durch Metall in der Nähe falsch zeigen; man prüft die Anzeige deshalb an einem bekannten Stern.

4.3 Das Auge und das Fernglas

Wahlfach Astronomie

Unser Auge ist das erste astronomische Instrument. Seine **Öffnung**, die Pupille, ist nachts bei jungen Menschen etwa 7 mm weit. Mehr Licht kann es nicht einsammeln. Ein Fernglas oder Fernrohr hat eine viel größere Öffnung und fängt entsprechend mehr Licht auf. Dadurch sieht man schwächere Sterne.

Merksatz

Lichtsammelvermögen: Wie viel mehr Licht ein Instrument sammelt als das Auge, hängt von der Fläche der Öffnung ab. Doppelter Durchmesser bedeutet vierfache Fläche:

$$\text{Faktor} = \left(\frac{\text{Durchmesser der Öffnung}}{\text{Durchmesser der Pupille}} \right)^2 .$$

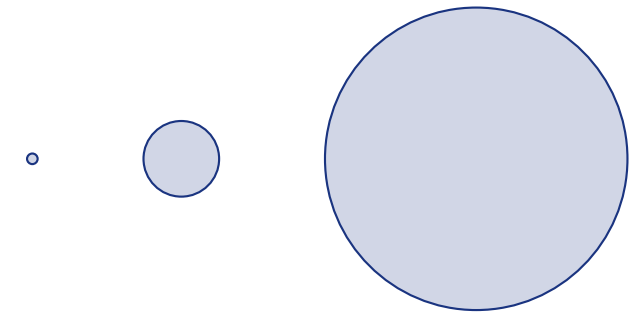


Abbildung 15: Öffnungen im Maßstab 1 : 5 und wie viel Licht sie im Vergleich zur Pupille sammeln.

Ein **Fernglas** ist das beste Gerät für den Anfang. Auf ihm stehen zwei Zahlen, zum Beispiel 10×50: Es vergrößert zehnfach und hat Objektive mit 50 mm Durchmesser. Damit sieht man die Krater auf dem Mond, die vier großen Jupitermonde, viele Sternhaufen und die Andromedagalaxie als Nebelfleck. Gläser mit 7- bis 10-facher Vergrößerung kann man noch ruhig in der Hand halten.

Austrittspupille

Teilt man den Objektivdurchmesser durch die Vergrößerung, erhält man die **Austrittspupille**: den Durchmesser des Lichtbündels, das aus dem Okular kommt. Beim 10×50 sind das $50\ \text{mm} : 10 = 5\ \text{mm}$. Nachts sollte sie nicht größer sein als die Pupille des Auges, sonst geht Licht verloren.

4.4 Fernrohre: Linsen und Spiegel

Wahlfach Astronomie

Ein **Fernrohr** (Teleskop) hat zwei Teile: Das **Objektiv** sammelt das Licht und erzeugt ein Bild, das **Okular** wirkt wie eine Lupe, mit der man dieses Bild betrachtet. Beim **Linsenfernrohr** (Refraktor) ist das Objektiv eine Sammellinse. Diese Bauart hat Johannes Kepler 1611 vorgeschlagen.

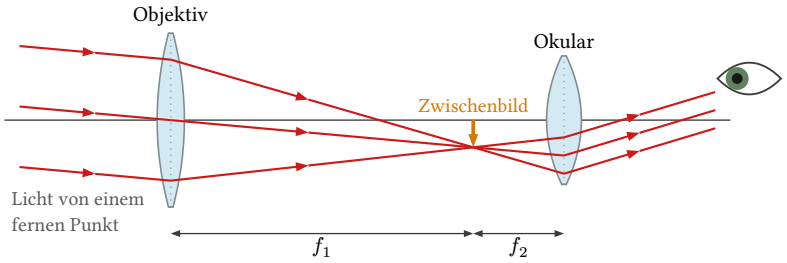


Abbildung 16: Linsenfernrohr nach Kepler: Licht von einem fernen Stern trifft parallel auf das Objektiv (Brennweite f_1). Das Okular (Brennweite f_2) macht aus dem Zwischenbild wieder paralleles Licht, aber unter einem größeren Winkel. Das Bild steht auf dem Kopf.

Merksatz

Vergrößerung eines Fernrohrs:

$$V = \frac{f_1}{f_2} = \frac{\text{Brennweite des Objektivs}}{\text{Brennweite des Okulars}}.$$

Mit einem anderen Okular ändert man die Vergrößerung. Mehr als etwa das Doppelte des Objektivdurchmessers in Millimetern lohnt sich nicht (bei 100 mm also höchstens etwa 200-fach): Das Bild wird dann nur größer, aber nicht schärfer.

Beim **Spiegelteleskop** (Reflektor) sammelt ein Hohlspiegel das Licht. Isaac Newton baute 1668 das erste brauchbare Spiegelteleskop. Große Spiegel sind viel leichter herzustellen als große Linsen; deshalb sind alle großen Teleskope der Welt Spiegelteleskope (Skript AS6).

Für die Astronomie ist die **Öffnung** wichtiger als die Vergrößerung: Sie bestimmt, wie viel Licht das Fernrohr sammelt und wie feine Einzelheiten es zeigen kann. Ein Fernrohr mit 100 mm Öffnung trennt noch zwei Sterne, die nur etwa eine Bogensekunde auseinanderstehen.

Montierung. Ein Fernrohr braucht ein festes Gestell. Bei der **azimutalen Montierung** dreht man das Rohr waagerecht (Azimut) und senkrecht (Höhe), wie im Horizontsystem. Bei der **parallaktischen Montierung** zeigt eine Achse genau zum Himmelsnordpol, ist also um die Polhöhe gegen den Horizont geneigt. Dreht man das Fernrohr um diese Achse, folgt es der täglichen Drehung des Himmels; ein einziger Motor genügt.

Typischer Fehler

Falsch: Ein gutes Fernrohr erkennt man an einer hohen Vergrößerung (zum Beispiel „675-fach“ auf dem Karton).
Richtig: Entscheidend ist die Öffnung. Sie legt fest, wie viel Licht gesammelt wird und wie scharf das Bild höchstens sein kann. Zu hohe Vergrößerung macht das Bild nur dunkel und verschwommen.

Nie in die Sonne!

Ein Fernglas oder Fernrohr bündelt auch das Sonnenlicht. Ein einziger Blick durch ein Instrument ohne Filter in die Sonne kann sofort und für immer blind machen. Die Sonne beobachtet man nur mit einem geprüften Sonnenfilter vor dem Objektiv oder durch Projektion auf einen Schirm (Skript AS4).

Fachbegriffe: drehbare Sternkarte · Sternscheibe · Deckscheibe · Astronomie-App · Planetariumsprogramm · Öffnung · Lichtsammelvermögen · Fernglas · Austrittspupille · Fernrohr · Objektiv · Okular · Linsenfernrohr · Spiegelteleskop · Vergrößerung · Montierung

Üben: **noctua** ↗ Ausprobieren: **Drehbare Sternkarte** ↗ · **Bilder mit Linsen** ↗ · **Auflösungsvermögen** ↗



5 Beobachten

5.1 Eine Beobachtung planen

IMP 8 Wahlfach Astronomie

Eine gute Beobachtung beginnt am Schreibtisch. Diese Fragen helfen bei der Planung:

- **Was** will ich beobachten, und **wann** ist es zu sehen? Sternkarte oder App zeigen, ob das Objekt am Abend hoch genug steht. Gut sind Höhen über 20°, denn nah am Horizont schaut man durch viel Luft und Dunst.
- **Wo** beobachte ich? Der Ort sollte dunkel sein, ohne Lampen in der Nähe, mit freiem Blick in die gewünschte Richtung.
- **Wie ist der Mond?** Bei Vollmond ist der Himmel so hell, dass man nur die helleren Sterne sieht. Für schwache Objekte wählt man die Tage um Neumond. Für den Mond selbst ist die Zeit um Halbmond am besten, weil die Schatten an der Licht-Schatten-Grenze die Krater plastisch zeigen.
- **Wie wird das Wetter?** Wolken, Dunst und Wind beachten.
- **Was brauche ich?** Warme Kleidung (auch im Sommer wird es nachts kühl), Sternkarte, Rotlichtlampe, Notizzettel, eventuell Fernglas.

Richtig dunkel ist es erst, wenn die Sonne mindestens 18° unter dem Horizont steht. Im Dezember ist das in Lörrach schon gegen 18:30 Uhr der Fall. Um den 21. Juni wird es dagegen nur knapp zwei Stunden lang richtig dunkel, um 1:30 Uhr (Sommerzeit) herum; in Norddeutschland gar nicht.

Protokoll. Jede Beobachtung wird aufgeschrieben: Datum, Uhrzeit, Ort, Wetter und Himmelsqualität, Instrument, was man gesehen hat, und eine Skizze. Nur so kann man später Beobachtungen vergleichen.

5.2 Dunkeladaption

IMP 8 Wahlfach Astronomie

Kommt man aus einem hellen Raum nach draußen, sieht man zuerst kaum Sterne. Nach und nach werden es mehr. Das Auge passt sich an die Dunkelheit an; man nennt das **Dunkeladaption**.

- In den ersten Sekunden öffnet sich die Pupille von etwa 2 mm auf bis zu 7 mm (bei älteren Menschen weniger).
- Viel länger dauert die Umstellung der Netzhaut: Die lichtempfindlichen **Stäbchen** brauchen etwa 20 bis 30 Minuten, bis sie ganz empfindlich sind.
- Ein einziger Blick in helles weißes Licht, etwa auf ein Handydisplay, macht einen großen Teil davon zunichte. Rotes Licht stört die Stäbchen am wenigsten. Deshalb benutzt man nachts eine schwache rote Lampe.

Die Stäbchen sitzen vor allem am Rand der Netzhaut, nicht in der Mitte. Ein schwaches Objekt sieht man deshalb besser, wenn man knapp daneben schaut: **indirektes Sehen**. Und weil die Stäbchen keine Farben unterscheiden, sieht man schwache Sterne und Nebel nur grau.

Typischer Fehler
Falsch: Nach einer Minute im Dunkeln sieht man alles, was es zu sehen gibt.
Richtig: Die Pupille öffnet sich schnell, aber die Netzhaut braucht etwa eine halbe Stunde, bis sie voll empfindlich ist.

Wer früher aufgibt, sieht deutlich weniger Sterne.

5.3 Lichtverschmutzung

Wahlfach Astronomie Zusatz

Über jeder Stadt liegt nachts eine helle **Lichtglocke**: Licht von Straßenlampen, Reklame und Gebäuden strahlt nach oben und wird in der Luft gestreut. Diese **Lichtverschmutzung** hellt den ganzen Himmel auf. Schwache Sterne gehen im Hintergrund unter.

Beobachtungsort	schwächste Sterne	gleichzeitig sichtbare Sterne
Innenstadt einer Großstadt	etwa 3 mag	einige Dutzend
Vorort, Kleinstadt	etwa 4 bis 5 mag	einige hundert
Dorf, Land	etwa 5,5 mag	über tausend; Milchstraße erkennbar
sehr dunkler Ort (Gebirge, Sternenpark)	6 bis 7 mag	rund 2000 bis 3000; Milchstraße auffällig

Tabelle 4: Was man an verschiedenen Orten mit bloßem Auge sieht (grobe Werte, abhängig von Wetter und Augen).

Nach einer Untersuchung von 2016 kann etwa 60 % der Bevölkerung Europas die Milchstraße von zu Hause aus nicht mehr sehen. Künstliches Licht stört aber nicht nur Astronomen: Nachtaktive Insekten fliegen um Lampen, bis sie erschöpft sind, Zugvögel werden in die Irre geleitet, und Lampen, die in den Himmel strahlen, verschwenden Energie. Dagegen hilft schon viel: Lampen, die nur nach unten leuchten, warmweißes statt kaltweißes Licht, Bewegungsmelder und das Abschalten unnötiger Beleuchtung in der Nacht. In Deutschland gibt es inzwischen mehrere anerkannte **Sternenparks** mit besonders dunklem Himmel, etwa im Westhavelland, in der Rhön und in der Eifel.

⋆ Wie dunkel ist dein Himmel?
An einem klaren, mondlosen Abend im Winter: Zähle, wie viele Sterne du innerhalb des Vierecks des Orion (Beteigeuze, Bellatrix, Rigel, Saiph) siehst, nachdem du 20 Minuten im Dunkeln warst. Die Eckpunkte zählen nicht mit. Vergleicht die Zahlen von verschiedenen Wohnorten in der Klasse. Je mehr Sterne, desto dunkler der Himmel. Hilfsmittel: Sternkarte, Rotlicht.

5.4 Seeing und Durchsicht

Wahlfach Astronomie

Sterne funkeln, weil wir sie durch die unruhige Lufthülle sehen. Warme und kalte Luftschichten lenken das Licht ständig ein wenig ab, so wie die flimmernde Luft über einer heißen Straße. Ein Stern ist so klein, dass das ganze Licht durch dieselbe kleine Luftzelle kommt; er zittert und flackert. Ein Planet erscheint als winziges Scheibchen. Sein Licht kommt durch viele Luftzellen, die Schwankungen gleichen sich aus: **Planeten funkeln kaum**.

Definition

- **Seeing** nennt man die Luftunruhe. Bei schlechtem Seeing tanzt und verschwimmt das Bild im Fernrohr, feine Einzelheiten auf Mond und Planeten gehen verloren. In Mitteleuropa werden Sterne dadurch meist zu Scheibchen von etwa 2 bis 4 Bogensekunden verschmiert.
- **Durchsicht** (Transparenz) nennt man die Klarheit der Luft. Bei guter Durchsicht sieht man viele schwache Sterne; Dunst und Staub verschlechtern sie.

Beides hängt nicht zusammen. Nach einem Gewitter ist die Luft oft sehr klar (gute Durchsicht), aber unruhig (schlechtes Seeing). Bei leichtem Dunst und ruhiger Luft kann man dagegen den Mond besonders scharf sehen. Die großen Sternwarten stehen deshalb auf hohen Bergen in Wüstengegenden, und manche Teleskope fliegen im Weltall, wo es gar keine Luft gibt (Skript AS6).

5.5 Planeten vor den Fixsternen

IMP 8 Wahlfach Astronomie

Ein Planet fällt oft als besonders heller Stern auf, der nicht in der Sternkarte steht und kaum funkelt. Die hellsten Planeten sind **Venus** (bis $-4{,}6$ mag, als Abend- oder Morgenstern immer in der Nähe der Sonne), **Jupiter** (bis $-2{,}9$ mag) und **Mars** (bis $-2{,}9$ mag, rötlich, aber nur zeitweise so hell). **Saturn** ist etwas schwächer, aber gut zu sehen. Alle Planeten bleiben in der Nähe der **Ekliptik**, der Bahn der Sonne durch die Sternbilder des Tierkreises (Skript AS2). Beobachtet man einen Planeten über Wochen, sieht man ihn langsam vor den Fixsternen weiterwandern, meist von Westen nach Osten. Einmal im Jahr bzw. bei Mars etwa alle zwei Jahre wird er aber langsamer, bleibt stehen, läuft einige Wochen rückwärts und dann wieder vorwärts. Er zieht am Himmel eine Schleife oder einen Zickzack: die **Planetenschleife** (Abbildung 17).

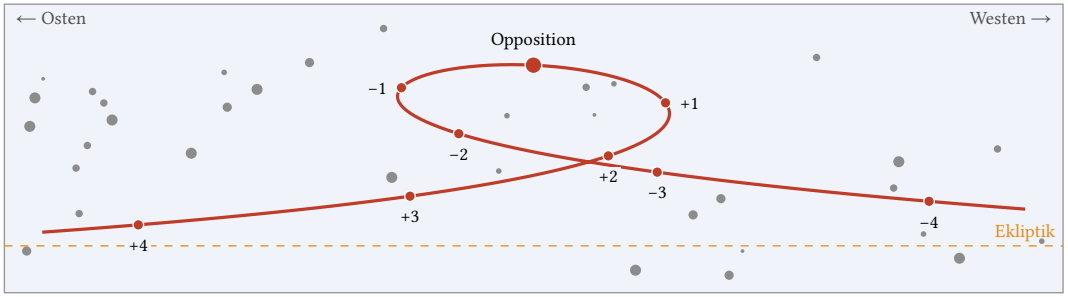


Abbildung 17: Planetenschleife des Mars in den Monaten um die Opposition (Modell mit Kreisbahnen; Zahlen: Monate vor bzw. nach der Opposition, senkrecht zweifach gestreckt, Hintergrundsterne schematisch).

Die Schleife ist eine scheinbare Bewegung. Die Erde läuft auf der Innenbahn schneller um die Sonne als Mars. Wenn sie ihn überholt, sieht es von der Erde aus so aus, als liefe Mars rückwärts – wie ein langsames Auto auf der Autobahn, das beim Überholen nach hinten zu fahren scheint. In der Mitte der Schleife steht Mars der Sonne genau gegenüber (**Opposition**). Dann ist er der Erde am nächsten, die ganze Nacht zu sehen und besonders hell. Warum diese Schleifen die Astronomen jahrhundertelang beschäftigt haben, steht im Skript AS3.

⋆ Ein Planet wandert
Wenn ein heller Planet am Abendhimmel steht (App oder Jahrbuch fragen): Zeichne ihn zusammen mit den hellen Sternen in seiner Nähe ein- bis zweimal pro Woche über zwei Monate auf, immer vom selben Ort aus. Markiere seine Positionen mit Datum. In welche Richtung bewegt er sich vor den Sternen? Hilfsmittel: Sternkarte, eventuell Fernglas. Venus nie mit dem Fernglas beobachten, solange die Sonne noch über dem Horizont steht.

Fachbegriffe: Beobachtungsprotokoll · Dunkeladaption · Stäbchen · indirektes Sehen · Lichtverschmutzung · Lichtglocke · Sternenpark · Seeing · Durchsicht · Ekliptik · Planetenschleife · Opposition

Üben: **noctua** ↗ Ausprobieren: **Auge und Ohr** ↗

