minærva

AS 2

SKRIPT

Erde, Mond und Sonne

Erklärskript

Die Aufgaben 30–60 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 Tag und Nacht, der Lauf der Sonne **5**
1.1 Die Erde dreht sich 5
1.2 Der Tagbogen der Sonne 6
1.3 Schatten und Sonnenuhr 7
2 Jahreszeiten, Ekliptik und Tierkreis **9**
2.1 Die Erde läuft um die Sonne 9
2.2 Warum es Jahreszeiten gibt 9
2.3 Die Ekliptik und der Tierkreis 11
2.4 Astronomie und Astrologie 11
3 Der Mond **13**
3.1 Der Mond im Überblick 13
3.2 Die Mondphasen 13
3.3 Die gebundene Drehung 15
3.4 Siderischer und synodischer Monat 16
4 Finsternisse **17**
4.1 Licht und Schatten im Weltall 17
4.2 Die Sonnenfinsternis 17
4.3 Die Mondfinsternis 18
4.4 Warum es nicht jeden Monat eine Finsternis gibt 19
5 Zeit und Kalender **20**
5.1 Sonnentag und Sterntag 20
5.2 Ortszeit, Zonenzeit und Sommerzeit 20
5.3 Das Jahr und der Kalender 21
5.4 Mondkalender und Woche 22
5.5 Die Präzession der Erdachse 22

Worum es geht

Jeden Morgen geht die Sonne auf, jeden Abend geht sie unter. Im Sommer steht sie mittags hoch am Himmel, im Winter bleibt sie tief über dem Horizont. Der Mond ist an manchen Abenden eine schmale Sichel, an anderen eine runde, helle Scheibe, die die ganze Nacht leuchtet. Und sehr selten schiebt sich der Mond vor die Sonne: Mitten am Tag wird es für ein paar Minuten fast so dunkel wie in der Nacht.



Abbildung 18: Abendhimmel kurz nach Sonnenuntergang (schematisch). Die helle Seite der Mondsichel zeigt zur Sonne, die gerade im Westen untergegangen ist. Der Rest der Mondscheibe schimmert schwach: Er wird vom Licht der Erde beleuchtet.

Das alles haben Menschen seit Jahrtausenden beobachtet. Sie haben daraus Uhren und Kalender gemacht, lange bevor jemand wusste, warum es so ist. Heute können wir alles mit drei Himmelskörpern und drei Bewegungen erklären: Die Erde dreht sich um sich selbst, die Erde läuft um die Sonne, und der Mond läuft um die Erde.

Kapitel 1 zeigt, wie aus der Drehung der Erde Tag und Nacht werden und wie die Sonne über den Himmel wandert. Kapitel 2 erklärt die Jahreszeiten und den Tierkreis, und wie sich Astronomie und Astrologie unterscheiden. Kapitel 3 handelt vom Mond und seinen Phasen, Kapitel 4 von den Finsternissen. Kapitel 5 zeigt, wie aus Tag, Monat und Jahr unsere Uhrzeit und unser Kalender wurden. Die ersten vier Kapitel kommen ohne Formeln aus; erst in den letzten Abschnitten wird ein wenig gerechnet.

> **Erde, Mond und Sonne im Lehrplan.** Stufe: ab Klasse 7. Welcher Plan welchen Abschnitt verlangt, sagen die Marken unter den Überschriften. In Physik 7/8 gehören die Mondphasen und die Finsternisse (Kapitel 3 und 4) zur Optik. Vollständig ist das Skript Stoff des Wahlfachs Astronomie; Kalender, Zeitzonen und Präzession sind Bonus.

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 Tag und Nacht, der Lauf der Sonne

1.1 Die Erde dreht sich

IMP 8 Wahlfach Astronomie

Die Erde ist eine Kugel. Die Sonne beleuchtet immer nur die Hälfte, die ihr zugewandt ist: Dort ist Tag. Auf der anderen Hälfte ist Nacht. Dass Tag und Nacht sich abwechseln, liegt daran, dass sich die Erde dreht. Diese Drehung heißt **Erdrotation**. Die gedachte Linie, um die sich die Erde dreht, ist die **Erdachse**; sie geht durch den Nordpol und den Südpol. Eine Drehung dauert ungefähr 24 Stunden, also einen Tag.

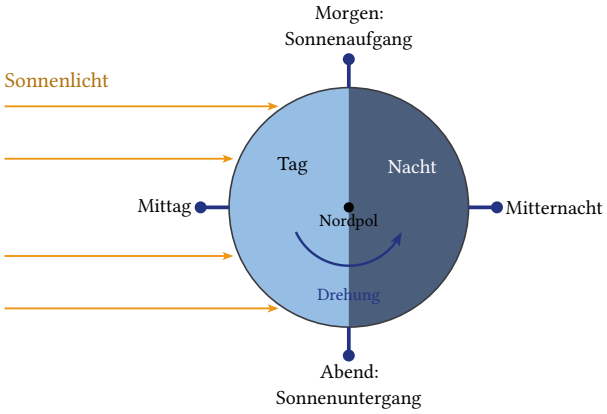


Abbildung 19: Die Erde von oben auf den Nordpol gesehen. Die Erde dreht sich gegen den Uhrzeigersinn, also von Westen nach Osten. Ein Mensch auf der Erde wird mitgenommen und kommt nacheinander durch Mittag, Abend, Mitternacht und Morgen.

Die Erde dreht sich **von Westen nach Osten**. Wir spüren davon nichts. Wir sehen nur, dass sich der ganze Himmel dreht: Die Sonne geht im Osten auf und im Westen unter, und auch der Mond und die Sterne ziehen von Osten nach Westen über den Himmel. Es ist wie im Zug: Fährt der Zug ruhig an, sieht es so aus, als würde der Bahnsteig rückwärts wegfahren.

Definition

- Die **wahre Bewegung** ist die Bewegung, die ein Körper wirklich ausführt. Die Erde dreht sich in einem Tag einmal von Westen nach Osten um ihre Achse.
- Die **scheinbare Bewegung** ist die Bewegung, die wir von der Erde aus sehen. Weil wir uns mitdrehen, scheinen Sonne, Mond und Sterne in einem Tag einmal von Osten nach Westen um uns herumzulaufen.

Beispiel 1

Der Äquator ist rund 40 000 km lang. Ein Ort am Äquator legt also in 24 Stunden 40 000 km zurück: $\frac{40\,000\ \text{km}}{24\ \text{h}} \approx 1670\frac{\text{km}}{\text{h}}$. In Lörrach ist der Breitenkreis nur rund 27 000 km lang, hier sind es etwa $1100\frac{\text{km}}{\text{h}}$. Wir merken davon nichts, weil sich alles um uns herum genauso schnell mitbewegt: die Luft, die Häuser, der Boden.

Typischer Fehler

Falsch: Die Sonne läuft jeden Tag einmal um die Erde herum.
Richtig: Die Erde dreht sich jeden Tag einmal um ihre Achse. Dass die Sonne über den Himmel wandert, ist eine scheinbare Bewegung.

Mit bloßem Auge lässt sich beides nicht unterscheiden. Deshalb hielten die Menschen lange die Erde für ruhend.

Kann man die Erddrehung beweisen?

1851 ließ Léon Foucault in Paris ein 67 m langes Pendel schwingen. Ein Pendel behält seine Schwingungsrichtung bei. Trotzdem drehte sich die Richtung, in der es schwang, im Lauf der Stunden gegenüber dem Fußboden. Der Grund: Der Boden dreht sich mit der Erde unter dem Pendel weg. In Lörrach dreht sich die Schwingungsebene eines solchen Pendels in gut 32 Stunden einmal herum. Heute sieht man die Erddrehung auch auf Filmen von Wettersatelliten.

1.2 Der Tagbogen der Sonne

IMP 8 Wahlfach Astronomie

Wer die Sonne einen ganzen Tag lang verfolgt, sieht: Sie geht im Osten auf, steigt schräg nach oben, steht mittags am höchsten und sinkt am Nachmittag nach Westen. Ihr Weg über den Himmel heißt **Tagbogen**. (Niemals direkt in die Sonne schauen! Es reicht, auf Schatten und Himmelsrichtungen zu achten.)

Definition

- Die **Sonnenhöhe** ist der Winkel zwischen der Sonne und dem Horizont.
- Am höchsten steht die Sonne genau im Süden. Diesen Moment nennt man **Kulmination** (lateinisch *culmen*: Gipfel). Die Sonnenhöhe in diesem Moment heißt **Mittagshöhe**.

Der Tagbogen ist nicht an jedem Tag gleich. Abbildung 20 zeigt ihn für drei Tage im Jahr, so wie man ihn in Lörrach sieht, wenn man nach Süden schaut.

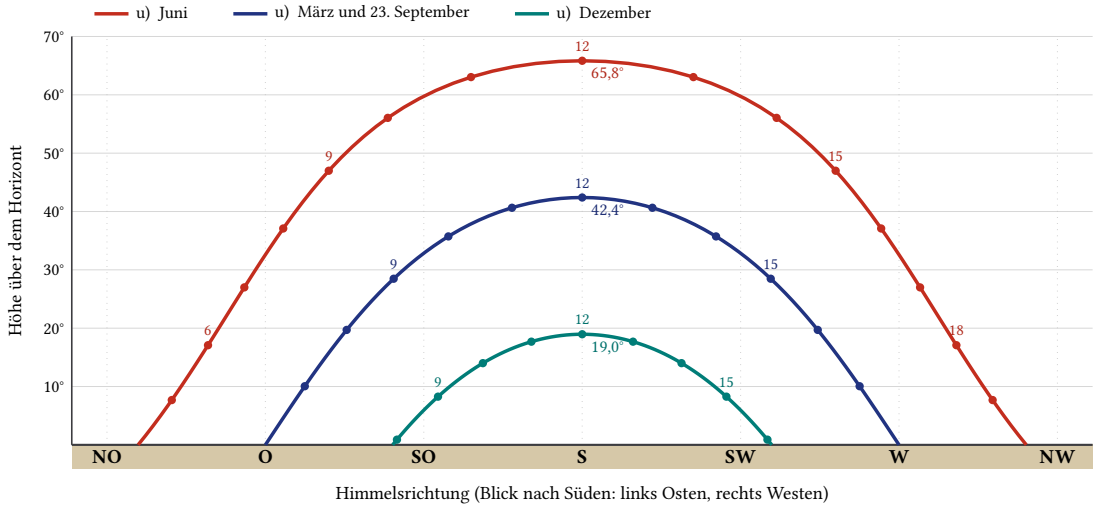


Abbildung 20: Tagbögen der Sonne in Lörrach (47,6° nördliche Breite), berechnet. Links ist Osten, rechts Westen. Die Punkte zeigen volle Stunden **wahrer Ortszeit**: Um 12 Uhr steht die Sonne genau im Süden (mehr dazu in Kapitel 5). Neben dem höchsten Punkt steht die Mittagshöhe.

- Im **Sommer** (21. Juni) geht die Sonne im Nordosten auf und im Nordwesten unter. Mittags steht sie fast 66° hoch. Sie ist knapp 16 Stunden am Himmel.
- Am **Frühlings- und Herbstanfang** (um den 21. März und den 23. September) geht die Sonne genau im Osten auf und genau im Westen unter. Tag und Nacht sind gleich lang, je 12 Stunden. Man nennt diese Tage **Tagundnachtgleiche**.
- Im **Winter** (21. Dezember) geht die Sonne im Südosten auf und im Südwesten unter. Mittags steht sie nur 19° hoch. Sie ist nur gut 8 Stunden am Himmel.

Die Luft lenkt das Sonnenlicht in Horizontnähe etwas ab. Deshalb sieht man die Sonne in Wirklichkeit morgens und abends einige Minuten länger, als die Rechnung ergibt. Warum sich der Tagbogen im Lauf des Jahres ändert, erklärt Kapitel 2.

Tag	Mittagshöhe	Tageslänge	Aufgang und Untergang
21. Juni	65,8°	knapp 16 h	Nordosten bis Nordwesten
21. März, 23. September	42,4°	12 h	Osten bis Westen
21. Dezember	19,0°	gut 8 h	Südosten bis Südwesten

Tabelle 5: Die Sonne in Lörrach an drei Tagen des Jahres (berechnet, ohne die Ablenkung des Lichts in der Luft).

Typischer Fehler

Falsch: Die Sonne geht immer genau im Osten auf und steht mittags immer gleich hoch.

Richtig: Nur am Frühlings- und Herbstanfang geht sie genau im Osten auf. Im Sommer geht sie im Nordosten auf und steigt hoch, im Winter geht sie im Südosten auf und bleibt tief.

⋆ Wo geht die Sonne auf?
Merke dir von deinem Fenster aus, über welchem Haus, Baum oder Berg die Sonne abends untergeht. Wiederhole das alle zwei Wochen, am besten von September bis Dezember. Der Punkt wandert immer weiter nach Süden. **Schau dabei nie direkt in die Sonne**, auch nicht, wenn sie tief steht; es genügt, kurz die Stelle am Horizont zu merken.

1.3 Schatten und Sonnenuhr

Physik 7/8 | Wahlfach Astronomie | Zusatz

Wo Licht auf einen Gegenstand fällt, entsteht hinter ihm ein Schatten. Der Schatten zeigt immer von der Sonne weg. Stellt man einen Stab senkrecht in die Sonne, wandert sein Schatten im Lauf des Tages: Morgens ist er lang und zeigt nach Westen, mittags ist er am kürzesten und zeigt nach Norden, abends ist er wieder lang und zeigt nach Osten. Je höher die Sonne steht, desto kürzer ist der Schatten.

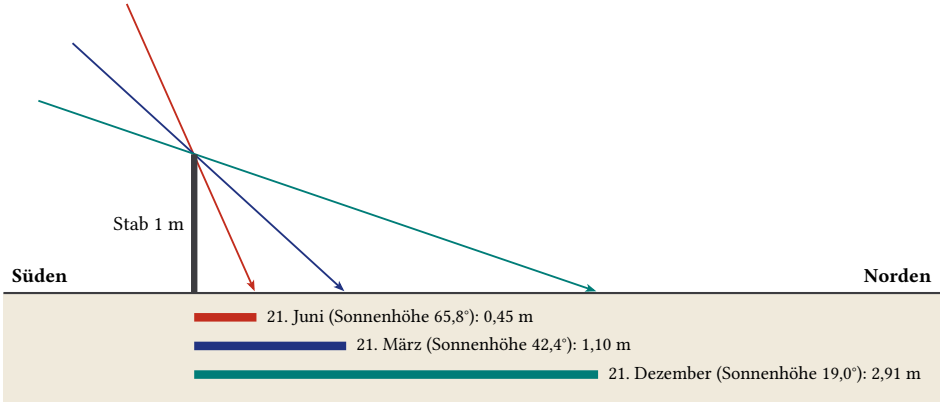


Abbildung 21: Mittagsschatten eines 1 m langen, senkrechten Stabs in Lörrach. Die Sonne steht mittags im Süden, der Schatten zeigt nach Norden. Im Winter ist er mehr als sechsmal so lang wie im Sommer.

Ein senkrechter Stab, dessen Schatten man beobachtet, heißt **Schattenstab** oder **Gnomon**. Mit ihm haben schon die alten Ägypter, Babylonier und Griechen die Zeit gemessen. Eine **Sonnenuhr** ist ein Schattenstab mit einer Skala: Wo der Schatten hinfällt, liest man die Uhrzeit ab.

Merksatz

Schatten der Sonne

- Der Schatten zeigt immer von der Sonne weg; je tiefer die Sonne steht, desto länger ist er.
- Mittags, wenn die Sonne genau im Süden steht, ist der Schatten am kürzesten und zeigt genau nach Norden. Die Richtung dieses Schattens heißt **Mittagslinie**.
- Eine Sonnenuhr zeigt die **wahre Ortszeit**: Um 12 Uhr steht die Sonne genau im Süden. Unsere Armbanduhren gehen anders (Kapitel 5).

Wie man aus Schatten die Größe der Erde bestimmt

Der griechische Gelehrte Eratosthenes erfuhr um 240 vor Christus, dass in Syene (heute Assuan) am Mittag des längsten Tages die Sonne senkrecht in einen Brunnen schien; ein Stab warf dort keinen Schatten. Im 5000 Stadien weiter nördlich gelegenen Alexandria maß er zur selben Zeit einen Schattenwinkel von etwa 7,2°, einem Fünfzigstel des Vollkreises. Also musste der Erdumfang 50-mal so groß sein wie die Strecke: 250 000 Stadien. Je nachdem, welches Stadion er benutzte, liegt das nahe an den wahren 40 000 km.

Gute Sonnenuhren haben keinen senkrechten Stab, sondern einen, der parallel zur Erdachse steht, also zum Polarstern zeigt. Dann fällt der Schatten das ganze Jahr über zur gleichen Uhrzeit auf dieselbe Stelle der Skala.

⋆ Die Mittagslinie auf dem Schulhof
Stelle an einem sonnigen Tag einen Stab senkrecht auf eine ebene Fläche (Wasserwaage oder Lot benutzen). Markiere von etwa 11 bis 14 Uhr (MEZ) alle 15 Minuten das Ende des Schattens mit Kreide. Die kürzeste Markierung liegt in Richtung Norden; die Verbindung zum Fußpunkt des Stabs ist die Mittagslinie. In Lörrach ist der Schatten je nach Jahreszeit zwischen etwa 12:15 Uhr und 12:45 Uhr MEZ am kürzesten (in der Sommerzeit eine Stunde später). Nicht in die Sonne schauen; es genügt, auf den Schatten zu achten.

Fachbegriffe: Erdrotation · Erdachse · wahre Bewegung · scheinbare Bewegung · Tagbogen · Sonnenhöhe · Kulmination · Mittagshöhe · Tagundnachtgleiche · Schattenstab (Gnomon) · Sonnenuhr · Mittagslinie · wahre Ortszeit

Üben: **noctua** ↗ Ausprobieren: **Sonnenverlauf und Tageslänge** ↗ · **Licht und Schatten** ↗



2 Jahreszeiten, Ekliptik und Tierkreis

2.1 Die Erde läuft um die Sonne

IMP 8 Wahlfach Astronomie

Außer um sich selbst dreht sich die Erde noch auf eine zweite Art: Sie läuft in einem **Jahr** einmal um die Sonne. Ihr Weg heißt **Erdbahn**. Er ist fast ein Kreis mit einem Radius von rund 150 Millionen Kilometern. Diese Entfernung nennt man eine **Astronomische Einheit** (AE). Um in einem Jahr die ganze Bahn zu durchlaufen, muss die Erde fast 30 km in jeder Sekunde zurücklegen.

Ganz genau ist die Erdbahn kein Kreis. Anfang Januar ist die Erde der Sonne am nächsten (147,1 Millionen km), Anfang Juli am fernsten (152,1 Millionen km). Der Unterschied ist klein: nur gut 3 %.

Wichtig für die Jahreszeiten ist etwas anderes: Die Erdachse steht **schräg** zur Erdbahn. Sie ist um **23,44°** gegen die Senkrechte geneigt; man spricht von der **Neigung der Erdachse**. Und sie zeigt das ganze Jahr über in dieselbe Richtung im Weltall, ungefähr zum Polarstern.

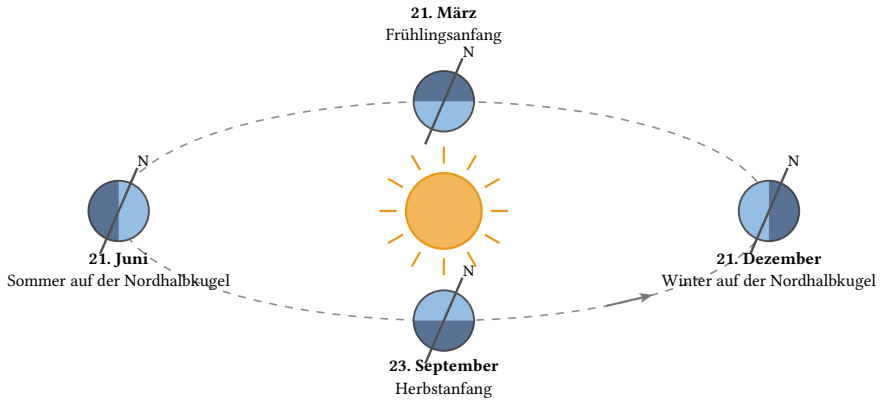


Abbildung 22: Die Erde auf ihrer Bahn um die Sonne (schräg von oben, nicht maßstäblich). Die Erdachse ist immer gleich geneigt und zeigt immer in dieselbe Richtung. Im Juni ist deshalb die Nordhalbkugel der Sonne zugeneigt, im Dezember die Südhalbkugel.

Merksatz

Die zwei Bewegungen der Erde

- **Drehung um die eigene Achse** in einem Tag: Sie bewirkt Tag und Nacht.
- **Umlauf um die Sonne** in einem Jahr, mit schräg stehender Achse (23,44°): Er bewirkt die Jahreszeiten.

2.2 Warum es Jahreszeiten gibt

Wahlfach Astronomie Zusatz

Ein einfacher Versuch zeigt, worauf es ankommt: Leuchtet man mit einer Taschenlampe senkrecht auf den Tisch, entsteht ein kleiner, heller Fleck. Hält man die Lampe schräg, wird der Fleck größer und dunkler. Das Licht ist dasselbe, aber es verteilt sich auf eine größere Fläche. Genauso ist es mit dem Sonnenlicht: Steht die Sonne hoch, trifft ihr Licht steil auf und erwärmt den Boden stark. Steht sie tief, trifft es flach auf und verteilt sich.

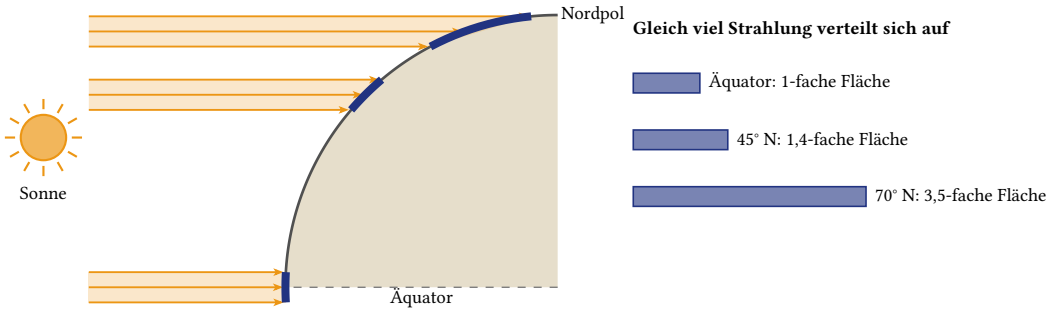


Abbildung 23: Gleich breite Bündel von Sonnenstrahlen treffen auf die gekrümmte Erde. Je flacher sie auftreffen, desto größer ist die Fläche, auf die sich die Strahlung verteilt.

Im Juni ist die Nordhalbkugel der Sonne zugeneigt. Die Sonne steht bei uns mittags hoch, ihre Strahlen treffen steil auf, und sie scheint lange, weil ein großer Teil jedes Breitenkreises im Licht liegt. Im Dezember ist die Nordhalbkugel von der Sonne weggeneigt: Die Sonne steht tief, und die Tage sind kurz.

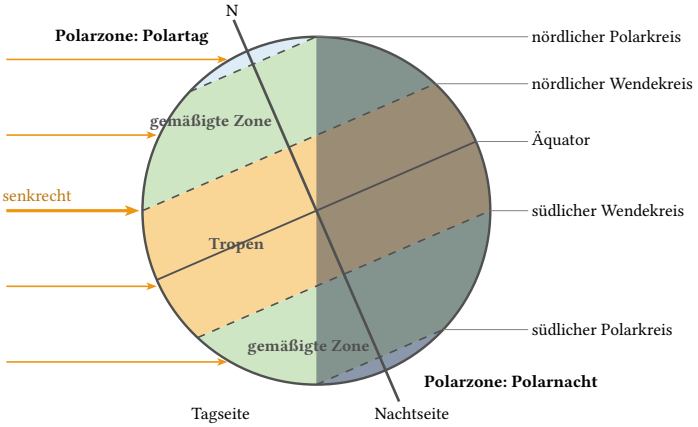


Abbildung 24: Beleuchtung der Erde am 21. Juni. Die Nordhalbkugel ist der Sonne zugeneigt: Die Sonne steht über dem nördlichen Wendekreis senkrecht, nördlich des Polarkreises geht sie gar nicht unter (Polartag).

Merksatz

Jahreszeiten entstehen, weil die Erdachse schräg steht. Im Sommer ist die eigene Halbkugel der Sonne zugeneigt. Dann

- steht die Sonne mittags höher, ihre Strahlen treffen steiler auf und erwärmen den Boden stärker;
- sind die Tage länger als die Nächte, der Boden wird länger erwärmt.

Auf der Südhalbkugel ist es genau umgekehrt: Wenn bei uns Winter ist, ist dort Sommer.

Typischer Fehler

Falsch: Im Sommer ist es warm, weil die Erde dann der Sonne näher ist.

Richtig: Die Erde ist der Sonne Anfang Januar am nächsten, also mitten in unserem Winter. Jahreszeiten entstehen durch die Neigung der Erdachse.

Wäre der Abstand der Grund, hätten Nord- und Südhalbkugel gleichzeitig Sommer. Tatsächlich feiert man in Australien Weihnachten im Hochsommer.

Die Mittagshöhe berechnen. Am 21. Juni steht die Sonne mittags über dem **nördlichen Wendekreis** (23,44° nördliche Breite) genau senkrecht, im **Zenit**. Am 21. März und am 23. September steht sie über dem Äquator im Zenit, am 21. Dezember über dem **südlichen Wendekreis** (23,44° südliche Breite). Den Breitengrad, über dem die Sonne mittags im Zenit steht, nennt man die **Deklination** δ der Sonne. Sie schwankt im Lauf des Jahres zwischen $+23{,}44°$ und $-23{,}44°$.

Merksatz

Mittagshöhe der Sonne an einem Ort mit der geographischen Breite φ (Nordhalbkugel, nördlich des Wendekreises):

$$h = 90° - \varphi + \delta.$$

Am 21. Juni ist $\delta = +23{,}44°$, am 21. März und 23. September $\delta = 0°$, am 21. Dezember $\delta = -23{,}44°$.

Beispiel 2

Lörrach liegt bei $\varphi = 47{,}6°$. Am 21. Juni ist $h = 90° - 47{,}6° + 23{,}44° = 65{,}84° \approx 65{,}8°$, am 21. Dezember $h = 90° - 47{,}6° - 23{,}44° = 18{,}96° \approx 19{,}0°$. Das sind die Werte aus Tabelle 5.

Nördlich des **Polarkreises** (66,56° nördliche Breite) geht die Sonne um den 21. Juni gar nicht unter: Es ist **Polartag** mit Mitternachtssonne. Um den 21. Dezember geht sie dort gar nicht auf: **Polarnacht**. Am Nordpol dauern Polartag und Polarnacht je ein halbes Jahr.

Warum ist es im Juli wärmer als am 21. Juni?

Am 21. Juni bekommt die Nordhalbkugel zwar am meisten Sonnenenergie, aber Böden, Seen und vor allem die Meere brauchen Zeit, um sich zu erwärmen. Sie erwärmen sich noch wochenlang weiter, solange sie mehr Energie bekommen, als sie abgeben. Die wärmste Zeit ist deshalb bei uns im Juli, die kälteste im Januar.

2.3 Die Ekliptik und der Tierkreis

IMP 8 | Wahlfach Astronomie

Weil die Erde um die Sonne läuft, sehen wir die Sonne im Lauf eines Jahres vor immer anderen Sternen. Am Tag sind die Sterne zwar nicht zu sehen, aber man kann es ausrechnen oder kurz nach Sonnenuntergang erschließen. Die Sonne wandert jeden Tag knapp 1° vor den Sternen nach Osten weiter (360° in 365 Tagen), in einem Jahr einmal ganz herum.

Definition

- Die **Ekliptik** ist die Bahn, auf der die Sonne im Lauf eines Jahres vor den Sternen über den Himmel wandert. Sie ist die Ebene der Erdbahn, an den Himmel projiziert.
- Die Sternbilder, durch die die Ekliptik läuft, heißen **Tierkreissternbilder**. Nach den heutigen Sternbildgrenzen der Internationalen Astronomischen Union (IAU, 1930) sind es dreizehn: die zwölf bekannten und der Schlangenträger.
- Der **Frühlingspunkt** ist der Punkt der Ekliptik, an dem die Sonne zum Frühlingsanfang steht.

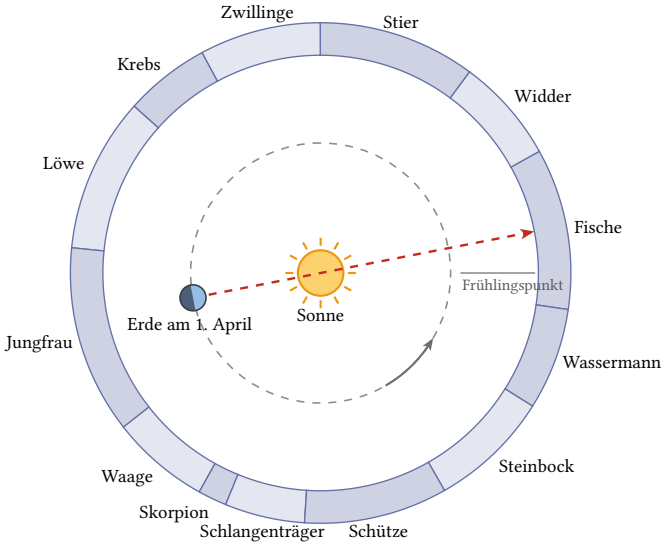


Abbildung 25: Die Erdbahn von Norden gesehen; außen die dreizehn Sternbilder an der Ekliptik mit ihren wahren, ungleich großen Abschnitten. Am 1. April sieht man von der Erde aus die Sonne vor dem Sternbild Fische. Ein halbes Jahr später steht die Erde gegenüber, und die Sonne steht vor der Jungfrau.

Auch der Mond und die Planeten bewegen sich immer in der Nähe der Ekliptik, weil ihre Bahnen fast in derselben Ebene liegen wie die Erdbahn. Wer am Himmel einen hellen „Stern“ in der Nähe der Ekliptik sieht, der in keiner Sternkarte steht, hat wahrscheinlich einen Planeten gefunden.

Um Mitternacht sieht man die Sternbilder, die der Sonne gegenüberstehen. Im Dezember steht die Sonne im Schlangenträger und im Schützen; um Mitternacht stehen dann Stier und Zwillinge hoch im Süden. Deshalb hat jede Jahreszeit ihre eigenen Sternbilder (mehr dazu in Kapitel 5 und im Skript AS1).

Die Ekliptik ist gegen den **Himmelsäquator**, die Verlängerung des Erdäquators an den Himmel, um 23,44° geneigt – das ist die Neigung der Erdachse, vom Himmel aus gesehen. Wenn die Sonne im Sommer auf dem nördlichen Teil der Ekliptik steht, sind ihre Tagbögen hoch und lang, im Winter auf dem südlichen Teil niedrig und kurz.

2.4 Astronomie und Astrologie

Wahlfach Astronomie | Zusatz

Astronomie und **Astrologie** klingen ähnlich und hatten lange gemeinsame Wurzeln. Heute sind sie grundverschieden:

- Die **Astronomie** ist eine Naturwissenschaft. Sie beobachtet und misst die Himmelskörper, erklärt ihre Bewegungen und Eigenschaften mit Naturgesetzen und prüft ihre Vorhersagen an neuen Beobachtungen. Eine Sonnenfinsternis lässt sich auf die Minute genau Jahrhunderte im Voraus berechnen.
- Die **Astrologie** behauptet, die Stellung von Sonne, Mond und Planeten im Tierkreis bei der Geburt bestimme Charakter und Schicksal eines Menschen. Horoskope in Zeitschriften beruhen darauf.

Tierkreiszeichen und Tierkreissternbilder. Die Astrologie teilt die Ekliptik in zwölf **Tierkreiszeichen** zu je genau 30°, gezählt vom Frühlingspunkt an: 0° bis 30° heißt „Widder“, 30° bis 60° „Stier“ und so weiter. Vor gut 2000 Jahren, als diese Einteilung entstand, lagen die Zeichen ungefähr über den gleichnamigen Sternbildern. Seitdem ist der

Frühlingspunkt aber um etwa 30° vor den Sternen weitergewandert, weil die Erdachse langsam taumelt (**Präzession**, Kapitel 5). Heute stehen Zeichen und Sternbilder fast ein ganzes Feld gegeneinander verschoben.

Name	**Tierkreiszeichen** (Astrologie)	**Sonne im Sternbild** (Astronomie, etwa)
Widder	21. März bis 20. April	18. April bis 13. Mai
Stier	21. April bis 20. Mai	13. Mai bis 21. Juni
Zwillinge	21. Mai bis 21. Juni	21. Juni bis 20. Juli
Krebs	22. Juni bis 22. Juli	20. Juli bis 10. August
Löwe	23. Juli bis 23. August	10. August bis 16. September
Jungfrau	24. August bis 23. September	16. September bis 31. Oktober
Waage	24. September bis 23. Oktober	31. Oktober bis 23. November
Skorpion	24. Oktober bis 22. November	23. November bis 29. November
Schlangenträger	–	29. November bis 17. Dezember
Schütze	23. November bis 21. Dezember	17. Dezember bis 20. Januar
Steinbock	22. Dezember bis 20. Januar	20. Januar bis 16. Februar
Wassermann	21. Januar bis 19. Februar	16. Februar bis 11. März
Fische	20. Februar bis 20. März	11. März bis 18. April

Tabelle 6: Tierkreiszeichen der Astrologie und die Zeiten, in denen die Sonne wirklich vor dem Sternbild steht (nach den IAU-Grenzen; die Daten schwanken von Jahr zu Jahr um etwa einen Tag).

Wer am 1. April geboren ist, hat das „Sternzeichen" Widder, aber die Sonne stand an diesem Tag im Sternbild Fische. Die Sternbilder sind außerdem verschieden groß: Durch die Jungfrau läuft die Sonne in 45 Tagen, durch den Skorpion in nur 6 Tagen.

Naturwissenschaftlich hält die Astrologie keiner Prüfung stand. Es gibt keine bekannte Kraft, mit der die Planeten auf einen Menschen wirken könnten: Eine Hebamme in einem halben Meter Abstand zieht ein neugeborenes Baby stärker an als der Planet Mars, selbst wenn er der Erde am nächsten ist. Und in Tests schneiden Astrologen nicht besser ab als der Zufall. In einer bekannten Doppelblindstudie von 1985 sollten Astrologen zu Horoskopen das passende Persönlichkeitsprofil unter mehreren auswählen; sie trafen nicht häufiger als beim Raten.

Merksatz

Astronomie oder Astrologie?

- Astronomie: Naturwissenschaft. Sie beobachtet, misst, erklärt mit Naturgesetzen und prüft ihre Vorhersagen.
- Astrologie: Deutungslehre ohne naturwissenschaftliche Grundlage. Ihre Aussagen haben sich in Tests nicht bestätigt.
- Tierkreiszeichen sind zwölf gleich große Abschnitte der Ekliptik ab dem Frühlingspunkt. Tierkreissternbilder sind dreizehn ungleich große Gebiete am Himmel. Wegen der Präzession passen beide heute nicht mehr zusammen.

Typischer Fehler

Falsch: Mein Sternzeichen ist das Sternbild, vor dem die Sonne an meinem Geburtstag stand.

Richtig: Das Sternzeichen ist ein 30°-Abschnitt der Ekliptik, gezählt ab dem Frühlingspunkt. Die Sonne stand an deinem Geburtstag meist im Sternbild davor (westlich davon).

Fachbegriffe: Jahr · Erdbahn · Astronomische Einheit · Neigung der Erdachse · Jahreszeiten · Zenit · Wendekreis · Deklination · Polarkreis · Polartag · Polarnacht · Ekliptik · Tierkreissternbild · Frühlingspunkt · Himmelsäquator · Astronomie · Astrologie · Tierkreiszeichen

Üben: **noctua** ↗ Ausprobieren: **Erdbahn und Jahreszeiten** ↗ · **Sonnenverlauf und Tageslänge** ↗



3 Der Mond

3.1 Der Mond im Überblick

IMP 8 Wahlfach Astronomie

Der Mond ist der Begleiter der Erde und nach der Sonne das hellste Objekt am Himmel. Er leuchtet aber **nicht selbst**: Er wird von der Sonne beleuchtet und wirft einen kleinen Teil ihres Lichts zurück, etwa so viel wie dunkler Asphalt. Dass er uns trotzdem so hell vorkommt, liegt am dunklen Nachthimmel um ihn herum.

Größe	Wert (gerundet)
Durchmesser	3475 km, etwa ein Viertel des Erddurchmessers
Entfernung von der Erde	im Mittel 384 400 km (zwischen etwa 356 000 km und 407 000 km); das Licht braucht 1,3 s
Masse	etwa ein Einundachtzigstel der Erdmasse
Gewichtskraft auf der Oberfläche	etwa ein Sechstel wie auf der Erde
Lufthülle	keine
Temperatur	am Tag bis etwa 120 °C, in der Nacht bis etwa −170 °C
Umlauf um die Erde	27,3 Tage (bezogen auf die Sterne)

Tabelle 7: Steckbrief des Mondes (NASA, gerundet).

Schon mit bloßem Auge erkennt man helle und dunkle Gebiete. Die dunklen Flächen heißen **Maria** (lateinisch: Meere), obwohl es dort kein Wasser gibt; es sind riesige Flächen erstarrter Lava. Die hellen Gebiete sind Hochländer voller **Krater**. Krater entstehen, wenn Gesteinsbrocken aus dem All auf den Mond stürzen. Weil der Mond keine Luft und kein Wetter hat, bleiben sie Milliarden Jahre erhalten. Mit einem Fernglas sieht man die größten Krater gut, am besten an der Grenze zwischen hellem und dunklem Teil.

Scheinbare Größe. Der Mond erscheint uns etwa so groß wie die Sonne: Beide sind am Himmel etwa ein halbes Grad breit. Man sagt, ihr **scheinbarer Durchmesser** ist etwa 0,5°. Das ist ein Zufall: Die Sonne ist rund 400-mal so groß wie der Mond, aber auch rund 400-mal so weit entfernt. Zum Vergleich: Der kleine Finger am ausgestreckten Arm deckt etwa 1° ab, also zwei Vollmonde nebeneinander.

Typischer Fehler

Falsch: Der Mond ist am Horizont größer als hoch am Himmel.

Richtig: Sein scheinbarer Durchmesser ist praktisch gleich. Dass er am Horizont riesig wirkt, ist eine Täuschung unseres Gehirns.

Probiere es aus: Ein Stück Papier am ausgestreckten Arm deckt den Mond am Horizont und hoch am Himmel gleich gut ab.

Der Mond läuft in 27,3 Tagen einmal um die Erde, und zwar in derselben Richtung, in der sich die Erde dreht: von Westen nach Osten. Am Himmel wandert er deshalb vor den Sternen jeden Tag um gut 13° nach Osten weiter. Das sieht man schon in einer Stunde: Der Mond rückt gegenüber einem hellen Stern in seiner Nähe um etwa einen Monddurchmesser weiter.

3.2 Die Mondphasen

Physik 7/8 Wahlfach Astronomie

Ein einfacher Versuch erklärt die Mondphasen: In einem dunklen Raum steht eine helle Lampe, die Sonne. Man hält einen Ball am ausgestreckten Arm, den Mond, und dreht sich langsam um sich selbst; der eigene Kopf ist die Erde. Der Ball ist immer zur Hälfte beleuchtet, nämlich auf der Seite, die zur Lampe zeigt. Je nachdem, wo er steht, sieht man aber einen anderen Teil dieser beleuchteten Hälfte: mal nichts, mal eine Sichel, mal einen halben, mal den ganzen beleuchteten Ball.

Definition

Die **Mondphasen** sind die wechselnden Lichtgestalten des Mondes.

- **Neumond:** Der Mond steht zwischen Erde und Sonne. Er zeigt uns seine unbeleuchtete Seite und ist nicht zu sehen.
- **Zunehmender Mond:** Der beleuchtete Teil wird jeden Abend größer: zunehmende Sichel, zunehmender Halbmond (erstes Viertel).
- **Vollmond:** Die Erde steht zwischen Sonne und Mond. Wir sehen die ganze beleuchtete Hälfte.
- **Abnehmender Mond:** Der beleuchtete Teil wird kleiner: abnehmender Halbmond (letztes Viertel), abnehmende Sichel.

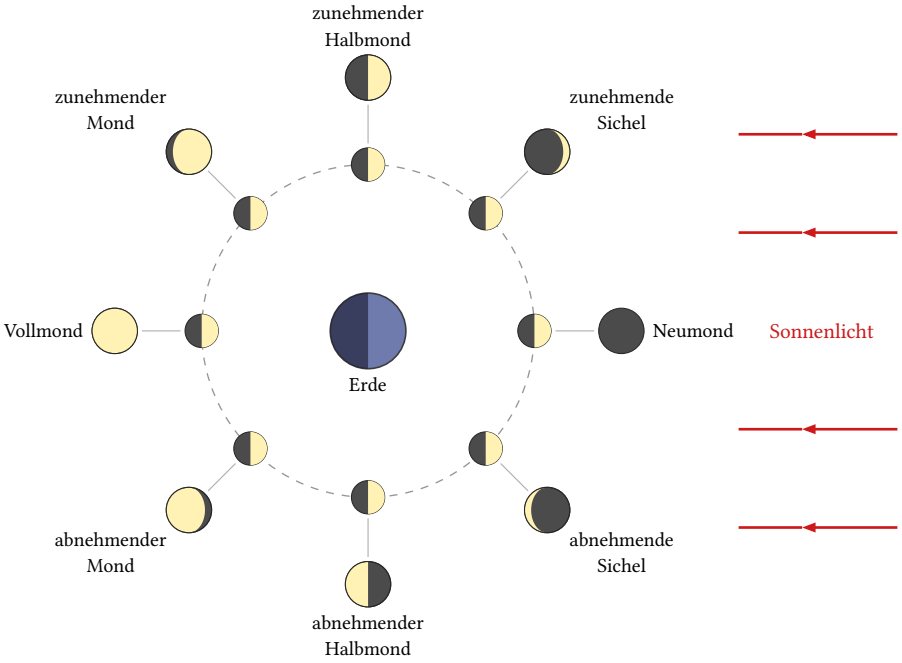


Abbildung 26: Mondphasen. Innen: der Mond auf seiner Bahn um die Erde, von oberhalb des Nordpols gesehen; die Sonne scheint von rechts, immer ist die ihr zugewandte Hälfte des Mondes hell. Außen: so sieht man den Mond in dieser Stellung von der Erde aus (Nordhalbkugel).

Von Neumond zu Neumond vergehen **29,5 Tage**. Das ist zwei Tage mehr als ein Umlauf um die Erde; warum, zeigt der letzte Abschnitt dieses Kapitels.

Wann der Mond am Himmel steht, hängt von seiner Phase ab. Der Vollmond steht der Sonne gegenüber: Er geht auf, wenn die Sonne untergeht, steht um Mitternacht im Süden und geht morgens unter. Der zunehmende Halbmond steht 90° östlich der Sonne: Er geht mittags auf und steht am Abend im Süden. Den Mond kann man also oft auch am Tag sehen.

Phase	Aufgang	im Süden	Untergang	gut zu sehen
Neumond	6 Uhr	12 Uhr	18 Uhr	gar nicht
zunehmender Halbmond	12 Uhr	18 Uhr	24 Uhr	nachmittags und am Abend
Vollmond	18 Uhr	24 Uhr	6 Uhr	die ganze Nacht
abnehmender Halbmond	24 Uhr	6 Uhr	12 Uhr	nach Mitternacht und am Vormittag

Tabelle 8: Wann der Mond zu sehen ist (ungefähre Zeiten in wahrer Ortszeit; je nach Jahreszeit um einige Stunden verschieden).

Merksatz

Mondphasen erkennen (Nordhalbkugel)

- Die helle Seite des Mondes zeigt immer zur Sonne.
- Ist der Mond **rechts** hell, nimmt er zu; ist er **links** hell, nimmt er ab.
- Merkhilfe: Die abnehmende Sichel sieht aus wie ein „(“; ergänzt man einen Strich, entsteht ein geschriebenes kleines „a“ wie **abnehmend**.
- Eine Sichel am Abendhimmel im Westen ist eine zunehmende Sichel, eine Sichel am Morgenhimmel im Osten eine abnehmende.

Typischer Fehler

Falsch: Die Mondphasen entstehen, weil der Schatten der Erde auf den Mond fällt.

Richtig: Die Phasen entstehen, weil wir die beleuchtete Mondhälfte von verschiedenen Seiten sehen. Der Erdschatten trifft den Mond nur bei einer Mondfinsternis (Kapitel 4).

Bei Halbmond steht der Mond von der Erde aus gesehen 90° neben der Sonne – der Erdschatten zeigt aber genau von der Sonne weg.

Das aschgraue Mondlicht

Bei einer schmalen Sichel sieht man oft auch den „dunklen" Teil des Mondes schwach schimmern (Abbildung 18). Dieses **Erdschein** genannte Licht ist Sonnenlicht, das von der Erde auf den Mond geworfen wird. Vom Mond aus gesehen steht die Erde dann fast „voll" am Himmel. Erklärt hat das schon Leonardo da Vinci um 1500.

⋆ Ein Monat Mondtagebuch

Beginne zwei bis drei Tage nach Neumond (Datum aus einem Kalender oder einer App). Suche den Mond jeden Abend zur gleichen Uhrzeit, etwa eine Stunde nach Sonnenuntergang. Zeichne seine Gestalt und notiere Datum, Uhrzeit und Himmelsrichtung. Nach einer Woche steht der Halbmond am Abend im Süden; nach zwei Wochen geht der Vollmond am Abend im Osten auf. Ein Fernglas zeigt dir zusätzlich die Krater an der Licht-Schatten-Grenze.

3.3 Die gebundene Drehung

Wahlfach Astronomie | Zusatz

Der Mond zeigt uns immer dieselbe Seite: Das „Mondgesicht" aus dunklen Maria sieht immer gleich aus. Heißt das, dass sich der Mond nicht dreht? Nein, im Gegenteil.

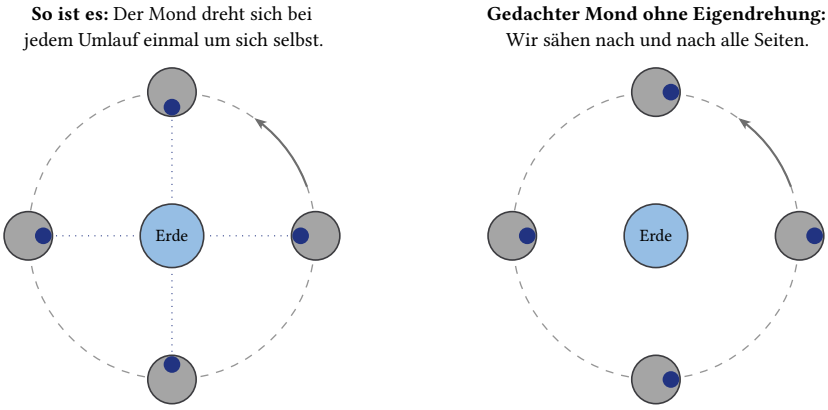


Abbildung 27: Links: Der Mond dreht sich bei jedem Umlauf genau einmal um sich selbst; deshalb zeigt der Fleck immer zur Erde. Rechts: Ein gedachter Mond ohne Eigendrehung würde uns nach und nach alle Seiten zeigen.

Damit der Mond der Erde immer dieselbe Seite zuwendet, muss er sich bei jedem Umlauf genau einmal um sich selbst drehen, in 27,3 Tagen. Man nennt das **gebundene Rotation**. Dass Drehzeit und Umlaufzeit genau gleich sind, ist kein Zufall: Die Schwerkraft der Erde verformt den Mond ein wenig. Diese **Gezeitenkräfte** haben seine Drehung in der Frühzeit des Sonnensystems so lange gebremst, bis Drehung und Umlauf im Gleichtakt waren. Auch die meisten anderen großen Monde im Sonnensystem zeigen ihrem Planeten immer dieselbe Seite.

Die Seite, die wir nie sehen, heißt **Rückseite** des Mondes. Fotografiert wurde sie zum ersten Mal 1959 von der sowjetischen Sonde Luna 3. Die Rückseite ist nicht dunkel: Bei Neumond ist sie voll von der Sonne beleuchtet. Weil der Mond auf seiner Bahn etwas schwankt (**Libration**), sehen wir im Lauf der Zeit insgesamt etwa 59 % seiner Oberfläche.

Typischer Fehler

Falsch: Die Rückseite des Mondes ist seine dunkle Seite.

Richtig: Die Rückseite ist die Seite, die wir nie sehen. Sie wird genauso von der Sonne beleuchtet wie die Vorderseite – bei Neumond sogar ganz.

3.4 Siderischer und synodischer Monat

Zusatz

Ein Rätsel zum Einstieg: Um 12 Uhr stehen der Minutenzeiger und der Stundenzeiger einer Uhr übereinander. Wann stehen sie das nächste Mal übereinander? Nicht nach 60 Minuten! Nach einer Stunde steht der Minutenzeiger wieder auf der 12, aber der Stundenzeiger ist inzwischen zur 1 weitergewandert. Der Minutenzeiger muss ihn erst noch einholen; das dauert gut fünf Minuten länger.

Beim Mond ist es genauso. Er läuft in **27,3 Tagen** einmal ganz um die Erde, bezogen auf die fernen Sterne. Aber in dieser Zeit ist auch die Erde auf ihrer Bahn um die Sonne weitergelaufen, um rund 27°. Damit wieder Vollmond ist, muss der Mond der Sonne erneut genau gegenüberstehen. Dafür braucht er noch gut zwei Tage: Von Vollmond zu Vollmond vergehen **29,5 Tage**.

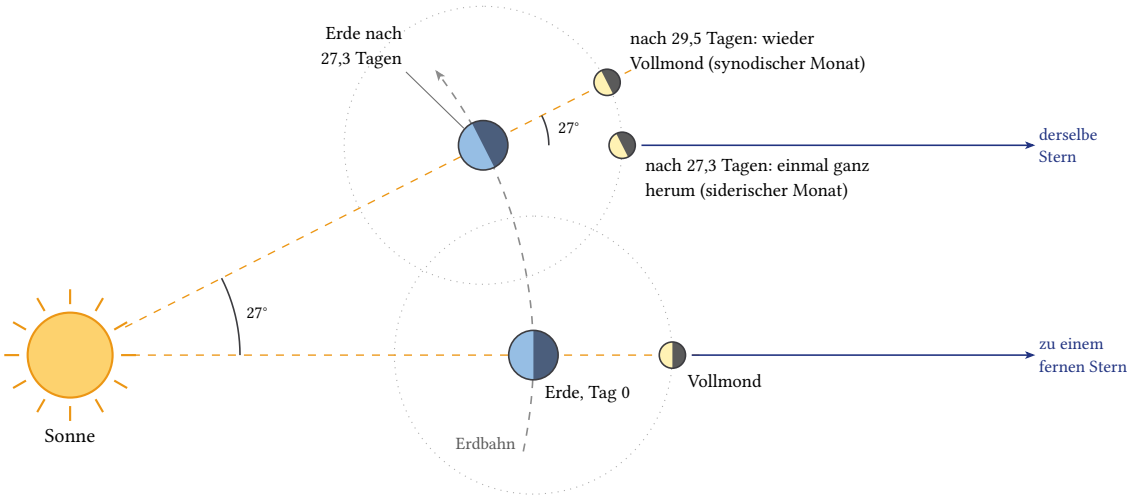


Abbildung 28: Siderischer und synodischer Monat (Winkel maßstäblich, Größen und Mondbahn nicht). Nach 27,3 Tagen steht der Mond, von der Erde aus gesehen, wieder vor demselben fernen Stern. Weil die Erde inzwischen 27° weitergelaufen ist, steht er aber noch nicht der Sonne gegenüber.

Definition

- Der **siderische Monat** (lateinisch *sidus*: Stern) ist die Zeit für einen Umlauf des Mondes bezogen auf die Sterne: 27,32 Tage.
- Der **synodische Monat** ist die Zeit von einem Vollmond zum nächsten (oder von Neumond zu Neumond): 29,53 Tage.

Beispiel 3

Warum genau 29,53 Tage? Der Mond wandert vor den Sternen in einem Tag um $360° : 27{,}32 \approx 13{,}18°$ nach Osten. Die Sonne wandert (scheinbar) in einem Tag um $360° : 365{,}25 \approx 0{,}99°$ in dieselbe Richtung. Der Mond gewinnt also jeden Tag $13{,}18° - 0{,}99° = 12{,}19°$ Vorsprung vor der Sonne. Für eine ganze Runde Vorsprung (360°) braucht er

$$360° : 12{,}19° \approx 29{,}5 \text{ Tage.}$$

Merksatz

Siderisch und synodisch

- Der synodische Monat ist länger als der siderische, weil die Erde mit dem Mond um die Sonne läuft.
- Der Mond holt jeden Tag rund 12° gegenüber der Sonne auf. Weil sich der Himmel in einer Stunde um 15° dreht, geht der Mond jeden Tag rund 50 Minuten später auf als am Vortag.
- Für Umlaufzeiten gilt allgemein (ab Klasse 9): $\frac{1}{T_{\text{syn}}} = \frac{1}{T_{\text{sid}}} - \frac{1}{T_{\text{Jahr}}}$, hier $\frac{1}{27{,}32\ \text{d}} - \frac{1}{365{,}25\ \text{d}} \approx \frac{1}{29{,}53\ \text{d}}$.

Fachbegriffe: Maria · Krater · scheinbarer Durchmesser · Mondphasen · Neumond · zunehmender Mond · Halbmond · Vollmond · abnehmender Mond · Erdschein · gebundene Rotation · Gezeitenkräfte · Rückseite des Mondes · Libration · siderischer Monat · synodischer Monat

Üben: **noctua** ↗ Ausprobieren: **Mondphasen und Finsternisse** ↗

4 Finsternisse

4.1 Licht und Schatten im Weltall

Physik 7/8

Erde und Mond werden von der Sonne beleuchtet. Wie jeder beleuchtete Körper werfen sie auf der sonnenabgewandten Seite einen Schatten ins Weltall. Normalerweise sieht man diese Schatten nicht, weil dort nichts ist, worauf sie fallen könnten. Eine **Finsternis** entsteht, wenn ein Himmelskörper in den Schatten eines anderen gerät.

Die Sonne ist keine punktförmige Lichtquelle, sondern eine große leuchtende Kugel. Hinter einem beleuchteten Körper gibt es deshalb zwei Bereiche (wie bei zwei Lampen, Physik-Skript P2 „Optik“):

- Im **Kernschatten** kommt von keinem Punkt der Sonne Licht an. Er ist ein spitzer Kegel, der sich hinter dem Körper schließt.
- Im **Halbschatten** ist nur ein Teil der Sonne verdeckt. Er umgibt den Kernschatten und wird nach hinten immer breiter.

Merksatz

Zwei Arten von Finsternis

- **Sonnenfinsternis:** Der Mond steht zwischen Sonne und Erde, sein Schatten fällt auf die Erde. Das geht nur bei **Neumond**.
- **Mondfinsternis:** Die Erde steht zwischen Sonne und Mond, der Mond taucht in den Erdschatten ein. Das geht nur bei **Vollmond**.

Typischer Fehler

Falsch: Bei einer Sonnenfinsternis schiebt sich die Erde vor die Sonne.

Richtig: Bei einer Sonnenfinsternis schiebt sich der **Mond** vor die Sonne. Bei einer Mondfinsternis fällt der Schatten der **Erde** auf den Mond.

Merkhilfe: Verfinstert wird, was wir nicht mehr (ganz) sehen – bei der Sonnenfinsternis die Sonne, bei der Mondfinsternis der Mond.

4.2 Die Sonnenfinsternis

Physik 7/8 Wahlfach Astronomie

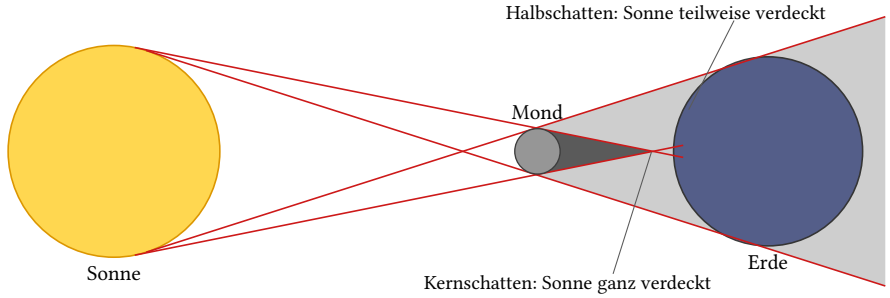


Abbildung 29: Sonnenfinsternis (nicht maßstäblich). Wo der Kernschatten des Mondes die Erde trifft, ist die Sonne ganz verdeckt (totale Finsternis); im Halbschatten nur zum Teil (partielle Finsternis).

Der Kernschatten des Mondes ist so lang, dass seine Spitze gerade ungefähr bis zur Erde reicht. Auf der Erde ist er deshalb nur ein kleiner Fleck von höchstens etwa 270 km Durchmesser. Weil sich Mond und Erde bewegen, zieht der Fleck in wenigen Stunden als schmaler Streifen über die Erde.

- **Totale Sonnenfinsternis:** Wer im Kernschatten steht, sieht die Sonne ganz verdeckt. Es wird so dunkel, dass helle Sterne und Planeten erscheinen, die Temperatur sinkt merklich, und um die schwarze Mondscheibe leuchtet der zarte Strahlenkranz der Sonne, die **Korona**. Die Totalität dauert höchstens etwa siebeneinhalb Minuten, meist nur zwei bis drei.
- **Partielle Sonnenfinsternis:** Im viel größeren Halbschatten ist nur ein Teil der Sonne bedeckt; sie sieht aus, als hätte jemand ein Stück abgebissen.
- **Ringförmige Sonnenfinsternis:** Die Mondbahn ist kein genauer Kreis. Steht der Mond weit von der Erde entfernt, erscheint er etwas kleiner als die Sonne und kann sie nicht ganz bedecken. Es bleibt ein heller Ring stehen.

Totale Sonnenfinsternisse sind an einem bestimmten Ort sehr selten, im Durchschnitt nur alle paar hundert Jahre. In Deutschland war die letzte am 11. August 1999 im Süden zu sehen, die nächste folgt erst am 3. September 2081. Am 12. August 2026 zog der Kernschatten über Island und Spanien; in Deutschland war die Finsternis partiell. Die nächste totale Finsternis in Europa ist am 2. August 2027 im Süden Spaniens zu sehen.

Die Sonne nur geschützt beobachten

Auch wenn nur ein schmaler Rand der Sonne zu sehen ist, kann ein Blick in die Sonne die Netzhaut für immer schädigen, ohne dass es weh tut. Sicher sind nur geprüfte **Sonnenfinsternisbrillen** (Kennzeichnung ISO 12312-2, nicht zerkratzt), Schweißerschutzglas der Schutzstufe 14, geprüfte Sonnenfilter vor dem Objektiv eines Fernrohrs und die Projektion des Sonnenbildes mit einer Lochkamera oder einem Fernrohr auf einen Schirm. **Niemals** mit Sonnenbrillen, Rußglas, CDs oder Röntgenfilmen in die Sonne schauen und **niemals** mit einem Fernglas oder Fernrohr ohne Filter. Nur während der kurzen Totalität darf man ohne Brille hinsehen.

⋆ Partielle Sonnenfinsternis mit dem Lochkamera-Trick

Stich mit einer Nadel ein kleines Loch in einen Karton. Halte ihn in die Sonne, mit dem Rücken zur Sonne, und fange das Licht auf einem weißen Blatt in etwa einem Meter Abstand auf. Du siehst ein kleines Bild der Sonne und kannst verfolgen, wie der Mond sich davorschiebt. Auch die Lücken zwischen den Blättern eines Baums wirken wie Lochkameras: Im Schatten erscheinen dann viele kleine Sonnensicheln.

4.3 Die Mondfinsternis

Physik 7/8 Wahlfach Astronomie

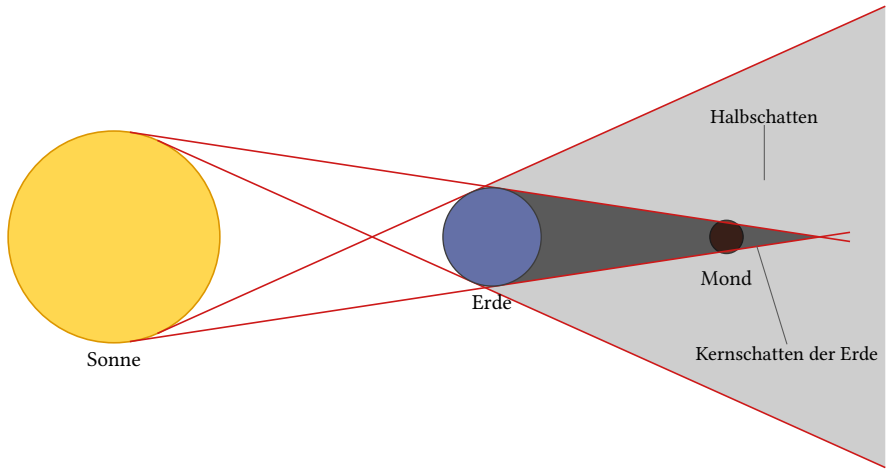


Abbildung 30: Mondfinsternis (nicht maßstäblich). Der Mond taucht in den Kernschatten der Erde ein.

Bei einer Mondfinsternis wandert der Vollmond durch den Schatten der Erde. Der Kernschatten der Erde ist dort, wo der Mond ihn durchquert, fast dreimal so breit wie der Mond. Taucht der Mond ganz in den Kernschatten ein, spricht man von einer **totalen**, sonst von einer **partiellen** Mondfinsternis. Die Totalität kann über anderthalb Stunden dauern. Streift der Mond nur den Halbschatten, wird er kaum merklich dunkler.

Anders als eine Sonnenfinsternis kann man eine Mondfinsternis von der ganzen Nachthälfte der Erde aus sehen, und man braucht keinen Schutz: Man blickt ja auf den Mond, nicht in die Sonne.

Der Mond verschwindet bei einer totalen Mondfinsternis nicht ganz, sondern leuchtet kupferrot (**Blutmond**). Der Grund ist die Lufthülle der Erde: Sie lenkt etwas Sonnenlicht in den Kernschatten hinein. Dabei wird das blaue Licht unterwegs zur Seite gestreut, das rote kommt durch – wie beim Abendrot. Vom Mond aus gesehen wäre die Erde eine schwarze Scheibe mit einem roten Rand aus allen Sonnenauf- und -untergängen der Erde.

Ein alter Beweis für die Kugelgestalt der Erde

Schon Aristoteles bemerkte um 350 vor Christus: Der Rand des Erdschattens auf dem Mond ist bei jeder Mondfinsternis kreisförmig, egal wie Sonne und Mond gerade am Himmel stehen. Nur eine Kugel wirft aus allen Richtungen einen runden Schatten.

4.4 Warum es nicht jeden Monat eine Finsternis gibt

Physik 7/8 | Wahlfach Astronomie

Neumond und Vollmond gibt es jeden Monat. Trotzdem gibt es nicht jeden Monat eine Sonnen- und eine Mondfinsternis. Der Grund: Die Mondbahn ist gegen die Erdbahn um **5,1°** geneigt. Bei den meisten Neumonden zieht der Mond deshalb ein Stück oberhalb oder unterhalb der Sonne vorbei, und sein Schatten verfehlt die Erde. Bei den meisten Vollmonden läuft er oberhalb oder unterhalb am Erdschatten vorbei.

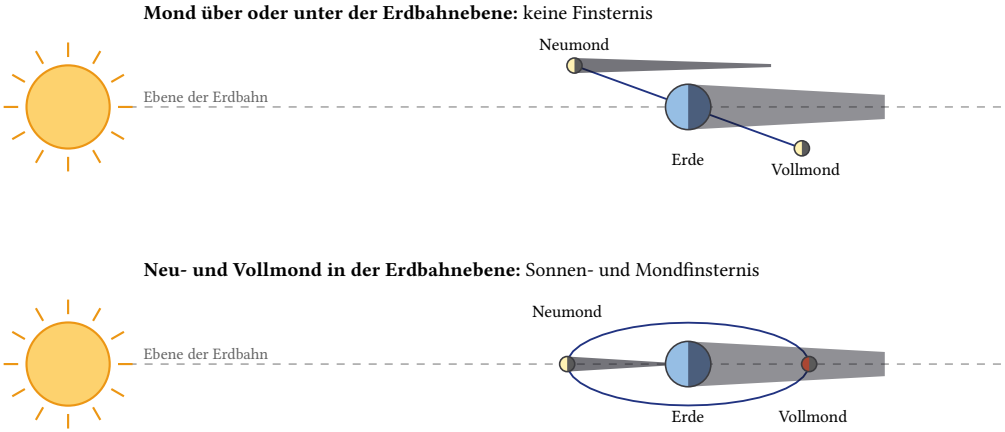


Abbildung 31: Seitenansicht, Neigung der Mondbahn stark übertrieben. Oben: Neu- und Vollmond liegen über bzw. unter der Ebene der Erdbahn; die Schatten verfehlen Erde und Mond. Unten: Neu- und Vollmond fallen auf die Schnittlinie der beiden Bahnebenen; jetzt gibt es eine Sonnen- und eine Mondfinsternis.

Die beiden Punkte, an denen die Mondbahn die Ebene der Erdbahn durchstößt, heißen **Knoten**. Eine Finsternis gibt es nur, wenn Neumond oder Vollmond in der Nähe eines Knotens stattfindet. Das ist ungefähr zweimal im Jahr für einige Wochen der Fall, in den sogenannten Finsterniszeiten. Deshalb gibt es auf der ganzen Erde in jedem Jahr mindestens zwei und höchstens fünf Sonnenfinsternisse – aber jede nur in einem kleinen Gebiet zu sehen.

Schon die Babylonier entdeckten, dass sich Finsternisse nach **18 Jahren und 11 Tagen** in fast gleicher Form wiederholen. Mit diesem **Saros-Zyklus** konnten sie Finsternisse vorhersagen, ohne zu wissen, wie sie entstehen.

Fachbegriffe: Finsternis · Kernschatten · Halbschatten · Sonnenfinsternis · totale Finsternis · partielle Finsternis · ringförmige Finsternis · Korona · Mondfinsternis · Blutmond · Knoten · Saros-Zyklus

Üben: **noctua** ↗ Ausprobieren: **Mondphasen und Finsternisse** ↗ · **Licht und Schatten** ↗ · **Lochkamera** ↗



5 Zeit und Kalender

5.1 Sonnentag und Sterntag

Zusatz

Unsere Uhren sind nach der Sonne gestellt: Von einem Mittag zum nächsten vergehen im Mittel 24 Stunden. Das ist ein **Sonnentag**. Beobachtet man aber einen Stern, so steht er schon nach **23 Stunden 56 Minuten 4 Sekunden** wieder genau im Süden. Das ist ein **Sterntag**. Erst ein Sterntag ist eine volle Drehung der Erde um 360°.

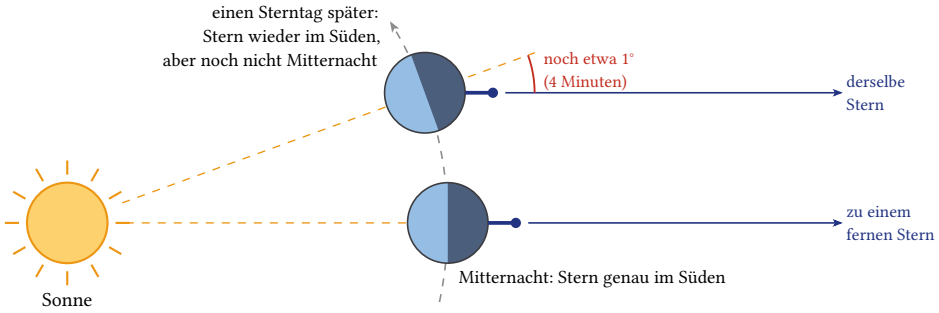


Abbildung 32: Sonnentag und Sterntag (Weg der Erde stark übertrieben: in Wirklichkeit knapp 1° pro Tag). Nach einer vollen Drehung steht der ferne Stern wieder im Süden. Weil die Erde auf ihrer Bahn weitergelaufen ist, muss sie sich noch etwa 1° weiterdrehen, bis auch die Sonne wieder an derselben Stelle steht.

Der Unterschied kommt von der Bahnbewegung: In einem Tag läuft die Erde knapp 1° auf ihrer Bahn weiter (360° in 365 Tagen). Damit die Sonne wieder im Süden steht, muss sich die Erde also etwa 361° drehen. Für 1° braucht sie knapp 4 Minuten (360° in 24 Stunden, also 15° in einer Stunde).

Beispiel 4

Genauer: In einem Jahr dreht sich die Erde 366,25-mal gegenüber den Sternen, aber nur 365,25-mal gegenüber der Sonne – einen Umlauf „verbraucht“ der Lauf um die Sonne. Ein Sonnentag ist um $(24\ \text{h}) : 365{,}25 \approx 3{,}94\ \text{min} \approx 3\ \text{min}\,56\ \text{s}$ länger als ein Sterntag. Also dauert ein Sterntag $24\ \text{h} - 3\ \text{min}\,56\ \text{s} = 23\ \text{h}\,56\ \text{min}\,4\ \text{s}$.

Merksatz

Sonnentag und Sterntag

- Sonnentag (im Mittel): 24 h, von einem Mittag zum nächsten.
- Sterntag: 23 h 56 min 4 s, eine volle Drehung der Erde gegenüber den Sternen.
- Folge: Jeder Stern geht jeden Tag knapp 4 Minuten früher auf als am Vortag, in einem Monat etwa 2 Stunden früher. Deshalb sieht man abends im Lauf des Jahres andere Sternbilder: im Winter Orion, im Sommer das Sommerdreieck.

5.2 Ortszeit, Zonenzeit und Sommerzeit

Zusatz

Eine Sonnenuhr zeigt die **wahre Ortszeit**: Um 12 Uhr steht die Sonne genau im Süden. Weil sich die Erde in einer Stunde um 15° dreht, ist es an einem Ort 15° weiter östlich schon eine Stunde früher Mittag, 1° weiter östlich 4 Minuten früher. Jeder Längengrad hätte also seine eigene Uhrzeit. Früher war das auch so: Jede Stadt richtete ihre Turmuhr nach der eigenen Sonne.

Mit der Eisenbahn wurde das unpraktisch. Deshalb führte das Deutsche Reich 1893 eine einheitliche **Zonenzeit** ein: die **Mitteleuropäische Zeit** (MEZ). Sie ist die Ortszeit des Längengrads 15° Ost, der zum Beispiel durch Görlitz läuft. Heute ist die Erde in **Zeitzonen** eingeteilt, die idealerweise je 15° breit sind, in Wirklichkeit aber oft Landesgrenzen folgen. Bezugspunkt ist die **Koordinierte Weltzeit** (UTC), die Zeit am Nullmeridian von Greenwich.

Merksatz

Zeitzonen

- Ein Zeitunterschied von 1 Stunde gehört zu 15° geographischer Länge, 4 Minuten zu 1°.
- MEZ = UTC + 1 h. Die **Mitteleuropäische Sommerzeit** (MESZ) = UTC + 2 h gilt in der EU vom letzten Sonntag im März bis zum letzten Sonntag im Oktober.
- Wer nach Osten reist, stellt die Uhr vor; wer nach Westen reist, stellt sie zurück.
- Gegenüber von Greenwich, ungefähr am Längengrad 180°, verläuft die **Datumsgrenze**. Wer sie nach Westen überquert, überspringt einen Tag; wer sie nach Osten überquert, erlebt ein Datum zweimal.

Beispiel 5

Lörrach liegt bei 7,7° Ost, also $15° - 7{,}7° = 7{,}3°$ westlich des MEZ-Meridians. Die Sonne erreicht ihren höchsten Stand dort $7{,}3 \cdot 4\ \text{min} \approx 29\ \text{min}$ später als in Görlitz, also ungefähr um 12:29 Uhr MEZ oder 13:29 Uhr MESZ.

Die Zeitgleichung

Auch die wahre Ortszeit läuft nicht ganz gleichmäßig. Weil die Erdbahn eine Ellipse ist und die Erdachse schräg steht, kommt die Sonne im Lauf des Jahres bis zu etwa 16 Minuten früher (Anfang November) oder 14 Minuten später (Mitte Februar) in den Süden, als es eine gleichmäßig laufende Uhr erwarten lässt. Diesen Unterschied nennt man **Zeitgleichung**. Unsere Uhren zeigen eine gemittelte Zeit, die **mittlere Ortszeit** des Zonenmeridians.

5.3 Das Jahr und der Kalender

Wahlfach Astronomie | Zusatz

Ein Kalender soll zu den Jahreszeiten passen: Der Frühling soll jedes Jahr um den 21. März beginnen. Die Zeit von einem Frühlingsanfang zum nächsten heißt **tropisches Jahr**. Es dauert 365,2422 Tage, also rund 365 Tage, 5 Stunden und 49 Minuten. Das passt in keine ganze Zahl von Tagen. Ein Kalender mit immer 365 Tagen würde jedes Jahr fast einen Vierteltag hinter den Jahreszeiten zurückbleiben; nach 120 Jahren wären es schon 29 Tage.

Der julianische Kalender. Julius Caesar führte 45 vor Christus einen Kalender ein, in dem jedes vierte Jahr ein **Schaltjahr** mit einem zusätzlichen Tag ist. Im Mittel hat ein Jahr dann 365,25 Tage. Das ist aber gut 11 Minuten zu lang. In 128 Jahren summiert sich das zu einem ganzen Tag. Bis zum 16. Jahrhundert war der Frühlingsanfang so um zehn Tage auf den 11. März gerutscht.

Der gregorianische Kalender. Papst Gregor XIII. ließ den Kalender 1582 reformieren. Zehn Tage wurden übersprungen: Auf Donnerstag, den 4. Oktober 1582, folgte Freitag, der 15. Oktober. Und die Schaltregel wurde verbessert.

Merksatz

Schaltregel des gregorianischen Kalenders

- Ein Jahr, dessen Zahl durch 4 teilbar ist, ist ein Schaltjahr (der Februar hat 29 Tage), zum Beispiel 2024 und 2028.
- Ausnahme: Ist die Jahreszahl durch 100 teilbar, ist es kein Schaltjahr, zum Beispiel 1900 und 2100.
- Ausnahme von der Ausnahme: Ist die Jahreszahl durch 400 teilbar, ist es doch ein Schaltjahr, zum Beispiel 2000.

In 400 Jahren gibt es so 97 Schalttage. Das mittlere Kalenderjahr hat 365,2425 Tage und weicht erst nach rund 3000 Jahren um einen Tag vom tropischen Jahr ab.

Die katholischen Länder übernahmen den neuen Kalender sofort, die evangelischen Länder Deutschlands erst 1700, Großbritannien 1752 und Russland 1918. Deshalb fand die russische „Oktoberrevolution“ nach unserem Kalender im November 1917 statt.

Tropisches und siderisches Jahr

Bis die Erde, von der Sonne aus gesehen, wieder vor denselben Sternen steht, vergehen 365,2564 Tage: das **siderische Jahr**. Es ist gut 20 Minuten länger als das tropische Jahr, weil der Frühlingspunkt der Erde jedes Jahr ein kleines Stück entgegenwandert (Präzession, letzter Abschnitt). Für den Kalender zählt das tropische Jahr, denn es bestimmt die Jahreszeiten.

5.4 Mondkalender und Woche

Wahlfach Astronomie | Zusatz

Das Wort **Monat** kommt von **Mond**. Ein Mondmonat mit seinen leicht erkennbaren Phasen war für viele Völker die natürliche Zeiteinheit. Leider passt auch er nicht glatt ins Jahr: Zwölf synodische Monate dauern $12 \cdot 29{,}53$ Tage $\approx 354{,}4$ Tage, rund 11 Tage weniger als ein Sonnenjahr.

- **Reine Mondkalender** richten sich nur nach dem Mond. Der islamische Kalender hat zwölf Monate mit 29 oder 30 Tagen, das Jahr also 354 oder 355 Tage. Ein Monat beginnt mit der ersten Sichtung der schmalen Mondsichel nach Neumond. Gegenüber unserem Kalender rückt der Fastenmonat Ramadan deshalb jedes Jahr etwa 11 Tage früher und wandert in etwa 33 Jahren durch alle Jahreszeiten.
- **Mond-Sonnen-Kalender** fügen ab und zu einen dreizehnten Monat ein, damit die Monate bei den Jahreszeiten bleiben. Der jüdische Kalender hat in 19 Jahren sieben Schaltjahre mit 13 Monaten; denn 235 Mondmonate sind fast genau 19 tropische Jahre (**Metonischer Zyklus**).
- Auch unser Kalender hat ein Mond-Fest: **Ostern** ist am ersten Sonntag nach dem ersten Vollmond im Frühling (ab dem 21. März). Deshalb liegt Ostern zwischen dem 22. März und dem 25. April.

Unsere Monate haben mit dem Mond nichts mehr zu tun; ihre Längen von 28 bis 31 Tagen stammen aus dem römischen Kalender. Die **Woche** mit sieben Tagen ist ungefähr ein Viertel des Mondmonats. Ihre Tage sind nach den sieben „Wandelgestirnen“ benannt, die man ohne Fernrohr kannte: Sonne (Sonntag), Mond (Montag), Mars, Merkur, Jupiter, Venus und Saturn. Im Deutschen erkennt man das noch am Sonntag und Montag, im Englischen auch am Saturday, im Französischen an mardi (Mars) bis vendredi (Venus).

5.5 Die Präzession der Erdachse

Zusatz

Ein schräg stehender Kreisel fällt nicht einfach um. Seine Achse beschreibt stattdessen langsam einen Kegel; man sagt, sie **präzediert**. Genau das tut auch die Erdachse. Die Erde ist keine genaue Kugel, sondern am Äquator etwas dicker (der Durchmesser am Äquator ist etwa 43 km größer als von Pol zu Pol). Sonne und Mond ziehen an diesem Wulst und versuchen, die Erdachse aufzurichten. Wie beim Kreisel weicht die Achse aus und beschreibt einen Kegel. Eine Runde dauert etwa **25 800 Jahre**.

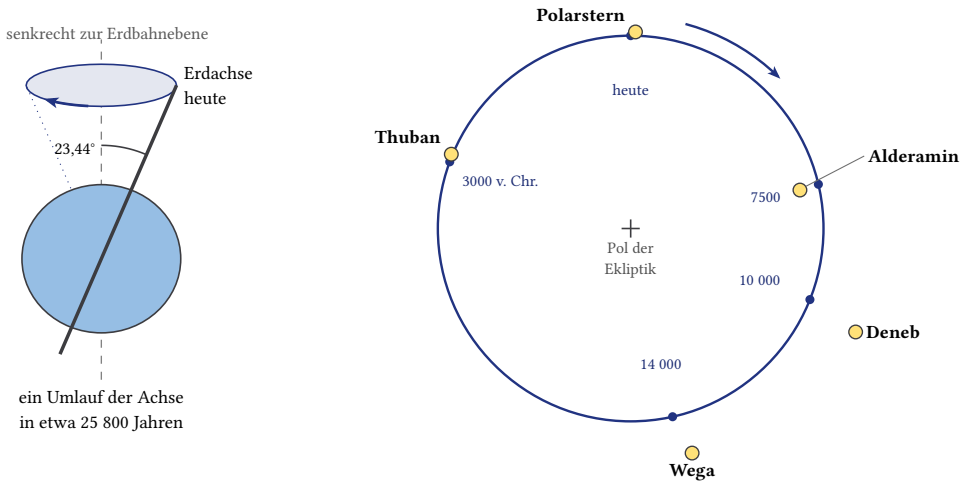


Abbildung 33: Präzession. Links: Die Erdachse beschreibt in etwa 25 800 Jahren einen Kegel; ihre Neigung von 23,44° bleibt dabei ungefähr gleich. Rechts: Der Himmelsnordpol wandert dadurch auf einem Kreis zwischen den Sternen (berechnet, vereinfacht). Heute steht er beim Polarstern, um 3000 vor Christus stand er bei Thuban, in rund 12 000 Jahren steht er in der Nähe der Wega.

Merksatz

Folgen der Präzession

- Die Erdachse zeigt nicht immer auf denselben Stern. Der Polarstern ist nur in unserer Zeit Polarstern; zur Zeit der ägyptischen Pyramiden war es Thuban im Drachen, in rund 12 000 Jahren wird es die helle Wega sein.
- Der Frühlingspunkt wandert auf der Ekliptik jedes Jahr um etwa 50 Bogensekunden (50″, also $\frac{1}{72}$ Grad) nach Westen, in etwa 2150 Jahren um ein ganzes Tierkreisfeld von 30°. Er liegt heute im Sternbild Fische und wird in einigen hundert Jahren den Wassermann erreichen.
- Deshalb passen die Tierkreiszeichen der Astrologie nicht mehr zu den Sternbildern (Kapitel 2), und das tropische Jahr ist etwa 20 Minuten kürzer als das siderische.

Entdeckt hat die Präzession der griechische Astronom Hipparch um 130 vor Christus. Er verglich seine Sternörter mit 150 Jahre älteren Messungen und stellte fest, dass sich alle Sterne gegenüber dem Frühlingspunkt um etwa 2° verschoben hatten.

Typischer Fehler

Falsch: Der Polarstern steht für immer am Himmelsnordpol; das war schon immer so.

Richtig: Wegen der Präzession wandert der Himmelsnordpol in 25 800 Jahren einmal auf einem großen Kreis zwischen den Sternen. Dass er gerade beim Polarstern steht, ist ein Zufall unserer Zeit.

Fachbegriffe: Sonnentag · Sterntag · wahre Ortszeit · Zonenzeit · Mitteleuropäische Zeit (MEZ) · Zeitzone · Koordinierte Weltzeit (UTC) · Sommerzeit (MESZ) · Datumsgrenze · Zeitgleichung · tropisches Jahr · Schaltjahr · julianischer Kalender · gregorianischer Kalender · siderisches Jahr · Mondkalender · Metonischer Zyklus · Woche · Präzession

Üben: **noctua** ↗ Ausprobieren: **Wochentag im Kopf** ↗

