# 1. Orientierung am Himmel

*2025-11-23*

**Inhalt**


- 1.1 Typische astronomische Objekte
- 1.2 Astronomische Größenordnungen
- 1.3. Scheinbare Bewegungen am Himmel
- 1.4. Bewegungen der Planeten

# 1.1 Typische astronomische Objekte

| | |
|---|---|
| **Sterne:** | ca. 2000 mit bloßem Auge zu sehen |
| **Nebel:** | meist Galaxien<br>sonst gigantische Staubwolken |
| **Kometen:** | “dreckiger Schneeball”<br>stark exzentrische Bahn<br>in Sonnennähe 2 Schweife, (vom Sonnenwind getrieben) |
| **Asteroiden:** | z.B. Ceres<br>Asteroidengürtel, Kuipergürtel |
| **Kleinstkörper:** | Meteoroiden → Meteore (Leuchten) → Meteoriten |

# *Planeten*

**antik:** “Wanderer”, damals 7 inkl. Sonne und Mond (ohne Erde!)

**aktuell:** Merkur, Venus, Erde, Mars, Jupiter, Saturn, Uranus, Neptun

**Bedingungen:**

1. Bahn um Sonne (kein Mond)
2. Masse groß genug für Kugelform
3. Bahn und deren Umgebung freigeräumt

**Einteilungen:**

- (Sonne) – 2 untere – Erde – 5 obere
- 4 innere (=Gesteinsplaneten) – 4 äußere (=Gasplaneten)

Weitere Details: siehe 1.4. Bewegungen der Planeten

# *Tabelle der Wochentagsnamen*

| Objekt (lat.) | germ. Gott | deutsch | english | français | italiano | español | lateinisch |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Sonne (Sol)** | **Sunna**, Sol | Sonntag | sunday | dimanche | domenica | dominigo | dies Solis[1] |
| **Mond (Luna)** | **Meno**, Máni | Montag | monday | lundi | lunedì | lunes | dies Lunae |
| **Mars** | **Týr**, Teiwaz | Dienstag | tuesday | mardi | martedì | martes | dies Martis |
| **Merkur** | **Wodan**, Odin | Mittwoch | wednesday | mercredi | mercoledì | miércoles | dies Mercurii |
| **Jupiter** | **Thor**, Donar | Donnerstag | thursday | jeudi | giovedì | jueves | dies Iovis |
| **Venus** | **Frija**, Frigg | Freitag | friday | vendredi | venerdì | viemes | dies Veneris |
| **Saturn** | — | Samstag | saturday | samedi | sabato | sábado | dies Saturni[2] |

[1]*dimanche/domenica/dominigo* von christlichem lat. “dies Dominica” (Tag des Herrn) für Sonntag

[2]*Samstag*, von jüd.: “Schabbat”, dies von griech. “sábbaton”.
*Samedi*, *Sábado* von mittelalterl. lat. “dies Sabbati” (Tag des Sabbats”

# 1.2 Astronomische Größenordnungen

Größenordnungen:

- Längen von $10^{-15}$ m (Durchmesser Proton) bis $10^{26}$ m (Kosmos)
- Zeiten von $10^{-23}$ s (Lichtweg durch Proton) bis $10^{18}$ s (Alter des Kosmos)
- Massen von $10^{-27}$ kg (Masse Proton) bis $10^{53}$ kg (Kosmos)

## *Sinnvolle Einheiten für Entfernungen*

- AE (fast 150 Mio km = $1,5 \cdot 10^{11} m$)
- Lj (fast $10^{13}$ km = $1 \cdot 10^{16} m$)
- pc (ca. 3,26 Lj bzw. ca. $3,1 \cdot 10^{16} m$)

| Erdradius | 6300 km |
|---|---|
| Erde - Mond | 380 000 km = 1,3 Ls |
| Sonne - Erde | 8,3 Lmin |
| Sonne – Pluto | 5,5 Lh |
| Entfernung nächster Stern | 4,3 Lichtjahre |
| Durchmesser unserer Galaxie | 100 000 Lichtjahre |
| Entfernung nächste Spiralgalaxie | 2 Millionen Lichtjahre |
| Entfernteste Galaxie | 13 Milliarden Lichtjahre |

Die „berühmte” Zehnerpotenzen-Reise, z.B. auf Youtube ⇗ Original 1977 übersetzt oder für ⇗ IMAX

## *Sinnvolle Einheiten für Zeiten*

- s
- a (Jahr, ca. $3,2 \cdot 10^7 s$)
- Mio/Mrd a

## *Sinnvolle Einheiten für Massen*

- kg
- Sonnemassen (ca. $2 \cdot 10^{30} kg$)
- Beispiele:
  - 1 Sonne = 333 000 Erden
  - 1 Galaxie = 100 Milliarden Sonnen
  - 1 Kosmos = 100 Milliarden Galaxien!

# 1.3. Scheinbare Bewegungen am Himmel

## Erdrotation

- Tag/Nacht
- Himmels”bewegung”
- Bewegung aller Gestirne in einer Nacht.
- Erdachse / Polarstern
- Diese Bewegung bei uns? An den Polen? Am Äquator?
- Scheinbare Himmelskugel:
  - „unendlich groß”,
  - alle Objekte sind „scheinbar” gleich weit weg
- Das Pendel von Foucault (1851) als phys. Beweis für die Erdrotation

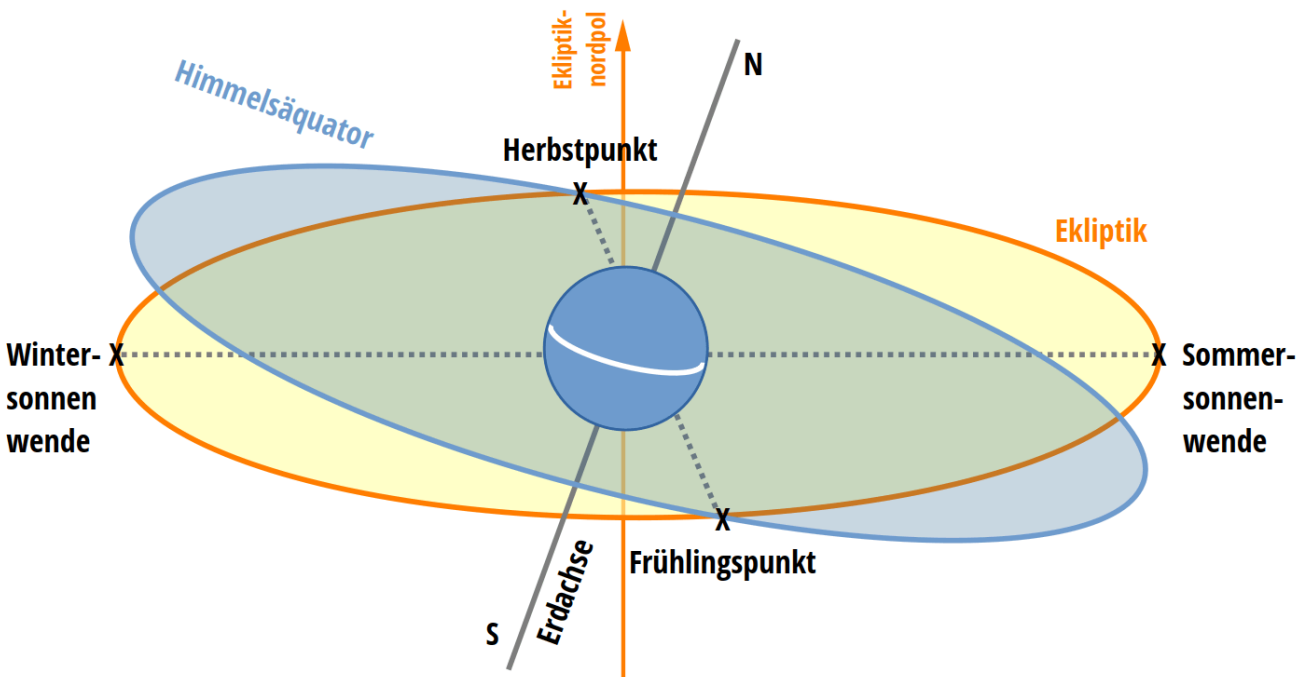
Nebenbei: Was ist der Nord/Südpol?

# Jahresverlauf

- Sternbilder
- Planetenbewegung
- Jahreszeiten → Geographie, 23,5° Erdachse
- Jährliche Bahn der Erde → jahreszeitlich wechselnde Sternbilder
- Sonne wandert von der Erde gesehen einmal durch die Sternbilder
- Planeten wandern auch, aber mit anderen Zeiten (s.u.)

Bereits durch antike Kulturen (Beispiele: Stonehenge, Pyramiden, Aztekentempel Mayor, Sun-Dagger der Anasazi) wurden wichtige Zeitpunkte wie Sonnenwenden und die Tagundnachtgleichen, der ca. achzehnjährige Mondzyklus sowie Himmelsrichtungen in Felsen markiert oder bautechnisch berücksichtigt.

# Geometrischer Zusammenhang:




Quelle: BieC [1]

- Der **Himmeläquator** ist die Projektion unseres Äquators auf den Fixsternhimmel.
- Die **Ekliptik** ist die Projektion der Sonnenbahn auf den Fixsternhimmel.
- Beide definieren entsprechende **Ebenen**. Der Begriff “Ekliptik” ist zweideutig für die Sonnenbahn *und* die Ekliptikebene.
- Die Sonnenbahn teilt man in 12 gleiche Abschnitte ein und versieht sie mit den bekannten Tierkreiszeichen.
- Im Moment der Frühjahrs-Tagundnachtgleiche scheint die Sonne an einem bestimmten Ort am Fixsternhimmel (zu unseren Lebzeiten in den “Fischen”) zu stehen. Diesen nennt man den **Frühlingspunkt**.
- Zu diesem Zeitpunkt liegt der Sonnenmittelpunkt auf der Schnittachse von der Äquatorebene und der Ekliptikebene. Diese Ebenen stehen wegen der **Schrägstellung der Erdachse** gegenüber dem Ekliptikpol um 23,5° geneigt.

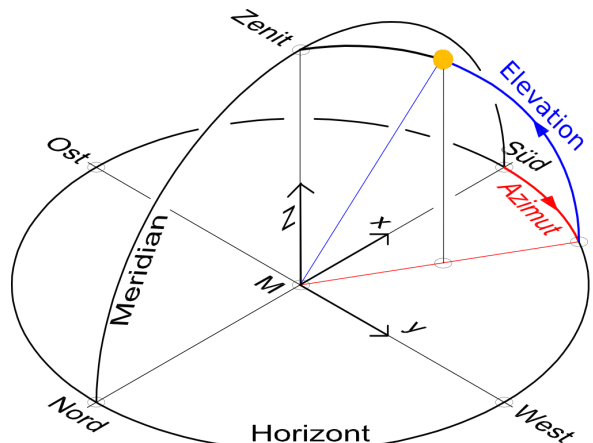
# Weltbilder

- Geozentrisch
  - Alles und jeder bewegt sich auf *göttlichen* Kreisbahnen um die Erde herum.
- Heliozentrisch
  - Heliozentrik (Kopernikus, Kepler, Galilei) zunächst angefeindet u.a. wegen „fehlender” Bewegung der Sterne zueinander (Bessel 1837)
  - Wdh. aus Geographie: Jahreszeiten
    - Entstehung durch die $23{,}5^{o}$-Schrägstellung der Erdachse
    - Sonnenscheindauer und Einfallswinkel!

# Koordinatensysteme

## *Das Horizontsystem*

- Azimut, Elevation (=Höhe), Zenit, Nadir (entgegengesetzt zu Zenit)
- Koordinaten an jedem Beobachtungsort anders; *beide* Koordinaten ändern sich laufend!!




*Quelle: wikimedia* [2]

## *Das rotierende Äquatorialsystem*

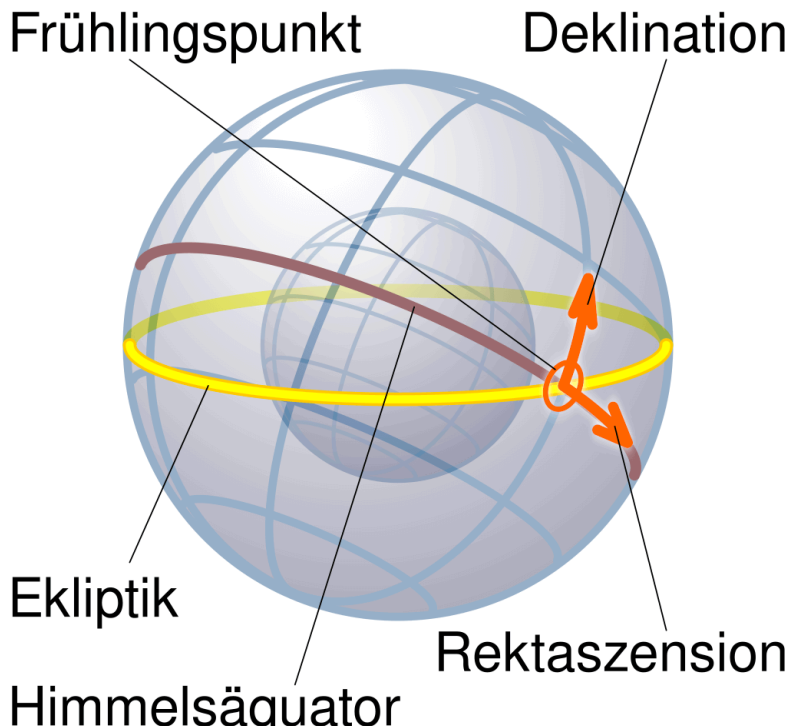
- … rotiert von der Erde aus gesehen.
- … ist eine Projektion unseres Längen-/Breitengrad-Netzes auf den Fixsternhimmel im Moment des Frühjahrsbeginns (s.u.).
- … ist definiert durch:
  - Himmelsäquator (Projektion des Erdäquators) und
  - Himmelspol (Projektion der Erdpole).

Die Koordinaten:

- Rektaszension

  (RA; $0^o \leq RA \leq 360^o$; auch in h,min!) und
- Deklination

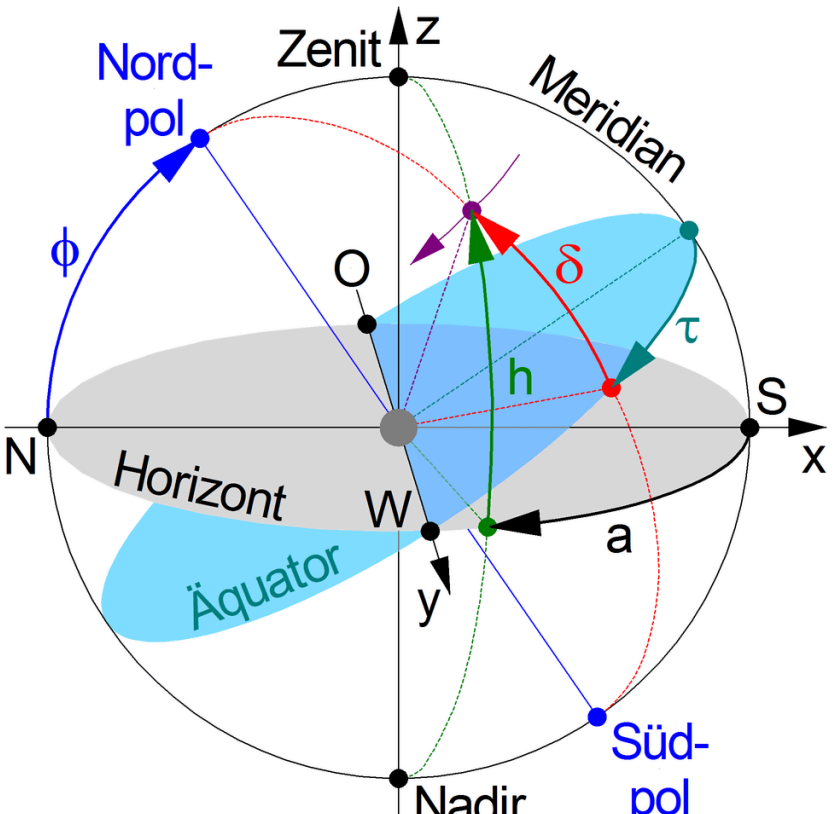
  ($\delta$; $-90^o \leq \delta \leq +90^o$)




*Quelle: wikimedia,* [3]

- Jeder Stern hat eine feste RA und eine feste Deklination
- Nullpunkt der RA ist der **Frühlingspunkt** der Sonne
    - Zeitpunkt: Tag- und Nachtgleiche im Frühling
    - Ort: Im Sternbild Fische, dort wie die Sonne in diesem Moment steht
- Astronomische Fernrohre werden auch nach diesem äquatorialen Koordinatensystem montiert. Name: **Parallaktische Montierung**. Eine der beiden Achsen ist die Polachse (auch: Stundenachse). Um diese Achse muss das Fernrohr pro Tag um 360° motorisch „nachgeführt” werden. Die Einstellung der anderen Achse (Deklinationsachse) bleibt bei der Nachführung unverändert. So bleiben Sterne die ganze Nacht am selben Ort im Fernrohr.

# Zusammenhang Himmelskoordinaten




Quelle: Wikipedia [4]

- Beobachter im Zentrum der Darstellung.
- Zenit/Nadir senkrecht über/unter dem Beobachter.
- Der **Meridian** ist der Großkreis durch Himmelsnord- und Himmelsüdpol sowie die Richtungen Norden (N) und Süden (S) vom Beobachter aus gesehen.
- Im **Horizontalsystem** (graue Scheibe) sieht der Beobachter am Himmel einen Punkt (violett) unter dem Azimut a (schwarz), der vom Meridian aus in der Horizontalebene gemessen wird, und dem Höhenwinkel h (grün), der senkrecht zur Horizontalebene auf dem Großkreis zwischen Zenit und Nadir (grün) gemessen wird, der durch den beobachteten Punkt geht.

- Im **ruhenden Äquatorialsystem** (türkisfarbene Scheibe) wird der Stundenwinkel τ (cyan) vom Meridian aus in der Äquatorialebene und der Deklinationswinkel δ (rot) senkrecht zur Äquatorialebene auf dem Großkreis bestimmt, der durch die Himmelspole und den beobachteten Punkt geht. Ostpunkt (O) und Westpunkt (W) sind in beiden Systemen identisch, und die Neigung der beiden Ebenen ist durch die Polhöhe φ (blau) gegeben, die mit dem Breitengrad übereinstimmt, auf dem sich der Beobachter befindet. Der beobachtete Punkt am Himmel (violett) bewegt sich innerhalb eines halben Tages scheinbar auf einem Halbkreis von Osten nach Westen, der mit konstantem Deklinationswinkel δ parallel zur Äquatorialebene verläuft. Es ist also immer noch ein auf die Erde bezogenes, daher “ruhendes” Bezugssystem.

- Der Zusammenhang zwischen dem Stundenwinkel und der Rektaszension (im **“rotierenden” Äquatorialsystem**) ergibt sich aus der “Sternzeit”: Rektaszension = Sternzeit - Stundenwinkel). Ein Sterntag ist die Dauer, die der Sternhimmel – genauer: der Frühlingspunkt – für eine ganze scheinbare Umrundung der Erde benötigt.
- POLHÖHE = geographische Breite
- Himmelsäquatorhöhe = $90^{o}$ – Polhöhe

(modifiziert aus Wikipedia)

# Übungen (von E. übernommen)

- „Tagbogen” nennt man die Bahn eines Himmelskörpers über dem Horizont; „Nachtbogen” nennt man die Bahn eines Himmelskörpers unter dem Horizont. (Welcher Himmelskörper durchläuft als einziger seinen Tagbogen am Tag und seinen Nachtbogen in der Nacht?)
- Welche Sterne (Deklination?) sind zirkumpolar? Welche sind nie zu sehen?
- In Aschaffenburg ist die erste Antwort $\delta \geq 40^{o}$, die zweite Antwort $\delta \leq -40^{o}$.
- Die „obere Kulmination” eines Sterns (Deklination $\delta$) findet in Aschaffenburg auf der Höhe $40^{o} + \delta$, die „untere Kulmination” auf der Höhe $-40^{o} + \delta$ statt. ($40^{o}$ ist die Himmelsäquatorhöhe!)
- Die Bahn der Sonne unter den Sternbildern nennt man **Ekliptik**. Der Name Ekliptik steht auch für die Ebene, in der die Sonne

Erde umkreist (scheinbar) oder die Erde die Sonne umkreist (in echt!)

- Wegen der Neigung der Ekliptik gegen die Erdachse (oder umgekehrt, je nach Betrachtungsweise) schlingt sich die Ekliptik als Sinuslinie um den Himmelsäquator. Die Ekliptik verläuft am Sternhimmel durch die 12 Tierkreiszeichen. Auch die Planeten und der Erdmond bewegen sich immer (annähernd) auf der Ekliptik.
- Die Schnittpunkte der Ekliptik mit dem Himmelsäquator (am Sternhimmel) nennt man Knoten. (Bei räumlicher Betrachtung würde man die Schnittachse der beiden Ebenen Ekliptik und Himmelsäquatorebene als Knotenlinie bezeichnen!)
- Die Sonne läuft auf der Ekliptik im Verlauf eines Jahres von „rechts" nach „links", also von WEST nach OST (Achtung!). Im Frühjahr (21.3.) durchläuft sie den aufsteigenden Knoten der Ekliptik (auch Frühlingspunkt oder Widderpunkt γ genannt), der zur Festlegung des Nullpunktes der RA benutzt wurde. Im

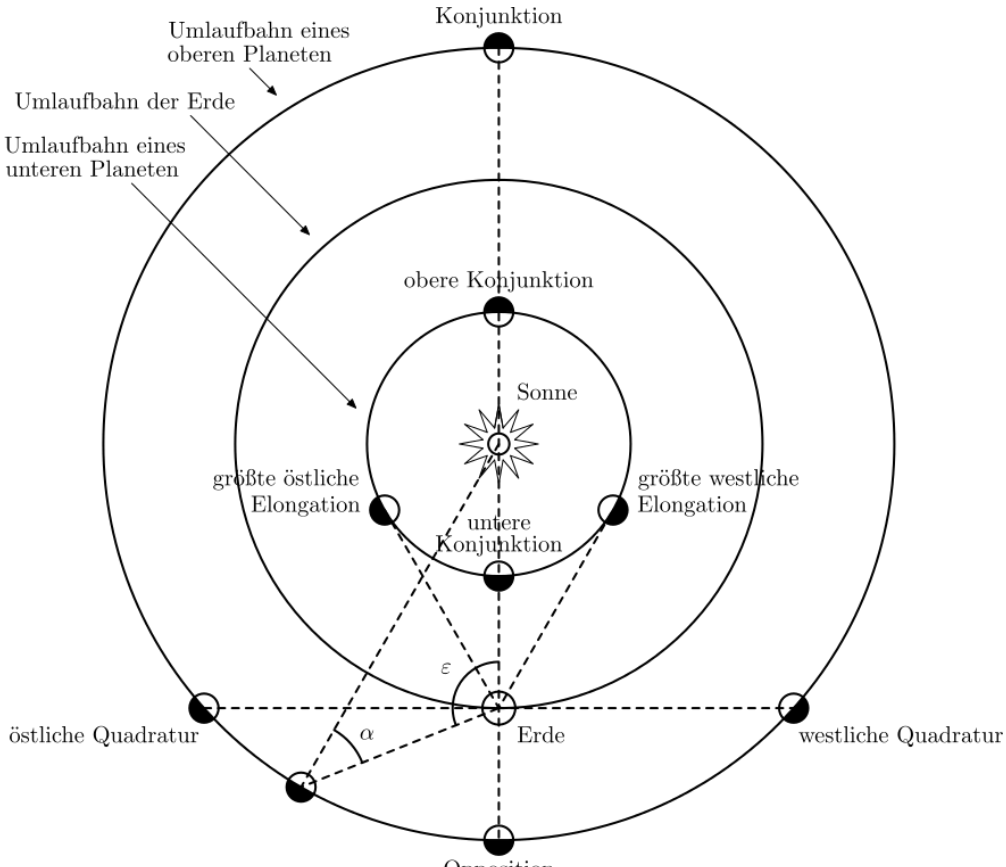
Herbst (23.9.) durchläuft sie den absteigenden Knoten ihrer Bahn.

- Kulminationshöhen der Sonne in verschiedenen Jahreszeiten. Bei uns und in anderen Breiten?
- (Die bürgerliche Dämmerung ist (hier für den Abend definiert) der Zeitraum von Sonnenuntergang bis die Sonne 6,5$^{o}$ unter dem Horizont steht. Analog: Nautische Dämmerung: 12$^{o}$. Astronomische Dämmerung: 18$^{o}$. – Am 21.6. erreicht die Sonne also gar nicht das Ende der astronomischen Dämmerung, d.h. es wird gar nicht vollkommen dunkel, da ihre untere Kulmination nur -16,5$^{o}$ beträgt!)

# 1.4. Bewegungen der Planeten

1. Die Planetenscheibchen sind optisch vergrößerbar und flimmern weniger als die punktförmig zu sehenden Sterne.
2. Bahnneigungen: Planeten stehen stets nahe der Ekliptik. (Wieso weicht Mars trotzdem zeitweise bis zu 4,5 Grad von der Ekliptik ab?)
3. Innere und äußere Planeten nicht verwechseln mit obere und untere Planeten

# Beobachtung der Planeten von der Erde aus




*Quelle: wikipedia,* [5]

**Opposition** *Planet – Erde – Sonne*
(also Erde auf einer Geraden zwischen Planet und Sonne).

**Konjunktionen** *Erde – Sonne – Planet* oder
*Erde – Planet – Sonne*.
Jeweils auf einer Geraden.

## *Planetenphasen*

(siehe auch Mondphasen)

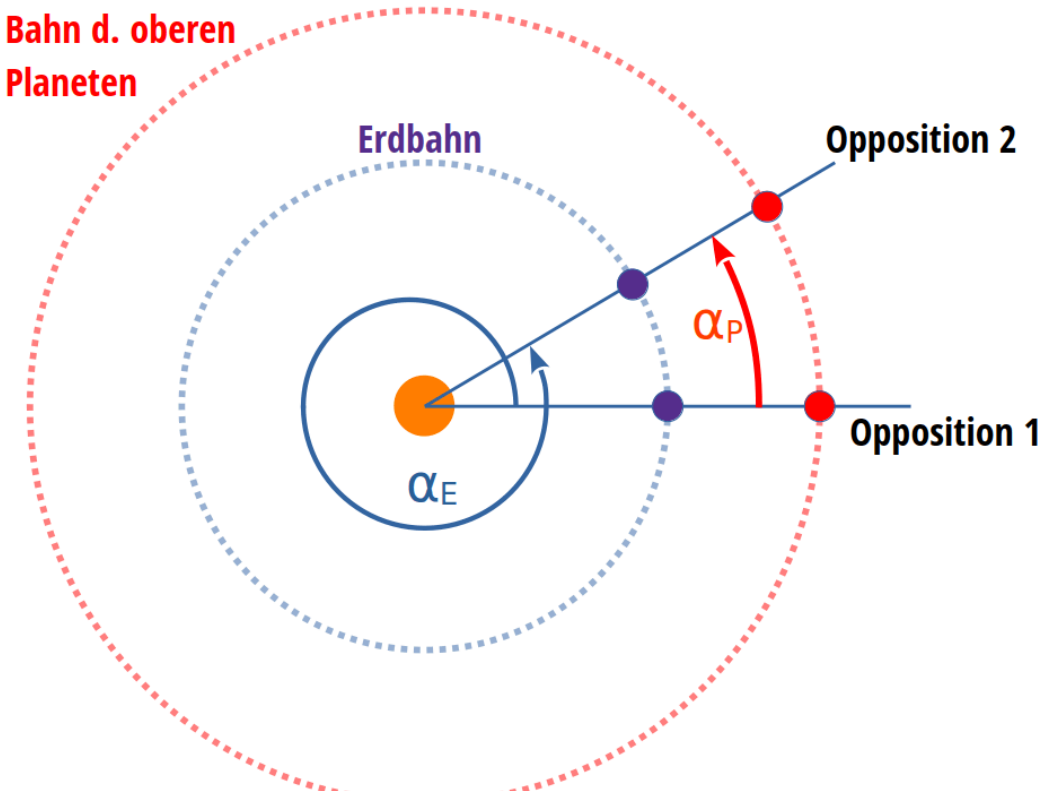
- Welche Planeten sind wie sichtbar?
- ausgeprägte / schwach ausgeprägte Phasen
- Perspektive von der Erde!

Bedeutung der Venus-Phasen (Galileo Galilei)

## *Unterschiede zwischen oberen und unteren Planeten*

- Obere Planeten:
  - **Opposition** (bes. nah, groß, Vollphase, ganze Nacht zu sehen)
  - **Konjunktion** (in Sonnennähe am Taghimmel)
- Untere Planeten:
  - Größte östliche bzw. westliche **Elongation**
    Längste Sichtbarkeit vor Sonnenaufgang (Morgenstern) bzw. nach Sonnenuntergang (Abendstern),
    Halbphase
  - Obere bzw. untere **Konjunktion** (jeweils in Sonnennähe am Taghimmel;
    vor und nach der unteren Konjunktion besonders nah / groß, schmale Sichel, aber nur kurz zu sehen)

# Umlaufdauern




Quelle: Biec[6]

**Siderische Umlaufzeit** ($T_{sid}$) von der Sonne gesehen **vor dem Fixsternhimmel**.

**Synodische Umlaufzeit** ($T_{syn:}$) **bezogen auf die Erde**, also z.B. der Zeitraum von einer Opposition eines oberen Planeten bis

zu seiner nächsten Opposition.

$$\alpha_E = \alpha_P + 360^\circ \qquad | \text{ Winkel} = \text{Zeit mal } \omega$$

$$\omega_E \cdot T_{syn} = \omega_P \cdot T_{syn} + 360^\circ \qquad | \text{ Einsetz.: } \omega = \frac{360^\circ}{T}$$

$$\frac{360^\circ}{T_{sid_E}} \cdot T_{syn} = \frac{360^\circ}{T_{sid_P}} \cdot T_{syn} + 360^\circ \qquad | \text{ Durch } 360^\circ \cdot T_{syn} \text{ teilen}$$

$$\frac{1}{T_{sid_E}} = \frac{1}{T_{sid_P}} + \frac{1}{T_{syn}}$$

# Erläuterung:

## *1. Die Abbildung und echte Zeiten*

Wir blicken aus der Richtung des Nordsterns auf die Ekliptik als Scheibe. Wir drehen uns nicht, d.h. der südliche Fixsternhimmel im Hintergrund bewegt sich nicht. Der Frühlingspunkt ist in einer festen Richtung, z.B. im Bild oben.

Von dieser Perspektive aus könnte man die **siderischen Umlaufdauern** prima beobachten. Leider ist diese Beobachtungsposition für Menschen unerreichbar.
Aber wir können von der Erde aus die **synodischen Umlaufdauern** messen:

Am 7. Dezember 2024: Jupiter (hier rot) in “Opposition 1”, also eine Linie Sonne-Erde-Jupiter.
Am 10. Januar 2026 (13 Monate später): Jupiter in “Opposition 2”. In diesem Zeitraum hat Jupiter ungefähr ein Zwölftel seiner Umlaufbahn zurückgelegt, die Erde (lila/blau) hingegen ist schon mehr als eine Runde gelaufen (13 Zwölftel...). Beachte die entsprechenden Winkel!

Somit erhalten wir für Jupiter: $\mathbf{T_{syn}}$ = 10.1.2026 - 7.12.2024 = **399 Tage**.

## 2. Die Formel

Wir beginnen mit dem **Ansatz** der Winkel. Die Erde $\alpha_E$ ist im synodischen Jupiterumlauf 360° weiter gelaufen als dieser $\alpha_P$.

Die Winkel der Planeten ersetzen wir nun durch das Produkt aus der jeweiligen Winkelgeschwindigkeit und der synodischen Umlaufsdauer.

Die jeweilige Winkelgeschwindigkeit ist wiederum 360° durch die jeweilige siderische Umlaufdauer.

Eine letzte Umformung entfernt den überall vorkommenden Faktor 360° und bringt $T_{syn}$ in einen eigenen Term.

# Einsetzen der Werte für Jupiter:

$$\frac{1}{T_{sid_P}} = \frac{1}{T_{sid_E}} - \frac{1}{T_{syn}}$$

$$\frac{1}{T_{sid_P}} = \frac{1}{365d} - \frac{1}{399d} = \frac{34}{145635d}$$

$$T_{sid_P} = \frac{145635d}{34} \approx 4283d \ \text{(also ca. 11Jahre, 10 Monate)}$$

Zum **Lernen & Üben** empfiehlt sich die Überlegung, wie man zur entsprechenden Formel für untere Planeten kommt. Die synodische Umlaufdauer der Venus beträgt z.B. ca. 584 Tage. Zeige dass ihre siderische Umlaufdauer ca. 225 Tage beträgt.

1. C. Bienmüller, CC BY-NC-SA, selbst erstellt↩
2. S.Wetzel, CC BY-SA, ⇗ https://commons.wikimedia.org/wiki/File:HorSys.svg↩
3. Cmglee, CC BY-SA, ⇗ https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Equatorial_coordinates.svg?lang=de↩
4. Bautsch, CC BY-SA, ⇗ https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Himmelskoordinaten.png↩
5. Patrick87, CC BY-SA, ⇗ https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Positional_astronomy_de.svg↩
6. C. Bienmüller, CC BY-NC-SA, selbst erstellt↩