

Skript zur Vorlesung

Astronomie

Dieses Geheft enthält in kompakter, manchmal nur stichpunktartig aufzählender Form, die wesentlichen fachlichen und experimentellen Grundlagen, wie sie in der Vorlesung „Astronomie“ vorgestellt werden.

Es ist zum Gebrauch neben der Vorlesung gedacht und erhebt nicht den Anspruch, „in sich selbst verständlich“ oder vollständig zu sein.

S. Hilger

Dieses Skript im Internet:

<http://mathsrv.ku-eichstaett.de/MGF/homes/didphy/skripten/ast.pdf>

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Warum Astronomie in der Schule | 4 |
| 2 | Dimensionen im Weltall | 5 |
| 3 | Die Bewegung der Erde um ihre eigene Achse | 5 |
| 3.1 | Woher weiß man das? | 5 |
| 3.1.1 | Historische Entwicklung | 6 |
| 3.2 | Geographische Breite und Länge | 6 |
| 3.3 | Der Ort eines Himmelskörpers | 8 |
| 3.3.1 | Deklination und Höhe über dem Horizont | 8 |
| 3.3.2 | Rektaszension und Stundenwinkel | 8 |
| 3.4 | Astronomische und optische Sichtbarkeit von Himmelskörpern | 9 |
| 3.4.1 | Blauer Himmel — Abend- und Morgenrot | 10 |
| 3.4.2 | ... in Mainz, beispielsweise | 11 |
| 4 | Die Bewegung der Erde um die Sonne | 12 |
| 4.1 | Woher weiß man das? | 12 |
| 4.2 | Der Tierkreis (Zodiakus) | 12 |
| 4.3 | Die Jahreszeiten | 14 |
| 4.3.1 | Veränderung des Sonnenstandes | 15 |
| 4.3.2 | Sonnenstand und Erwärmung | 16 |
| 5 | Die Bewegung des Mondes um die Erde | 17 |
| 5.1 | Die Mondphasen | 17 |
| 5.2 | Mond- und Sonnenfinsternisse | 18 |
| 5.3 | Die Gezeiten | 19 |
| 5.4 | Der Mond an sich | 20 |
| 5.5 | Hypothesen zur Mondentstehung | 20 |
| 6 | Die Bewegung der Planeten — Gravitation | 21 |
| 6.1 | Abriß der historischen Entwicklung der Weltbilder | 21 |
| 7 | Das Sonnensystem | 23 |
| 7.1 | Die Planeten des Sonnensystems | 23 |
| 7.2 | Planetoiden | 23 |
| 7.3 | Die Venus als Morgen- oder Abendstern | 24 |
| 7.4 | Planeten und Fixsterne: Eine Gegenüberstellung | 24 |
| 7.5 | Kometen | 25 |
| 7.6 | Meteore | 26 |
| 7.6.1 | Besondere Meteorite | 27 |
| 8 | Die Sonne | 28 |
| 8.1 | Was ist Licht? — Das Sonnenspektrum | 28 |
| 8.2 | Energiefreisetzung in der Sonne | 28 |
| 8.2.1 | Die Leistung | 28 |
| 8.3 | Sonnenflecken — Protuberanzen — Flares | 29 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 8.4 | Aufbau der Sonne | 30 |
| 8.5 | Energiefreisetzung in der Sonne | 30 |
| 8.5.1 | Die Kernfusion | 30 |
| 8.5.2 | Energietransport | 30 |
| 9 | Die Fixsterne | 30 |
| 9.1 | Entfernungsbestimmung | 30 |
| 9.2 | Helligkeit | 30 |
| 9.3 | Spektralklassen | 30 |
| 9.4 | Sternentwicklung | 30 |
| 9.5 | Doppelsterne | 30 |
| 9.6 | Sternhaufen | 30 |
| 10 | Galaxien | 30 |
| 10.1 | Die Milchstraße | 30 |
| 10.2 | Andere Galaxien | 30 |
| 10.3 | Das Hubble-Gesetz | 30 |
| 10.4 | Kosmologie: Urknall, Raumkrümmung, schwarze Löcher | 30 |

Literatur

- [BE95] Dieter Beckmann and Bernd Epperlein. *Astronomie Grundkurs*. Manz-Verlag, München, 1995.
- [Has95] K.H. Hasemann. *Astronomie*. Aulis-Verlag Deubner & Co., München, 1995.
- [Hen95] H.R. Henkel. *Astronomie*. Verlag Harri Deutsch, Frankfurt/Main, 1995.
- [HMTW] Gerhard Hartl, Karl Märker, Jürgen Teichmann, and Gudrun Wolfschmidt. *Planeten – Sterne – Welteninseln*. Deutsches Museum München.
- [Ler93] Reinhardt Lermer. *Grundkurs Astronomie*. Bayerischer Schulbuch-Verlag, München, 1993.
- [Wie19] Hartmut Wiesner. *Unterricht Physik, Optik I*. Aulis-Verlag Deubner & Co., Köln, 19??
- [Win99] Winnenburg. *Einführung in die Astronomie*. BI-Wissenschaftsverlag, Mannheim, 199? DM 58.
- [Wis99] E. Wischnewski. *Astronomie für die Praxis, Band 1 und 2*. BI-Wissenschaftsverlag, Mannheim, 199? DM 38 DM 48.

1 Warum Astronomie in der Schule

- Erfahrung von der Wirksamkeit der Naturgesetze (Kausalität, Geometrie) im All.
- Raumzeitliche Stellung des Menschen im Universum wird aufgezeigt. Bereicherung der Sicht, des Bildes der Welt.
- Bereicherung der Sicht, des Bildes der Welt. Eine Einordnung esoterisch-astrologischer Ideen und ihrer vermeintlich naturwissenschaftliche Begründung wird ermöglicht
- Der Zeit-Rhythmus und andere Bestimmungsfaktoren des Lebens auf der Erde werden aufgezeigt.
- Auf vielfältige Weise wird das Denken (logisch-kreative Fähigkeiten, Fertigkeiten) geschult.
- Das räumliche Vorstellungsvermögen wird durch die Notwendigkeit, sich nicht tatsächlich einnehmbare Raumsituationen vorzustellen, gefördert.
- Die Erde wird als begrenzt und wertvoll erfahren.
- Eine Würdigung der ständigen vielfältigen Medieninformationen wird möglich.
- Es können immer wieder aktuelle Informationen in die Unterrichtsgestaltung einfließen.
- Handlungsorientierung: Selbstbeobachtung von astronomischen Geschehnissen mit dem Auge, dem Feldstecher, dem Fernrohr. Selbstbau von astronomischen Instrumenten.

2 Dimensionen im Weltall

| Objekt im All | Länge | Objekt im Modell | Länge |
|----------------------|-------------|--------------------|------------|
| D Erde | 12.740 km | Stecknadelkopf | 2 mm |
| D Mond | 3.500 km | Nadeldurchmesser | 0,5 mm |
| E Mond | 384.000 km | Apfel | 6 cm |
| D Sonne | 1.4 Mio km | Ball | 20 cm |
| E Sonne | 150 Mio km | Turnhalle | 23,5 m |
| D Pluto | 2.200 km | Feines Haar | 0,2 mm |
| E Pluto | 5,96 Mrd km | | 1 km |
| E Proxima Centauri | 4,27 ly | E Mogadischu | 6.500 km |
| D Unsere Milchstraße | 100.000 ly | E Sonne | 150 Mio km |
| E Andromedanebel | 2,2 Mio ly | E Uranus | 3,5 Mrd km |
| D Kosmos | 20 Mrd ly | E Proxima Centauri | 30 Bill km |

Abkürzungen: D = Durchmesser, E = Entfernung, 1 ly = 1 Lichtjahr = 40,4 Billionen km.

Fazit: Das Licht von Himmelskörpern fällt parallel auf die Erde.

3 Die Bewegung der Erde um ihre eigene Achse

3.1 Woher weiß man das?

- Fotografiere mit langer Belichtungszeit den Nordhimmel in der Nähe des Polarsterns! Die Sternbahnen erscheinen als konzentrische Kreise, der gemeinsame Mittelpunkt ist der Polarstern.
- Die Erde dreht sich um die eigene Achse, die in Richtung zum Polarstern zeigt. Die Durchstoßpunkte sind die geografischen Pole.
- Sterntag und Sonnentag: Dauer einer Erddrehung bzgl. des Fixsternhimmels bzw. gegenüber der Sonne.
- Beobachten Sie einen schönen Sonnenuntergang und konzentrieren sich dabei auf den Eindruck, dass sich der Grund (die Erde) — wie ein riesiges Raumschiff — bewegt.
- Die Erde bewegt sich nach Osten. (Bei einer Sicht vom Himmelsnordpol aus drehen und bewegen sich alle Himmelskörper des Planetensystems gegen den Uhrzeigersinn.)
- Physikalischer Nachweis (Bewegung ist relativ: Welches Koordinatensystem ist das absolute?): Das Foucaultsche Pendel (z.B. im Deutschen Museum). Stellen Sie es sich auf dem Nordpol montiert vor! Es bewegt sich im Uhrzeigersinn. Modellversuch auf Prandtl-DrehScheibe. (Bewegungen auf der Nordhalbkugel erfahren eine Rechtsabweichung: Sibirische Flüsse, Passatwinde,...)

3.1.1 Historische Entwicklung

- Platon (427 – 347 v.C.) Alle Himmelskörper bewegen sich auf idealen Kreisbahnen gleichförmig um die Erde.
- Aristoteles (383 – 322 v.C.) Verfeinerung der Ideen Platons in der Schalen- und Sphärentheorie.
- Herakleides von Pontus (388 – 315 v.C.) Die Erde dreht sich um die eigene Achse.
- Aristarch von Samos (315 – 249 v.C.) Formulierung eines Heliozentrischen Systems.
- (Ptolemäus (87 – 170 n.C.) Fixiert in seinem „Almagest“ (große Zusammenschau) die Epizykeltheorie (Das Ptolemäische Weltbild).
- Das Christentum mit der Vorstellung vom Menschen im Mittelpunkt des Kosmos transportiert das ptolemäische (= geozentrische) Weltbild in das abendländische Denken.
- Kopernikus (1473 – 1543) Wiederbegründung des heliozentrischen Weltbildes. Weitere Verfechter und Entwickler sind: Tycho Brahe, Johannes Kepler, Galileo Galilei und Isaac Newton.

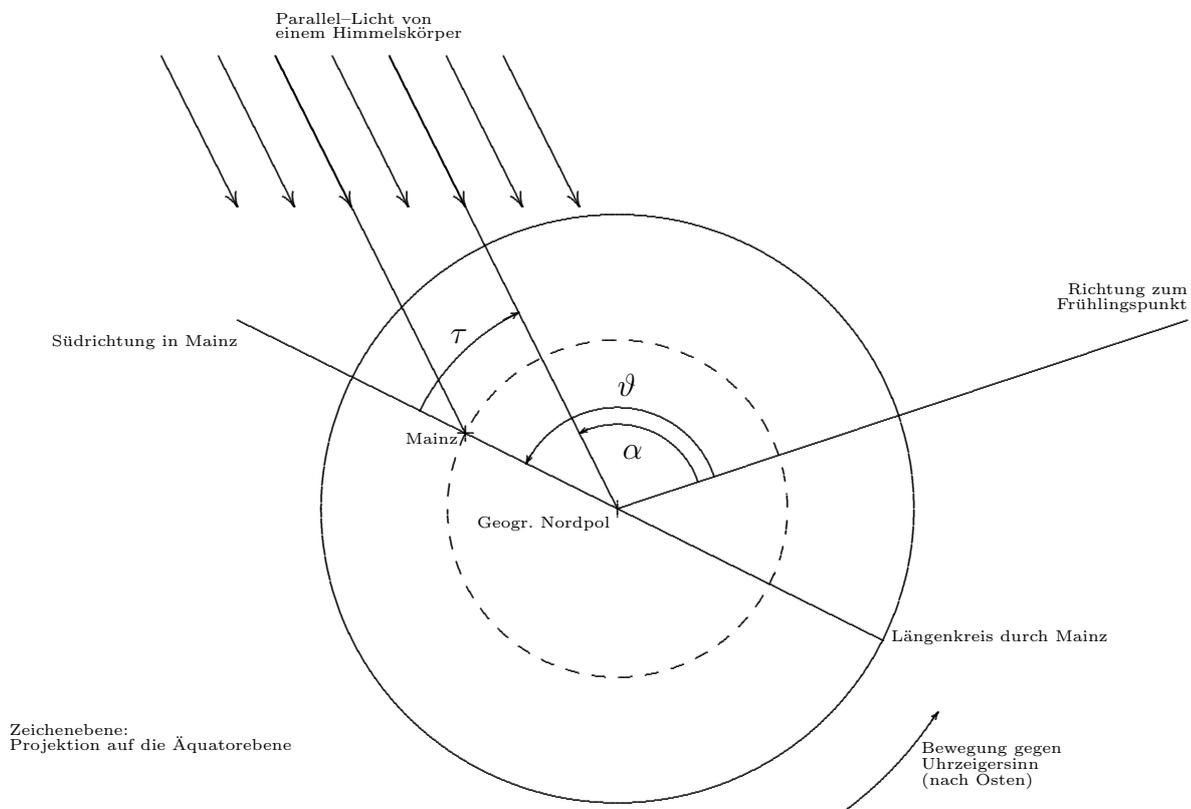
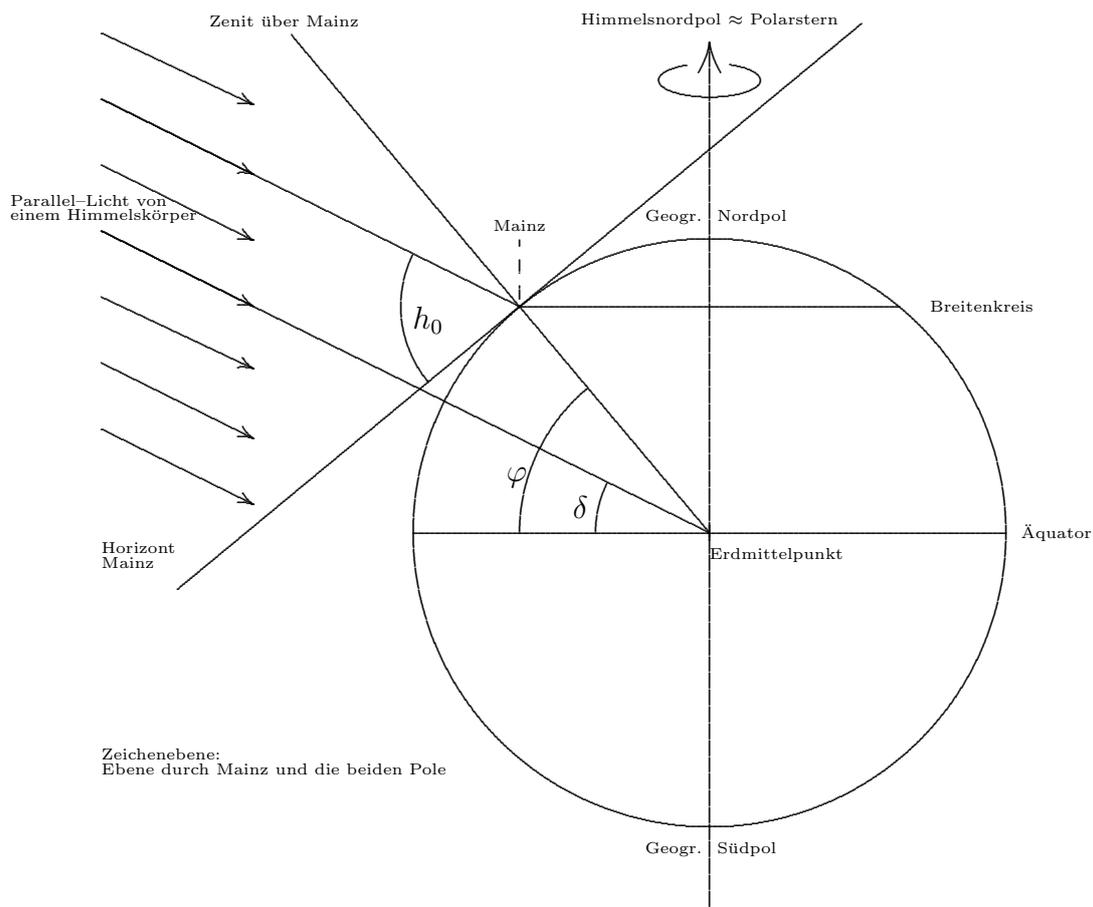
3.2 Geographische Breite und Länge

- Die *geographische Breite* eines Ortes auf der Erde ist gleich dem Winkel, den der Radius des Ortes mit der Äquatorebene einschließt.
- Alle Orte auf der Erde mit gleicher Breite bilden einen *Breitenkreis*.
- Die *geographische Länge* eines Ortes auf der Erde ist gleich dem Winkel, den der Radius mit der Ebene durch die Drehachse und Greenwich (Alte Sternwarte in einem Londoner Stadtteil) einschließt.
- Alle Orte auf der Erde mit gleicher Länge bilden einen *Längenhalbkreis*.
- Der *Längenkreis* besteht aus zwei einander gegenüberliegenden Längenhalbkreisen.

| Breite φ | Ort |
|------------------|-----------------------|
| 90° | Geogr. Nordpol |
| 50° | Mainz (Fußgängerzone) |
| 48,9° | Eichstätt |
| 30° | Kairo |
| 1,2° | Singapur |
| 0° | Äquator |
| -1,2° | Nairobi |
| -22,5° | Rio de Janeiro |
| -37,5° | Melbourne |
| -90° | Geogr. Südpol |

| Länge λ | Ort |
|-----------------|-------------------------|
| 0° | Greenwich |
| (Ost) 10° | Hamburg |
| (Ost) 11,2° | Eichstätt |
| (Ost) 90° | Dacca (Bangladesh) |
| 180° | Fidschi-Inseln |
| (West) 90° | New Orleans / Galapagos |

1° Breite bzw. Länge entspricht einem Abstand von etwa $\frac{10.000 \text{ km}}{90} \approx 111 \text{ km}$.



3.3 Der Ort eines Himmelskörpers

3.3.1 Deklination und Höhe über dem Horizont

Für die Bestimmung des Ortes eines Himmelskörpers an einem Ort auf der Erde bzgl. „Nord–Süd–Richtung“ sind die folgenden Größen wichtig:

φ ist die geographische Breite des Beobachtungsortes.

δ ist die *Deklination* des Sterns, das ist der Winkel zwischen dem vom Himmelskörper einfallenden Licht gegenüber der Äquatorebene.

h_0 ist die *Höhe* des Himmelskörpers über dem Horizont am Beobachtungsort.

- Man sagt, ein Himmelskörper *kulminiert* an einem Beobachtungsort (anders: er steht genau im Süden), wenn das Licht von ihm parallel zum Längengrad des Beobachtungsortes einfällt.
- Damit (vgl. Zeichnung) ergibt sich die Höhe eines Himmelskörpers, der gerade kulminiert:

$$h_0 = 90^\circ - (\varphi - \delta) = \delta + (90^\circ - \varphi)$$

Das heißt, in Mainz muß man zur Deklination des Himmelskörpers 40° addieren, um seine Süd–Höhe über dem Horizont zu erhalten.

3.3.2 Rektaszension und Stundenwinkel

Für die Bestimmung des Ortes eines Himmelskörpers an einem Ort auf der Erde bzgl. „Ost–West–Richtung“ sind die folgenden Größen wichtig:

ϑ ist die *Sternzeit* des Beobachtungsortes, sie ergibt sich aus geographischer Länge und Tageszeit.

δ ist die *Rektaszension* des Sterns, das ist der Winkel zwischen dem vom Himmelskörper einfallenden Licht gegenüber der Richtung zum Frühlingspunkt, einem am Himmel festgelegten Punkt.

τ ist der Stundenwinkel des Himmelskörpers am Beobachtungsort, er ist „gleich“ der Zeit, die seit der Kulmination vergangen ist.

- Damit (vgl. Zeichnung) ergibt sich für den Stundenwinkel

$$\tau = \vartheta - \alpha$$

3.4 Astronomische und optische Sichtbarkeit von Himmelskörpern

Wir sagen, ...

- ein Himmelskörper ist *astronomisch sichtbar*, wenn er geometrisch über dem Horizont steht. Als Horizont wollen wir die Tangentialebene an die Erde am Beobachtungsort verstehen. Wir „sehen“ also die Hälfte des Himmelsgewölbes.
- ein Himmelskörper ist *optisch sichtbar*, wenn er mit den Augen (oder einem Fernrohr) wahrgenommen wird.

Warum unterscheiden sich astronomische und optische Sichtbarkeit?

- Wetterverhältnisse (Wolken, Nebel).
- Erhebungen in der Umgebung des Beobachtungsortes (Berge, Gebäude).
- Störendes Sonnen-Streulicht aus der Erdatmosphäre: Tagsüber sind astronomisch sichtbare Sterne nicht (optisch) sichtbar. Bei abwesender Lufthülle wäre auch der Tageshimmel tief schwarz und Sterne wären zu erkennen.
 - Dies konnte man unter Umständen bei der Sonnenfinsternis am 11.8.99 in Süddeutschland beobachten.
 - Der Polarstern ist immer an seinem Ort.
 - Vergleiche Aufnahmen des Sternenhimmels aus Raumschiffen oder vom Mond aus ([BE95, S. 196]).
 - Die (scheinbar) hellsten Himmelskörper (Die Planeten) tauchen bei Abenddämmerung als erstes auf.
 - Im Jahr 1054 gab es eine Supernova-Explosion (Gewaltige Explosion eines Sterns an seinem Lebensende). Sie war weltweit drei Tage lang — auch tagsüber — sichtbar. Die Nacht erleuchtete sie taghell. (Dokumentiert durch Aufzeichnungen aus China, die „Überreste“ bilden heute den Crab-Nebel im Sternbild Stier ([Ler93, S. 14]).
- Brechung in der Erdatmosphäre. Beispiel: Wenn die Sonne den Horizont (optisch) „berührt“, so ist sie geometrisch schon untergegangen.
- Dämmerung: Es wird schon lange vor dem Sonnenaufgang hell bzw. es bleibt noch lange vor dem nach dem Untergang hell.

3.4.1 Blauer Himmel — Abend- und Morgenrot

Weißes Licht ist ein Gemisch der Spektralfarben. Dies wird deutlich am Regenbogen, CD-Betrachtung, Ölfilmen,...

Streuung nach dem Rayleigh-Gesetz: Beim Durchgang durch Luft werden die Blau-Anteile des Lichts stärker zur Seite gestreut als die Rot-Anteile. Das gestreute Licht ist (teilweise) *polarisiert*.

Luftatmosphäre (bei schönem Wetter)

Je „senkrechter“ man zur Richtung der Sonnenstrahlen schaut, desto „blauer“ erscheint das Himmelsstreulicht.

Beispiele:

- Der blaue Sommerhimmel, besonders am Abend und am Morgen.
- Das Abendrot und das Morgenrot, auch beim Mond, Planeten und Sternen.
- Bei einer Mondfinsternis erscheint der Mond stark rötlich. Die auf den Mond auftreffenden Sonnenstrahlen werden in der Erdatmosphäre „rotgefiltert“.

3.4.2 ... in Mainz, beispielsweise

Die folgenden Beobachtungen wirken stark „zerrechnet“ und unanschaulich. Wichtig ist, dass man diese Feststellungen an konkreten Modellen (Globus) oder geeignete Zeichnung nachvollziehen kann.

Wir beobachten Himmelskörper in $\left\{ \begin{array}{l} \text{Mainz: } \varphi = 50^\circ, \\ \text{irgendwo auf der Nordhalbkugel: } \varphi \geq 0^\circ. \end{array} \right.$

- Ist die Deklination eines Himmelskörpers $\delta \geq \left\{ \begin{array}{l} 40^\circ, \\ 90^\circ - \varphi, \end{array} \right.$ so ist er ganztägig über dem Horizont.
 - Mainz: Großer Wagen, Polarstern, Cassiopeia.
 - Nördlicher Polarkreis: Mitternachtssonne im Nordsommer.
 - Äquator: Nur der Polarstern ($\delta \approx 90^\circ$) ist ganztägig (dicht) über dem Horizont sichtbar.
- Gilt für einen Himmelskörper $\delta \leq \left\{ \begin{array}{l} 40^\circ, \\ 90^\circ - \varphi, \end{array} \right.$ so ist er ganztägig unter dem Horizont.
 - Mainz ($\varphi = 50^\circ$): Kreuz des Südens.
 - Nördlicher Polarkreis ($67,5^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ$): Sonne im Nordwinter.
 - Äquator ($\varphi = 90^\circ$): Alle Sterne (astronomisch) sichtbar.
- Gilt für einen Himmelskörper $\left\{ \begin{array}{l} -40^\circ \leq \delta + 40^\circ, \\ -(90^\circ - \varphi) \leq \delta \leq +(90^\circ - \varphi), \end{array} \right.$ so ist er während eines Tages teilweise über, teilweise unter dem Horizont.
 - Je nördlicher der Himmelskörper steht (δ größer) und je nördlicher der Beobachtungsort (φ größer), desto länger ist die Zeitspanne der (astronomischen) Sichtbarkeit. (Berechnung: Siehe Folie, per Breitenkreisprojektion)
 - Steht ein Himmelskörper über dem Äquator ($\delta = 0^\circ$), so steht er — weltweit — genau einen halben Tag über, genau einen halben Tag unter dem Horizont.
 - Am Äquator ($\varphi = 0^\circ$) stehen alle Himmelskörper (δ beliebig) genau einen halben Tag über, einen halben Tag unter dem Horizont.

4 Die Bewegung der Erde um die Sonne

4.1 Woher weiß man das?

- Innerhalb des von Aristoteles verfaßten und von Ptolemäus (87 – 170 n.C.) schriftlich überlieferten geozentrischen Weltbilds kann man die Bewegungen der Planeten nur dadurch erklären, dass sie auf Epizykeln (Kreise, deren Mittelpunkte wiederum auf Kreisen wandern) bewegen.
- Nikolaus Kopernikus (1473 – 1543) entwarf das heliozentrische Modell des Planetensystems. Bei Zugrundelegung der Sonne als Mittelpunkt des Planetensystems erweist sich, dass sich die Planeten alle — in etwa — auf Kreisbahnen um die Sonne bewegen. Die Beschreibung der Dynamik des Planetensystems wird dadurch sehr vereinfacht.
- Heute weiß man: Die Erde bewegt sich auf einer ellipsenförmigen Bahn um die Sonne um die Sonne. In dem einen der beiden Brennpunkte der Ellipse befindet sich die Sonne.
 - Die Geschwindigkeit der Erde auf ihrer Bahn um die Sonne ist etwa $30 \frac{\text{km}}{\text{h}}$.
 - Der mittlere Abstand zwischen Erde und Sonne, das ist zugleich der mittlere Bahnradius beträgt etwa 150 Mio. km.
 - Die Umlaufdauer, (das ist gerade das Sonnenjahr, ist (ziemlich genau) 365, 24 d.
- Die Bahn der Erde um die Sonne bzw. die Bahnebene heißt *Ekliptik*.
- Zu Planetensystem und Kepler'schen Gesetzen: Siehe später!

4.2 Der Tierkreis (Zodiakus)

Von der Erde aus gesehen durchläuft die Sonne im Laufe eines Jahres eine Folge von 12 Sternbildern, von denen die meisten Tiernamen tragen:

Widder, Stier, Zwillinge, Krebs, Löwe, Jungfrau, Waage, Skorpion, Schütze, Steinbock, Wassermann, Fische.

Das Sternbild ist natürlich dann gerade nicht beobachtbar, man muss mit Hilfe von Sternkarten und Nachtbeobachtung zurückschließen.

Die Namen der Sternbilder stammen ursprünglich von den Babyloniern und wurden über die Griechen in die abendländische Kultur transportiert.

Sie sind an erd-jahreszeitliche Ereignisse angelehnt.

Beispiele: Saat → Fruchtbarkeit → Stier, Regenzeit → Wasser → Wassermann → Fische
Ziegenfisch → Steinbock, Ernte → Ähre → Jungfrau.

| Datum | Tierkreissternbild vor 2500 Jahren | Tierkreissternbild heute |
|--------|------------------------------------|--------------------------|
| 22.12. | Steinbock | Schütze |
| 21.3. | Widder | Fische |
| 22.6. | Krebs | Zwillinge |
| 23.9. | Waage | Jungfrau |

Die Zuordnung der Babylonier und Griechen (Mitte) hat sich bis heute in dem astrologischen Kalender (Zeitschriften–Horoskop) und in manchen astronomisch–geographischen Begriffen (Widderpunkt, Wendekreis des Steinbocks, ... des Krebses) erhalten.

Die Erddrehachse führt eine Präzessionsbewegung mit der Periode $T_P = 25\,800$ Jahre durch. Das ist ähnlich einem schief aufgestellten Kreisel, der durch die Schwerkraft zu einer kegelförmigen Ausweichbewegung veranlasst wird. Infolge dieser Bewegung verändert sich die Zuordnung der Jahreszeiten (und Jahresdaten) zu den Sternbildern.

Das bedeutet, dass Teile des astrologischen Argumentationssystems völlig bedeutungslos bis willkürlich sind.

Zitat (Johannes Kepler, 1599):

Ich aber, der ich die Allgemeinheit der astrologischen Prophezeiungen aus der Erfahrung wie aus der Wissenschaft kennengelernt habe, der ich mir das tausendfältige Ineinandergreifen von Materie, Umständen und Anlässen, das man nicht vorauswissen kann, klar vor Augen halte, werde durch das astrologische Anzeichen nicht mehr bestimmt als durch das, was Physiognomie, Temperament und Krankheitskrisen ansagen. Ich halte mich daher gefeit gegen den Aberglauben.

4.3 Die Jahreszeiten

Während eines Jahreslaufs sind die folgenden astronomischen und meteorologischen Veränderungen zu beobachten:

- Veränderung der Tages- bzw. Nachtlänge, d.h. genauer des Zeitpunkts von Sonnenaufgang bzw. Sonnenuntergang.
- Veränderter Sonnenhöchststand bzw. Einstrahlwinkel von Sonnenlicht.
- Sichtbarkeit von bestimmten Sternen oder Sternbildern.
- In bestimmten (nördlichen oder südlichen) Breiten schient die Sonne ganztägig oder überhaupt nicht (Mitternachtssonne, Polartag bzw. Polarnacht).
- Jahreszeitliche Temperatur- und damit Wetterveränderungen.

Eine **falsche** Erklärung für die jahreszeitlichen Wetteränderungen ist häufig in den Medien zu finden:

Der unterschiedliche Abstand der Erde von der Sonne beim Durchlaufen der elliptischen Bahn verursacht die unterschiedliche Erwärmung.

Warum kann diese Erklärung nicht stimmen?

Oder eine andere **falsche** Erklärung, die der Lehrer (Blacky Fuchsberger) in dem Film „Das fliegende Klassenzimmer“ (Erich Kästner) äußert:

Die unterschiedliche Absorption des Sonnenlichts in der Luftatmosphäre aufgrund des unterschiedlichen Einfallswinkels führt zu den unterschiedlichen Temperaturen.

Warum kann diese Erklärung nicht stimmen?

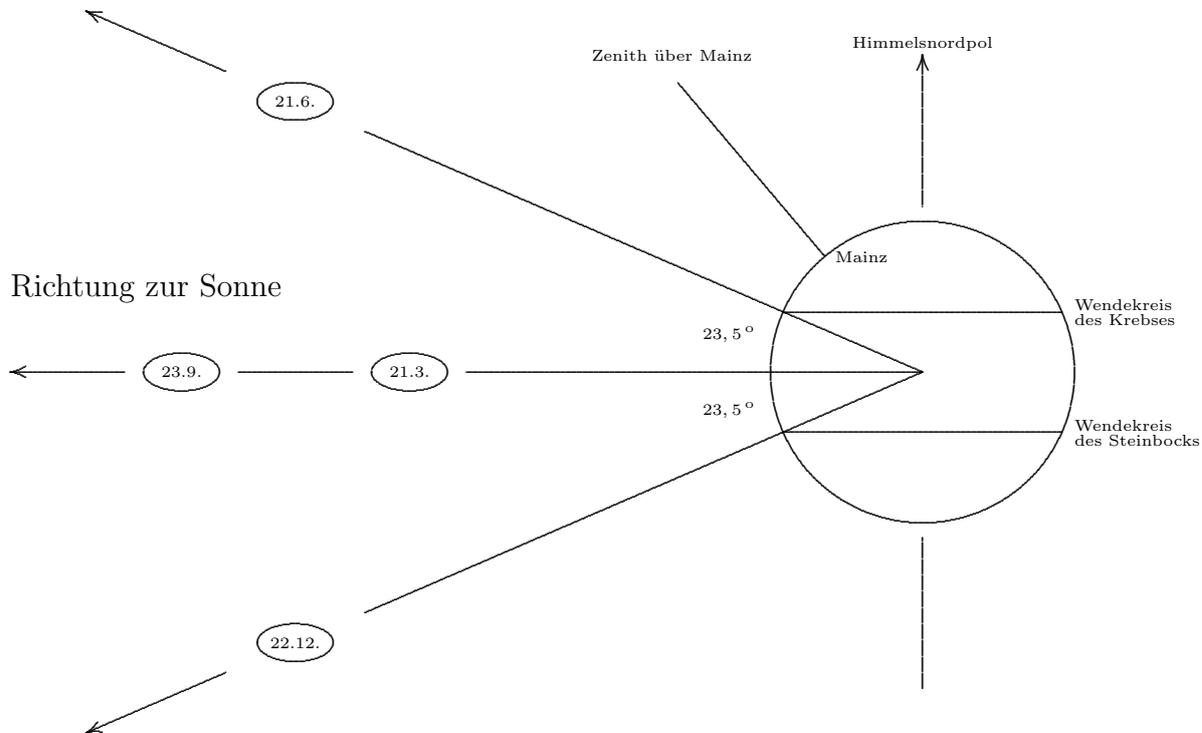
Die **Primäre Ursache** ist die folgende „geometrisch-räumliche“ Konstellation (vgl. Beiblatt):

Die Erddrehachse schließt mit dem Lot auf die Ekliptik einen Winkel von $23,5^\circ$ ein. Diese Richtung innerhalb des Weltraums (gegenüber dem Fixsternhimmel) bleibt während des Jahreslaufs der Erde um die Sonne — im wesentlichen — unverändert.

Wie dabei weiter die oben beschriebenen jahreszeitlichen Veränderungen verursacht werden, kann man am besten in Modell-Spielen erfassen. Durchführung in der Vorlesung!

4.3.1 Veränderung des Sonnenstandes

Infolge der Bewegung der Erde um die Sonne und der Neigung der Polarachse gegenüber der Ekliptik scheint die Sonne im Laufe eines Jahres eine Auf- und Abwärtsbewegung über der Erde auszuführen.



4.3.2 Sonnenstand und Erwärmung

Hält man gedanklich eine Glasscheibe von 1 m^2 so, dass sie senkrecht vom Sonnenlicht durchstrahlt wird, dann wird sie von

$$1,395 \text{ kJ} \pm 7\% \quad \text{pro Quadratmeter und pro Sekunde}$$

durchsetzt. Man bezeichnet daher den Wert

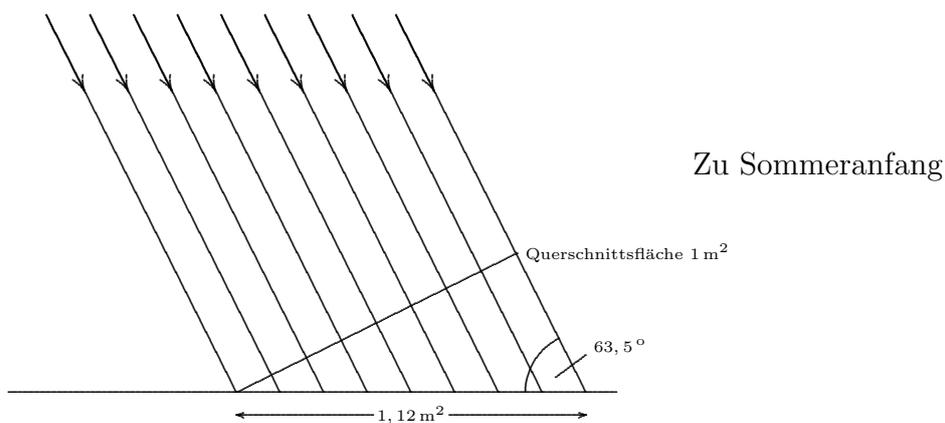
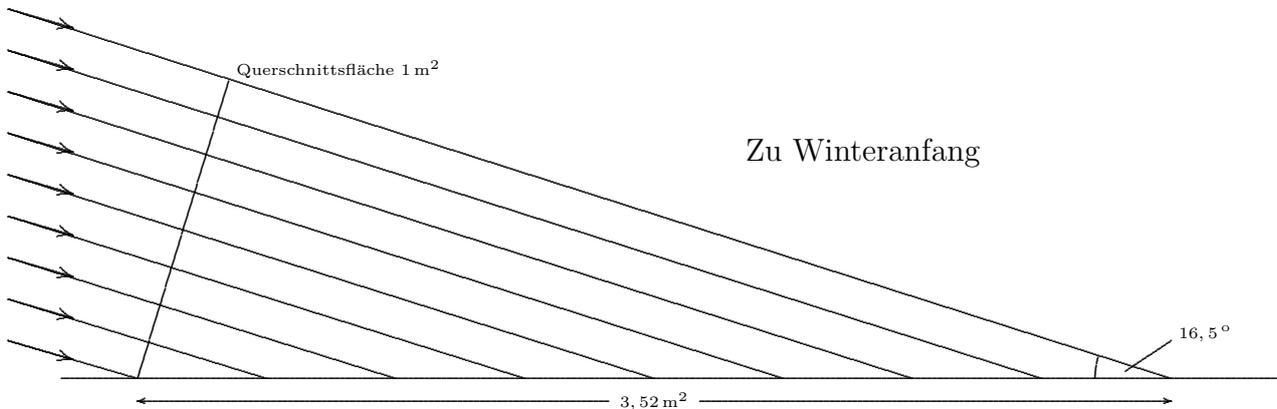
$$1,395 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2 \text{ s}} = 1,395 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2}$$

als *Solarkonstante*. Das von diesem Strahlenbündel beschienene ebene Stück Erdboden hat eine Fläche von

$$A = \frac{1 \text{ m}}{\sin h} \cdot 1 \text{ m},$$

wobei h die Höhe der Sonne über dem betrachteten Ort ist. Je nach Jahreszeit ergeben sich für Mainz die Mittags-Werte

| Datum | Höhe h | Fläche A | Strahlungsdichte |
|-----------------------|--------------|--------------------|-------------------------------------|
| Frühlingsanfang 21.3. | $40,0^\circ$ | $1,56 \text{ m}^2$ | $0,89 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2}$ |
| Sommeranfang 21.6. | $63,5^\circ$ | $1,12 \text{ m}^2$ | $1,25 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2}$ |
| Herbstanfang 23.9. | $40,0^\circ$ | $1,56 \text{ m}^2$ | $0,89 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2}$ |
| Winteranfang 22.12. | $16,5^\circ$ | $3,52 \text{ m}^2$ | $0,40 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2}$ |



5 Die Bewegung des Mondes um die Erde

In etwa einem Monat bewegt sich der Mond einmal die Erde.

Die genaue Zeitdauer, die der Mond — von der Erde aus gesehen — braucht, um die gleiche Stellung einzunehmen . . .

- gegenüber dem Fixsternhimmel, heißt *siderischer Monat*.
- gegenüber der Sonne, heißt *synodischer Monat*.

Dieser Zeitraum ist für die Mondphasen maßgeblich.

- bezüglich des „aufsteigenden Knotens“, heißt *drakonitischer Monat*.

Von ihm hängt der Rhythmus der Mond- und Sonnenfinsternisse ab.

Es gilt: $T_{\text{dra}} = 27,21 \text{ d} < T_{\text{sid}} = 27,32 \text{ d} < T_{\text{syn}} = 29,53 \text{ d}$.

5.1 Die Mondphasen

Die Mondphasen, d.h. die unterschiedlichen Leuchtgestalten des Mondes, werden durch die unterschiedliche Beleuchtung durch die Sonne verursacht. Das „Aussehen des Mondes“ hängt von dem Winkel

\sphericalangle Sonne – Mond – Erde

ab. Die Mondphasen werden nicht durch den Erdschatten o.ä. verursacht, was wie folgt einzusehen ist.

- Beobachtet man den zunehmenden Mond bei Abenddämmerung, so sieht man ihn im Süden, die Sonne zugleich im Westen. Ein Schattenwurf durch die Erde wäre unmöglich.
- In etwa der Mitte zwischen zunehmendem Mond und Vollmond ist der nicht-erleuchtete Teil des Mondes sichelförmig. Die kugelförmige Erde kann einen solchen Schatten nicht erzeugen.

Betrachte das Diagramm in [BE95, Abb. 12.5]. Es ist zu erkennen, dass der Mond während seiner Phasen die folgenden Aufgangs-, Kulminations- und Untergangszeiten hat:

| Mondphase | Aufgang | Kulmination | Untergang |
|------------------|---------|-------------|-----------|
| Zunehmender Mond | Mittags | Abends | Nachts. |
| Vollmond | Abends | Nachts | Morgens |
| Abnehmender Mond | Nachts | Morgens | Mittags. |
| Neumond | Morgens | Mittags | Abends. |

Der Neumond ist nicht zu sehen, da die der Erde zugewandte Seite nicht beleuchtet ist und aufgrund der Kulmination am Tag seine Reststrahlung vom Sonnenstreulicht überdeckt wird.

Astronomische Beobachtungen am besten während der Neumondphase möglich.

Merkhilfe: Die deutschen Schriftzeichen für **z** und **a** besitzen Bögen auf der richtigen Seite. Beachte, dass die Bögen auf der Tafel hell (also richtig), im Heft aber dunkel (also invertiert) geschrieben werden.

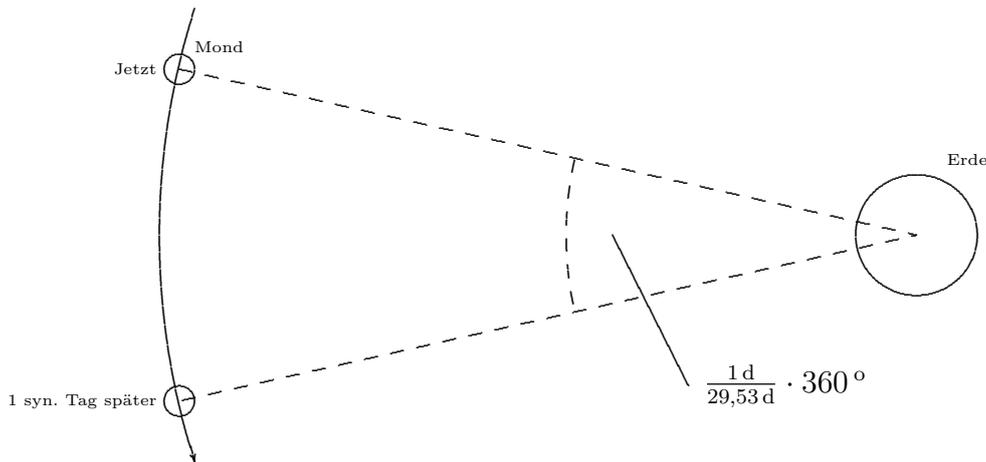
5.2 Mond- und Sonnenfinsternisse

Betrachte die Mondbahn in der Skizze aus [Wie19, M 6.4.7].

Im Normalfall ist bei Vollmond der Mond und bei Neumond die Sonne zu sehen. Der Grund dafür: Die Mondbahnebene ist gegenüber der Ekliptik leicht (um etwa $5^\circ 9'$) geneigt, der Mond zieht also — im Normalfall — ober- oder unterhalb der Sonne vorbei.

- Die Schnittgerade von Mondbahnebene und Ekliptik wird als *Knotenlinie* bezeichnet. Sie „geht durch die Erde“ und dreht sich im Laufe eines Mondumlaufs ($T_{\text{sid}} = 27,32 \text{ d}$) geringfügig weiter. Die Ursache ist die Präzession, der Zeitraum zwischen zwei aufsteigenden Passagen des Mondes in der Knotenlinie ist gerade der drakonitische Monat.
- Eine Finsternis kommt zustande, wenn — von der Erde aus gesehen — Sonne **und** Mond (in etwa) in Richtung der Knotenlinie stehen.
- Die Sonne steht zweimal im Jahr in Richtung der Knotenlinie.
- Der Mond steht zweimal im siderischen Monat in Richtung der Knotenlinie.
- Mondfinsternis (während des Vollmonds): Die Erde steht zwischen Mond und Sonne und wirft so einen Schatten. Das in der Erdatmosphäre gebrochene Licht wird stark im blauen gestreut. Der Mond erscheint rötlich gefärbt. Der Mond erscheint auf der ganzen Welt gleich aussehend.
- Sonnenfinsternis (während des Neumonds): Der Mond steht zwischen Erde und Sonne und verdeckt so partiell, ringförmig oder total die Sonne. Beachte, dass die scheinbaren Größen von Mond- und Sonnenscheibe etwa gleich sind.
- Bei der totalen Sonnenfinsternis (z.B. 11. August 1999 in Süddeutschland) wird es dunkel, Sterne in der Umgebung der Sonne und die Sonnenkorona werden sichtbar. Dies ist wichtig für astronomische Beobachtungen. Der Kernschatten hat einen Durchmesser von etwa 200 km und bewegt sich mit $28 \frac{\text{km}}{\text{min}}$ über die Erdoberfläche.
- 1919 beobachtete eine englische Expedition in Zentralafrika während einer Sonnenfinsternis Sterne in der direkten Umgebung der Sonne. Sie konnten so nachweisen, dass Lichtstrahlen in der Nähe großer Massen abgelenkt werden. Dies war eine Bestätigung einer zentralen Aussage der Allgemeinen Relativitätstheorie Albert Einsteins von 1915/16, sie erregte weltweites Aufsehen.

5.3 Die Gezeiten



- Auf der Erde sind ständig zwei Wasserhügel ausgebildet. Die Ursache ist in der durch den Mond hervorgerufenen Gravitation zu suchen:
 - Auf der dem Mond zugewandten Seite ist die Gravitation höher als bzgl. der Gesamterde (Mittelpunkt).
 - Auf der dem Mond abgewandten Seite ist die Gravitation niedriger als bzgl. der Gesamterde (Mittelpunkt).
- Dauer für die Erd-Umrundung eines Flutbergs:

$$24 \text{ h} + \frac{1 \text{ d}}{29,53 \text{ d}} \cdot 24 \text{ h} = 24,81 \text{ h} = 24 \text{ h } 48 \text{ min},$$

das heißt, der Abstand zwischen Ebbe und Flut beträgt 6 h 12 min.

- Die Flutberge liegen nicht genau auf der Gerade Erde – Mond, sondern seitlich davon. Das liegt an der Trägheit des Wassers und an Reibungskräften, die die Bewegung des Wassers gegenüber dem Festland hemmen.
- Lokal verschiedener Tidenhub: Freies Meer 35 cm, Atlantikküste 7 m, Erdkruste auf Magma: 50 cm.
- Durch die Gezeitenreibung wird die Erdrotation gebremst: Die Tagesdauer verlängert sich in 100 000 Jahren um etwa 1,8 s. Vor 200 Millionen Jahren (Auftreten der Dinosaurier) dauerte der Tag (Erddrehung) etwa 23 (Atomzeit-)Stunden. Ein Jahr (Sonnenumrundung) dauerte hatte etwa 380 Tage.
- Gebundene Rotation des Mondes. Der Mond neigt der Erde immer die gleiche Seite zu. Dies geht auf eine Abbremsung der Mondrotation durch (Erdgezeiten-)Reibung von früher existenter wandernder zähflüssiger Magma zurück.
- V: Plattenspieler: Dreht man einen Plattenspieler (oder eine Suppe) um den eigenen Körper, so bleibt die Platte (Suppenfett) bzgl. des Raumes in Ruhe, sie zeigt dem „Dreher“ wechselnde Seiten zu. Drehen sich die Platte und der Plattenspieler in gleiche Richtung mit gleicher Umlaufdauer, so „sieht“ der Drehende immer die gleiche „Plattenseite“.

5.4 Der Mond an sich

Blicke auf die Mondkarte! (Vgl. Astronomischer Atlas).

Bei der Betrachtung des Mondes — gelegentlich mit bloßem Auge, besser durch das Fernrohr — ist eine strukturierte Oberfläche des Mondes erkennbar. Dies ist besonders gut möglich, wenn das Sonnenlicht die Mondoberfläche streift.

Man unterscheidet im wesentlichen

- Terrae (Gebirge): Sie sind durch viele Krater zerklüftet, die durch frühere vulkanische Aktivitäten (früher intensiver) oder durch Meteoriteneinschläge (früher häufiger) entstanden sind.
- Maria (Meere): Man glaubte früher, das die tieferliegenden dunkler erscheinenden Gebiete mit Wasser gefüllt sind. Ihre Entstehung wird durch den folgenden Ablauf gedeutet:
 - Ein großer Meteor schlägt ein.
 - Es wird geschmolzenes Mondgestein ausgeworfen.
 - Es bleibt ein Krater, der viel größer ist als der ursprüngliche Meteorit, zurück.
 - Basaltlava bricht aus und füllt den Krater.

Es fehlt eine Atmosphäre des Mondes, da seine Gravitation zum Festhalten von Gasen zu klein ist. Dies hat zur Folge, das die Temperaturen im Bereich

$$-150^{\circ}\text{C} \quad (\text{Mondnacht}) \quad \dots\dots \quad +120^{\circ}\text{C} \quad (\text{Mondtag})$$

abhängig von der Sonneneinstrahlung schwanken. Diesem Wechsel liegt der 27-Tage-Rhythmus der Mondrotation zugrunde: Während einer Erdumrundung dreht er sich auch einmal um sich selbst.

Da atmosphärische Einflüsse fehlen, treten auch nicht Veränderungen (Verwitterungen) der Mondoberfläche durch Wind, Wasser, Leben auf.

5.5 Hypothesen zur Mondentstehung

- Gleichzeitige gemeinsame Entstehung des Erde–Mond-Systems in der Phase des Entstehens des Sonnensystems (↔ Unterschiedliche Dichte).
- Von der Erde aus dem Sonnensystem eingefangener Körper (↔ Ähnliche chemische Struktur).
- Abspaltung bzw. Herausschleudern von Teilen des Erdmantels. (↔ Bahnebene nicht exakt gleich der Äquatorebene).
- Mond als Überbleibsel einer Kollision der Erde mit einem großen Himmelskörper.

6 Die Bewegung der Planeten — Gravitation

6.1 Abriß der historischen Entwicklung der Weltbilder

Antike Alle Himmelskörper durchlaufen ideale Kreisbahnen. Dies ist bestätigt für die Sterne, die Sonne und den Mond. Lediglich die Planeten lassen sich in dieses System nicht eingliedern.

220 v.C. Eratosthenes (Leiter der Bibliothek von Alexandria) berechnet den Radius der Erde aus den Sonnenhöhen an 2 Punkten des gleichen Meridians.

105 n.C. Ptolemäus fixiert in seinem „Almagest“ das antike Weltbild.

1. Epizykeltheorie: Die Planetenbewegung ist eine Überlagerung von zwei Kreisbewegungen (Deferent und Epizykel)
2. Die Sphären des Aristoteles: Die Planeten sind an kristalline Sphären gebunden. Die äußeren Sphären bewegen die inneren. Die Sphäre des Mondes trennt die sublunare Welt (Werden und Vergehen: Erde, Kometen) von der superlunaren Welt (Ewiger Bestand: Sonne, Fixsterne).
3. Das ptolemäische Weltbild bleibt Grundlage der astronomischen Weltansicht bis ins 17. Jahrhundert hinein. Es stimmt überein mit Grundelementen der christlich-mittelalterlichen Auffassung, dass der Mensch als Gottes Schöpfung im Mittelpunkt des Alls steht. Gott bewegt die Sphären.

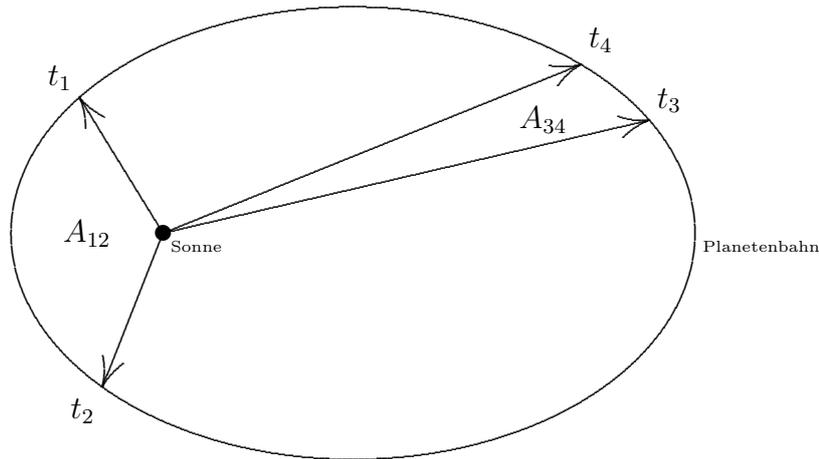
1543 Nikolaus Kopernikus (1473 – 1543, Bild [Ler93, S. 22]) vertritt in seinem Werk „De revolutionibus orbium coelestium“ das heliozentrische Weltbild: Die Sonne steht im Mittelpunkt der Welt. Bezüglich der anderen Himmelskörper bleibt er dem antiken Weltbild verhaftet. Das Werk bildet den Anstoß für die Erkenntnisse von Galilei und Kepler.

Der italienische Philosoph Giordano Bruno (1548 – 1600) erweitert die Ansicht Kopernikus' zum Weltbild. Er wird als Ketzer verbrannt.

1590 Der dänische Astronom Tycho Brahe (1546 – 1601, [Deumus]) baut auf der Insel Hveen im Sund eine große Sternwarte (Uranienborg) mit riesigen Visiergeräten und unternimmt Messungen mit ungekannter Genauigkeit. Für ihn ist das heliozentrische System nicht glaubhaft, da er die „Fixsternparallaxe“ nicht nachweisen kann. 1599 wird er von Rudolf II. nach Prag berufen, wo seine Beobachtungsunterlagen in die Hand Keplers gelangen.

1609 Der Theologe und Mathematiker Johannes Kepler (1571 – 1630.[Ler93, S. 51]) analysiert die Daten der Marsbahn. Nach jahrelangen Berechnungen unter verschiedenen Hypothesen (Kreisbahnen, platonische Körper, Sphärenharmonien (Tonleiter)) findet er die nach ihm benannten Gesetze der Planetenbewegung:

1. (1609, „Astronomia nova“) Alle Planeten beschreiben Ellipsenbahnen. In einem der beiden Brennpunkte steht die Sonne.
2. (1609, „Astronomia nova“) Die Verbindungsstrecke von der Sonne zu einem Planeten überstreicht in gleichen Zeitspannen gleiche Flächen.



3. (1619, „Harmonices mundi“) Für je zwei Planetenbahnen verhalten sich die Quadrate der Umlaufzeiten wie die Kuben der mittleren Bahnradien:

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{R_1^3}{R_2^3}.$$

1687 Isaac Newton (1643 – 1727) findet heraus, dass den Planetenbewegungen um die Sonne und der Fallbewegung auf der Erde das gleiche Gesetz, das Gravitationsgesetz zugrundeliegt.

Alle (massebehafteten) Körper üben aufeinander anziehende Gravitationskräfte aus. Diese Kraft hat den Betrag

$$F = \gamma \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}.$$

m_1, m_2 sind die Massen der beiden Körper, r ist der Abstand ihrer Mittelpunkte, γ ist die Gravitationskonstante (eine universelle Naturkonstante).

$$\gamma = 6,670 \cdot 10^{-11} \frac{\text{m}^3}{\text{kg} \cdot \text{s}^2}.$$

Er beweist, dass die Form der Planetenbahnen aus seinem Gravitationsgesetz hergeleitet werden kann.

7 Das Sonnensystem

7.1 Die Planeten des Sonnensystems

In der folgenden Tabelle sind die Planeten unseres Sonnensystems aufgelistet.

| | | |
|---------|------------------|---------------|
| Merkur | M ein | $n = -\infty$ |
| Venus | V ater | $n = 0$ |
| Erde | e rklärt | $n = 1$ |
| Mars | m ir | $n = 2$ |
| — | | $n = 3$ |
| Jupiter | j eden | $n = 4$ |
| Saturn | S onntag | $n = 5$ |
| Uranus | u nsere | $n = 6$ |
| Neptun | n eon | $n = X$ |
| Pluto | P laneten | $n = 7$ |

Auf den Beiblättern finden sich weitere Informationen.

7.2 Planetoiden

Im Anschluß an Kepler und Newton versuchte J.D. Titius eine Formel für die Planeten-Sonnenentfernungen aufzufinden. Auf empirischem Wege gelangte er zu der Formel

$$a_n = \frac{1}{10}(4 + 3 \cdot 2^n) \cdot \text{AE},$$

wobei n die in der Tabelle aufgeführte Zahl ist. Bei AE handelt es sich um die „Astronomische Einheit“

$$1 \text{ AE} = 1,496 \cdot 10^8 \text{ km},$$

das ist der mittlere Abstand zwischen Erde und Sonne.

Es ist bis heute nicht geklärt, ob das Gesetz eher zufällig oder naturgesetzlich zustandekommt.

Die Lücke bei $n = 3$ gab lange Zeit Rätsel auf. 1801 wurde dann der Planetoid Ceres (Durchmesser 900 km) entdeckt, später noch Pallas, Juno und weitere 2000 Planetoiden (Durchmesser ab 1 km).

Sie sind zusammen mit dem Sonnensystem entstanden. Der Planetoidengürtel zwischen Mars und Jupiter entwickelt sich noch heute. Kleine Planeten nähern sich einander an und vereinigen sich.

7.3 Die Venus als Morgen- oder Abendstern

7.4 Planeten und Fixsterne: Eine Gegenüberstellung

| | Planeten | Fixsterne (Sonne) |
|--------------|---------------------------------|--------------------------------|
| Sichtbarkeit | Relativ hell | Weniger lichtstark |
| Ort | Wandern über den Fixsternhimmel | Ortsfest |
| Leuchten | Von der Sonne beleuchtet | Selbstleuchtend |
| Entfernung | Lichtminuten ... Lichtstunden | 4 bis 100 Lichtjahre |
| Masse | 10^{24} kg ... 10^{27} kg | 10^{30} kg ... 10^{32} kg |
| Durchmesser | 10 000 km ... 100 000 km | 1 000 000 km ... 10 000 000 km |
| Temperatur | 50 ... 700 K | Einige 1 000 K |

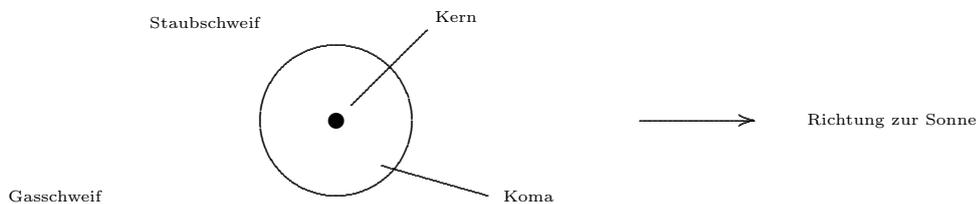
7.5 Kometen

XXX Im Laufe der Menschheitsgeschichte wurden immer wieder Kometen beobachtet. Sie erschienen und verschwanden vergleichsweise unregelmäßig, weshalb sie als Unheilsverkünder galten.

1600 Tycho Brahe findet heraus, dass Kometen als Körper dem Planetensystem angehören, nicht also der Erdatmosphäre.

1682 Edmund Halley (8.11.1656 – 14.1.1742) wertet die Bahndaten eines in diesem Jahr am Himmel erschienenen Kometen aus. Er stellt fest, dass der Komet eine stark elliptische Bahn beschreibt, zu der — gemäß der kepler'schen Gesetze — eine Umlaufzeit von 76 Jahren gehört. Damit kommt er zu dem Schluß, dass es sich um den gleichen Kometen handeln muss, den vorher Kepler (1607), Apian (1531, Ingolstadt) und Regiomontanus (1456) beobachtet und beschrieben hatten. Er sagt die Wiederkehr des Kometen für 1759 voraus, das konnte er leider nicht selbst erleben. Dieser Halley'sche Komet kehrte auch 1834, 1911 und 1986 (9. Februar Periheldurchgang) wieder. Die letzte Wiederkehr war auf der Erde begleitet durch ein Riesen-Medienspektakel, insbesondere deshalb, weil die NASA eine Raumsonde Giotto (1266 – 1337, It. Maler der frühen Renaissance, schuf im Jahr ein heute berühmtes Bild der Geburt Jesu, auf dem der Weihnachtsstern als Komet abgebildet ist) durch den Schweif geschickt hatte. Es gibt Theorien, dass es sich bei dem Halley'schen Kometen tatsächlich um den Stern der Weisen handelt, da er auch 11 v.C. „erschieden“ ist.

- Beim Vorbeiflug an der Sonne weist ein Komet die folgende Struktur auf:
 - Kern: „dirty ice“, das ist Eis (H_2O) mit Spuren von Kohlendioxid (CO_2), Kohlenmonoxid (CO), CH_3CN und Blausäure (HCN),
 - Koma: Atmosphäre aus verdampftem Kernmaterial,
 - Staubschweif: Neutrale Teilchen unter Einfluß der Sonnenstrahlung, wenig beschleunigt,
 - Gasschweif: Stark beschleunigte ionisierte Teilchen unter Einfluß des Sonnenwinds. Er ist genau der Sonne abgewandt.



- Am Rand des Planetensystems befindet sich eine Wolke aus Kometen, aus der sich immer wieder auch zufällig einzelne lösen und sich auf einen „Ausflug“ zur Sonne machen.
- Hyakutake, März 1996: Schwer erkennbar.
Hale Bob, März 1997: Wunderbar erkennbar.

7.6 Meteore

Siehe [Ler93, S. 97].

- Als *Meteorit* bezeichnet man einen planetarischen Kleinkörper.
- Von *Meteoren* spricht man, wenn diese in die Erdatmosphäre eintreten und dabei Leuchterscheinungen hervorrufen.
- Die Leuchterscheinung kommt nicht direkt aufgrund des Verglühens, sondern durch Ionisations- und Rekombinationsvorgänge zustande.
- Die Leuchterscheinungen werden im „Volksmund“ als *Sternschnuppen* bezeichnet.
- Die Massen der in die Erdatmosphäre eintretenden Einzel-Körper variieren stark.

| | |
|---------------------------|--|
| $\frac{1}{100}$ g bis 1 g | Sternschnuppen: Sie verglühen vollständig. |
| 1 g bis 1 t | Fundstücke bleiben. |
| 1 t bis Mio. t | Es tritt Kraterbildung auf. |

Es wird geschätzt, dass durchschnittlich pro Tag etwa 1000 t – –10 000 t Meteoriten auf die Erde fallen.

- In Bezug auf die Zusammensetzung lassen sich zwei verschiedenen Typen voneinander abgrenzen:
 - Eisenmeteorite (10% – 20%): Sie werden häufig gefunden, da sie sich von dem Erd-Gestein deutlich abheben.

Ihre Entstehung wird auf das Zusammenstoßen von Planetoiden zurückgeführt.

Zusammensetzung:

| | |
|--------|-----|
| Eisen | 91% |
| Nickel | 9% |

- Steinmeteorite (80% – 90%): Sie werden selten aufgefunden, da sie — auch wegen der weiteren Verwitterung — schwer als Meteorite zu identifizieren sind.

Kernphysikalische Untersuchungen deuten darauf hin, dass sie vermutlich vor 4,6 Mrd. Jahren entstanden.

Zusammensetzung:

| | |
|------------|-----|
| Sauerstoff | 42% |
| Nickel | 21% |
| Magnesium | 16% |
| Eisen | 16% |
| Sosnitges | 5% |

7.6.1 Besondere Meteorite

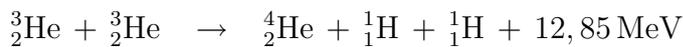
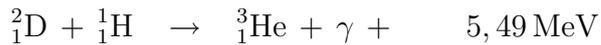
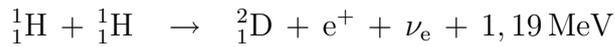
- Es gibt Theorien, die das Aussterben der Dinosaurier vor etwa 65 Mio. Jahren auf das Einschlagen eines Meteoriten zurückführen.
- Beim Nördlinger „Ries“ ([?, S. 315]) handelt es sich um den Krater eines Meteoriteneinschlags, der sich vor etwa 14,8 Mio. Jahren ereignet hat. Es wird geschätzt, dass der Meteorit eine Masse von etwa 1 Mrd. Tonnen und einen Durchmesser von etwa 1 km hatte. Der Krater hat einen Durchmesser von etwa 25 km und ist 200 m tief.
- Das Steinheimer Becken mit einem Durchmesser von 3,5 km befindet sich 40 km süd-westlich vom Ries. Es ist vermutlich durch den Einschlag eines Bruchstücks des Ries-Meteoriten entstanden. (Bild: [Has95, S. 88]).
- Einer der schönsten (weil jüngsten) Krater auf der Erde ist der Barringer-Krater in Arizona (Siehe [Ler93, S. 97], [BE95, S.8], [?, S. 115], [HMTW, S. 191]. Er weist einen Durchmesser von 1,3 km und eine Tiefe von 170 m auf. Er ist beim Einschlag eines 200 Mio. t-Eisenmeteoriten vor etwa 20.000 Jahren entstanden.
- Auf der Hoba-Farm wurde 1920 ein Eisenmeteorit der Masse 60 t gefunden. (Bild: [HMTW, S. 190]).
- In der steinigen Tunguska in Ostsibirien schlug am 30. Juni 1908 ein Meteorit ein, der auf einer Fläche von 30 km Durchmesser alle Bäume entwurzelte. Der Meteorit konnte auf seinem „Flug“ in Europa beobachtet werden. Aufgrund von Kriegswirren war es erst in den 20er Jahren möglich, eine Expedition zu dem Einschlagort zu entsenden.
- Im Januar 1998 schlug in Grönland ein Meteorit ein.
- In jedem Jahr am 11. August kreuzt die Erde die Bahn der *Perseiden*, das sind kleine Bruchstücke eines Kometen. Dies führt zu einem intensiven „Sternschnuppenregen“, der die laue Sommernacht belebt. Der Name rührt daher, dass die Sternschnuppen aus dem Sternbild „Perseus“ zu kommen scheinen.
- In jedem Jahr am 16. November lassen sich in ähnlicher Weise die *Leoniden* beobachten.

8 Die Sonne

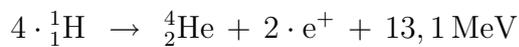
8.1 Was ist Licht? — Das Sonnenspektrum

8.2 Energiefreisetzung in der Sonne

Im Jahr 1937 haben W. Bethe und C.F. von Weizsäcker einen heute nach ihnen benannten Kernreaktionszyklus aufgefunden und vermutet, dass dieser Prozess die Sonnenenergie zur Verfügung stellt. Dieser Zyklus ist heute genau erforscht:



Zusammengefasst:



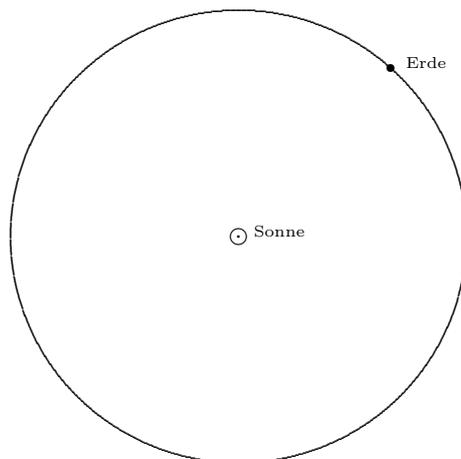
Bei normalen chemischen Reaktionen (der Elektronenhülle) werden Energien der Größenordnung eV frei.

Daneben gibt es noch einen anderen wichtigen Reaktionszyklus, den sogenannten CNO-Zyklus.

Diese Kernreaktionen kommen nur bei extrem hohen Drucken und Temperaturen zustande. Auf der Erde sind sie nicht realisierbar — außer bei der Wasserstoffbombe (Verharmlosend: Die Super), evtl. zukünftig bei der Kernfusion(??).

8.2.1 Die Leistung

Die Solarkonstante auf der Erde ist $1,395 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2}$. Wir stellen uns jetzt eine Kugel vor, deren Mittelpunkt die Sonne ist und auf deren Oberfläche die Erde sitzt.



Diese Kugeloberfläche wird also von einer Gesamtleistung von

$$P_{\text{Sonne}} = 4\pi r_E^2 \cdot 1,395 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2} \approx 3,710^{23} \text{ kW}$$

durchsetzt. Diese muß von der Sonne aufgebracht werden.

Wollte man diese Leistung auf der Erde durch Kraftwerke hervorbringen, so bräuchte man 10^{18} (1 Trillion, für jeden Menschen 1 Milliarde) Stück davon.

Die Einstein–Gleichung

$$E = m \cdot c^2$$

sagt dann weiter aus, dass die Sonne in jeder Sekunde etwa 4,25 Millionen Tonnen an Masse verliert. Dies ist wenig im Vergleich zur Gesamtmasse, es bedeutet aber eine endliche Lebensdauer, sie wird auf etwa 5 Milliarden Jahre geschätzt.

8.3 Sonnenflecken — Protuberanzen — Flares

- Die *Sonnenkorona* ist ein schwacher Strahlenkranz um die Sonne. Er wird vor allem bei einer Sonnenfinsternis sichtbar. Die Ursache sind die hohen Energieumwandlungen, die die Strahlung aus dem Sonneninneren auffangen müssen.
- Der *Sonnenwind* ist eine hochenergetische Strahlung, die das gesamte Sonnensystem durchzieht. Es handelt sich dabei um Elementarteilchen (Protonen, Elektronen) mit einer Geschwindigkeit von mehreren Hundert $\frac{\text{km}}{\text{s}}$. Sie stellt ein großes Problem für die Raumfahrt dar, sie führt zum Abdriften von Raumsonden. Die Erde wird durch ihr Magnetfeld vor dem Sonnenwind geschützt.
- Auf der Sonnenoberfläche kann man die dunkleren sogenannten *Sonnenflecken* beobachten. Sie stellen etwa 2000 K kühlere Gebiete der Photosphäre dar. Mit ihrer Hilfe ist feststellbar, dass die Sonne selbst „differentiell“ rotiert. Sie haben ihre Ursache in Störungen des Sonnenmagnetfelds.

Die Sonnenflecken treten in einem 11-jährigen Zyklus auf, Auswirkungen auf der Erde bestehen beispielsweise in veränderten Niederschlägen und Baumwachstum (Breite der Baumringe).

Die historisch erste ausführliche Beobachtung der Sonnenflecken stammt von Johann Christoph Scheiner (1575 – 1650) in Ingolstadt.

- *Protuberanzen* haben die gleiche Ursache wie die Sonnenflecken. Sonnenmaterie wird über die Oberfläche gehoben, sie fließt dann wieder ab. (vgl. [Ler93, S. 127]).
- Bei *Sonneneruptionen (Flares)* werden riesige Mengen Materie in den Weltraum geschleudert, wodurch eine Temperatursteigerung von einigen Millionen Grad hervorgerufen wird. Deshalb kommt es zu erhöhter UV-Strahlung und Freisetzung von Plasma. Dadurch werden auf der Erde Telefonsysteme und der KW-Funk beeinträchtigt.

8.4 Aufbau der Sonne

8.5 Energiefreisetzung in der Sonne

8.5.1 Die Kernfusion

8.5.2 Energietransport

9 Die Fixsterne

9.1 Entfernungsbestimmung

9.2 Helligkeit

9.3 Spektralklassen

9.4 Sternentwicklung

9.5 Doppelsterne

9.6 Sternhaufen

10 Galaxien

10.1 Die Milchstraße

10.2 Andere Galaxien

10.3 Das Hubble-Gesetz

10.4 Kosmologie: Urknall, Raumkrümmung, schwarze Löcher