

ZUR EINLEITUNG

teste auf ?,-, §

Die Astronomie ist eine der ältesten und gleichzeitig modernsten Wissenschaften.

Auch techn. Bedeutung: Raumsonden, Satelliten, Strahlungsdetektoren; 2D-, 3D-Statistik. Verflechtung mit Physik, Geodäsie und anderen Geowissenschaften, Mathematik, Statistik.

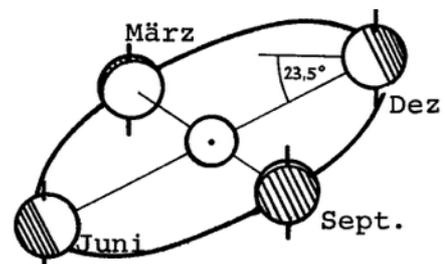
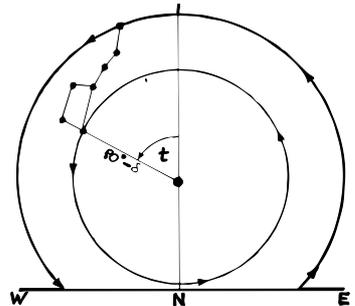
Publikationen: jährlich hunderte Fachbücher im deutschen Sprachraum (Auswahl: Kap. 1.4), dutzende Proceedings, 50–100 Fachzeitschriften (Sterne&Weltraum, Die Sterne, österr. Sternbote, Astr. Nachrichten, Astronomy & Astrophysics, Sky & Telescope...), tausende Internet-Seiten: SuW, diverse astr. Büros und Astro-Shops, Astrometrica, Cambridge Astronomy, PrettyPictures, Introd. to Universe, Sky&Tel., SkyAtlas, Solar System, Uranometria, USNO...

Astronomen (pro 10^7 Einwohner): beruflich 30–100 (2–10 Univ.Institute), laufende Projekte 20–200, Hobbyastronomen 200–1000, Sternwarten 2–10, Volkssternwarten 5–20.

Astronomie: was das freie Auge erkennen kann

Die grundlegenden Erkenntnisse der Astronomie wurden vor Erfindung des Fernrohrs gewonnen, was vom hohen Wissensstand der antiken Sternforscher, Mathematiker und Schiffskapitäne zeugt (Kapitel 1.1). Einige dieser Erkenntnisse seien hier genannt:

- 1) **Die Erde rotiert** (bzw. der Himmel über uns). Zu erkennen schon in $\frac{1}{4}$ Minute, wenn man die Sonne oder einen hellen Stern im Osten mit einem Hausdach oder Schlot abdeckt.
 - 1a) Die scheinbare Bewegungsrichtung ist bei jedem Gestirn anders – für jeden leicht feststellbar, der sich einige Sternpositionen merkt und nach etwa 1 Stunde nachsieht. Übrigens ein interessantes Spiel für Kinder ab 5 Jahren.
 - 1b) Die Achse dieser Bewegung (siehe Titelbild) liegt nahe beim Polarstern. Entweder mit (1a) erforschen oder nach der Methode des 10-jährigen Peter Anich: mit einem Visier (Rohr, Ast) feststellen, welcher der nördlichen Sterne sich nicht bewegt.
- 2) **Die Sonne wandert unter den Sternen.** Der gleiche Stern geht jeden Tag 4^m früher auf oder jährlich um 1 Tag. Der Abend-Sternhimmel sieht jeden Monat anders aus, s. [Großer Wagen](#) →
 - 2a) Punkte am Horizont oder Bergspitzen (Sextner Sonnenuhr, Hunderte Zwölfer(kogel) in den Alpen) markieren zu Mitternacht, wo die Sonne $\frac{1}{2}$ Jahr früher/später unter den Sternen steht.
- 3) **Die Erde hat Kugelform.** Drei klassische Beweise Aristoteles': Mondfinsternis (Kreisschatten), auftauchende Schiffe, Ortsveränderung auch am Himmel.
- 4) **Der Mond ist uns relativ nahe.** Sein Ort unter den Sternen verschiebt sich deutlich mit dem eigenen Standort – bis zu 4 Monddurchmesser oder 2° . War bis zur Erfindung genauer Schiffsuhren die Standardmethode zur geografischen Längenbestimmung (Almagest, Alfonsische Tafeln, Keplers Rudolfinische Tafeln...)
 - 4a) Aus der Monddistanz (ca. 60 Erdradien) und der Zeit der Halbphase konnte man schon Jahrhunderte v. Chr. die **Sonnendistanz** abschätzen. Antike Ergebnisse: 20-100 Mondstadien.
 - 4b) Daher muß Sonne viel heißer als ein übliches Feuer sein. Sie bewegt sich $23\frac{1}{2}^\circ$ schief zum Äquator.
 - 4c) Sonnen- und Mondfinsternisse haben Perioden, sind also vorhersagbar.



- 5) **Planeten:** flimmern weniger als Fixsterne, sind also näher. Schleifen erklärbar durch Bahnen inner/außerhalb von Erd/Sonnenbahn, durch Epizykel, später durch Kepler-Ellipsen.
- 6) **Sterne** bei Ortsveränderung fix, also weit weg. Manche Helligkeiten verändern sich - der Himmel ist also nicht nur statisch.

1. Kapitel: GESCHICHTE DER ASTRONOMIE

1.1 Astronomie von Steinzeit bis Antike

1.1a Mittel- und Jungsteinzeit

Erstes astronom. Dokument in Höhle Lascaux (F): 17000 Jahre alte Jagdszene: Bison (mit Speer) blickt schmerzlich auf Schamane (Vogelkopf, 4 Finger) und Vogel (auf Stange). Augen der drei Figuren vermutlich 3 Sterne des *Sommerdreiecks*: α Schwan (flieg. Schwan wie Kopf, Arme, Leib), α Leier und α Adler. Zweite Deutung [Bialas 1998]: Beschwörung mit Tierkreiskarte Löwe (Nashorn links), Zwillinge (2x3 Punkte), Milchstraße (Vogel auf Pfad), Schwert (Phallus), Stier (Bison) und *Hyaden* (Augen, Hörner; s. *Sternhaufen* Kap. 7.2).

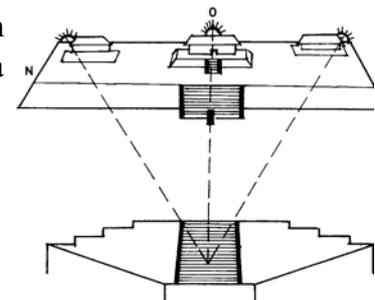


Berühmteste Stätte **Stonehenge** (Süd-England): 4100 Jahre alte Kultstätte mit doppeltem Steinkreis (30m \varnothing für Voraussage + Beobachtung von Äquinoktien, Sonnenwenden und Mondörtern, vielleicht auch für Auf-/Untergänge heller Sterne. 90 Menhire bis zu 4½ m Höhe und bis ~30 t.

Mittel- und Südamerika: mexikanische Tempel mit 365 Stufen (Jahr = $18 \times 20^d + 5$ Schalttage). Tempelgruppe Uaxactun/Guatemala für Sonnenaufgänge und Kalendereinteilung [NH, Bialas'98].

Mayas im 4.–3. Jt v. Chr. reiches astr. Wissen: Jahr mit Venuszyklus (585^d) oder 365.242^d (nur 15s zu kurz), Steinmonument für Finsternisperioden (z.B. Mondfinsternis 15. 2. 3379 v. Chr.), Planetenumläufe. Kalender mit "Nulldatum" 8. 6. 8498 ?

Inkas (Peru): Umläufe von Merkur, Venus, Jupiter (115.9, 583.9 und 398.9 Tage) auf 1^h , 0.9 und 0.7^d genau! Erde als Scheibe.



Sonnentempel in Guatemala

Melanesien, Polynesien: Besiedlung ~zur Zeitenwende, Navigation mit Sonne und Sternen (Polarstern, südl. Kreuz); für Ost+West horizontnahe Peilsterne z.B. α Adler. Zeitrechnung und terrestrische Orientierung basieren auf astronomischer Beobachtung.

Schöpfung: Urnacht hat Sterne, aber ohne Sonne / Mond. Himmel-Erde-trennung mit Kultstab (s. orthodoxe Ikone!). Gott und Ungeborene in Milchstraße; Seelen sind Urform der Sternbilder.

Neuseeland: Maorihäuptlinge zu Sternbeob.+ Volkslehre verpflichtet. Sternbilder z.T. wie bei uns (z.B. Skor-



pion+Schwanz), Namen für helle Sterne, Plejaden, Orion, Schiffsbug/Heck, Milchstraße... *Heliakische* Aufgänge für Jahresbeginn (α Ori; im Nordpazifik jedoch Plejaden).

China: schon -2000 Lunisolar-Jahr mit 19^a Schaltg. *Geschichte d. Astr.* –2500 bis -50: Hsi und Ho -2100 wegen Finsternisfehler hingerichtet. "Gaststern" (Nova) um -1550, Komet Halley -613, Sonnenflecken ab -40.

Harmonie Himmel (gr. Schale)–Erde–Mensch (Tao). Koordinaten α , δ wie heute, mit 2 Referenz- und 120 Sternen definiert (Shi, 4. Jh v. Chr.), Sternkarten. Meßgeräte *Gnomon*, *Armillarsphäre*, Visiere äquat. montiert (Kap. 3.2). Himmelsgloben ab -100, seit Zhang Heng (+150) bewegl.!

Indien: ab 1000 v. Chr. detaillierte Kosmologie (siehe Kap. 8.3): göttl. Naturkräfte Himmel, Erde, Sonne, Mond, Feuer, 3 weitere Göttern in den 8 Himmelsrichtungen. Welt aus heiligem Ei: untere Schale Silber (Ur-Erde), obere Gold; nach Teilung Lufthülle als Zwischenschicht. Sonne als Rad, glüh. Stein oder Auge des Weltalls, Mond als Zeit- und Lebensspender (weibl. Zyklus).

Rundjahr mit 360^d, Monate ab Neu- oder Vollmond. Tage mit 12–18 *Muhurtas* (längster 14.40^h, kürzester 9.60^h). Planeten ab brahman. Zeit (-1000) in mehreren Farben, *zwischen Sonne und Polarstern kreisend*. Die Welt liebender göttl. Geist, dessen Sohn das All betrachtet. Bekann- te Sternwarte **Jaipur**: 30 m-Sonnenring mit Stelen; bis ~800 n. Chr. benützt ?

Schwarz-Afrika: einige Hochkulturen (Schrift, Kalender; Eingottglaube), erst später von Ägypten beeinflusst. Schöpfung aus *innerer* Kraft der Materie (ähnl. Theologe T. de Chardin um 1930). Erst bei Sternen – die begrenzte Lebenszeit haben - greift Gott ein. Sonne, Mond- und Planetenbahnen in Terrassen, Nordtreppe der Plejaden-Menschen.

Buschmänner der Kalahari sehen Antilopen als besondere Sterne an; unberührbare Knochen (sonst verlöschen Sterne). Viele Kunstgegenstände in Form von Sonne, Mond und Sternbildern.

1.1b Fruchtbarer Halbmond

Babylonien: Astronomie ab 3. Jt. v. Chr., Höhepkt -600. Lunisolar-Kalender 365 $\frac{1}{4}$ ^d, 12x30^d +13. Schalt- monat alle 5-6 Jahre. Synodischer Monat (Kapitel 4.4) 29.530594–641 statt 29.530589^d; Venusumlauf nur 14^m zu kurz, Mars 1^h zu lang.

Stundenzählung (24 *gleichlange* seit 17. Jh.) ab Sonnenuntergang. 3. Jt Finsterniszyklus *Saros* (18^a 10.322^d = 223 synod. Monate ~242 *drakon.* Monate). Sonnenfinst. 15. 6. 763.

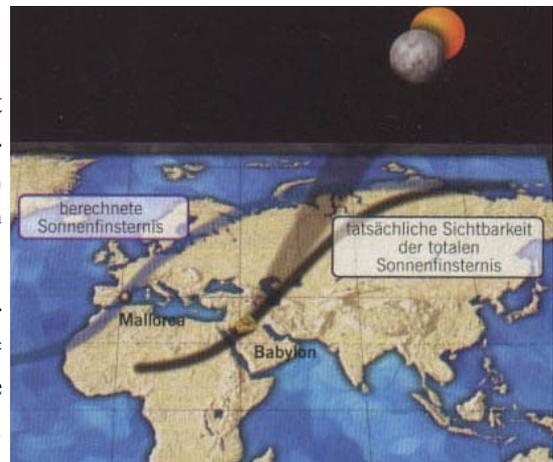


Antike Finsternisse → damalige Erdrotation bestimmbar. Mit jetziger (langsamerer) Rotation zurückgerechnet verlaufen Sonnenfinsternisse östlicher als berichtet [Chown 1999]! Tontafeln, Papyri und chines. Berichte erlauben, die Zeitkurve $\Delta T = TD - UT$ (Kap. 4.3) bis ~1500 v. Chr. auszudehnen. Obige babylon. Eklipse (15. April 136 v. Chr.) ergibt $\Delta T_{-136} = 3.25$ Stunden.

Ägypten: Kalender anders als Babylon *reines* Sonnenjahr, seit 4. Jt 12x30+5=365Tage*. Jahresbeginn = Nilüberschwemmung bei Frühaufgang des Sirius (hellster Fixstern), doch *Verspätung

um 1^d in 4^a (Sothisperiode 1460^a) → ab -238 Jahre zu–^{Frühgriechisch: Erdscheibe im Okeanos (8. Jh.)} 365.25^d (in Rom als "julianischer" Kalender übernommen).

Ägyptens Sternbilder anders als Babylon, Tierkreis (Ekliptik) in 36 "Dekane" geteilt.



1.1c Astronomie der Griechen und Ionier

Bis ~5. Jh noch Erdscheibe (Bild oben), umspült vom Okeanos, Olymp im Zentrum. Darüber Himmelskuppel (Horizont wegen Dunst 2–3x entfernter).

Dann allmählich Erdkugel (3 Beweise Aristoteles). **Thales** von Milet (-600) und Nf rücken die Erde in die *Mitte* der Himmelskugel. Anaxagoras hält um 450 Sonne für glühenden Stein, **Demokrit** (470–380) die Milchstraße für Sternansammlung.

Aristarch vermutet (wie Demokrit) um -280 heliocentrisches System; Abstände Mond-Sonne wie 1:19. **Eratosthenes** ~220: Erdumfang 252 000 Stadien (37–45 000 km; tats. 40 075.017 km) aus Sonnenhöhen in Alexandria / Assuan.

Philolaos vermutet Zentralfeuer im Kosmos, umkreist von Sonne und Planeten. **Hipparchos** erstellt um -150 ersten Sternkatalog → entdeckt Präzession (Vorschreiten des Frühlingspunktes).

Ptolemaios (75–150) 13 Bände "Megale Syntaxis" (arab. *Almagest*): acht geozentrische Sphären (Mond, Merkur, Venus, Sonne, Mars, Jupiter, Saturn, Fixsterne). *Epizykel*-Planetentheorie (Rad-Abrollen) für genaue Ephemeridenrechnung; bis 1500 n. Chr. verwendet...

1.2 Vom Mittelalter zu Newton und Himmelsmechanik

Vom 10.–15. Jh pflegen die *Araber* das griech. Wissen (*Almagest*), begründen heutige Sternbilder und Sternnamen. Mehrere Sternkataloge und Planetentafeln (Albategnius ~900, Al Sufi ~950). Alfonsische Tafeln des kastil. Königs 1226–84. Sternwarte Samarkand des Tatarenfürsten Ulug-Beg 1394–1449).

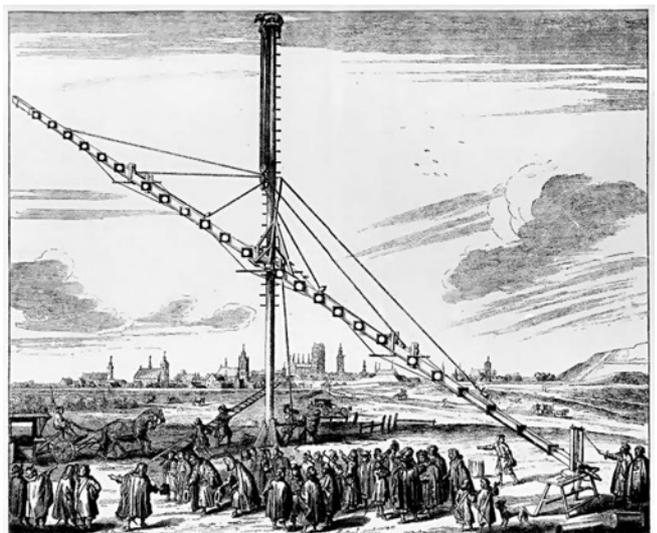
Neuere Messungen erst durch Wiener Astronomenschule: **Peuerbach** (Univ. Wien ab ~1400, neue Instrumente), Joh. **Regiomontanus** 1436–76 (Trigonometrie, SIN & TAN, Planetentafeln 1474 für aktuelle Entdeckungsfahrten) und ihre Nachfolger. Nikolaus von **Kues** vermutet 1464 eine *bewegte* Erde und das Weltall als unendlich (mathemat. Gleichnis für Gottes Allmacht).

Nicolaus Koppernigk (1473–1543, Domherr in Thorn/Ostpreußen) sieht Unwahrscheinlichkeit des geozentr. Systems ähnlich wie Aristarch (§ 1.1c); 1512 *Commentariolus*, 1540 Planetenkreise, 1543 *de Revolutionibus Orbium Coelestium*. Für hohe Genauigkeit dennoch Epizykel notwendig. **Tycho Brahe** (1546 DK–1601 Prag) großer Mauerquadrant → Mars (sehr exzentrische Bahn) und andere Planeten auf $\pm 1-2'$.

Johannes Kepler (1571 Weil–1630 Prag) Lehrer + Geodät in Graz, 1596 *Mysterium Cosmographicum* → Assistent Brahes, bearbeitet v.a. dessen präzise Marsdaten. *Astronomia Nova* 1609 (Ellipsen- und Flächensatz, Kap. 2.2b), *Dioptrik* 1611 (astr. Fernrohr). *Harmonices Mundi* 1619 (3. Keplergesetz), *Rudolfinische Tafeln* 1627 für genaueste Planetenberechnungen bis ins 17. Jhdt (Stern-Monddistanzen für Längenbestimmung auf See, da Uhren noch zu ungenau).

Galileo Galilei (1564 Pisa–1642 Florenz): Fernrohr, Pendel- und Fallgesetze. *Dialog über (kopernik.) Weltsystem* 1632 vor Inquisitor widerrufen. Entdeckt Sonnenflecken, Mondgebirge, Venusphasen, 4 größte Jupitermonde.

Simon **Marius** findet 1612 Andromedanebel, der Jesuit C. **Scheiner** Sonnenfleckenzyklus und Instrumente zur Flächenmessung, J. **Hevel** (Danzig) Mond- und Kometendetails, Luftfernrohr. C. **Huygens** 1655 Ring und 1. Mond des Saturn, G. Cassini um 1700 weitere 4 Saturnmonde. John **Flamsteed** gründet Sternwarte Greenwich und mißt 1675 genauen Sternkatalog, Olaus **Römer** 1676 Lichtgeschwin-



digkeit (Jupitermonde in Erdferne verspätet).

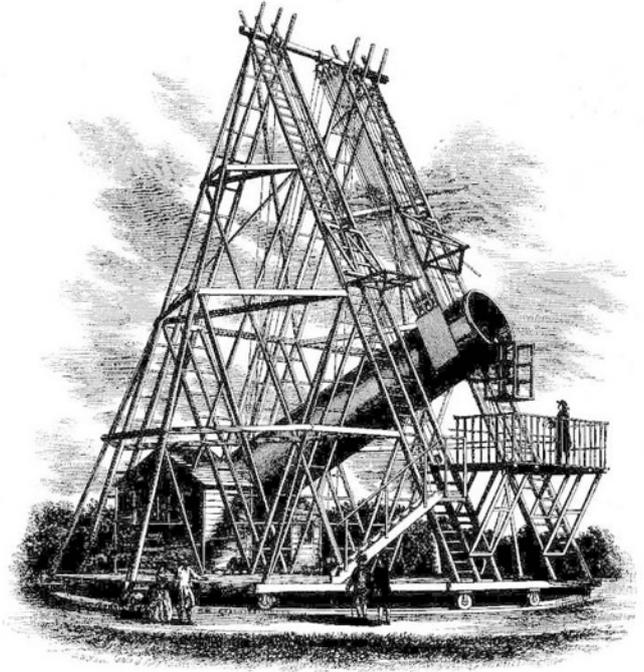
Isaak Newton (England 1643–1727): Gravitationsgesetz (Kap. 4.7) als Basis der *Himmelsmechanik*. Mathematik-Prof. in Cambridge 1669, Royal Society 1671, um 1700 ihr Präsident und Münzdirektor. Spiegelfernrohr 1671, Emissionstheorie des Lichts. Hauptwerk 1687 *Philosophiae naturalis principia math.*, verbessert neuerlich Planeten- und Kometenbahnen durch *Störungen* seitens Jupiter und Saturn.

Farbreine Linsenfernrohre: 1750 Dollond 1. Achromat, von Josef Fraunhofer 1810 verbessert, analysiert Sonnenspektrum (*Fraunhofer-Linien*). **Wilhelm Herschel** große Spiegelteleskope (Bild 1795 mit 50“-Metallspiegel), Sternstatistik der Milchstraße, erforscht über 1000 Doppelsterne, entdeckt 1781 Uranus.

1750–1850 Triumph der Himmelsmechanik: **Halley** klärt Periodizität des Kometen von 1682, **I. Kant** 1755 die Planetenentstehung (Nebularhypothese), **L. Euler** Bahnintegrale, **Lagrange** 1788 das Dreikörperproblem und Librationspunkte L_1 - L_5 (stabile Bahnen 60° vor/nach Mond bzw. Jupiter).

Laplace "*Mécanique Céleste*" (Himmelsmechanik, 5 Bände) beweist 1799 Konstanz der Bahnachsen aller Planeten. Anders als Kant erklärt er die Planeten durch (heute bezweifelte) Abschleuderung aus der Ursonne. Uranus-Störungen führen 1846 zur Entdeckung des Neptun.

F.W. Bessel (1784- 1846) ermittelt 1844 aus Siriusstörungen einen kleinen Begleitstern (entdeckt 1862) und mißt erste trigonometrische Sternparallaxe (61 Cyg, 0.31"). Ferner Beiträge zu Mathematik, Geodäsie (Landesvermessung, Erdellipsoid...) und Gravimetrie mit genauen Pendeln samt Theorie.



1.3 Von 1850 bis 2000: Aufgliederung in Spezialgebiete

Begründung der Astrophysik: durch verbesserte Instrumente und Meßtechnik, Spektralanalyse (Bunsen/Kirchhoff 1859) an *Fraunhofer-Linien* der Sonne, Einführung der Fotografie und Fotometrie (siehe unten). Spezialisierung zur

Sonnenforschung, Querverbindungen zu Geowissenschaften und Atomphysik.

Theoretische Astrophysik: physikal. Grundlagen → Sternmodelle, -atmosphäre. Kosmogonie (Entsteh., Entwicklung der Himmelskörper), Kosmologie (Struktur +Entwicklung des Weltalls).

Klassische Astronomie (Positionsbestimmung von Gestirnen, Anwendung der Gravitationstheorie) → Astrometrie (Positions-, Sphärische Astronomie) samt *Reduktion* der Einflüsse von Instrumenten, Atmosphäre etc.; Grundlegende Koordinatensysteme und deren Veränderung.

Himmelsmechanik: Bewegung von Planeten, Monden und anderer Himmelskörper → Bahnbestimmung, astronomische Jahrbücher und Ephemeriden. Querverbindung zur Astronautik und zur Satellitengeodäsie.

Stellarstatistik an großen Datenmengen von Sternen (Örter, Bewegung, physikal. Zustände); Stellardynamik mit himmelsmechan. Gesetzen → Bewegung ganzer Sternsysteme.

Fotometrie: Helligkeitsmessung des Sternlichts. **Radiometrie:** in anderen Bereichen elektromagnetischer Strahlung. **Spektroskopie** des Sternlichts → chemische Analyse des Gestirns, Druck, Temperatur... Radialgeschw und Rotation (Dopplereffekt), Magnetfelder.

Radioastronomie: Meßverfahren, Analyse und Deutung kosmischer Radiostrahlen. Analog auch **Infrarot-**, **UV-**, **Röntgen-** und **Gamma-Astronomie** als Ergänzung der optischen A.

Astrobiologie (Exobiologie): Möglichkeit organischen Lebens im Kosmos.

1.4 Bedeutende Astronomen ab ca. 1850

Argelander Friedrich Wilh. (1799-1875), Gründer finnischer Sternwarten und Bonn. Meßmethode veränderlicher Sterne, Bonner Durchmusterung *BD*, 300.000 Sterne), internationale Arbeitspläne.

Leverrier Urbain (1811-77), Geodät, Himmelsmechanik, Pariser Sternwardirektor; Stabilität Planetensystem, berechnet Neptun-Bahn aus Uranus-Störungen (entdeckt 1846 an Stw.Berlin).

Secchi Angelo (1818-78), Jesuit, Vatikansternwarte. Erster experimenteller Astrophysiker, entwickelt die Spektralklassen, ferner Sonnenforschung, Doppelsterne.

Struve Otto Wilhelm (1819-1905), Mitgründer der Petersburger Stw. Pulkovo. Entd.vieler Doppelsterne (wie Vater und 2 Söhne), neue Präzessionskonstanten, internat.Positionsastronomie, 1884 größter 76cm-Refraktor (Wien 68cm), Landesvermessung (russ.-skandinav. Struve-Bogen).

Newcomb Simon (1835-1909), Leitung US-Naval-Obs. und American Ephemeris. Theorie der Planetenbewegung (Konstanten gültig bis fast 1960), Mondbahn, Störungsrechnung.

Schiaparelli Giovanni (1835-1910), Brera-Stw. bei Mailand. Bester Planetenbeobachter, Merkur, Venus, "Marskanäle" und -Landschaften; Kometen als Quell der Meteorschwärme, *Astronomie des Alten Testaments*.

Lockyer, Sir Joseph (1836-1920), gründet Sonnenobservatorium South Kensington. Entdeckt die *Chromosphäre* und (mit J.Janssen) im Sonnenspektrum das *Helium*. Ionisierte Elemente in den Spektren, Theorie der Sternentwicklung.

Auwers Arthur von (1838-1915), Stw.Königsberg (erste *Weißer Zwerge* bei Sirius & Prokyon), Berliner Akademie (exaktes Himmels-Bezugssystem), Stw.Bonn (Positionsastr.), Argelanders *BD* vollendet, erster Fundamentalkatalog *FK* und *FK2*, Sonnenparallaxe/ AE.

Vogel Hermann Carl (1841-1907), Stw. Leipzig und Kiel. Nachf. des Astrophysikers **Zöllner**, Planetenspektren, stellare Radialgeschw. (spektroskop. Doppelsterne!), gründet Astrophys. Obs. Potsdam, gr. fotogr. 80cm-Doppelrefraktor

Pickering Edward C. (1846-1919), baut Harvard-Obs. (Mass.) zu heutiger Bedeutung aus, Fotometrie, 80.000 Sternhelligkeiten, mit **Miss Cannon** *Henry-Draper-Katalog* (Spektren von 225.000 Sternen), fotogr. Plattenarchiv, gründet Peru-Südsternwarte Arequipa.

* **Palisa** Johann (1848-1925), MarineStw. Pola und Univ.Stw. Wien, entdeckt 123 (!) Kleinplaneten, Kampagnen zur Sicherung ihrer Bahnen, *Palisa-Wolf-Sternatlas*.

Kapteyn Jacobus C. (1851-1922), astr. Laboratorium zur Auswertung internat. Messungen und Fotoplatten. Kapsternwarte, Mt. Wilson, Stellarstatistik, Sternströme, *Kapteyns Stern*.

Barnard Edward E. (1857-1923), Fotograf, bearb. Riesenteleskope der Lick- und Yerkes-Sternwarte (36/40"), erstmals Astrofotografie Milchstraße/Dunkelnebel, 5 kleine Jupitermonde.

Wolf Max (1863-1932), gründet Landesstw. Heidelberg-Königsstuhl, fotogr. Methode der Kleinplaneten-Suche (→ J.Palisa), Fotografie v. Milchstraße, Gas-/Dunkelwolken, Eigenbeweg.

Hale George Ellery (1868-1938), Privatstw. Kenwood, entwickelt den Spektroheliografen (unabh. von Deslandres) und das erste Sonnen-Turmteleskop, Promotor +später *Yerkes*-Direktor, gründet *Mt. Wilson* (2,5m-*Hale*-Spiegel, Andromedanebel!), plant 5m-Spiegel am Mt. Palomar.

Weiters 2 Physiker:

Max Planck (1858-1947), Prof. für theoret. Physik in München, Kiel und Berlin.

Astronomisch bedeutsame Arbeiten v.a.: Strahlungsgesetze, *Princip der Erhaltung der Energie*, Schwarzkörperstrahlung, Quantenmechanik, Wirkungsquantum, spezielle Relativitätstheorie.

Albert Einstein (1879-1955), Zürich (Habil. zunächst abgelehnt!), Berlin und Princeton.

Fotoelektrischer Effekt (Nobelpreis 1922). Spezielle und später Allgemeine Relativitätstheorie, Quantenphysik, Vorarbeiten zum LASER, vergebliche Suche nach einheitlicher "Weltformel".

De Sitter Willem (1872-1934), Stw. Kapstadt (→ Kapteyn), Groningen, Leyden. Theorie der Jupitermonde und der Erdrotation, Kosmologie der Relativität, expandierendes Universum.

* **Schwarzschild** Karl (1873-1916), Kuffner-Stw. Wien +Göttingen. Gleichgewichtstheorie rotierender Fluide, solare Strahlungstheorie, Elektrodynamik, Fotometrie (*Schwarzschild-Effekt*), Stellarstatistik mit Sternhelligkeiten, Nachfolger → Vogels am Astrophysikal. Inst. Potsdam.

Hertzsprung Einar (1873-1967), zunächst Chemiker, dann Stellarastronom. Stw. Göttingen, Leiden, Potsdam, entwickelt 1905 das *HRD-Diagramm*.

Russell Henry Norris (1877-1957), Princeton (USA), mit → Shapley theoret. Modelle für Bedeckungsveränderliche, Sternspektren, Doppelsterne; mit → Hertzsprung 1913 *HRD-Diagramm*.

Jeans Sir James (1877-1846), Cambridge (GB, Konkurrent von → Eddington) und Princeton (US), Stabilität rotierender Gaskugeln, Lehrbuch *Kosmogonie & Stelardynamik*, auch populäre Astronomie. *Katastrophentheorie* zur Entstehung des Planetensystems, *Rayleigh-Jeans-Gesetz*.

Eddington Sir Arthur Stanley (1882-1944), Greenwich und *Plumian-Professur* Cambridge. Dynamik der Sternbeweg., Kosmogonie, *Masse-Leuchtkraft-Beziehung*, Lehrbuch *Innerer Aufbau der Sterne*, relativist. Lichtablenkung. Spekuliert zuletzt über numer. Weltkonstanten, Populärautor.

Shapley Harlow (1885-1972), Sternwarten Mt. Wilson und Harvard. Theoretische Modelle (Veränderliche, Kugelsternhaufen), *Periode-Helligkeitsbez.* der Cepheiden, korrigierte Form der Galaxis, Randthemen zur Philosophie, *Shapley-Linse* in Teleskopen.

Hubble Edwin Powell (1889-1953), Oxford (Jus), Yerkes und Mt. Wilson. 1923 Entfernung des Andromedanebels, 1929 mit Humason galaktische *Rotverschiebung*; Galaxienverteilung, Gasnebel-Anregung, nach ihm benannt die *Hubble-Konstante* und das Weltraumteleskop.

* **Hopmann** Josef (1890-1975), Bonn, Leipzig, 1951 Univ. Stw. Wien. Doppelsternforschung, Sternhaufen und –Parallaxen, Selenografie, Höhenmessung am Mond. Asteroid ¹⁹⁸⁵ *Hopmann*.

Oort Jan Hendrik /1900-1992), Univ. Sternwarte Leiden. Rotation der Milchstraße (*Oort'sche Formeln*), Synchrotronstrahlung planetarischer Nebel, *Oort'sche Wolke*, IAG-Präsident.

Kuiper Gerard (1905–1973), Univ. Leiden und Yerkes-Sternwarte, gründet *Lunar and Planetary Laboratory*. Mars (CO₂), Titan, Uranusmond, *Kuipergürtel* jenseits von Pluto.

Kiepenheuer Karl-Otto (1910-1975), Göttingen und Freiburg (Kiepenheuer-Inst. für Sonnenphysik). Sonnenaktivität, Stratosphärenballon, Lyot-Filter, *Kiepenheuer-Skala* (Luftunruhe).

Kopal Zdenek (1914-1993), Leitmeritz, London, Pic du Midi. Bedeckungsveränderliche, Sonnensystem, Kartografie des Mondes, Apollo-Mission.

Elsässer Hans (1929-2003), Göttingen und Heidelberg. Sternentwicklung, interstellare Materie, aktive Galaxien, Ballonexperimente, Raumfahrtprojekte Helios (Sonne) und ISO (Infrarot), gründete *Sterne und Weltraum* und das Planck-Institut MPIA.

Kippenhahn Rudolf (*1926), Univ. Göttingen und Max. Planck-Inst. für Astrophysik. Sternaufbau und -Entwicklung, Astrologiekritik, bekanntester Autor populärer astr. Bücher.

Weitere bis ca. 2000 (* Österreich): Walter Baade, Bruno H. Bürgel, Subrahmanyan Chandrasekhar, Henri Chrétien, Audouin Dollfus, *Konradin Ferrari-Occhieppo, Wilhelm Gliese, Cuno Hoffmeister, Georges Lemaître, Harald Lesch, Dmitri Maksutow, Edward Walter Maunder, Jean Meeus, Patrick Moore, * Hermann Mucke, Robert A. Naef, William Henry Pickering, Joseph Plassmann, * Adalbert Prey, Carl Sagan, Svante Strömgren, Karl Schaifers, Bruno Thüring, Clyde Tombaugh, Heinrich Vogt, Max Waldmeier, Paul Wild, Fritz Zwicky.

5. Verwendete und weiterführende Literatur

Für 1. Kapitel verwendet:

- Becker Friedr., 1968: *Geschichte der Astronomie* (ab Skriptenversion '09). 3. Aufl., BI-Hochschul-TBuch, Mannheim
 Roth G.D., 1987: *Kosmos Astronomie-Geschichte*. 190 p., Kosmos-Frankh, Stuttgart
 Hamel J., 2005: *Geschichte der Astronomie*, Magnus-Verlag, Essen
 Bialas V., 1998: *Vom Himmelsmythos zum Weltgesetz*. 463 p., Ibero-Verlag Wien
 Spektrum d. Wiss.: u.a. *babylon.Finsternisse* (Chown 1999), *Wissenschaftsgeschichte* (2014)
 Bennett J. et al, 2010: *Astronomie–die kosm.Perspektive*. 1160 p, Pearson-Studienverlag, München
 Bernhard/Rice 1962: *New Handbook of the Heavens. 7. Aufl.*, Signet Science Library, New York
 Dohrn-Rossum, 2007: *Die Geschichte der Stunde. Uhren und Zeit*. 552 p, Anaconda, Köln.

Für 2. Kapitel:

- Gerstbach P., 2000: *Himmelsmechanik und Astrometrie*. 12 p., Projektarbeit BRG 13, Wien
 Herrmann J., 2005: *dtv-Atlas Astronomie*. 15. Auflage, 288 p., Dt. Taschenb.-Verlag, München
 Roth G.D., 1987: *Kosmos Astronomie-Geschichte*. 190 p., Kosmos-Frankh, Stuttgart
 Henseling R., 1939: *Der neu entdeckte Himmel* (Astro-Fotografie), 124 p. Deutsche Buchgem., Berlin
 Moser F., 2002: *Kleine Philosophie für Nichtphil.* (Kap. 8+14), C.H. Beck, München
 Seeber G., 1993: *Satellite Geodesy*. 532 p., W. de Gruyter, Berlin - New York
 Torge W., 1975: *Geodäsie* (Sammlung Göschen, Taschenbuch 2163), 268 p., de Gruyter, Hamburg.

Für 3. - 4. Kapitel (unter anderem):

- Bennett J. et al, 2010: *Astronomie–die kosm.Perspektive*. 1160 p, Pearson-Studienverlag, München
 Gerstbach G., 2000: *CCD und Astro - Geodäsie*. Geowissenschaftliche Mitteilungen Band 50 (Festschrift K. Bretterbauer), p. 45–58, TU Wien
 Gerstbach G., 2001: *Kosmische Geodäsie*. ~300 p., Skriptum zur gleichnamigen Vorlesung, TU Wien
 Hanslmeier A., 2013: *Die Sonne - der Stern von dem wir leben*. Vehling-Verlag, Graz
 Lesch H., J.Müller 2013: *Sternstunden des Universums* (aktuelle astr.Forschung). 268 p., btb München
 Karttunen H. et al, 1994: *Fundamental Astronomy*. 2nd Edition, Springer, Berlin - Heidelberg - New York
 Moore P., G. Hunt 1990: *Atlas des Sonnensystems*. 462 p., Herder Freiburg - Basel - Wien
 Mucke H., 1995: *Astronomie*. Fernkurs der Wiener Volkshochschulen, Heft 4 (von 6), RemaPrint, Wien
 Torge W., 1991: *Geodesy*. 2nd Edition, 265 p., W. de Gruyter, Berlin - New York
 Unsöld/ Baschek 2005: *Der neue Kosmos*. 7. Auflage, 580 p., Springer Berlin-Heidelberg-New York
 Voigt H.H., 1991: *Abriss der Astronomie*. 534 p., Bibliograf. Institut Mannheim.

Webseiten für Aktuelles:

- Deutsche Astronomie: <http://www.astronomie.de>
 Univ.Sternwarte Wien: <http://astro.univie.ac.at>
 Sternwarte Gahberg, OÖ: <http://www.astronomie.at>
 Astr.ArGe Berchtesgaden http://astronomy.meta.org/monatlich/1504_sternenhimmel.html

Ephemeriden Sonnensystem: http://www.imcce.fr/en/ephemerides/formulaire/form_ephepos.php

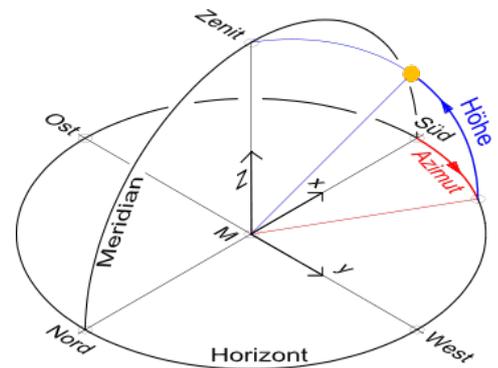
6. Anhang: Astronomische Koordinatensysteme

Alle Positions- und Bahndaten in der Astronomie beziehen sich auf exakt definierte sphärische Koordinatensysteme, analog den geografischen Koordinaten. Ihre grundlegenden Ebenen und Linien sind: der Horizont des Beobachtungsorts (bzw. dessen Lotrichtung), der örtliche Meridian (Nord-, Zenit-, Südrichtung), die Äquatorebene (bzw. die Erdachse), die Ekliptik (Ebene der Erdbahn) und beider Schnittlinie (Frühlingspunkt), und für Sonderzwecke Bahnebenen oder die galaktische Symmetrieebene.

1.6a Horizontsystem

Primär für terrestrisch gemessene Richtungen zu Gestirnen und Satelliten. Grundkreis = mathemat. Horizont (senkrecht aufs örtliche Lot, in der Geodäsie auch Tangentialebene am Erdellipsoid), Richtungsbezug = geografisch Nord.

Höhenwinkel h über Horizont (bzw. Zenitdistanz $z = 90^\circ - h$), Azimut A (horizontale Richtung, gezählt von Nord über Ost, in Astronomie auch von Süd über West).

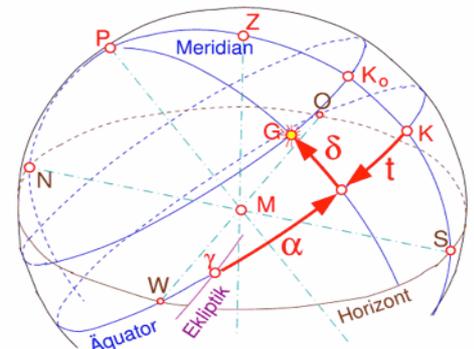


Messinstrument meist Theodolit (visuell oder CCD-Sensor), ferner astr. Universalinstrument, Transit- oder Passageninstrument, Zenitteleskop, Zenitkamera. Messgenauigkeit terrestrisch $0.1''$ bis $1''$, astronomisch bis $0.02''$ (10^{-7}). Eventuell räumliche Ortung mit GNSS (GPS, Galileo), Distanzen mit Laser oder Mikrowellen.

1.6b Äquatorsystem

Wichtigstes Koord.System für Orte von Himmelskörpern. Grundkreis = Himmelsäquator (mittlere Ebene des Erdäquators), Richtungsbezug = Frühlingspunkt (Schnitt Äquator/Erdbahn, Sonnenposition 20/21. März).

Sphärische Koordinaten: Deklination δ (Winkelabstand vom Himmelsäquator in Grad) und Rektaszension α oder RA (nach Osten = im Sinne der Erdrotation, meist in Stunden/Minuten).



Für Berechnungen auch bewegliches System mit Deklination δ und Stundenwinkel t (zählt vom Meridian nach Westen, im Sinne der scheinbaren Sternbahnen), wobei für jedes Gestirn (α , δ) gilt:

$$t = \text{Sternzeit} - \text{Rektaszension} = ST - \alpha$$

Die örtliche Sternzeit ist der Stand der „scheinbaren Himmelsdrehung“ = Stundenwinkel des Frühlingspunktes = Rektaszension des Zenits. Sie läuft um $1/365$ rascher als die bürgerliche (Sonnen)-Zeit, d.h. pro Tag knapp 4 Minuten rascher (entsprechend der wahren Erdrotation). Zu Herbstbeginn stimmt sie mit der Sonnenzeit etwa überein. Berechnet wird sie aus der mittlerer Sternzeit in Greenwich um 0h Weltzeit des jeweiligen Tages (siehe astr. Jahrbücher und Internet):

$$\text{GMST}(0\text{h UT}) = 6^{\text{h}}38^{\text{m}}45,836^{\text{s}} + 8640184,542^{\text{s}} \cdot T_U + 0,0929^{\text{s}} \cdot T_U^2$$

T_U ist die Anzahl der seit dem Greenwicher mittleren Mittag (12h UT) am 0. Januar 1900 verstrichenen Julianischen Jahrhunderte zu je 36525 mittleren Sonnentagen (Definition Simon Newcomb 1896). Zur Erklärung: GMST für 0h UT steigt also täglich um 236.56 Sekunden oder

jährlich um ~ 24 Stunden ($86\,400\text{ s}$). Die zusätzlichen $184,542\text{ s}$ entsprechen der Präzession der Erdachse (360° in $25\,800$ Jahren).

1.6c Umrechnung Horizont-Äquatorsystem

Für die Berechnung von *Höhenwinkel* h und *Azimut* A eines Gestirns (Sternkoordinaten α , δ) zur Weltzeit UT (MEZ -1 Stunde) benötigt man die Orts-Sternzeit ST und die geografischen Koordinaten B , L des Standorts.

$$ST = GMST(0h) + UT \cdot 1,00273791 + \text{geogr. Länge } L$$

(Faktor $1,00273791$ wegen des schnelleren Ablaufs der Sternzeit, da $366\frac{1}{4}$ Rotationen pro Jahr)

$$t = ST - \alpha$$

$$\sin h = \cos z = \sin B \sin \delta + \cos B \cos \delta \cos t$$

$$\tan A = \sin t / (\sin B \cos t - \cos B \tan \delta)$$

Achtung: der Arcus Tangens ist zweideutig, allenfalls sind 180° zu addieren! Auf der Osthälfte des Himmels gilt $0 < A < 180^\circ$, auf der Westhälfte (nach der Kulmination des jeweil. Gestirns) jedoch $180 < A < 360^\circ$.

Die Formeln für $\sin h$ und $\tan A$ sind der Cosinus- und der Projektionssatz im sphärischen Dreieck P-Z-G (Pol-Zenit-Stern- oder astronomisches Dreieck) in obiger Skizze. Es hat die Seiten $z = 90^\circ - h$, $90^\circ - \delta$ und $90^\circ - B$, sowie die Winkel t (im Pol P) und A (im Zenit Z).

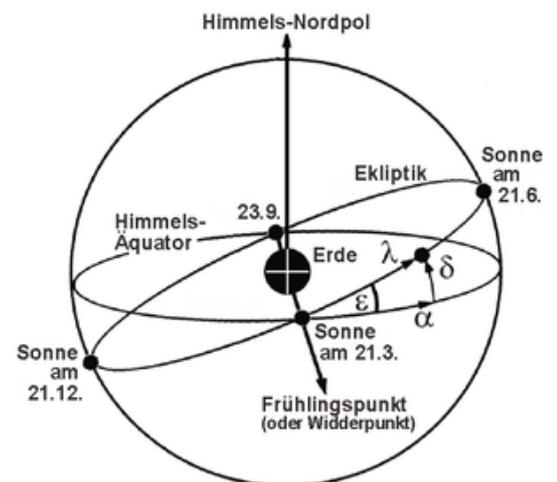
Die umgekehrte Aufgabe (Berechnung von δ , t oder B aus gemessenen Winkeln h , A und der Zeit) erfordert eine Kombination mehrerer Formeln und sei hier übersprungen.

1.6d Weitere Koordinatensysteme

Ekliptiksystem (für Körper des Sonnensystems, Bahn-Berechnungen und interplanetare Raumfahrt):

Basis ist die Ebene der Erdbahn, $23,44^\circ$ gegen die Äquatorebene geneigt. Ekliptikale Länge λ (in Grad) vom Frühlingspunkt; Länge der Sonne wächst ab 20/21. März monatlich um rund 30° .

Ekliptikale Breite β (positiv nach Nord): bei Sonne (siehe Bild) unter $1''$, bei den 8 großen Planeten bis 2° (nur Merkur 4°), Mond bis $5,5^\circ$, Kleinplaneten auch über 30° .



Galaktisches System (für Milchstraßensystem und Halo):

Basis ist die Symmetrieebene unserer Galaxis, Zentrum die Sonne. Galaktischer Äquator um $62,6^\circ$ zum Himmelsäquator geneigt, aber kein strenger Großkreis, weil unser Sonnensystem ~ 100 Lichtjahre ($0,1\%$ des Milchstraßen-Durchmessers) nördlicher liegt. Der galaktische Nordpol (zwischen Sternbild Jungfrau/ Hydra) hat die äquatorialen Koordinaten $\alpha = 12^{\text{h}}49^{\text{m}}$, $\delta = 27^\circ 24'$ (def. IAU 1959).

Galaktische Breite b : Winkelabstand von der galakt. Ebene, positiv in Richtung galaktischer Nordpol.

Galaktische Länge l : Abstand vom scheinbaren Milchstraßen-zentrum im Sternbild Schütze ($\alpha = 17^{\text{h}}42,4^{\text{m}}$, $\delta = -28^\circ 55'$). Beispiel Sommer-Milchstraße: Deneb (Alfa im Schwan) $b = +2,1^\circ$, l

= 84.3° , daher gleichzeitig mit Schütze sichtbar.

Winterhimmel: Krebsnebel im Stier (Supernova vom Jahr 1054) $b = -5.8^\circ$, $l = 184.5^\circ$.

Drehbare Sternkarten:

Sie dienen zur Orientierung am Himmel und kombinieren Horizont- und Äquatorsystem für eine gegebene Breite (in Mitteleuropa meist 50°). Am unteren Karton (kreisrund) sind die Sterne mit Rektaszension α und Deklination δ kartiert, darüber liegt das durchsichtige Horizontblatt für den aktuellen Himmelsausschnitt, der nach Datum und Uhrzeit eingestellt wird.

