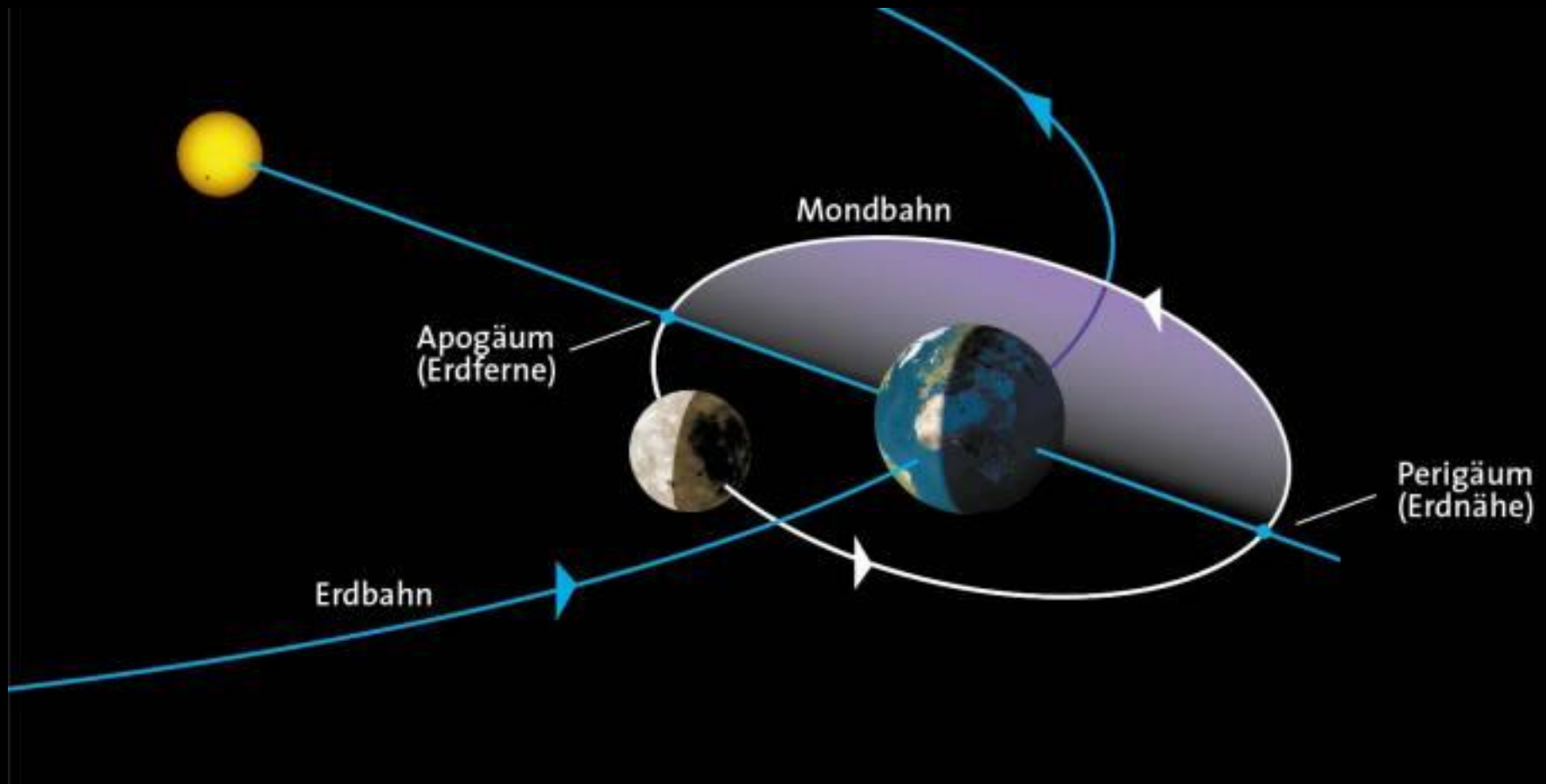
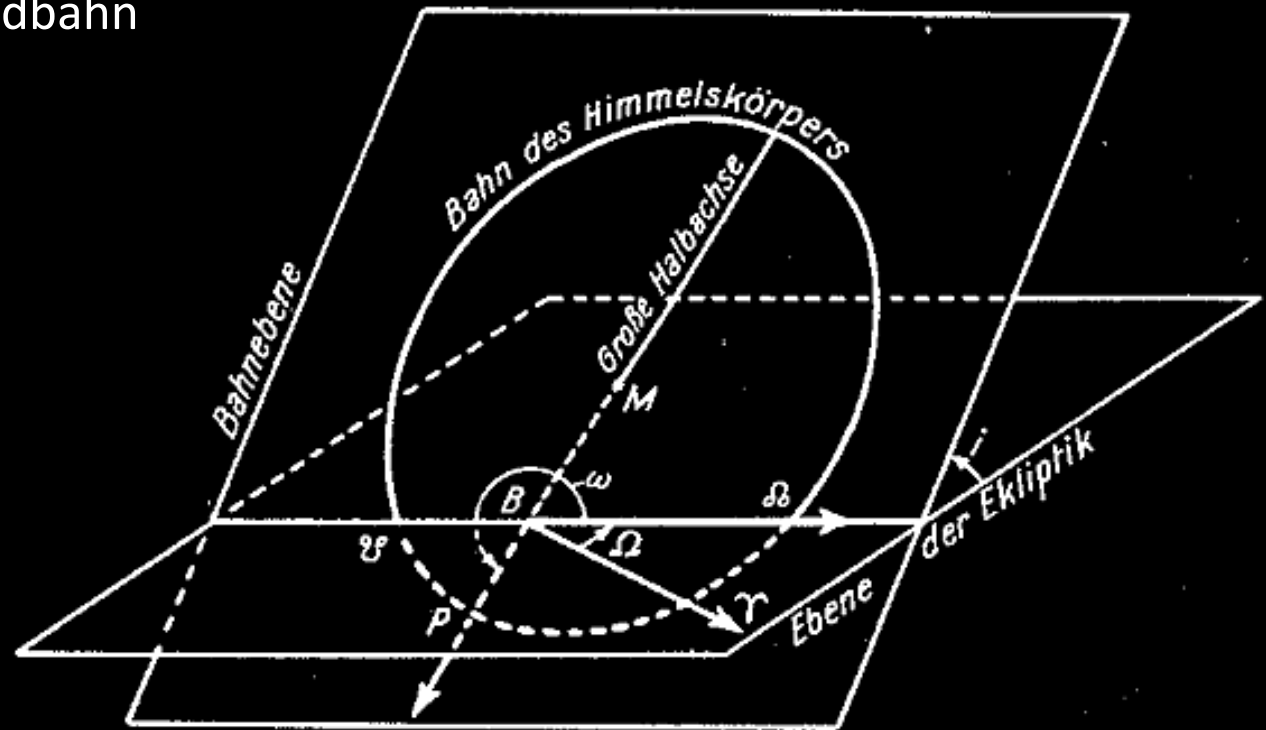


Doppelplanet Erde – Mond: Die geozentrische Mondbahn (1)



Kenndaten einer Mondbahn

Bahnelemente. M Mittelpunkt, B Brennpunkt der Bahn, i Neigung der Bahnebene, Ω aufsteigender, ϑ absteigender Knoten, ω Länge des aufsteigenden Knotens, γ Frühlingspunkt, P Perihel, ω Abstand des Perihels vom aufsteigenden Knoten



Erdnähester Punkt: Perigäum →

Erdfernster Punkt: Apogäum →

	Perigäumsabstand	Apogäumsabstand
kleinster:	356 400 km	404 000 km
mittlerer:	363 296 km	405 504 km
größter:	370 300 km	406 700 km

Die Bahnform und die Bahnlage des Mondes ist zeitlich stark veränderlich

Mittlere Bahnelemente der Mondbahn



Führt zu einer Vielzahl unterschiedlicher Monatslängen

→ je nach Bezug....

Die Bahnelemente des Erdmonds sind immer nur für einen bestimmten Zeitpunkt (=Epoche) gültig, da sie sich auf komplizierte Weise periodisch und sekular ändern

- planetare Störungen
- Mond – Erde – WW.
- Mond – Sonne WW.

Mondbahn		
Mittlere elliptische geozentrische Bahnelemente, bezogen auf die mittlere Ekliptik und das mittlere Äquinoktium zur Epoche J2000.0		
Große Halbachse	383 397,791 6 km	[1][2]
Exzentrizität	0,055 545 526	[1][2]
Kleine Halbachse	382 805,89 km	[3]
Bahnlänge	2 407 100,2 km	[3]
Neigung gegen die Ekliptik	5,156 689 83°	[1][2]
Länge des aufsteigenden Knotens	125,044 555 04°	[1][2]
Bewegung des aufsteigenden Knotens	-19,341 361 8°/Jahr (retrograd)	[1]
Länge des Perigäums	83,353 242 99°	[1][2]
Bewegung des Perigäums	+40,690 137°/Jahr (prograd)	[1]
Mittlere Länge	218,316 654 36°	[1][2]
Mittlere siderische Bewegung	13,176 358 230 557 8°/Tag	[2]
Die obigen Zahlenwerte sind nur Mittelwerte und nur gültig für den Zeitpunkt J2000.0; die Bahnelemente unterliegen teilweise erheblichen periodischen und säkularen Veränderungen.		
Neigung des Mondäquators gegen die Ekliptik	1,542 67°	[4]
Gravitative säkulare Akzeleration	+6,0463"/Jhdt. ²	[5]
Gezeitenbedingte säkulare Akzeleration	-25,858"/Jhdt. ²	[6]

Kurze Geschichte der Bestimmung der Bahnparameter der Mondbahn bis Claudius Ptolemäus...

Umlaufzeit ist nicht gleich Umlaufzeit (wussten bereits die babylonischen Astronomen um 600 v. Chr.)

Die Zeitperiode, in der sich ein vollständiger Phasenwechsel des Erdmondes vollzieht, nennt man **Lunation** – die Periode selbst **synodische Umlaufzeit**

Die Zeitperiode zwischen zwei identischen Positionen unter den Sternen nennt man **siderische Umlaufzeit**. Sie beträgt 27,322 Tage und ist damit etwas kürzer als eine Lunation (29,53 Tage).

So beträgt nach Kidinnu (um 380 v. Chr.) die synodische Umlaufzeit im Mittel 29,5306 Tage in völliger Übereinstimmung mit dem modernen Wert. Selbst die Variation um $\pm 6 \frac{1}{2}$ Stunden war bereits den Babylonien bekannt.

→ **Grundlage für dem „Monat“ als Zeitmaß**

Außerdem erkannten die Babylonier, dass sich Mond- und Sonnenfinsternisse ca. alle 18,03 Jahre in (fast) gleicher Weise wiederholen...

→ **Entdeckung des Saros-Zyklus**

Antikes Griechenland: Die ersten richtigen Vorstellungen über die Mondbahn...

Thales von Milet (um 625–547 v. Chr.)

Deutet die Mondphasen richtig als Effekt der Bewegung einer von der Sonne beschienenen Kugel um die Erde; sagte eine Sonnenfinsternis vorher...

Anaxagoras (um 500–428 v. Chr.)

Erklärt die Mondfinsternis mit dem Eintritt des Mondes in den Erdschatten

Herakleides von Pontus (um 375–310 v. Chr.)

Sieht die Rotation der Erde um die eigene Achse in 24 Stunden als erwiesen an. Er erkennt außerdem die Sonnennähe von Merkur und Venus und erklärt sie als „Monde“ der Sonne.

Aristarchos von Samos (um 310–230 v. Chr.)

Entwickelt das erste heliozentrische Weltsystem – 1800 Jahre vor Kopernikus!

Ermittelt die Mondgröße anhand der Beobachtung einer Mondfinsternis: die Erde ist 2,8x größer als der Mond (in Wirklichkeit 3,67x)

Versucht sich an der Messung der Entfernung Erde – Sonne mittels Trigonometrie

Ab ungefähr 450 v. Chr. (Regierungszeit des Perikles) begann man die Kalender der einzelnen griechischen Polis zu vereinheitlichen. Dazu wurde die scheinbare Bewegung des Mondes am Himmel im Detail untersucht

→ Meton, einer der ersten professionellen Astronomen des griechischen Altertums, erkannte, dass alle 19 Jahre der Vollmond auf den gleichen Tag des (bürgerlichen) Sonnenjahres fällt (er bestimmte das tropische Jahr der Erde zu $365 \frac{5}{19}$ Tage, wobei die Abweichung zum modernen Wert gerade einmal $\frac{1}{2}$ Stunde beträgt)



Metonischer Zyklus

235 (synodische Monate) · 29,5306 d = **6939,7 d**

19 (tropische Erdjahre) · 365,2422 d = **6939,6 d.**

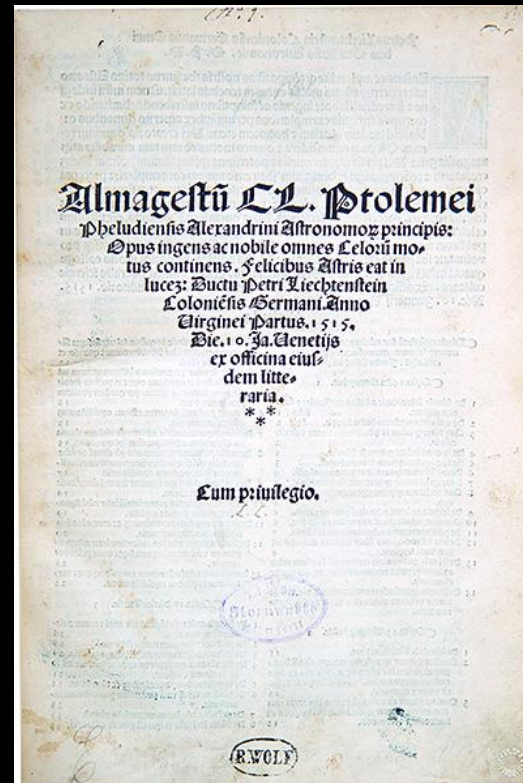
Meton entwickelte daraus einen Kalender mit 19-jährigem Zyklus, der dann in allen verbundenen Stadtstaaten Verwendung fand.

Hipparchos von Nicäa (um 190–120 v. Chr.)

Er erkannte die unterschiedliche Länge von siderischen und synodischen Monat und entdeckte die wichtigsten Ungleichheiten der Mondbewegung („Große“ und „Erste“ Ungleichheit, Evektion)

Claudius Ptolemäus von Alexandria (um 90–160 n. Chr.)

Entwickelte die erste geschlossene mathematische Theorie der geozentrischen Mondbewegung, wobei er Epizykel zur Beschreibung der Ungleichheiten einführt.



Moderne „Monatslängen“ ...

Synodischer Monat

Die Zeit zum Wiedererreichen gleicher Elongation des Mondes zur Sonne, der Mittelwert der Lunationen.

Dauer 2000.0: 29,53 Tage = 29d 12h 44min 3s

Siderischer Monat

Die Zeit für einen Umlauf des Mondes um die Erde in Bezug auf eine feste Richtung im Raum, das ist also eine vollständige Umkreisung relativ zu einem Fixstern.

Dauer 2000.0: 27,322 Tage = 27d 7h 43min 12s

Tropischer Monat

Die Zeit für einen Umlauf bezogen auf den Frühlingspunkt. Damit bezieht er sich auch auf den Äquator und ist der Zyklus der Deklination des Mondes.

Dauer: Durch die Präzessionsdrift des Frühlingspunktes ist er etwa 7 s kürzer als der Siderische Monat.

Drakonitischer Monat

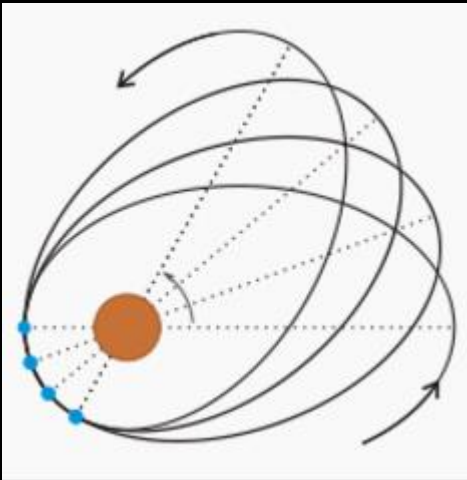
Die Periode von zwei Durchgängen durch denselben Mondknoten. Er steht im Zusammenhang mit dem Zyklus der Sonnen- und Mondfinsternisse (Sarosperiode).

Dauer 2000.0: 27,21222 Tage = 27d 5h 5min 36s

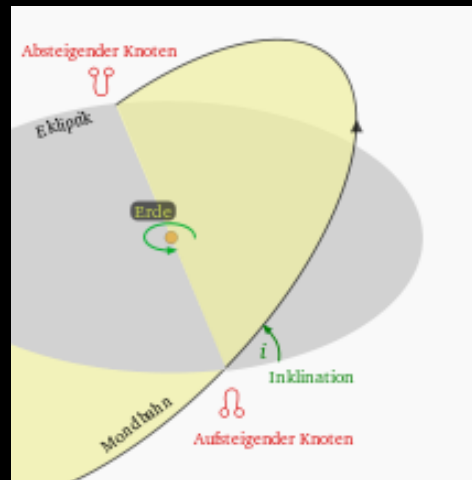
Anomalistischer Monat

Die Zeit zwischen zwei aufeinander folgenden Perigäumsdurchgängen des Mondes, also von einem erdnächsten Punkt zum nächsten. Der Anomalistische Monat beschreibt die eigentliche Bahnperiode des Mondes.

Dauer 2000.0: 27,55455 Tage = 27d 13h 18min 33s



Drehung der Apsidenlinie



Drehung der Knotenlinie → 18,5997 Jahre

„Ungleichheiten“ der Mondbahn

Wenn man die Mondbahn dahingehend idealisiert, dass der Mond innerhalb einer Lunation diese gleichförmig durchwandert, dann ergeben sich zwischen „idealen“ Ort und realen Ort Abweichungen, die man als „Ungleichheiten“ bezeichnet.

Große Ungleichheit

Aufgrund der Ellipsenbahn des Erdmondes und dem zweiten Keplerschen Gesetzes ergibt sich eine ungleichförmige Geschwindigkeit des Mondes auf seiner Bahn – im Perigäum schneller, im Apogäum langsamer. Das führt zu einer Positionsabweichung am Himmel von $\pm 6^\circ 17,3'$ gegenüber dem „Mittleren Mond“ innerhalb eines anomalistischen Monats.

→ war bereits den babylonischen Astronomen bekannt

Differenz zwischen „wahrer Anomalie“ V und „mittlerer Anomalie“ M :

$$V - M = \frac{180}{\pi} \left[\left(2e - \frac{e^3}{4} \right) \sin M + \frac{5}{4} e^2 \sin 2M + \frac{13}{12} e^3 \sin 3M + \dots \right]$$

Evektion

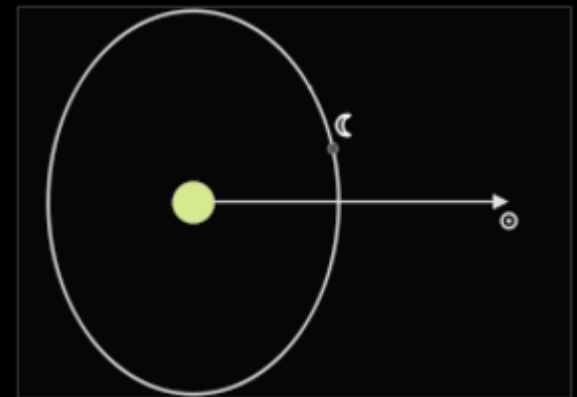
Die Große Ungleichheit wird durch eine weitere „Ungleichheit“ mit einer Periode von 31,8 Tagen überlagert, welche die reale Mondposition gegenüber dem „Mittleren Mond“ um $\pm 1,27^\circ$ schwanken lässt.

→ Diese von Claudius Ptolemäus entdeckte Ungleichheit wird heute als Evektion bezeichnet, wobei diese Bezeichnung auf den franz. Astronomen Ismael Boulliau (1605 – 1694) zurück geht (*evectum* – hinausfahren)

Die Ursache für die Evektion sind säkulare Störungen der Mondbahn durch Sonne und Planeten.

Variation

Mit einer Periode von einem halben synodischen Monat (14, 8 Tage) und einer Amplitude von $0,66^\circ$ in Länge ist die von Tycho Brahe in noch vorteleskopischer Zeit entdeckte Variation (1590) recht klein (etwas mehr als ein Vollmonddurchmesser). Es handelt sich um einen Effekt des Dreikörpersystems Erde – Mond – Sonne.



Jährliche Ungleichheit

Wenn sich am Anfang des Jahres der Doppelplanet Erde-Mond sich dem Perihel nähert, dann „verlängert“ die stärkere Sonnenanziehung die Mondbahn in Richtung Sonne. Der entgegengesetzte Effekt tritt dann auf, wenn das Erde-Mond-System die Aphelposition erreicht. Das führt zu einer Positionsverschiebung von $\pm 11,2$ Bogenminuten innerhalb eines Jahres.

→ Ursache: Exzentrizität der Erdbahn

Dieser Effekt lässt die synodische Umlaufzeit des Mondes um die Erde innerhalb eines Jahres um ± 10 Minuten schwanken.

Entdeckt wurde die Jährliche Gleichung unabhängig voneinander durch Johannes Kepler und Tycho Brahe.