

# Wissenswertes über die Zeitgleichung

Wechsel von Helligkeit und Dunkelheit prägte von alters  
her in unseren Breiten den kürzesten natürlichen  
Zeitrhythmus:

den **Tagesrhythmus**

Verantwortlich dafür: die **Erdrotation**

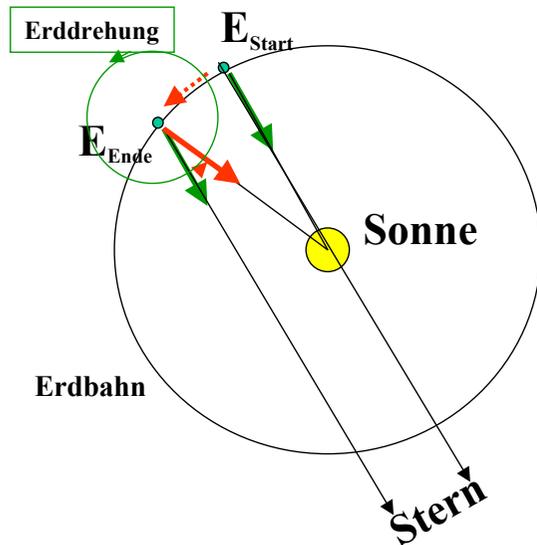
$$T_{\text{sid}} = \mathbf{23\ h\ 56,07\ min} = 1\ \text{Sterntag}$$

maßgeblich für die bürgerliche Zeitrechnung ist:

**der Sonnentag**

$$T = \mathbf{24\ h} = 1\ (\text{mittl.})\ \text{Sonnentag}$$

## Dauer eines Sterntages und Dauer eines Sonnentages



**Sterntag = 23 h 56,07 min**

**Sonnentag = 24 h 00 min**

**Sonnentag ist um ca. 4 Minuten länger  
wegen der Erdbewegung um die Sonne  
im Lauf eines Tages**

## **Basis der bürgerlichen Zeitrechnung:**

- **Definition der Dauer eines Tages = 24 Stunden**
- **für alle Tage des Jahres gleich lang**
- **die Zeit vergeht gleichmäßig während eines Tages**

**gleichbedeutend mit der Einführung einer gedachten, mittleren Sonne, deren Kulminationen man im jeweiligen Ortsmeridian beobachten würde und die sich gleichmäßig schnell zwischen 2 Meridiandurchgängen bewegt.**

**Bekannte Aussagen aus der Naturbeobachtung:**

im November: „**Es wird schon früh dunkel**“

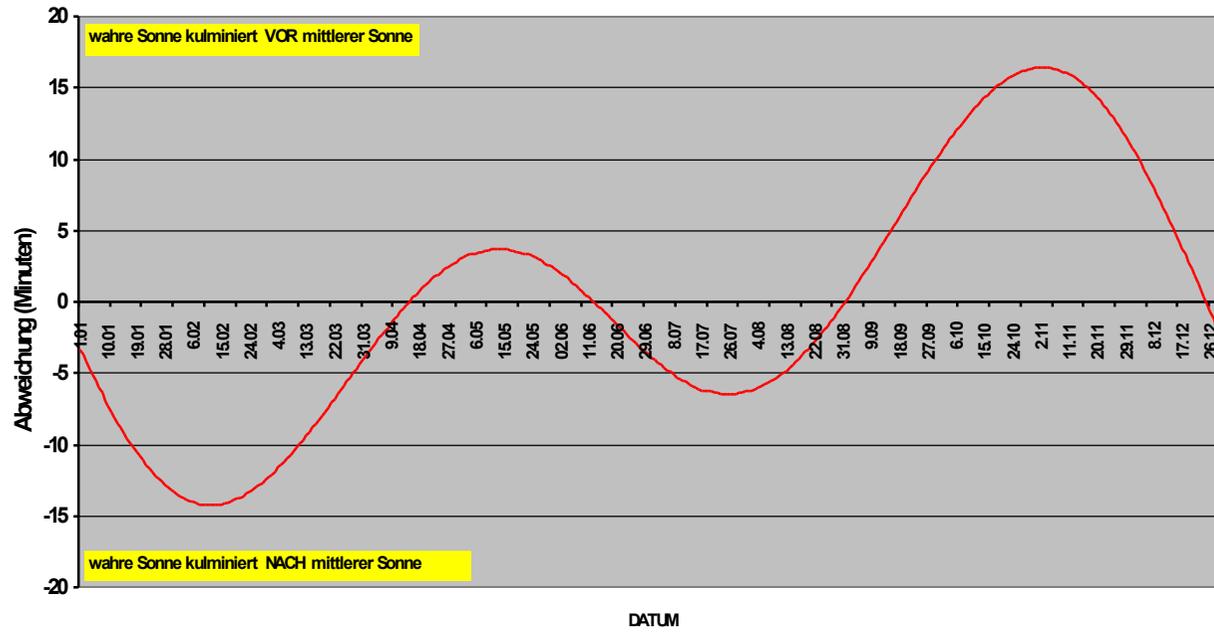
Ende Januar: „**Es bleibt schon lange hell**“

**Dies sind zu beobachtende Folgen der Zeitgleichung!**

Die Zeitgleichung beschreibt den Unterschied in den Kulminationszeiten der „wahren Sonne“ und der gedachten „mittleren“ Sonne, ausgedrückt in der „Ortszeit“:

**Zeitgleichung = wahre Ortszeit minus mittlere Ortszeit**

### Jahresverlauf der Zeitgleichung (wahre Ortszeit minus mittlere Ortszeit)



## **Einflüsse auf den Jahresverlauf der Zeitgleichung:**

**Zwei voneinander unabhängige Faktoren sind verantwortlich für den zeitlichen Verlauf, nämlich:**

**a) die Bahnellipse der Erde bei ihrem Umlauf um die Sonne**

**b) die „Schiefe der Ekliptik“ (Erdachsenneigung gegen die Erdbahnebene)**

## **Behandlung der Einflußfaktoren:**

**Wegen der Unabhängigkeit der beiden Faktoren:**

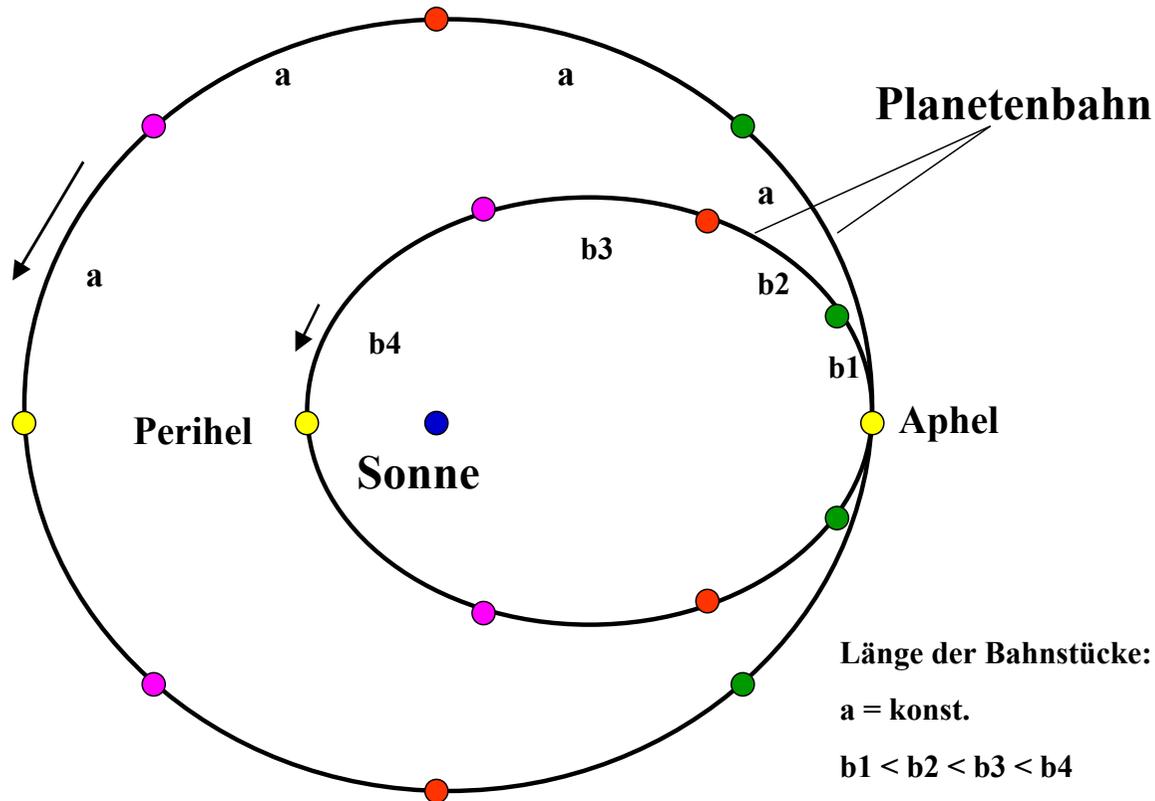
- a) Ellipse der Erdbahn**
- b) Neigung der Erdachse**

**kann der Einfluß jeder der Faktoren einzeln untersucht werden.**

**Vor dieser Untersuchung soll jedoch noch einmal das  
2. Kepler-Gesetz in Erinnerung gerufen werden.**

# Zeitlicher Vergleich von Kreis- und Ellipsenbahnbewegung

Orte nach jeweils  $T/8$  eines Bahnlaufs,  $T$  = Gesamtumlaufzeit



Zur Geschwindigkeit:

Auf der Kreisbahn ist die Geschwindigkeit überall gleich groß,

auf der Ellipsenbahn ist die Geschwindigkeit im Aphel am kleinsten und nimmt zum Perihel zu, wo sie am größten ist.

Danach nimmt die Geschwindigkeit wieder auf dem Weg zum Aphel ab. Gleichbedeutend damit ist die Aussage:

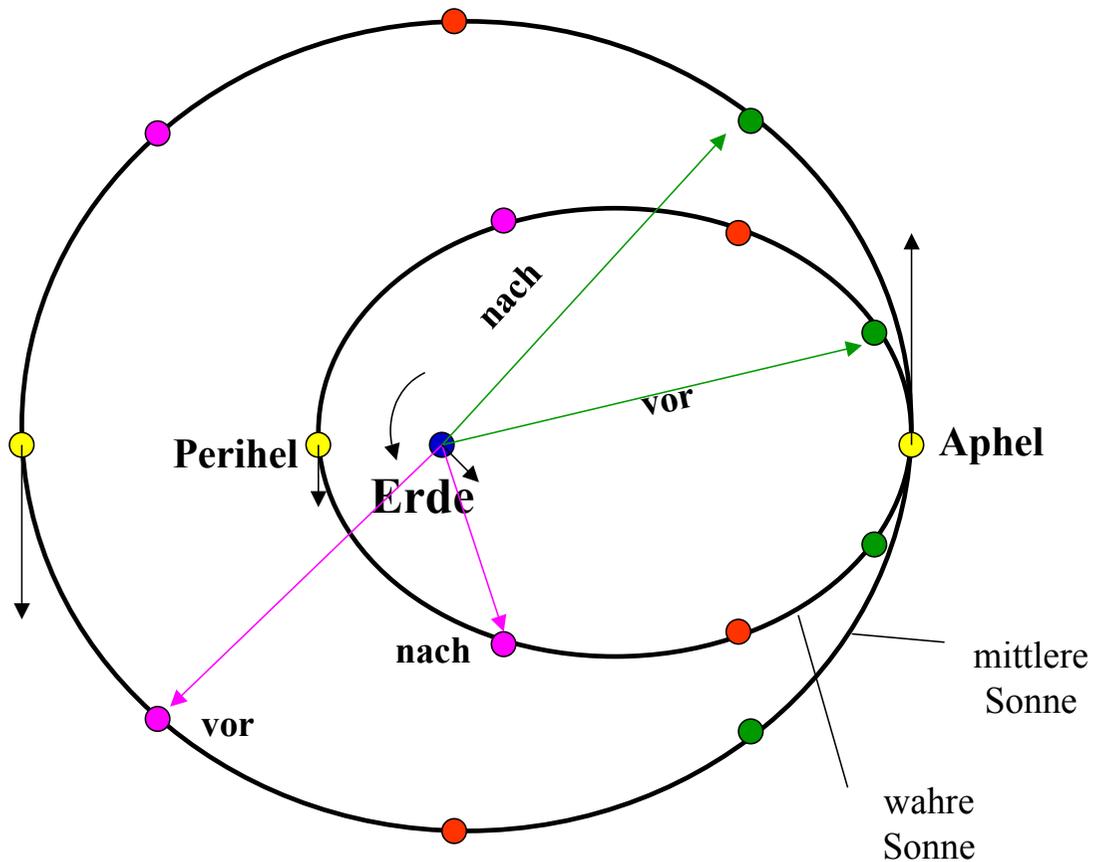
Der „Fahrstrahl“ des Planeten (Verbindungslinie Planet-Sonne) überstreicht in gleichen Zeiten gleiche Flächenanteile der Ellipse.

## Untersuchung Einflußfaktor „Bahnellipse“:

### **Voraussetzungen:**

- 1.) Erdachsenneigung bleibt unberücksichtigt,  
Annahme: Achsenneigung =  $0^\circ$
- 2.) wahre und mittlere Sonne bewegen sich in der gleichen Bahnebene,  
z.B. entlang des Erdäquators bzw. seiner Projektion auf die  
Himmelsphäre
- 3.) für einen Jahreslauf benötigen wahre und mittlere Sonne die gleiche  
Zeit T („Umlaufszeit“ der Erde)
- 4.) die mittlere Sonne bewegt sich auf der Kreisbahn „um die Erde“ mit  
gleichförmiger Geschwindigkeit
- 5.) die wahre Sonne bewegt sich auf der Ellipse mit jeweils verschiedenen  
Geschwindigkeiten analog dem 2.Kepler-Gesetz

## Zeitgleichung: Einfluss der Ellipsenbewegung



Beobachtung des Meridiandurchgangs von „wahrer“ und „mittlerer“ Sonne zu verschiedenen Zeiten (gelb, grün, rot, lila, gelb) im Jahr zwischen Aphel und Perihel und Perihel und Aphel.

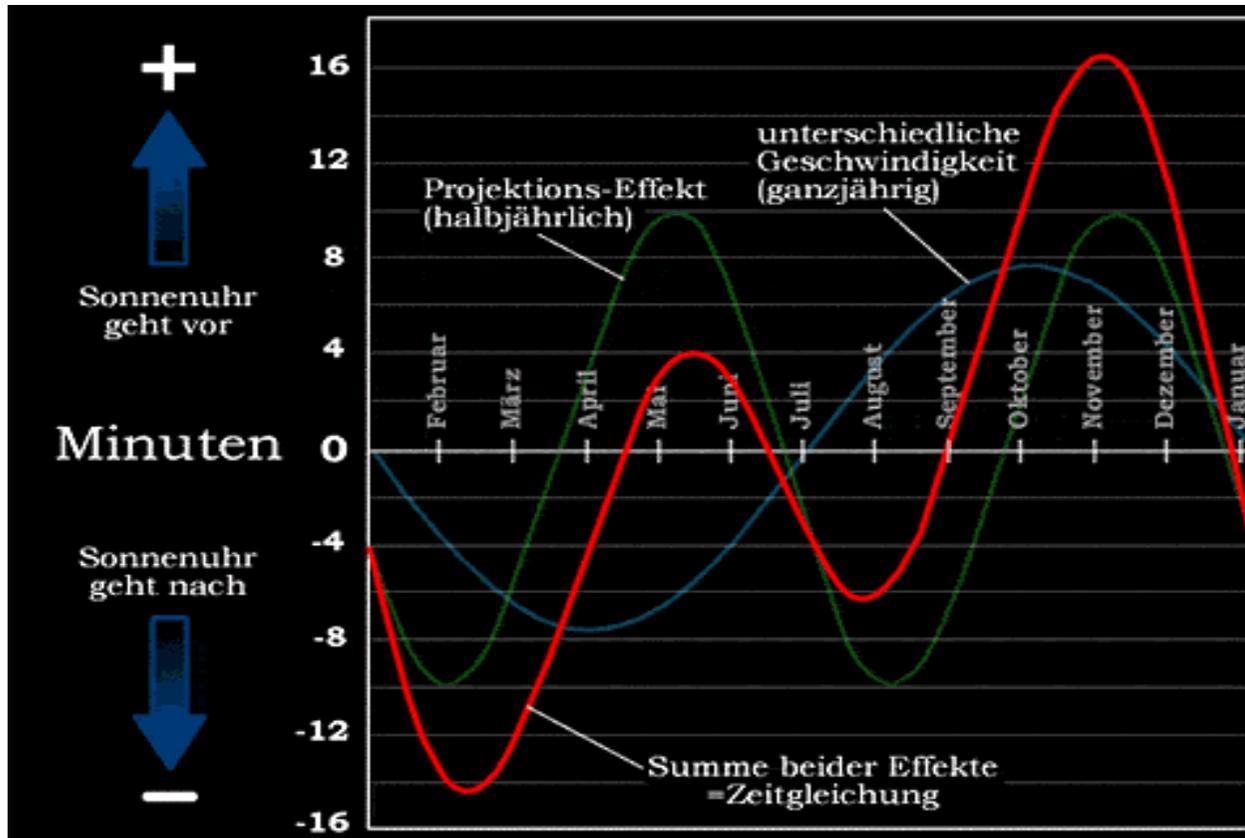
## Folgerungen aus der Ellipsenbewegung:

Der Meridiandurchgang der wahren Sonne erfolgt

- a) zwischen Aphel und Perihel : **VOR** der mittleren Sonne;
- b) zwischen Perihel und Aphel: **NACH** der mittleren Sonne;
- c) im Perihel und Aphel : **GLEICHZEITIG** mit der mittleren Sonne;

Die Periodizität dieses Verhaltens beträgt: **1 Jahr**

Die Amplitude beträgt: **ca. 8 Minuten**



Quelle: <http://www.greier-greiner.at/hc/zeitgleichung.htm>

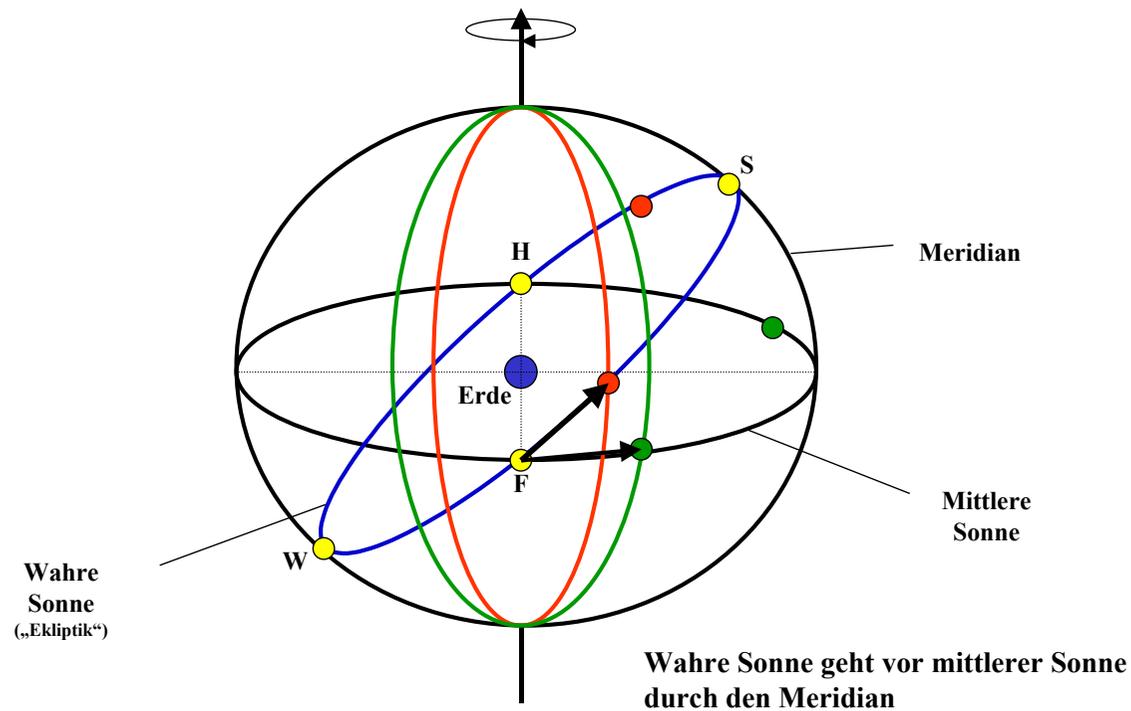
Blaue Kurve: Ergebnis aus der Betrachtung der Ellipsenbahn der „wahren Sonne“, d.h. die auf das Firmament projizierte Erdbewegung im Lauf eines Jahres

## **Untersuchung Einflußfaktor „Erdachsenneigung“:**

### **Voraussetzungen:**

- 1.) wahre und mittlere Sonne bewegen sich im Jahreslauf gleich schnell (Annahme einer Kreisbahn),**
- 2.) für einen Jahreslauf benötigen wahre und mittlere Sonne die gleiche Zeit  $T$  („Umlaufzeit“ der Erde),**
- 3.) die Bahnebenen von wahrer und mittlerer Sonne sind unterschiedlich und gegeneinander um die Erdachsenneigung geneigt, dabei ist die Bahnebene der mittleren Sonne = Erdäquator  
wahren Sonne = Ekliptik**

## Zeitgleichung: Einfluss der Schiefe der Ekliptik



Start am Frühlingspunkt F, Beginn des Jahreslaufs; Beobachtung des Meridiandurchgangs nach einer bestimmten Zeit T, in der die wahre Sonne und mittlere Sonne die gleiche Wegstrecke (schwarze Pfeile) auf ihrer Bahn zurückgelegt haben. Der Meridiandurchgang erfolgt für die wahre Sonne (roter Meridian) früher als für die mittlere Sonne (grüner Meridian), wenn das erste Viertel des Bahnverlaufs (also zwischen Frühlingspunkt und Sommersonnenwende) betrachtet wird. Entsprechende Überlegungen sind für das 2. Viertel, 3. Viertel und 4. Viertel des Bahnverlaufs anzustellen.

Das Ergebnis dieser Überlegungen ist auf der folgenden Seite zusammengefasst:

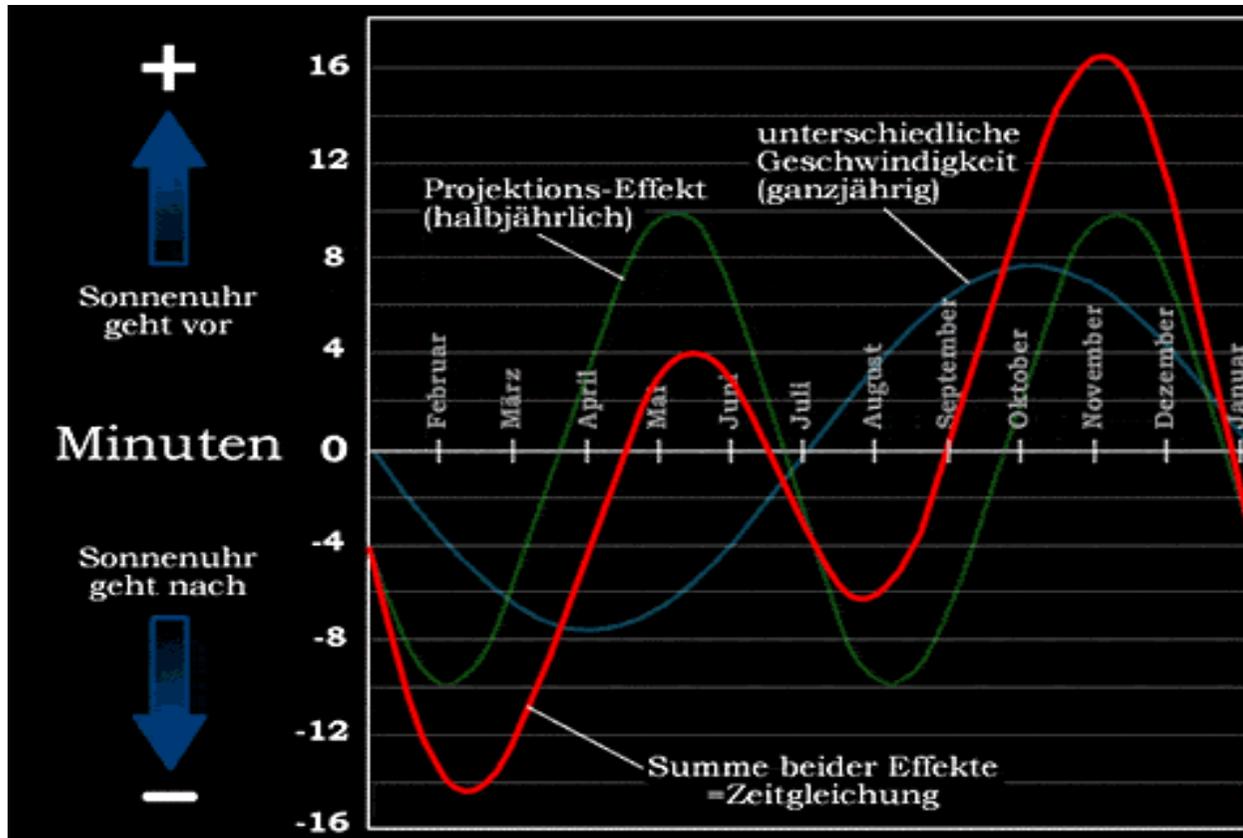
## Folgerungen aus der Schiefe der Ekliptik:

Der Meridiandurchgang der wahren Sonne erfolgt

- a) zwischen Frühlingspunkt F und Sommersonnenwende S : VOR der mittleren Sonne;
- b) zwischen Sommersonnenwende S und Herbstpunkt H : NACH der mittleren Sonne;
- c) zwischen Herbstpunkt H und Wintersonnenwende W : VOR der mittleren Sonne;
- d) zwischen Wintersonnenwende W und Frühlingspunkt F : NACH der mittleren Sonne;
- e) im Frühlings- und Herbstpunkt sowie  
zur Sommer- und Wintersonnenwende : GLEICHZEITIG mit der mittleren Sonne;

Die Periode dieses Verhaltens beträgt:  $\frac{1}{2}$  Jahr,  
die Amplitude beträgt: ca. 11 Minuten

Die Periodizität erfolgt ungleichförmig, weil die Abweichungen der ekliptikalen Bewegung zur Projektion auf die mittlere Bewegung in der Nähe des Frühlings- und Herbstpunktes maximal sind, während sie in der Nähe der Wendepunkte minimal (ähnlich) sind.



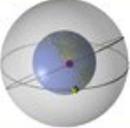
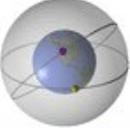
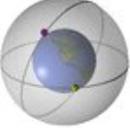
Quelle: <http://www.greier-greiner.at/hc/zeitgleichung.htm>

Grüne Kurve: Ergebnis aus der Betrachtung der Achsenneigung

Rote Kurve: Summe der blauen und roten Kurve als Gesamtergebnis der Zeitgleichung im Jahreslauf.

## Einfluss des Wertes der Achsenneigung auf Zeitgleichung

Tag: 4. Mai

<u>Side</u>	<u>Top</u>	<u>Tilt Degrees</u>	<u>Equation- of-Time</u>
		0	no change
		15	3 min 57 sec
		30	16 min 17 sec
		45	38 min 24 sec
		60	1 hr 12 min 8 sec
		75	1 hr 58 min 19 sec

Beobachtungstag: 4.Mai, dargestellt sind Seitenansicht („Side“) und von Norden („Top“) bei unterschiedlichen angenommenen Achsenneigungen; Ergebnis: je größer die Achsenneigung, umso größer ist die Differenz des Meridiandurchgangs von wahrer und mittlerer Sonne an diesem Tag. (Quelle: <http://www.analemma.com/Pages/framesPage.htm> )

**Fotomontage: Darstellung des wahren Sonnenstandes zur gleichen Uhrzeit  
Vom gleichen Beobachtungsort (in gleiche Richtung fotografiert)  
im Jahreslauf (Analemma)**



Quelle: <http://www.spaceweather.com/swpod2006/24dec06/tezell.jpg>

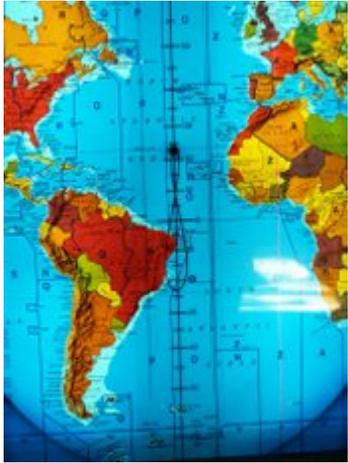
Sonnenstandaufnahmen von Tung Tezel (Türkei) während des ganzen Jahres 2006 vom gleichen Ort (Antalya) und zur gleichen Zeit; hinterlegt ist der Hintergrund der totalen Sonnenfinsternis vom 29.3., die hier zufällig ebenfalls mit abgebildet ist.

Hinweis:

Gut zu erkennen ist der Sonnenhöchststand am 21. Juni sowie der Sonnentiefststand am 21. Dezember. Die Daten fallen nahezu zusammen mit der Zeitgleichung = 0 (was überwiegend an der nahen Perihel (am 4.1.) und Aphel (4. Juli) liegt). Dagegen hat der Schnittpunkt der „8“ nichts mit der den Tag- und Nachtgleichen im März bzw. September zu tun! Dies erkennt man gut an dem Tag der totalen Sonnenfinsternis (29.3.), die fast eine Woche NACH der Tag- und Nachtgleiche stattgefunden hat. Die Verbindungslinie der Scheitelpunkte der „8“ ist fast identisch mit dem Ort der „mittleren“ (unsichtbaren, weil künstlichen) Sonne.

In dieser „Innensicht“ (der Beobachter befindet sich auf der Erde!) durchläuft die wahre Sonne im Jahreslauf die untere Schleife der „8“ im Uhrzeigersinn (d.h. sie steigt im rechten Ast ab – 2. Jahreshälfte, wahre Sonne befindet sich westlich der mittleren Sonne und geht deshalb vor ihr unter! – und steigt im linken Ast auf – 1. Jahreshälfte, wahre Sonne befindet sich östlich der mittleren Sonne und geht deshalb nach ihr unter!).

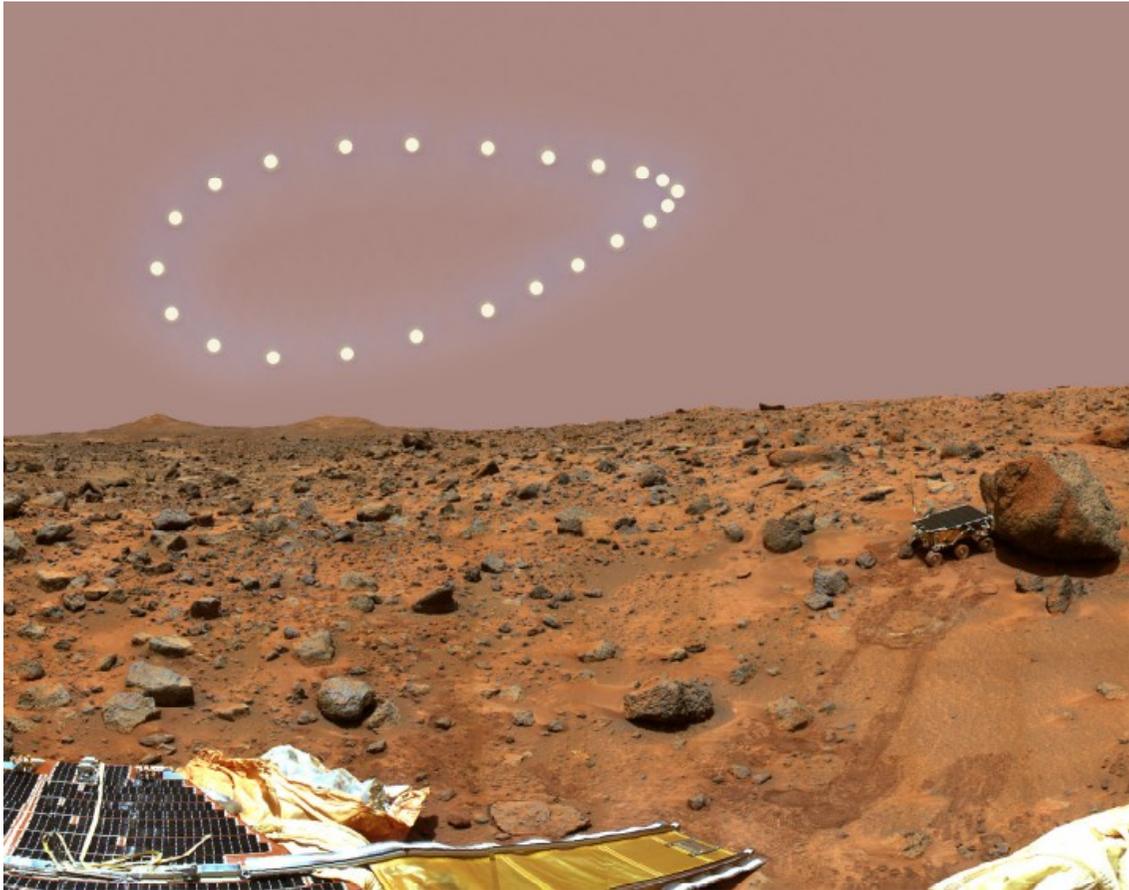
## Analemma in der „Uhrendarstellung“



Bei dieser Uhr der Firma GEOCHRON ist die Erde (in der Außenansicht, Beobachter im Weltraum) mit der beleuchteten Phase zu jeder Tages- und Jahreszeit dargestellt. Links und rechts sind die Orte des Sonnenauf- bzw. Sonnenuntergangs auf der Erde zu erkennen, in der Mitte ist der Mittagsmeridian (12-Uhr- Meridian der mittleren Sonne) erkennbar. Wieder ist das Analemma zu sehen (die wahre Sonne als „dicker“ Punkt auf der „8“). Weil es sich hier um eine „Außensicht“ handelt, durchläuft die wahre Sonne die untere Schleife der „8“ GEGEN den Uhrzeigersinn, d.h. sie steigt im linken Ast ab (2.Jahreshälfte, geht also vor der mittleren Sonne unter bzw. durch den Meridian) und steigt im rechten Ast auf (1.Jahreshälfte, geht also nach der mittleren Sonne unter bzw. durch den Meridian). Gut erkennbar ist, dass der Schnittpunkt der beiden Schleifen bei einem Sonnenstand von  $10^\circ$  nördlicher Breite liegt (also NICHT zur Tag- und Nachtgleiche). Außerdem ist auch gut ersichtlich, dass die Verbindungslinie der beiden Scheitelpunkte leicht gedreht ist gegenüber dem Mittagsmeridian der mittleren Sonne.

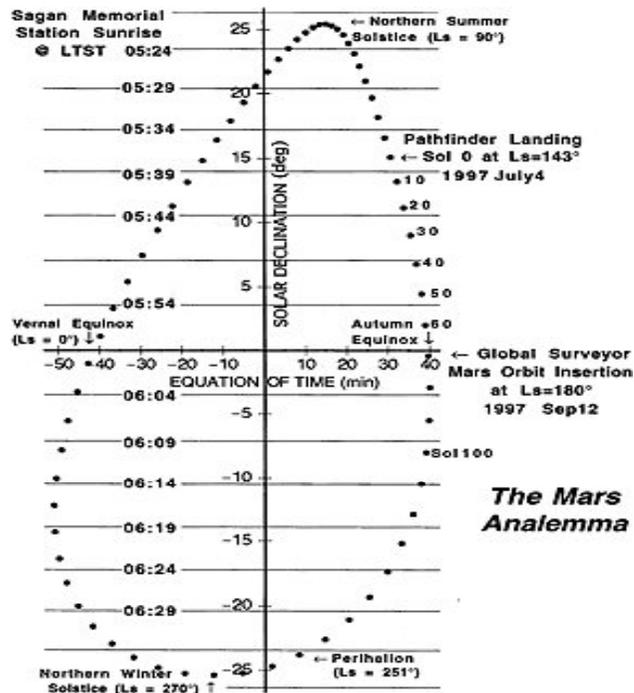
## Analemma auf dem Mars

(Quelle:<http://antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/ap061230.html>)



Aufnahmenserie der Pathfinder-Sonde auf Mars in 1997

## Erklärung des MARS - Analemmas



**MARS:**

**Achsenneigung:** 25° 12‘

**Rotationszeit:** 24 h 37 m

**Umlaufzeit:** 686,98 Tage

**Exzentrizität:** 0,093

**(zum Vgl. Erde: 0,017)**

Quelle: [http://www.giss.nasa.gov/research/briefs/allison\\_02/](http://www.giss.nasa.gov/research/briefs/allison_02/)

Ort der Pathfinder-Sonde: Sagan Memorial Station (Zeiten sind die verschiedenen Sonnenaufgangszeiten im Mars-Jahr)

Beträgt die Abweichung auf der Erde (zwischen wahrer Sonne und mittlerer Sonne) -16 Minuten / + 14 Minuten, so sind es auf Mars: -50 Minuten / + 40 Minuten !

## Analemmas anderer Planeten

Quelle: <http://www.analemma.com/Pages/framesPage.html>



Neigung: 25,19°  
Exzentrizität: 0,09340  
Rotationszeit: 24,66 h  
Jahreslänge: 1,88 J



3,13°  
0,04850  
9,93 h  
11,86 J



26,73°  
0,05600  
10,66 h  
24,42 J



Neigung: 97°  
Exzentrizität: 0,04630  
Rotationszeit: 17,24 h  
Jahreslänge: 83,75 J



29,56°  
0,00859  
16,11 h  
163,72 J



122,46°  
0,24880  
153,28 h  
247,92 J

Hinweis:

Für die inneren Planeten Merkur und Venus existieren keine Analemmas, weil die Rotationsdauern dieser Planeten in der Nähe ihrer Umlaufzeiten um die Sonne liegen.

**Danke für die Aufmerksamkeit !!!**



Quellennachweise:

- a) <http://www.zum.de/Faecher/Materialien/gebhardt/astronomie/zeitglei.html>
- b) <http://www.analemma.com>
- c) <http://www.analemma.com/Pages/framesPage.html>
- d) <http://antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/ap061230.html>
- e) <http://antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/ap061223.html>
- f) [http://www.giss.nasa.gov/research/briefs/allison\\_02/](http://www.giss.nasa.gov/research/briefs/allison_02/)