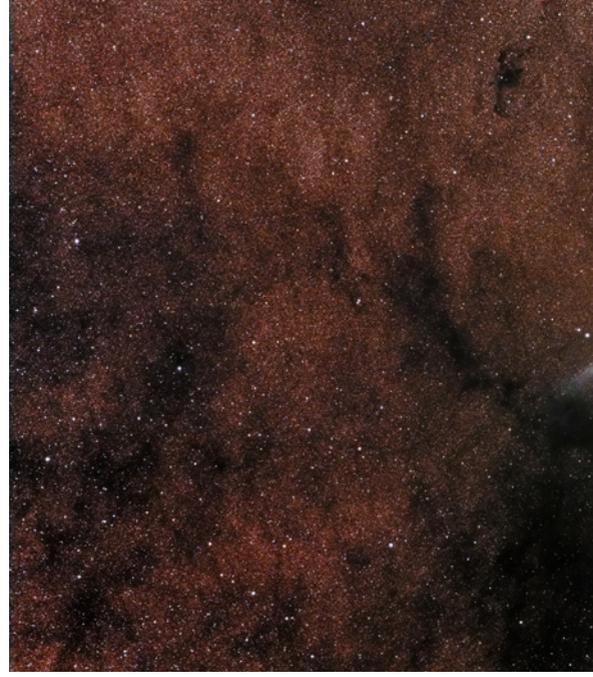


WERNER E. CELNIK

Kosmos  
**Mars**  
— **Guide**

DER PRAXISRATGEBER  
ZUM ROTEN PLANETEN

**KOSMOS**



## *Inhalt*

### **4 MARS IM ÜBERBLICK**

- 5 Mythos Mars
  - 8 Frühe Beobachtungen
  - 13 Die Marsbahn
  - 20 Planet Mars und Monde
- .....

### **24 MARS MIT BLOSSEM AUGE**

- 25 Orientierung am Himmel
- 31 Die Marsopposition 2018
- 37 Sichtbarkeiten bis 2035
- 49 Technik Astrofotos
- 58 Erste Marsaufnahmen
- 63 Die Bildbearbeitung

### **66 MARS IM TELESKOP**

- 67 Teleskopsysteme
  - 77 Beobachtungszubehör
  - 82 Beobachtungsbedingungen
  - 86 Mars beobachten
  - 111 Mars zeichnen
  - 118 Marsdetails
  - 127 Das Beobachtungsbuch
- .....

### **128 MARSFOTOGRAFIE**

- 129 Fotos mit Teleskop
- 133 Planetenkameras
- 139 Mars aufnehmen
- 144 Die Bildverarbeitung



---

## 148 PROJEKTE FÜR FORTGESCHRITTENE

- 149 Marsfotos auswerten
- 155 Marskarten erstellen
- 159 Marsmonde erwischen
- 163 Bedeckungsereignisse
- 166 Publikationen  
.....
- 171 Zum Weiterlesen
- 172 Register
- 174 Bildnachweis
- 175 Impressum  
.....

## ANHANG

- 176 Marskarte
- 177 Himmelsereignisse zur Opposition 2018
- 178 Marsschleifen der Oppositionsperioden 2018–2022, 2035
- 179 Marsschleifen der Oppositionsperioden 2025–2033

---

## ONLINE

Unter dem Link [www.kosmos.de/Mars-Guide](http://www.kosmos.de/Mars-Guide) finden Sie weiterführende Informationen zu folgenden Themen:

- Beobachtungsinformationen 2018
  - Mars zeichnen
  - Software Planetariumsprogramme
  - Software Aufnahme + Bildverarbeitung
  - Videos, Anleitungen und Animationen
  - Nützliche Homepages von Amateurastronomen
  - Foren und Mailinglisten
  - Vereine und (Internet-)Treffpunkte
  - Zeitschriften
  - Teleskophändler
  - Astroreisen
-

# MARS IM ÜBERBLICK



# MYTHOS MARS

Die Menschheit hat heute zahlreiche Raumsonden zum Mars geschickt, von denen einige sogar auf seiner Oberfläche gelandet sind. Und dennoch: Dem Roten Planeten haftet nach wie vor etwas Mystisches an.

Fragt man auf einer Volkssternwarte, welche Planeten den Besuchern bekannt sind, so wird meist zuerst der Mars genannt. Überraschend ist das nicht, hat doch der „Mythos Mars“ in der Kulturgeschichte der Menschheit mindestens zwei glorreiche Zeitalter erlebt: in der Antike im Rahmen der griechischen und römischen Götter- und Sagenwelt sowie Ende des 19. Jahrhunderts in Europa und Nordamerika, nachdem die vermeintlichen „Marskanäle“ entdeckt worden waren. Vieles davon ist seit Generationen überliefert. So verwundert es nicht, dass sich der Mars ins „kollektive Gedächtnis“ unseres Kulturkreises eingegraben hat – und das nicht nur, weil sich der auffallend rote Planet vergleichsweise schnell über den Sternenhimmel bewegt.

## MARS ALS KRIEGSGOTT

Den Namen „Mars“ für ihren Kriegsgott scheinen die antiken Römer aus dem griechischen Kulturkreis übernommen zu haben. Er könnte vom griechischen Pendant Ares abgeleitet sein, auch wenn es zwischen den Gottheiten Ares und Mars erhebliche Unterschiede gibt. Ares war der Sohn von Göttervater Zeus und Göttermutter Hera und wird als wilder, nicht zu bändigender Kriegsgott beschrieben. Doch galt er auch als Sinnbild männlicher Kraft und Schönheit. Seine Begleiter während des Trojanischen Krieges waren die Götter Deimos (Schrecken) und Phobos (Furcht), mit ihnen kämpfte Ares an der Seite der Griechen. Ein Kult ist um den griechischen Gott

Ares im Gegensatz zu seinem römischen Gegenstück nicht entstanden, auch wenn jeder einzelne Krieg als Huldigung an Ares angesehen wurde. Dennoch wurde in gewisser Weise auch Ares am Himmel verewigt: Da der Planet Mars etwa alle zwei Jahre am hellen, roten Hauptstern im Sternbild Skorpion vorüberzieht und mit diesem zeitweise ein auffälliges Paar ähnlicher Farbe und Helligkeit bildet, wurde der Skorpion-Stern „Anti-Ares“ genannt und kam so zu seinem Namen Antares. Der römische Kriegsgott Mars war dagegen einer der bedeutendsten Götter in der antiken italischen Religion und neben dem Göttervater Jupiter (der hier nicht Vater von Mars ist) der wichtigste römische Gott. Mars ist ein Sohn der Juno, er wurde auch außerhalb Roms weithin verehrt. Der Gründungslegende Roms nach war Mars Vater der Zwillinge Romulus und Remus und damit der Stammvater der Römer. Auf dem sogenannten Marsfeld (Campus Martius) außerhalb der Stadt fanden ihm zu Ehren Prozessionen statt, ihm wurden auch Tiere geopfert. Nach Mars wurde der zweite Wochentag (Dienstag) benannt: italienisch „martedì“, französisch „mardi“. Der Monat März wurde ihm gewidmet, nach dem römischen Kalender war dies der erste Monat des Jahres. Der lateinische Name Marcus bedeutet „dem Mars geweiht“, der Begriff „martialisch“ bezeichnet etwas Kriegerisches. Das Marssymbol steht auch heute noch sowohl für den Planeten Mars als auch für das männliche Geschlecht: ♂.

## MARSEUPHORIE IN DER MODERNE

Der moderne Marsmythos, der fast in einer Art Hysterie gipfelte, begann im Jahr 1877 und dauerte über mehrere Generationen an. Er beruhte jedoch auf einem der größten Irrtümer in der Geschichte der Astronomie. Unser Planet Erde kommt dem Planeten Mars alle zwei Jahre und 50 Tage recht nahe, nämlich dann, wenn die Erde den weiter außen um die Sonne laufenden Mars auf ihrer schnelleren Innenbahn überholt. Die beiden Planeten treffen bei diesem Überholvorgang alle 15 bis 17 Jahre besonders eng zusammen. Mars wird dann nach Mond und Venus zum hellsten Gestirn am irdischen Nachthimmel, heller noch als Jupiter. Das Jahr 1877 war ein solches „Marsjahr“: Am 6. September erreichte Mars seine damalige Oppositionsstellung und stand in Mailand um Mitternacht  $-2,9$  Größenklassen hell und  $33$  Grad hoch am Himmel. Er war damit ein extrem auffälliges Himmelsobjekt. Nur wenige Tage zuvor hatte der Rote Planet seinen (bei diesem Zusammentreffen) geringsten Erdbestand von lediglich  $56,3$  Millionen Kilometern durchlaufen. Die Beobachtungsbedingungen waren somit ideal! Seit Galileo Galilei zum ersten Mal ein Fernrohr auf den Himmel gerichtet und zeitgleich

mit dem fränkischen Astronomen Simon Marius 1610 die vier großen Jupitermonde entdeckt hatte, wurden Teleskope zur Himmelsbeobachtung stetig weiterentwickelt. Intensiv beobachtete man nun die Planeten. Und 1877 war modern und auffällig – der Mars. Wegen der oft großen Distanz des Planeten Mars von der Erde konnte man mit einfacheren Instrumenten nur helle und dunkle Flecken auf der Oberfläche erkennen, die als Wüsten und Meere interpretiert wurden. Mit den jetzt zur Verfügung stehenden neuen Linsenteleskopen und bei der 1877 vergleichsweise geringen Marsdistanz ließen sich jedoch erstmals Einzelheiten beobachten. So machte der italienische Astronom Giovanni Schiaparelli (1835–1910) feine, gerade, dunkle Linien auf dem Roten Planeten aus, die die dunklen „Meere“ des Mars verbanden. Diese Linien nannte er ihrem Erscheinungsbild entsprechend „canali“ (ital., Rinnen), ohne dass er mit diesem Begriff eine Interpretation oder Wertung verband. Kurz zuvor, im Jahr 1869, war das Jahrhundertprojekt Suez-Kanal erfolgreich abgeschlossen worden und noch immer in aller Munde. Einigen Zeitgenossen Schiaparellis gefiel daher der Gedanke, dass auch Bewohner des Planeten Mars „Kanäle“ gebaut haben könnten, um

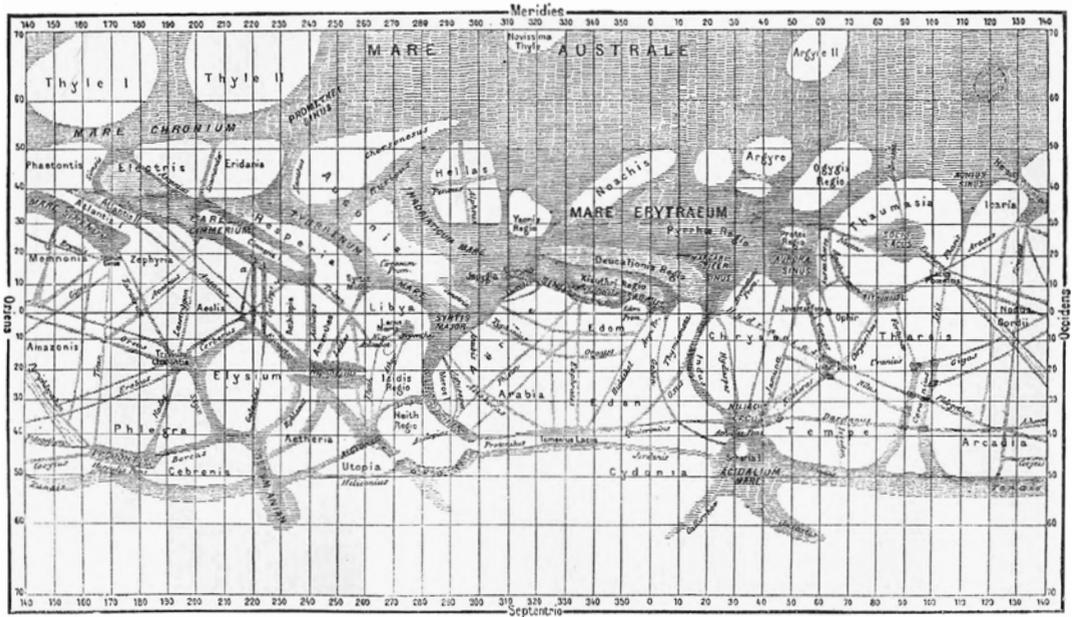
---

## GRÖSSENKLASSEN

Die Größenklasse ist seit der Antike ein Maß für die Helligkeit eines Gestirns am Himmel. Je kleiner die Zahl, umso heller das Objekt. Die hellsten Sterne haben 1. (auch 0. oder sogar  $-1$ .) Größe, wohingegen die gerade noch mit bloßem Auge sichtbaren Sterne der 6. Größe entsprechen. Das Größenklassensystem ist ein logarithmisches Maß, es ist vom Helligkeitsempfinden des menschlichen Auges abgeleitet. So ist ein Stern 1. Größenklasse 100-mal heller als ein Stern 6. Größenklasse. Bei einem Unterschied von fünf Größenklassen entspricht das Verhältnis der Lichtintensitäten der beiden Objekte also  $1:100$ . Bei einem Helligkeitsunterschied von einer Größenklasse beträgt das Intensitätsverhältnis  $1:2,512$ . Die Einheit der Größenklasse wird offiziell mit dem lateinischen Wort „magnitudo“ bezeichnet, abgekürzt „mag“.

 Beispiele: Spica, der hellste Stern im Sternbild Jungfrau, besitzt eine scheinbare Helligkeit von  $1,06$  mag. Der vorderste Deichselstern im Großen Wagen, auch Alkaid oder Benetnasch genannt, ist  $1,86$  Größenklassen hell ( $1,86$  mag).

---



Marskarte von Giovanni Schiaparelli aus dem Beobachtungszeitraum von 1877 bis 1886

beispielsweise Wüsten zu bewässern und sie als Verkehrswege zu nutzen. Schnell waren die „canali“ in der durch die moderne Presse informierten Öffentlichkeit berühmt und potenzielle Marsbewohner „in“. Einer der einflussreichsten (und reichsten!) Kanalbefürworter war der amerikanische Amateurastronom Percival Lowell (1855–1916), der 1895 in Flagstaff, Arizona, ein Observatorium mit einem noch heute arbeitsfähigen Refraktor-Teleskop von 61 Zentimetern Öffnung errichtete. Sein Ziel war es, die Marskanäle zu untersuchen. Ebenso wie der französische Astronom Camille Flammarion (1842–1925) mit seinen wissenschaftlichen und populärwissenschaftlichen Veröffentlichungen schrieb auch Lowell zahlreiche Bücher und warb für die These eines bewohnten Mars. Die Popularität der Marskanäle und der nun für die Öffentlichkeit damit zwangsläufig verbundenen „Marszivilisation“ führte zu zahlreichen Fachartikeln und nach 1880 zu einer wahren Flut von Science-Fiction-Romanen. Nach der Verbreitung des Radios soll darüber hinaus das äußerst realistisch wirkende Hörspiel *The War of the Worlds* (dt., *Der Krieg der*

*Welten*) von Orson Welles (1915–1985), das im Jahr 1938 am Vorabend von Halloween erstmalig ausgestrahlt wurde, an der Ostküste der USA eine Massenpanik ausgelöst haben. Der Raketen- und Raumfahrtpionier Werner von Braun (1912–1977) erinnerte sich in Interviews an die Wirkung, die die Science-Fiction-Literatur auf ihn ausgeübt hatte. Er selbst verfasste den Entwurf einer SF-Erzählung zu einer von ihm geplanten bemannten Marsmission. Das Aus für die Marskanäle kam im Jahr 1965 und zwar mit der ersten erfolgreichen Marssonde Mariner 4. Sie funkte erstmals Aufnahmen der Marsoberfläche aus einer Entfernung von nur 10.000 Kilometern zur Erde – von Kanälen keine Spur, die Marslandschaft war eher trostlos und wie der Mond von Kratern geprägt. In der SF-Literatur ist Mars aber bis heute ein beliebtes Thema. Die modernen Werke beschäftigen sich jedoch mit realistisch betrachteten, zukunftsnahe Marsmissionen. Aber wer weiß: Sollten irgendwann bemannte Missionen zu unserem roten Nachbarplaneten tatsächlich möglich werden, bricht vielleicht wieder eine neue Marseuphorie aus.

# FRÜHE BEOBACHTUNGEN

Im ausgehenden Mittelalter galt der wandelnde „Stern“, der sich zwischen den anderen Sternen des Himmels deutlich bewegte, nicht mehr ausschließlich als Sagen- oder Göttergestalt. Er wurde vielmehr zum Objekt wissenschaftlicher Forschung.

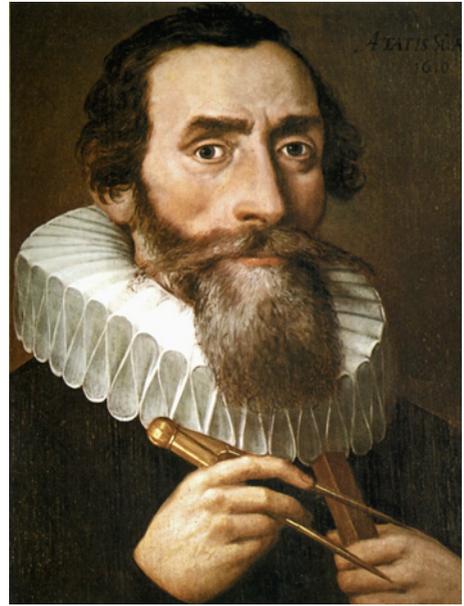
Die vorteleskopische Zeit war geprägt durch einen der größten Beobachter aller Zeiten: den dänischen Astronomen Tycho Brahe (1546–1601). Basierend auf seinen Aufzeichnungen konnte der geniale Mathematiker Johannes Kepler (1571–1630) seine drei Planetengesetze ableiten. Nach der Erfindung des Fernrohrs folgten auf Galileo Galilei (1564–1642) zahlreiche weitere Teleskopbeobachter, die immer detailreichere, aber – wie bereits beschrieben – mitunter fragwürdige Strukturen auf dem Roten Planeten ausmachten.

## KLASSISCHE MARS-BEOBACHTUNGEN

Tycho Brahe vertrat die damals ungewöhnliche Meinung, dass ein Fortschritt in der Astronomie nur durch exakte Beobachtungen möglich sei. Auf seiner Sternwarte Uraniborg vermaß er daher Stern- und Planetenpositionen. Da es zu seiner Zeit noch keine Teleskope gab, verwendete er dazu einen Mauerquadranten und eine Armillarsphäre. Seine Messungen waren mit Abstand die präzisensten und mit einer Genauigkeit von zwei Bo-



*Der große Himmelsbeobachter Tycho Brahe 1598 an seinem Mauerquadranten*



*Der Mathematiker und Astronom Johannes Kepler (1610)*

genminuten auch heute nicht ohne Weiteres zu erreichen.

Im Jahr 1600 begegnete Tycho Brahe Johannes Kepler, der bereits durch Facharbeiten auf sich aufmerksam gemacht hatte und mit dem er nun bis zu seinem Tod zusammenarbeitete. Kepler wurde später Brahes Nachfolger und führte dessen Auftrag, die sogenannten *Rudolfinischen Tafeln* zur Vorhersage von Planetenpositionen, zu Ende. Dabei unterzog Kepler Brahes Messungen der Marspositionen einer genauen Untersuchung und entdeckte darin Abweichungen zu den Vorhersagen, die auf der Basis des Kopernikanischen Weltbildes erstellt worden waren. Die Abweichungen waren deutlich größer als die Ungenauigkeiten in Brahes Messungen.

So musste Kepler schließlich die Jahrtausende alte Auffassung fallen lassen, dass sich die Planeten auf Kreisen bewegen. Anhand von Brahes Marsbeobachtungen konnte er nun beweisen, dass die Planeten auf Ellipsen wandern. Diese Erkenntnis ermöglichte ihm eine genaue Berechnung von Positionen und Ge-

schwindigkeiten der Planeten und führte schließlich zu seinen drei berühmten, später nach ihm benannten Keplerschen Gesetzen der Planetenbewegung.

---

## DIE KEPLERSCHEN GESETZE

1. Keplersches Gesetz  
Die Planeten bewegen sich auf elliptischen Bahnen, in deren einem Brennpunkt die Sonne steht.
2. Keplersches Gesetz  
Ein von der Sonne zum Planeten gezogener Fahrstrahl überstreicht in gleichen Zeiten gleich große Flächen. Das heißt, dass sich ein Planet in Sonnennähe (im Perihel) schneller auf seiner Bahn bewegt als in Sonnenferne (im Aphel).
3. Keplersches Gesetz  
Die Quadrate der Umlaufzeiten zweier Planeten verhalten sich wie die Kuben (dritten Potenzen) ihrer großen Bahnhalbachsen. Das bedeutet, dass sich Planeten auf weiter von der Sonne entfernten Bahnen langsamer bewegen und eine längere Umlaufzeit haben als Planeten auf sonnennäheren Umlaufbahnen.

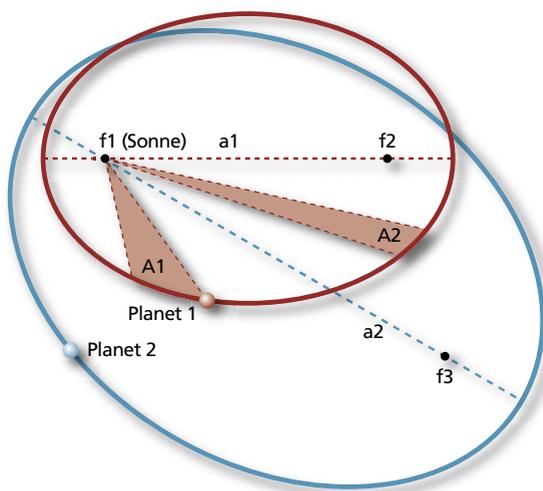
---

## ABSTÄNDE AM HIMMEL

Der Abstand zweier Punkte am Himmel wird in Grad gemessen. Ein Großkreis am Himmel umfasst 360 Grad. Ein Grad wird unterteilt in 60 Bogenminuten (abgekürzt mit  $'$ , engl.: arcmin). Eine Bogenminute wird weiter unterteilt in 60 Bogensekunden (Symbol  $''$ , engl.: arcsec).

Auch die Ausdehnung von Himmelsobjekten wird auf diese Weise angegeben. Sonne und Mond zeigen am Himmel eine Winkelausdehnung von etwa einem halben Grad, also 30 Bogenminuten. Zwei Bogenminuten – die Genauigkeit von Tycho Brahes Messungen – entsprechen demnach nur dem 15. Teil eines Monddurchmessers am Himmel! Der Planet Mars zeigt eine maximale Winkelgröße von gut 25 Bogensekunden.

Die Abbildung unten zeigt eine grafische Zusammenfassung der drei Keplerschen Gesetze. Dabei bedeuten:  $f$  – Brennpunkte,  $A$  – Flächen,  $a$  – große Halbachsen.



## TELESKOPBEOBACHTUNGEN

Nach der Erfindung des Fernrohrs im frühen 17. Jahrhundert entdeckte der niederländische Physiker und Astronom Christiaan Huygens (1629–1695) mit einem von ihm verbesserten Teleskop das erste Detail auf dem kleinen Marsscheibchen: eine dreieckige, dunkle Zone, die „Große Syrte“ (Syrtis Major). Aus ihren Positionsveränderungen im Laufe der Zeit errechnete Huygens eine Rotationsdauer des Planeten von 24,5 Stunden, was dem heutigen Wert bereits sehr nahekommt.

Im Jahr 1666 beschrieb Giovanni Domenico Cassini (1625–1712) zum ersten Mal die weißen Polkappen des Mars. Der aus Deutschland stammende britische Astronom und Entdecker des Planeten Uranus, Friedrich Wilhelm Herschel (1738–1822), bestimmte 1784 die Neigung der Polachse von Mars zur Senkrechten auf seiner Umlaufbahn zu 25 Grad – das war ebenfalls ein sehr genauer Wert. Herschel folgte daraus die Existenz von Jahreszeiten auf dem Mars und schloss wegen der Polkappen auf das Vorhandensein einer Atmosphäre. Die erste Karte und den ersten Marsglobus fertigte im Jahr 1830 der Berliner Amateur-



*Zeichnung der Marsstruktur „Große Syrte“ von Christiaan Huygens aus dem Jahr 1659*

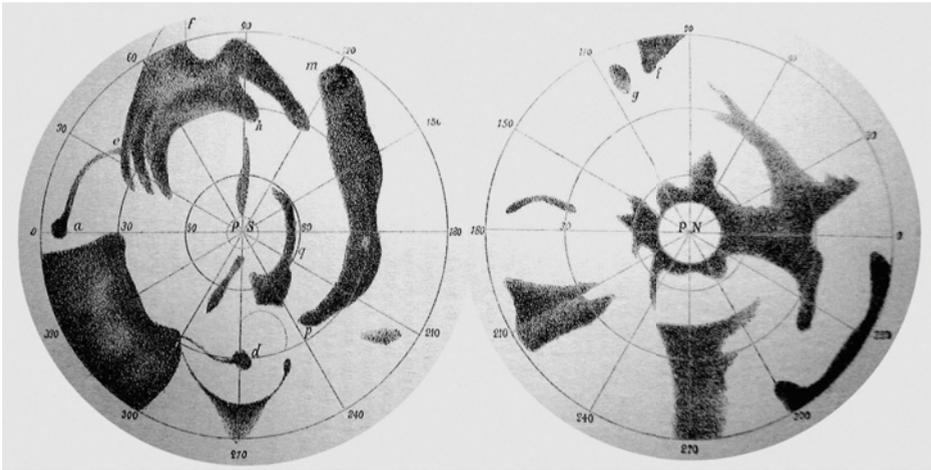
astronom Wilhelm Beer (1797–1850) zusammen mit dem Astronomen Johann Heinrich von Mädler (1794–1874) an. Sie erkannten, dass die dunklen „Flecken“ beständig sind, also zur Marsoberfläche gehören. Die dunklen Ränder um die Polkappen interpretierten sie als Sumpfgebiete, gespeist von polarem Schmelzwasser. Beer und Mädler legten auch die Lage des Nullmeridians auf dem Mars in



*Der Amateurastronom Wilhelm Beer in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts*



*Der Astronom Johann Heinrich Mädler im Jahr 1856*



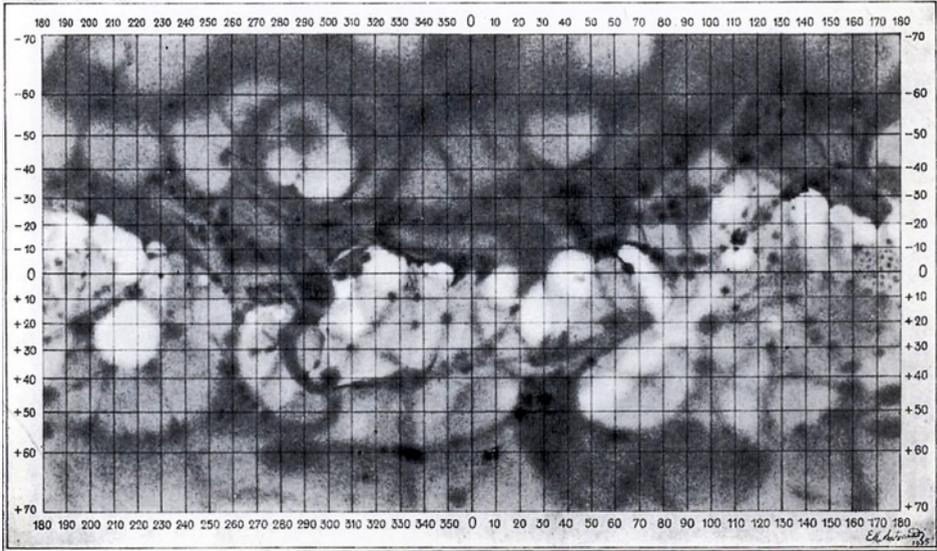
*Die erste Marskarte, erstellt von den beiden Beobachtern Beer und Mädler im Jahr 1830, zeigt links die Südhalbkugel, rechts die Nordhalbkugel des Mars. Später folgte noch eine detailliertere Karte.*

der beobachtungsauffälligen und später so benannten Struktur Sinus Meridiani fest. Mit weiter verbesserten Teleskopen entdeckte Giovanni Schiaparelli (1835–1910) 1877 seine „canali“ auf dem Mars, gerade dunkle Verbindungslinien zwischen den dunklen Flächen (vgl. Abb. S. 7). Sie lösten den bereits erwähnten Mythos von intelligenten Marsbewohnern aus. Viele Astronomen hielten die Marskanäle jedoch schon damals für eine optische Täuschung. Gegen die Kanalvermutung sprach etwa die nicht messbare Polarisation des Lichtes durch die dunklen Stellen auf der Marsoberfläche. Wären diese Stellen tatsächlich Wasseroberflächen, dann hätte das reflektierte Sonnenlicht polarisiert sein müssen. Kanäle müssten auch eine Mindestbreite von 100 Kilometern besitzen, um auf diese Entfernung sichtbar zu sein. Alternativ wurden die dunklen Gebiete als Vegetationsflächen interpretiert. Schlussendlich haben sich einige „canali“ als reale, langgestreckte, geologische Strukturen auf der Marsoberfläche entpuppt, so beispielsweise der große Grabenbruch Valles Marineris oder andere Geländestufen mit Schattenlinien sowie längere Kraterketten. Auf Schiaparelli gehen auch die lateinischen Namensgebungen für die markantesten Marsstrukturen zurück.

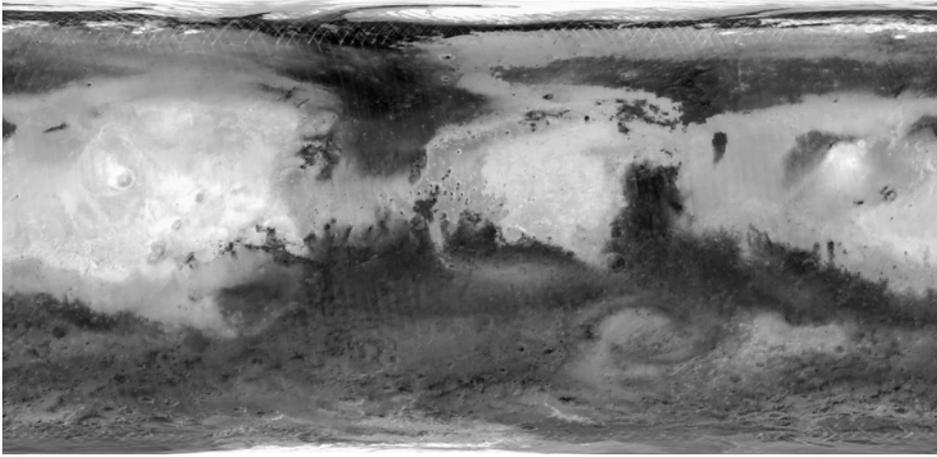
Der griechische Astronom Eugène Michel Antoniadi (1870–1944) arbeitete während der Marsopposition von 1909 am damals besten Teleskop der Welt, dem 83-Zentimeter-Riesenteleskop des Pariser Meudon-Observatoriums. Er kam zu dem Schluss, dass es sich bei den Marskanälen um optische Täuschungen handeln müsse, die nur in kleineren Fernrohren als Linienstrukturen „sichtbar“ wür-



*Der Astronom Giovanni Schiaparelli in den 1870er-Jahren*



Die Marskarte von Eugène Michel Antoniadi aus dem Jahr 1930, Süden ist oben



Marskarte aus Bildern der Raumsonde Mars Global Surveyor (2001), Norden ist oben

den. Dieser Eindruck entstehe durch die Bildverarbeitung im Gehirn. Antoniadi fertigte in den folgenden 20 Jahren immer detailliertere Marskarten an, auf denen er die „canali“ durch fortgesetzte Reihen dunkler Flecken kartierte. Seine 1930 erschienene vierteilige *Carte de Mars* war bis zum Start der Raumsonden in den 1960er-Jahren die genaueste Kartografie des Roten Planeten. Antoniadi wählte auch den Namen Sinus Meridiani für die dunkle Struktur, durch die der Nullmeridian verläuft.

Moderne Marskarten werden aus Fotografien erstellt. Die offizielle Karte der NASA, die aus Raumsondenaufnahmen zusammengestellt wurde, zeigt nicht nur Hell-Dunkel-Gebiete, die sogenannten Albedostrukturen, sondern auch Bodenstrukturen. Dass heutige Amateurastronomen mit moderner Digitaltechnik da durchaus mithalten können, beweisen etwa die Marskarten der deutschen Amateurastronomen Sebastian Voltmer und Mario Weigand (vgl. Abb. S. 152, 157).

# DIE MARSBAHN

Der Planet Mars ist von der Sonne aus gezählt der vierte Planet im Sonnensystem. Während die Venus unser sonnennäherer Nachbarplanet ist, bewegt sich der Mars auf einer weiter außen liegenden, sonnenferneren Bahn.

Da die Erde auf ihrer „Innenbahn“ schneller ist als der Mars, überholt sie den äußeren Nachbarplaneten regelmäßig – dann ist Mars besonders gut zu beobachten. Je nach Stellung der beiden Planeten zueinander variieren die Sichtbarkeitsbedingungen aber stark.

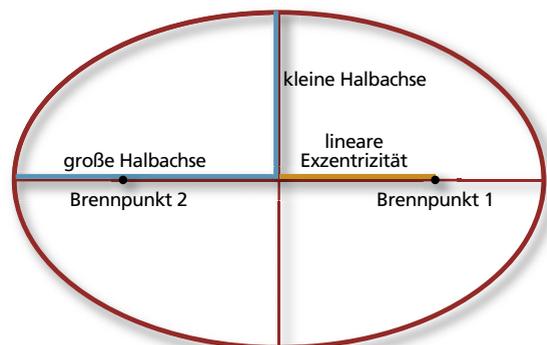
## PLANETENBAHN UND OPPOSITION

Mars läuft – wie alle Planeten – auf einer Ellipsenbahn, in deren einem Brennpunkt die Sonne steht. Im Unterschied zur Erde, die auf einer sehr kreisähnlichen Ellipse um die Sonne läuft, besitzt die Marsbahn eine recht hohe Exzentrizität. Die sogenannte numerische Exzentrizität  $e$  ist ein Maß für die Elliptizität einer Bahn, beim Mars beträgt sie 0,09341233 (Jahr 2000). Bei der Erdbahn beläuft sie sich auf lediglich 0,017, die numerische Exzentrizität der Marsbahn ist also 5,5-mal größer!

Während des Umlaufs eines Planeten auf seiner Ellipsenbahn um die Sonne ändert sich die Distanz Sonne – Planet ständig. Der sonnennächste Bahnpunkt des Planeten wird „Perihel“, der sonnenfernste „Aphel“ genannt. Die Linie, die Perihel und Aphel verbindet, heißt „Apsidenlinie“ (vgl. Abb. S. 14 oben). Beim Mars beträgt die kleinste Sonnenentfernung 206,62 Millionen Kilometer (Periheldistanz), die größte hingegen 249,23 Millionen Kilometer (Apheldistanz); das entspricht 120,6 Prozent der Periheldistanz! Bei der Erdbahn sind es nur 103,4 Prozent, sie ist also deutlich kreisähnlicher. Zu den Marsbahnparametern siehe auch die Tabelle Seite 21.

## DIE NUMERISCHE EXZENTRIZITÄT

In der Abbildung unten ist schematisch die Ellipsenbahn eines Planeten dargestellt. In einem der beiden Brennpunkte steht die Sonne. Der Planet läuft auf der roten Ellipse entlang. Die Form der Ellipse wird bestimmt durch die Längen der großen und kleinen Halbachsen (blau), aus denen sich die Exzentrizität (orange) ergibt. Diese zeigt an, wie kreisähnlich oder kreisfern die Ellipse ist. In der Grafik ist die sogenannte „lineare Exzentrizität“ markiert, sie gibt die Entfernung eines Brennpunktes zum Mittelpunkt der Ellipse an. Die in der Astronomie gebräuchliche Größe ist jedoch die „numerische Exzentrizität“  $e$ , sie bezeichnet das Verhältnis von linearer Exzentrizität  $c$  zur großen Halbachse  $a$ , also  $e = c / a$ .  
👉 Beispiel Marsbahn: große Halbachse  $a = 227,95$  Mio. km, numerische Exzentrizität  $e = 0,093$ , lineare Exzentrizität  $c = e \cdot a = 0,093 \cdot 227,95$  Mio. km = 21,20 Mio. km. Das bedeutet: Die Sonne steht 21,20 Millionen Kilometer von der Mitte der Marsbahn entfernt!

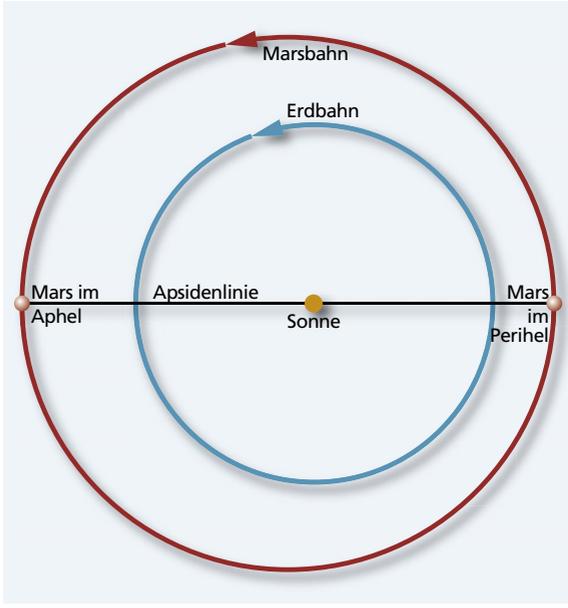


Nach dem 2. Keplerschen Gesetz ist die Bahngeschwindigkeit eines Planeten in Sonnennähe größer als in Sonnenferne. Die mittlere Bahngeschwindigkeit von Mars beträgt 24,1

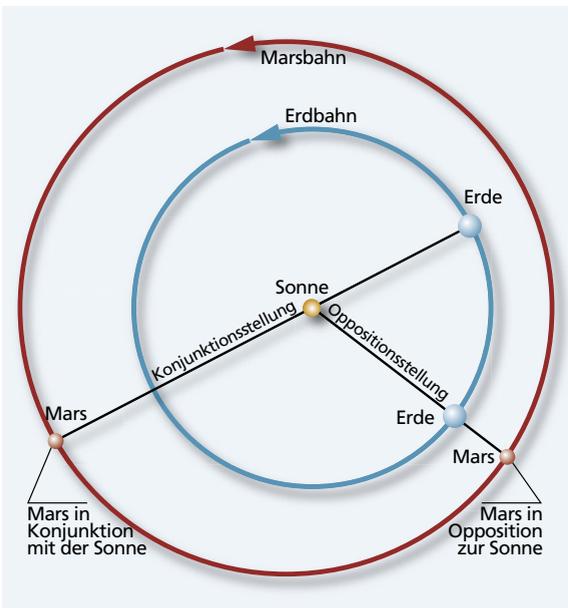
Kilometer pro Sekunde und variiert von 22,0 im Aphel bis zu 27,0 Kilometer pro Sekunde im Perihel. Die Erde bewegt sich auf ihrer sonnennäheren Umlaufbahn nach dem 3. Keplerschen Gesetz mit einer höheren mittleren Geschwindigkeit, nämlich mit 29,8 Kilometern pro Sekunde.

Mars benötigt für einen Umlauf um die Sonne von einem Perihel zum nächsten 686,98 Tage. Ein Marsjahr dauert demnach 1,88 Erdjahre. Da sich die Erde schneller als der Mars bewegt, überholt sie ihn etwa alle zwei Jahre, genauer: im Durchschnitt nach zwei Jahren und 50 Tagen. Bei diesem Vorgang steht die Erde genau zwischen Sonne und Mars. Von uns aus gesehen befindet sich der Mars also gegenüber der Sonne am Himmel – er erreicht seine „Opposition“. Das ist die Stellung, in der sich Mars und Erde besonders nahe kommen. Abhängig davon, an welcher Stelle der Marsbahn die Erde den Mars überholt, kann die Oppositionsentfernung dennoch recht unterschiedlich sein (vgl. folgenden Abschnitt). Das andere Extrem ist die Stellung, wenn sich der Mars von der Erde aus gesehen hinter der Sonne befindet: In der sogenannten Konjunktionsstellung (mit der Sonne) ist die Distanz Erde – Mars besonders groß.

Ein weiterer, beobachtungsrelevanter Bahnparameter ist die Inklination  $i$  der Marsbahn. Sie gibt an, um welchen Winkel die Marsbahn gegen die Erdbahn geneigt ist. Wäre die Neigung gleich Null, dann würde der Mars exakt auf der scheinbaren Bahn der Sonne am Himmel entlanglaufen, also genau auf der Ekliptik. Die Bahnneigung beträgt aber ein Grad und 51 Bogenminuten ( $\approx 1,85061^\circ$ ). Mars bewegt sich demnach mal oberhalb und mal unterhalb der Ekliptik über den Himmel. Insbesondere in der Zeit nahe der Oppositionsstellung (in Erdnähe also) kann Mars sehr weit nördlich oder südlich von der Ekliptik stehen. So ist es auch Anfang August 2018, dann hält er sich bis zu 6,5 Grad unterhalb der in Mitteleuropa in Sommernächten ohnehin tiefstehenden Ekliptik auf.



Perihel, Aphel und die Apsidenlinie der Marsbahn



Oppositions- und Konjunktionsstellung von Mars

## ÜBERBLICK MARSOPPOSITIONEN 2018–2035

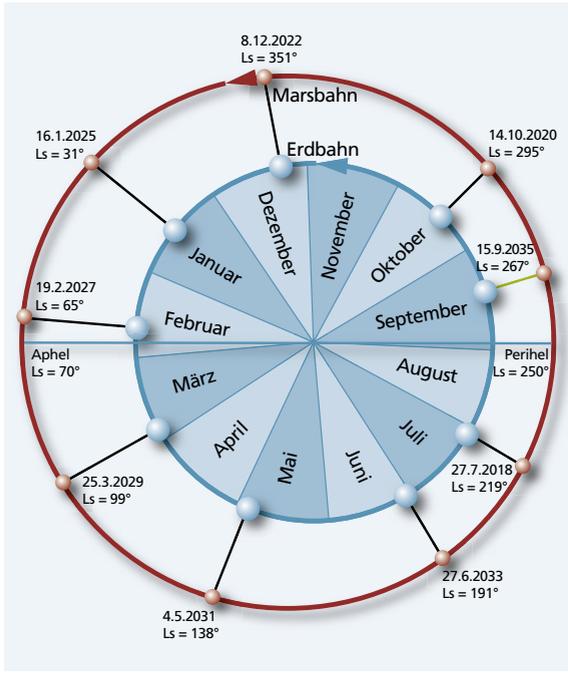
ZEITPUNKT OPPOSITION	[MEZ]	ABSTAND OPPOSITIONEN		MARSHELLIG- KEIT [MAG]	MARSDISTANZ [MIO. KM]	MARSWINKEL- DURCHMESSER [°]	ZEITPUNKT ERDNÄHE	[MEZ]	UNTERSCHIED ERDNÄHE- OPPOSITION [TAGE]
		[JAHRE]	[TAGE]						
27.07.2018	6:07	2	65	-2,8	57,6	24,3	31.07.2018	8:51	4,1
14.10.2020	0:20	2	80	-2,6	62,1	22,3	06.10.2020	15:19	-8,4
08.12.2022	6:36	2	54	-1,9	81,5	17,0	01.12.2022	3:18	-7,1
16.01.2025	3:32	2	39	-1,4	96,1	14,5	12.01.2025	14:38	-3,5
19.02.2027	16:45	2	34	-1,2	101,4	13,8	20.02.2027	1:14	0,4
25.03.2029	8:43	2	34	-1,3	96,8	14,4	29.03.2029	13:56	4,2
04.05.2031	11:26	2	40	-1,8	82,8	16,7	12.05.2031	4:50	7,7
27.06.2033	2:24	2	54	-2,5	63,3	21,8	05.07.2033	19:20	8,4
15.09.2035	20:33	2	80	-2,8	56,9	24,5	11.09.2035	15:21	-4,2

### PERIHEL- UND APHEL- OPPOSITIONEN

Wenn der Mars in Opposition zur Sonne gelangt, ist seine Entfernung zur Erde zwar gering, sie fällt aber je nach seiner Bahnposition trotzdem ganz unterschiedlich aus: Steht unser Nachbarplanet bei einer Opposition gleichzeitig im Perihel seiner Umlaufbahn, ist die Oppositionsdistanz mit 55,65 Millionen Kilometern am kleinsten. Befindet er sich dagegen während einer Opposition im Aphel, dann ist die Distanz mit 101,51 Millionen Kilometern viel größer. Die größte Entfernung von der Erde erreicht der Mars in Konjunktionsstellung mit der Sonne (vgl. Abb. links unten) und wenn er sich gleichzeitig im Aphel seiner Bahn befindet: 401,3 Millionen Kilometer. Die Tabelle oben listet die kommenden Marsoppositionen auf. In der vierten Spalte sind die Entfernungen von der Erde aufgeführt. Bei der nächsten Opposition am 27. Juli 2018 wird uns Mars bis auf 57,6 Millionen Kilometer nahekommen. Beim darauffolgenden Ereignis im Oktober 2020 ist er mit 62,1 Millionen Kilo-

metern bereits weiter weg. Und im Jahr 2027, wenn die Marsopposition nahe seinem Aphel stattfindet, sind es 101,4 Millionen Kilometer (vgl. Abb. S. 16). Danach werden die Oppositionsentfernungen wieder kleiner, bis im Jahr 2035, wieder in Perihelnähe, 56,9 Millionen Kilometer erreicht werden – eine Opposition vergleichbar mit der von 2018.

Oppositionen in der Nähe des Perihels finden in größeren Zeitabständen als der oben genannte Mittelwert statt, da sich Mars um das Perihel herum zügiger bewegt und die Erde so längere Zeit braucht, um ihn einzuholen. Um das Aphel herum bewegt sich Mars langsamer und die Erde kann ihn schneller einholen, die Oppositionen finden dort in kürzeren Zeitabständen statt. Man erkennt in der zweiten Tabellenspalte oben die unterschiedlichen Zeitspannen, mit denen die Oppositionen aufeinanderfolgen. Vergleicht man diese zeitlichen Abstände mit der Oppositionsdistanz von der Erde, so wird deutlich: je größer die Oppositionsentfernung, umso kürzer der Zeitraum zwischen zwei Oppositionen.



Die Marsoppositionen 2018 bis 2035

Nicht nur die Distanz bei Oppositionsstellungen variiert, die Oppositionen finden auch jeweils an unterschiedlichen Stellen des Himmels vor anderen Sternbildern statt. Die Erde überholt den Mars – wie bereits erwähnt – rund alle zwei Jahre und 50 Tage. Bei der darauffolgenden Opposition steht der Mars daher nicht wieder an derselben Stelle des Himmels, sondern hat sich rund 50 Tage lang in Richtung Osten weiterbewegt und steht nun vor einem anderen Sternbild. Da er sich dann auch an einem anderen Punkt seiner Umlaufbahn befindet, besitzt er eine andere Oppositionsentfernung von der Erde als zuvor. Aus der Grafik oben wird deutlich, dass Perihel-Oppositionen in unserem Sommer und Frühherbst stattfinden, Aphel-Oppositionen in unserem Spätwinter und Frühling, gültig für die Nordhalbkugel der Erde. Leider ist es so, dass in unseren Breiten die Ekliptik mit den Sternbildern Skorpion, Schlangenträger, Schütze und Steinbock in Sommernächten tief im Süden steht. Tagsüber steht sie mit der Sonne hoch am Himmel. Im Winter dagegen

erreicht die Ekliptik nachts mit den Sternbildern Stier, Zwillinge und Krebs einen hohen Stand, während sie tagsüber mit der Sonne nur geringe Horizonthöhen erreicht.

Für die Beobachtung von Mars, der sich ja stets in der Umgebung der Ekliptik aufhält, bedeutet dies: Bei Aphel-Oppositionen erreicht der Planet um Mitternacht große Höhen über dem Horizont. 2027 sind es im Sternbild Löwe 55 Grad, im Jahr 2025 im Sternbild Zwillinge sogar 65 Grad. Bei Perihel-Oppositionen dagegen durchläuft der Mars die bei uns tiefstehenden Regionen der Ekliptik. Hinzu addiert sich die oben beschriebene Neigung der Marsbahn gegen die Ekliptik, die den Planeten bei Perihel-Oppositionen noch südlicher als die tiefstehende Ekliptik platziert. Im Jahr 2018 wird Mars zur Opposition im Sternbild Steinbock rund sechs Grad südlicher als die Ekliptik stehen (vgl. die Abb. in den Umschlagklappen) und für einen Beobachtungsort auf 50 Grad nördlicher Breite (das ist etwa auf einer Linie Rheinland-Pfalz – Frankfurt/Main – Bayreuth) nur eine Horizonthöhe von 14 Grad erreichen. Bei der nachfolgenden Opposition im Oktober 2020 ist es schon günstiger: Mars steht dann im Sternbild Fische und erreicht um Mitternacht 45 Grad Höhe.

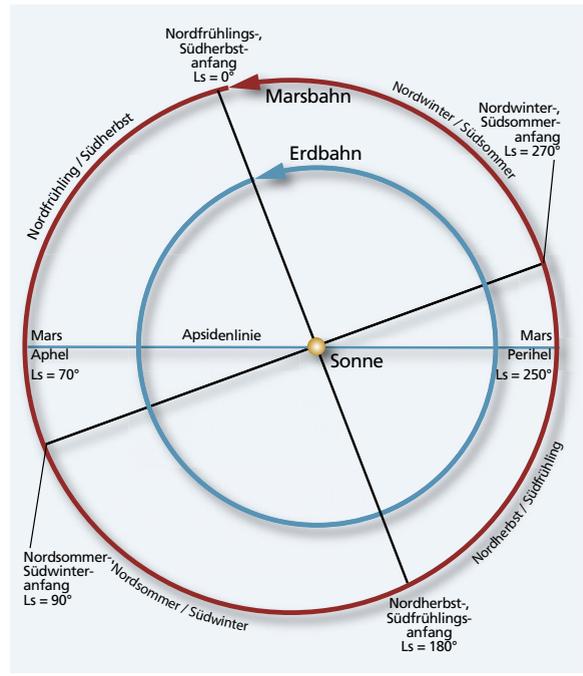
Perihel-Oppositionen sind aber gerade wegen der großen Marsnähe und dem damit verbundenen großen Winkeldurchmesser des Mars Scheibchens viel attraktiver als Aphel-Oppositionen. Wie aus der Tabelle Seite 15, fünfte Spalte, zu entnehmen ist, zeigt uns Mars zur Perihel-Opposition 2018 ein „großes“ Scheibchen von 24,3 Bogensekunden Winkeldurchmesser, zur Aphel-Opposition 2027 sind es dagegen nur 13,8 – das sind lediglich 57 Prozent des Durchmessers von 2018! Wer im Jahr 2018 zu ungünstige Beobachtungsbedingungen vorfindet oder Wetterpech hat, der hat im Jahr 2020 noch eine sehr gute Chance auf Mars: Der Rote Planet bietet uns dann ein Scheibchen von 22,3 Bogensekunden Größe bei einer maximalen Horizonthöhe von 45 Grad in unseren Breiten.

## JAHRESZEITEN AUF DEM MARS

Auch beim Mars steht die Rotationsachse nicht senkrecht auf seiner Umlaufbahn. Sie ist vielmehr um einen Winkel von 25,19 Grad geneigt, etwas mehr als bei der Erde (23,4 Grad). Das hat natürlich Konsequenzen: Der Himmelsäquator des Mars bildet durch die Neigung der Polachse einen Winkel mit der scheinbaren Sonnenbahn am Marshimmel (diese ist ja nur ein Spiegel seiner Umlaufbahn um die Sonne). Diese beiden Großkreise schneiden sich in zwei gegenüberliegenden Punkten, dem Frühlingspunkt und dem Herbstpunkt. Die Bezeichnungen sind analog denen auf der Erde, denn auch der Mars zeigt aufgrund der Neigung seiner Polachse Jahreszeiten.

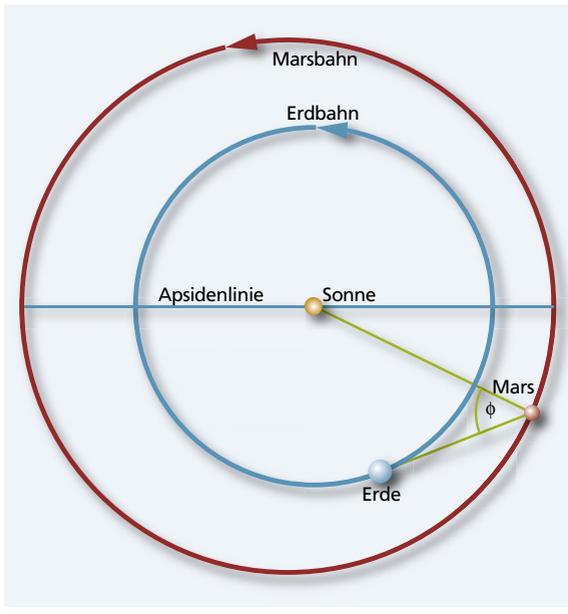
Im Frühlingspunkt steht die Sonne exakt auf dem Himmelsäquator und senkrecht über dem Marsäquator. Es herrscht Tag und Nacht gleich, der Frühling beginnt. Während der Mars auf seiner Bahn weiter um die Sonne läuft, wandert die Sonne auf ihrer scheinbaren Bahn am Marshimmel und erreicht ihren Höchststand über dem Himmelsäquator – es ist Sommeranfang, Sommersonnenwende. Im weiteren Umlauf verringert die Sonne ihre Höhe wieder über dem Äquator, schneidet ihn im Herbstpunkt (Herbstanfang, Herbsttag und Nacht gleich) und tritt ins Winterhalbjahr ein – alles wie bei der Erde.

Der Winkel, den die Sonne entlang ihrer scheinbaren Bahn am Marshimmel mit dem Frühlingspunkt bildet, wird „solare Länge“ (Ls) genannt. Der Frühlingspunkt hat die solare Länge Null, Frühlingsanfang ist somit durch die Position der Sonne bei  $Ls = 0^\circ$  definiert. Der Sommeranfang liegt bei  $Ls = 90^\circ$ , der Herbstanfang bei  $Ls = 180^\circ$  und der Winteranfang bei  $Ls = 270^\circ$ . Wie bei der Erde sind so die Anfänge der Jahreszeiten für die Nordhalbkugel des Mars festgelegt. Auf der Südhalbkugel ist Winteranfang, wenn auf der Nordhalbkugel der Sommer beginnt. Beim nördlichen Sommeranfang ist der Nordpol des Mars zur Sonne geneigt, beim Südsommerbeginn der Südpol. In der Abbildung



*Jahreszeiten, solare Länge Ls und Apsiden der Marsbahn*

oben sind die Anfänge der Jahreszeiten mit ihren solaren Längen relativ zur Apsidenlinie dargestellt. Man erkennt, dass Mars sein Perihel bei  $Ls = 250^\circ$  erreicht, das ist gegen Ende des Frühlings auf der Südhalbkugel, kurz vor Beginn des Südsommers bei  $Ls = 270^\circ$ . Dadurch ist bei Oppositionen, die in Perihelnähe stattfinden, stets der Südpol des Mars zur Sonne und (wegen der Oppositionsstellung) auch zur Erde geneigt. Bei Aphel-Oppositionen schauen wir auf den Nordpol des Mars. Wegen der Exzentrizität der Marsbahn gibt es deutliche Unterschiede in der Länge der Jahreszeiten. So dauert der Frühling auf der Nordhalbkugel 198,6 Tage, der Sommer 183,5, der Herbst 146,7 und der Winter 158,0 Tage. Der Unterschied zwischen einem Viertelmarsjahr und der Nordfrühlingsdauer beträgt 15,8 Prozent. Auf der Erde mit ihrer kreisähnlicheren Umlaufbahn sind es nur 2,5 Prozent. Der Sommer auf der Südhalbkugel des Mars ist also deutlich kürzer als der Sommer auf der Nordhalbkugel. Im Herbst und Winter der jeweiligen Hemisphäre wächst die entsprechende Pol-



Definition des Phasenwinkels von Mars

kappe, im Spätfrühling und Sommer schmilzt sie wieder ab. Dieser Vorgang kann in den beiden Hemisphären unterschiedlich stark verlaufen.

### DIE PHASENGESTALTEN

Nicht immer erscheint Mars am Himmel als kreisrundes Scheibchen. Der Planet zeigt zuweilen eine Phasengestalt, die besonders vor und nach der Oppositionszeit in Erscheinung tritt. Die Abbildung oben verdeutlicht dabei die Definition des sogenannten Phasenwinkels  $\phi$ . Er wird von Sonne, Mars und Erde aufgespannt oder anders formuliert: Vom Mars aus gesehen ist die Erde um den Winkel  $\phi$  von der Sonne entfernt, er stellt – analog zur Elongation der inneren Planeten Merkur und Venus von der Erde aus gesehen – die „Elongation“ der Erde vom Mars aus dar.

Die Grafik verdeutlicht, dass wir bei großen Phasenwinkeln (in diesem Fall vor der Opposition) nicht von der Sonne aus zum Mars schauen (das ist nur zur Opposition der Fall), sondern etwas von der Seite. Dadurch ist – in der Grafik am rechten Marsrand – ein kleiner Teil der Nachtseite des Mars der Erde zugewandt.

Das Marsscheibchen erscheint nicht kreisrund, sondern wie eine aufrecht stehende Ellipse. Oben ist die nördliche, unten die südliche Polkappe zu erkennen, links der östliche Marsrand (der Marshorizont), rechts (westlich) jedoch nicht der Horizont, sondern die Tag-Nacht-Grenze – der Terminator also, an dem auf dem Mars die Sonne untergeht. Noch etwas weiter westlich befindet sich ein Stück der unsichtbaren Nachtseite von Mars (vgl. Abb. rechte Seite oben). Die Phasengestalt kann auch beschrieben werden durch den prozentualen Anteil des Marsscheibchens, der von der Sonne beleuchtet wird. Bei maximalem Phasenwinkel ist der Effekt am größten und der beleuchtete Teil des Marsscheibchens am kleinsten. Entfernt sich die Erde nach der Opposition wieder vom Mars, so erblicken wir durch den Phaseneffekt den östlichen Terminator, an dem auf dem Mars die Sonne aufgeht.

Der obere Teil der Grafik auf der rechten Seite zeigt, wie sich während der Oppositionszeit 2018 der Phasenwinkel ändert: Zu Jahresbeginn 2018 beträgt er 30 Grad, steigt bis zum 13. April bis auf knapp 41 Grad an und fällt dann bis zur Opposition am 27. Juli auf 4,7 Grad ab. Entfernt sich die Erde wieder vom Mars, klettert der Phasenwinkel auf 44 Grad am 16. November, um danach erneut abzufallen. Im unteren Teil der Abbildung ist dargestellt, wie sich der beleuchtete Anteil von Mars entsprechend mit der Zeit verändert. Um den 13. April herum ist der Phaseneffekt während der Annäherung der Erde an den Mars am stärksten, der beleuchtete Anteil beträgt nur 87,8 Prozent. Zur Opposition ist der Effekt minimal, das Marsscheibchen ist zu 99,8 Prozent rund. Er ist nicht genau gleich Null, weil der Mars nicht exakt auf der Ekliptik steht, sondern 6,5 Grad südlich davon. Seine Elongation von der Sonne beträgt also nicht genau 180 Grad, sondern nur 173,5 Grad. Entfernt sich die Erde wieder vom Mars, sinkt der Beleuchtungsgrad bis Mitte November auf 85,8 Prozent, um danach wieder langsam anzusteigen.