

Astronomie und Astrophysik

Der Planet Merkur

**von
Andreas Schwarz**



Stand: 24.04.2016

0.0 Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	3
2. Die Rotation des Merkur und die Oberflächentemperaturen.....	3
3. Die Oberfläche des Merkur.....	4
4. Die Atmosphäre des Merkur.....	5
5. Der innere Aufbau des Merkur.....	6
6. Der Merkurdurchgang bzw. Merkurtransit vor der Sonne.....	7
7. Extra-Kapitel: Die Perihel-Drehung der Merkurbahn.....	8
8. Schlusswort.....	10
9. Literatur- und Bilderverzeichnis.....	10

1. Einleitung

Der Merkur ist der innerste und kleinste Planet im Sonnensystem. Er umkreist die Sonne in 88 Tagen. Seine mittlere Entfernung von ihr beträgt 57.910.000 Kilometer. Aufgrund seiner hohen Bahn-Exzentrizität schwankt diese Entfernung zwischen rund 46 Millionen und 70 Millionen Kilometer. Auch die Bahnneigung gegen die Ekliptikebene ist mit 7° relativ hoch und die höchste im Sonnensystem. Auf den ersten Blick scheint der Merkur dem Mond zu ähneln. Die Planetenoberfläche ist wie der Mond von Kratern übersät und besteht aus einem rauen, porösen, dunklen Gestein. Der innere Aufbau ähnelt jedoch mehr der Erde. Über Monde verfügt der Merkur nicht. Von der Erde aus sind jedoch aufgrund der großen Nähe zur Sonne nur wenige Einzelheiten zu erkennen, so dass erst durch die Entsendung von Raumsonden wesentliche Erkenntnisse über den Merkur gewonnen werden konnten.



Bild 1: Der Merkur

Der Durchmesser des Merkurs liegt bei 4.878 Kilometern und seine Masse beträgt 0,055 (1/18) Erdmassen. Daraus ergibt sich eine mittlere Dichte von $5,4 \text{ g/cm}^3$. Zum Vergleich: Die Erde hat eine Dichte von rund $5,62 \text{ g/cm}^3$ und der Mond eine von $3,34 \text{ g/cm}^3$. Die hohe Dichte lässt darauf schließen, dass der Merkur hauptsächlich aus Metallen besteht. So hat der Merkur einen relativ großen Kern aus Eisen und Nickel, der einen Durchmesser von 3.500 Kilometern hat und 60 Prozent seiner Masse ausmacht.



Bild 2: Größenvergleich Erde/Mond/Merkur

2. Die Rotation des Merkurs und die Oberflächentemperaturen

Die Rotation des Merkurs wurde bis zum Jahr 1965 nicht richtig bestimmt. Zum Teil gingen die Wissenschaftler wie beim Mond von einer gebundenen Rotation aus. D.h. der Merkur richtet der Sonne immer die gleiche Oberflächenseite zu. Doch Radarmessungen zeigten, dass der Merkur in 58,85 Tagen um seine Achse kreist. Das sind genau zwei Drittel der Umlaufzeit des Merkurs um die Sonne, welche wie oben angeben 88 Tage beträgt. Diese Synchronisation von Umlaufzeit und Rotation ist kein Zufall, sondern wird aufgrund der Gezeitenwirkung der Sonne verursacht.

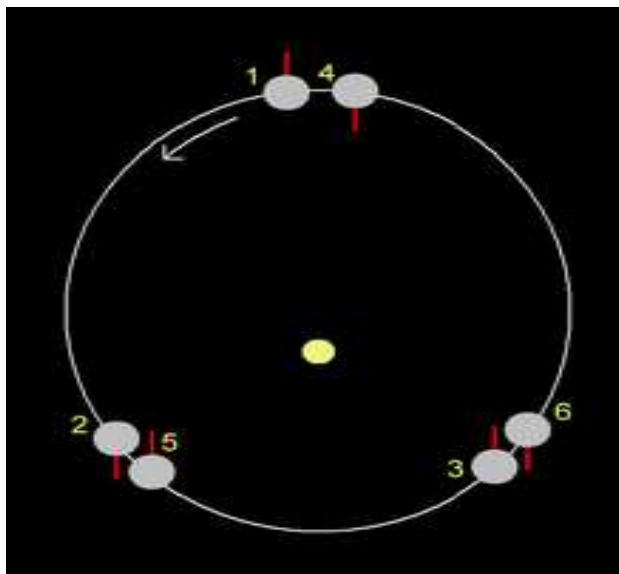


Bild 3: Verhältnis Umlaufperiode/Rotationsperiode des Merkurs

Bei der Radarmessung der Rotationsperiode wurde mit dem Doppler-Effekt gearbeitet, der wie im optischen Bereich auch bei Radar- bzw. Radiostrahlung auftritt. Die eine Seite des Merkur rotiert auf die Erde zu, die andere von der Erde weg. Die Radarstrahlen werden von der Merkur Oberfläche reflektiert. Dabei werden sie von der sich auf die Erde zu bewegend Seite gestaucht bzw. sind kurzwelliger. Im Falle der sich von der Erde wegbewegenden Seite ist es genau umgekehrt. Das Radarsignal ist im Ergebnis charakteristisch verbreitert und daraus kann auf die Rotationsgeschwindigkeit geschlossen werden. Das Verhältnis von Umlaufzeit und Rotationsperiode führt dazu, dass der Sonnentag auf dem Merkur 176 Tage bzw. zwei Umlaufperioden des Merkurs um die Sonne lang ist. Da eine nennenswerte Atmosphäre auf dem Merkur fehlt, schwanken die Temperaturen zwischen etwa $+427^{\circ}$ Celsius auf der Tagseite und -173° Celsius auf der Nachtseite.

3. Die Oberfläche des Merkur

Einzelheiten über die Merkur Oberfläche brachten erst die Raumfahrtmissionen zutage. Im Jahre 1974 erreichte als erste Raumsonde Mariner 10 den Merkur. Die US-Raumsonde flog in den Jahren 1974/75 insgesamt dreimal am Merkur vorbei. Dabei wurden Bilder mit einer Auflösung von etwa 150 Metern gemacht und zur Erde gesendet. Auf den Bildern zeigte die Merkur Oberfläche eine große Ähnlichkeit mit der Mondoberfläche. Es gibt auf dem Merkur wie auf dem Mond große Krater und Ringgebirge mit Zentralbergen. Des Weiteren gibt es Strahlensysteme und Becken (Maria). Am auffälligsten ist das Caloris-Becken, welches eine Größe von 1.300 Kilometern hat. Insgesamt sind jedoch die Becken auf dem Merkur kleiner als die Maria auf dem Mond. Von ihrer Struktur her ähneln die Becken auf dem Merkur den Maria auf dem Mond. Es gibt wie beim Mond auch Anzeichen von Überflutungen mit Lava. Die großen Becken dürften wie die Maria auf dem Mond von großen Impakten aus der Anfangszeit des Sonnensystems herrühren. In diesem Entwicklungsstadium war der Mondmantel bzw. der Merkurmantel noch flüssig, so dass ihre Böden anschließend von aufsteigendem Magma geflutet wurden. Heute zeigt der Merkur keine tektonische Aktivität mehr. Es gibt jedoch Furchen, die durch leichte Kompression der Kruste entstanden sein könnten. Die Schwerkraft auf der Merkur Oberfläche ist etwa doppelt so groß wie die auf der Mondoberfläche. In Folge wird das aus einem primären Einschlagkrater ausgeworfenen Material auf dem Merkur auf einer kleineren Fläche verteilt als auf dem Mond. So werden im Vergleich zum Mond auf dem Merkur nur 1/6 der Fläche bedeckt. Somit liegen die sekundären Krater näher an den primären Kratern. Im Jahre 1992 wurden auf dem Merkur Anzeichen von Eis unter der Oberfläche entdeckt, die sich durch erhöhte Radarreflexionen an den Polen bemerkbar machten. In der Einleitung wurde bereits erwähnt, dass der Merkur einen relativ großen Kern hat. Damit ist seine Kruste relativ klein. Dies dürfte an den vielen Impakten in der Anfangszeit des Sonnensystems gelegen haben. Die Impaktereignisse waren bei den inneren Planeten Merkur und Venus höher als bei der Erde. In Folge wurde ein Großteil der Kruste weggeschleudert.



Bild 4: Die Oberfläche des Merkurs

Im Jahr 2011 erreichte die US-Raumsonde MESSENGER den Merkur und wurde durch ein Bremsmanöver in eine Umlaufbahn um den Planeten gebracht. Dort arbeitete die Sonde bis zum Jahr 2015. Die Bahn der Sonde lag zwischen 200 und 15.000 Kilometer Entfernung vom Merkur. Während Mariner 10 etwa 75 Prozent der Merkur Oberfläche bei ihren drei Vorbeiflügen erfasste, konnte mit MESSENGER die ganze Oberfläche systematisch untersucht werden. Die Farbaufnahmen des Planeten wurden mit dem „Mercury Dual Imaging System“ („MDIS“) gewonnen. Die Kamera arbeitet im optischen und im nahen infraroten Bereich. Zur Suche nach Elementen wie Wasserstoff (H), Sauerstoff (O), Silizium (Si) und Schwefel (S) wurde das „Gamma Ray and Neutron Spectrometer“ („GRNS“) verwendet. Aufgrund der großen Nähe des Merkurs zur Sonne wurde erwartet, dass kaum leichte Elemente vorhanden sein sollten. Gefunden wurden Schwefel und andere Elemente.

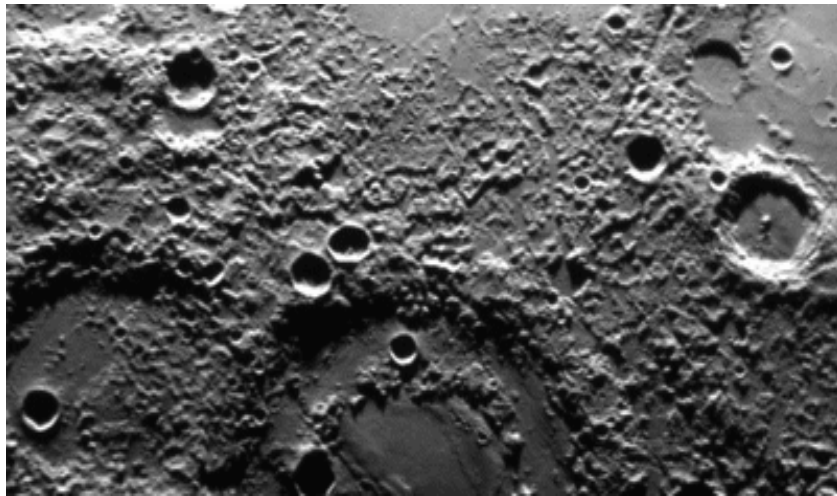


Bild 5: Die Oberfläche des Merkurs

4. Die Atmosphäre des Merkur

Eine dichte Atmosphäre hat der Merkur nicht. Aufgrund der großen Nähe zur Sonne und der geringen Masse des Planeten kann keine nennenswerte Atmosphäre gehalten werden. Jedoch ist eine sehr dünne Hülle aus Wasserstoff und Helium (He) vorhanden. Das Magnetfeld des Merkurs, auf das im nächsten Kapitel eingegangen wird, fängt Wasserstoff- und Heliumkerne aus dem Sonnenwind ein. Ohne den ständigen Nachschub aus dem Sonnenwind könnte der Merkur die Atmosphäre aus Wasserstoff und Helium nicht halten. Im Jahr 1985 wurde außerdem eine extrem dünne Natriumatmosphäre nachgewiesen. Diese erzeugt wiederum eine Exosphäre, welche auf der sonnenabgewandten Seite des Merkurs wie der Schweif eines Kometen ausgeprägt ist. Wie beim Kometenschweif sind hierfür die Teilchen des Sonnenwindes verantwortlich. Hinzu kommt noch der Einfluss von Mikrometeoriten. Weitere Bestandteile der Atmosphäre sind unter anderem Sauerstoff und Kalium.

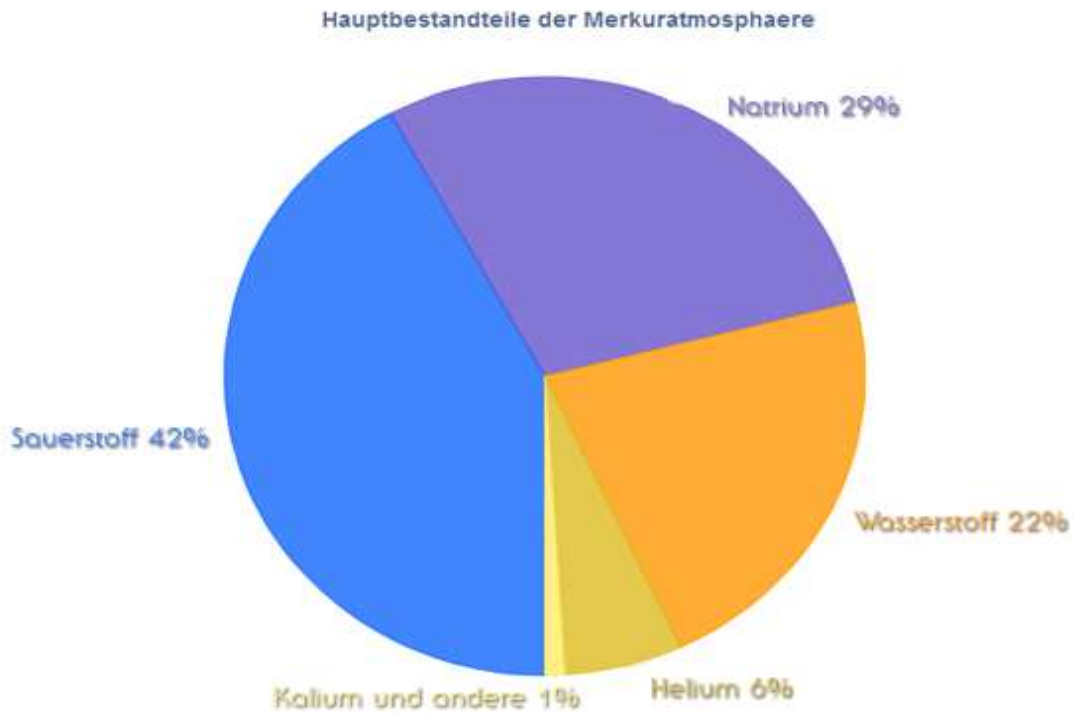


Bild 6: Die Zusammensetzung der Merkuratmosphäre

5. Der innere Aufbau des Merkur

Die Kruste des Merkurs ist etwa 700 km dick. Daran schließt sich der Eisen-Nickel-Kern an, welcher einen Durchmesser von 3.500 km hat und 60 Prozent der Masse des Merkurs ausmacht.

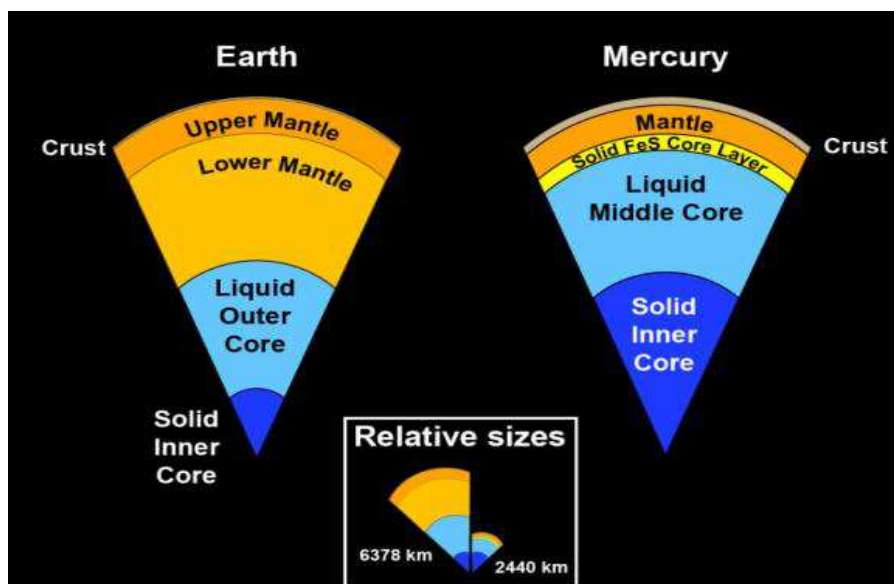


Bild 7: Vergleich des inneren Aufbaus der Erde mit dem des Merkurs

Auf die Entstehungsursachen dieses großen Kerns bei einer relativ kleinen Kruste wird bereits in der Einleitung eingegangen. Teilweise muss dieser Kern flüssig sein, was einen Dynamo-Effekt zur Folge hat. Dieser erzeugt wiederum ein Magnetfeld, dessen Feldstärke zwischen 0,0035 und 0,007 Gauß liegt. Die Feldstärke des Magnetfeldes beträgt zwar nur ein Prozent des Erdmagnetfeldes, doch ist dieses wesentlich stärker als die Magnetfelder von Venus und Mars. Auf der Sonnenseite des Merkurs wird das Feld durch den Sonnenwind gestaucht.

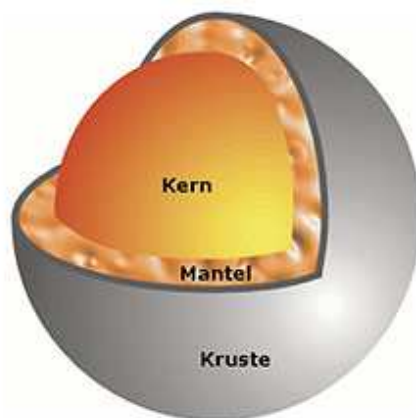


Bild 8: Der innere Aufbau des Merkurs

6. Der Merkurdurchgang bzw. Merkurtransit vor der Sonne

Der Planet Merkur bewegt sich weit innerhalb der Erdbahn um die Sonne. Dabei bewegt er sich mit 88 Tagen schneller um die Sonne als die Erde mit 365,25 Tagen. Mit Berücksichtigung der Erdbewegung dauert es jeweils 116 Tage, bis der Merkur die Erde wieder einmal überholt. In diesem Moment steht der Merkur zwischen Erde und Sonne, was als untere Konjunktion bezeichnet wird. Wenn die Sonne zwischen Erde und Merkur steht, also der Merkur von der Erde aus gesehen hinter der Sonne steht, wird von einer oberen Konjunktion gesprochen. Aufgrund der Neigung der Bahn des Merkurs gegen über der Ekliptikebene von 7° zieht der Merkur in der Regel oberhalb oder unterhalb an der Sonne vorbei. Wenn jedoch der Merkur in der Nähe der Schnittpunkte von seiner Bahn mit der Ekliptikebene (Knoten) steht, zieht der Merkur vor der Sonnenscheibe vorüber. Dieser Vorgang wird Merkurtransit genannt.

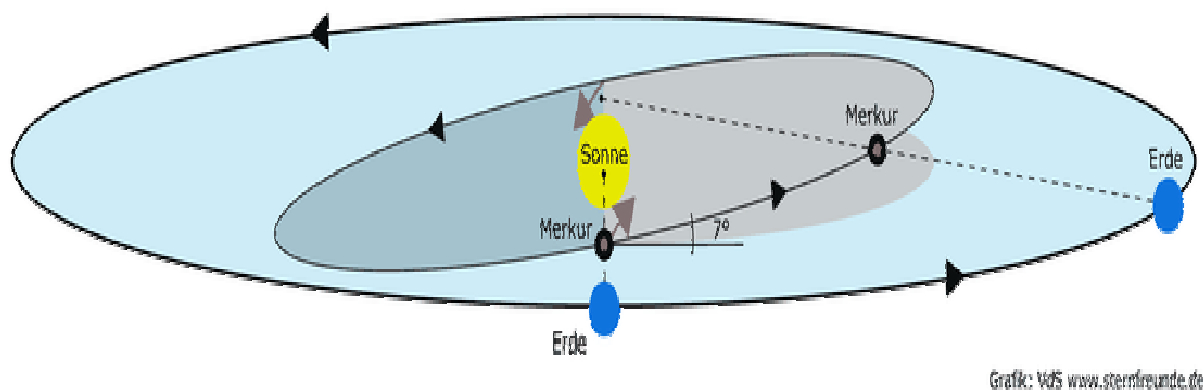


Bild 9: Bahnebenen von Merkur und Erde

Hier verhält es sich zunächst analog wie beim Mond. Die Mondbahn ist gegenüber der Ekliptikebene um $5,2^\circ$ geneigt. Der Merkurtransit ist mit einer Sonnenfinsternis vergleichbar, nur das die Merkurscheibe viel zu klein ist um die Sonnenscheibe vollständig zu verdecken. Der Merkur bedeckt nur etwa 0,004 Prozent der Sonnenoberfläche. Allerdings kommt eine Sonnenfinsternis nur dann vor, wenn der Merkur in der Nähe seiner Bahnknoten steht. In diesem Fall schiebt sich der Merkur vor die Sonne. Ansonsten zieht der Merkur oberhalb oder unterhalb der Sonnenscheibe vorbei.

Ein Merkurtransit tritt unregelmäßig alle 3,5 bis 13 Jahre auf. Zum Vergleich: Eine totale Mond- oder Sonnenfinsternis tritt alle 17 bzw. 18 Monate auf. Von der Erde aus gesehen stehen die Bahnknoten des Merkurs am 09. Mai und am 11. November vor der Sonnenscheibe. Aus diesem Grunde beschränken sich die Zeiträume für einen möglichen Merkurtransit jeweils zwischen den 06. und 11. Mai und zwischen den 06. und 15. November. Entsprechende Transits des Merkurs vor der Sonnenscheibe finden immer dann statt, wenn sich der Merkur in diesen Zeiträumen im Bereich des Bahnknoten befindet. Wegen der hohen Bahnexzentrizität des Merkurs, d.h. eine stark elliptische Bahnform, sind die Transits im November doppelt so häufig wie im Mai. Nach dem 09. Mai 2016 wird der nächste von Mitteleuropa aus fast vollständige sichtbare Transit des Merkurs am 13. November 2032 stattfinden. Die nächsten vollständig von Mitteleuropa aus sichtbaren Merkurtransits werden am 07. November 2039 und 07. Mai 2049 stattfinden.

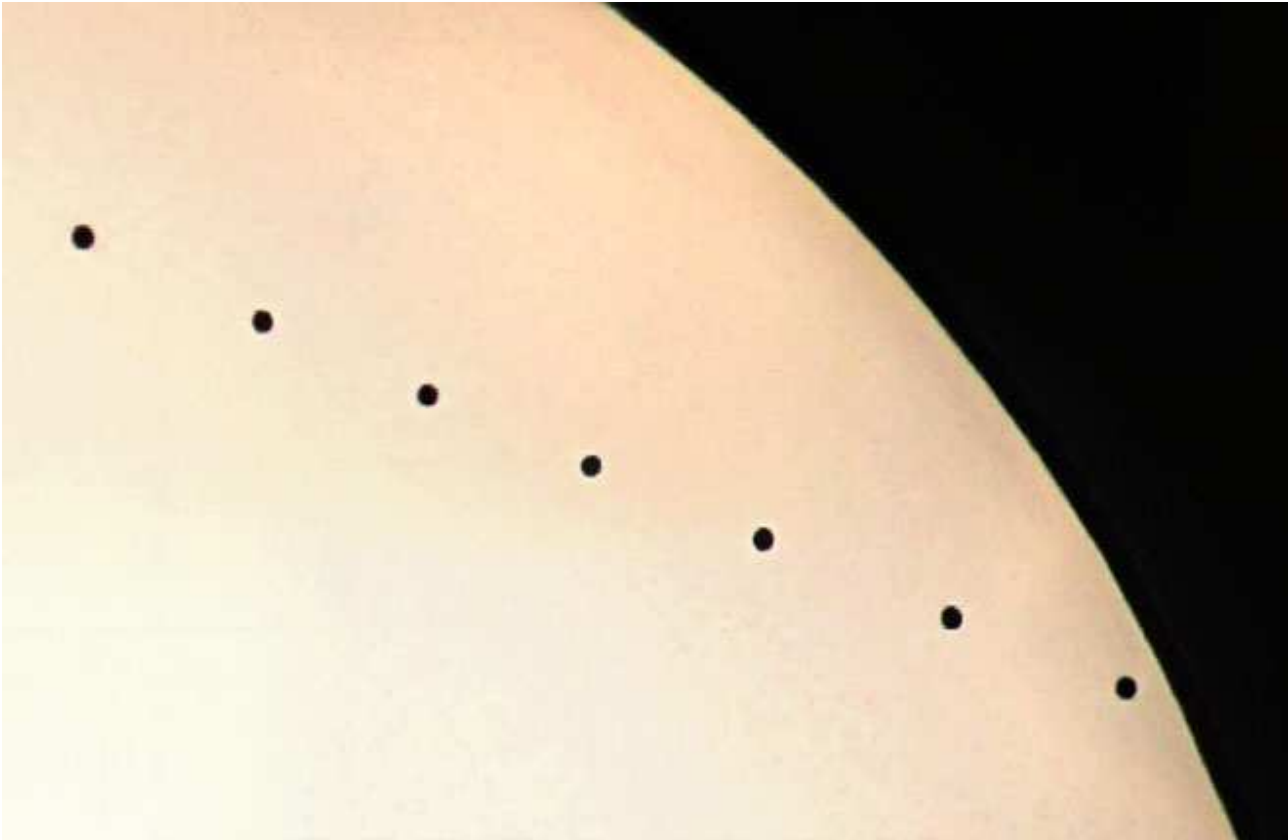


Bild 10: Der Merkurtransit vor der Sonnenscheibe / Reihenaufnahme vom 07. Mai 2003

7. Extra-Kapitel: Die Perihel-Drehung der Merkurbahn

Das System Sonne – Merkur ist kein reines Zweikörperproblem. Auch der Einfluss der anderen Planeten des Sonnensystems muss berücksichtigt werden. Dieser Einfluss führt dazu, dass die Apsidenlinie der Merkurbahn eine langsame rechtläufige Drehung in der Bahnebene ausführt. Die Apsidenlinie ist die Verbindungslinie zwischen sonnennächstem und sonnenfernstem Bahnpunkt des Merkurs. Bereits in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts konnte der Wert für die Perihel-Drehung der Merkurbahn (Perihel: sonnennächster Bahnpunkt) relativ genau auf 5,74 Bogensekunden pro Jahr bestimmt werden. Aus der Newtonschen Mechanik ergab sich allerdings nur ein Wert von 5,32 Bogensekunden pro Jahr. Die Differenz von 0,43 Bogensekunden pro Jahr konnte zunächst nicht geklärt werden. Es wurde ein weiterer Planet innerhalb der Merkurbahn vermutet, welcher Vulkan getauft wurde. Entdeckt wurde ein weiterer Planet innerhalb der Merkurbahn allerdings nicht. Erst die Allgemeine Relativitätstheorie von Albert Einstein aus dem Jahr 1915 konnte die beobachtbare Differenz erklären. Zunächst bewirkt der relativistische Massenzuwachs einen zusätzlichen Beitrag. Statt der Ruhemasse der Sonne M_0 muss die Impulsmasse M der Sonne berücksichtigt werden:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Formel 1: Der relativistische Massenzuwachs

Ein weiterer Beitrag kommt vom Gravitationsfeld der Sonne. Dieses Gravitationsfeld entspricht einer Energiedichte und diese ist gemäß $E = mc^2$ auch eine Massendichte. Diese Massendichte trägt im Ergebnis ebenfalls zur Perihel-Drehung bei. Der Betrag der Perihel-Drehung ist nach der Allgemeinen Relativitätstheorie:

$$\Delta\varphi = 3 \cdot \pi \cdot \frac{R_s}{a \cdot (1 - \varepsilon^2)}$$

Formel 2: Die Perihel-Drehung des Merkurs

$\Delta\varphi$ ist der Wert für die zusätzliche Perihel-Drehung der Merkurbahn. Dieser ergibt sich aus dem Schwarzschildradius der Sonne R_s , der großen Halbachse der Merkurbahn a und der Exzentrizität der Merkurbahn ε . Der Schwarzschildradius ergibt sich wiederum aus:

$$R_s = 2GM/c^2$$

Formel 3: Der Schwarzschildradius

G ist die Gravitationskonstante ($G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3/\text{kg} \cdot \text{s}^2$), M die Masse der Sonne ($M = 1,99 \cdot 10^{30} \text{ kg}$) und c die Lichtgeschwindigkeit ($c = 299.792.458 \text{ m/s}$). Die Effekte, welche durch die Masse der Sonne verursacht werden, nehmen mit steigendem Abstand von dieser ab. Entsprechend nimmt auch der relativistisch bedingte Effekt der Perihel-Drehung der Merkurbahn mit steigenden a ab. Allerdings ist der Effekt umso größer, je elliptischer die Bahn bzw. umso größer die Bahn-Exzentrizität ist. Nach der Allgemeinen Relativitätstheorie bewegen sich Planeten nicht in Ellipsenbahnen um die Sonne, wie nach der Newtonschen Gravitationstheorie, sondern in Rosettenbahnen.

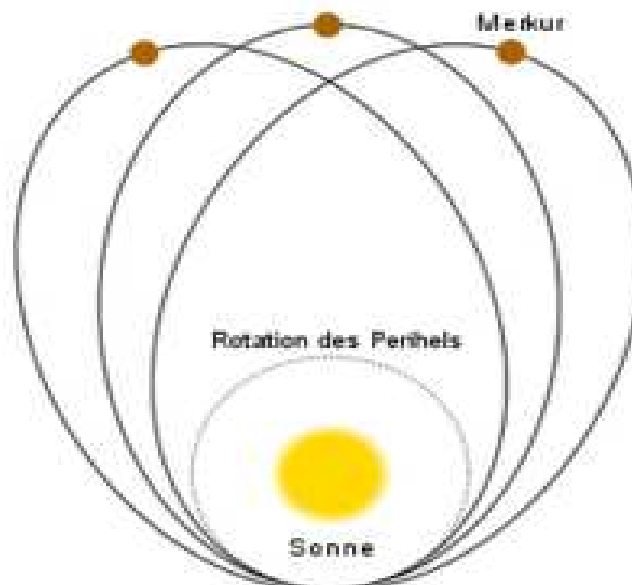


Bild 11: Die Perihel-Drehung der Merkurbahn

8. Schlusswort

Der Merkur ist ein durchaus interessanter Planet. Seine Erforschung wird uns unter anderem auch Erkenntnisse über die Entstehung des Sonnensystems liefern. Die nächsten Raumfahrtmissionen zum Merkur werden bereits geplant. So wollen die europäische Raumfahrtorganisation ESA und die japanische Raumfahrtbehörde JAXA die sonnennächsten Planeten Merkur und Venus erforschen. Unter anderem soll die Raumsonde BepiColombo, welche aus zwei Orbitern besteht, den Merkur erforschen. Der Start der Mission ist für Anfang 2017 vorgesehen und soll bis zum Jahr 2024 dauern. Wir werden wohl noch einiges Interessantes im Zusammenhang mit dem Merkur entdecken. Diese Literaturrecherche fasst das grundlegende derzeitige Wissen über den Merkur zusammen und erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Die verwendete Literatur ist im Literaturverzeichnis aufgeführt. Stefan Antheck danke ich sehr für das Korrekturlesen dieser Abhandlung!

9. Literatur- und Bilderverzeichnis

Folgende Literatur und Informationsquellen fanden bei der Erstellung dieser Abhandlung Verwendung:

- 1) Arnold Hanslmeier, Einführung in die Astronomie und Astrophysik, 2013.
- 2) A. Weigert, H.J. Wendker, L. Wisotzki, Astronomie und Astrophysik, 2009.
- 3) Rudolf Kippenhahn, Unheimliche Welten, 1987.
- 4) Hannelore und Roman Sexl, Weiße Zwerge – Schwarze Löcher, 1979.
- 5) Joachim Herrmann, Astronomie, 1981/1988.
- 6) <http://www.merkurtransit.de/> abgerufen am 24.04.2016.

Bilderverzeichnis:

Titel-Bild: <http://www.natureworld.ch/astronomie/>

Bild 1: [https://de.wikipedia.org/wiki/Merkur_\(Planet\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Merkur_(Planet))

Bild 2: <http://lexikon.astronomie.info/merkur>

Bild 3: [https://de.wikipedia.org/wiki/Merkur_\(Planet\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Merkur_(Planet))

Bild 4: http://astro.goblack.de/Theorie/Planeten/t_Merkur.htm

Bild 5: <http://www.biologie-schule.de/merkur.php>

Bild 6: <https://astrokramkiste.de/>

Bild 7: <http://www.astropage.eu/>

Bild 8: <http://www.scinexx.de/>

Bild 9: <http://vds-astro.de/>

Bild 10: <http://www.astrophoto.de/Merkurtransit.html>

Bild 11: <http://www.astrophoto.de/Merkurtransit.html>