

Astronomie und Astrophysik

Der Planet Venus

von

Andreas Schwarz



Stand: 28.10.2016

0.0 Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung.....	3
2 Die Rotation der Venus und die Oberflächentemperaturen.....	4
3 Die Oberfläche der Venus.....	5
4 Die Atmosphäre der Venus	8
5 Der innere Aufbau der Venus.....	9
6 Die Bahnbewegung der Venus.....	11
7 Raumfahrtmissionen zur Venus.....	13
8 Schlusswort.....	15
9 Literatur- und Bilderverzeichnis.....	16

1 Einleitung

Die Venus ist von vergleichbarer Größe wie die Erde und hat einen Durchmesser von 12.104 km. Die Masse der Venus beträgt 0,81 Erdmassen und ihre mittlere Dichte hat einen Wert von $5,24 \text{ g/cm}^3$, was ebenfalls vergleichbar mit den entsprechenden Werten für die Erde (Masse = eine Erdmasse, Dichte = $5,62 \text{ g/cm}^3$) ist. Am irdischen Himmel erscheint sie uns als Abend- oder Morgenstern. Mit einer scheinbaren Helligkeit von $-4^m,4$ ist die Venus dort nach der Sonne und dem Mond das hellste Objekt. Ebenso wie der innere Planet Merkur und der irdische Mond zeigt die Venus Phasen. Aufgrund einer dichten Atmosphäre, die im optischen Licht weitgehend strukturlos erscheint, weichen die Venusphasen in ihrem Aussehen etwas von den scharf begrenzten Mondphasen ab. Der Mond verfügt ebenso wie der Merkur über keine nennenswerte Atmosphäre.

Die mittlere Entfernung der Venus von der Sonne beträgt rund 107,9 Millionen Kilometer. Die Bahn der Venus ist weitgehend kreisförmig, d.h. ihre Bahn-Exzentrizität ist mit einem Wert von 0,007 gering, so dass ihre Entfernung zur Sonne zwischen rund 107,6 Millionen und 108,2 Millionen Kilometer schwankt. Auch die Bahnneigung gegen die Ekliptikebene ist mit 3° relativ gering. Die Venus kommt mit einem möglichen Minimalabstand zur Erde von rund 42 Millionen Kilometern der Erde am nächsten von allen Planeten. Der Minimalabstand von Erde und Mars beträgt etwa 55 Millionen Kilometern.

Lange Zeit war unklar, was unter der dichten Wolkendecke der Venus verborgen war. Die Annahmen reichten von einem Wüstenplaneten über eine feucht-warme sumpfige Landschaft mit Pflanzen oder auch Tieren bis hin zu einem Planeten, der vollständig von einem Ozean aus Wasser bedeckt ist. Auch die Dauer der Rotation des Planeten um seine eigene Achse konnte aufgrund der dichten Wolkendecke sehr lange nicht bestimmt werden. Die Annahmen reichten hier von wenigen Stunden bis zu der Dauer eines Umlaufs der Venus um die Sonne von 225 Tagen. Erst aufgrund von Radarmessungen und Raumfahrtmissionen konnten die Geheimnisse der Venus gelüftet werden. Etwa 70 Prozent der Oberfläche sind Ebenen mit wenig Niveauunterschieden. Bis zu 2.000 Meter tiefe Einsenkungen machen zirka 20 Prozent und kontinentartige Hochländer (Ishtar Terra, Aphrodite Terra) rund 10 Prozent der Venusoberfläche aus. Der Druck der zu rund 96 Prozent aus Kohlenstoffdioxid bestehenden Venusatmosphäre auf der Oberfläche des Planeten entspricht dem 90fachen des Erdatmosphärendruckes auf der irdischen Oberfläche ($92 \text{ bar} = 92.000 \text{ hPa}$). Aufgrund der dichten Wolkendecke gleicht die Tagesbeleuchtung auf der Venus einem stark bewölkten Tag auf der Erde. Allerdings streut die Venusatmosphäre sehr stark blaues Licht, so dass die Venusoberfläche in einem rötlichen Licht erscheint. Die Oberflächentemperatur auf der Venus beträgt zirka 480°C und kommt durch einen sogenannten Treibhauseffekt aufgrund der sehr dichten, weitgehend aus CO_2 bestehenden Atmosphäre zustande. Wegen der langsamen Rotation der Venus kommt es auch zu keinem Temperatursgleich.

Die Rotation konnte erst in den 60er Jahren durch Radarmessungen bestimmt werden und beträgt 243 Tage. Das ist länger als ein Venusjahr von 225 Tagen. Des Weiteren erfolgt die Rotation retrograd, also entgegengesetzt dem Rotationssinn aller anderen Planeten des Sonnensystems. Die langsame und retrograde Rotation könnte die Folge einer Kollision mit einem großen Objekt in der Vergangenheit der Venus gewesen sein. Des Weiteren könnten auch Resonanzeffekte aufgrund von Gezeitenwirkungen eine Rolle spielen. Die Rotationsachse der Venus hat definitionsgemäß eine Neigung von $177,36^\circ$ und steht praktisch auf dem Kopf.

Die Venus verfügt nur über einen sehr verschwindenden Anteil von Wasser. Dieser gleichmäßig verteilt auf der Venusoberfläche würde eine Dicke von 3 cm ergeben. Im Falle der Erde und ihrer Wassermengen wären dies 3 km. Der innere Aufbau der Venus ähnelt hingegen dem der Erde. Die Venus verfügt über einen Kern aus Eisen und Nickel, der von einem Mantel umgeben ist. Um den Mantel herum befindet sich wiederum eine Kruste aus Gestein. Aufgrund der langsamen Rotation der Venus kann sich in ihrem teilweise flüssigen Kern jedoch kein nennenswertes Magnetfeld herausbilden. So kommt es zu stärkeren Wechselwirkungen zwischen der Venusatmosphäre und der Kosmischen Strahlung, als es bei der Erde der Fall ist.

2 Die Rotation der Venus

Bis zum Jahr 1964 war die Rotationsdauer der Venus um ihre eigene Achse gänzlich unbekannt und Gegenstand von Spekulationen. Aufgrund ihrer dichten Atmosphäre blieb die Venusoberfläche einer Beobachtung unzugänglich. Doch konnte ohne diese Beobachtungsmöglichkeit, etwa von markanten Strukturen, keine Rotationsdauer bestimmt werden. Die Venus ist von ihrer Größe, Masse und Dichte her vergleichbar mit der Erde. Da lag der Schluss nah, dass auch ihre Rotation ähnlich sein und im Bereich von etwa 24 Stunden liegen könnte. Andere wiederum vermuteten, dass die Gezeitenwirkung durch die Sonne im Falle der Venus ausreichend stark sein könnte, um eine gebundene Rotation zu bewirken. D.h. die Venus würde in diesem Fall ebenso schnell rotieren wie sie für einen Umlauf um die Sonne benötigt, das wären 225 Tage. In diesem Fall würde die Venus der Sonne immer die gleiche Seite zuwenden. Das würde extreme Temperaturgegensätze bewirken, die ggf. durch die starken Winde ausgeglichen würden. Andere wiederum nahmen aufgrund von Strukturen in der Venusatmosphäre an, die Rotationsdauer der Venus bestimmen zu können. Die Spekulationen gingen so weit, dass angeblich durch die Venusatmosphäre Oberflächenstrukturen, etwa hohe Berggipfel, sichtbar wären, so dass auch Rotationsperioden zwischen den beiden Extremwerten von etwa 24 Stunden und 225 Tagen vermutet wurden. Die vermuteten Rotationsperioden zeigten Häufungen in fünf Bereichen:

1. eine der Erde ungefähr gleiche Periode,
2. eine Periode von mehreren Erdentagen,
3. eine Periode zwischen zwei und vier Wochen,
4. eine Periode länger als vier Wochen, jedoch kürzer als 225 Tage,
5. eine Periode gleich der siderischen Umlaufzeit der Venus um die Sonne von 225 Tagen.

Erst die Radioastronomie lieferte eine Klärung der Frage, da Radiostrahlung die Venusatmosphäre durchdringen kann. Konkret werden Radarmessungen zur Rotationsbestimmung durchgeführt. Mikrowellen-Strahlung wird durch ein Radioteleskop zur Venus geschickt und von dort zurück reflektiert. Aufgrund der Rotation des Planeten kommt es zu dem sogenannten Doppler-Effekt. Dort wo sich die Planetenoberfläche von uns wegbewegt werden die Wellen der Mikrowellen-Strahlung gestreckt bzw. die Abstände zwischen den einzelnen Wellenbergen und -tälern größer. Umgekehrt verhält es sich mit dem Teil der Planetenoberfläche, welcher sich auf uns zu bewegt. Dort werden die Wellen der Mikrowellen-Strahlung gestaucht bzw. die Abstände zwischen den einzelnen Wellenbergen und -tälern verringern sich. Im optischen Bereich ist dies als Rot- und Blauverschiebung bekannt. Im Mikrowellen-Bereich ist dies analog und kann gemessen werden. Aus den konkreten Messwerten für die Doppler-Verschiebung kann wiederum die Rotationsdauer des Planeten bestimmt werden. Erste Versuche, mit Radarmessungen die Rotation der Venus zu bestimmen, wurden mit noch nicht ausgereifter Technik ab dem Jahr 1961 durchgeführt. Diese ergaben bereits Werte zwischen 248 und 300 Tagen und damit Werte, welche über die Dauer der siderischen Umlaufzeit der Venus um die Sonne hinausgingen. Die erste erfolgreiche Bestimmung der Venusrotation, diesmal mit ausgereifter Technik, gelang im Jahr 1964 mit dem 300-Meter-Radioteleskop in Arecibo: Die Venus rotiert retrograd, also entgegengesetzt dem Rotationssinn aller anderen Planeten im Sonnensystem, einmal in rund 243 Tagen um ihre eigene Achse. Ihre Rotationsachse hat definitionsgemäß eine Neigung von $177,36^\circ$ und steht praktisch auf dem Kopf. Damit erwiesen sich alle Vermutungen für Rotationsperioden zwischen etwa 24 Stunden und 225 Tagen als falsch. Das Ergebnis war eine Überraschung. Auf der Venus geht die Sonne im Westen auf und im Osten unter, während sie auf allen anderen Planeten im Osten aufgeht und im Westen untergeht. Der Grund für die langsame und retrograde Rotation dürfte in einer Kollision der Venus mit einem größeren Objekt (Planetoiden) während der Bildungsphase des Sonnensystems gelegen haben. Des Weiteren gibt es gezeitenbedingte Resonanzeffekte. So zeigt die Venus während jeder oberen oder unteren Konjunktion (Venus der Erde gegenüber, entweder hinter oder vor der Sonne) der Erde immer dieselbe Seite.

3 Die Oberfläche der Venus

Die Oberfläche der Venus blieb bis zum Beginn des Einsatzes von Radartechnologie und Raumfahrt ebenso wie die Venusrotation völlig unbekannt, da die dichte Atmosphäre für optische Beobachtungen undurchdringlich ist. Die beobachtbaren Strukturen der Venusatmosphäre erlaubten keine Rückschlüsse auf die Oberflächenstrukturen der Venus. Im 18. und 19. Jahrhundert nahmen dennoch einzelne Beobachter an, Oberflächeneinzelheiten der Venus in bestimmten Fällen erkannt zu haben. So glaubten manche Beobachter unter bestimmten Umständen Berggipfel beobachtet zu haben, welche aus der dichten Wolkendecke der Venus herausragen würden. Diese Berge müssten dann allerdings einige 10 Kilometer hoch sein. Dem widersprachen wiederum andere, welche die Beobachtung nicht bestätigen konnten. Auch wurden immer wieder Deformationen des Terminators (Grenze zwischen der Tag- und Nachtseite bei den Venusphasen) als mögliche Oberflächenstrukturen interpretiert. Diese können zwar tatsächlich beobachtet werden, haben ihre Ursache jedoch in der Venusatmosphäre.



Bild 1: Oberflächenaufnahme von Venera 13 (Jahr 1982) / Foto: NASA History Office

Die Venusoberfläche blieb Gegenstand von Spekulationen bis in die späten fünfziger Jahre des 20. Jahrhunderts hinein, erst dann lieferten ersten Radarmessungen Ergebnisse. So sollte die Oberfläche der Venus nach einer Theorie von F. L. Whipple und D. H. Menzel aus einem Wasserozean bestehen. Die Wolken in der Venusatmosphäre sollten demnach aus Wasser bestehen. Als zusätzliches Indiz für diese Theorie wurde die überwiegend aus Kohlenstoffdioxid bestehende Atmosphäre der Venus herangezogen. Wären Kontinente vorhanden, dann würde sich das Kohlenstoffdioxid der Atmosphäre beim Vorhandensein von Wasser mit Silikaten zu Carbonaten verbinden. In diesem Fall hätte sich die Atmosphäre in ihrer beobachteten Zusammensetzung nicht halten können.

Der schwedische Physiker und Nobelpreisträger Svante Arrhenius ging davon aus, dass die Venusoberfläche eine feuchte und dampfige Welt sei. So solle es dort eine üppige Vegetation und vielleicht sogar andere Formen von primitivem Leben auf der Venusoberfläche geben. Nach dieser These würde der Zustand auf der Venus demjenigen auf der Erde vor rund 250 Millionen Jahren entsprechen.

Eine andere Theorie besagte, dass die Venus ein sehr staubiger und trockener Wüstenplanet sei. Die Oberflächentemperatur auf der Venus würde höher als die von kochendem Wasser sein. Heftige Stürme würden ständig durch die mit Kohlenstoffdioxid erfüllte Luft jagen und die Oberfläche glätten. Jede Form von Leben wäre unter diesen Rahmenbedingungen ausgeschlossen. Letztere Theorie wurde vor allem von Sir Harold Spencer Jones vertreten. Diese Theorie kam der Realität zumindest am nächsten.

Bereits im Jahr 1956 wurde durch Radarmessungen die Oberflächentemperatur der Venus auf etwa 400°C bestimmt. Die erste erfolgreiche Venussonde Mariner 2 (USA) bestätigte im Jahr 1962 diesen Temperaturwert. Demnach kamen ein ganz mit Wasser bedeckter Planet oder gar ein feuchtwarmes Klima mit Vegetation oder sogar primitiven anderen Lebensformen nicht mehr in Frage. Später brachten moderne Radarmessungen (Arecibo Radioteleskop: Detailauflösung bis zu 20 km) und Raumfahrtmissionen differenziertere Erkenntnisse über die Venusoberfläche. Erste Fernsehbilder von der Venusoberfläche wurden durch die sowjetischen Raumsonden Venera 9 und 10 im Jahre 1975 übermittelt. Die Sonden landeten weich auf der Venusoberfläche und übermittelten noch Schwarzweiß-Bilder. Erste Farbbilder von der Venusoberfläche wurden von den sowjetischen Raumsonden Venera 13 und 14 im Jahr 1982 übermittelt. Aufgrund der extremen Bedingungen auf der Venusoberfläche wurden durch die Raumsonden nur einige Stunden Messwerte übermittelt. Danach stellen sie ihre Tätigkeit ein.



Bild 2: Oberflächenaufnahme von Venera 13 (Jahr 1982) / Foto: NASA History Office

Die Oberfläche der Venus ist mit einem Alter von 100 Millionen bis eine Milliarde Jahre relativ jung. Sie besteht hauptsächlich aus Basalt, was auf einen intensiven Vulkanismus hindeutet. Des Weiteren besteht sie zu 70 Prozent aus Ebenen, zu 20 Prozent aus bis zu 2.000 Meter tiefen Einsenkungen und zu 10 Prozent aus zwei kontinentartigen Hochländern. Die Hochländer werden Ishtar Terra und Aphrodite Terra genannt. Ersteres liegt in der Nordpolregion der Venus, hat ungefähr die Größe vom irdischen Kontinent Australien und beherbergt mit dem 17 km hohen Maxwell Montes den höchsten Berg auf der Venus. Damit ist der höchste Berg auf der Venus etwa doppelt so hoch wie der 8,8 km hohe Mount Everest, welcher der höchste Berg auf der Erde ist. Das andere Hochland hat etwa die Größe von Lateinamerika und erstreckt sich knapp 10.000 km lang am Äquator der Venus. In der Frühzeit der Planetengeschichte der Venus könnte es vielleicht Ozeane aus flüssigem Wasser gegeben haben, welche die Hochländer umgeben haben. Gesichert ist diese These allerdings nicht.

Der Atmosphärendruck auf der Venusoberfläche beträgt das 90fache des Drucks der terrestrischen Atmosphäre auf der Erdoberfläche. Das entspricht dem Druck in 1.000 Metern Meerestiefe auf der Erde. Die Oberflächentemperatur liegt bei etwa 480°C, ohne große Unterschiede auf der Tag- und Nachtseite. Die Sonne scheint aufgrund der dichten Wolken nicht direkt auf die Venusoberfläche.

Die Oberfläche der Venus ist in etwa so stark beleuchtet wie die Erdoberfläche an einem stark bewölkten Tag. Allerdings hat der Venushimmel eine stark rötliche Färbung, da blaues Licht in der Venusatmosphäre stark gestreut wird.



Bild 3: Computergenerierte Ansicht des 8 km hohen Vulkans Maat Mons / Grafik: NSSDC/NASA

Auf der Oberfläche finden sich terrassenförmige vulkanische Calderen und ausgedehnte Lavaströme, jedoch keine Hinweise auf eine Plattentektonik wie auf der Erde. Auf der Venus gibt es mehr als Tausend Vulkane mit Durchmessern von mehr als 20 km. Es gibt auch Einschlagkrater auf der Venus, von denen viele mit Lava überflutet sind. Während in der oberen Venusatmosphäre starke Winde vorherrschend sind, gibt es auf der Venusoberfläche kaum Winde. Dennoch gibt es Anzeichen von durch Winde bedingten Ablagerungen. Im Falle der Krater auf der Venus macht sich der Einfluss der dichten Venusatmosphäre auf die Flugbahn der Impaktkörper bemerkbar. Zunächst kommen ohnehin nur Körper von ausreichender Größe bis zur Venusoberfläche durch. Dennoch gibt es rund 1.000 Einschlagkrater auf der Venus. Die Durchmesser der Krater liegen zwischen 2 und 270 km. Des Weiteren sind die Krater aufgrund der venuspezifischen Flugbahn der Meteore stark asymmetrisch. Es gibt auch Erosionstäler auf der Venusoberfläche, welche den irdischen Flusstälern ähneln. Allerdings ist flüssiges Wasser auf der Venusoberfläche ausgeschlossen, so dass diese Strukturen durch Lavaströme bedingt sein dürften. Insgesamt verfügt die Venus nur über Spuren von Wasser. Während die Wassermenge auf der Erde gleichmäßig auf der Erdoberfläche verteilt einen Ozean von 3 km tiefe ergeben würde, ergeben die Wassermengen auf der Venus auf deren Oberfläche entsprechend verteilt nur einen Ozean von 3 cm tiefe. Die Venus ist also ein extrem trockener Planet.

Bereits angesprochen wurde, dass die Venusoberfläche relativ jung ist. So scheint es auch keine Krater zu geben, welche älter als 500 Millionen Jahre sind. Die Kruste der Venus besteht nicht aus Platten wie die Erdkruste, sondern dürfte nur aus einer einzigen durchgehenden Platte bestehen.

Entsprechend gibt es auf der Venus auch keine Plattentektonik wie auf der Erde. Somit kann sich der Druck im Innern der Venus auch nicht durch Plattentektonik und Vulkanausbrüche stetig abbauen. Vermutlich wird dieser Druck durch eine globale Eruption abgebaut, welcher die gesamte Oberfläche der Venus neu formt. Aus diesem Grund dürfte die Venusoberfläche auch recht jung sein. Rückschlüsse auf das Aussehen der Venusoberfläche in der Vergangenheit sind anhand der heutigen Beobachtungsdaten noch nicht möglich. Die heutige Oberfläche der Venus wurde durch Deformationen der Kruste und durch Vulkanismus geformt. Erstarrte Lavaströme können beobachtet werden und erstrecken sich mehrere hundert Kilometer über die Venusoberfläche. Der Vulkanismus auf der Venus deutet darauf hin, dass sehr wahrscheinlich die Kruste der Venus auf einem flüssigen Mantel lag.

Noch heute dürfte die Venus geologisch aktiv sein. Eindeutige Hinweise lieferte die Raumsonde „Venus Express“ von der ESA im Jahre 2010. Diese Sonde konnte durch Infrarotmessungen relativ junge Lavaströme entdecken. Diese deuten auf noch immer aktiven Vulkanismus auf der Venus hin. Des Weiteren verfügt die Venus über eine relativ glatte Oberfläche, auf der sich zu wenige Krater befinden. Hierfür dürfte ein aktiver Vulkanismus verantwortlich sein.

4 Die Atmosphäre der Venus

Bereits 1932 wurde durch erdgebundene spektroskopische Beobachtungen der Hauptbestandteil der Venusatmosphäre, Kohlenstoffdioxid (CO_2), nachgewiesen. Heute wissen wir, dass 96,5 Prozent der Venusatmosphäre aus Kohlenstoffdioxid besteht. Mit 3,5 Prozent bildet Stickstoff (N_2) den zweitgrößten Anteil an der Venusatmosphäre. In Spuren sind Argon (Ar, Anteil 0,006 Prozent), Sauerstoff (O_2 , Anteil 0,003 Prozent) und Neon (Ne, Anteil 0,001 Prozent) vertreten. Der Atmosphärendruck auf der Venusoberfläche beträgt, wie bereits angesprochen, etwa 92 bar bzw. 92.000 hPa. Das entspricht dem irdischen Wasserdruck in etwa 900 bis 1.000 Metern Meerestiefe.

Es gibt wie auf der Erde eine Troposphäre, welche sich auf der Venus bis in eine Höhe von 50 km erstreckt. Wie auf der Erde wird innerhalb dieser Troposphäre das Gas von unten, also von der Oberfläche her, erhitzt und zirkuliert langsam nach oben.

Am Äquator der Venus steigt es auf und an ihren Polen steigt es wieder nach unten. Im Gegensatz zur Erde ist diese Konvektionsströmung sehr beständig, da die Venus sehr langsam rotiert und die Rotation daher keinen wesentlichen Einfluss auf die Zirkulation der Venusatmosphäre hat.

In etwa 30 bis 60 km Höhe befinden sich Wolken, welche aus Schwefelsäure-Tröpfchen (H_2SO_4 -Tröpfchen) bestehen. Die Schwefelsäure entsteht aus einer Reaktion von Schwefeldioxid (SO_2) und Wasser (H_2O). Das SO_2 wiederum entsteht durch vulkanische Ausgasungen. Während es im Falle der Erde durch Niederschläge ausgewaschen wird, reichert es sich aufgrund fehlender Niederschläge in der Venusatmosphäre an und kann so mit dem vorhandenen geringen Anteil von Wasser zu Schwefelsäure reagieren. In etwa 53 km Höhe hat die Venusatmosphäre eine Temperatur von etwa 20°C , bei einem Druck von 0,5 bar.

Die hohe Temperatur auf der Venusoberfläche von etwa 480°C wird durch einen Treibhauseffekt erzeugt. Verantwortlich hierfür ist, dass die Venusatmosphäre zu 96,5 Prozent aus Kohlenstoffdioxid besteht. Kurzwelliges Sonnenlicht durchdringt die Venusatmosphäre und erwärmt die Venusoberfläche. Die Venusoberfläche strahlt wiederum langwellige Infrarotstrahlung ab. Für diese ist das Kohlenstoffdioxid jedoch undurchlässig. In Folge reflektiert das CO_2 die Infrarotstrahlung zur Venusoberfläche zurück, was deren stärkere Erhitzung bewirkt. Die Erwärmung geht so weit, bis sich ein Gleichgewicht zwischen der Oberflächenabstrahlung und der ankommenden Sonnenstrahlung eingestellt hat. Im Ergebnis bewirkt dies dann die hohen Oberflächentemperaturen. Die Venusatmosphäre besitzt wie die Ozeane auf der Erde eine sehr große thermische Trägheit und speichert große Wärmemengen. In Folge ändert sich die Oberflächentemperatur auf der Venus auch zwischen Tag und Nacht kaum.



Bild 4: Die Atmosphäre in ultraviolettem Licht aufgenommen / Pionier Venus (1979) NASA/USA

Die oberen Wolkenschichten der Venus befinden sich in einer Höhe von 60 bis 70 km. In dieser Höhe macht sich bereits die spaltende Wirkung der ultravioletten Strahlung von der Sonne bemerkbar. Diese spalten das SO_2 in seine molekularen Bestandteile auf. Auch die Wassertröpfchen in der oberen Atmosphäre werden aufgespalten. Es bilden sich sogenannte Radikale aus ihnen, welche über ein ungepaartes Elektron verfügen und daher sehr reaktiv sind.

Es kommt über mehrere Reaktionsschritte wieder zur Bildung von Schwefelsäure. Deren Tröpfchen sinken nach unten und stoßen dabei mit anderen Tröpfchen zusammen. Dabei bildet sich wieder Schwefeldioxid und Wasser, so dass der beschriebene Vorgang von vorne losgehen kann.

Während die Venus in 243 Tagen um ihre Achse rotiert, so rotieren ihre atmosphärischen Wolkenformationen innerhalb von vier Tagen und damit sehr viel schneller. Die Winde auf der Venus werden durch eine Ost-West-Zirkulation bestimmt, welche sich um den gesamten Planeten herum erstreckt. In der oberen Wolkenschicht werden Windgeschwindigkeiten von bis zu 360 km/h erreicht, während es an der Venusoberfläche relativ Windstill ist. Im Gegensatz zur Erdatmosphäre, welche synchron mit der Erde rotiert, treibt vor allem die Sonnenstrahlung die Zirkulation der Venusatmosphäre an. Es bilden sich daher auch Strömungsmuster in Nord-Süd-Richtung aus. Allerdings gibt es noch weitere Unterschiede zwischen Erde und Venus. Die Erde ist unten kalt (Oberfläche) und oben heiß (Atmosphäre), im Falle der Venus ist es umgekehrt. An der Oberfläche der Venus ist es sehr heiß, während die obere Atmosphäre hingegen relativ kühl ist. Aufgrund eines nur schwachen Magnetfeldes der Venus regiert ihre Atmosphäre direkt mit dem Sonnenwind und hochenergetischer UV-Strahlung. So werden neutrale Atome auf der der Sonne zugewandten Seite der Venus durch die UV-Strahlung ionisiert und durch den Sonnenwind, einem Strom aus geladenen Teilchen (hauptsächlich Wasserstoff- und Heliumkerne), fortgerissen. Aufgrund der Wechselwirkung mit dem Sonnenwind verliert die obere Venusatmosphäre geladene Teilchen. Der Sonnenwind hat daher auch Einfluss auf die Ionosphäre der Venus, welche bei geringer Sonnenwinddichte eine kometenartige Struktur aufweist.

Bemerkenswert ist die Entdeckung von Ozon (O_3) in der Venusatmosphäre durch die Sonde „Venus Express“ von der ESA. Bei einer von der Sonde beobachteten Sternbedeckung durch die Venus wurde festgestellt, dass die Venusatmosphäre den UV-Anteil des Sterns verringert. Dieser wird von einer Ozonschicht absorbiert, welche sich in 100 km Höhe der Venusatmosphäre befindet. Das Ozon in der Venusatmosphäre entsteht durch Aufspaltung von CO_2 -Molekülen aufgrund der UV-Strahlung von der Sonne. Die Spaltprodukte werden auch auf die Nachtseite der Venus transportiert, wo die Sauerstoffatome entweder zu O_2 oder O_3 reagieren. Dieser Vorgang ist für die Astrobiologie von Bedeutung. Bisher wurde angenommen, dass Ozon (O_3) nur aus molekularem Sauerstoff (O_2) entstehen kann, welcher in größeren Mengen bei einer Photosynthese (Pflanzen) entstanden ist und durch diese immer wieder nachgeliefert wird. Neben dem molekularen Sauerstoff (O_2) galt daher auch das Ozon (O_3) als Indikator für mögliche biologische Prozesse. Allerdings ist das Ozon auf der Venus im Ergebnis durch nicht-biologische Prozesse entstanden, so dass Ozon als möglicher Indikator für biologische Prozesse mit großer Vorsicht zu genießen ist.

5 Der innere Aufbau der Venus

Der innere Aufbau der Venus ist noch nicht abschließend erforscht, doch dürfte er dem der Erde ähnlich sein. Demnach besteht die Venus aus einem Kern, einem Mantel und einer Kruste.

Der Kern der Venus hat einen Radius von etwa 3.000 km. Er dürfte wie der Erdkern aus Eisen und Nickel bestehen. Unbekannt ist allerdings, ob wie im Falle des Erdkerns der innere Kern der Venus fest und ihr äußerer Kern geschmolzen sind. Ein Teil des Kerns der Venus dürfte jedoch geschmolzen sein, wie aus dem äußerst schwachen Magnetfeld der Venus gefolgert werden kann. In diesem geschmolzenen Kern bilden geladene Teilchen einen Strom. Trotz der im Vergleich zur Erde sehr langsamen Venusrotation kommt es zu einem Dynamo-Effekt, welcher ein schwaches Magnetfeld induziert. Allerdings kann sich aufgrund der langsamen Venusrotation kein starkes Magnetfeld ausbilden, wie im Falle der Erde. Die im Vergleich zur Venus sehr viel höhere Erdrotation bewirkt einen starken Dynamo-Effekt, welcher ein starkes Erdmagnetfeld induziert.

Der Mantel der Venus hat ebenfalls einen Radius von etwa 3.000 km. Wie im Fall des Erdmantels dürften auch im Mantel und in der Kruste der Venus eisen- und magnesiumhaltige Silikate vorherrschend sein. Die Kruste der Venus ist im Durchschnitt etwa 100 km dick.

Die Venus ist tektonisch kaum aktiv, so dass es auf der Venus keine Plattentektonik gibt. Die Kruste der Venus besteht nicht wie im Falle der Erde aus einzelnen Platten. Die Ursache für die fehlende Plattentektonik dürfte in der hohen Oberflächentemperatur der Venus zu finden sein. Diese verhindert eine Abkühlung des Mantelmaterials und unterbindet damit durch Konvektion bedingte Strömungen des Mantelmaterials. In der Vergangenheit der Venus dürfte es allerdings tektonische Bewegungen auf der Venus gegeben haben. Die Oberfläche der Venus ist etwa 500 Millionen bis eine Milliarde Jahre alt. Entsprechend dürfte es vor 500 Millionen bis eine Milliarden Jahren noch tektonische Aktivitäten auf der Venus gegeben haben.

Im Ergebnis sind der innere Aufbau von Erde und Venus vergleichbar. Jedoch gibt es große Unterschiede in der tektonischen Aktivität der Planeten. Die Erforschung des inneren Aufbaus der Venus wird ein Ziel von zukünftigen unbekanntem Raumfahrtmissionen zu diesem Planeten sein. Noch liegen uns keine verifizierten abschließenden Informationen über den inneren Aufbau der Venus vor.

Die nachfolgende Skizze gibt den oben geschilderten Aufbau der Venus wieder.

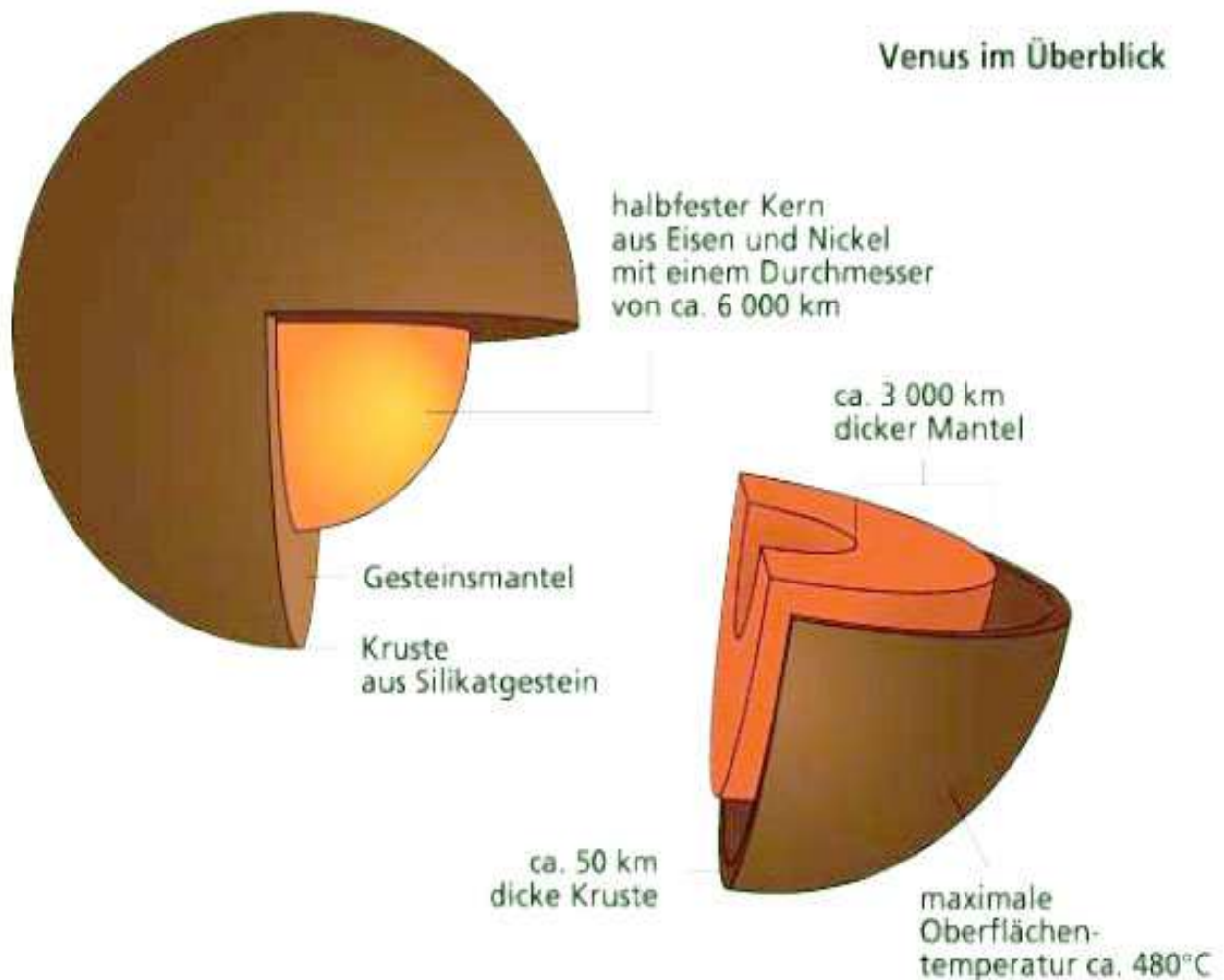


Bild 5: Der innere Aufbau der Venus / Quelle: <http://www.mgf-kulmbach.de/>

6 Die Bahnbewegung der Venus

Die Venus umkreist die Sonne in einer nahezu kreisförmigen Bahn in einem Abstandsbereich von 107,6 Millionen km bis 108,2 Millionen Kilometern. Die mittlere Entfernung der Venus von der Sonne beträgt 107,9 Millionen km. Die Bahn-Exzentrizität (Abweichung von der Kreisbahn) beträgt 0,068. Die Neigung der Bahnebene gegenüber der Ekliptikebene (der Erdbahnebene um die Sonne) beträgt $3^{\circ}23'38''$. Von der Erde aus betrachtet gehört die Venus zu den inneren Planeten, sie zieht ihre Bahn zwischen dem Merkur und der Erde um die Sonne. Mit einer mittleren Bahngeschwindigkeit von 35 km/s bewegt sich die Venus einmal in 224 Tagen 16 Stunden und 48 um die Sonne. Hierbei wurde die Umlaufzeit bezogen auf die Sterne im Hintergrund angegeben, so dass hier von einer siderischen Umlaufzeit gesprochen wird.

Als innerer Planet erscheint sie am irdischen Sternhimmel als Abend- oder Morgenstern. Als Abendstern folgt sie der Sonne und geht maximal einige Stunden nach ihr im Westen unter. Als Morgenstern geht die Venus maximal einige Stunden vor der Sonne im Osten auf. Bezogen auf Sonne und Erde kann die Venus verschiedene Positionen einnehmen und zeigt in Abhängigkeit davon auch Phasen.



Bild 6: Die Phasen der Venus / Quelle: <http://www.spektrum.de/>

Im Falle der „unteren Konjunktion“ steht die Venus genau zwischen der Erde und der Sonne. Aufgrund der Neigung der Venusbahn gegenüber der Erdbahn kommt es dabei jedoch nur äußerst selten zu einem Venustransit vor der Sonnenscheibe. In der Regel zieht die Venus nördlich oder südlich vor der Sonnenscheibe vorbei. Von der Erde aus sehen wir im Falle der unteren Konjunktion nur die unbeleuchtete Seite der Venus. Außer im Falle eines Venustransits bleibt sie bei einer unteren Konjunktion auf herkömmlichem Wege unbeobachtbar. Nach der unteren Konjunktion erscheint die Venus als schmale zunehmende Sichel am Morgenhimmel. Dabei entfernt sich die Venus immer mehr von der ihr nachfolgenden Sonne am Morgenhimmel, bis sie einen Maximalabstand von etwa 47° erreicht hat.

Dieser Abstand wird maximale „westliche Elongation“ genannt. In dieser Position erscheint uns die Venus halb beleuchtet. Im Verhältnis zum Abstand der Venus zur Erde und der Erde zur Sonne kann der Winkel jedoch variieren.

Die Abstände zwischen der Venus und der Sonne am Himmel verringern sich nun wieder, bis die Venus die „obere Konjunktion“ erreicht hat. Nun steht die Venus der Erde wieder gegenüber, jedoch diesmal hinter der Sonne. D.h. die Venus steht wieder am Taghimmel und kann in dieser Position nur sehr schwierig beobachtet werden. Allerdings ist die Venus von der Erde aus gesehen jetzt voll beleuchtet. In dieser Position hat sie jedoch auch eine größere Entfernung von der Erde, so dass ihre Scheibe jetzt deutlich kleiner erscheint. Nach der oberen Konjunktion bewegt sich die Venus am irdischen Himmel wieder von der Sonne weg und taucht am Abendhimmel als Abendstern auf. Ihre Phase nimmt dabei wieder ab. Auch am Abendhimmel erreicht sie einen maximalen Abstand von der Sonne von etwa 47° . Dieser Abstand wird als maximale „östliche Elongation“ bezeichnet. In dieser Position ist die Venus wieder halb beleuchtet. Mit abnehmender Sichel am irdischen Himmel bewegt sich die Venus wieder auf die Sonne zu, bis sie wieder ihre untere Konjunktion erreicht hat.

Zur Zeit der unteren Konjunktion ist der Abstand Venus – Erde am kleinsten, während dieser im Falle der oberen Konjunktion am größten wird. Der geringstmögliche Abstand von Venus und Erde beträgt etwas über 42 Millionen Kilometer. Der Zeitraum zwischen zwei unteren Konjunktionen beträgt aufgrund der Bahnbewegungen von Venus und Erde etwa 584 Tage.

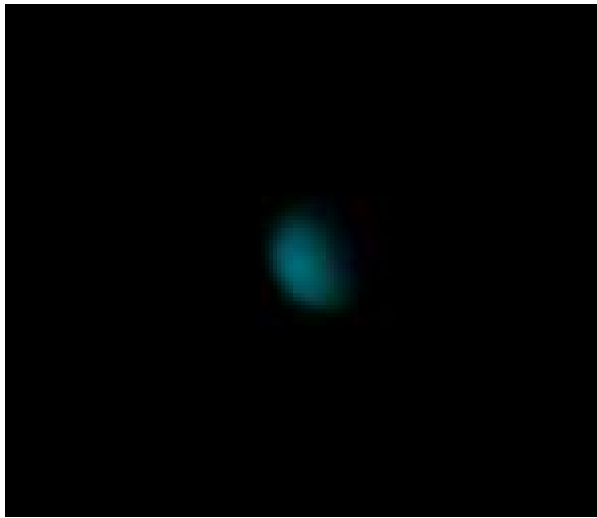


Bild 7: Die Venus / Foto: Ralf Schmidt

Ein Venustransit vor der Sonnenscheibe tritt nur dann auf, wenn sich die Venus während ihrer unteren Konjunktion in der Schnittebene ihrer Bahn mit der Erdbahn aufhält. Der Schnittpunkt zwischen zwei Bahnen wird Knoten genannt. Anders ausgedrückt muss sich die Venus während der unteren Konjunktion in einem Knoten aufhalten. Dies kommt äußerst selten vor. Nur in Abständen von 8, 105,5, 8, und 121,5 Jahren steht die Venus in einem Knoten und es kommt zum Venustransit. Diese Transits erfolgen wenn nur in den Tagen um den 07. Juni und den 08. Dezember. In unseren Breiten dauern die Transits im Juni bis zu 16 Stunden und im Dezember bis zu 8 Stunden. Bei einem Transit erscheint uns die Venus dann als schwarzer Punkt mit einem Durchmesser von etwa 1' auf der Sonnenscheibe. Die letzten Venustransits waren am 08. Juni 2008 und 06. Juni 2012. Die nächsten Transits werden erst am 11. Dezember 2117 und am 08. Dezember 2125 zusehen sein. Nur der letztere Transit kann von Mitteleuropa beobachtet werden und auch nur sein Beginn. Der nächste vollständig von Mitteleuropa aus sichtbare Venustransit vor der Sonne kann am 11. Juni 2247 beobachtet werden. Entsprechend wird die Venus bei einer oberen Konjunktion nur dann von der Sonne bedeckt, wenn diese sich ebenfalls in ihren Bahnknoten aufhält.

7 Raumfahrtmissionen zur Venus

Die Erforschung der Venus mit Hilfe von Raumsonden begann im Jahr 1961. Allerdings war erst die Mission der US-Raumsonde Mariner 2 von der NASA im Jahre 1962 relativ erfolgreich. Die Sonde flog in einem Abstand von 34.000 km an der Venus vorbei und konnte erste Messwerte aufnehmen. Dabei wurden erste Radarmessungen von der Erde bestätigt, wonach die Oberflächentemperatur der Venus bei etwa 400°C liegt. Damit war auch klargelegt, dass auf der Venus kein feucht-warmes Klima herrscht. Auch wurde festgestellt, dass die Venus über kein nennenswertes Magnetfeld verfügt.

Die ehemalige Sowjetunion führte zwischen 1961 und 1983 Missionen mit den Raumsonden Venera 1 bis 16 durch und war im Ergebnis damit sehr erfolgreich. Die Missionen Venera 1 bis 3 in den Jahren 1961 bis 1965 blieben Fehlschläge, da der Kontakt zu den Raumsonden abbrach. Die Missionen Venera 4 bis 6 in den Jahren 1967 bis 1969 waren teilweise erfolgreich. Die Sonden verfügten über Lander, welche auf der Venusoberfläche Messungen durchführen sollten. Allerdings wurden alle Lander vor Erreichen der Venusoberfläche durch den hohen Druck der Venusatmosphäre und aufgrund der hohen Temperaturen zerstört. Jedoch wurden vorher noch einige Minuten lang Daten aus der oberen Atmosphäre übermittelt. Die Lander wurden entsprechend der extremen Bedingungen auf der Venus weiterentwickelt. Bereits der Lander von Venera 7 erreichte im Jahr 1970 erfolgreich die Venusoberfläche und konnte etwa eine halbe Stunde lang senden. Der Lander von Venera 8 führte im Jahr 1972 Messungen über die Lichtverhältnisse auf der Venus durch.

Es wurde festgestellt, dass sie ausreichen, um Fotos von der Venusoberfläche aufnehmen zu können. Die Mission Venera 9 lieferte im Jahr 1975 erstmals Schwarzweiß-Bilder von der Venusoberfläche. Dies waren die ersten Bilder vom Boden eines anderen Planeten im Sonnensystem. Die ebenfalls im Jahr 1975 durchgeführte Mission Venera 10 lieferte ebenfalls Schwarzweiß-Bilder von der Venusoberfläche. Die Missionen von Venera 11 bis 14 in den Jahren 1978 bis 1982 wiederholten die Missionen der vorherigen Sonden. Allerdings wurden die Messtechnik und die Fototechnik mit jeder Mission verbessert und erstmals auch Farbbilder von der Venusoberfläche übermittelt. Mit den Sonden Venera 15 und 16 wurde das Programm im Jahre 1983 abgeschlossen. Von den Orbitern aus wurden 30 Prozent der Venusoberfläche mit Hilfe von Radarstrahlen, welche die Wolkendecke durchdringen können, kartiert. Die Lander nahmen erstmals Farbbilder von der Venusoberfläche auf.

Die Vereinigten Staaten von Amerika (USA) bzw. die NASA sendete im Jahr die Sonde Mariner 5 zur Venus. Die Sonde flog in einem Abstand von 3.990 km an der Venus vorbei und führte dabei Messungen durch. Im Jahr 1974 schickte die USA bzw. die NASA die Raumsonde Mariner 10 auf den Weg zur Venus und zum Merkur. Zwar war primäres Ziel der Merkur, doch flog die Sonde im Jahr 1974 in einem Abstand von 5.800 km an der Venus vorbei und übermittelte Messwerte. Dabei wurden auch etwa 4.000 Aufnahmen von der Venus erstellt. Im Jahr 1978 entsendete die USA bzw. die NASA die Sonden Pionier-Venus 1 und 2 zur Venus. Der Orbiter Pionier-Venus 1 arbeitete von 1978 bis 1992 und übermittelte zahlreiche Daten. Die Sonde Pionier-Venus 2 enthielt vier Atmosphären-Sonden, die bei ihrem Abstieg durch die Venusatmosphäre erfolgreich Messungen durchführen konnten. Eine der Atmosphären-Sonden überstand sogar die Landung auf der Venusoberfläche und sendete bis zur ihrem Verstummen 67 Minuten lang Daten.

Die sowjetischen Raumsonden Vega 1 und 2 enthielten jeweils einen Lander und einen Ballon mit Messgeräten zur Erforschung der Venusatmosphäre. Sie wurden im Dezember 1984 gestartet und erreichten im Juni 1985 die Venus. Beide Raumsonden waren sehr erfolgreich. Der Lander von Vega 1 blieb 56 Minuten auf der Venusoberfläche aktiv. Der Ballon von Vega 1 blieb 46,5 Stunden in der Atmosphäre aktiv. Im Falle von Vega 2 sendete der Lander 57 Minuten Daten von der Venusoberfläche, während sein Ballon 60 Stunden in der Venusatmosphäre aktiv blieb. Die Raumsonden Vega 1 und 2 flogen an der Venus allerdings nur vorbei. Ihr nächstes Forschungsziel war der Halleysche Komet.

Im Mai 1989 wurde mit der Raumsonde Magellan eine der erfolgreichsten Missionen zur Venus gestartet. Die Sonde der USA bzw. NASA erreichte im August 1990 die Venus und kartografierte 98 Prozent der Venusoberfläche. Die Mission des Orbiters dauerte bis Oktober 1994, als Magellan in der Venusatmosphäre verglühte. Wichtige Ergebnisse der Mission waren, dass die Venus eine vielfältige Landschaft aus schwarzer Lava besitzt sowie über große Vulkane und großflächige Calderen verfügt. Des Weiteren wurden auch Einschlagkrater von Meteoriten, gewaltige Gebirgszüge und lange gewundene Lavakanäle entdeckt.

Im Oktober 1989 starteten die USA bzw. die NASA die Sonde Galileo. Ziel der Sonde war der Jupiter. Allerdings wurde um Energie zu sparen ein komplizierterer Reiseweg genutzt, der auch an der Venus vorbeiführte. Im Februar 1990 nahm die Sonde 81 Bilder von der Venus auf. Entsprechend wurde auch mit der Saturn-Sonde Cassini-Huygens (mit Lander für den Saturnmond Titan) von der NASA (USA) und ESA (Europa) verfahren. Ihr weg führte zweimal (April 1998 und Juni 1999) an der Venus vorbei. Die Merkur-Raumsonde MESSENGER der USA bzw. NASA flog im Oktober 2006 und Juni 2007 zweimal an der Venus vorbei, bevor sie den Merkur erreichte und ihn als Orbiter umkreiste.

Im November 2005 startete die ESA (Europa) den Orbiter „Venus Express“. Dieser erreichte die Venus im April 2006 und lieferte bis Ende 2014 Daten. Danach verglühte sie in der Venusatmosphäre. Sie verfügte über eine stark elliptische Bahn, so dass die Entfernung der Sonde zur Venus zwischen 250 km und 60.000 km schwankte. Die Sonde hatte primär die Aufgabe, das Wettergeschehen auf der Venus zu beobachten und die Hintergründe zu dem enormen Treibhauseffekt auf der Venus zu klären.

Die japanische Raumfahrtagentur JAXA startete im Mai 2010 die Raumsonde Akatsuki. Der erste Versuch, diese Sonde im Dezember 2010 in den Venus-Orbit zu bringen, scheiterte. Erst der zweite Versuch im Dezember 2015 war erfolgreich.

Die Russische Föderation möchte in naher Zukunft (voraussichtlich 2024) die Sonde Venera D starten. Sie besteht aus einem Orbiter, einem Lander und mehreren Ballons für die Venusatmosphäre. Während die bisherigen Lander maximal rund zwei Stunden überlebten, soll der Lander von Venus D etwa einen Monat auf der Venusoberfläche aushalten können. Der Schwerpunkt der Mission soll in der Untersuchung der Atmosphäre und von seismischen Aktivitäten liegen. Zwei weitere geplante Raumsonden sollen jeweils auf ihrem Weg zu einem anderen Ziel bei der Venus mehrere Swing-bys durchführen. D.h. diese Sonden nutzen das Gravitationsfeld der Venus, um einen zusätzlichen Schub zu erhalten. Hierbei handelt es sich um die Sonden BepiColombo (ESA, Europa; JAXA, Japan, 2017) und Solar Prob + (NASA, USA, 2018).

8 Schlusswort

Die Venus war bis in die 60er Jahre ein geheimnisvoller Planet. Wir hatten keine Erkenntnisse über ihre Oberfläche und zu ihrer Rotation. Es gab viele Spekulationen, die sich aus heutiger Sicht als falsch herausstellten. Doch noch immer gibt es viele Geheimnisse der Venus zu ergründen. Die Venus ist vom Aufbau sowie ihren Werten für Masse, Dichte und Größe vergleichbar mit der Erde. Sie verfügt jedoch über keinen Mond und weicht in ihrem Rotationsverhalten vollkommen von der Erde ab. Auch der Aufbau ihrer Atmosphäre und das Fehlen von Wasser sind nicht mit den Bedingungen auf der Erde vergleichbar. Hier setzt die aktuelle Forschung an. Es soll geklärt werden, warum sich die Venus im Vergleich zur Erde so unterschiedlich entwickelt hat. Aufgrund ihrer langsamen Rotation verfügt die Venus auch über kein Magnetfeld und daher über keinen Schutz vor Kosmischer Strahlung. Die genauen Hintergründe zum Treibhauseffekt auf der Venus sind ebenfalls aktuelle Gegenstände der Forschung. Ggf. können auf Basis von Forschungsergebnissen zur Venus auch Rückschlüsse für die Entwicklung des Klimas auf der Erde gemacht werden. Auch auf der Erde droht ja möglicherweise ein Treibhauseffekt und die Venus kann als mahnendes Beispiel dafür dienen, wo ein Treibhauseffekt hinführen kann. Ohne Treibhauseffekt läge die Temperatur auf der Venus bei etwa 200°C. Aufgrund des Treibhauseffektes liegt diese jedoch bei 480°. Der Druck auf der Venusoberfläche mit dem 90fachen des irdischen Atmosphärendruckes auf der Erdoberfläche entspricht dem Druck in etwa 1.000 Meter Meerestiefe. Die Lander von Raumsonden müssen bei solch extremen Bedingungen sehr robust gebaut werden. Dennoch haben sie bisher nur einige Stunden durchgehalten. Jedoch schreitet auch die Raumfahrttechnik voran und wird längere Messungen auf der Venusoberfläche ermöglichen. Eine bemannte Landung auf der Venus dürfte jedoch bis auf Weiteres ausgeschlossen sein. Eine bemannte Landung auf dem Mars dürfte dieser vorausgehen.

Wir kennen die Venus als Abend- und Morgenstern und dritthellstes Objekt an unserem Sternenhimmel. Bereits im Fernglas können wir ihre Phasen beobachten. Benannt ist der Planet nach der römischen Göttin der Liebe, des erotischen Verlangens und der Schönheit. Wenn wir diese Bild mit den tatsächlichen Gegebenheiten auf der Venus vergleichen, dann ist diese Bezeichnung schon etwas irreführend und würde eher die extrem schmerzlichen Seiten der Liebe beleuchten. Doch von außen sieht die Venus schön und strahlend aus. Vielleicht auch eine Analogie zu unserer menschlichen Erfahrung, dass hinter Schönheit auch ein schlechter Charakter stecken kann. Doch genug mit dem philosophieren, wir kehren zur Physik zurück. Die Abhandlung über die Venus stellt eine Literaturrecherche dar, wobei die aktuellen Forschungsergebnisse mit eingeflossen sind. Die verwendete Literatur ist im Literaturverzeichnis angegeben.

Allen, die mir wieder bei dieser Abhandlung geholfen haben, möchte ich meinen ganz herzlichen Dank aussprechen!

9 Literatur- und Bilderverzeichnis

Folgende Literatur fand bei der Erstellung dieser Abhandlung Verwendung und kann zur Vertiefung der Thematik empfohlen werden:

- 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) Patrick Moore, Venus, 1957

Bilderverzeichnis:

Titelbild: NASA

Bild 1: NASA History Office

Bild 2: NASA History Office

Bild 3: NSSDC / NASA

Bild 4: NASA

Bild 5: <http://www.mgf-kulmbach.de/>

Bild 6: <http://www.spektrum.de/>

Bild 7: Ralf Schmidt