



Planetare Umgebungen, Teil 11: Uranus und seine Hauptmonde

von Garry Toth und Don Hillger (Unmanned Satellite Philately)

Übersetzung von Frank Kunze

Dies ist der elfte Artikel der Astrofax-Serie über planetare Umgebungen. Die ersten zehn Teile der Reihe erschienen in den vorherigen zehn Ausgaben von Astrofax:

1. Planetenumgebungen, Teil 1: Einführung (Band 31, Ausgabe 2, Sommer 2023)
2. Planetenumgebungen, Teil 2: Der Mond (Band 31, Ausgabe 3, Herbst 2023)
3. Planetenumgebungen, Teil 3: Merkur (Band 31, Ausgabe 4, Winter 2023)
4. Planetenumgebungen, Teil 4: Venus (Band 32, Ausgabe 1, Frühling 2024)
5. Planetenumgebungen, Teil 5: Mars, Teil 1 (Band 32, Ausgabe 2, Sommer 2024)
6. Planetenumgebungen, Teil 6: Mars, Teil 2 (Band 32, Ausgabe 3, Herbst 2024)
7. Planetenumgebungen, Teil 7: Jupiter (Band 32, Ausgabe 4, Winter 2024) 2024)
8. Planetare Umgebungen, Teil 8: Jupiters Galileische Monde (Band 33, Ausgabe 1, Frühjahr 2025)
9. Planetare Umgebungen, Teil 9: Saturn (Band 33, Ausgabe 2, Sommer 2025)
10. Planetare Umgebungen, Teil 10: Saturns Hauptmonde (Band 33, Ausgabe 3, Herbst 2025)

Die originalen Artikel können beim Übersetzer erfragt werden.

Einleitung

Dieser Artikel behandelt Uranus und seine fünf großen Monde. In der Reihenfolge ihrer Entfernung zum Planeten und ihrer Durchmesser sind dies Miranda (471 km), Ariel (1160 km), Umbriel (1170 km), Titania (1580 km) und Oberon (1520 km). Abb. 1, ein Sonderumschlag der Voyager-2-Sonde für ihren Vorbeiflug an Uranus, zeigt und benennt die Monde. Ein Vergleich der fünf Monde, anhand von Voyager-2-Fotografien dargestellt mit ihren relativen Größen und Albedo-Werten, ist unter NW-1 zu finden. Die einzelnen Bilder und weitere Informationen zu den Monden finden Sie unter NW-2.

Uranus ist so weit entfernt (mit durchschnittlich 19,2 AE ist er doppelt so weit von der Sonne entfernt wie Saturn), dass er fast keine Sonnenenergie empfängt

und sehr kalt ist. Er umkreist die Sonne alle 84 Jahre. Uranus und Neptun werden als „Eisriesen“ bezeichnet, Jupiter und Saturn hingegen als „Gasriesen“.

Dieser Unterschied lässt sich dadurch erklären, dass „die Zusammensetzung von Uranus und Neptun sich von derjenigen von Jupiter und Saturn (NW-3) unterscheidet, wobei Eis die Gase überwiegt ... Die innere Zusammensetzung von Uranus muss hauptsächlich aus Wasser, Methan und Ammoniak bestehen, um der durchschnittlichen Dichte des Planeten zu entsprechen“ (Ref. 1). Uranus ist deutlich weniger dicht als Neptun; die beiden Planeten müssen daher eine unterschiedliche Zusammensetzung haben.

Abb. 2, ein Zusammendruck von Australien Scott 2740a, zeigt die Planeten des Sonnensystems mit korrekten relativen Größen (jedoch nicht mit korrekten relativen Abständen). Die beiden Eisriesen sind groß und von ähnlicher Größe, wirken aber im Vergleich zu den beiden Gasriesen winzig. Eine ähnliche Darstellung, die auch den Asteroidengürtel und Pluto enthält, findet sich im Zudruck auf Abb. 9.

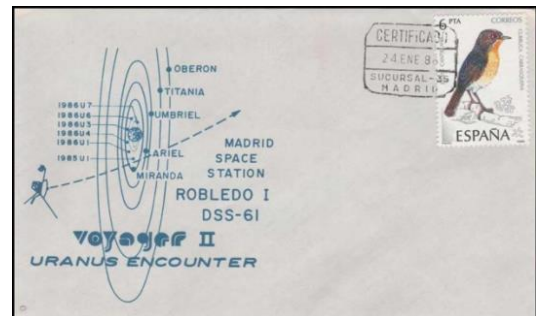


Abb.: 1 Voyager-2 Uranus Sonderumschlag, 24 Januar 1986

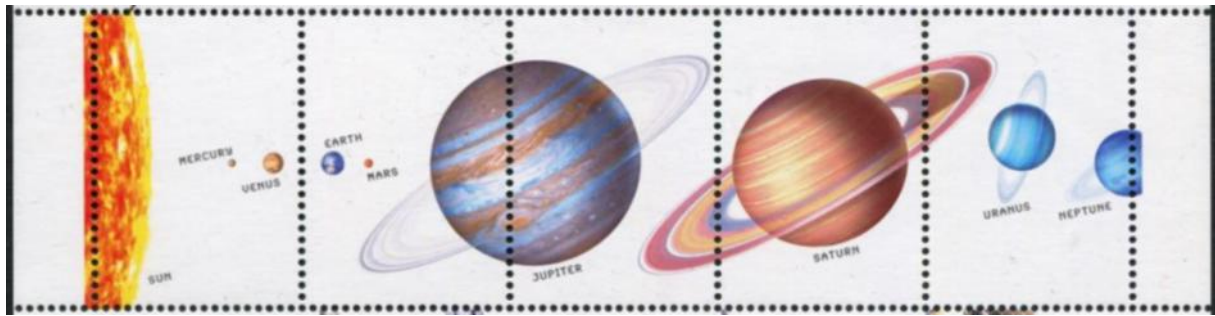


Abb.: 2 Australien, Sc 2740a, 2007.

„Die Atmosphären der Eisriesen unterscheiden sich von denen der Gasriesen hinsichtlich ihrer treibenden Energiequellen, ihrer Zirkulation und ihrer Zusammensetzung. Das Verständnis der Eisriesen wird unser Wissen über grundlegende atmosphärische Prozesse sowie über die Entstehung und Entwicklung von Planeten erweitern“ (Ref. 8). Um diese Forschungsschwerpunkte im Bereich der Atmosphärenforschung zu konkretisieren, stellt der Bericht die folgenden drei Fragen:

1. Welche Energiequelle treibt die atmosphärischen Aktivitäten der Eisriesen an?
2. Welches Muster weist die allgemeine Zirkulation der Atmosphären von Eisriesen auf?
3. Wie ist die Zusammensetzung der Atmosphären beschaffen?

Dieser Artikel kann diese Fragen nur oberflächlich behandeln. Interessierte Leser werden gebeten, den Originalbericht einzusehen.

Einiges zur Geschichte des Uranus

In seiner hellsten Phase ist Uranus am dunklen Himmel mit bloßem Auge kaum als blaugrüner Lichtpunkt zu erkennen. Lange Zeit wurde er fälschlicherweise für einen Stern gehalten. Die früheste dokumentierte Beobachtung dieses „Sterns“ stammt von Hipparchus (Abb. 3) aus dem Jahr 128 v. Chr. (Ref. 2). Der englische Astronom John Flamsteed (Abb. 4) beobachtete den „Stern“ im Jahr 1690, ebenso wie der französische Astronom Pierre Charles Le Monnier zwischen 1750 und 1769. William Herschel (Abb. 5, 7, 12 und 30) beobachtete



Abb.: 4 Griechenland, Sc 835, 1965

Uranus am 13. März 1781, hielt ihn aber zunächst für einen Kometen. Diese Schlussfolgerung wurde von

anderen Astronomen wie dem Deutschen Johann Elert Bode bestritten, der zu dem Schluss kam, dass Uranus aufgrund seiner nahezu kreisförmigen Umlaufbahn eher einem Planeten als einem Kometen ähnelte.

Herschel bestätigte 1783: „Nach Beobachtung der bedeutendsten Astronomen Europas scheint der neue Stern, auf den ich im März 1781 hinweisen durfte, ein Hauptplanet unseres Sonnensystems zu sein“ (Ref. 2). Damit wurde „Uranus der erste Planet, der jemals mit einem Teleskop entdeckt wurde“ (Ref. 3).



Abb.: 5 Großbritannien, Sc 2075, FDC, 2002



Abb.: 3 Djibouti, ohne Kat- #, Flamsteed, 2010

Das Benham-Cache des Ersttagsbriefumschlags (FDC) in Abb. 5 zeigt den jungen William Herschel im Vordergrund mit Uranus im Hintergrund.

Verschiedene Namen für den neuen Planeten wurden vorgeschlagen. „In einer Abhandlung vom März 1782 schlug Bode Uranus vor, die latinisierte Form des griechischen Himmelsgottes Ouranos“ (Ref. 2 und Abb. 6). Der Stempel des Umschlags in Abb. 7 erinnert an den 200. Jahrestag von Herschels Entdeckung des Planeten; er ist im Stempel abgebildet (ebenso wie in Abb. 5, 12 und 30). Die griechische Göttin der Astronomie und der Sterne, Urania oder Ourania (NW-4) (Abb. 8), kann auch indirekt mit dem Planetennamen Uranus in Verbindung gebracht werden.



Abb.: 6 Griechenland, Sc 1054, 1972

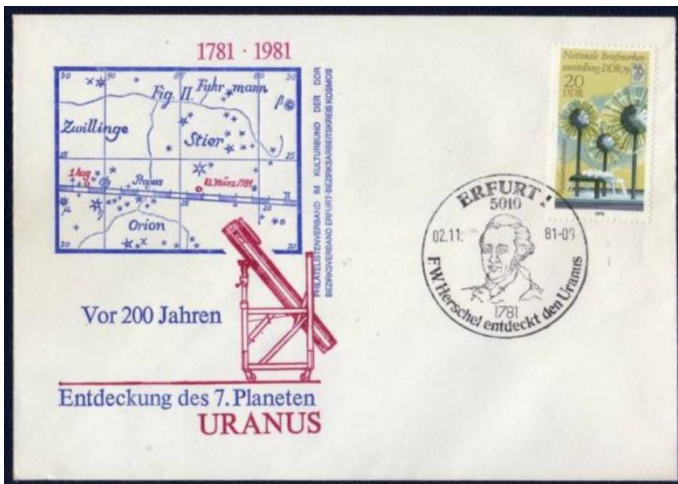


Abb.: 7 (DDR), 1981 200. Jahrestag Herschel's Entdeckung des Uranus.



Abb.: 8 Serbien, Sc 467, 2009.

Die Entdeckung der Ringe des Uranus

William Herschel beschrieb 1789 einen möglichen Ring um Uranus, doch die endgültige Entdeckung gelang erst viel später, am 10. März 1977 (neun Jahre vor dem Vorbeiflug von Voyager 2), James L. Elliot und Kollegen mithilfe des Kuiper Airborne Observatory (NW-5) (Ref. 2 und Abb. 9). Sie machten die unerwartete Beobachtung, dass ein weit entfernter Stern „fünfmal kurzzeitig in beträchtlicher Höhe über der Uranusatmosphäre abdunkelte, sowohl vor als auch nach der Bedeckung des Sterns durch den Planeten. Die

Abb.: 9 Entdeckung der Uranus-Ringe, 1977

Helligkeitseinbrüche deuteten darauf hin, dass der Planet von fünf schmalen



Abb.: 10 Malediven, Sc 2956a, 2008

Ringen umgeben war. Spätere Beobachtungen von der Erde aus enthüllten vier weitere Ringe“ (Ref. 1). 1986 untersuchte die Raumsonde Voyager-2 alle neun bis dahin bekannten Ringe. Dabei zeigte sich, dass sich die Ringe des Uranus deutlich von denen des Jupiters und Saturns unterscheiden. Das Ringsystem ist möglicherweise relativ jung und entstand nicht gleichzeitig mit Uranus. Die Partikel, aus denen die Ringe bestehen, könnten Überreste eines Mondes sein, der durch einen Einschlag mit hoher Geschwindigkeit oder durch Gravitationskräfte zerrissen wurde (Ref. 4). Abb. 10 zeigt die Raumsonde über den Ringen mit dem Text „Voyager-II & Uranusringe“.

Beobachtungen des Uranus: Voyager-2 und Weltraumteleskope

Moderne Beobachtungen des fernen Uranus erfolgen von der Erde oder aus dem erdnahen Weltraum. 1986 besuchte Voyager-2 den Planeten jedoch bereits. Ihre Flugbahn durch das Saturnsystem im Jahr 1981 nutzte eine seltene Konstellation der Riesenplaneten, die es ihr ermöglichte, mit minimalem Treibstoffverbrauch einen Swing-by-Effekt zu Uranus (und schließlich Neptun) zu erzielen (siehe Referenz NW-6). Ein ähnlicher Swing-by-Effekt wäre zwischen 2029 und 2034 möglich (siehe Referenz 3). Abb. 11 veranschaulicht die gewaltige Reise von Voyager-2 zu allen vier Riesenplaneten.

Voyager-2 ist die einzige Raumsonde, die Uranus besucht hat. Dort angekommen, wurde ihre Flugbahn in Richtung Neptun abgelenkt. Dazu musste sie einen bestimmten Punkt anfliegen, an dem sie sich den Uranuswolken in einer Entfernung von 81.500 km am nächsten näherte. Dies gelang ihr am 24. Januar 1986 (Ref. 4 und Abb. 1, 12 und 17). Der Zeitpunkt dieser nahen Begegnung wurde so gewählt, dass die Deep Space Network (DSN)-Station in Australien sie aufzeichnen konnte. Während des Vorbeiflugs passierte die Sonde Miranda, den damals kleinsten und innersten bekannten Uranusmond, in nur 29.000 km Entfernung. Dies war die bis dahin größte Annäherung an einen Planeten oder Mond während ihrer Mission (Referenz NW-7).

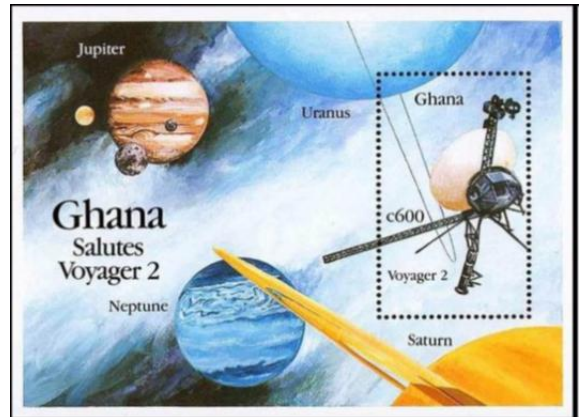


Abb.: 11 Ghana, Sc 1228, 1990.

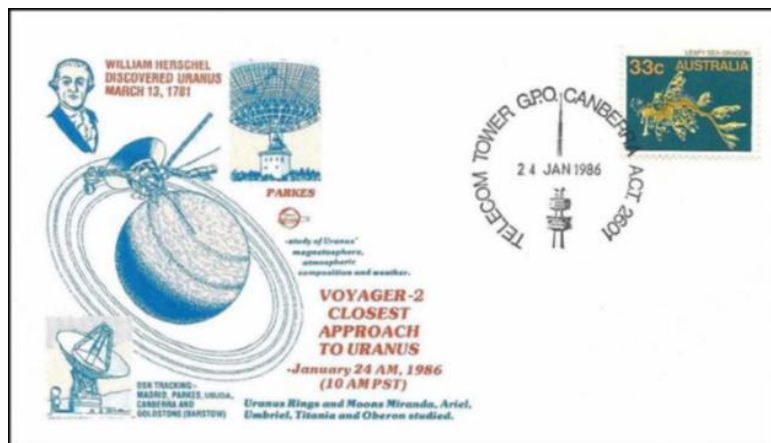


Abb.: 12 Voyager-2 Uranus Begegnung, 1986 Sonderumschlag, SV Cachet

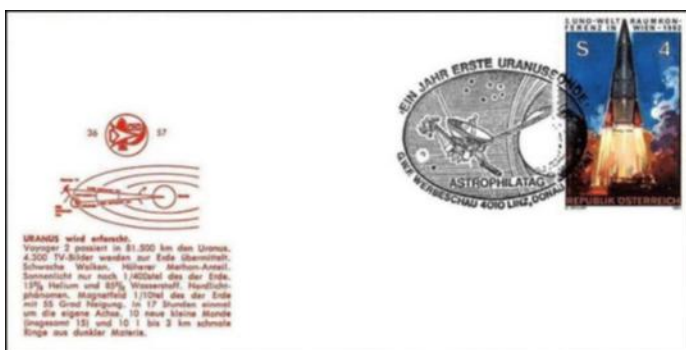


Abb.: 13 Voyager-2 Sonderumschlag, 1. Jahrestag der Uranus Begegnung, 1987

Voyager-2 untersuchte verschiedene Aspekte des Uranus-Systems. Abb. 13 zeigt einen Umschlag zum ersten Jahrestag der größten Annäherung der Raumsonde an den Planeten. Der Sonderstempel zeigt Voyager-2 über Uranus. Der Umschlag fasst die wissenschaftlichen Ergebnisse der Raumsonde zusammen (aus dem Deutschen übersetzt): „4.300

Fernsehbilder wurden zur Erde übertragen; dünne Wolken; geringer Methangehalt; Sonnenlicht nur 1/400 der Erdintensität; 15 %

Helium und 85 % Wasserstoff; Polarlichter; Magnetfeld 1/10 des Erdmagnetfelds mit einer Neigung von 55 Grad; Rotationsperiode 17 Stunden; 10 neue kleine Monde (insgesamt 15) und 10 Ringe aus Dunkler Materie mit einem Durchmesser von 1–3 km.“ Der Begriff „schwache Wolken“ bezieht sich wahrscheinlich auf die „hohe Dunstschicht, die [von Voyager-2] um den sonnenbeschienenen Pol herum festgestellt wurde“ (Ref. 4). Die „TV-Bilder“ des Raumfahrzeugs wurden von seinem Imaging Science Subsystem (ISS) erzeugt, das aus „zwei Kameras für die Bildgebung im sichtbaren Wellenlängenbereich“ besteht (NW-8).

Die Echtfarbenbilder von Voyager-2 zeigen Uranus als eine blasse, weißlich-blaue Scheibe (siehe Abb. 14 und 19). Selbst nach aufwendiger Bildbearbeitung waren nur geringfügige Farbvariationen



Abb.: 14 Grenada, Sc 2707f, 2008

und extrem schwache Wolkenstrukturen erkennbar. Dieses gedämpfte Erscheinungsbild ist auf Dunst in großer Höhe zurückzuführen, der die tiefer liegenden Wolken verdeckt (siehe Referenzen 2 und 4). Entsprechende Wolken sind bei Jupiter und Saturn deutlich sichtbar.



Abb.: 15 USA, Sc 2575, 1991

Durch Bildverbesserungen und neuere Beobachtungen in

verschiedenen Wellenlängen konnten die Details des Uranus in Falschfarbenbildern hervorgehoben werden. Einige Darstellungen des Uranus auf Briefmarken und anderswo wirken möglicherweise zu blau, um einen dramatischen Effekt zu erzielen. Ein Beispiel hierfür findet sich in Abb. 15. Die Atmosphären von Uranus und Neptun bestehen hauptsächlich aus Wasserstoff und Helium mit geringen Mengen Methan, welches die blaue Färbung der Atmosphäre verursacht, da es rotes Licht absorbiert. Neptun erscheint „blauer“ als Uranus. Vermutlich spielt der Methaneffekt auch dort eine Rolle, verstärkt durch einen weiteren, unbekanntem physikalischen Prozess (Ref. 3).

Abbildung 16 veranschaulicht die unterschiedlichen Darstellungen des Uranus auf Briefmarken. Sie zeigt „Uranus und Voyager-2“, doch der Planet ist mit einem großen gelben Fleck dargestellt. Den Autoren ist keine Bildbearbeitung oder Spektralbandaufnahme bekannt, die ein solches Bild des Uranus erzeugen könnte; daher ist es am besten als künstlerische Darstellung zu verstehen. Sie zeigt etwas, das wie ein einzelner, durchgehender Ring aussieht, anstatt der tatsächlich vorhandenen mehreren Ringen.

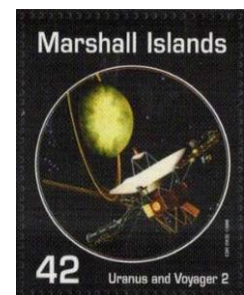


Abb.: 16 Marshall Inseln, Sc 930b, 2008

Die meisten Planeten des Sonnensystems rotieren um eine Achse, die annähernd senkrecht zur Ebene ihrer Umlaufbahnen steht. Die Rotationsachse des Uranus hingegen liegt annähernd in seiner Umlaufbahnebene: Er rotiert fast auf der Seite, mit einer Neigung von 97,8 Grad gegenüber der Vertikalen (Ref. 1). Als Voyager 2 1986 an Uranus vorbeiflog, war der Nordpol dunkel, und die Sonne stand fast senkrecht über dem Südpol. 42 Jahre später hatte sich die Situation umgekehrt. Die daraus resultierenden gravierenden Auswirkungen auf das Klima des Planeten sind noch weitgehend unerforscht. Die Erdachse ist mit einer Neigung von nur 23,5 Grad bekanntermaßen ein wichtiger Faktor für unsere Jahreszeiten. Obwohl Uranus quasi „auf der Seite liegt“, verlaufen seine atmosphärischen Windströmungen annähernd parallel zum Äquator, ähnlich wie bei den anderen Gasriesen (die nicht auf der Seite liegen). „Offenbar bestimmt die Rotation des Planeten selbst und nicht die Verteilung des absorbierten Sonnenlichts die Wind- und Wolkenmuster“ (Ref. 1). Zu dem Rätsel trägt auch die Beobachtung bei, dass Uranus weniger Wärme abstrahlt als die anderen Planeten. Wissenschaftler der Universität Houston analysierten kürzlich jahrzehntelange Messungen von Raumsonden und Computermodellen und stellten fest, dass Uranus 12,5 % mehr

innere Wärme abgibt, als er von der Sonne empfängt. Dieser Wert ist jedoch immer noch deutlich geringer als die innere Wärme anderer Planeten des äußeren Sonnensystems wie Jupiter, Saturn und Neptun, die 100 % mehr Wärme abgeben, als sie von der Sonne erhalten (Referenz NW-9). Diese Tatsache könnte erklären, warum es auf Uranus weniger Stürme gibt als auf den anderen Gasriesen.

Abb. 17 zeigt einen weiteren Umschlag für die nächste Begegnung von Voyager-2 mit Uranus. Der Zudruck zeigt die Raumsonde über einem Falschfarbenbild des Planeten. Dieses Bild wurde invertiert und von diesem Originalbild (NW-10) kopiert, das eine computergenerierte Komposition aus drei Voyager-2-Aufnahmen ist. Die kleinen dunklen Ringe sind Schatten von Staubpartikeln auf dem optischen System der Raumsonde. Im blauen Bereich des Bildes ist ein heller Streifen zu sehen, ähnlich einem irdischen Jetstreifen (NW-11).

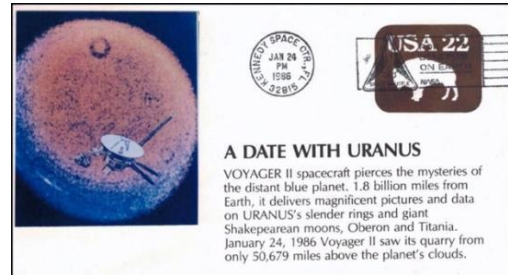


Abb.: 17 Voyager-Sonderumschlag zur Uranus Begegnung, 1986



Abb.: 18 VR China, Postkarte, Uranus, 2003

Das OPAL (NW-12)-Programm (Outer Planet Atmospheres Legacy) nutzt das Hubble-Weltraumteleskop (HST) für jährliche Beobachtungen der Riesenplaneten. Ziel ist es, zeitliche Lücken in den Beobachtungen anderer Programme zu schließen. OPAL untersucht langfristige Trends, die mit saisonalen und anderen Entwicklungszyklen (einschließlich Sturmaktivität, Windfeldvariabilität und Aerosolveränderungen) in den hochdynamischen Atmosphären der Riesenplaneten zusammenhängen. Abb. 18 zeigt eine Falschfarbenaufnahme des Uranus aus dem Jahr 1998, aufgenommen mit der Nahinfrarotkamera und dem Multi-Objekt-Spektrometer NICMOS (Near-Infrared Camera and Multi-Object Spectrometer) des HST. Die hellen Flecken stellen hohe, kalte Wolken dar (ähnlich den Zirruswolken in der Erdatmosphäre) über kleinen, kurzlebigen Stürmen (mit einer Lebensdauer von bis zu einigen Monaten) in der Uranusatmosphäre. Solche Stürme werden in Ref. 5 beschrieben. Diese kalten Wolken und die charakteristische

Streifenstruktur der Wolken sind auf normalen Aufnahmen des Planeten im sichtbaren Licht nicht zu sehen. Weitere Details zu dieser Aufnahme finden Sie unter NW-13. Weitere Bilder des Uranus in verschiedenen Wellenlängen und mit unterschiedlichen Verbesserungen finden Sie unter NW-14.

OPAL hat einige langfristige atmosphärische Veränderungen auf Uranus dokumentiert. So zeigt beispielsweise eine Aufnahme vom 25. Oktober 2021 (NW-15) die helle nördliche Polarkappe des Planeten. Auf Uranus herrscht Frühling auf der Nordhalbkugel, das heißt, der Nordpol ist der Sonne zugewandt. Aufgrund der starken Neigung der Planetenachse von fast 90 Grad ist dies eine markante Veränderung. Die im Frühling zunehmende UV-Strahlung der Sonne verändert die Konzentration von Methangas und Dunstpartikeln in der Atmosphäre, was wiederum zu einer Aufhellung der Polarregion führt (Referenz NW-16). Anders ausgedrückt: „Auf Uranus bilden sich dynamische Wolkenformationen, die sich rasch verändern und helle Strukturen aufweisen“ (Referenz NW-17). Eine ausführlichere Beschreibung des Planetenklimas und seiner signifikanten saisonalen Schwankungen finden Sie unter NW-18.



Voyager-2 beobachtete 1986 einen dynamisch inaktiven Uranus. Im Laufe der Jahre nahm die Sturmaktivität jedoch zu. „Spätere Beobachtungen vom Boden oder mit dem Hubble-Weltraumteleskop in den 1990er und 2000er Jahren zeigten helle Wolken auf der Nordhalbkugel (im Winter). 2006 wurde ein dunkler Fleck entdeckt, der dem Großen Dunklen Fleck (NW-19) auf Neptun ähnelt.“ (Referenz NW-20).

Uranus strahlt im Durchschnitt dieselbe Energiemenge ab wie eine ideale, perfekt absorbierende Oberfläche bei einer Temperatur von 59,1 K (-214 °C) (Ref. 1). Dieser Wert liegt sehr nahe an der ursprünglichen Messung von Voyager 2 (60 K, -213 °C) (Ref. 4). Ref. 2 enthält eine Grafik mit der hypothetischen Zusammensetzung und Struktur der Uranusatmosphäre. Sie zeigt eine Temperatursondierung, deren Form derjenigen der Troposphäre und Stratosphäre der Erde ähnelt. Abb. 19 zeigt einen Souvenirbogen mit einer Briefmarke (SS1) aus einem von der Türkei herausgegebenen Prestige-Briefmarkenheft. Er enthält die Werte verschiedener physikalischer Eigenschaften des Uranus, darunter die „durchschnittliche [Wolkenober-]Temperatur“,

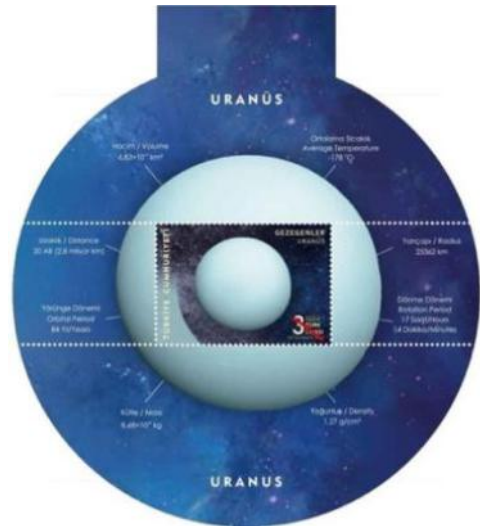


Abb.: 19 Türkei, Sc 3725g, 2020

die im Text mit -178 °C angegeben wird. Dieser Wert stimmt gut mit den Angaben in der Grafik überein. Die durchschnittliche atmosphärische Temperatur des Uranus sinkt mit zunehmender Höhe auf einen Minimalwert von etwa 55 K (-218 °C). Lokal kann sie sogar bis auf 49 K (-223 °C) sinken. Dies ist die niedrigste atmosphärische Temperatur aller Planeten des Sonnensystems (Ref. 2). Interessanterweise stellte Voyager-2 fest, dass die Temperaturunterschiede zwischen den Polen gering waren – weniger als 1 K (1 °C) –, obwohl ein Pol zum Zeitpunkt des Vorbeiflugs der Sonne zugewandt war, während der andere im Dunkeln lag. Dieser Mangel an globalen Unterschieden wird auf den effizienten horizontalen Wärmetransport und die hohe Wärmespeicherkapazität der tiefen Atmosphäre des Uranus zurückgeführt (Ref. 1).

Die zonalen Winde (NW-21) (parallel zum Äquator) in der oberen Atmosphäre des Planeten wurden durch die Beobachtung verschiedener Wolkenstrukturen berechnet. Ungewöhnlicherweise rotiert Uranus in einer Richtung, die wir auf der Erde als Ost-West bezeichnen würden (entgegengesetzt zur Rotationsrichtung unseres Planeten), und seine Winde sind um ein Vielfaches stärker als die der Erde – bis zu 720 km/h in Rotationsrichtung (prograd) in den mittleren Breiten des Uranus und bis zu 400 km/h entgegen der Rotationsrichtung (retrograd) am Äquator. „Die äquatorialen Winde des Neptun sind ebenfalls retrograd, die des Jupiter und Saturn hingegen prograd. Es gibt keine zufriedenstellende Theorie, die diese Unterschiede erklärt“ (Ref. 1). Die Wolkenbänder des Uranus sind auf die Winde ausgerichtet und verlaufen somit ebenfalls parallel zum Äquator des Planeten. Die uranischen Winde werden in Ref. 7 und unter NW-22 detaillierter beschrieben.

Wie im Titelbild in Abb. 12 angegeben, war eines der Ziele der Voyager-2-Mission die Erforschung der Magnetosphäre des Uranus. Die Sonde führte außerdem Messungen des Magnetfelds und der Strahlungsgürtel des Planeten durch. Die Weltraumwetterforschung zum Uranus wird in zahlreichen Quellen (u. a. in den Referenzen 1, 2 und 7) wesentlich detaillierter behandelt, als es hier möglich ist. In einer verwandten Arbeit stellte die Raumsonde fest, dass „Uranus relativ gut entwickelte Polarlichter besitzt, die als helle Bögen um beide Magnetpole sichtbar sind“ (Referenz 6). Im Abschnitt zur Ultraviolettastronomie beschreibt Referenz 7 die Polarlichter des Planeten und präsentiert zwei Bilder, auf denen sie zu sehen sind.

Weltraumteleskope haben einen Großteil unseres jüngsten Wissens über Uranus geliefert. Einige Ergebnisse des Hubble-Weltraumteleskops (HST) wurden bereits beschrieben. Das James-Webb-Weltraumteleskop (JWST) hat sowohl das Sonnensystem als auch Objekte im Weltraum untersucht. Eine JWST-Aufnahme von Uranus vom 6. Februar 2023 finden Sie unter NW-23. Die SS1 in Abb.



Abb.: 21 Djibouti, Ohne Kat #, HST & Uranus, 2007

20 zeigt beide Weltraumteleskope, allerdings nicht im Kontext von Beobachtungen unseres Sonnensystems. Abb. 21, eine illegale Briefmarke,

zeigt das HST im Vordergrund und „Uranus“ im Hintergrund. Den Autoren sind keine philatelistischen Objekte bekannt, weder legale noch illegale, die das JWST und Uranus darstellen oder zumindest darauf Bezug nehmen.



Abb.: 10 Zentralafrika, BI 3282, 2023.

Die fünf wichtigsten Uranusmonde

„Uranus hat 29 bekannte Monde. Während die meisten Satelliten anderer Planeten ihre Namen aus der griechischen oder römischen Mythologie tragen, sind die Uranusmonde insofern einzigartig, als sie nach Figuren aus den Werken von William Shakespeare und Alexander Pope benannt sind“ (Referenz NW-24).

William Herschel (Abb. 5, 7, 12 und 30) entdeckte 1787 die beiden größten Uranusmonde Titania und Oberon. „Zwei weitere große Monde, Ariel und Umbriel, wurden 1851 von dem englischen Astronomen William Lassell entdeckt“ (Ref. 1). Sein 1200-mm-Teleskop (48 Zoll), gebaut 1855 und auf Malta installiert, ist in Abb. 22 abgebildet. Die Namen dieser vier Monde wurden



Abb.: 22 Malta, Sc 1366, 2009

von William Herschels Sohn, dem Astronomen John Herschel, vorgeschlagen. Der letzte große Mond, Miranda, wurde 1948 von dem niederländisch-amerikanischen Astronomen Gerard Kuiper fotografisch entdeckt (Ref. 1). Nach ihm wurde schließlich die „C-144 Kuiper Airborne Observatory“ (Abb. 9) benannt, deren Wappen auch eine Schnitzzeichnung der Kuiper-Sternwarte zeigt.

Nahezu alle Erkenntnisse über die charakteristischen Oberflächeneigenschaften der großen Uranusmonde stammen von Voyager 2, die in wenigen Stunden an ihnen vorbeiflog und nur ihre sonnenbeschienenen Südhemisphären fotografierte (Ref. 1). Die Monde besitzen weder nachweisbare Atmosphären noch Magnetfelder. Das Infrarot-Interferometer-Spektrometer (IRIS) von Voyager 2 maß sonnenbeschienene Oberflächentemperaturen im Sommer von etwa 86 K (-187 °C) bei Miranda und 84 K (-189 °C) bei Ariel (Ref. 10). Ref. 9 modelliert für Umbriel einen Temperaturbereich von 25 bis 90 K (-248 °C bis -183 °C) zwischen Winterminimum und Sommermaximum im Verlauf eines vollen Uranusjahres. Am Äquator des Mondes liegt der entsprechende Bereich zwischen 39 und 81 K (-234 °C bis -192 °C). Auf Titania können die Oberflächentemperaturen im Polarsommer bis zu 85-90 K (-188 °C bis -183 °C) erreichen (Referenz NW-25).

„Wassereis ist in den Oberflächenspektren der fünf größten Monde nachweisbar. Da die Reflexionsgrade der Monde geringer sind als die von reinem Eis, liegt die Vermutung nahe, dass ihre Oberflächen aus verunreinigtem Wassereis bestehen. Die Zusammensetzung der dunklen Komponente ist unbekannt“ (Ref. 1). Die Dichten der vier größten Monde (1,4–1,7 g/cm³) deuten

auf eine Zusammensetzung von etwa 50 % Eis und 50 % Gestein hin. Miranda ist weniger dicht ($1,2 \text{ g/cm}^3$) und weist daher ein höheres Eis-Gesteins-Verhältnis auf (Ref. 1). Auf allen Monden könnte das Eis Ammoniak und Kohlendioxid enthalten (Ref. 2).

Ein überraschendes Ergebnis ist, dass „die großen Monde von Uranus und Neptun mögliche Ozeanwelten sind“ (Ref. 8). Diese Idee wird durch neuere Forschungsergebnisse (2023) gestützt, die unter NW-26 zusammengefasst werden. Sie nutzen eine erneute Analyse der Voyager-2-Daten sowie Computermodellierungen, um zu zeigen, dass die vier größten Monde des Uranus möglicherweise genügend Wärme aus internem radioaktivem Zerfall speichern können, um salzige oder salzhaltige Ozeane zwischen ihren eisigen Krusten und Kernen zu bilden (Miranda erwies sich als zu klein, um die erforderliche Wärme zu speichern). Diese Hypothese wird durch teleskopische Beobachtungen gestützt, die zeigen, dass mindestens einer der Monde, Ariel, Material besitzt, welches möglicherweise von eisigen Vulkanen auf seine Oberfläche geflossen ist, und dies erst vor relativ kurzer Zeit (Referenz NW-27). Ref. 8 geht sogar so weit zu behaupten, dass „die fünf klassischen Uranusmonde und Neptuns Mond Triton Ozeanwelten sein könnten, die Anzeichen für eine rezente geologische Oberflächenerneuerung aufweisen, darunter kryovulkanische Aktivität und hohe innere Temperaturen.“ „Aufgrund der für das äußere Sonnensystem zu erwartenden sehr niedrigen Temperaturen handelte es sich bei der austretenden Flüssigkeit wahrscheinlich um ein Wasser-Ammoniak-Gemisch mit einem Schmelzpunkt weit unter dem von reinem Wassereis. Helligkeitsunterschiede könnten auf Unterschiede in der Zusammensetzung der austretenden Flüssigkeit oder in der Oberflächengeschichte hinweisen“ (Ref. 1).

Umbriel ist der dunkelste der fünf Hauptmonde des Uranus. „Er reflektiert nur 16 Prozent des einfallenden Lichts ... Der Prozess, durch den Umbriels uralte, kraterübersäte Oberfläche verdunkelt wurde, ist weiterhin ein Rätsel ... Aufnahmen von Voyager-2 aus dem Jahr 1986 zeigten einen auffälligen hellen Ring mit einem Durchmesser von etwa 140 km auf der dunklen Oberfläche des Mondes. Es ist unklar, wodurch dieser markante Ring entstanden ist; möglicherweise handelt es sich jedoch um Frostablagerungen, die mit einem Einschlagkrater in Verbindung stehen“ (Referenz NW-28). Das SpeX ist ein Spektrograph mittlerer Auflösung ($0,7\text{--}5,3 \mu\text{m}$) am Infrarotteleskop der NASA (IRTF NW-29) auf dem Mauna Kea (Referenz NW-30). Ref. 9 baut auf IRTF/SpeX-Beobachtungen der Hauptmonde des Uranus aus den frühen 2000er-Jahren auf und stellt die Hypothese auf, dass Umbriels „Frost“-Ablagerungen aus CO_2 -Eis bestehen und dass ähnliche Ablagerungen auf Ariel, Titania und Oberon existieren könnten (jedoch nicht auf Miranda und den kleineren Monden). Es wird außerdem darauf hingewiesen, dass „der CO_2 -Transport auf luftleeren, eisigen Bahnen von der Raumsonde Cassini auf den Saturnmonden Rhea und Dione aktiv beobachtet wurde.“ Angesichts der bereits erwähnten großen saisonalen Schwankungen der Oberflächentemperatur auf den Uranusmonden könnte ein entsprechender saisonaler CO_2 -Transport auch auf Umbriel, Ariel, Titania und Oberon stattfinden. Vereinfacht gesagt, könnte ein Teil des CO_2 saisonal „sublimieren und zum gegenüberliegenden Pol sowie in die äquatorialen Regionen wandern, wodurch eine Art Kohlenstoffkreislauf entsteht“ (Referenz NW-31), wobei die atmosphärischen CO_2 -Konzentrationen unterhalb der derzeitigen Nachweisgrenze bleiben.

Umbriel und Uranus sind in Abb. 23 dargestellt. Der Mond



Abb.: 23 Liberia, ohne Kat.-#, 2024



Abb.: 24 Ghana, Sc 2909, 2016.

erscheint sehr dunkel und weist den oben erwähnten hellen „Frostring“ auf. Abb. 24 zeigt einen Kleinbogen mit vier Marken (MS4), der 2016 zum 30. Jahrestag des Vorbeiflugs von Voyager 2 an Uranus herausgegeben wurde. Der linke Rand zeigt die Raumsonde über Uranus, dessen Ringe in der Zeichnung hervorgehoben sind. Die Marke „b“ des MS4 zeigt Voyager 2 über Umbriel mit dem Text „Vorbeiflug an Umbriel – 325.000 km“. In dieser Darstellung ist der Mond nicht so dunkel wie in Abb. 23. Eine weitere Marke (Abb. 25) zeigt Voyager 2 über Umbriel und Uranus mit dem Text „Voyager 2: Umbriel“. Hier ist der Mond größtenteils in hellen Gelb- und Rottönen dargestellt, was nicht dem bekannten dunklen Farbton dieses Mondes entspricht.



Abb.: 25 St. Vincent, Sc 2792a, 2000

Wie bereits erwähnt, diente Ariel in mindestens einer Studie zur möglichen geologischen Oberflächenerneuerung der wichtigsten Uranusmonde als Modell. Die Marke „d“ in MS4 von Abb. 24 zeigt Voyager-2 und Ariel mit dem Text „Ariel-Vorbeiflug – 127.000 km“. Auch Abb. 26 zeigt Ariel mit dem Text „Voyager-2“ und „Ariel, Mond des Uranus“. Diese Darstellungen des Mondes können mit dem tatsächlichen Voyager-2-Bild von Ariel verglichen werden (z. B. unter NW-32).

Der obere rechte Rand der St. Vincent Scott 2793, einer im Jahr 2000 erschienenen MS6-Marke, zeigt einen Mond mit der Bezeichnung „Ariel“. Diese MS6-Marke behandelt fast ausschließlich Saturn und seine Monde und war bereits in Artikel 10 dieser Reihe enthalten; sie wird hier nicht vollständig wiederholt. Ein um 100 Grad nach links gedrehter Ausschnitt des Randes dieser MS6-Marke ist jedoch als Abb. 27 abgebildet.



Abb.: 26 Ghana, Sc 1226c, 1990

Vergleicht man ihn mit Abb. 28, einer Voyager-2-Aufnahme von Miranda (z. B. von der Seite NW-33), so stellt man eine nahezu perfekte Übereinstimmung fest. Der Mond ist Miranda, nicht Ariel! Eine weitere Marke, Abb. 29, zeigt die künstlerische Darstellung des Uranus mit einem einzelnen weißen Ring, wie der Planet von Miranda aus zu sehen sein könnte. Der Text lautet „Voyager-2“ und „Uranus und Miranda“. Diese Marke ist auch deshalb interessant, weil sich das Design bis zu seiner Quelle zurückverfolgen lässt. Das Originalbild ist unter NW-34 zu finden (für die Briefmarke wurde es horizontal gespiegelt). Dort erfahren wir, dass es sich um eine „Montage von Voyager-2-Fotos vom Januar 1986 handelt, die eine Ansicht von Uranus und seinen Ringen simuliert, als ob man sie über den Horizont von Miranda, einem der Uranusmonde, sähe.“ Abb. 30 zeigt eine Künstlerzeichnung des „Satelliten Miranda“. Im Hintergrund sind Teile von Uranus und seinen Ringen zu sehen, im Vordergrund William Herschel. Auch die Raumsonde „Mariner Mark II (NW-35)“ ist abgebildet. Sie war ein Vorläufer der Cassini-Huygens-Sonde (C-H). Mariner Mark II wurde nie gebaut, und C-H erforschte Saturn (siehe Teil 9

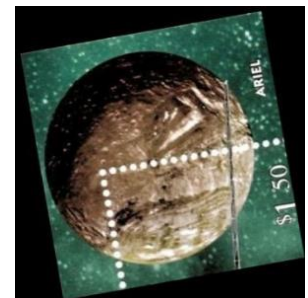


Abb.: 27 St. Vincent, Sc 2793, 2000.

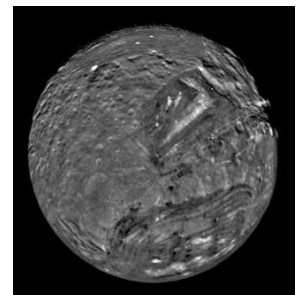


Abb.: 28 Foto von Voyager-2 auf Miranda



dieser Artikelserie für Details) statt Uranus. Daher handelt es sich um einen Fehler im Briefmarkendesign.



Abb.: 29 Ghana, Sc 1226h, 1990



Abb.: 30 Zentral-Afrika, Sc. 844, 1988

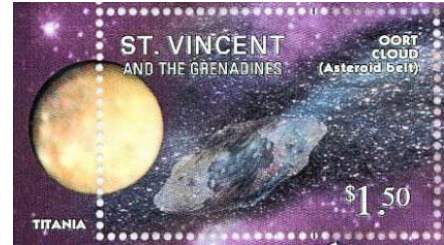


Abb.: 31 St. Vincent, Sc 2792d, 2000

Abb. 31 (Briefmarke „d“ und ein Ausschnitt des linken Randes einer MS6-Marke aus St. Vincent) zeigt eine farbenprächige, künstlerische Darstellung der Titania, wobei der Mond im Text erwähnt wird. Sie kann mit dem Voyager-2-Foto der Titania verglichen werden (z. B. NW-36). Dies ist die einzige den Autoren bekannte Briefmarke mit einer Abbildung der Titania. Abb. 1 und 17 enthalten die Namen „Oberon“ und „Titania“ im Text. Sie sind die einzigen den Autoren bekannten philatelistischen Objekte, die den Mond Oberon erwähnen.

Voyager-1 flog an den Gasriesen vorbei, besuchte aber nicht die Eisriesen. Abb. 32 zeigt eine MS4-Briefmarke, die Guinea-Bissau zum 45. Jahrestag des Starts von Voyager-1 herausgab. Die vier Briefmarken zeigen jeweils eine Voyager-Sonde und einen der vier Gasriesen. Auf Briefmarke „c“ steht „Voyager-1“ und „Uranus“, auf der entsprechenden Briefmarke „b“ „Voyager-1“ und „Neptun“. Da nur Voyager-2 die beiden Eisriesen besuchte, ist der Text auf diesen beiden Briefmarken fehlerhaft. Der Text auf den Briefmarken „a“ und „d“ könnte korrekt sein, da beide Voyager-Sonden Jupiter und Saturn besuchten.

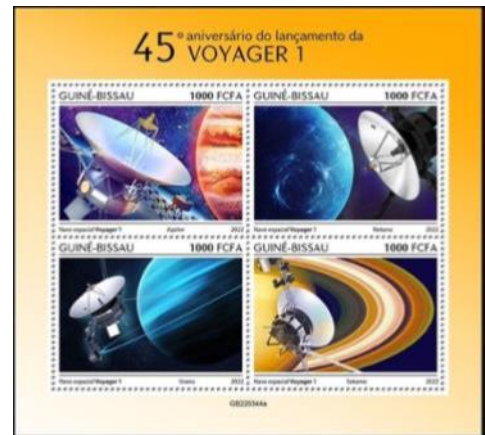


Abb.: 32 Guinea Bissau, Yt 10334-10337, 2022

Fazit

Uranus und seine Monde stellen eine faszinierende wissenschaftliche Herausforderung dar. Jüngste Fortschritte in der Erforschung des Uranussystems beruhen auf der erneuten Analyse von Voyager-2-Beobachtungen und umfangreichen Fernerkundungsarbeiten mit Daten von erdgebundenen und erdnahen Plattformen. Zahlreiche Raumsondenmissionen zur erneuten Erkundung des Planeten und seiner Monde wurden vorgeschlagen. Eine Liste finden Sie unter NW-37). Bislang hat sich jedoch keine dieser Planungen weiterentwickelt. Solche Missionen wären kostspielig und würden einen langen Zeitraum in Anspruch nehmen.

Der nächste Artikel dieser Reihe befasst sich mit Neptun und seinen wichtigsten Monden.



Referenzen

- Ref. 1: <https://www.britannica.com/place/Uranus-planet/Basic-astronomical-data>
- Ref. 2: <https://en.wikipedia.org/wiki/Uranus>
- Ref. 3: Davis, Joel, 2020: The Mystery and Majesty of the Ice Giants. Astronomy, Vol. 48, Nr. 12 (Dezember), S. 40–47.
- Ref. 4: JPL Public Information Office, 1993: Voyager Outer-Planet Grand Tour. NASA-Factsheet 6-93, 12 Seiten.
- Ref. 5: Sromovsky, L. A. et al., 2012. Episodische helle und dunkle Flecken auf Uranus. Icarus 220, 6–22.
- Ref. 6: Herbert, Floyd und Bill R. Sandel, 1999. Ultraviolettbeobachtungen von Uranus und Neptun. Planetary and Space Science 47 (8–9): 1119–1139.
- Ref. 7: https://en.wikiversity.org/wiki/Solar_System,_technical/Uranus
- Ref. 8: Beddingfield, Chloe B. et al., 2021. Erforschung der Eisriesensysteme. Ein Whitepaper für die NASA-Dekadenstudie zu Planetenwissenschaft und Astrobiologie, 2023–2032. Online verfügbar unter <https://arxiv.org/pdf/2007.11063>.
- Ref. 9: Sori, M.M. et al., 2017. Eine Wunda-volle Welt? Kohlendioxid-Eisvorkommen auf Umbriel und anderen Uranusmonden, Icarus 290, 1–13.
- Ref. 10: Hanel, R. et al., 1986. Infrarotbeobachtungen des Uranussystems. Science 233, 70–74.

Nachweise:

- NW-1: https://en.wikipedia.org/wiki/Uranus#/media/File:Uranian_moon_montage,_albedo_corrected.png
- NW-2: <https://science.nasa.gov/uranus/moons/>
- NW-3: <https://en.wikipedia.org/wiki/Saturn>
- NW-4: <https://en.wikipedia.org/wiki/Urania>
- NW-5: https://en.wikipedia.org/wiki/Kuiper_Airborne_Observatory
- NW-6: <https://www.drewexmachina.com/2016/01/24/voyager-2-the-first-uranus-flyby/>
- NW-7: <https://www.drewexmachina.com/2016/01/24/voyager-2-the-first-uranus-flyby/>
- NW-8: <http://www.astronautix.com/v/voyager.html>
- NW-9: <https://www.space.com/astronomy/uranus/scientists-find-uranus-is-surprisingly-warm-heating-up-the-case-for-a-new-planetary-mission>
- NW-10: <https://www.britannica.com/place/Uranus-planet>
- NW-11: <https://weathereventsexplained.com/jet-streaks/>
- NW-12: <https://www.ssl.berkeley.edu/opal/>
- NW-13: <https://science.nasa.gov/asset/hubble/bright-clouds-on-uranus/>
- NW-14: https://en.wikiversity.org/wiki/Solar_System%2C_technical/Uranus
- NW-15: <https://science.nasa.gov/asset/hubble/uranus-2/>
- NW-16: <https://www.space.com/hubble-grand-tour-outer-planet-atmospheres-photos>
- NW-17: <https://science.nasa.gov/uranus/facts/>
- NW-18: https://en.wikipedia.org/wiki/Climate_of_Uranus
- NW-19: https://en.wikipedia.org/wiki/Great_Dark_Spot
- NW-20: https://en.wikipedia.org/wiki/Climate_of_Uranus#Uranus_Dark_Spot
- NW-21: https://en.wikipedia.org/wiki/Zonal_and_meridional_flow
- NW-22: https://en.wikipedia.org/wiki/Climate_of_Uranus
- NW-23: <https://www.space.com/james-webb-space-telescope-uranus-rings-photo>



- NW-24: <https://science.nasa.gov/uranus/facts/>
- NW-25: [https://en.wikipedia.org/wiki/Titania_\(moon\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Titania_(moon))
- NW-26: <https://www.nasa.gov/centers-and-facilities/jpl/new-study-of-uranus-large-moons-shows-4-may-hold-water/>
- NW-27: <https://iopscience.iop.org/article/10.3847/2041-8213/aba27f/meta>
- NW-28: <https://science.nasa.gov/uranus/moons/umbriel/>
- NW-29: <https://irtfweb.ifa.hawaii.edu/>
- NW-30: <https://irtfweb.ifa.hawaii.edu/%7Espex/>
- NW-31: [https://en.wikipedia.org/wiki/Titania_\(moon\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Titania_(moon))
- NW-32: <https://science.nasa.gov/uranus/moons/>
- NW-33: <https://science.nasa.gov/uranus/moons/>
- NW-34: <https://www.britannica.com/place/Uranus-planet>
- NW-35: <https://ntrs.nasa.gov/citations/19880047876>
- NW-36: <https://science.nasa.gov/uranus/moons/>
- NW-37: https://en.wikipedia.org/wiki/Exploration_of_Uranus

Neuausgaben zum Thema Astronomie

Vereinigte Staaten – Neue JWST-Briefmarken erscheinen 2026

Die US-Post wird 2026 zwei weitere Briefmarken mit hohem Nennwert herausgeben, die Bilder des James-Webb-Weltraumteleskops (JWST) zeigen. Der Nennwert wird noch bekannt gegeben. Die Briefmarken werden den Krebsnebel und ein Paar interagierender Galaxien – IC 2163 und NGC 2207 – in den Mittelpunkt stellen. Der Krebsnebel, ein Supernova-überrest im Sternbild Stier, ist etwa 6.500 Lichtjahre entfernt. Das Paar interagierender Galaxien ist etwa 80 Millionen Lichtjahre von der Erde entfernt. Greg Breeding, Art Director der USPS, entwarf beide Briefmarken anhand von NASA-Fotos.

