Einige Ergebnisse vom Flug von Mariner 10 zu Venus und zu Merkur

Autor(en): **Müller, Helmut**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft**

Band (Jahr): **32 (1974)**

Heft 145

PDF erstellt am: **19.03.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-899673

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

ORION

Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft
Bulletin de la Société Astronomique de Suisse

32. Jahrgang, Seiten 209-240, Nr. 145, Dezember 1974 32e année, pages 209-240, No. 145, Décembre 1974

Einige Ergebnisse vom Flug von Mariner 10 zu Venus und zu Merkur

von Helmut Müller, Zürich

Am 3. November 1973 startete Mariner 10 in Cape Canaveral an der Spitze einer Atlas-Centaurus-Rakete zu einer Geschwindigkeit von 40650 km pro Stunde relativ zur Erde, das ist ein wenig mehr als die Entweichgeschwindigkeit aus dem irdischen Gravitationsfeld. Gleich zu Beginn der Reise zu Venus und Merkur wurden vom 3.–9. November an der Erde und am Mond, die beide in ihrem Aussehen gewisse Ähnlichkeiten mit Venus bzw. Merkur haben, die Kameras erprobt und auch die anderen Instrumente getestet.

Es soll an dieser Stelle nicht zu ausführlich auf Einzelheiten der Konstruktion von Mariner 10 eingegangen werden; die Bilder der verschiedenen Raumsonden ähneln sich in gewisser Weise und sind genugsam bekannt. An dem Hauptkörper, der einen 8-eckigen Querschnitt hat und vor allem den Raketenmotor und den Brennstoff enthält, sind zwei gegenüberliegende, etwa 2.70 m lange Ausleger angebracht, auf denen sich die Sonnenzellen befinden, welche die nötige elektrische Energie von 475 Watt für alle Apparaturen liefern. Wesentlich ist, dass man die Neigung dieser Paddel gegen die Sonne verstellen kann, so dass sie sich auch bei zunehmender Sonnennähe nicht über 100 °C erhitzen. Eine Rundstrahlantenne und eine steuerbare, sehr leistungsfähige Parabolantenne, deren Paraboloid einen Durchmesser von 137 cm hat, sorgen für die Verbindung mit der Erde. Zwei Navigationssensoren bewerkstelligen das Ausrichten der Sonde nach dem Stern Canopus und nach der Sonne. Dass die nötigen Radiosender und -empfänger mit sämtlichem Zubehör, sowie ein Mini-Computer in den Hauptkörper eingebaut sind, braucht kaum erwähnt zu werden.

Von grösserem Interesse sind dagegen die eigentlichen Aufnahme- und Messgeräte, die aussen am Körper der Sonde angebracht sind: Zwei auf Befehl zu richtende Fernseh-Kameras, ein Teleskop zur Messung geladener Teilchen im Massenbereich 1 bis 16, also von Wasserstoff bis Sauerstoff, zwei Ultraviolett-Spektrometer, zwei Magnetometer an einem 4 m langen Ausleger, ein Plasma-Analysator zur Messung des Sonnenwindes und ein Infrarot-Strahlungsmesser. In den beiden identischen Vidicon-Kameras sind jeweils zwei optische Systeme eingebaut. Das Hauptsystem ist ein katadioptrisches Cassegrain-Teleskop von 17.8 cm Öffnung und 150 cm Brennweite, das ein Feld von 0.36 × 0.48 Grad aufzunehmen gestattet, während das zusätzliche Hilfssystem mit 50 mm Brennweite ermöglicht, Weitwinkelbilder von etwa 12½ Grad Durchmesser zu gewinnen. Beide Systeme werden nach Wunsch wechselweise benutzt. Ferner sind 8 verschiedene Filter im Bereich von 3740 Å bis 5760 Å vorhanden, die man nach Bedarf jeweils einschalten kann. Die Belichtungszeiten können zwischen 3 Millisekunden und 12 Sekunden variiert werden und alle 42 Sekunden ist mit jeder Kamera eine Aufnahme möglich. Die Bilder bestehen aus 700 Zeilen mit je 832 Bildelementen pro Zeile. Die ganze Sonde wiegt rund 500 kg, wovon 77 kg auf die Instrumente und etwa 29 kg auf Treibstoff entfallen.

Mariner 10 flog am 5. Februar 1974 an Venus vorbei. Die Bahn war so angelegt, dass die Gravitationskraft von Venus dazu verwendet wurde, der Sonde eine solche negative Beschleunigung zu erteilen, dass sie auf eine Umlaufbahn um die Sonne mit einer Umlaufzeit von 176 Tagen, das ist das Doppelte von Merkurs Revolutionszeit, gebracht wurde, und dass diese Bahn sehr nahe an Merkur vorbeiführte. Damit sparte man sich ein teures Raketensystem und Brennstoff auf Mariner 10; allerdings musste der Vorbeiflug an Venus ganz genau nach der Berechnung erfolgen. Es war der erste derartige Versuch, das Prinzip der Ausnutzung der Gravitationskraft von Himmelskörpern praktisch anzuwenden. Am 13. November 1973 und am 18. Januar 1974, sowie am 9. Februar und am 1. März 1974 wurden der Sonde kleine Bahnkorrekturen befohlen, um die gewünschte Bahn streng einzuhalten. Der Vorbeiflug an Merkur erfolgte dann am 29. März 1974, weitere Treffen mit Merkur sind für den 22. September 1974 und den 17. März 1975 vorgesehen. Besonders bemerkenswert ist bei dieser Aktion, dass Mariner 10 auf einer Reise an zwei Planeten vorbeikommt, und dass zum ersten Mal eine Raumsonde Merkur besucht und auch so nah an die Sonne gelangt. Es soll dabei daran erinnert werden, dass Venus bereits zweimal umflogen

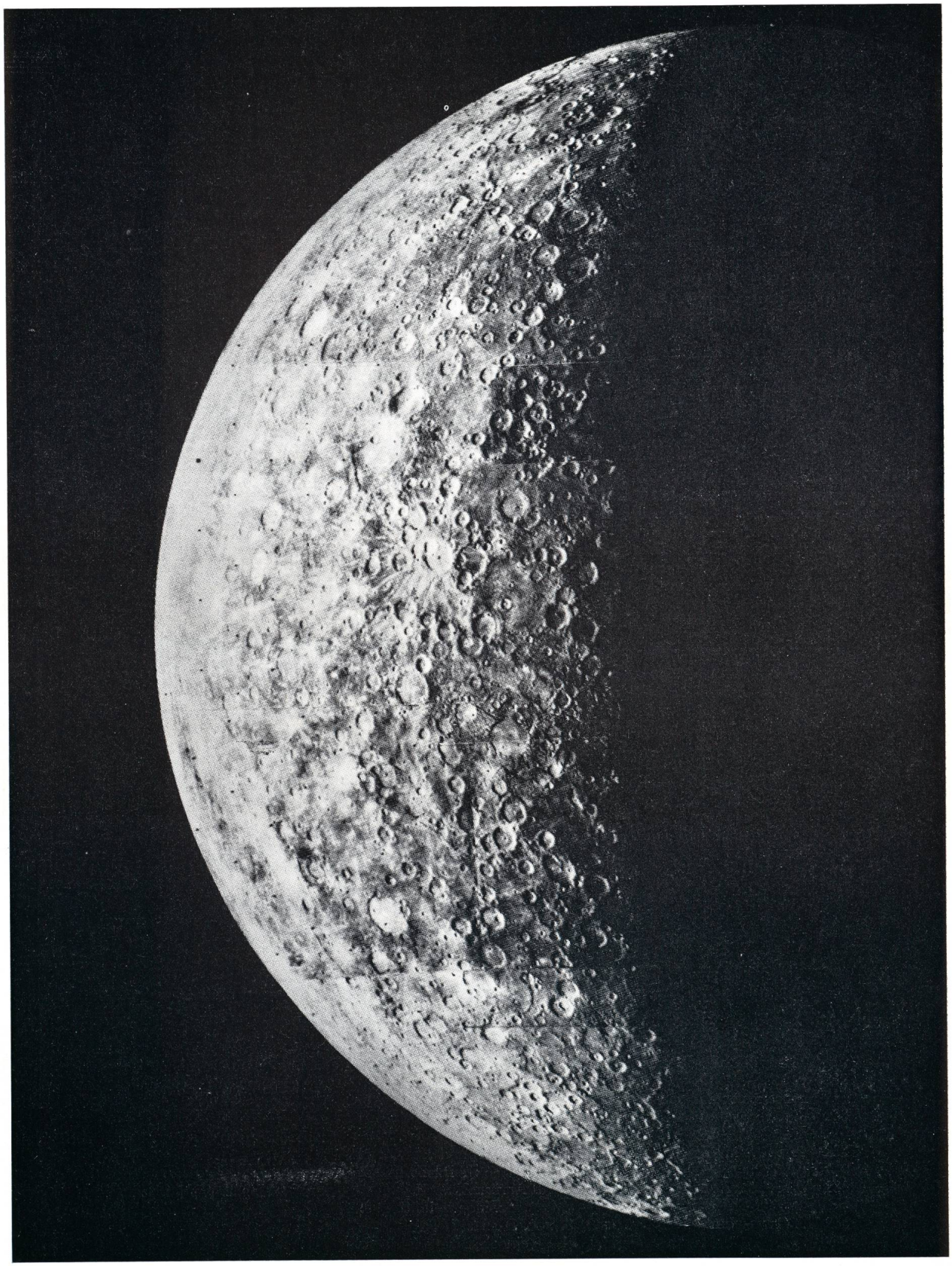


Abb. 1

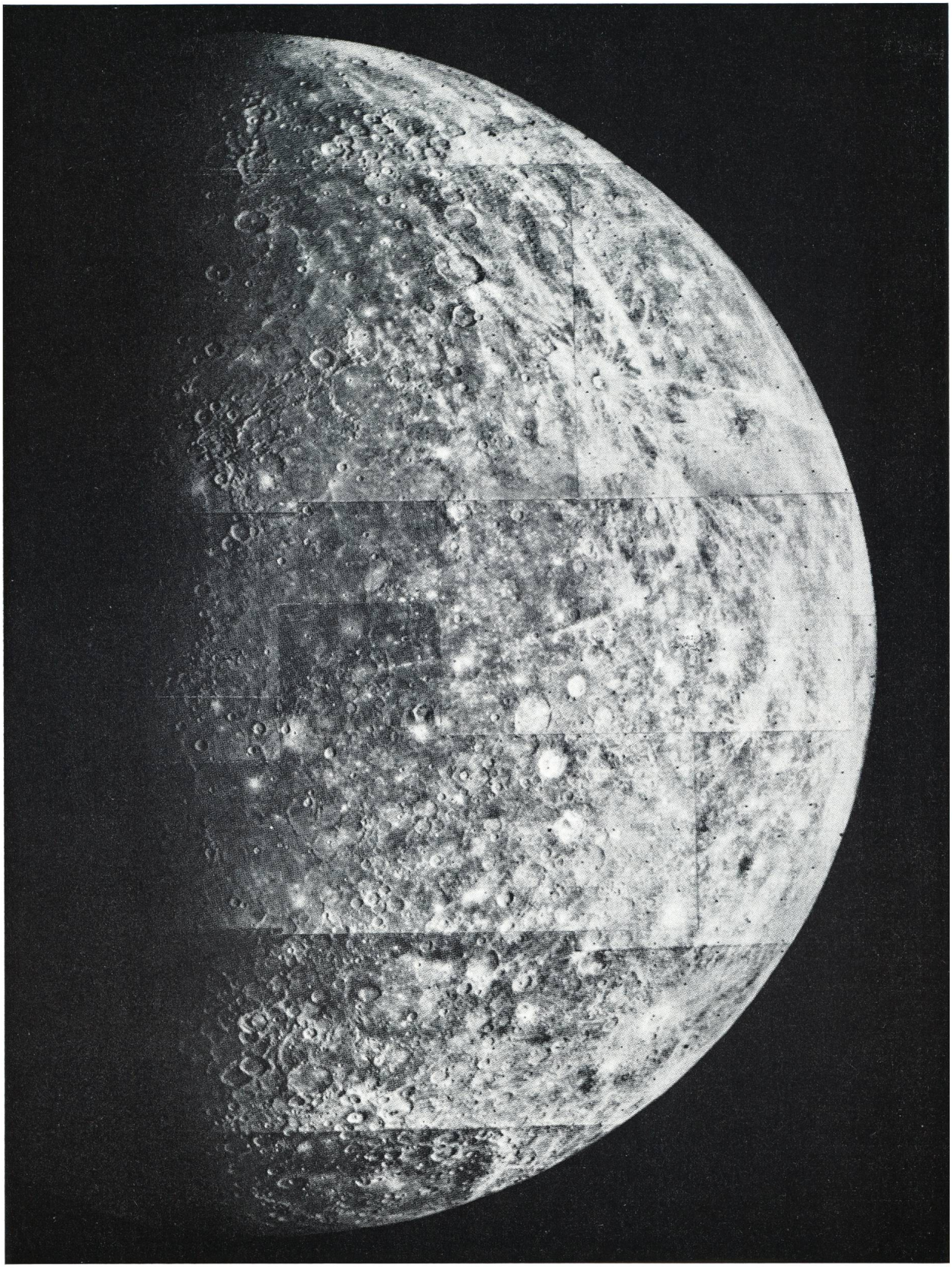


Abb. 2

wurde, von Mariner 2 und Mariner 5, und dass die sowjetischen Sonden Venera 4 bis 8 zu Venus geschickt wurden und dort zum Teil erfolgreiche weiche Landungen auf dem Planeten bewerkstelligen konnten.

Nach einem Weg von rund 240 Millionen Kilometern erreichte Mariner 10 Venus am 5. Februar 1974 im nächsten Abstand von etwa 5500 km von ihrer Oberfläche. Da die Sonde sich dem Planeten von der Nachtseite her näherte, wurden die Fernseh-Kameras erst eine gute halbe Stunde vor der grössten Annäherung eingeschaltet. Sie lieferten dann bis zum 9. Februar, zeitweilig kontinuierlich im erwähnten 42-Sekunden-Intervall, zeitweilig auch seltener, eine Fülle von Bildern, vom 9.–13. Februar entsprechend dem grösser werdenden Abstand nur noch vier Bilder pro Stunde, insgesamt jedenfalls weit über 3000 Bilder, deren erschöpfende Auswertung noch einige Zeit beanspruchen wird. Sicher ist zumindestens, dass man auf keinem Bild die eigentliche Oberfläche der Venus sieht, die durch eine stets völlig geschlossene Wolkendecke total verhüllt ist. Man erfasst also immer nur mehr oder weniger hohe Wolkenschichten, wobei im besten Fall ein Auflösungsvermögen von 200 bis 100 Metern, eher noch etwas mehr, erreicht wurde. Während die Aufnahmen im Bereich des sichtbaren Lichtes nicht allzuviele Einzelheiten zeigen, sind die im ultravioletten Bereich sehr abwechslungsreich.

Will man die globalen Zustände in der Venusatmosphäre studieren, ist es angebracht, Einzelaufnahmen mit relativ hoher Auflösung, die nur einen ziemlich kleinen Teil der Oberfläche überdecken, zu einem Mosaikbild der ganzen Hemisphäre zusammenzusetzen. Hierauf erkennt man dann eindrucksvoll und in reinster Form das klassische Muster der sogenannten HADLEY-Konvektionszellen, das HADLEY im Jahre 1735 für die Erdatmosphäre entworfen und vorgeschlagen hatte, das aber hier wegen der Existenz der Meere keineswegs so klar und deutlich zum Ausdruck kommt. Die Grundidee von HADLEY war, dass am Äquator die Erwärmung der Atmosphäre durch die Sonnenstrahlung am stärksten ist, wodurch Konvektionszellen grossen Ausmasses in die Höhe steigen und dort sodann nach Norden und nach Süden abströmen, wobei sie durch die Rotation des Planeten in die Länge gezogen werden. Auf diese Weise entstehen die Y- oder V-artigen Strukturen eines dunklen Gürtels am Äquator, der sich nach Norden und Süden aufspaltet; entsprechende parallele Bänder bilden sich in mittleren und in hohen Breiten aus, wo dann langgestreckte Cirruswolken die Abkühlung und die Abstrahlung der Wärme verraten (vgl. ORION Nr. 143, S. 165, Bild 1). Auf der Erde sind nach diesem Vorgang die bekannten Passat-Winde zu verstehen, aber die klare Ausbildung der ganzen Struktur wird hier durch Wirbelstürme gestört, die sich infolge der Temperaturdifferenzen zwischen Land und Meer zusammenbrauen. Auf einigen besonders guten Aufnahmen der Venus sind deutlich solche Konvektionsströmungen in einzelnen Wolken zu erkennen. Ziemlich ungeklärt ist hingegen die Existenz einer grossen, etwa 2000 km breiten dunklen Wolkenfront gerade unter dem subsolaren Punkt, die offenbar stets mit diesem Punkt mitwandert, also sehr langsam. Man kann sich überlegen, dass bei der retrograden Rotation der Venus in 243.1 Tagen in Verbindung mit der Revolutionsdauer von 224.7 Tagen, wobei die Revolution wie üblich entgegen dem Uhrzeigersinn verläuft, ein «Venus-Tag», also der Tag- und Nacht-Zyklus auf Venus, eine Dauer von $116\frac{3}{4}$ Erdentagen hat.

Im Gegensatz zu dieser stationären Wolke haben die übrigen Wolken eine erstaunliche Geschwindigkeit, wie man aus zeitlich aufeinanderfolgenden Aufnahmen eindeutig ableiten konnte. Sie umkreisen die Venus in 4 Tagen in der gleichen Richtung, wie der Planet rotiert, also retrograd, aber sie tun es fast 50 mal schneller. Diese grossen Windgeschwindigkeiten in Höhen von etwa 50 km waren schon von den Raumsonden Venera 7 und 8, die auf Venus landeten, aus Radialgeschwindigkeiten der an Fallschirmen absinkenden Instrumentenkapseln entnommen worden. In der Äquatorgegend fand man danach Werte von 100–140 m/s oder rund 400 km pro Stunde, was einer Umlaufsdauer von 4 Tagen entspricht. Nach den Aufnahmen von Mariner 10 erhöhen sich diese Windgeschwindigkeiten in Breiten über 65° noch beträchtlich, bis auf das Doppelte in der Nähe der Pole.

Mit dem UV-Spektrometer gelang es, erstmals die Lyman-α-Linie von Helium I bei 584 Å zu registrieren und damit die Existenz von Helium in der Venusatmosphäre nachzuweisen, die zu 95% aus Kohlensäure besteht. In den hohen Atmosphärenschichten sind ausserdem in geringen Mengen atomarer Sauerstoff und Kohlenstoff, sowie Kohlenmonoxyd, wahrscheinlich auch Argon und Neon vorhanden, auch die Existenz von Schwefelsäure wird vermutet.
An der Oberfläche der Venus herrscht bei einem Druck von etwa 90 atm oder 91 bar eine Temperatur von über 400°C. Sie ist wegen des Treibhauseffektes der Kohlensäure so hoch. Venera 7 und 8 massen sogar übereinstimmend in der Äquatorgegend 470°C. Dagegen erhielt man mit dem Infrarotradiometer von Mariner 10 im Spektralbereich von 35 bis 55 mμ – 24°C, wobei kein Unterschied zwischen Tag- und Nachtseite des Planeten und keine Breitenabhängigkeit zu bestehen scheint. Diese Werte beziehen sich aber auf die Oberschicht der Wolkendecke in rund 63 km Höhe bei 200 mbar Druck und die Konstanz dieses Betrages über die Venus hin ist durch die Konvektion und die starken Strömungen ohne weiteres zu verstehen.

Nach den Magnetometermessungen besitzt Venus kein nennenswertes Magnetfeld, es müsste schwächer als 25 γ sein, also weniger als 0.05% des Erdfeldes, was wegen der langsamen Rotation verständlich ist.

Ganz dem entsprechend konnte auch kein Strahlungsgürtel nachgewiesen werden. Aus dem sorgsam verfolgten Verlauf der Bahn der Sonde in der Nähe der Venus lässt sich schliessen, dass das Gravitationsfeld des Planeten sehr homogen sein muss, es zeigt sich auch nicht die geringste Abweichung von einer idealen Kugelform. Die Masse der Venus wurde durch Mariner 10 mit noch grösserer Genauigkeit als schon vorher durch Mariner 5 bestimmt, der gefundene Wert ist ein klein wenig geringer als der bisher angenommene von 0.81485 Erdmassen.

Es wird noch einige Zeit dauern, bis alle Daten von diesem Vorbeiflug an Venus erschöpfend analysiert sind. Manche Einzelheit wird dann noch klarer zu Tage treten, manches wird man vielleicht auch etwas anders erklären. Sicher ist aber, dass durch diese Mission unsere Kenntnisse über diesen Nachbarplaneten vermehrt und gefestigt wurden, dass wir vieles von den Vorgängen in seiner Atmosphäre nun viel besser verstehen.

Nach dem Treffen mit Venus reiste Mariner 10 weiter und umflog am 29. März Merkur in einem minimalen Abstand von 750 km von seiner Oberfläche. Etwa 12 Minuten vorher war die Sonde in den Schattenkegel Merkurs eingetreten und kurz hinter dem nächsten Punkt wurde für sie auch die Erde durch Merkur eine Zeitlang verdeckt. Die Fernseh-Kameras waren schon am 23. März eingeschaltet worden, als der Abstand von Merkur noch mehr als 5 Millionen Kilometer betrug. Die Belichtungszeiten passte man dabei denen der erwähnten Probeaufnahmen vom Mond bei Beginn der Fahrt Anfang November an, da die Albedo-Werte von Merkur und Mond sehr ähnlich sind. Bis zum 28. März wurde zunächst eine Reihe von Bildern in grösseren zeitlichen Intervallen aufgenommen, etwa von einem Tag vor der grössten Annäherung an bis zum Eintritt in den Schattenkegel in fast kontinuierlicher Folge, und in ganz entsprechender Anordnung nach dem Austritt aus dem Schatten bis zum 3. April.

Bevor wir einige dieser Aufnahmen betrachten, sollen zunächst noch kurz ein paar der Ergebnisse gebracht werden, die man zum Teil gerade während des nahen Vorbeiflugs erhalten hat. Im Gegensatz zur Venus wurde bei Merkur ein Magnetfeld festgestellt, welches sich dem interplanetaren Magnetfeld überlagerte, das mit Annäherung an die Sonne ständig angestiegen war, bis auf 20 und 40 γ. Merkurs Magnetfeld ist offenbar ein Dipolfeld und aus der beim nahen Vorbeiflug gemessenen Intensität von etwa 100 γ kann man mit einer Stärke von 200 bis 300 γ an der Oberfläche von Merkur rechnen, was allerdings nicht viel im Vergleich zu den 30000 γ am Äquator der Erde ist. Trotzdem war die Existenz dieses Feldes überraschend und sie gibt zu manchen Spekulationen Anlass. Ganz entsprechend einem solchen Magnetfeld wurde schon im Abstand von etwa 12500 km von Merkurs Oberfläche, das sind 5.1 Merkurradien, die Front der Stosswelle erfasst, die beim Aufprall des Sonnenwindes auf die Magnetosphäre Merkurs zu erwarten ist. In der Magnetosphäre selber wurden auf der Seite, die der Sonne abgewandt ist, bis zu etwa 4800 km Abstand von Merkurs Oberfläche hochenergetische Elektronen von bis zu 1 MeV Energie nachgewiesen. In diesem Teil der Magnetosphäre zwischen 750 und 4800 km Abstand von der Oberfläche sind sie anscheinend ziemlich gleichmässig verteilt, aber ihre Zahl ist so gering, dass sie keine Radiostrahlung nennenswerter Stärke produzieren werden, was mit Beobachtungen im Einklang steht.

Die genaue Überwachung der Bahn von Mariner 10 in Merkurnähe lieferte sehr exakte Werte für die Merkurmasse; der Wert von 1/6023600 Sonnenmassen $= 3.302 \times 10^{26}$ g $= 0.05526$ Erdmassen sollte eine Genauigkeit von 0.005% haben. Wie bei Venus ist auch bei Merkur keine Abplattung festzustellen, was in beiden Fällen wegen der langsamen Rotation nicht überrascht. Die Analysierung des Empfangs der Radiosignale der Sonde kurz vor und nach der erwähnten Bedeckung durch den Planeten bestätigen, dass Merkur keine nennenswerte Atmosphäre hat, ihr Druck muss weniger als 1/100 mbar und die Elektronenkonzentration kleiner als 100 Teilchen pro cm^3 sein. Mit dem UV-Spektrometer wurde Helium nachgewiesen, und zwar ist die Helium-Dichte noch grösser als die auf dem Mond. Setzt man voraus, dass dieses Helium einzig vom radioaktiven Zerfall von Thorium und Uran herstammt, so wäre der Anteil dieser beiden Elemente auf Merkur etwa so gross, wie der in irdischen Basalten. Spuren von anderen Edelgasen wie Argon, Neon und vielleicht auch Xenon, werden vermutet. Das UV-Spektrometer enthüllte auch das Vorhandensein eines schwachen, zeitlich veränderlichen Nachthimmelsleuchtens, hierbei dürfte die Wirkung des heissen Plasmas des Sonnenwindes eine Rolle spielen.

Aufschlussreich sind auch die Temperaturmessungen mit dem Infrarotradiometer, die an verschiedenen Stellen der Merkuroberfläche durchgeführt wurden. Schon wegen der sehr exzentrischen Bahn, e ist 0.206, variiert die Temperatur Merkurs stark, bei einem Umlauf dürften die Mittagstemperaturen danach zwischen 300 °C und 430 °C schwanken. Da sich Merkur in den ersten Morgenstunden des 27. März in seinem Aphel befand, wurden demgemäss am subsolaren Punkt nur 312 °C gemessen. Auf der Nachmittagsseite, an der Mariner 10 beim Anflug vorbeikam, sank die Temperatur auf 187 °C und auf der Nachtseite kurz hinter dem Terminator auf –125 °C und später auf –175 °C. Aus den Temperaturmessungen in den verschiedenen Wellenlängenbereichen kann man schliessen, dass die Oberfläche ähnlich wie bei unserm Mond von einer Schicht aus Staub und Trümmern bedeckt ist, die eine schlechte thermische Leitfähigkeit hat, deren Zahlenwerte zwischen denen für den Mars und denen für den Mond geltenden liegen. Interessant ist es, dass es auf der Oberfläche einzelne kleine Gebiete gibt, die eine etwas höhere Tem-

peratur als die weitere Umgebung haben; hier dürfte die Bodenbeschaffenheit anders, weniger porös, allgemein fester sein.

Die sensationellste Überraschung waren aber doch die Bilder von Merkur, wobei wir aber in Erinnerung rufen wollen, dass man in dieser Hinsicht bis dahin über den Planeten effektiv sehr wenig wusste. Weil Merkur der Sonne stets sehr nah ist (die grössten Elongationen liegen zwischen 17°50′ und 27°45′ Winkelabstand), ist er schwierig zu beobachten. In der Morgen- oder in der Abenddämmerung steht er, wenn man ihn mit blossem Auge sieht, nicht hoch über dem Horizont und die Luftunruhe ist dort entsprechend gross. Am Tage, wenn die Luft durch die Sonne erwärmt ist, ist es für Fernrohrbeobachtungen damit auch nicht viel besser. Der Durchmesser seiner Scheibe variiert zwischen 4½″ und 12″, und wenn die Scheibe gerade am grössten ist, wendet uns Merkur seine unbeleuchtete Seite zu, zudem ist dann sein Winkelabstand von der Sonne sehr klein. Im günstigsten Fall sieht man auf seiner Scheibe gewisse Schattierungen und man hat auch Karten von Merkurs Oberfläche gezeichnet, die aber nicht allzu glaubwürdig und überzeugend sind. Man hat ja doch bis zum Jahre 1965 gemeint, dass Merkur eine gebundene Rotation hat, dass also seine Rotationszeit gleich seiner Revolutionszeit ist, nämlich 88 Tage, dass er also der Sonne immer die gleiche Seite zukehrt, was auch recht plausibel erschien. Erst Radarbeobachtungen haben dann die erstaunliche Tatsache zu Tage gebracht, dass die Rotationsdauer 58.65 Tage beträgt, gerade zwei Drittel der Revolutionszeit. Später fand man dann allerdings auch eine theoretische Begründung dafür, dass eine solche Rotationsdauer tatsächlich auch (wie die gebundene Rotation) einen stabilen Bewegungszustand darstellt. Man kann sich, am besten wohl anhand einer Zeichnung, überlegen, dass dadurch auf Merkur recht ungewohnte Verhältnisse herrschen. Ein «Merkur-Tag» dauert nicht wie der auf der Erde 24 Stunden, sondern zwei «Merkur-Jahre», also 2 × 88 = 176 Erdentage. Wegen der stark exzentrischen Bahn und der dementsprechend sehr merklich wechselnden Bahngeschwindigkeit passiert dabei etwas Ähnliches, wie wir es analog von der Libration des Mondes her kennen, die Sonne bewegt sich nicht gleichmässig schnell am Himmel Merkurs, sondern sie pendelt ganz erheblich hin und her. In der Nähe der Auf- und Untergangsstellen kann es dann sogar vorkommen, dass die Sonne zuerst ganz normal im Westen untergeht, um dann bald danach nochmal wieder ein Weilchen zu erscheinen, also im Westen aufzugehen, und das Entsprechende kann sich im Osten beim Aufgang ereignen.

Trotz aller Beobachtungsschwierigkeiten hatte man aber doch auch schon entdeckt, dass der Terminator, die Schattengrenze auf Merkur, offenbar kein ganz glatter Kreisbogen ist, sondern zahlreiche kleine Unregelmässigkeiten aufweist, die man als Berge und Täler oder sogar als Krater deuten konnte. Erst in allerneuster Zeit (1972) zeigten dann Radaruntersuchungen einiger Gebiete der Merkuroberfläche, dass sich in der Äquatorgegend Erhebungen von vielleicht 1000 m Höhe und wohl einige Krater von 50 km Durchmesser und 700 m Tiefe befinden.

Mariner 10 hat vom 23. März bis zum 3. April mehr als 2000 Aufnahmen gemacht, die insgesamt etwa die halbe Oberfläche von Merkur überdecken; die eine Seite des Planeten wurde beim Anflug abgebildet, die andere beim Wegflug. Man hat dann ähnlich wie bei Venus die einzelnen Aufnahmen zu Mosaikbildern zusammengefügt, um einen Gesamtüberblick zu bekommen. Meist verwendete man hierfür 18 sich immer teilweise überlagernde Einzelbilder, wobei dann ein Computer die saubere Ausführung besorgte. Die ersten beiden Abbildungen sind solche Mosaikbilder, auf denen die gesamte bisher erfasste Merkuroberfläche zu sehen ist. Abb. 1 wurde aus Einzelaufnahmen zusammengesetzt, die am 29. März 6 Stunden vor der grössten Annäherung innerhalb von 13 Minuten in der vorher erwähnten 42-Sekunden-Folge gemacht wurden, als die Sonde noch etwa 230000 km von Merkur entfernt war. Man hat hier die Nachmittagsseite von Merkur vor sich, der Abendterminator entspricht auf dem jetzt eingeführten Merkurkartennetz etwa 20° westlicher Länge, der linke Rand also etwa 95° westlicher Länge, während Norden oben ist. Abb. 2 ist das ergänzende Mosaik von der Vormittagsseite Merkurs, es wurde 5½ Stunden nach der grössten Nähe aus einem Abstand von rund 210000 km gewonnen. Der Morgenterminator entspräche 200° westl. Länge, der rechte Rand etwa 95° westl. Länge.

Betrachtet man diese beiden Bilder zunächst einmal ganz oberflächlich, so glaubt man, unsern Mond vor sich zu haben. Eine Unzahl von Kratern ist zu sehen, grosse, mittlere, kleine, sehr kleine. Ihre Profile gleichen ganz denen der Mondkrater, viele haben zentrale Gipfel, um manche erstrecken sich Strahlensysteme, häufig überdecken sich die Krater gegenseitig, mittlere und kleine sitzen auf den Rändern und in den Böden der grösseren, auch grosse flache Wallebenen und noch grössere Becken mit glatten, ebenen Böden, in denen sich nur verhältnismässig wenige Krater finden, sind zu erkennen, die durchaus mit den Mond-maria zu vergleichen sind. Interessant ist, dass die Verteilung dieser Objekte auf den beiden Hemisphären offenbar verschieden ist. Die Nachmittagsseite (Abb. 1) gleicht den gebirgigen Hochländern des Mondes, die Krater sind ziemlich gleichmässig verteilt, flache und kraterfreie Gebiete fehlen fast ganz. Auf der Vormittagsseite (Abb. 2) sind hingegen die grossen, dunklen «Meeresbecken» zahlreicher vertreten, besonders in der Nähe des Terminators. Etwas oberhalb der Mitte erkennt man z. B. ein sehr grosses von etwa 1300 km Durchmesser, das noch zur Hälfte auf der Nachtseite liegt. Dass sich auf der einen Hemisphäre mehr die flachen Gebiete, auf der anderen

mehr die gebirgigen Gegenden häufen, scheint ein charakteristisches Merkmal der inneren Planeten zu sein, deren Entwicklung in dieser Hinsicht offenbar in ähnlicher Weise erfolgte. Man findet solch eine ungleichmässige Verteilung genau so wie bei Merkur auf dem Mond, auf dem Mars und auf der Erde. Einzigartig und noch ziemlich ungeklärt ist ein recht auffälliges Phänomen auf Abb. 2, nämlich der hyperbelähnliche, helle Strahlenbogen, der zuerst in nord-südlicher, dann in ost-westlicher Richtung verläuft und eine immense Länge erreicht. Überhaupt sind auf der Vormittagsseite die Strahlensysteme um Krater ausgeprägter und ausgedehnter als auf der Nachmittagsseite, einzelne Strahlen kann man ganz ungewöhnlich weit verfolgen.



Abb. 3

Vermittelten einem diese beiden Abbildungen zunächst erst einmal einen vortrefflichen Gesamteindruck davon, wie es auf Merkurs Oberfläche ausschaut, so erlauben die folgenden Einzelaufnahmen dank des grösseren Maßstabes ein genaueres Studium der Objekte. Abb. 3 zeigt einen Ausschnitt von 290 × 220 km, der beim Anflug aus einer Distanz von 35000 km aufgenommen wurde. Dieses Gebiet liegt in Abb. 1 etwas unterhalb der Mitte um etwa ein Drittel des Querschnitts vom Terminator entfernt; man kann auch hier noch das charakteristische Tal erkennen, das aber in Abb. 3 natürlich unvergleichlich viel schöner und deutlicher hervortritt. Es ist über 100 km lang und 7–10 km breit, der Krater rechts unterhalb der Bildmitte, von dem es ausgeht, hat einen Durchmesser von 80 km. Bezeichnend für dieses ganze Gebiet sind die sehr zahlreichen Krater und das hügelige, durchwühlte Gelände. Auf und in den grösseren und älteren Kratern sind immer wieder neue, jüngere, oft ganz kleine Krater zu finden, alles typische Einschlagkrater, die durch das Einstürzen von grösseren und kleineren Materiebrocken aus dem interplanetaren Raum entstanden sind. Je nach Grösse und Geschwindigkeit der einstürzenden Massen kommt es beim Aufprall zu Explosionen und Erhitzungen, die zum Schmelzen der Gesteine führen können. Das ganze Gelände ist wie umgepflügt und mit Trümmern überdeckt. Man beachte auch, dass die Ränder der älteren Krater viel stärker zertrümmert sind als die der Mondkrater; die Erosion ist hier weiter fortgeschritten, weil die Nähe der Sonne mit den höheren Temperaturen und auch der stärkere Sonnenwind bei Merkur eine grössere Rolle spielen als beim Mond. Hingegen ist die Zahl der Krater, also die Häufigkeit der Einschläge, durchaus von der gleichen Grössenordnung wie auf dem Mond. Übrigens haben die kleinsten noch erkennbaren Krater Durchmesser von weniger als 1 km bis zu wenigen hundert Metern.



Abb. 4

Abb. 4, ein Ausschnitt von 170 × 130 km, wurde etwa eine halbe Stunde vor der grössten Nähe aus einer Distanz von 20700 km gewonnen. Das Gebiet sieht man in Abb. 1 dicht neben dem Terminator, nur etwa ein Sechstel des Querschnitts davon entfernt, in einem Abstand von knapp einem Drittel des senkrechten Querschnitts unter dem oberen Rand. Im Zentrum eines recht alten, schon beträchtlich erodierten Kraters befindet sich links neben der Bildmitte ein bedeutend jüngerer Einschlagkrater, der durch Erosion noch nicht im geringsten angegriffen ist; er hat einen Durchmesser von 15 km. Charakteristisch ist für dieses Bild überhaupt, dass man darin einige grössere alte Krater erkennt, die offenbar schon recht zertrümmert, beinahe eingeebnet sind, aber in ihnen und auf ihren niedrigen Rändern sieht man sehr viele mittlere und vor allem kleine und kleinste Einschlagkrater, die viel jünger sind und Erhebliches zu dieser Zertrümmerung beigetragen haben. Entsprechend der geringen Distanz, aus der diese Aufnahme gemacht wurde, ist der Maßstab gross und die Durchmesser der kleinsten, noch wahrnehmbaren Krater dürften 200–300 m sein.

Etwa 2½ Stunden vor der grössten Annäherung wurde aus 88500 km Entfernung Abb. 5 aufgenommen. Das Bild zeigt den grossen, von einem Strahlenkranz umgebenen Krater, der auf Abb. 1 als einziger dieser Art oberhalb der Mitte leicht zu identifizieren ist. Auf dem Rand des grossen älteren Kraters von rund 100 km Durchmesser, der einen zen-

tralen Gipfel und das auch sonst vom Mond her bekannte flache Profil hat, sitzt ein jüngerer Einschlagkrater von 40 km Durchmesser, der sich durch einen auffallend hellen Boden auszeichnet. Dieses Kratergebiet ist deshalb bemerkenswert, weil diese ganze Gegend auf Aufnahmen, die aus einer Distanz von mehr als 3½ Millionen Kilometern gemacht worden waren, schon deutlich als heller Fleck herausstach. Vom «mariner 10 television science team» wurde vorgeschlagen, dem Krater mit hellem Grund den Namen KUIPER zu geben. Das ist eine Ehrung für Prof. GERARD KUIPER, der einer der erfolgreichsten Pioniere der Planetenforschung war und auch dem genannten Team angehörte, aber am 23. Dezember 1973 gestorben ist. Auch auf diesem Bild sieht man viele kleine Einschlagkrater. Besonders zu beachten sind aber die radial verlaufenden Furchen, Rillen und Hügelketten, ausgeworfenes Material von der Einsturzexplosion her, Lavafluss und Sprünge in dieser Schicht; man kann diese zum Teil mit dem Strahlensystem in Abb. 1 identifizieren. Der Boden des grossen Kraters ist sicherlich von Lava überflutet, Gestein, das durch die Erhitzung beim Einsturz geschmolzen ist, denn es muss ja ein ziemlich grosser Brocken gewesen sein, der dort aufprallte. Dass der Krater KUIPER einen soviel helleren Grund hat, kann vielleicht von der Materie der einstürzenden Masse herrühren, die diesen Krater erzeugte, oder das Untergrundmaterial ist auf Merkur in diesem links an den grossen Krater anschliessenden Bereich anders.

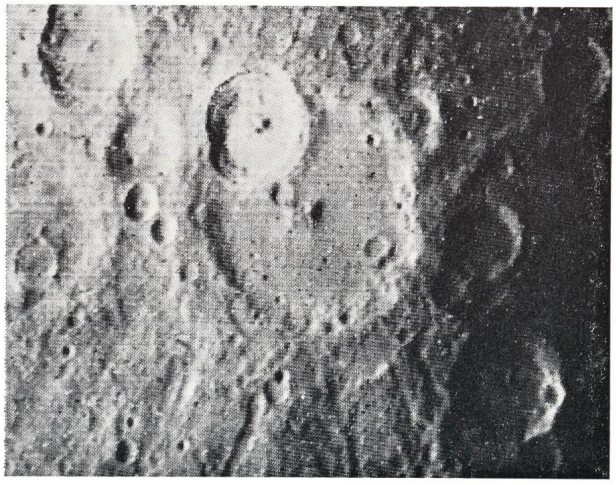


Abb. 5

Abb. 6 zeigt ein ganz besonders durchfurchtes, kraterreiches Gelände, wie man es auch auf unserm Mond an vielen Stellen findet. Die ganze Gegend sieht wie umgepflügt aus, man erkennt zahllose kleine Krater, Gesteinsbrocken, Furchen, Rillen, es dürfte eine ziemlich dicke Schuttschicht sein, wie man sie auf dem Mond schon näher analysiert hat. Der grosse Krater, der rechts noch gut zur Hälfte sichtbar ist, hat einen Durchmesser von rund 100 km, er ist also von gleicher Grösse wie der Mondkrater COPERNICUS, dem er auch ähnelt. Ein ganzer Teil der Trümmer in der Umgebung und viele der radialverlaufenden Furchen entstanden sicherlich durch die grosse Einsturzexplosion bei diesem Krater. Auf Abb. 1 findet man ihn rechts und ein wenig unterhalb von dem in Abb. 5 gezeigten Strahlenkrater direkt an der Schattengrenze. Die Aufnahme wurde aus einer Distanz von 31 000 km beim Anflug gewonnen.



Abb. 6

Erst ein kleiner Teil der Bilder und der Daten, die Mariner 10 zur Erde gesandt hat, ist bisher gründlich studiert und erschöpfend ausgewertet worden, es wird noch lange dauern, bis man alles vollständig durchforscht hat. Man kann dabei hoffen, dass noch vorher der nächste Vorbeiflug weiteres aufschlussreiches Material liefern wird, das manche Deutung und Entscheidung erleichtern könnte. Wenn man somit auch die bisher gegebenen Erklärungen als vorläufig betrachten muss, – manches wird man später vielleicht etwas anders auslegen – so dürfte doch das meiste davon recht gesichert sein. Die Ähnlichkeit mit dem Mond ist frappant, und dass die Krater auf dem Merkur wie auf dem Mond durch den Aufprall von Gesteinsbrocken sehr verschiedener Grösse entstanden sind, dürfte ausser Zweifel sein. Krater rein vulkanischen Ursprungs, wie wir sie auf dem Mars im Nix Olympica und in den hohen Krater-Bergen der Tharsis-Kette finden, sind bisher auf Merkur nicht entdeckt worden. Das schliesst aber keineswegs aus, dass auf Merkur zu gewissen Zeiten Vulkanismus eine Rolle gespielt hat. Wie die Böden mancher alter Krater von Lavamassen überflutet zu sein scheinen, so gilt das auch mit Bestimmtheit für die grossen Bekken, die auf der Morgenseite Merkurs so deutlich hervortreten. Hier wird kaum die durch den Einsturz bewirkte Erhitzung für so grosse Gesteinsschmelzen ausgereicht haben, hingegen ist anzunehmen, dass im Innern Merkurs genügend viel radioaktive Elemente vorhanden sind, deren Zerfall zu starker Erhitzung und zum Schmelzen ausgedehnter Schichten unter der Oberfläche und somit auch zu Vulkanismus geführt hat. Die hohe Dichte Merkurs von 5.4 g/cm³ lässt sowieso vermuten, dass dieser Planet ähnlich wie die Erde zusammengesetzt und aufgebaut ist, und es wurde bereits erwähnt, dass man aus der beobachteten Menge des Heliums schliessen kann, dass die Oberflächenschichten Thorium und Uran prozentual

gleichviel enthalten wie irdische Basalte. Während aber die Oberfläche wohl weitgehend aus den verschiedensten Silikaten, ähnlich wie beim Mond und bei der Erde, besteht, müssen im Innern schwerere Elemente vorhanden sein und man vermutet auch hier einen Eisenkern wie bei der Erde. Dies stände dann auch im Einklang mit der Existenz des gefundenen Magnetfeldes Merkurs, obwohl der Dynamo-Effekt bei der sehr langsamen Rotation recht schwach ist. Man hat darum auch beim Magnetfeld noch nach anderen Deutungsmöglichkeiten gesucht, beispielsweise denkt man auch an Induktion durch das Magnetfeld der Sonne.

Man sieht an diesem Beispiel, dass noch viele Fragen der Klärung bedürfen und dass durch die Mariner-Mission auch Fragen aufgeworfen wurden, an die man vorher noch gar nicht gedacht hat; das ist eigentlich immer so, wenn man in Neuland vorstösst, und es ist auch gut, denn es regt an und führt zu neuen Ideen. Im übrigen wurden unsere Kenntnisse gerade durch die Mariner-Missionen zweifellos ganz ungemein und am meisten von allen unbemannten Raumflügen bereichert. Der Einsatz hat sich sicherlich gelohnt.

Anmerkung bei der Korrektur:
Am 22. September wurde gemeldet, dass Mariner 10, wie geplant, nochmals am Merkur vorbeigeflogen ist und weitere Aufnahmen der Südhalbkugel gemacht hat.

Résultats de l'exploration de Vénus et de Mercure par Mariner 10

C'est le 3 novembre 1973 que *Mariner 10* partit en direction de Vénus et Mercure. Le fait remarquable dans cette expérience, c'est que deux planètes étaient ainsi étudiées en un seul vol, que c'était la première fois qu'une sonde était envoyée sur Mercure, et qu'enfin l'attraction de Vénus était utilisée pour mettre l'engin en orbite autour du Soleil de façon à ce qu'il repasse plusieurs fois à proximité de Mercure.

Quant à l'appareillage scientifique emporté, il sera surtout question ici des caméras de télévision. Durant l'approche de Vénus, le 5 décembre 1973, 3000 photographies furent prises, riches en renseignements sur l'importance des courants dans l'atmosphère dense de Vénus, dont il sera brièvement question. Au moyen du spectromètre U.V., on y a détecté notamment et pour la première fois, de l'hélium. Il n'y a pas de champ magnétique ni de ceintures de radiations sur Vénus.

Le 29 mars, Mariner 10 atteignait Mercure, où il détecta un faible champ magnétique, et étudia les échanges s'établissant entre la magnétosphère de Mercure et le vent solaire. Un peu d'hélium, provenant vraisemblablement de la désintégration du thorium et de l'uranium radioactifs a été mis en évidence, ainsi que des traces probables d'autres gaz rares.

La pression de cette atmosphère à peine décelable est inférieure à 1/100 de millibar. Les températures varient entre –175 °C sur la face obscure, et 430 °C sur l'autre face. Plus de 2000 images ont été obtenues, qui couvrent la moitié de la surface de Mercure. On les a réunies en deux assemblages qui montrent toute la surface de la planète observée par Mariner 10, plus quatre clichés qui donnent des détails à grande échelle. Ces différentes vues seront analysées.

La surface de Mercure est analogue à celle de la Lune, on y remarque beaucoup de cratères d'effondrement, ainsi que de grands cirques plats et des plaines. Le nombre, la répartition, la grandeur et le profil des cratères étant semblables à ceux de la Lune, l'origine de leur formation doit être la même. L'érosion des cratères est plus prononcée sur Mercure, les rayons solaires y étant plus chauds et plus puissants, et le vent solaire intense. La structure interne de Mercure doit être la même que celle de la Terre, avec vraisemblablement un noyau ferreux. On s'attend à ce que Mariner 10 revienne à proximité de Mercure le 22 septembre, et nous livre de nouvelles mesures et d'autres photographies.

Der NASA sei für die einzigartigen Aufnahmen vom Merkur nebst dem Kommentar dazu und Herrn Herbert Habermayr, Urania-Zürich, für deren Besorgung und Überlassung gedankt.

Anschrift des Verfassers:
Prof. Dr. Helmut Müller, Herzogenmühlestr. 4, CH-8051 Zürich.

Galaxie,

das Mitteilungsblatt unserer welschen Sternfreunde, bringt in seiner No. 9 vom Oktober 1974 den bereits in ORION 144 abgedruckten Bericht über Saturn von F. Jetzer, dann einen Bericht über die Sonnenaktivität im August 1974 von E. Lauper, weiter ein «Vocabulaire d'astronomie» (für Anfänger) von J. Thurnheer und schliesslich eine allgemeine Darstellung von Sonnenfinsternissen von F. Meyer, sowie vom gleichen Autor eine Vorschau auf die totale Mondfinsternis vom 29. November 1974, die unsere Leser auch im Sternenhimmel 1974 von R. A. Naef finden können.

Skorpion,

das Organ unserer Tessiner Sternfreunde, hat in seiner September-Oktober-Nummer ebenfalls Interessantes über die Planeten (F. Jetzer, A. Materni) und über Radioastronomie (F. Franchini), sowie über Bedeckungsvariable (G. Spinedi) zu berichten.