

Zeitschrift:	Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft
Herausgeber:	Schweizerische Astronomische Gesellschaft
Band:	36 (1978)
Heft:	167
 Artikel:	Besuch für die Venus : zwei amerikanische Raumsonden untersuchen die Atmosphäre des Nachbar-Planeten
Autor:	Engelhardt, W.
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-899492

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 23.01.2026

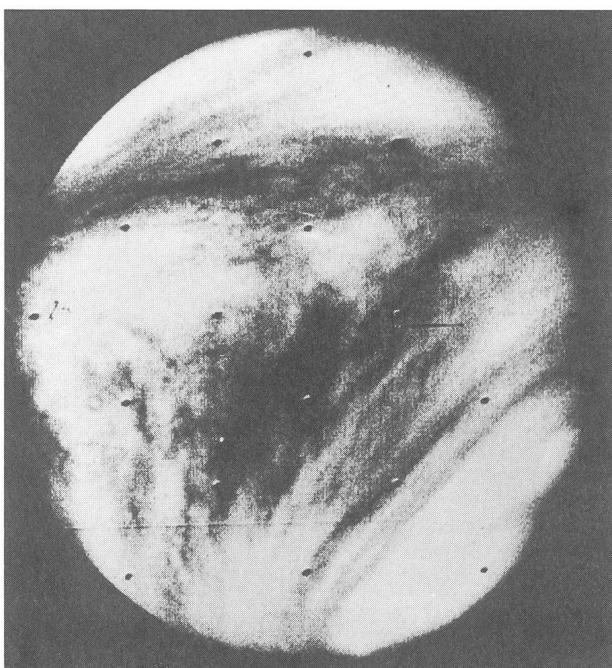
ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Besuch für die Venus

Zwei amerikanische Raumsonden untersuchen die Atmosphäre des Nachbar-Planeten

Von W. ENGELHARDT

Die Venus bekommt Besuch von der Erde. Der nach der Liebesgöttin benannte Planet soll einige seiner sorgsam gehüteten Geheimnisse preisgeben, wenn sich ihm in diesem Jahr zwei amerikanische Pioneer-Raumsonden nähern, die vier Atmosphärenkapseln in die dichte Wolkenhülle der Venus entsenden bzw. in eine elliptische Bahn um diesen Planeten einschwenken sollen. Der Pioneer-Orbiter wird im Juni 1978 gestartet, die Atmosphärensonde im August dieses Jahres. Beide Raumschiffe werden trotzdem fast gleichzeitig Anfang



Die Wolkenschicht der Venus, aufgenommen im ultravioletten Licht von der amerikanischen Sonde Mariner 10. Deutlich erkennbar der grosse Wolkenstrom, der die Venus in vier Erdtagen einmal umkreist.

Foto: NASA/Engelhardt

Dezember bei der Venus eintreffen, der Orbiter mit etwa fünf Tagen Vorsprung.

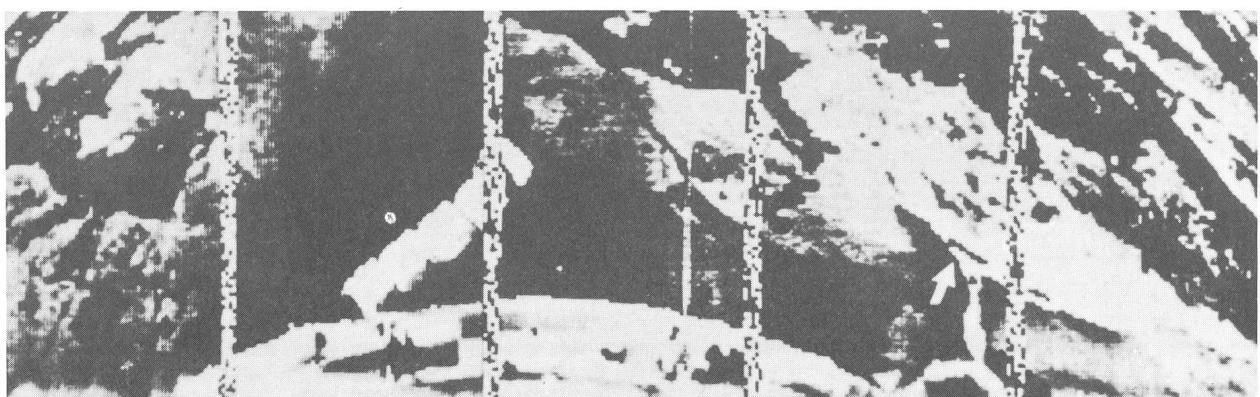
Die Venus ist der — von der Sonne aus gesehen — zweite Körper unseres Planetensystems und erscheint dem Beobachter auf der Erde nach Sonne und Mond als hellster Stern am Himmel, der manchmal sogar bei Tage zu sehen ist. Der je nach seiner Stellung relativ zur Erde als Abend- oder Morgenstern erscheinende Planet hat fast denselben Durchmesser wie die Erde und auch ein vergleichbares Gewicht, so dass die Venus oft auch als Zwillingsplanet der Erde bezeichnet wird.

Schon die ersten Astronomen, die die Venus mit einem Fernrohr inspizierten, beklagten die völlige Strukturlosigkeit ihrer Erscheinung, die ganz richtig auf eine undurchsichtige Wolkenhülle zurückgeführt wurde, die den Durchblick auf die Venus-Oberfläche versperrt. Bis vor einigen Jahren wussten wir deshalb sehr wenig von diesem relativ nahestehenden und doch recht geheimnisvollen Planeten.

Erst mit russischen und amerikanischen Raumsonden gelang es, den Schleier um die Venus etwas zu lüften. Zehn russische und drei amerikanische Venus-Sonden haben seit 1961 sehr viele interessante Details über diesen Planeten herausgefunden, wie z.B. die Tatsache, dass auf der Oberfläche der Venus recht unwirtliche Bedingungen herrschen mit etwa 500°C Temperatur und einem enorm hohen Druck von ca. 90 at. Die Atmosphäre besteht zum grössten Teil aus dem giftigen Kohlendioxyd.

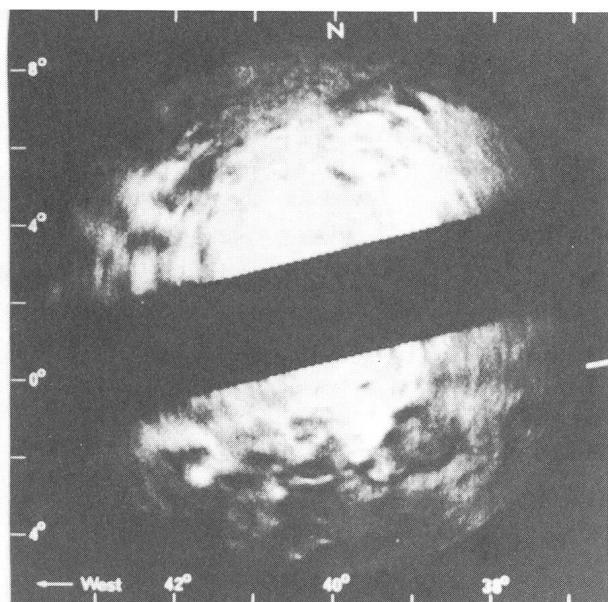
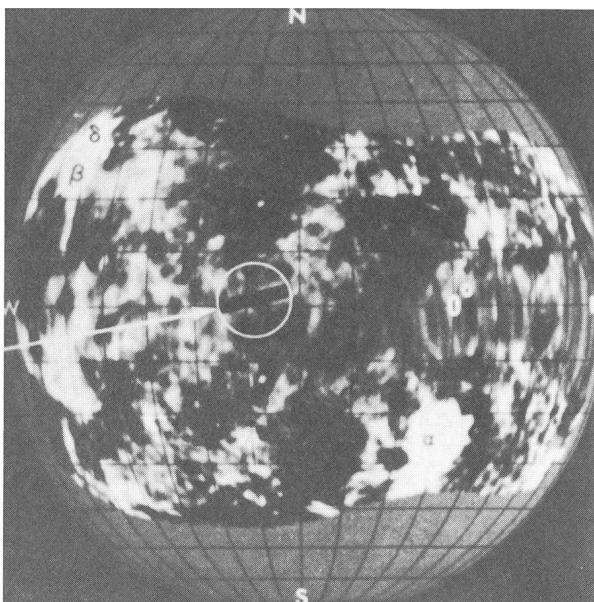
Wie schon von der Erde aus im ultravioletten Licht beobachtet wurde, bewegt sich die obere Wolkenschicht der Venus mit einer Geschwindigkeit von etwa 100 Meter/Sekunde in knapp 100 Stunden einmal um den Planeten, das ist erheblich schneller, als die Venus um ihre Achse rotiert.

Die Ultraviolett-Bilder, die die amerikanische Sonde Mariner 10 im Jahre 1974 zur Erde übermittelte, zeigten drei beherrschende Wolkenschichten und grossräumige Konvektionsströmungen, wie man sie auch von



Panorama-Aufnahme von der Venus-Oberfläche — gewonnen durch die Landekapsel von Venus 10, einer russischen Sonde, die den Nachbarplaneten vor einigen Jahren erreichte.

Foto: Nowosti/Engelhardt



Auch mit Radarantennen wurde die Venus schon untersucht, dabei erhielt man interessante bildähnliche Informationen über die Gestalt der Venus-Oberfläche, die offensichtlich auch aus tausenden von grossen und kleinen Kratern besteht.

Foto: NASA/Engelhardt

der Erdatmosphäre kennt. Die obere Wolkenschicht ist sehr dünn, nicht durchgehend und sehr mobil. Die darunter liegenden Schichten sind dicker und dichter, sie absorbieren Hochfrequenz-Radiowellen.

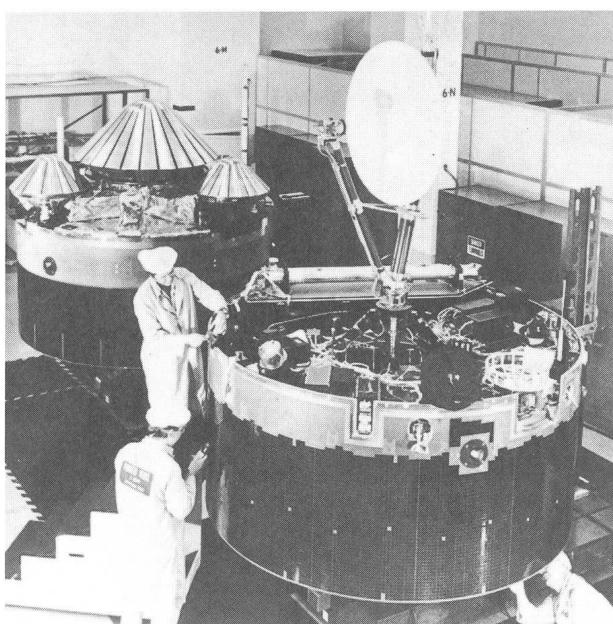
Das Pioneer-Venus-Projekt

Das neueste amerikanische Venus-Forschungsprogramm wurde im Januar 1972 vom «Office of Space Science» der NASA an das «Ames Research Center» übertragen, das zwei Firmen mit Systemstudien beauftragte. Im Februar 1974 wurde die «Hughes Aircraft Company» in Kalifornien mit dem Bau der beiden Pioneer-Venus-Sonden betraut.

Es handelt sich um die erste NASA-Mission zur gezielten Untersuchung der Venus-Atmosphäre durch direkte Messungen «vor Ort». Die beiden Raumsonden — Orbiter und Atmosphären-Sonde — werden «Momentaufnahmen» und langfristige Beobachtungen der Atmosphäre über mindestens ein Venus-Jahr (243 Erdtage) ermöglichen.

Die beiden Missionen haben ähnliche Start- und Transferphasen; Aufgaben und Funktion beim Zielplaneten sind dagegen sehr verschieden. Die Atmosphärensonde trägt als wichtigste Nutzlast einen grossen und drei kleine Eintrittskörper, in denen mehrere Messgeräte installiert sind, die die Venus-Atmosphäre direkt untersuchen sollen. Der Orbiter wird eine elliptische Bahn um die Venus einschlagen und von dort aus die Planetenatmosphäre und -oberfläche observieren.

Die grosse wissenschaftliche Bedeutung einer gründlichen Erforschung des Planeten Venus wurde 1970/71 von massgebenden Experten in zwei Dokumenten der «Nationalen Akademie der Wissenschaften» der USA dargelegt. Die Experimente für die Pioneer-Venus-Missionen wurden von der NASA im Juni 1974 aus zahlreichen Vorschlägen ausgewählt; für die Instrumente der Atmosphärensonde hatte im Juni 1973 eine Vorauswahl stattgefunden.



Im Vordergrund der Venus-Orbiter hinten links die Trägersonde Pioneer B mit den vier Eintauch-Kapseln.

Foto: Hughes/Engelhardt

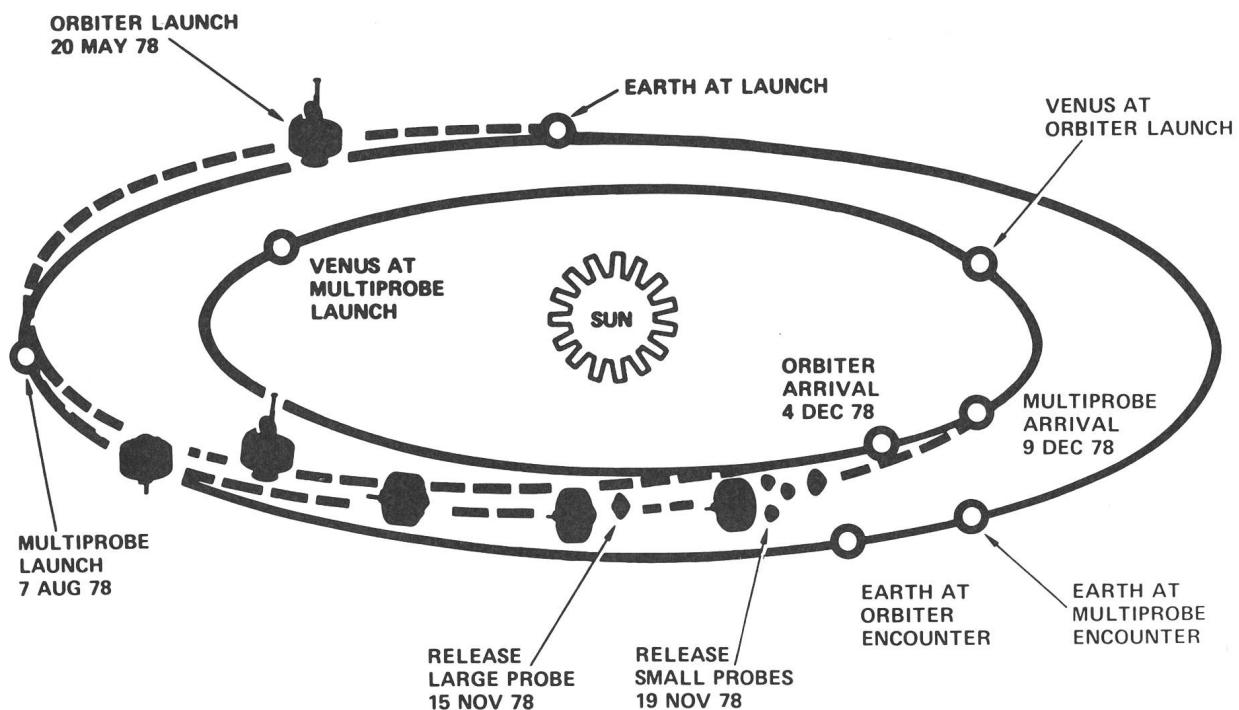
Die Atmosphärensonde

Die wissenschaftlichen Aufgaben der Meßsonden, die in die Venus-Atmosphäre eindringen sollen, betreffen folgende Aspekte:

- Natur und Zusammensetzung der Wolken;
- Struktur der Atmosphäre von der Venus-Oberfläche bis in grosse Höhen;
- das generelle Zirkulationsmuster der Atmosphäre.

Bei den Wolken der Venus will man wissen, ob sie aus kondensierten Flüssigkeiten oder festen Partikeln bestehen, aus Eiskristallen oder Staub. Die Grösse dieser Teilchen interessiert ebenso wie die Frage, wie viele verschiedene Wolkenschichten es gibt. Untersucht wird

PIONEER VENUS MISSION



Die Flugbahnen von Pioneer A und B mit den eingetragenen Start- und Ankunftszeiten.

Foto: NASA/Engelhardt

auch, ob gewisse Bestandteile der Wolken gleichmässig in der Venus-Atmosphäre verteilt sind und ob es Substanzen gibt, die schmelzen oder kondensieren können, um sich auf der Venus-Oberfläche als Flüssigkeit abzusetzen.

Auch nach Edelgasen, wie z.B. Argon oder Neon, wird Ausschau gehalten. Die Wissenschaftler würden ausserdem gern wissen, welche Ionen es in der oberen Atmosphäre der Venus gibt und welche photochemischen Prozesse dort ablaufen. Schliesslich sollen die Eintrittskörper des Pioneer-Projekts die Abhängigkeit der Temperatur und der Atmosphären-Zusammensetzung von der jeweiligen Höhe untersuchen und feststellen, ob es an den Venus-Polen kälter ist als am Äquator dieses Planeten.

Die Wechselwirkungen zwischen Wolken und atmosphärischen Wärmequellen werden ebenso geprüft wie die Ursachen der hohen Temperaturen an der Venus-Oberfläche, die wahrscheinlich auf den sog. Treibhaus-Effekt zurückzuführen sind. Auch eventuelle Temperaturunterschiede zwischen der Tag- und Nachtseite der Venus sowie die Windgeschwindigkeiten in verschiedenen Höhen der Atmosphäre werden gemessen.

Für all diese Untersuchungen wurden insgesamt zwölf wissenschaftliche Instrumente ausgesucht, die im «Mutterschiff» und in den vier Eintrittskapseln der Atmosphärensonde untergebracht sind. Sieben Experimente befinden sich in der grossen Atmosphärenkapsel, drei jeweils identische in den drei kleinen Eintrittskörpern und zwei Experimente in dem Pioneer-Bus, wie z.B. ein Massenspektrometer, das Prof. Ulf von Zahn von der Bonner Universität beisteuert.

Instrumente in der grossen Atmosphärensonde

Neutral Mass Spectrometer zur Messung der Atmosphärenzusammensetzung und ihrer vertikalen Struktur ab etwa 60 km Höhe;

Gas-Chromatograph zur Messung der Zusammensetzung der Venus-Atmosphäre;

Cloud Particle Size Spectrometer zur Bestimmung der Grösse atmosphärischer Bestandteile;

Solar Radiometer zur Feststellung, wie tief die Sonnenenergie in die Venus-Atmosphäre eindringt;

Infrared-Radiometer zur Bestimmung der Grösse von Divergenzen im Wärmefluss, um Hitzequellen aufzuspüren;

Instrumente in der grossen und kleinen Atmosphärensonde

Atmospheric Structure untersucht die Wärmeverteilung in der Venus-Atmosphäre;

Nephelometer zum Studium der vertikalen Wolkenstruktur in der Venus-Atmosphäre;

Instrument nur in der kleinen Sonde

Net Flux Radiometer zum Studium von Struktur und Bewegung der Atmosphäre;

Instrumente im Pioneer-Bus

Atmosphere Mass Spectrometer zur Messung der Dich-



Ein Fotomosaik der Wolkenströmungen in der Venus-Atmosphäre, aufgenommen von der amerikanischen Venus-Sonde Mariner 10.

Foto: NASA/Engelhardt

te verschiedener Bestandteile der Venus-Atmosphäre; *Ion Mass Spectrometer* zur Untersuchung von Verteilung und Konzentration ionisierter Bestandteile in der höheren Atmosphäre.

Deutsche Experimente

Unter 162 Bewerbern hatte die NASA bereits im Juni 1974 etwa 30 Wissenschaftler für die Pioneer-Sonden ausgewählt, davon zwei deutsche Experten als einzige

europeäische Teilnehmer an diesem Venus-Forschungsprojekt: Prof. von Zahn von der Universität Bonn und Dr. Spenner vom Weltraumforschungs-Institut in Freiburg.

Prof. von Zahn schlug den Amerikanern ein Massenspektrometer vor, mit dem die Dichte und Zusammensetzung der Venus-Atmosphäre ermittelt werden soll. Dieses Instrument wird im Bus der Atmosphärensonde installiert. Dr. Spenner hat einen Gegenspannungs-

Analysator vorgeschlagen, der im Orbiter mitfliegt und das Verhältnis von Elektronen und Ionen in der Umgebung der Venus misst. Dieses Gerät entwickelte Dr. Spenner in Zusammenarbeit mit dem als Unterauftragnehmer am Venus-Pioneer-Projekt beteiligten US-Raumfahrtkonzern Lockheed.

Die beiden deutschen Beiträge für Pioneer-Venus werden im Rahmen der extraterrestrischen Projekte des Bundesforschungsministeriums finanziert. An Entwicklung und Bau der Experimente war der süddeutsche Raumfahrtkonzern Messerschmidt-Bölkow-Blohm beteiligt.

Die wichtigsten wissenschaftlichen Aufgaben des an Bord der Pioneer-Atmosphärensonde befindlichen Experiments von Prof. von Zahn ist die Messung der Dichte verschiedener Atmosphären-Bestandteile der Venus in unterschiedlichen Höhen zwischen 2000 und 135 km, also vor allem in dem Bereich, der weder vom Orbiter noch von den Atmosphären-Eintrittskörpern erfasst wird. Aus den erhaltenen Messwerten will man folgende Fakten ableiten: Höhe der Turbopause, Atmosphärenzusammensetzung an der Ionosphären — Obergrenze, Temperaturen der Exosphäre, Isotopenverhältnis usw.

Folgende Kriterien mussten beim Entwurf dieses Experiments berücksichtigt werden:

- a) Das Gerät muss Messungen auch bei sehr hohen Drucken nahe an der Venusoberfläche ermöglichen.
- b) Auch aktive Gase (wie z.B. Sauerstoff) und Moleküle (wie CO₂) sollen trotz ihrer hohen kinetischen Energie gegenüber dem schnell fliegenden Raumfahrzeug (11 km/Sek.) erfasst werden.
- c) Notwendig ist auch eine hohe Datenaufzeichnungs- und -übertragungskapazität, weil die Sonde sich in den dichteren Atmosphärenschichten bei 150 km Höhe immer noch mit etwa 3 km/Sek. auf die Venus-Oberfläche zubewegt.
- d) Energieriche und weitreichende Signale sind notwendig, um Messungen von Spurengasen (z.B. N₂), von Edelgasen und von Isotopen zu erhalten.
- e) Gewährleistung hoher Zuverlässigkeit der gemessenen Dichtewerte.

Bei dem «Bus Neutral Mass Spectrometer» von Prof. von Zahn (BNMS) handelt es sich um ein doppelt fokussierendes Mattauch-Herzog-Massenspektrometer mit elektrischer und magnetischer Ablenkung. Dieses Instrument wurde wegen seiner kleinen und kompakten Bauweise gewählt, wegen seiner Empfindlichkeits-Konstanz auch bei hohen Drucken, wegen der Möglichkeit, ein Mehrfach-Sammelsystem zu wählen und wegen der zahlreichen Erfahrungen, die man mit ähnlichen Instrumenten dieser Bauart bei früheren Raumfahrtunternehmen gesammelt hat.

Die Messöffnung des BNMS ist um 5° gegen die Drehachse des Pioneer-Raumfahrzeugs geneigt, so dass sich eine periodische Änderung des Eintrittswinkels ergibt. Das Instrument wird etwa 25% seiner Messzeit in Höhen unter 250 km verbringen. Nur die Spitzen ausgesuchter Massen-Maxima und die notwendigen Nullwerte werden gemessen. Zwei verschiedene Messprogramme kommen zum Einsatz, eines für grosse, das

andere für geringe Höhen. Alle wichtigen Parameter werden etwa einmal pro Sekunde gemessen.

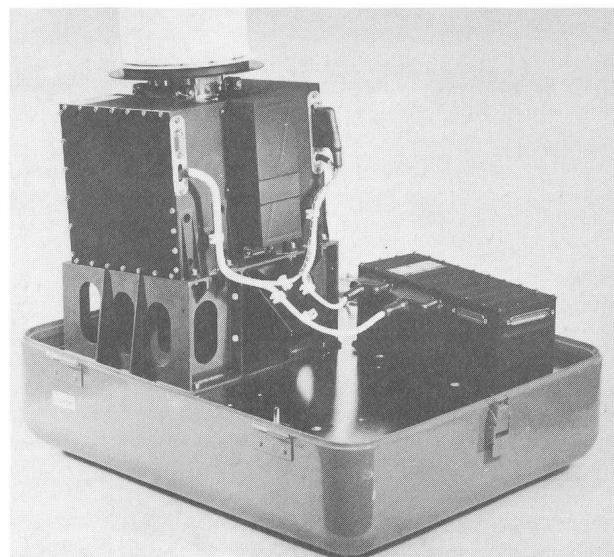
Interview mit Prof. von Zahn

In einem Interview anlässlich des Starts der ersten Pioneer-Sonde zur Venus wies Prof. von Zahn auf die Wichtigkeit dieses Forschungsunternehmens auch und gerade für unsere Umwelt-Probleme hier auf der Erde hin. Die genaue Kenntnis der Beschaffenheit und der Dynamik der Venus-Atmosphäre kann sich nach Meinung dieses Experten als sehr wertvoll für das Verständnis der Vorgänge in der Erdatmosphäre erweisen. Die Venus ist sozusagen ein Versuchslabor für das Studium der Vorgänge in unserer eigenen Lufthülle.

«Um die Zusammensetzung, den Aufbau und die Vorgänge in der Venus-Atmosphäre verstehen zu können, muss man berücksichtigen, dass sich dieser Planet sehr viel näher an der Sonne befindet und seine Atmosphäre damit seit Jahrtausenden einer wesentlich intensiveren Wärmeeinwirkung unterliegt. Einige der bisher von Raumsonden festgestellten Phänomene auf der Venus sind nach den bisherigen Erkenntnissen völlig unerklärlich, wie z.B. die viertägige Rotation der gesamten Venus-Atmosphäre oder die hohen horizontalen Windgeschwindigkeiten.»

Das Massenspektrometer Prof. von Zahns in der Pioneer-Sonde wird in dem Höhenbereich von 2000 bis 135 km über der Venus-Oberfläche zum Einsatz kommen. In 110 km Höhe etwa wird das Gerät mit dem Raumfahrzeug wegen der starken Reibungshitze in der Atmosphäre verglühen. Die Messinstrumente sollen insgesamt etwa 10 Min. lang arbeiten, wobei die letzten zwei Minuten am interessantesten für die Wissenschaftler sind. Das ist eine sehr kurze Mess-Spanne, aber angesichts der hohen Eintauchgeschwindigkeit der Sonde in die Venus-Atmosphäre von etwa 11 km/Sek, doch eine relativ lange Zeit.

Der Pioneer-Bus wird unter einem sehr flachen Winkel von nur etwa 7° in die Venus-Atmosphäre eindrin-



Gesamtansicht des Gasanalysators von Prof. von Zahn aus Bonn. Dieses Gerät ist in der Pioneer-Venussonde der Amerikaner installiert, die in die Atmosphäre dieses Planeten eintauchen wird. Dabei wird das Massenspektrometer aus Deutschland die Zusammensetzung dieser Atmosphäre untersuchen.
Foto: Sachsse/Engelhardt

gen, nur so kann vermieden werden, dass die Sonde gleich beim ersten Kontakt in den höheren Schichten der Venus-Atmosphäre zerstört wird. Diese präzise ausgeklügelte Flugbahn bei der Ankunft der Venus-Sonde am Zielplaneten ist nur mit einer äusserst genauen Steuerung möglich, die die NASA bei interplanetaren Sonden inzwischen exakt beherrscht.

Prof. von Zahn äusserte sich sehr befriedigt über die Zusammenarbeit mit der amerikanischen Raumfahrtbehörde. Man sei dort sehr kooperativ und habe sich stets bemüht, die Wünsche der deutschen Wissenschaftler hinsichtlich des Einsatzes ihres Experiments so gut wie möglich zu erfüllen.

Das Pioneer-Venus-Unternehmen kostet etwa 200 Mio. Dollar, das ist angesichts von zwei verschiedenen ausgelegten Raumfahrzeugen und der notwendigen zwei Trägerraketen erstaunlich wenig. Ein Planeten-Encounter, also die Beobachtung einer Raumsonde am Ziel ihrer Reise, kostet allein etwa 10 Mio Dollar für den Einsatz der grossen Radioantennen, die Betreuung der Sonde und ihre Steuerung durch die Bodenstation und für die Aufzeichnung und Auswertung der auf Magnetband gespeicherten Messergebnisse.

Während der Ankunft der Atmosphärensonde bei der Venus wird zwischen der amerikanischen Bodenstation und dem Physikalischen Institut in Bonn eine direkte Nachrichtenstrecke eingerichtet, so dass Prof. von Zahn und seine Mitarbeiter die Funktion ihres Instrumentes genau verfolgen und gleich mit der Auswertung der Messergebnisse beginnen können.

Deutsche Physiker beschäftigen sich seit etwa 1965 mit der praktischen Erforschung der hohen Erdatmosphäre durch Raketen und mit Satelliten-Experimenten (z. B. ESRO IV). Prof. von Zahn war von Anfang an dabei, er ist inzwischen einer der 6–8 Experten, die es auf der Welt für dieses spezielle Forschungsgebiet gibt. Er hat sich einen erheblichen Erfahrungsschatz bei der Konstruktion und dem Betrieb solcher Atmosphären-Analysatoren erworben, und diesem Umstand ist es zuzuschreiben, dass er bei der Auswahl der Experimentatoren für Pioneer-Venus neben den unbestreitbar führenden US-Wissenschaftlern bestehen konnte.

Prof. von Zahn arbeitete bei der Entwicklung seines Atmosphären-Analysators in seinem Institut mit fünf Kollegen zusammen. Im Max-Planck-Institut in Heidelberg waren weitere fünf Physiker mit der Entwicklung der zu dem Massenspektrometer gehörigen Elektronik für die Nachrichten-Übermittlung befasst. Prof. von Zahn und seine Kollegen haben das Instrument für die Venus-Sonde im Bonner Physikalischen Institut selber gebaut — eine besondere Leistung, denn erstmals wird damit auf einer amerikanischen Planetensonde ein Gerät mitfliegen, das nicht in den USA konstruiert wurde. Ein Vertrauensbeweis für die deutschen Wissenschaftler.

Aufbau der Atmosphären-Sonde

Die Pioneer-Atmosphärensonde besteht aus einem Zentralkörper, dem sog. Bus, einem grossen und drei kleinen Eintrittskörpern. Während des Transferfluges von der Erde zur Venus bilden diese selbständigen Raumsonden eine Einheit, die durch schnelle Rotation um eine Achse lagestabilisiert ist. Die vier Atmosphärenkapself sind jeweils unabhängige Flugkörper mit allen Systemen zur Lageregelung, Energieversorgung und zur

Messdaten-Übertragung. Sie werden etwa 20 Tage vor Erreichen der Venus vom Bus abgetrennt und dringen dann in jeweils etwa 8000 km Entfernung in die Atmosphäre ein. Auch der Zentralkörper selbst wird in die Venus-Atmosphäre eintauchen und bis in eine Höhe von etwa 130 km ebenfalls Messwerte zur Erde übertragen. Zwei kleine und die grosse Atmosphären-Kapsel sollen auf der Nachtseite der Venus landen, die dritte kleine Sonde und der Pioneer-Bus gehen auf der Tagseite des Planeten nieder.

Alle vier Atmosphärenkapself haben eine konische Form mit einem Oberflächen-Neigungswinkel von 45°. Die aerodynamisch optimal ausgebildete Oberfläche besteht aus einem Hitzeschilde, unter dem sich eine äusserst stabile Kapsel mit allen Instrumenten verbirgt, die Einflüsse der Aussenwelt abschirmt und auch gegen die Hitze und den hohen Druck in den unteren Atmosphärenschichten Schutz bietet. Nur die Messfühler der Sensoren und die halbkugelförmige Antenne ragen am hinteren Ende der Eintrittskapseln heraus.

Die grosse Atmosphärensonde wiegt 280 kg; sie hat einen Durchmesser von 145 cm, eine Höhe von 73 cm und enthält wissenschaftliche Geräte von 35 kg Gewicht. Die Datenübertragungskapazität beträgt 256 Bit/Sek. Der Hitzeschilde wird in etwa 70 km Höhe abgeworfen, für den nun folgenden, etwa 70 Minuten dauernden Abstieg durch die dichteren Atmosphärenschichten steht ein Fallschirm zur Verfügung. Damit wird die Sinkgeschwindigkeit verlangsamt und Zeit für genauere Messungen gewonnen. In 45 km Höhe wird der Schirm ausgeklängt, die Sonde fällt wieder frei bis zum Boden, wo sie zerschellt.

Die drei kleinen Landekörper haben 71 cm Durchmesser und sind 36 cm hoch; das Gewicht einer Kapsel beträgt 86 kg, etwa 8 kg davon entfallen auf die wissenschaftliche Nutzlast. Die Datenübertragungskapazität jeder dieser kleinen Atmosphärensonden beträgt 16–64 B/Sek. Diese Eintrittskörper haben übrigens keinen Fallschirm zur Verfügung, sie werden nur aerodynamisch in der Atmosphäre gebremst und fallen dann frei auf die Venus-Oberfläche herab.

Der Pioneer-Venus-Orbiter

Die wissenschaftlichen Aufgaben des Venus-Orbiters lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- a) Bestimmung der genauen Struktur der höheren Atmosphäre und der Ionosphäre.
- b) Untersuchung der Wechselwirkung zwischen dem Sonnenwind und der Venus-Ionosphäre, bzw. dem — wenn überhaupt vorhanden — geringen Magnetfeld dieses Planeten.
- c) Bestimmung der Charakteristik von Atmosphäre und Oberfläche der Venus mit einem Radargerät.
- d) Registrierung der Variationen im Schwerefeld der Venus, die sich in Bahnänderungen des Orbiters äussern werden.

Das Verständnis der physikalischen Verhältnisse in der oberen Atmosphäre der Venus hängt von langfristigen globalen Informationen ab, die nur ein künstlicher Planeten-Mond liefern kann. Die detaillierte Untersuchung der Wechselwirkung zwischen dem Sonnenwind und der Venus-Atmosphäre ist aber nur mit einer stark elliptischen Bahn möglich, deshalb wird der

Pioneer-Orbiter bis 200 km an den Planeten herankommen und sich auf 66 000 km von ihm entfernen. Ein Umlauf dauert etwa 24 Stunden. Die wichtigsten Messungen werden natürlich in unmittelbarer Nähe der Venus gemacht, aber dort befindet sich der Orbiter täglich nur etwa eine Stunde lang.

Auch der Orbiter enthält zwölf Instrumente, die alle von amerikanischen Wissenschaftlern der verschiedensten Forschungszentren beigesteuert wurden:

1. Neutrales Massenspektrometer
2. Ionen-Massenspektrometer
3. Analysator für Widerstandskräfte
4. Elektronen-Temperatur-Sonde
5. UV-Spektrometer
6. Sonnenwind-Plasma-Analysator
7. Magnetometer
8. Infrarot-Radiometer
9. Wolken-Photopolarimeter
10. Radar-Höhenmesser
11. Detektor für das elektrische Feld
12. Gammastrahlen-Detektor

Das Radar-Team wird aus den Daten des Höhenmessers die Beschaffenheit der Venus-Topographie und der Oberflächen-Charakteristiken ermitteln und eine Karte der Venus-Oberfläche mit etwa 40 km Auflösungsvermögen erstellen. Auch beim Pioneer-Orbiter werden die Veränderungen der Funksignale beim Durchdringen der Venus-Atmosphäre registriert, um weitere Informationen über deren Dichte, Zusammensetzung und evtl. Turbulenzen zu erhalten. Auch himmelsmechanische Probleme sollen bei der genauen Beobachtung der Umlaufbahn des Orbiters erforscht werden. Interdisziplinäre Wissenschaftler sollen die Messungen sowohl des Orbiters als auch der Atmosphärenkapseln untersuchen und evtl. neue, bislang nicht übliche Interpretationsmöglichkeiten aufzeigen.

Der Pioneer-Orbiter besteht aus demselben Bus-Grundsystem wie auch die Atmosphärensonde. Nur sind beim Orbiter statt der Eintrittskapseln die zwölf Instrumente installiert. Auch der Venus-Orbiter ist durch eine schnelle Rotation in seiner Lage stabilisiert, nur die Parabolantenne wird durch einen speziellen Mechanismus laufend auf die Erde ausgerichtet bleiben.

Der Pioneer-Bus

Die beiden Venus-Sonden wurden entworfen und gebaut von der Hughes Aircraft Corp., Kalifornien. Diese Firma nahm auch die Integration der wissenschaftlichen Instrumente vor, prüfte die beiden Raumsonden und wird sie bis zum Start betreuen.

Die beiden Pioneer-Sonden haben die Form eines flachen Zylinders von 2,5 Meter Durchmesser und 1,5 Meter Höhe. Der Orbiter wiegt beim Start etwa 567 kg, nach dem Ausbrennen des Bremsmotors zum Einschwenken in die Venus-Umlaufbahn nur noch 320 kg. Das «Mutterschiff» der Atmosphärensonden wiegt insgesamt etwa 885 kg, davon entfallen 280 kg auf die grosse und je 72 kg auf die drei kleinen Eintrittskapseln.

In dem Pioneer-Bus befindet sich ein temperiertes Abteil mit den für die Funktion der Raumsonde notwendigen Systemen. Beim Orbiter werden in diesem Teil auch alle wissenschaftlichen Instrumente beherbergten.

Das Lageregelungs-System der Pioneer-Sonden arbeitet mit sechs kleinen Hydrazin-Triebwerken. Als Orientierungsreferenz dienen die Sonne und der helle Fixstern Canopus. Die Stromversorgung der beiden Raumfahrzeuge erfolgt mittels Sonnenzellen, mit denen die Außenflächen des Bus zum grossen Teil bedeckt sind. Auf der Deckplatte, wo sich beim Atmosphärensonden-Pioneer die Eintrittskörper befinden, ist beim Orbiter Parabolantenne montiert. Auf der unteren Seite des Orbiters ragt das Bremstriebewerk hervor. Alle wissenschaftlichen Instrumente befinden sich in beiden Raumsonden auf einer Ausrüstungsplattform, beim Orbiter allerdings ragt ein Magnetometer-Ausleger hervor, damit die Messungen nicht durch die Sonde selbst beeinflusst werden.

Für die Funkverbindung mit der Erde stehen bei beiden Sonden je eine Richt- und eine Rundstrahlantenne zur Verfügung. Der Orbiter verfügt über eine grössere Datenspeicher-Kapazität als die Schwester-sonde, weil in der Umlaufbahn ja über längere Zeit erhebliche Mengen an Messdaten anfallen, die nicht alle gleichzeitig zur Erde übermittelt werden können. Die beiden Pioneer-Venus-Sonden sind mit einem S-Band-Funksystem ausgerüstet und haben eine Datenübermittlungskapazität von jeweils 2048 Bit/Sekunde.

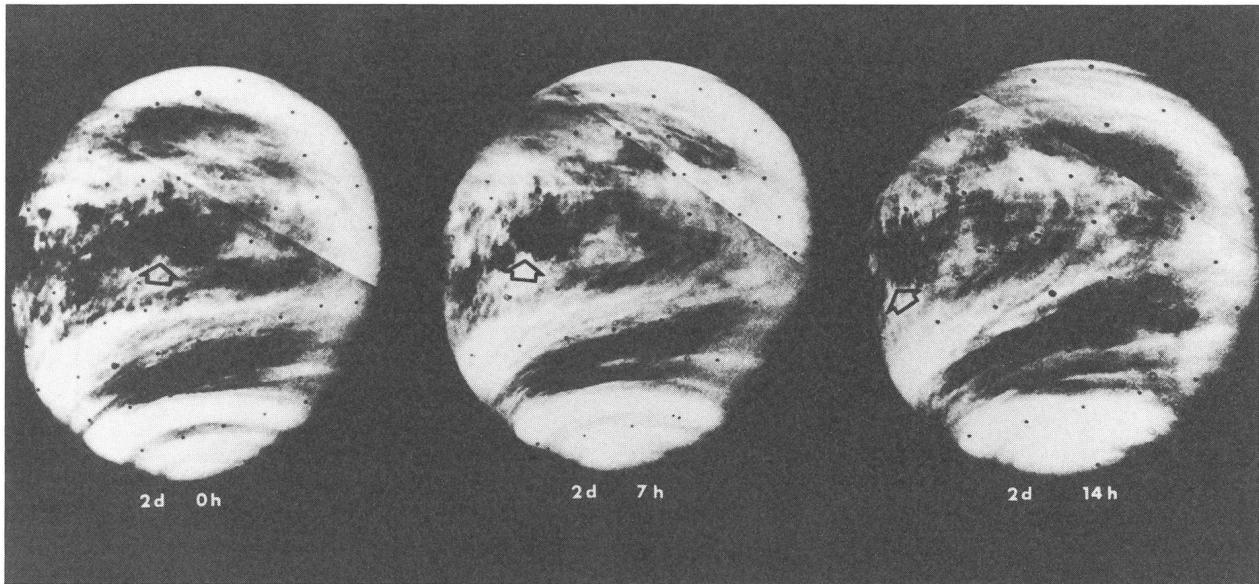
Die Bahnverfolgung und den Funkverkehr mit den beiden Venus-Sonden besorgt das «Deep Space Network» (DSN) der NASA. Während des Fluges zwischen den Planeten werden die 26-m-Antennen eingesetzt, bei kritischen Bahnmanövern und während der Ankunft der beiden Pioneer-Sonden an der Venus kommen die 64-m-Antennen des DSN in den USA, Spanien und in Australien zum Einsatz. Während des encounter der Atmosphärensonde müssen gleichzeitig vier Eintrittskapseln und auch der Sonden-Bus funktechnisch überwacht werden.

Das radiowissenschaftliche Pioneer-Team nutzt die Änderungen der Funksignale für seine Untersuchungen aus, wenn diese durch die Atmosphäre der Venus gehen. Damit lassen sich Struktur und Zusammensetzung der Atmosphäre bestimmen und Turbulenzen messen. Die Horizontalgeschwindigkeit des Windes soll während des Abstiegs der vier Eintrittskapseln mit einem empfangstechnischen Trick bestimmt werden.

Bedeutung der Venus-Forschung

Durch die fortlaufende Erkundung der Venus erhoffen sich die Wissenschaftler vor allem Hilfen bei der Interpretierung des meteorologischen Geschehens in der Erdatmosphäre. Die Kenntnis der atmosphärischen Verhältnisse auf der Venus und anderen Planeten hilft vielleicht bei der Klärung der komplexen Wettervorgänge auf der Erde, die bei der Mischung der kontinentalen und der ozeanischen Luftmassen im einzelnen vorgehen — dem wichtigsten Motor für das Wettergeschehen in der Atmosphäre unseres Heimatplaneten.

Die Planeten Venus und Mars haben — im Vergleich mit der Erde — ein einfacheres und ein komplizierteres Atmosphärenmodell, so dass man sich bei genauer Beobachtung Hinweise auf die Mechanismen erhofft, die das Wetter auf der Erde bestimmen. Trotz grosser Anstrengungen ist es nämlich den irdischen «Wetterfröschen» bislang leider nicht in dem erhofften Umfang gelungen, die Wettervorhersagen langfristiger und zu-



Die rasche Bewegung der Wolken in der Venus-Atmosphäre wird auf dieser Aufnahme-Sequenz erkennbar, die von der amerikanischen Sonde Mariner 10 vor einigen Jahren zur Erde übertragen wurde.
Foto: USIS

verlässiger zu machen — eigentliches Ziel all dieser Bemühungen.

In den nächsten 35 Jahren wird sich die Erdbevölkerung verdoppeln, so dass die landwirtschaftlichen Vorräte stark strapaziert werden, und ein Absinken der durchschnittlichen Jahrestemperatur um nur $1,5^{\circ}\text{C}$ würde z.B. den kanadischen Weizen zum grössten Teil vernichten. Es wird auch vermutet, dass die umfangreichen russischen Weizenkäufe der letzten Jahre hauptsächlich auf Ernteausfälle durch klimatische Unbilden zurückzuführen sind, also auf zu kalte Sommer.

Die Kenntnis solcher Umstände und die Voraussage gewisser meteorologischer Trends ist also von eminent politischer, ja von existentieller Bedeutung für die Erdbevölkerung. Vielleicht gelingt es eines Tages, aus der besseren Kenntnis der meteorologischen Vorgänge das Klima und das Wetter in gewisser Weise zu steuern oder doch zumindest ungünstige Entwicklungen abzuwenden, wie sie z.B. durch übermässige Umweltverschmutzung durch die Menschen selber hervorgerufen werden.

Die beiden Venus-Sonden der Amerikaner bedeuten einen wichtigen Schritt auf dem Weg zur Erforschung der Atmosphären anderer Planeten. Die Besonderheit der Venus-Atmosphäre ist ihre relative Unkompliziertheit, wie Prof. Suomi von der Universität in Wisconsin erläutert, der für Radiometer in den drei kleinen Landekörpern zuständig ist: «Der Venus-Tag ist etwa ebenso lang wie ein Jahr auf diesem Planeten, so dass das Wetter auf der Venus nahezu identisch ist mit dem global ablaufenden Klima. So kann man Informationen über das Venus-Klima schon innerhalb einer relativ kurzen Beobachtungszeit gewinnen.»

Die Venus-Atmosphäre unterscheidet sich von der Erde hauptsächlich in vier Bereichen:

1. Die Venus-Oberfläche ist immer von Wolken bedeckt, so dass es keine Auswirkungen direkter Sonnen-einstrahlung gibt.
2. Auf der Venus gibt es keine Ozeane (und damit kei-

ne Beeinflussung des Klimas durch grosse Wassermassen) und keine Gezeitenkräfte.

3. Die Rotationsachse der Venus ist nicht gegen die Ekliptik geneigt, so dass es auf diesem Planeten keine Jahreszeiten gibt.
4. Eine Drehung der Venus um ihre Achse dauert sehr lange, so dass keine Koriolis-Kräfte auftreten können, wie sie auf der Erde zusammen mit der solaren Aufheizung der Atmosphäre das meteorologische Geschehen wesentlich bestimmen.

Diese hier etwas vereinfacht dargestellten Faktoren machen den ganzen Planeten und seine Atmosphäre für irdische Wissenschaftler verschiedenster Disziplinen zu einem interessanten Versuchslabor. Sie wollen unter anderem wissen:

1. Welche Mechanismen haben das irdische Klima über mehrere Millionen Jahre so konstant und für das Leben so günstig gehalten?
2. Warum haben sich die Atmosphären der anderen erdähnlichen Planeten so verschieden entwickelt?
3. Welches sind die stabilisierenden und die verändernden Mechanismen, die das Klima eines Planeten bestimmen?
4. Was ist früher auf dem Mars geschehen, wo es Erosion gibt und Flüsse gab?
5. Wo ist das Wasser auf der Venus geblieben, das es dort höchstwahrscheinlich einmal gegeben haben dürfte?

Die Wissenschaftler messen den Gesetzen von Chemie, Physik und Strömungsmechanik universelle Gel tung zu, deshalb haben sie die Hoffnung, von den Verhältnissen auf Mars und Venus auf die Erde zurück schliessen zu können.

Adresse des Autors:
WOLFGANG ENGELHARDT, Ing., Hermann-Löns-Str. 3, D-5000 Köln 51.