

DIE ERFORSCHUNG DER OBERFLÄCHE DES PLANETEN VENUS  
 von Franz Leberl

ZUSAMMENFASSUNG

Der Planet Venus ist mit einer dichten Wolkendecke verhüllt. Daher ist eine systematische Erforschung der Oberfläche nur mittels Mikrowellen möglich. Die hierfür benötigte Technologie besteht. Grobauflösende Radarbilder wurden bisher von der Erde aus und im Pioneer-Venus Projekt erzeugt. Aber auch hochauflösende Satellitenradarbilder sind möglich, wie dies im Apollo-17 ALSE-Projekt zum Mond und im SEASAT-Satellitenprojekt der Erde erfolgreich demonstriert wurde. Dieses Verfahren des Synthetischen-Aperture-Radar soll daher auch in der Venus Orbital Imaging Radar (VOIR)-Mission eingesetzt werden. Die vorliegende Arbeit beschreibt den heutigen Wissensstand über die Oberfläche des Planeten Venus und die in der VOIR-Mission anfallenden radargrammetrischen Aufgaben. An der Technischen Universität Graz wird hiezu in Zusammenarbeit mit der U.S. Raumfahrtsbehörde ein Beitrag geliefert.

ABSTRACT

Planet Venus is hidden under a heavy layer of clouds. This leads one to the use of microwaves for systematic exploration of the planet's surface. The required technology exists: coarse radar images have been generated with radar astronomy and within Pioneer-Venus. Also high resolution satellite radar would be feasible, as was demonstrated in the lunar Apollo-17 ALSE-project and the SEASAT-satellite mission around the Earth. This technology of synthetic-aperture radar will be used in the Venus Orbital Imaging Radar (VOIR)-mission. This paper summarizes the current understanding of the surface of Venus and the radargrammetric aspects of the VOIR-mission. These aspects are being studied at the Technical University Graz in co-operation with the U.S. space agency NASA.

1. EINLEITUNG

Die Erde ähnelt der Venus mehr als allen anderen Planeten, in Größe, Masse, Dichte und Abstand von der Sonne. Daher wird die Venus oft als der Zwilling der Erde bezeichnet. Es bestehen aber auch wesentliche Unterschiede, wie die Temperatur der CO<sub>2</sub>-Atmosphäre der Venus, die 750<sup>0</sup> K beträgt, das nahezu gänzliche Fehlen von Wasserdampf und die langsamere Umdrehungsgeschwindigkeit.

Die Ähnlichkeit mit der Erde ist ein wichtiger Grund für das wissenschaftliche Interesse, welches an der Erforschung der Oberfläche der Venus besteht. Hierbei ist die Venusforschung nicht Selbstzweck, denn die Erforschung anderer Planeten bringt wesentliche Aussagen über den Ursprung der Erde, ihrer Atmosphäre und damit auch jener Bedingungen, welche zur Entstehung des Lebens geführt haben (LEWIS, 1971). Gerade die vergleichende Planetenforschung führt zu interessanten Einsichten: so hat Jupiter eine sehr hohe Umdrehungsgeschwindigkeit, Venus eine sehr niedere, so daß dort nur unbedeutende Coriolis-

kräfte wirken. Venus hat auch kaum ein Magnetfeld, sodaß der Strahlungsdruck hier ganz anders wirken kann wie auf der Erde. Daraus ergibt sich also, daß die Meteorologie der Erde aus einer vergleichenden Betrachtung von Venus, Erde, Mars und Jupiter verständlicher wird.

Ähnliches gilt für den geologischen Aufbau und die Tektonik aus einer Untersuchung der Oberfläche. Die dichte Wölkendecke des Planeten Venus hat es aber bisher verhindert, daß von der Oberfläche Bilder im sichtbaren Spektrum hergestellt werden konnten, wie sie von allen anderen terrestrischen Planeten bestehen. Eine der fundamentalen Fragen, welche sich stellen, ist: wie weit ist die Venus auf dem Evolutionsweg zum unvermeidlichen Ende einer vollständigen geologischen Stratifizierung und eines thermischen Ruhezustandes. Anzeichen liegen vor, daß der Planet Venus hier weiter fortgeschritten ist als die Erde.

Aussagen über die Oberfläche des Planeten bestehen seit wenigen Jahren auf Grund von Radarbeobachtungen von der Erde aus. Radarbilder grober Auflösung wurden im Pioneer-Venus Projekt aus einem künstlichen Venus-Satelliten erstellt. Da Bilder nur im Mikrowellenbereich möglich sind, besteht die Absicht der U.S. National Aeronautics and Space Administration (NASA), um 1986 ein hochauflösendes Seitwärts Radarbildsystem zur Venus zu senden. Dieses Projekt trägt die Bezeichnung Venus Orbital Imaging Radar (VOIR)-Mission.<sup>1)</sup>

Der vorliegende Bericht dient dazu, den Planeten Venus und die VOIR-Mission zu beschreiben, sowie die radargrammetrischen Aufgaben darzustellen. Das Projekt wird als technologische Pionierleistung zu bezeichnen sein, weil die Mikrowellenabbildung nur mit ungleich größerem Aufwand möglich ist als die in der Raufahrt üblichen Vidikon-Fernsehkammern oder Abtastgeräte und überdies an die Telekommunikation neue Anforderungen zu stellen sein werden.

Im folgenden soll der heutige Wissensstand über den Planeten Venus kurz resümiert werden. Erst danach wird das VOIR-Projekt erläutert, wobei der Schwerpunkt auf den Fragen der Radargrammetrie liegt.

## 2. BISHERIGER STAND DER ERFORSCHUNG DER VENUS-OBERFLÄCHE

### 2.1 Bestehende Daten

Der bisherige Wissensstand über den Planeten Venus beruht auf den Vorbeiflügen der Raumsonden MARINER 2 (SMITH et al., 1963), MARINER 5 und 10 (DUNNE, 1974), auf den sowjetischen VENERA Sonden und Landegeräten (VINOGRADOW u.a., 1973) mit insgesamt 2 Aufnahmen direkt nach der Landung von VENERA 9 und 10, auf den Radarbeobachtungen mittels Großantennen, wie jener in Arecibo (Puerto Rico), Goldstone (Kalifornien) und anderen (siehe z.B. GOLDSTEIN u.a., 1979), sowie den vorläufigen Ergebnissen der PIONEER-VENUS

---

<sup>1)</sup>Für die Mission wurde von der NASA das leitende Team von Wissenschaftlern nominiert. Der Autor ist Mitglied dieses 20 Personen umfassenden sogenannten VOIR-Science Teams.

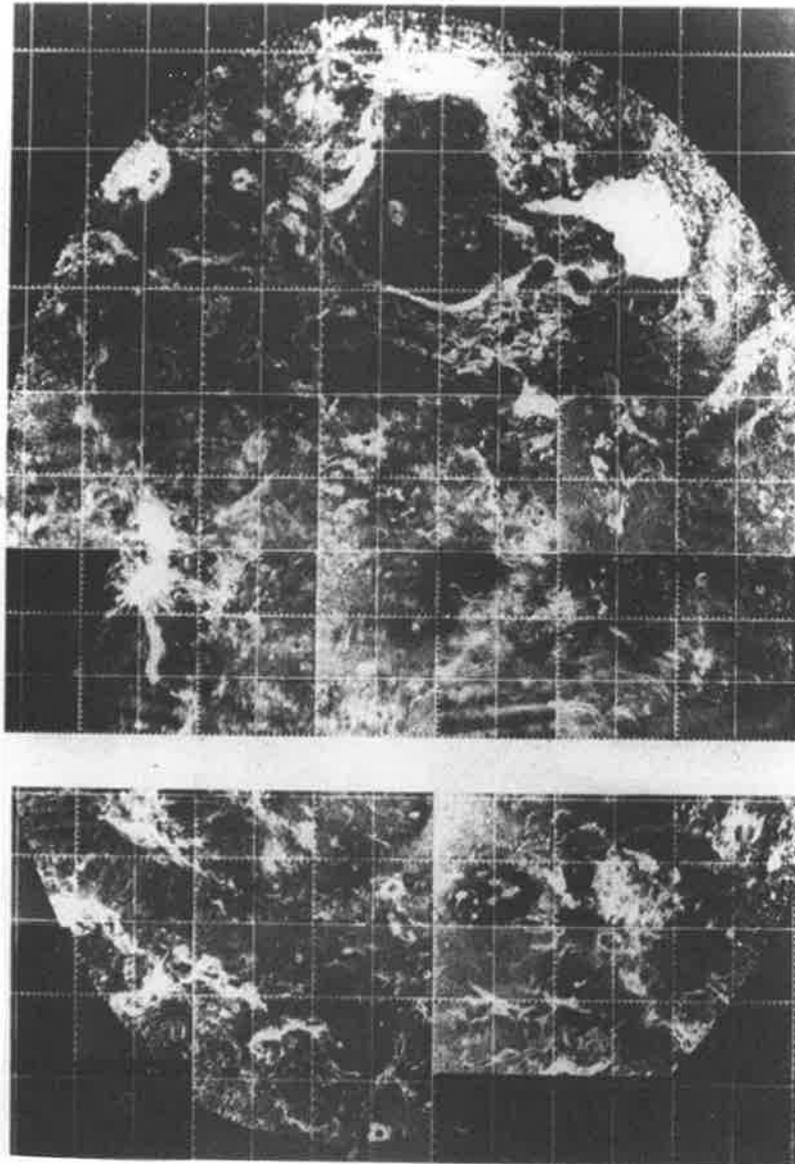
1978 Mission (PETTINGILL u.a., 1979) mit einer Mehrfachsonde zum Eintauchen in die Atmosphäre und dem Orbiter.

Die Mariner-Missionen haben unter Verwendung von Vidikon-Fernsehkameras jeweils Bilder der Venusatmosphäre erzeugen können (Abbildung 1), welche erste Ergebnisse über die aus Erdbeobachtungen nur grob bekannte, typisch Y-förmige Struktur dieser Atmosphäre lieferten. Aus den PIONEER-VENUS Orbiter Photopolarimeter Messungen wurde eine detaillierte Untersuchung der 4-tätigen Periode von Windmustern erbracht (TRAVIS u.a., 1979).



Abbildung 1: Vidikonbild des Planeten Venus aus der MARINER 10 Mission. Aufgenommen mit UV-Filter. Typisch ist die Y-förmige, laufend verändernde atmosphärische Struktur, welche sich mit einer 4-tätigen Periode wiederholt.

Von der Erde aus werden mittels Radarbildern Aussagen über die Oberfläche der Venus gewonnen. Beispiele bisheriger Ergebnisse sind in den Abbildungen 2 und 3 dargestellt. Diese Daten entstehen durch ein punktwises Erfassen von Radarechos nach Abstrahlen eines starken Impulses im Dezimeter-Wellenlängenbereich von der Erde aus. Dieser Impuls wird von der Planetenoberfläche reflektiert. Das Echo jedes Impulses wird nach Abbildung 4 analysiert.



-Abbildung 2: Radarbildmosaik der Venus, aufgenommen mit der 300-Meter Antenne in Arecibo, Puerto Rico. Wellenlänge 12 cm. Das Mosaik stellt ein Bild der Radarreflektivität der Venusoberfläche dar. Geometrische Auflösung etwa pro Bildpunkt 20 km (Pixeldurchmesser).

Ähnlich dem aktiven Flugzeugradar wird das Echo nach Echolaufzeit und den aus der Planetenumdrehung resultierenden Dopplerfrequenzen aufgelöst. Durch die Schwäche des empfangenen Echos ergibt sich die Notwendigkeit zur verfeinerten Rauschunterdrückung. Somit ist das im Prinzip einfache Vorgehen (nach Abbildung 4) in der Durchführung äußerst anspruchsvoll.

Die geometrische Auflösung ist in verschiedenen Koordinatenrichtungen unterschiedlich. In jenen Teilen des Äquators, welche zur Zeit einer unteren Konjugation zu sehen sind, ist die Lagenauflösung etwa 10 km; dies verschlechtert sich bis zu 100 km in größeren Breiten der Venus. In der Höhe ist mit  $\pm 100$  m eine ungleich bessere Auflösung wegen der ge-

naueren Laufzeitbestimmung der Radarimpulse möglich. Diese Höhengauflösung kann wegen der geringen Lageauflösung aber nur beschränkt in Höhengenaugigkeit umgesetzt werden.

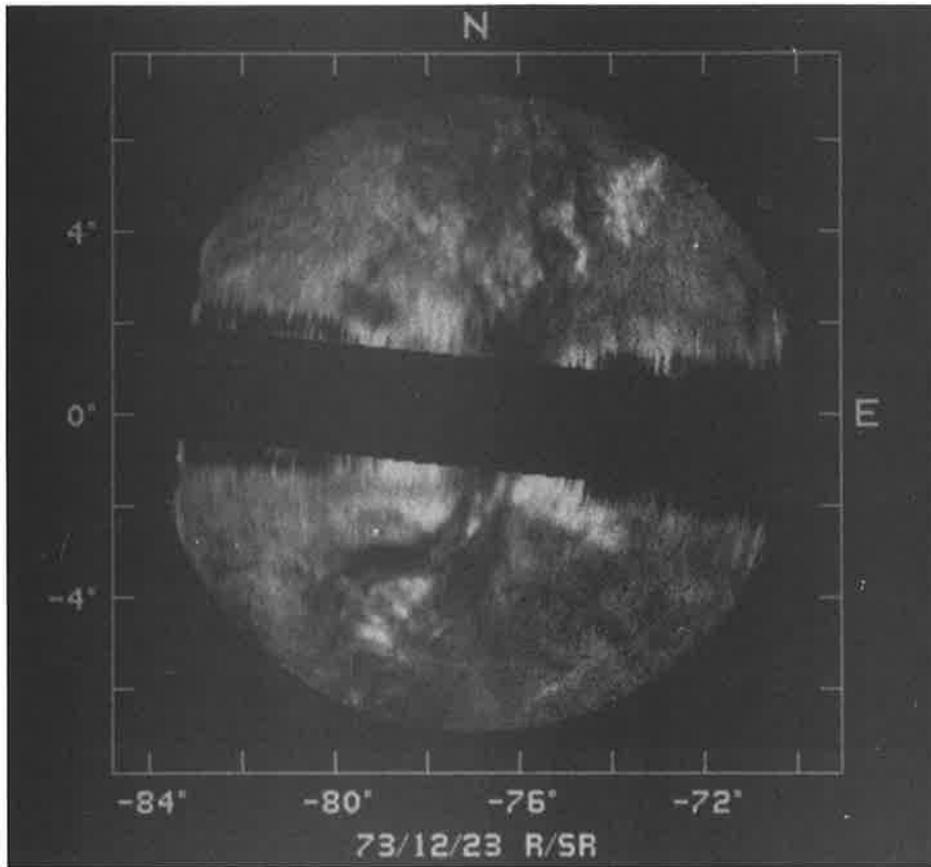


Abbildung 3: Einzelradarbild, aufgenommen mit der 64 m - Antenne in Goldstone, Kalifornien, mit einer Auflösung (Pixeldurchmesser) von etwa 10 km.

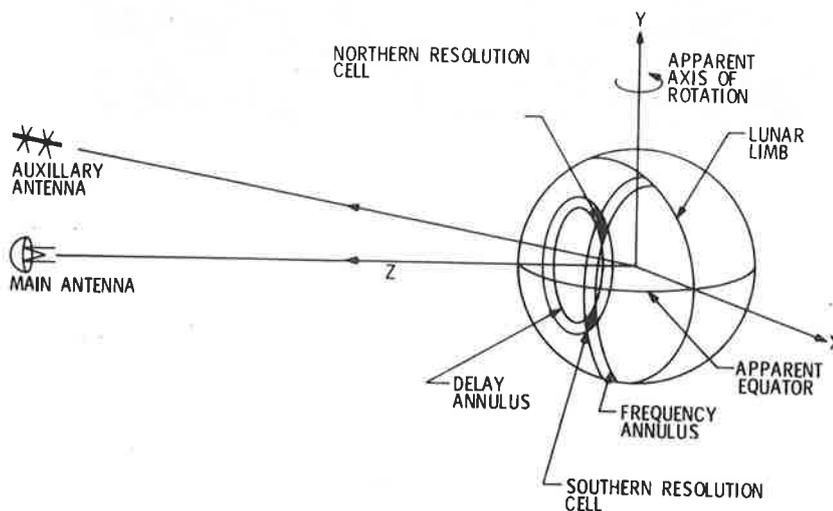


Abbildung 4: Prinzip der Radarbildformung mittels Großantenne von der Erde aus. Es wird

die Echozeit benützt, und das Echo eines Impulses vom Planeten in konzentrische Ringe aufzulösen. Innerhalb eines Ringes dient die durch die Planetendrehung verursachte Dopplerfrequenz zur Auflösung in Bildpunkte. Da Punkte gleicher Echozeit auf einem Ring liegen, sind die Bilder kreisförmig. Der dunkle Streifen in der Bildmitte ist ein Gebiet schlechterer Auflösung, wo die Schnitte der Linien gleicher Echozeit und gleicher Dopplerfrequenz schief sind.

Das aus den Erdbeobachtungen in Arecibo<sup>1)</sup> mit der 300 m-Antenne gewonnene Bildmosaik in Abbildung 2 erlaubt die Identifizierung von hellen und dunklen Gebieten, welche als topographische Merkmale interpretiert werden: kreisförmige Depressionen können Krater sein, es sind tiefe Gräben und Bergzüge andeutungsweise erkennbar.

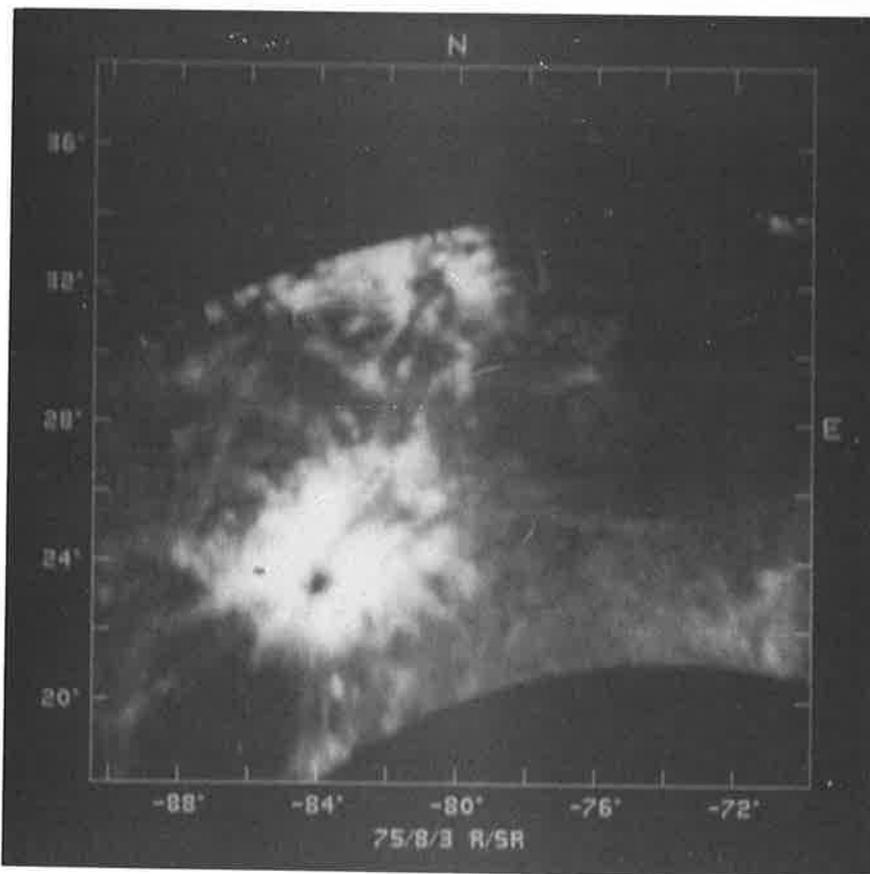


Abbildung 5: Radarbildmosaik, aufgenommen mittels Goldstone-Antenne der Beta-Region, mit einer Auflösung von 50 km/Linienpaar. Beta ist als helles Radarmerkmal zu sehen. VENERA 9 landete in der Nähe.

Abbildung 5 zeigt ein Detail aus der sogenannten Beta-Region. Hier scheint eine große Erhebung mit 600 km Durchmesser und einer Depression am Gipfel zu liegen, welche von SAUNDERS und MALIN (1977) als der 10 km hohe Vulkan Gauß interpretiert wurde.

<sup>1)</sup> Ein Talbecken wird hier als Antenne verwendet.

In der PIONEER-VENUS-Mission, deren Ergebnisse bisher nur in vorläufiger Form zur Verfügung stehen (PETTENGILL u.a., 1979), wurde ein Radar-Altimeter eingesetzt, welches eine Höhengenaugigkeit von 50 bis 300 m in der Nähe der 150 km hohen Periapsis der elliptischen Umlaufbahn liefert. Dieses Altimeter wurde auch zur Erzeugung von Bildern benutzt (PIONEER-VENUS Radar Mapper), wobei ein Bildstreifen nur aus etwa 30 Bildpunkten (Pixeln) mit einem Durchmesser von etwa 20 bis 30 km besteht.

Abbildung 6 ist eine synthetische Bilddarstellung ("Schummerungskarte"), welche aus den Daten des Pioneer Venus Radar Mappers im Altimeter-Modus erzeugt wurden.



Abbildung 6: Schummerungsdarstellung der Altimeter-Daten der PIONEER-VENUS Orbiter-Mission mit angenommener Beleuchtung von Süden.

Gegenüber den Radioteleskopbeobachtungen (bis 10 km je Bildpunkt im besten Fall) hat die PIONEER-VENUS-Mission geringere geometrische Lage-Auflösung (20 bis 40 km), jedoch bedecken die PIONEER-VENUS-Daten eine weit größere Fläche als die bisher gewonnenen Erdbeobachtungen. Zum Teil erlauben die vorliegenden vorläufigen Analysen eine Korrektur bisheriger Interpretationen: Als Beispiel sei das Merkmal Gauß in der Beta-Region genannt (Abbildung 5), für welches eine Höhe von ca. 10 km über dem mittleren Venus-Radius (6045 km) aus Erdbeobachtungen festgestellt worden war. Die PIONEER-Daten zeigen eine weit geringere Höhe. Die Interpretation von "Gauß" als Vulkan wird durch PIONEER nicht widerlegt, aber auch nicht bewiesen: PIONEER-VENUS-Daten zeigen etwa die selbe Form für das Merkmal wie jene, die schon aus früheren Beobachtungen bekannt war.

## 2.2 Aussagen über den Planeten Venus

Die Erforschung des Weltraumes und auch der Planeten gleicht der Arbeit von Detektiven,

welche sich aus vereinzelt Indizien konsistente Hypothesen über Tathergänge formulieren müssen. Im Brockhaus des Jahres 1887 hat die Venus einen nahezu richtigen Durchmesser von 12 200 km und eine gänzlich falsche Umdrehungsperiode von  $23^{\text{h}}21^{\text{min}}$ . Noch Mitte der 60-iger Jahre bestanden über die Venus sehr divergierende Theorien, welche von einer feuchten, sumpfigen Oberfläche voller Leben bis zu einer mit Blei- und Zinkmeeren bedeckten sehr heißen Oberfläche reichten. Noch zu Beginn der 70-er Jahre wurde festgestellt, daß die Venus flach sei, ohne besondere topographische Merkmale (LEWIS, 1971).

Tabelle 1 faßt nur einige beschreibende Größen der Venus zusammen, wie sie der heutigen Kenntnis entsprechen und stellt sie jenen der Erde gegenüber. Daraus wird die Ähnlichkeit in Größe und Gewicht deutlich.

Tabelle 1: Venus-Konstante und Gegenüberstellung mit Erdgrößen

	ERDE	VENUS
Masse	1.0 M	0.83 M
Radius	6378 km	6050 km
Dichte	5.52 g/cm <sup>3</sup>	5.11 g/cm <sup>3</sup>
Umdrehung	täglich, direkt	243 Tage, retrograd
Atmosphäre	N <sub>2</sub> , O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>
Oberflächen- temperatur	300 <sup>0</sup> K	750 <sup>0</sup> K
Wolken	H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
Magnetfeld	0.6 Gauss	keines

Ein wesentlicher Unterschied zur Erde ist die dichte CO<sub>2</sub>-Atmosphäre, vermutlich als Ergebnis der aus dem Inneren der Venus ausgetretenen Gase.

Die Venus ist heiß (750<sup>0</sup> K) und trocken, H<sub>2</sub>O und O<sub>2</sub> fehlen nahezu gänzlich. Ungeklärt ist die Frage, ob diese Trockenheit Folge oder Ursache der frühen Alterung des Planeten ist. Die vulkanischen Merkmale deuten jedoch wiederum darauf hin, daß die Evolution des Planeten gegenüber der Erde verlangsamt ist. Der ersten Hypothese wird aber im allgemeinen der Vorzug gegeben (MASURSKY u.a., 1977).

Die PIONEER-VENUS-Mission hat die Hypothese des Bestehens einer Plattentektonik erhärtet. Es besteht eine etwa 1.5 km große Exzentrizität des Massenschwerpunktes vom Mittelpunkt des Äquators; dies läßt darauf schließen, daß kontinentale Platten unterschiedlicher Dicke bestehen. Ein etwa 30 km großer Unterschied in der Plattendicke wird benötigt, um dieses Ausmaß an Exzentrizität zu erklären (PETTENGILL u.a., 1979). Weitere Indizien für das Bestehen einer durch Tektionik gegliederten und aus Platten bestehenden Kruste ergeben sich aus petrologischen Beobachtungen (chemische Zusammensetzung) und aus der Topographie (MASURSKY u.a., 1977).

Die Topographie der Venus zeigt großflächige regionale Höhenunterschiede von  $\pm 3$  km mit Ausdehnungen von 300 bis 3000 km. In Abbildung 2 war ein dunkles, birnenförmiges Merkmal und daneben ein sehr helles Gebiet zu sehen. Das helle Gebiet wird mit "Maxwell-Mons" bezeichnet und wurde als Gebirge interpretiert, während das dunkle Gebiet noch in der MARINER 71-Mission für eine Depression oder ein Becken gehalten wurde. Aus der PIONEER-VENUS Mission zeigte sich jedoch, daß das gesamte Gebiet, mit einer Ausdehnung von 1500 mal 3000 km, über dem mittleren Venus-Radius liegt, also ein 3000 bis 5000 m hohes Plateau darstellt, aus dem "Maxwell" noch einmal etwa 2000 m emporragt. Somit ist dieses Plateau etwa 2 mal größer als das Himalaya Plateau. Es wird nun seit 1980 mit "Isthar-Terra" bezeichnet<sup>1)</sup>, welche unter anderem Maxwell-Mons beinhaltet (PETTENGILL u.a., 1979).

Isthar-Terra und andere Merkmale sind von ringförmigen, erhöhten Rändern umgeben (vergl. Abbildung 2); hierfür wird ebenfalls ein kombinierter vulkanisch-tektonischer Prozeß als Ursache angenommen.

Die Umdrehungsgeschwindigkeit der Venus ist gegenüber jener der Erde viel langsamer und noch dazu retrograd. Diese Anomalie hat bis heute keine Erklärung gefunden, sodaß die Theorie besteht, daß dies durch einen exogenen Prozeß (äußeres Ereignis) verursacht worden sei. Die geringe Umdrehungsgeschwindigkeit kann auch die Ursache dafür sein, daß kein Venus-Mond besteht, da er (unter gewissen Voraussetzungen) auf die Venus auftreffen müßte. Jedenfalls besteht kein Anlaß anzunehmen, daß das Fehlen von Venus-Monden aus einer von der Erde unterschiedlichen Entstehung oder Entwicklung der Venus begründet sei.

### 3. VOIR

#### 3.1 Gesamtdarstellung

Die Venus-Orbital-Imaging-Radar (VOIR)-Mission beruht auf einer Technologie, welche im Rahmen des Apollo-17 Projektes zum Mond im Dezember 1972 (siehe Abbildung 7) und des SEASAT-Fluges 1978 (siehe Abbildung 8) erfolgreich angewandt wurde, nämlich auf dem synthetischen Apertur Radar (SAR) aus einer Satellitenumlaufbahn. Historisch kann durchaus festgesellt werden, daß diese beiden bisherigen NASA Satelliten-SAR Projekte (ALSE und SEASAT) sehr wesentlich im Hinblick auf VOIR entstanden und motiviert waren.

Abbildung 9 zeigt eine Darstellung des VOIR-Projektablaufes. Daraus ist ersichtlich, daß ein Start der Raumfähre zur Venus für Mai 1986 aus der NASA Space Shuttle geplant ist. Nach 7-monatigem Flug soll das Raumschiff im Dezember 1986 die Venus erreichen und in eine kreisförmige Bahn einschwenken. Eine zur Zeit geprüfte Alternative wäre ein kürzerer interplanetarer Flug, etwa 4 Monate, und eine elliptische Umlaufbahn. Es wäre dann vorgesehen, daß durch die atmosphärische Reibung eine kreisförmige Bahn erreicht wird; diese Technik wird mit "Luftbremsung" (engl. aerobraking) bezeichnet.

Die Bahnkurve des Satelliten über der Venus Oberfläche wird etwa 300 km sein. Tabelle 2

<sup>1)</sup>Venus Merkmale werden zur Zeit nach mythischen Frauennamen bezeichnet, während die radio-teleskopisch entdeckten informell nach (Radio)Wissenschaftlern benannt wurden.

beschreibt die zur Zeit festgelegten VOIR Projektparameter.

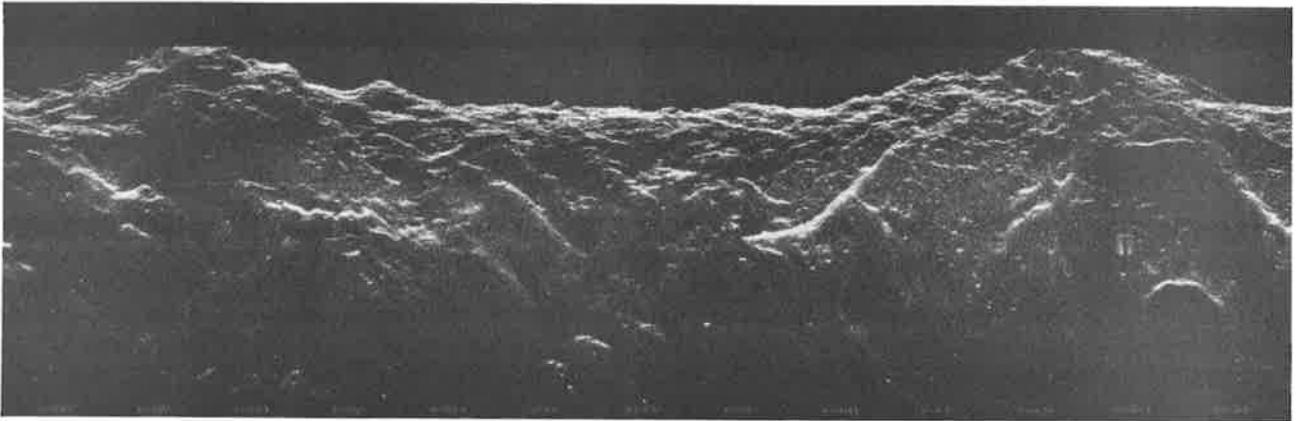


Abbildung 7: Beispiel eines Satellitenradarbildes des Mondes (Oriental-Gebiet, Mondrückseite), aufgenommen während der Apollo-17 Mission (1972) im Apollo Lunar Sounder Experiment mit VHF-Band (2 m Wellenlänge) mit sehr kleinen Nadirdistanzen zwischen  $0^{\circ}$  und  $20^{\circ}$ . Flughöhe 116 km.

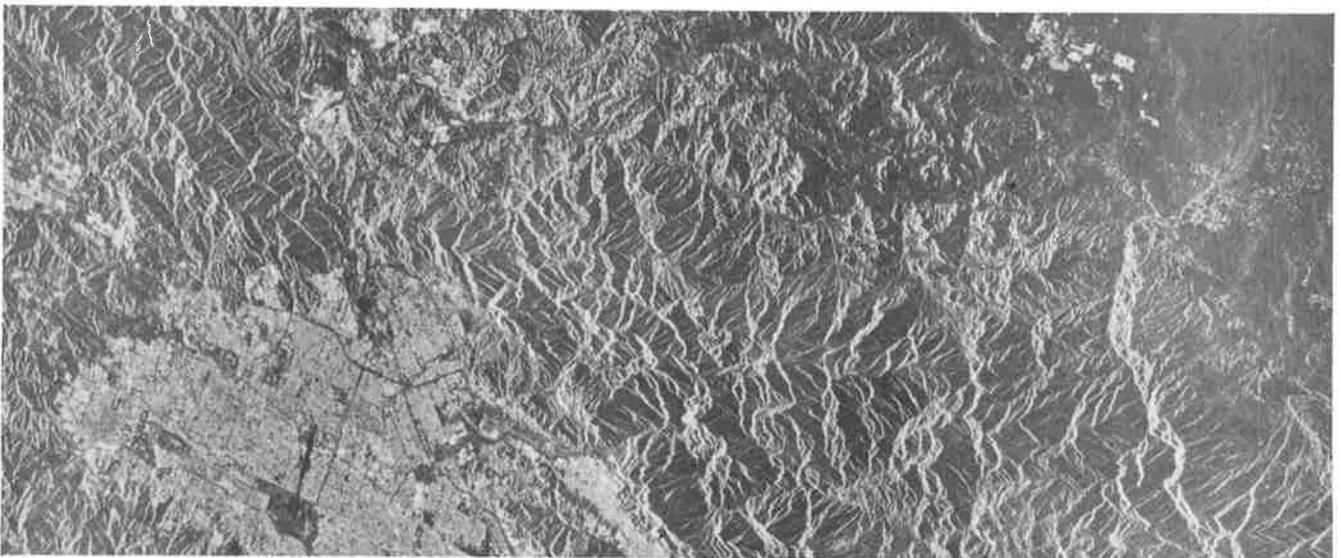
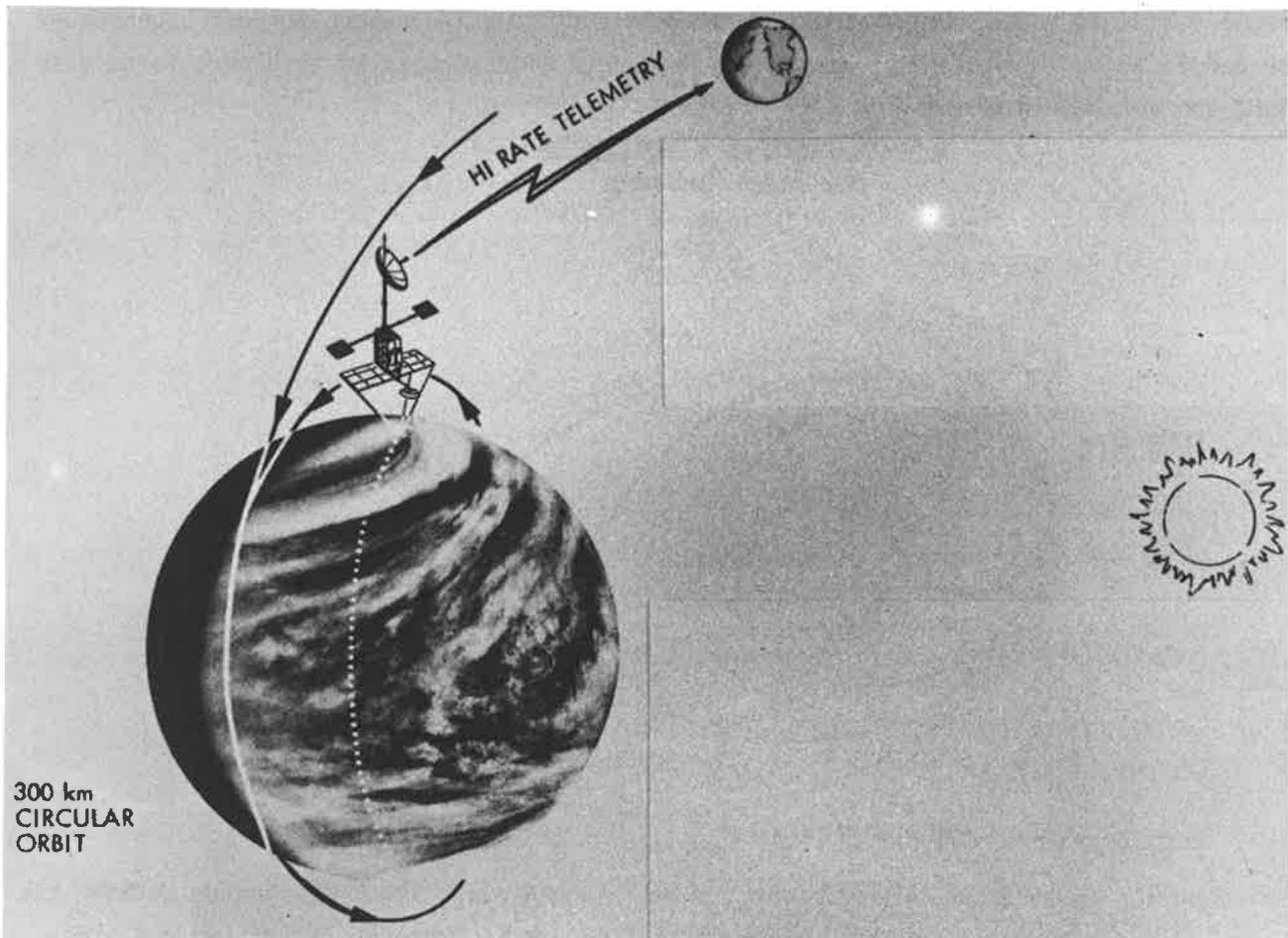


Abbildung 8: Beispiel eines Satellitenradarbildes der Erdoberfläche, aufgenommen im SEASAT-Projekt (1978), 800 km Flughöhe, L-Band (25 cm Wellenlänge), Nadirdistanzen zwischen  $16^{\circ}$  bis  $21^{\circ}$ . Das Bild zeigt einen Ausschnitt der Angeles Crest Berge im Osten von Los Angeles, USA. Deutlich ist die Bildüberlagerung wegen des Reliefs und der geringen Nadirdistanzen zu sehen.



-Abbildung 9: Geplanter VOIR-Projekttablauf

Tabelle 2: VOIR-Projektparameter (Stand Juni 1980)

Geplanter Start	Mai 1986
Einschwenken in Venus-Orbit	Dezember 1986
Flughöhe	300 km
Radarsystem	Synthetisches Apertur
Wellenlänge	25 cm (L-Band)
Aufnahmenardistanzen	25° bis 50°
Geometrische Auflösung	Ganzer Planet 600 m/ Linienpaar 1 % des Planeten 150 m/Linienpaar

Da sich Venus in 120 Tagen um 180° um die eigene Achse dreht, ist die Basis-Mission für die Dauer eines halben Jahres zur globalen Abbildung der Venus geplant. Erst eine verlängerte Mission ("extended mission") wird weitere wissenschaftliche Ziele mit Detail-

fragen verfolgen könne. Verlängerungen von Raumfahrtprojekten hängen von der Lebensdauer der Geräte ab und werden entsprechend den Umständen eines Projektes gefördert, sind also nicht von vornherein eingeplant.

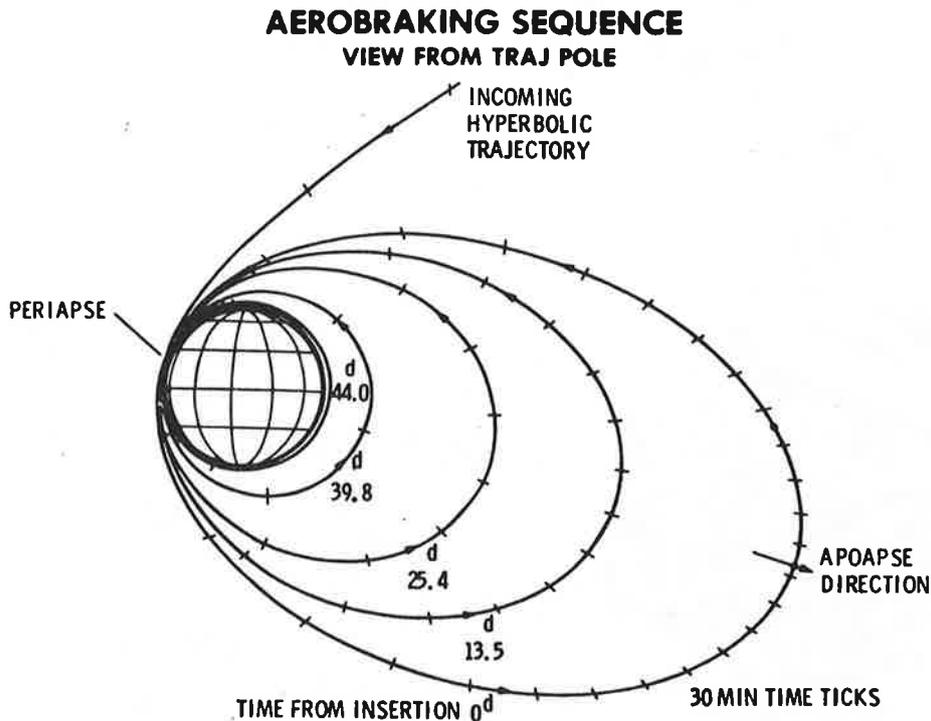


Abbildung 10: Luftbremsung (Aerobraking) zur Erzeugung einer kreisförmigen Umlaufbahn aus einer elliptischen. Im Raumschiff werden Elemente entfaltet, um den atmosphärischen Widerstand zu erhöhen.

### 3.2 Geometrische Auflösung

Der ganze Planet soll mit einer Auflösung von 600 m pro Linienpaar abgebildet werden<sup>1)</sup>. Ausgewählte Gebiete im Ausmaß von etwa 1 % der Oberfläche sollen auch mit höherer Auflösung von etwa 150 m pro Linienpaar aufgenommen werden. Diese Strategie entspricht den Erfahrungen von Mond und Mars-Missionen, insbesondere MARINER 9 und VIKING ORBITER (Science Working Group 1978).

Eine Auflösung von etwa 1 km/Linienpaar wird von den Geologen mit höchster Priorität gefordert, um die wesentlichen geologischen Strukturen erkennen und beschreiben zu können.

<sup>1)</sup>"Auflösung" kann mittels Modulationstransferfunktionen (MTF) wie bei der Photographie in Linienpaaren pro Längeneinheit ausgedrückt werden. Im Radar wird dagegen oft der Durchmesser der Streufigur eines punktförmigen Reflektors als Maß genommen. Bei der Abtastung besteht der Begriff "Pixeldurchmesser". Bildinterpretieren benutzen auch den subjektiven Begriff "Identifizierauflösung", womit das kleinste Detail bezeichnet wird, das noch geologisch zugeordnet werden kann.  
Folgende Beziehungen bestehen:

Radarstreufigurdurchmesser : Linienpaar = 1:2,

Pixel: Linienpaar =  $1:2\sqrt{2}$ ;

Identifizierauflösung: Linienpaar = 2:1

Eine höhere Auflösung ist notwendig, um geomorphologische Details interpretieren zu können. Ein nur geringer Prozentsatz der Fläche muß hier in höherer Auflösung zur Verfügung stehen, um wesentliche Aussagen machen zu können. Gerade in der Mars-Forschung hat sich gezeigt, daß die geringere Auflösung zu falschen Schlüssen führen kann, wenn nicht auch in einigen Fällen die höhere Auflösung zur Verfügung steht (MARINER Mars, 1973).

### 3.3 Aufnahmegeometrie

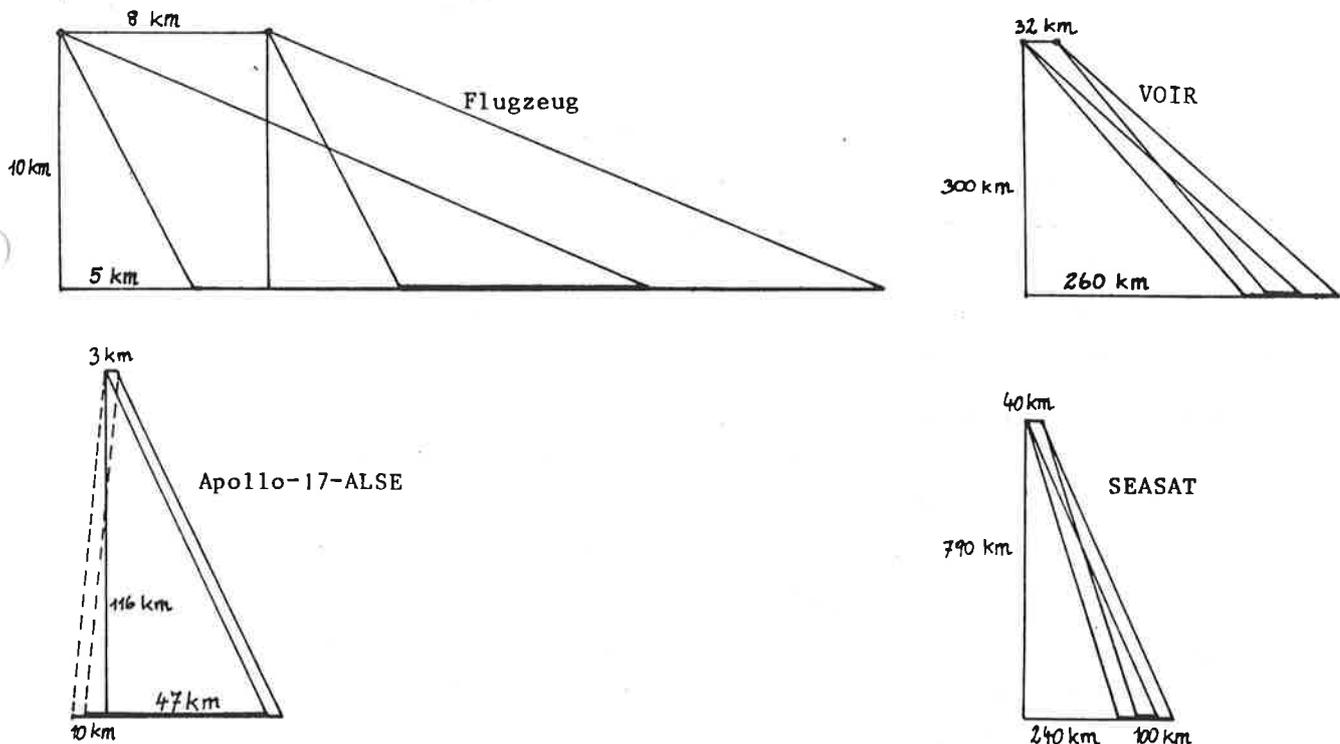


Abbildung 11: Vorgesehene Aufnahmegeometrie für VOIR und Vergleich mit Flugzeugradar, SEASAT und APOLLO-17-ALSE.

Abbildung 11 zeigt die vorgesehene Aufnahmegeometrie für VOIR in Vergleich zu üblichen Flugzeugaufnahmen, zu SEASAT und zu APOLLO 17 ALSE, wobei der Stereoeffall dargestellt ist. Diese Geometrie ist ein wesentliches Element der Radarabbildung, da die Objektausleuchtung die Interpretierbarkeit beeinflusst. Hier kommt es zum Beispiel bei größeren Nadirdistanzen der Beleuchtungsrichtung zu Schatten; es entstehen starke Reflexionen auf den der Antenne zugewandten Hängen und entsprechend abgeschwächte auf den abgewandten Hängen. Die Oberflächenrauheit beeinflusst das Radarbild vor allem bei einer Aufnahmegeometrie mit kleinen Nadirdistanzen. Die Helligkeit eines Radarbildpunktes hängt also stark von der Einfallsrichtung der Mikrowellen ab (vergl. z.B. ULABY, 1977).

Andererseits ist auch die Radarbildgeometrie von der Aufnahmedisposition abhängig. Die Reliefverschiebung wächst mit kleineren Nadirdistanzen. Von besonderer Wichtigkeit ist es, die Bildüberlagerung wegen der Reliefverschiebung zu vermeiden (vergl. Abbildung 8): im gebirgigen Gelände gilt es also, mit nicht zu kleinen Nadirdistanzen aufzunehmen.

Es zeigt sich daher, daß sowohl der thematische wie auch geometrische Bildinhalt strenge Anforderungen an die Aufnahmegeometrie stellen, welche als Funktion der abzubildenden Topographie zu verstehen ist. Im Fall einer weitgehend unbekanntem Topographie auf Venus ist daher die Flexibilität und Variabilität der Aufnahmegeometrie vorzusehen, wobei ein Bereich von  $20^{\circ}$  bis  $50^{\circ}$  für die Nadirdistanzen möglich sein sollte.

### 3.4 Stereo

Sowohl für die geologisch-geomorphologische Bildinterpretation wie auch zur Erfassung der Höhe von Oberflächenmerkmalen ist die Stereoauswertung von überlappenden Bildern ein wertvolles Hilfsmittel.

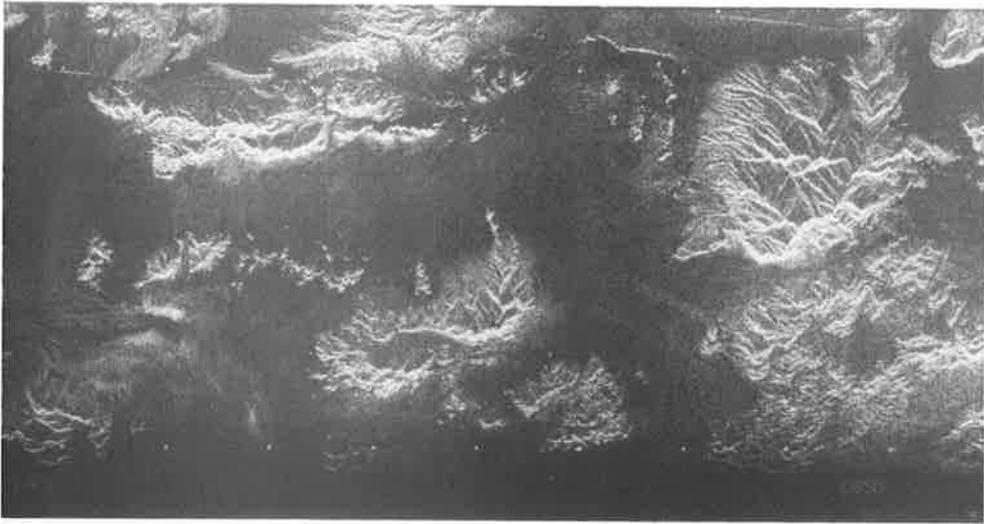
Im Fall von Satellitenradar besteht ähnlich wie bei den optischen Verfahren das Problem, daß das Basis-Höhenverhältnis oder die Stereoschnittwinkel von homologen Projektionslinien klein sind. Dieser Beschränkung kann nur mit einer Veränderung der Aufnahmegeometrie von einem zum anderen Bild begegnet werden, sodaß zwei verschiedene Beleuchtungsrichtungen verwendet werden. Die Forderung nach einer solchen Variabilität bestand aber auch für die Einzelbilder (vergl. Abschnitt 3.3).

Die Stereoanalyse von Radarbildern ist ein nur wenig untersuchtes technisch-physiologisches Problem (LEBERL, 1979). Die Radarbildtechnik mit synthetischer Apertur selbst ist ja im Gegensatz zu optischen Verfahren eine gänzlich menschliche Erfindung, ohne Analogon in der Natur. Somit ist auch Radarstereo ein synthetisches Verfahren, welches nur über das binokulare Sehen in der Natur verstanden werden kann.

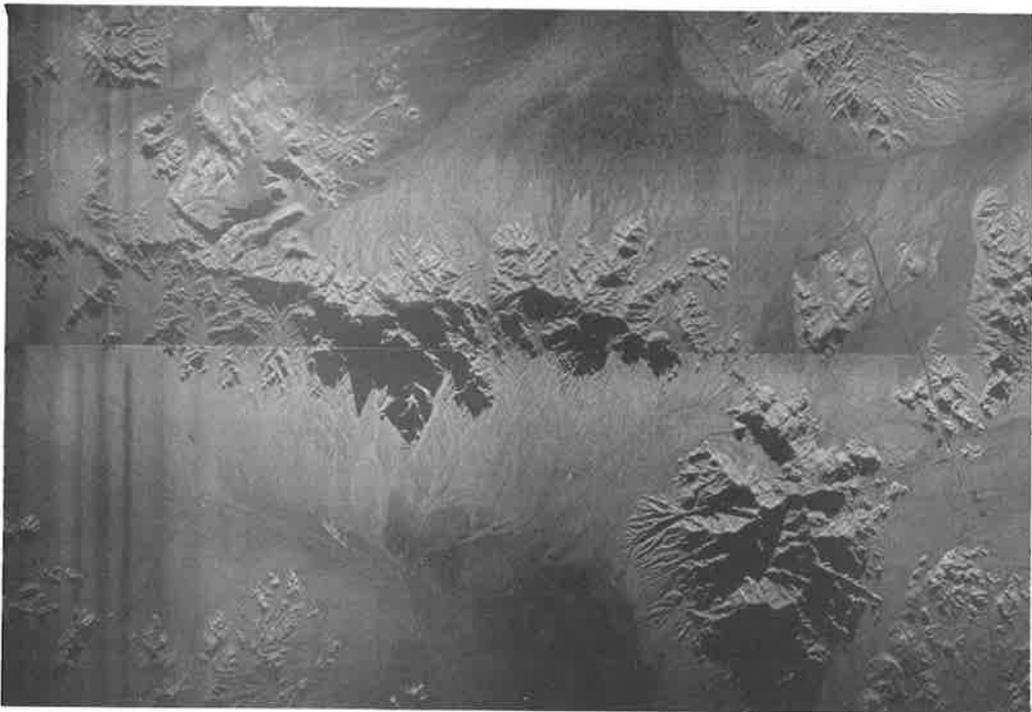
Aus Kostengründen wird für VOIR die Stereoauswertung nicht in der Basismission optimiert werden. Überlappende Bilder, welche vor allem in größeren geographischen Breiten vorliegen werden, sollen aus einheitlicher Aufnahmegeometrie entstehen. Die Stereoeindrücke werden also in etwa jenen entsprechen, welche sich im SEASAT-Stereo ergeben (siehe Abbildung 12). In einer erweiterten Mission, nach Bedeckung des gesamten Planeten mit Radarbildern, ist eine Veränderung der Aufnahmegeometrie für Stereo geplant.



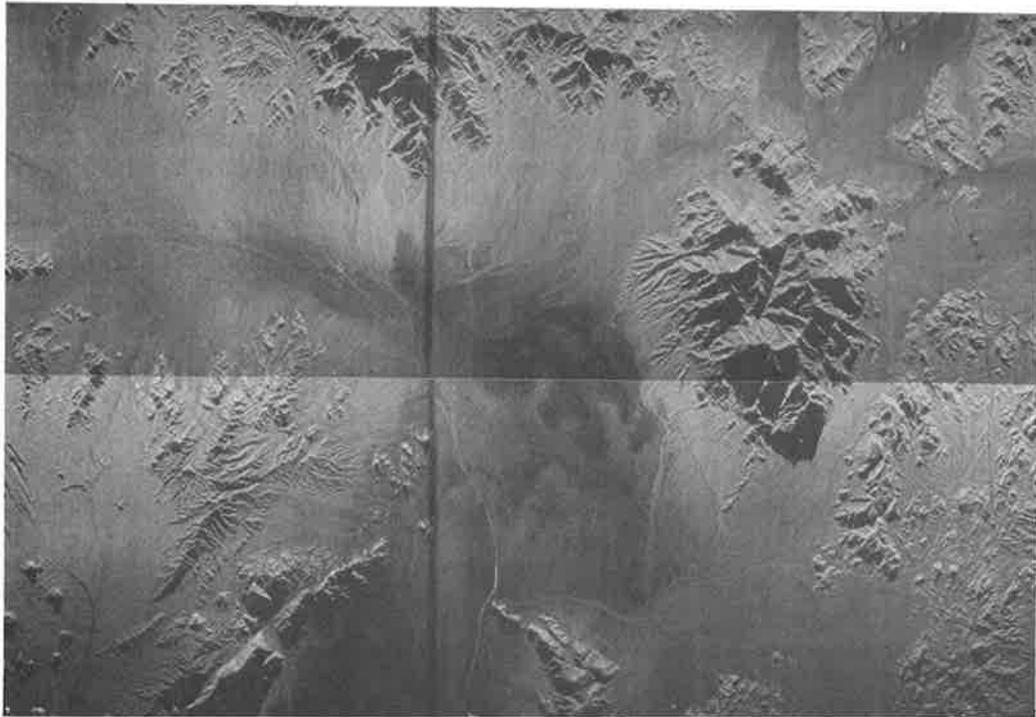
.(a) Seasat.



(b) Seasat



(c) Flugzeug



(d) Flugzeug

Abbildung 12: (a),(b)SEASAT-Stereobildpaar (25 cm Wellenlänge) aus der Umgebung des Granite Mountain,Kalifornien und (c),(d)Gegenüberstellung mit Flugzeugradar (Good-year Aerospace-Aeroservice, 3 cm Wellenlänge). Die schwache Stereokonvergenz im Satellitenfall ist aus den geringen geometrischen Unterschieden der beiden Bilder zu sehen. Jeder der beiden Bildstreifen aus SEASAT ist nur ein Teil der insgesamt 3 je Überfliegung erzeugten.

### 3.5 Geodätisches Festpunktfeld

Die grundsätzlichen Überlegungen und Erfahrungen in anderen Planetenprojekten werden auch in VOIR zugrundegelegt (DAVIES u.a., 1980), mit dem wesentlichen Unterschied, daß hier kontinuierliche, dynamisch erstellte Radarstreifen bestehen, in anderen Projekten aber Vidionaufnahmen vorliegen.

Über die Datenreduktion für VOIR bestehen zur Zeit nur vorläufige Vorstellungen. In Analogie zu früheren Mond- und späteren Mars- und Merkurprojekten (siehe z.B. DAVIES und ARTHUR, 1973) ist vorgesehen, in den beiden polaren Regionen aus den überlappenden Bildstreifen getrennt für Nord und Süd eine interne Ausgleichung durchzuführen und damit als Ergebnis die Rotationsachse der Venus und die Koordinaten von Merkmalen in der Nähe der Pole zu bestimmen.

In einem zweiten, sequentiellen Schritt soll das Punktenetz durch individuelle polverbindende Bildstreifen verdichtet werden. Diese langen Streifen sind im Norden und Süden an das bestehende Punktfeld angeschlossen und dienen der Interpolation von Zwischenpunkten.

Eine strenge simultane Ausgleichung des Radarbildkugelblocks ist wegen des damit verbundenen Aufwandes und dem erwarteten geringen Gewinn gegenüber der sequentiellen Lösung nicht vorgesehen.

Das Punktenetz kann nur aus möglichst punktförmigen, natürlichen Merkmalen bestehen. Im Falle anderer Planeten haben sich hierfür stets kleine Krater angeboten; ihre Koordinaten wurden im Netz 1. Ordnung aus Bahndaten der Satelliten mittels der photogrammetrischen Grundgleichung aus überlappenden Bildern bestimmt. Dabei wurden die gesamten vorliegenden Vidikon-Bilddaten in Gruppen (Blöcke) unterteilt und die Subblöcke simultan ausgeglichen (Bündelmethode). Der Anschluß benachbarter Blöcke wurde durch gemeinsame Verknüpfungspunkte erreicht. Die ungünstigen Basis-Höhenverhältnisse nötigen übrigens zur Festhaltung der a-priori Aufnahmewerte und bloßer Berechnung der Rotationsmatrizen für jedes Bild.

### 3.6 Radargrammetrische Vorbereitung der VOIR-Mission

Projektparameter wie geometrische Auflösung, Flughöhe, Aufnahmerichtung, Prioritäten der Datenerfassung usw. sind durch radargrammetrische Überlegungen mitbestimmt, wenn auch andere Gesichtspunkte, wie geologische Interpretierbarkeit, größeres Gewicht haben mögen.

Die Radarbildtechnik ist vom Standpunkt der Geräteherstellung wesentlich besser bekannt als vom Standpunkt der Datenauswertung. Die Radarbildmessung und Interpretation sind weitgehend unerforschte Gebiete (Radar Geology Workshop, 1979). Für die Anwendung in tropischen Regionen der Erde wurde und wird dieses Abbildungsverfahren im wesentlichen ohne vorbereitende oder begleitende wissenschaftliche Ausdeutung und Aufbereitung angewendet; die Bildanalyse erfolgt analog der Luftbildmessung. Im Hinblick auf die Möglichkeit, die dabei erhaltenen Radaraufnahmen anhand von Luftbildern und mittels Feldarbeit zu interpretieren, ist dieses Vorgehen erfolgreich.

Im Fall der Venus-Kartierung bestehen diese Möglichkeiten nicht. Es ist daher von vornherein eine Fertigkeit zu entwickeln, mit "fremden Augen" (engl. "alien eyes", siehe KOBRICK, 1980) zu sehen.

Diese Fähigkeit muß durch terrestrische Vorarbeiten erweitert werden, da hier das abzubildende Objekt als bekannt vorausgesetzt werden kann. Hierzu dient die Herstellung von Radarbildern mit unterschiedlichen Aufnahmedispositionen, die Erzeugung synthetischer Radarbilder und Vergleich mit echten Daten, die Manipulation der Daten zur Untersuchung verschiedener geometrischer als auch radiometrischer Auflösungsverhältnisse. Damit werden sich die Aussagen über die wesentlichen Zusammenhänge zwischen Radarecho und Topographie, Flugrichtung, Beleuchtungsdispositionen, Auflösung und anderen Parametern ergeben.

Gerade die Frage des Radarstereo hat weit über VOIR hinaus reichende Konsequenzen, da hierüber nur wenig bekannt ist, Stereo aber für die Bildauswertung ein wesentliches Hilfsmittel sein kann. Obwohl Stereo im VOIR-Basisplan nicht eigens optimiert wird, ist vorgesehen, eine für Stereo optimale Aufnahmedisposition für die erweiterte Mission zu ermöglichen. Die Frage besteht jedoch, was eine "optimale Aufnahmedisposition" ist. Auch für

diese Frage sind vor allem experimentelle Arbeiten mit echten und synthetischen (simulierten) Radarbildern notwendig. Ergebnisse werden auch terrestrischen Anwendungen nützen.

Schließlich besteht eine wesentliche radargrammetrische Aufgabe in der Schaffung eines Festpunktefeldes auf Venus mittels der VOIR-Bildstreifen, wofür eine Methode zu entwickeln ist. Die in Abschnitt 3.5 angeführte Vorgangsweise ist nur eine grundsätzliche Absichtserklärung; zur tatsächlichen Durchführung fehlen bisher Vorarbeiten, ausgenommen einige grundsätzliche Überlegungen zur Satellitenradargrammetrie (LEBERL, 1978) und zur Ausglei- chung überlappender Radarbilder (DOWIDEIT, 1977).

#### 4. SCHLUSS

Dem als Abend- oder Morgenstern verwendeten Planet Venus hat der Mensch schon von altersher besonderes Interesse gewidmet. Auch in der modernen Raumfahrt nimmt er eine Sonderstellung ein, da der Planet gänzlich von dichten Wolken verhüllt ist. Nur die Mikro- wellenabbildungsverfahren, entweder von der Erde aus oder aus einem Satelliten, ermöglichen einen Blick auf die Oberfläche.

Im letzten Dezennium hat sich gezeigt, daß Venus eine plattentektonisch aufgebaute feste Kruste besitzt, mit Gebirgen von etwa 6 bis 10 km Höhe und großer Ausdehnung. Ebenso bestehen tiefe Gräben und vulkanische Merkmale.

Die bestehenden Venus-Daten sollen durch ein Projekt mit einem hochauflösenden Syn- thetischen Apertur Radar (SAR) aus einem Venus-Satelliten wesentlich erweitert werden. Die sogenannte Venus Orbital Imaging Radar (VOIR)-Mission ist in Vorbereitung, wobei unter österreichischer Teilnahme Fragen über die Aufnahmedispositionen, Stereoradar, radar- grammetrische Punktbestimmung und Bildauswertung bearbeitet werden.

#### DANK

Die österreichische Mitarbeit an VOIR wird durch das Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung gefördert.

#### LITERATUR

- DAVIES M., ABALAKIAN V.K., u.a. (1980): "Report of the IAU Working Group on Cartographic Coordinates and Rotational Elements of the Planets and Satellites. Eingereicht bei Celestial Mechanics.
- DAVIES M., ARTHUR D.G.W. (1973): "Martian Surface Coordinates", Journal of Geophysical Research, Vol. 78.
- DOWIDEIT G. (1977): "Eine Blockausgleichung für Abbildungen des seitwärts schauenden Radar", Diss., Techn. Universität Hannover, Wiss. Arbeiten Nr. 75.
- DUNNE J.A., (1973): "MARINER 10 Venus Encounter", Science, Vol. 193, No. 4131, pp 1289 - 1291.
- GOLDSTEIN R.M., GREEN R.R., RUMSEY H.C. (1976): J. Geophys. Research, Vol. 81, pp 4807.

- KOBRICK M. (1980): "Alien Eyes", Astronomy, Vol. 8, No. 1, pp 6 - 17.
- LEBERL F. (1979): "Stereo Radar Analysis", Photogrammetric Engineering and Remote Sensing.
- LEBERL F. (1978): "Satellitenradargrammetrie", Deutsche Geodätische Kommission, Reihe C Heft Nr. 239.
- LEWIS J.S. (1971): "The Atmosphere, Clouds and Surface of Venus", Science.
- MARINER MARS (1973): "Mariner Mars 1971 Project Final Report, Science Results", Jet Propulsion Laboratories, Technical Report, 32 - 1550, Pasadena, USA.
- MASURSKY H., KAULA W.M., u.a.(1977): "The Surface and Interior of Venus", Space Science Review, Vol. 20, pp. 431 - 499.
- PETTENGILL G.H u.a. (1979): "Venus: Preliminary Topographic and Surface Imaging Results from the PIONEER Orbiter", Science, Vol. 205, pp. 90 - 93.
- RADAR GEOLOGY WORKSHOP (1979): "Proceedings", of NASA Radar Geology Workshop in Snowmass, Colorado, USA, 21. - 25. July, NASA Special Report (In Druck).
- SAUNDERS S., MALIN M., (1977): "Geologic Interpretation of New Observations of the Surface of Venus", Geophysical Research Letters, Vol. 4, pp 547 - 550.
- SCIENCE WORKING GROUP (1978): "Science Working Group Report for Venus Orbiting Imaging Radar", JPL Technical Report 660-75, Pasadena, Kal. 91103, USA.
- TRAVIS O.L., u.a. (1979): "Cloud Images from the PIONEER-VENUS Orbiter", Science, Vol. 205.
- ULABY F. (1979): "Radar Measurements in Agricultural and Forestry Applications," Univ. of Kansas Space Technology Center, Remote Sensing Laboratories, RSL Technical Report 330-5.
- VINOGRADOV A.P., KIRNOZOV F., SURKOV Y.A. (1973): Icarus, Vol. 20, pp 253.