

EINE RADARBILD - ZEITREIHE

F. Leberl und H. Fuchs

Technische Universität Graz, Österreich

John Ford

Jet Propulsion Laboratory, Pasadena

ZUSAMMENFASSUNG

Eine Reihe von Seitwärts -Radaraufnahmen eines Teiles des Sierrita Pedimentes in Arizona, USA, wurde zusammengestellt. Die Bilder wurden zu verschiedenen Zeiten zwischen 1965 und 1979 aufgenommen und unterscheiden sich in Blickrichtung, Frequenz, Art des Radarsystemes, Flugrichtung und Polarisierung. Fünf der insgesamt hier wiedergegebenen Bilder wurden mittels Passpunkten und einem digitalen Höhenmodell entzerrt. Fehler vor der Entzerrung betragen in allen Fällen einig hundert Meter im Landessystem; nach der Entzerrung waren Restfehler in Paßpunkten von + 19 m im besten und + 70 m im schlechtesten Fall vorhanden. Die Radarbilder, darunter ein SEASAT-Bild, wurden einer LANDSAT-Szene und einem Luftbild gegenübergestellt. Der Datensatz ermöglichte eine einzigartige Übersicht der Veraenderungen im aufgenommenen Gebiet und der verschiedenen Gesichtspunkte eines Radarsystemes.

ABSTRACT

A set of side looking radar images has been collected over an area in the Sierrita Pediment, Arizona, USA. The images vary in time of data acquisition between 1965 - 1979, but they also are taken at various look angles, frequencies, flight directions and polarizations. Ten images are presented here, where five have been rectified using ground control points and a digital height model which was taken from a map. Errors prior to rectification amount in all cases to several hundred meters on the ground; after rectification, residual coordinate errors in ground control range from + 19 m in the best image to + 70 m in the least accurate one. The contents of the radar images, including one pass from SEASAT, were compared to a LANDSAT image and aerial photography. The data set permitted a unique review of changes that occurred in the area over time, and of variations in radar performance as a function of various system parameters.

1. EINLEITUNG

Seitwärtsradarbilder (SLR, engl. Side-looking Radar) werden seit etwa 1964 für erdwissenschaftliche Arbeiten verwendet (MATTHEWS, 1965). Anwendungen bestanden im wesentlichen aus Übersichtskartierungen mit einer raschen Radarbedeckung großer Gebiete. Trotz dieser operationellen Anwendungen sind Radarbilder doch kaum wissenschaftlich erforscht: der Einfallswinkel der

elektromagnetischen Strahlung, die Frequenz der Wellenlängen, des Radarsystemtypes, die Flugrichtung usw. stellen Faktoren dar, deren Auswirkung auf das Radarbild noch intensive Untersuchungen erfordert (Radar Geology Workshop, 1979).

Es besteht wohl eine umfangreiche Literatur über Radargrammetrie (LEBERL, 1976), aber auch diese Richtung der SLR-Auswertungen benötigt noch wesentliche Erweiterungen. Das kann durch die Tatsache begründet sein, daß bestehende Auswertungen keine komplizierten radargrammetrischen Lösungen benötigen, daß weiters die Forschungsarbeiten nur sehr kleine Datenmengen betrafen und sich schließlich die Mehrzahl der Untersuchungen nur auf die Fehleranalyse in einzelnen Radarbildern konzentrierte.

Wir haben nun eine Reihe von SLR-Bildern eines Gebietes in Arizona (USA), etwa 30 km südwestlich von Tucson im Sierrita-Twin-Buttes-Pima Bergbauggebiet zusammengestellt. Die Daten wurden mit verschiedenen Radarsystemen über eine Periode von 14 Jahren, von 1965 bis 1979, erflogen. Sie zeigen eine Vielzahl natürlicher und bearbeiteter Flächen in einem großen Tagebaubergbauggebiet in der Halbwüste des südöstlichen Arizona. Die Bilder zeigen die schrittweise Entwicklung in den Minen und stellen eine Aufzeichnung der Veränderungen dar. Überdies illustrieren sie Unterschiede zwischen verschiedenen Radarsystemen.

Die vorliegende Arbeit hat zwei Ziele:

- (a) die Beurteilung und Demonstration der Nutzung eines photogrammetrischen, optischen Orthophotogerätes für die Differentialentzerrung von Radarbildern mittels Paßpunkten und digitalem Höhenmodell; sowie
- (b) die Präsentation und Analyse einer Bildzeitreihe eines kleinen Gebietes, wobei Sensoren und Sensorparameter verglichen werden können.

Ursprünglich lagen nur 5 Bilder vor; davon wurden Orthophotos erstellt. Im Zuge der Arbeit zeigte sich jedoch, daß viel mehr Radarflüge über demselben Gebiet bestehen. Wir konnten Kopien von insgesamt 12 Bildern sammeln. Die Beschränkung der Mittel für eine derartige Arbeit erlaubte aber nicht, alle Bilder zu entzerren. Überdies sind die Daten zum Teil völlig redundant. Daher legen wir hier 10 Radarbilder vor.

2. BESCHREIBUNG DES ABGEBILDETEN GEBIETES

Das abgebildete Gebiet neigt sich einheitlich gegen Osten und ist von geologisch jungem, mittel bis grob gekörntem alluvialem Sand bedeckt. Diese alluvialen Ablagerungen entstammen den westlich gelegenen Granitfelsen des Sierrita Gebirges und sind das Ergebnis der Erosion. Die Hangneigung beträgt etwa 25 m/km und entspricht der nach Osten zu anwachsenden Dicke der alluvialen Schicht von weniger als 30 m beim Helmet Peak im Westen bis über 300 m in der Nähe von Sahuarita im Osten. Dickschätzungen wurden von COOLEY (1973) gegeben. Es bestehen wenige Stellen, wo gewachsener Fels zutage tritt. Diese Stellen bestehen aus einigen Knollen und Hügeln, wovon die bedeutendsten die Twin Buttes, Helmet Peak und Mineral Hill sind. Abbildung 1 zeigt eine Kartenskizze, welche von einem entzerrten Radarbild hergestellt wurde. Es bestehen keine größeren geologischen Strukturen in dem kleinen abgebildeten Testgebiet. Die Vegetationsbedeckung ist offen und besteht in großen Abständen. Sie wurde durch den großangelegten Tagebau sehr gestört. Westlich vom Santa-Cruz-Tal gehört die natürliche Vegetation vor allem zur Familie der Paloverde-Saguaro der Sonora-Wüste

(TURNER, 1976). Diese Familie bildet Gruppen von kleinen Bäumen wie der Palaverde und von Büschen wie dem Kreosote-Busch, sowie verschiedene Arten von Kakteen. Der südwestliche Teil des Gebietes ist Grasland, das auch vereinzelt durch Büsche und Mesquite bedeckt ist. Am Ostrand liegen die bebauten Felder des Santa-Cruz-Tales.

Gewässerrinnen sind in den alluvialen Sand geschnitten und richten sich nach Osten zum Santa-Cruz-Fluß. Die Rinnen sind trocken. Die einzigen Wasserflächen sind die Sinterteiche. Das Wege und Straßennetz im Gebiet besteht aus der Tucson-Nogales Interstate Highway I-19 und der Southern Pacific Eisenbahnlinie, die beide parallel zum Santa Cruz verlaufen. Weiters bestehen Ost-West-Zugangsstraßen zu den Bergbaugebieten und kleinen Ortschaften oder Ranchhäusern.

Die Bergbauzone enthält die ältesten Abbaugebiete Arizonas. 1961 wurde diese Zone eine der führenden Kupferproduzenten der USA. In der Mitte der 70er-Jahre betrug die Produktion des Distriktes jährlich etwa 250 Millionen Dollar. Die Abbaugebiete umfassen San Xavier, Mission, Pima und Twin Buttes (Abb. 1) Das Erz ist von einer einige Dutzend Meter dicken alluvialen Schicht bedeckt, die abgebaut und auf nebenliegendes Land aufgeschüttet wurde. Die Twin-Butte-Mine startete 1965. Das während der ersten 10 Jahre abgebaute Material dieser Mine beträgt circa 800 Millionen Tonnen.

3. BESCHREIBUNG DER BILDER UND HILFSDATEN

Wegen der Bergbauaktivitäten wurde das Sierrita-Pediment durch viele verschiedene Bildflüge bedeckt. Die zur Verfügung stehenden Radarbilder wurden in 5 verschiedenen Missionen erflogen. Darüber hinaus besteht ein SEASAT-Bildstreifen. Selbstverständlich liegen auch Luftbilder und LANDSAT-Aufnahmen vor.

Die im Abschnitt 6 diskutierten Abbildungen 6 bis 18 zeigen 10 der zur Verfügung stehenden Radarbilder. Die Bedeckung am Boden, Radarstrahlgeometrie und Blickwinkel sind in Abbildung 2 beschrieben. Die Radarsystemparameter dieser Daten sind in Tabelle 1 zusammengefaßt. Einige der Bilder bestehen aus Mehrfachstreifen mit veränderter Flugrichtung (WESTINGHOUSE), Polarisierung (JPL, WESTINGHOUSE), Art der Datenverarbeitung (SEASAT).

Als Bezugsdaten sind zusätzlich zu den Radardaten auch Ausschnitte aus einem Luftbild (Abb. 3) und aus einem LANDSAT-MSS-Bild gegeben (Abb. 4). Diese Bilder stellen panchromatische Informationen dar, während im Radar nur ein sehr enger Frequenzbereich elektromagnetischer Strahlung verwendet wird. Der wesentliche Unterschied zwischen diesen Daten und Radar liegt jedoch in der geometrischen Auflösung. Diese beträgt nominell 80 m (Pixelgröße) für LANDSAT, 2,5 m für Photographie. Diese Auflösung wird im Falle der Photographie unter der Annahme erhalten, daß eine Auflösung von 20 Linienpaaren /mm in eine Pixelgröße von 18 μm umsetzbar ist, was am Boden etwa 2,5 m entspricht, da der Bildmaßstab 1:130 000 beträgt. Der Ausschnitt des LANDSAT-Bildes wurde auf 2 Arten vergrößert:

- (a) optisch aus einem Original im Maßstab 1:3 Millionen,
- (b) digital.

Beide Ergebnisse liegen in Abb. 4 vor, wobei der Vorteil der digitalen Ver-

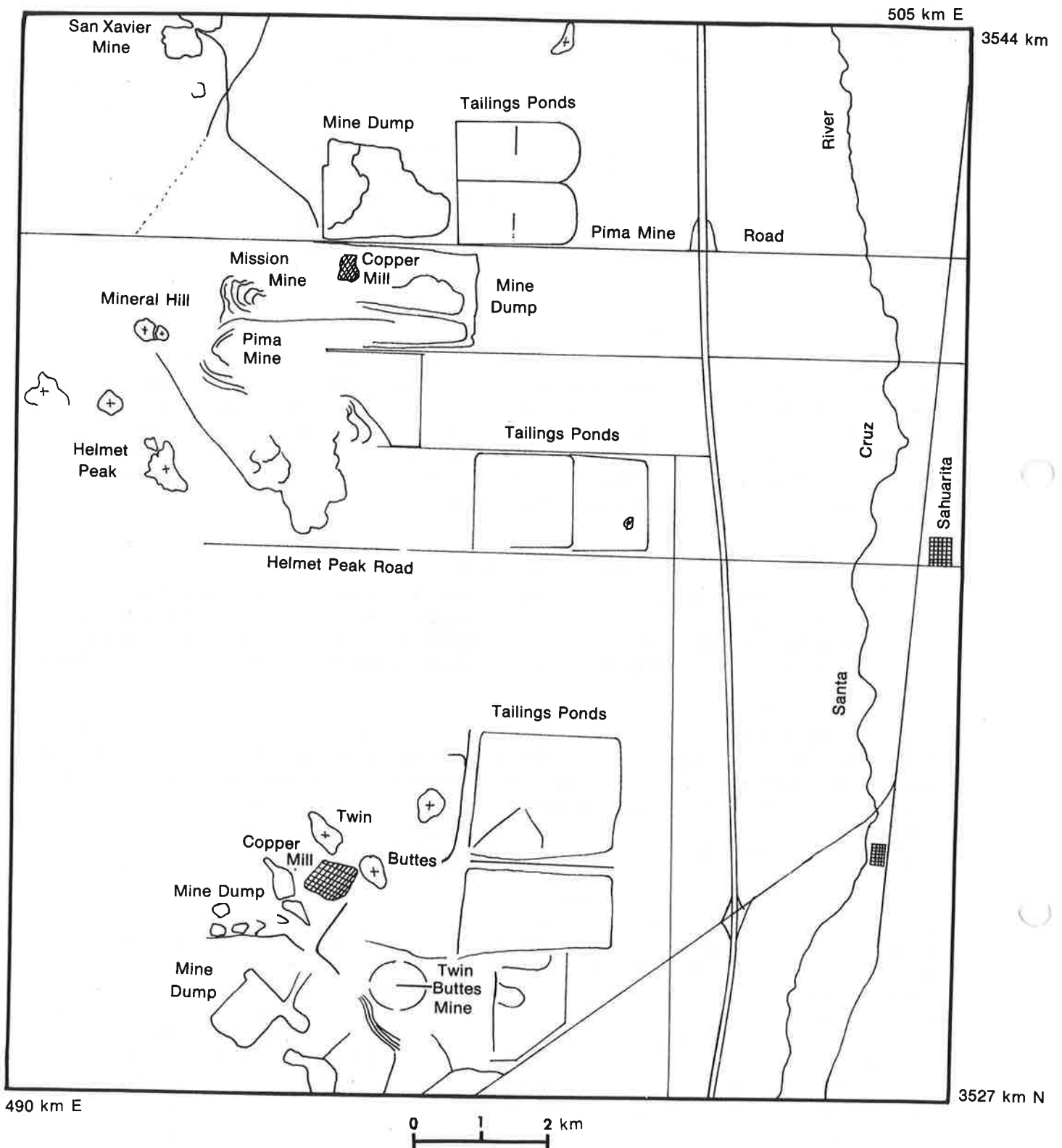


Abbildung 1: Kartenskizze des Testgebietes in Arizona, USA, abgeleitet aus einem Goodyear Radarbild aus dem Jahre 1973 (vgl. Abb. 8).

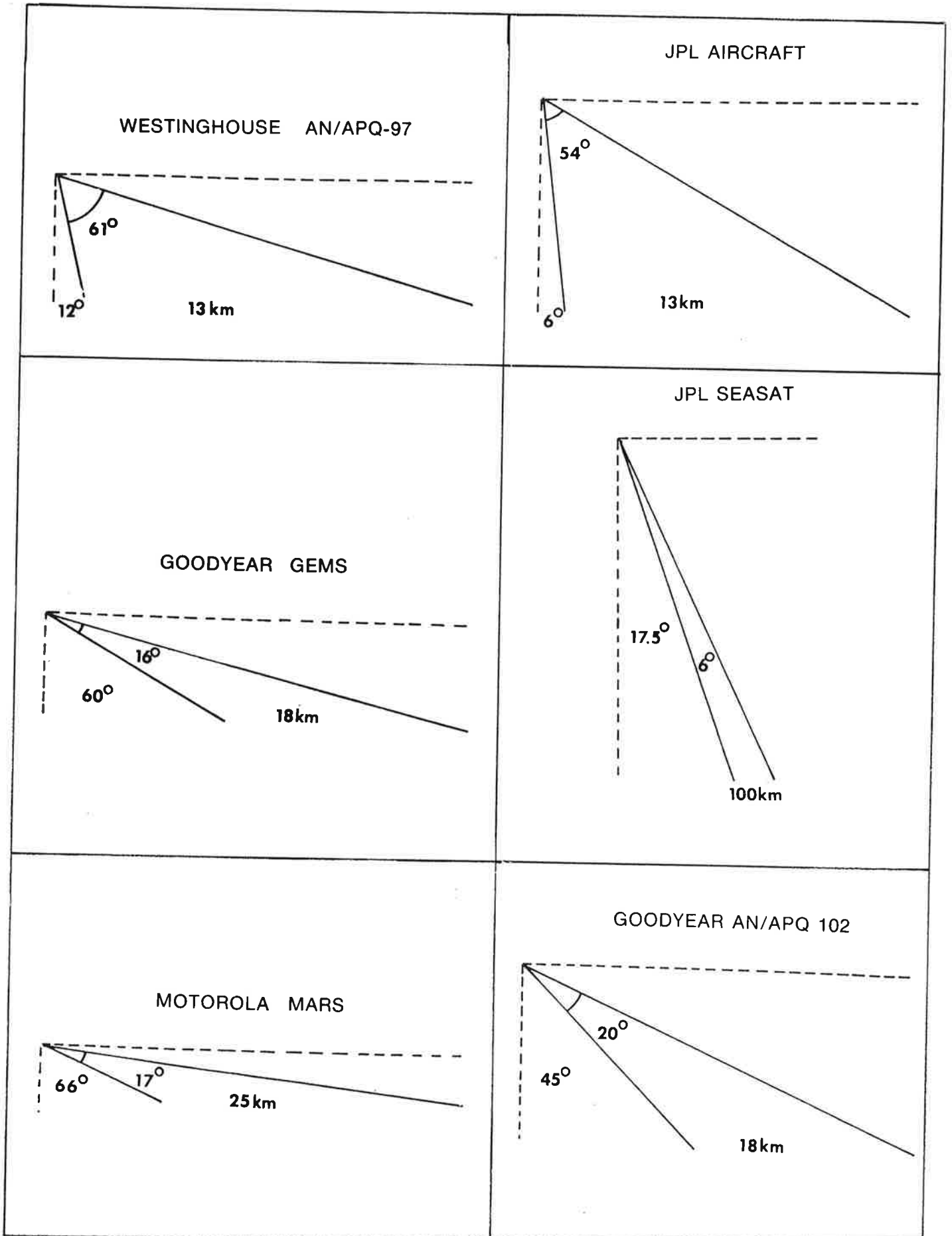


Abbildung 2: Radaraufnahmegeometrie für die verwendeten Abbildungssysteme.

Tabelle 1: Aufnahmeparameter der vorgelegten Radarbilder. Die angegebenen Nadirdistanzen sind Durchschnittswerte für jede Aufnahme.

Abbildung	Bezeichnung des Bildes	Reale/Synthetische Apertur	Auflösung	Flughöhe	Datum	Wellenlänge	Nadirdistanz	Bemerkung
6	Westinghouse A	Real (AN/APQ 97)	20-30 m	6 km ?	1965	0.8 cm	36°	Nord-Süd kreuzpolarisiert
7	Westinghouse C	Real	20-30 m	6 km ?	1965	0.8 cm	36°	Nord-Süd gleichpolarisiert
8	Westinghouse B	Real (AN/APQ 97)	20-30 m	6 km	1965	0.8 cm	36°	Ost-West kreuzpolarisiert
9	Goodyear-GEMS	Synthetic	12 m	12 km	1973	3 cm	68°	
12	Motorola	Real			1975	3 cm	74°	
13	Jet Propulsion Laboratory (JPL) A	Synthetic	25 m	10 km	1977	25 cm	33°	kreuzpolarisiert
14	Jet Propulsion Laboratory (JPL) B	Synthetic	25 m	10 km	1977	25 cm	33°	gleichpolarisiert
15	Seasat A	Synthetic	30 m	900 km	Aug 1978	25 cm	20°	Optische Korrel.
16	Seasat B	Synthetic	30 m	900 km	Aug 1978	25 cm	20°	Digitale Korrel.
17	Johnson Space Center (JSC) AN/APQ 102	Synthetic	10 m	20 km	1979	3 cm	55°	Optische Korrel. gleichpolarisiert
18	Johnson Space Center (JSC) AN/APQ 102	Synthetic	10 m	20 km	1979	3 cm	55°	Optische Korrel. kreuzpolarisiert

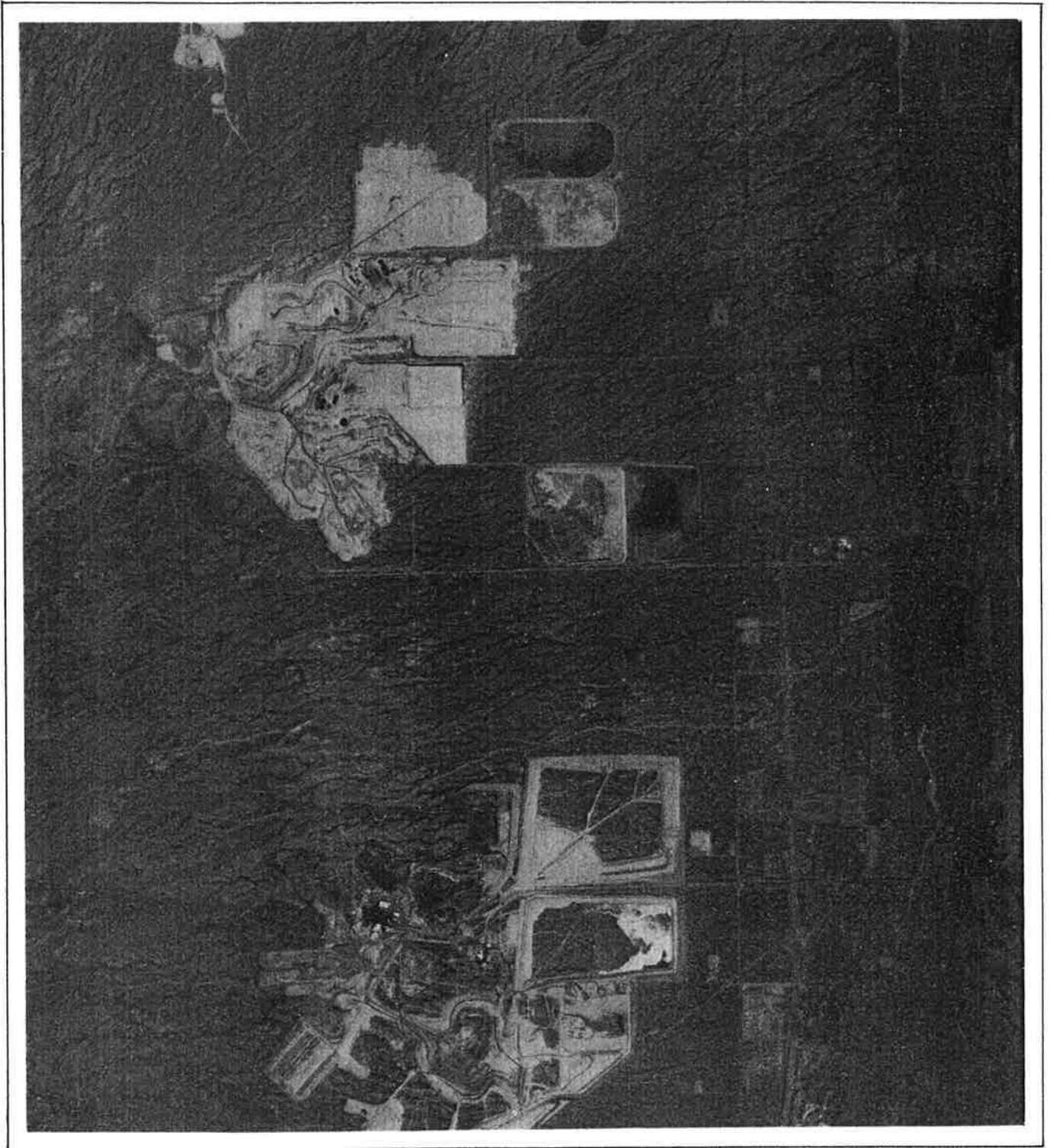


Abbildung 3: Ausschnitt aus einem Luftbild, aufgenommen im Maßstab 1:130 000 aus U-2 Flugzeug, Weitwinkel ($f = 15 \text{ cm}$).



Abbildung 4a: Ausschnitt aus einem LANDSAT-Bild, Kanal 7 (Infrarot), optische Vergrößerung.

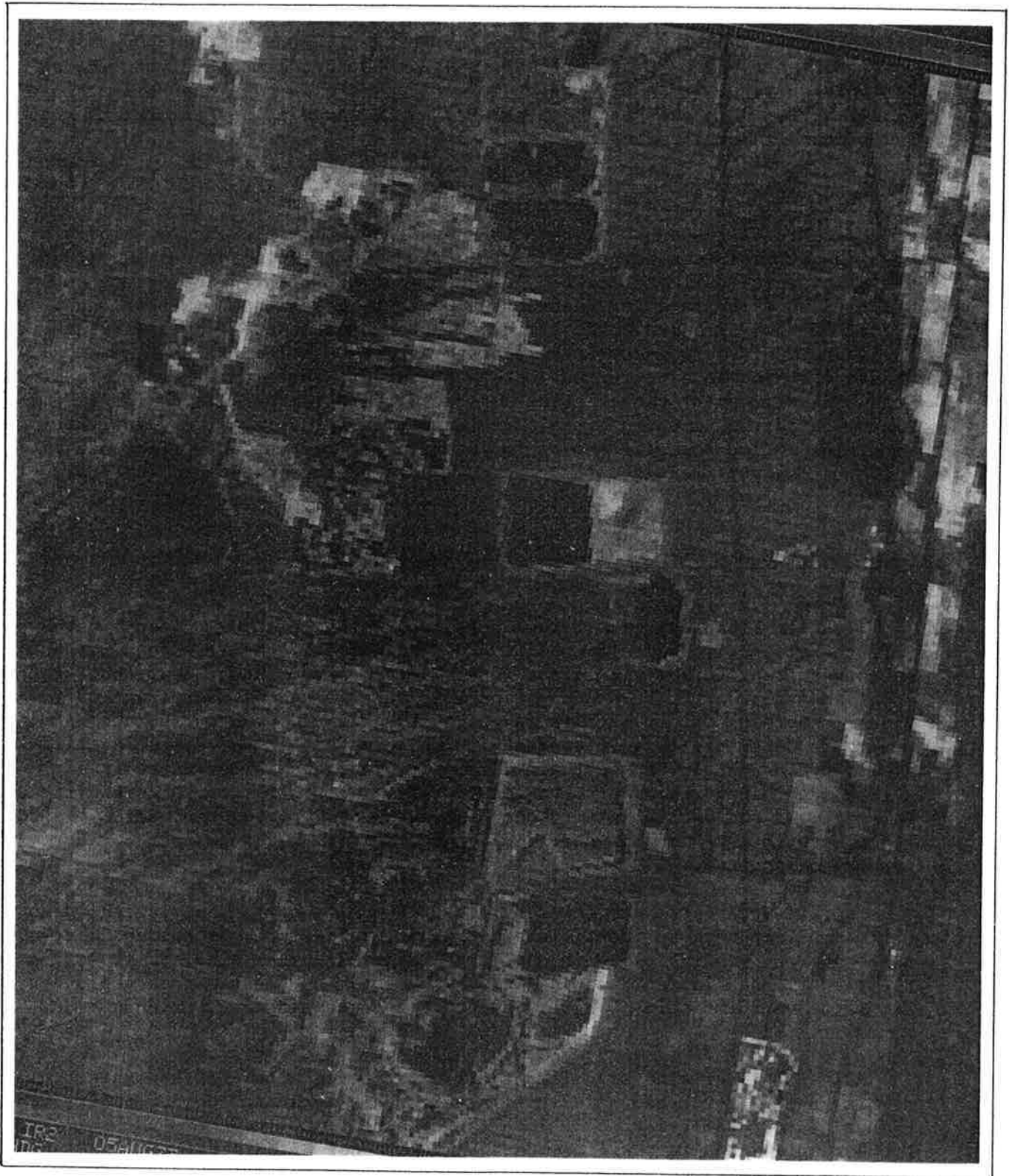


Abbildung 4b: Ausschnitt aus einem LANDSAT-Bild, Kanal 7 (Infrarot), digitale Vergrößerung.

größerung die ursprüngliche Pixelgröße beibehält und die Grenzen der Auflösung klar aufzeigt.

Für die Entzerrung von fünf der Radarbilder wurden die notwendigen Paßpunkte der topographischen Karten im Maßstab 1:24000 und 1:62500, fallweise den vorhandenen Orthophotokarten 1:24 000, entnommen. Die vorhandenen Karten sind verschieden alt und viele der Merkmale aus den Radarbildern sind daher nicht in den Karten enthalten: somit war die Identifizierung von Paßpunkten ein ernsthaftes Problem.

4. BERECHNUNG DER RADARBILDVERZERRUNG

Die grundlegenden radargrammetrischen Projektionsgleichungen sind oftmals in der Literatur dargestellt und wurden zum Beispiel von LEBERL (1976) übersichtsweise dargestellt. Ein Verfahren der Differentialentzerrung von SLR-Bildern wurde in einem gesonderten Bericht beschrieben (LEBERL und FUCHS, 1978). Dieses Verfahren wurde auf die gegebenen Radardaten des Sierritagebietes angewendet. Das verwendete Entzerrungsgerät war dasselbe (Wild Avioplan OR-1), ebenso die Eingabedaten für das Gerät und für die Berechnung seiner Steuerdaten. Es sei darauf hingewiesen, daß dieselben Steuerdaten auch für die Digitalentzerrung mit den Mitteln der digitalen Bildverarbeitung geeignet sind. In der Terminologie der digitalen Bildverarbeitung entspricht die im Wild Avioplan OR-1 realisierte Entzerrung der indirekten Methode (KONECNY, 1978).

5. ERGEBNISSE DER DIFFERENTIALENTZERRUNG

5.1 GENAUIGKEIT

Tabelle 2 enthält eine Zusammenstellung der Lagefehler in den 5 entzerrten Bildern, jeweils vor und nach der Entzerrung. Das Verfahren der Entzerrung besteht darin, die Bilder in das Kartensystem umzubilden, wobei Paßpunkte aus den Karten Verwendung finden. Es war also nicht Hauptzweck die Bilder untereinander zu überlagern. Dies wird betont, weil nur solche Paßpunkte in der Entzerrung Verwendung fanden, die auch in der Karte identifiziert werden konnten. Es bestehen Bildteile, in denen in der Karte im entsprechenden Gebiet kein Paßpunkt identifiziert werden konnte. Dies trifft zum Beispiel auf den östlichen Rand des Westinghouse-Streifens zu, der Nord-Süd geflogen wurde. Daher kann das Bild geometrische Fehler auch nach der Entzerrung beinhalten.

Wäre jedoch der Zweck gewesen, die Bilder einander zu überlagern, dann hätte man Paßpunkte zu identifizieren gehabt, welche wohl in beiden Bildern, nicht aber notwendigerweise in der Karte identifizierbar sind. Somit wurden die Bilder ohne Klaffen zusammenpassen aber beide könnten noch gegenüber der Karte verformt sein. Die verwendeten Paßpunkte sind in Abbildung 5 dargestellt.

Alle Rohbilder sind signifikant affin verzerrt, wobei Maßstabsunterschiede bis zu 20 % auftreten. Dies unterstreicht die bekannte Schwierigkeit, Radarbilder guter geometrischer Qualität zu erhalten. Die dynamische (kinematische) Art der Bilderstellung sowie die Unabhängigkeit der Bilddimensionen in Flugrichtung und quer dazu sind eine häufige Quelle großer Bildfehler. Diese sind

Tabelle 2: Mittlere Koordinatenrestklaffen in Metern in den fünf entzerrten Radarbildern. Die Werte wurden nach einer Drehstreckung (Helmertransformationsform), nach affiner Korrektur, und nach Entzerrung mit einem experimentell optimierten Polynom berechnet.

Bild	Vor Entzerrung, nach Drehstreckung		Affine Transformation		Maßstabsaffinität zwischen Längs- u. Querrichtung %	Nach Entzerrung		Anzahl Paßpunkte	Paßpunkte ² per 100 km
	x	y	x	y		x	y		
Westinghouse A	315	432	288	226	19	59	27	19	9.1
Westinghouse B	288	317	164	125	16	45	19	16	8.7
Goodyear-GEMS	157	408	44	54	18	40	18	21	6.4
Motorola	130	210	66	84	6	52	52	24	6.4
Jet Propulsion Laboratory A	110	128	107	45	8	99	45	8	8

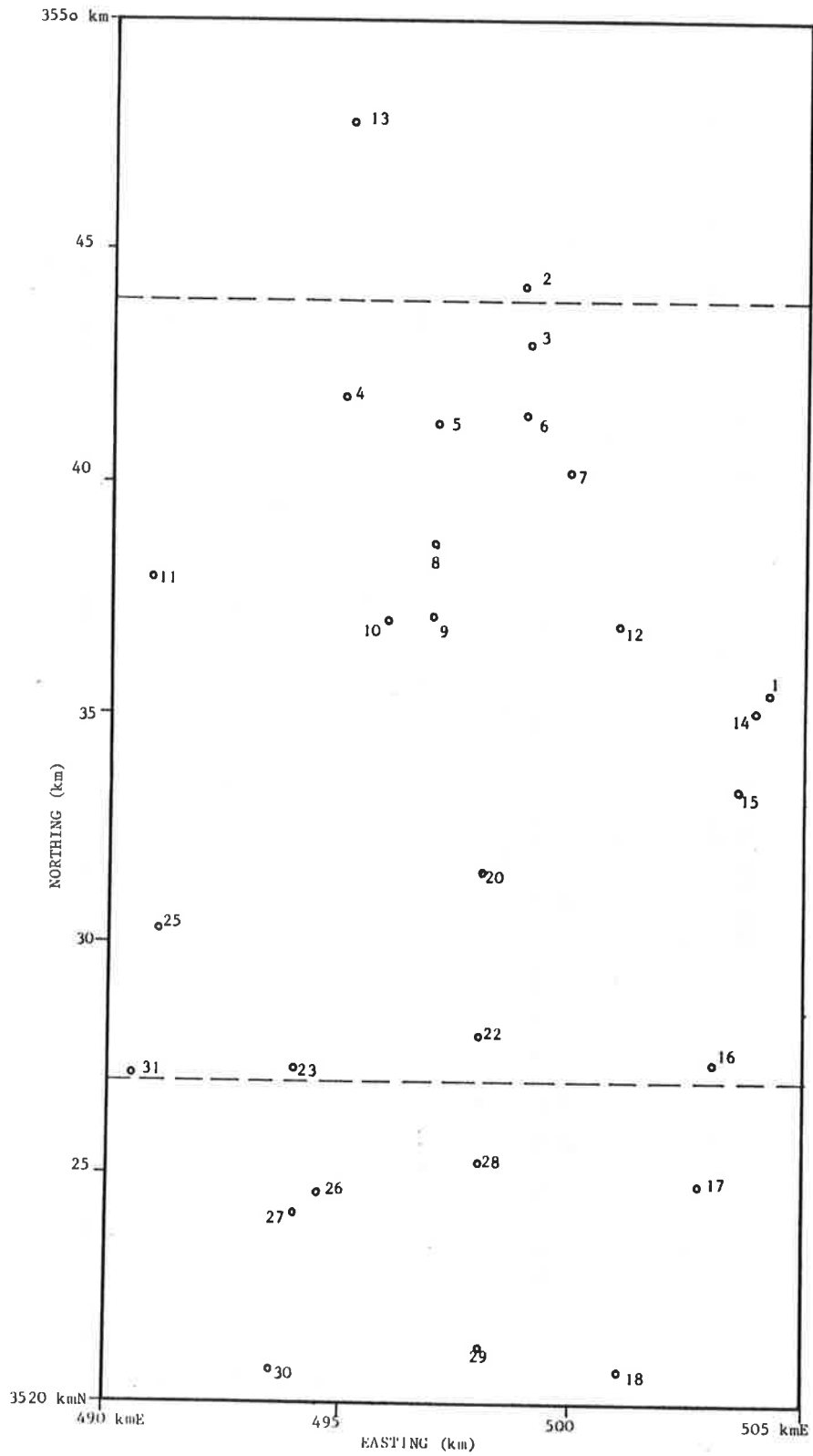


Abbildung 5: Skizze der Paßpunktverteilung für die Entzerrung.
Orthophotos wurden vom mittleren Bereich erstellt.

jedoch zumindest in den Grund- oder Horizontaldistanzdarstellungen (Goodyear, Motorola) im wesentlichen schon durch eine lineare Affin-Transformation zu eliminieren. Bezeichnet man mit E,N die aus der Karte bestimmten Koordinaten, mit x, y die Bildkoordinaten, so gilt:

$$\begin{aligned} E &= a_1 + a_2 + a_3 y \\ N &= b_1 + b_2 + b_3 y \end{aligned} \quad (1)$$

Deutliche Genauigkeitssteigerungen über die affine Korrektur hinaus werden nur in den Westinghouse-Bildern erreicht, welche ja Schrägdistanzen darstellen. Restklaffen sind quer zum Flug (in y Richtung) kleiner als in Flugrichtung (x). Dies bestätigt Ergebnisse früherer Arbeiten mit realer Apertur (LEBERL, 1972). Es könnte durch Auswirkungen einer unregelmäßigen Flugzeugabtrift (κ), eine verringerte Auflösung in Flugrichtung oder Flugzeug-Kippwinkel (ϕ) verursacht sein.

Es wird die Genauigkeit jedoch nicht nur durch die Dichte der Paßpunkte bestimmt, sondern auch durch ihre Identifizierbarkeit. Im Fall des JPL-Radar stand ein kreuz-polarisiertes Bild mit nur wenig Kontrast zur Verfügung. Die Punktidentifizierung war in diesem Fall sehr schwierig und nur wenige Punkte konnten gefunden werden. Ihre Identifizierung im Bild war nicht sehr genau. Daher sind die Restklaffen nach der Entzerrung vergleichsweise groß. Trotzdem entsprechen die erhaltenen Genauigkeiten den in anderen Fällen berichteten Werten, die in einer Übersicht zusammengestellt wurden (LEBERL, 1976).

5.2 DIE ORTHOBILDER

Die fünf Orthophotos wurden im Maßstab 1:62 500 erzeugt und daher aus den vorgegebenen Bildmaßstäben vergrößert. Die Schlitz-(Profil) Breite betrug 8 mm, eine für herkömmliche Luftbilder gebräuchliche Schlitzlänge. Im Maßstab 1:62 500 entspricht dies 500 m am Boden. Für das Goodyear-GEMS im Bildmaßstab 1: 400 000 ergibt sich somit eine Profilbreite von 1,25 mm im Bild. Einige Radarbilder liegen jedoch im Maßstab 1:200 000 vor, sodaß die Schlitzlänge im Bild 2,5 mm beträgt.

Das Ergebnis der Entzerrung ist in den Abbildungen 5,7,8,9,10 mit einem Gitter dargestellt.

6. ANALYSE DER BILDZEITREIHE

6.1 AUFNAHMEN AUS 1965, WESTINGHOUSE KA-BAND

Westinghouse AN/APQ-97 Ka-Band Radarbilder wurden 1965 mit einem System mit realer Apertur in Paaren mit Kreuz und Gleichpolarisation aufgenommen. Die Daten wurden in Schrägdistanzstellung erzeugt, wobei ein Ost-West-Flug mit nach Süden gerichteter Antenne, und ein Nord-Süd-Flug mit nach Nord-Westen gerichteter Antenne vorliegen. Abbildungen 6, 7 und 8 zeigen die Westinghouse-Daten, wobei Abb. 7 ein nicht entzerrtes Rohbild darstellt. Die Radaraufnahmewinkel betragen 12° im Nahbereich und 73° im Fernbereich (Abb. 2). Das aufgenommene Gebiet ist 13 km breit. Die gleich-polarisierten Bilder haben den größten Kontrast und Dichtebereich. Gebäude und Gräben im Abbaugbiet erzeugen starke Radarechos, die das Bild saturieren und Einzelheiten überstrahlen. Diese

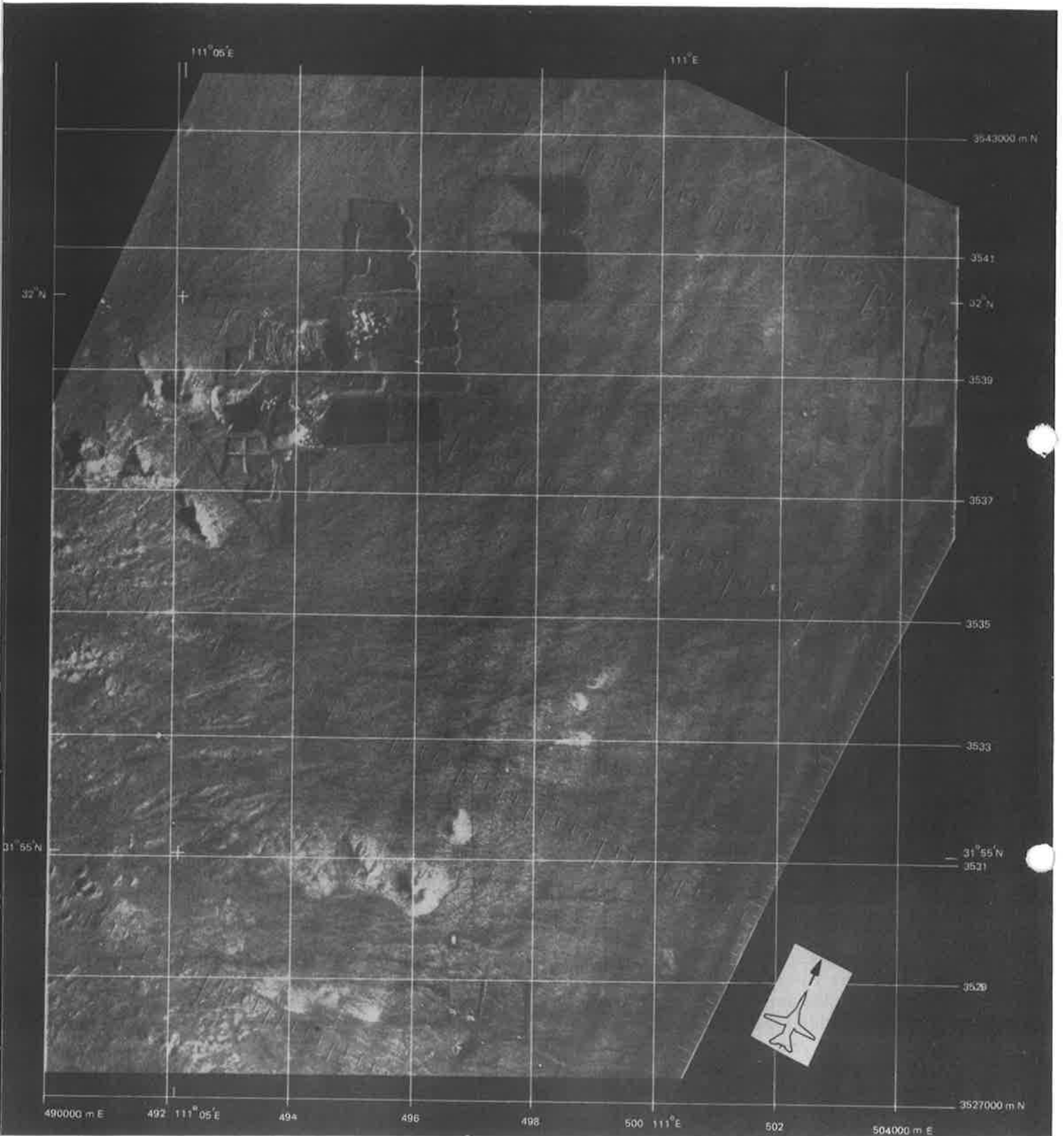


Abbildung 6: Westinghouse-Radarbild aus 1965, reale Apertur, Flughöhe 6 km, Kreuz-polarisiert, Ka-Band (0.8 cm). Entzerzt, Flugrichtung Südost-Nordwest.

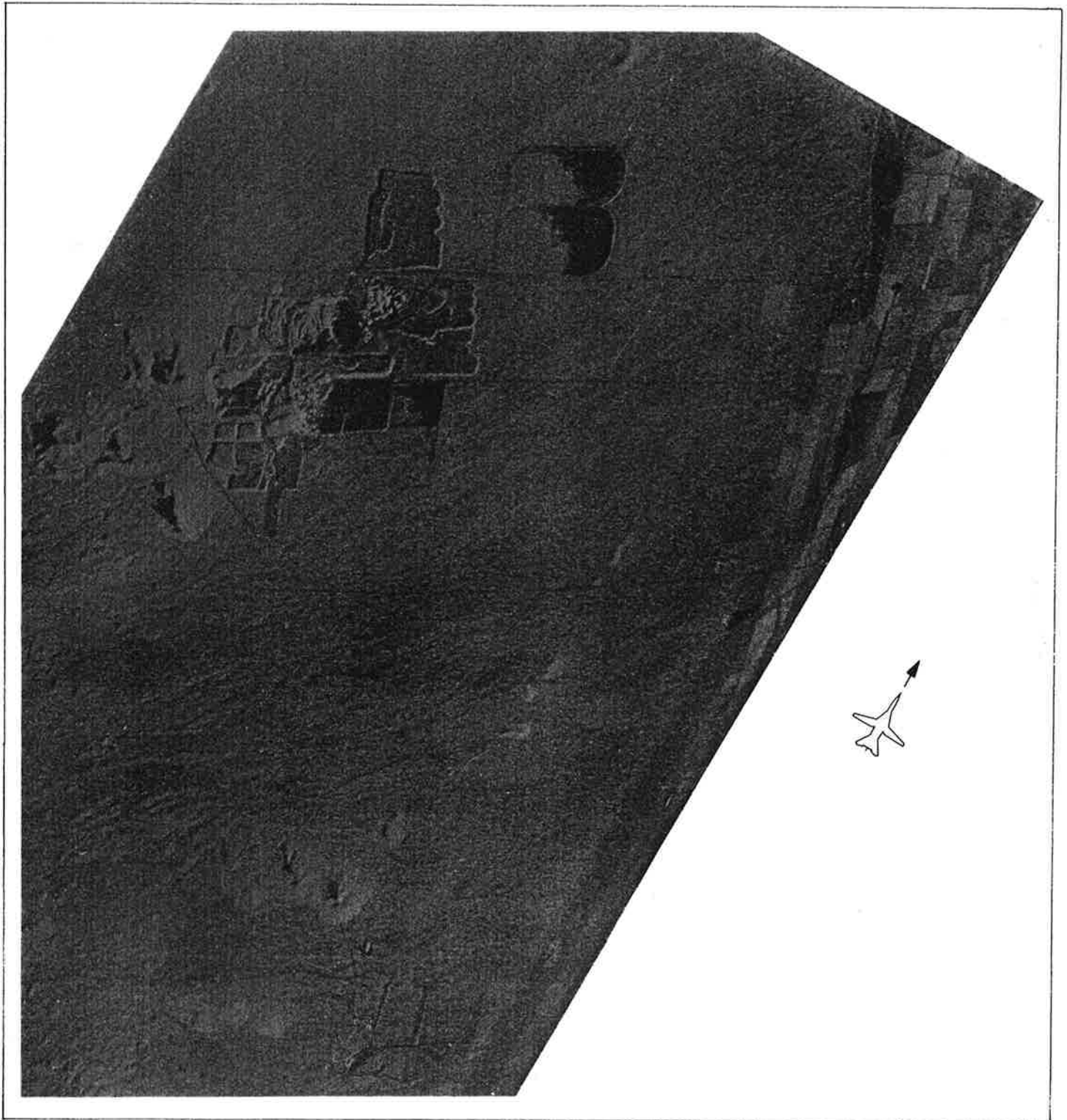


Abbildung 7: Westinghouse-Radarbild aus 1965, reale Apertur, Flughöhe 6 km, Gleichpolarisiert, Ka-Band, Nicht entzerrt (Schrägdistanzdarstellung) Flugrichtung Südost-Nordwest.

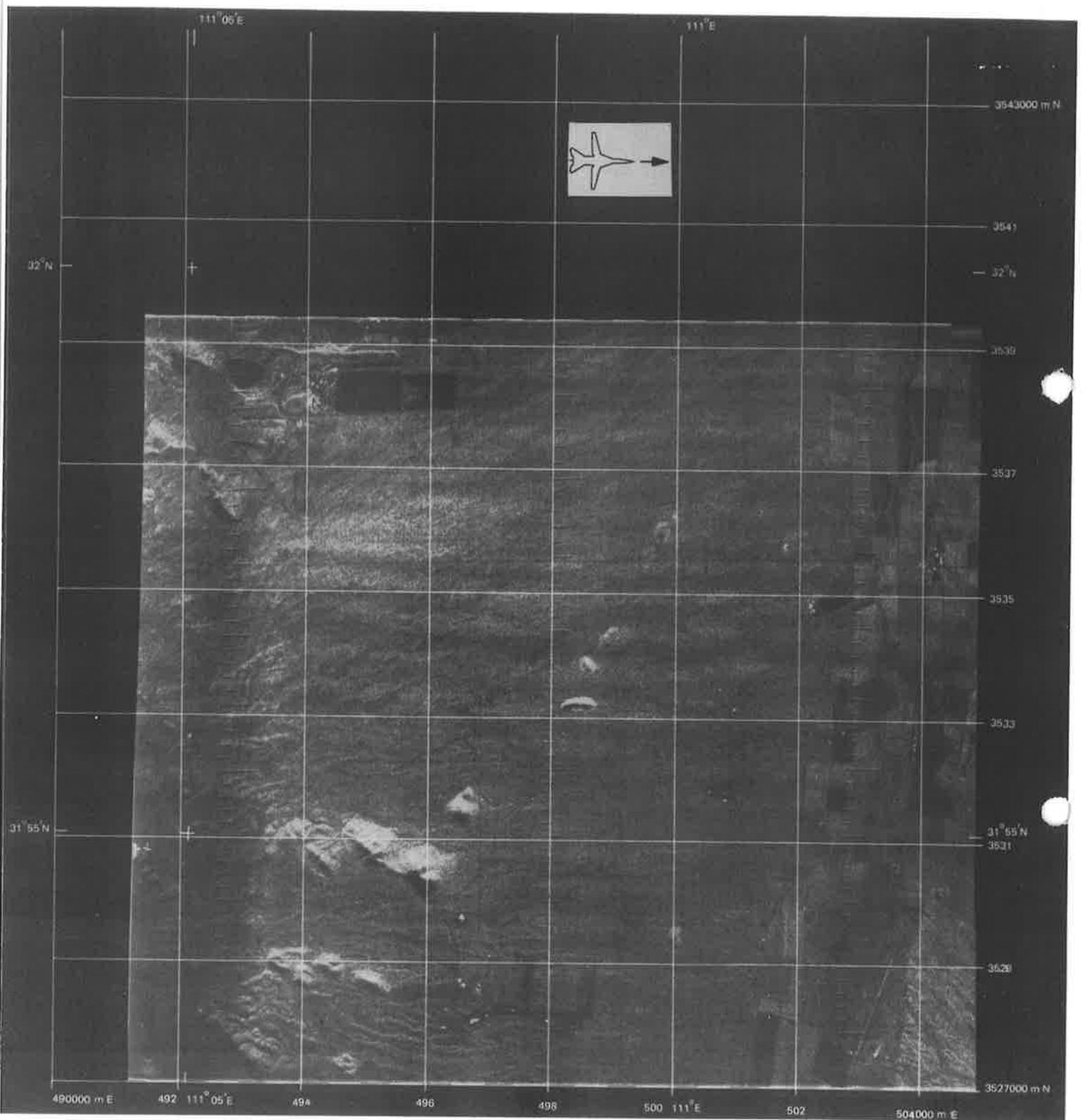


Abbildung 8: Westinghouse-Radarbild aus 1965, reale Apertur, Flughöhe 6 km. Gleichpolarisiert, Ka-Band, Entzerzt, Flugrichtung Ost-West.

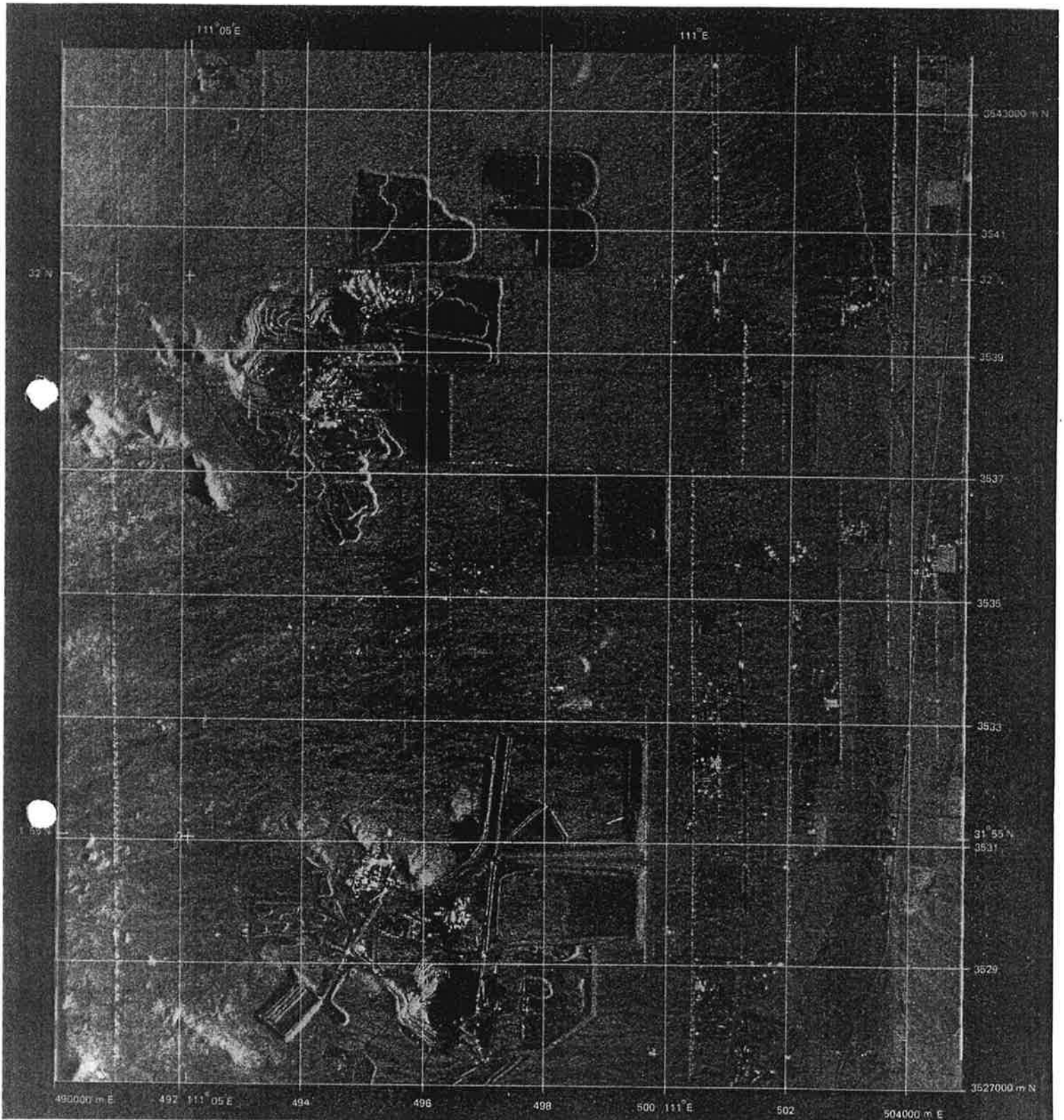


Abbildung 9: Goodyear-GEMS Radarbild aus 1973, synthetische Apertur, X-Band (3 cm). Optische Bildkorrelation, Entzerrt, Antenne nach Westen gerichtet, Flughöhe 12 km.



Abbildung 10: Photographie der Tagebaugrube bei der Twin-Butte-Mine, aufgenommen vom südöstlichen Rand mit nordwestlicher Blickrichtung.

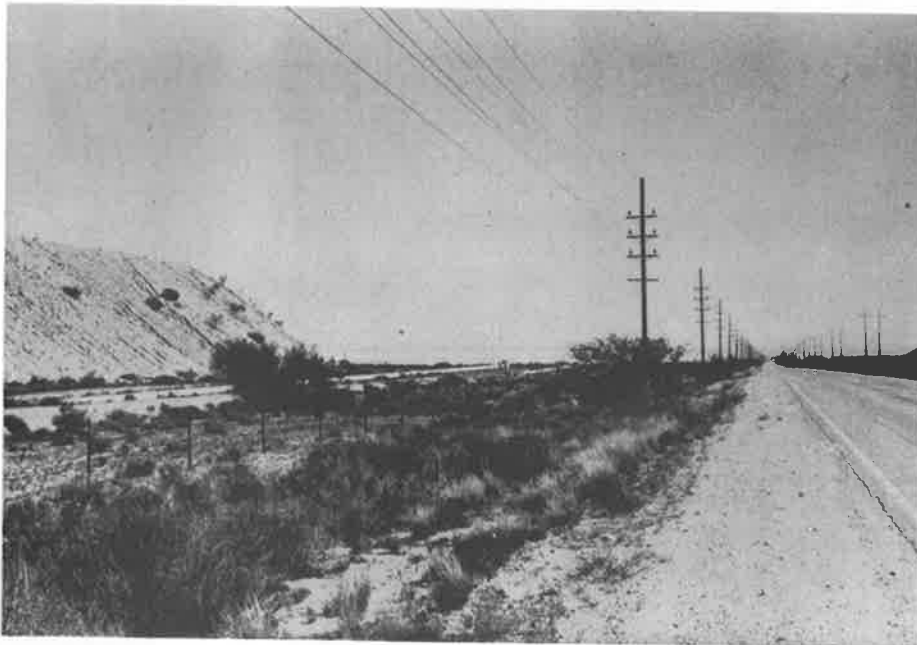


Abbildung 11: Photographie der Böschung am südöstlichen Rand des Mission-Mine Sinterteiches, nördlich der Pima-Straße. Aufnahme-richtung nach Osten.

von größeren Nadirdistanzen.

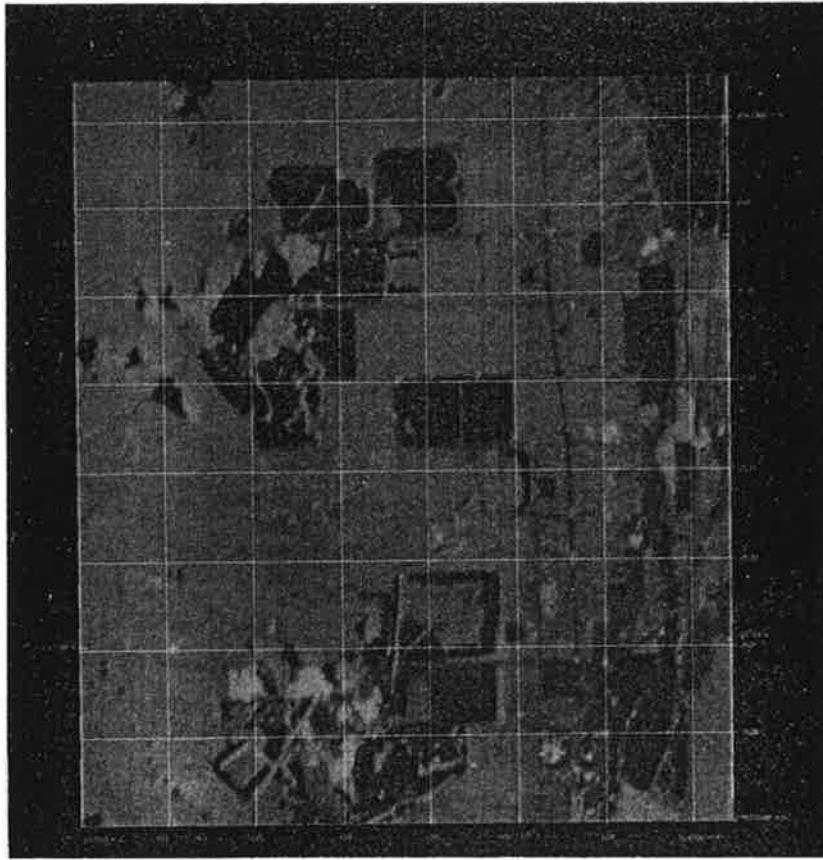


Abb.12: Motorola Radarbild, 1975, reale Apertur, X-Band. Entzerrt, Antenne blickt nach Westen.

Wesentliche Unterschiede zum Bild des Jahres 1973 bestehen im Ausmaß der Ablagerungen bei der Mission-Grube, südlich der Pima-Mine-Straße, Errichtung eines zusätzlichen Sinterteiches südlich des Helmet Peaks und Vergrößerungen der Ablagerungen westlich der Twin-Buttes-Grube. Bildkontrast ist groß, Diffusionseffekte sind nicht ersichtlich, da es sich um real Apertur handelt. Es fehlen aber die hellen, punktförmigen Echos entlang der Straße.

6.4 AUFNAHMEN AUS 1977, JPL L-BAND

Die Jet-Propulsion Laboratory (JPL) L-Band-Radarbilder wurden im August 1977 paarweise mit Kreuz- und Gleichpolarisierung aus einem Flugzeug aufgenommen. Nadirdistanzen liegen zwischen 6° und 60° , Bildbreite ist 13 km. Eines der beiden Bilder wurde entzerrt. Beide bedecken nicht das gesamte Testgebiet (Abb. 13,14).

Die Schrägdistanzauflösung beträgt ca. 30 m. Die Radarechos sind im Bergbauggebiet im Gleichpolarisationsfall stärker als mit Kreuzpolarisation. Punktförmige Objekte und Grenzlinien sind sehr verwaschen und unscharf.

Trotz der mangelnden Bildschärfe und Auflösung wie der vorhandenen Diffusionseffekte, enthüllen die Bilder zahlreiche Gewässerlinien, vor allem wegen der geringen Nadirdistanz.

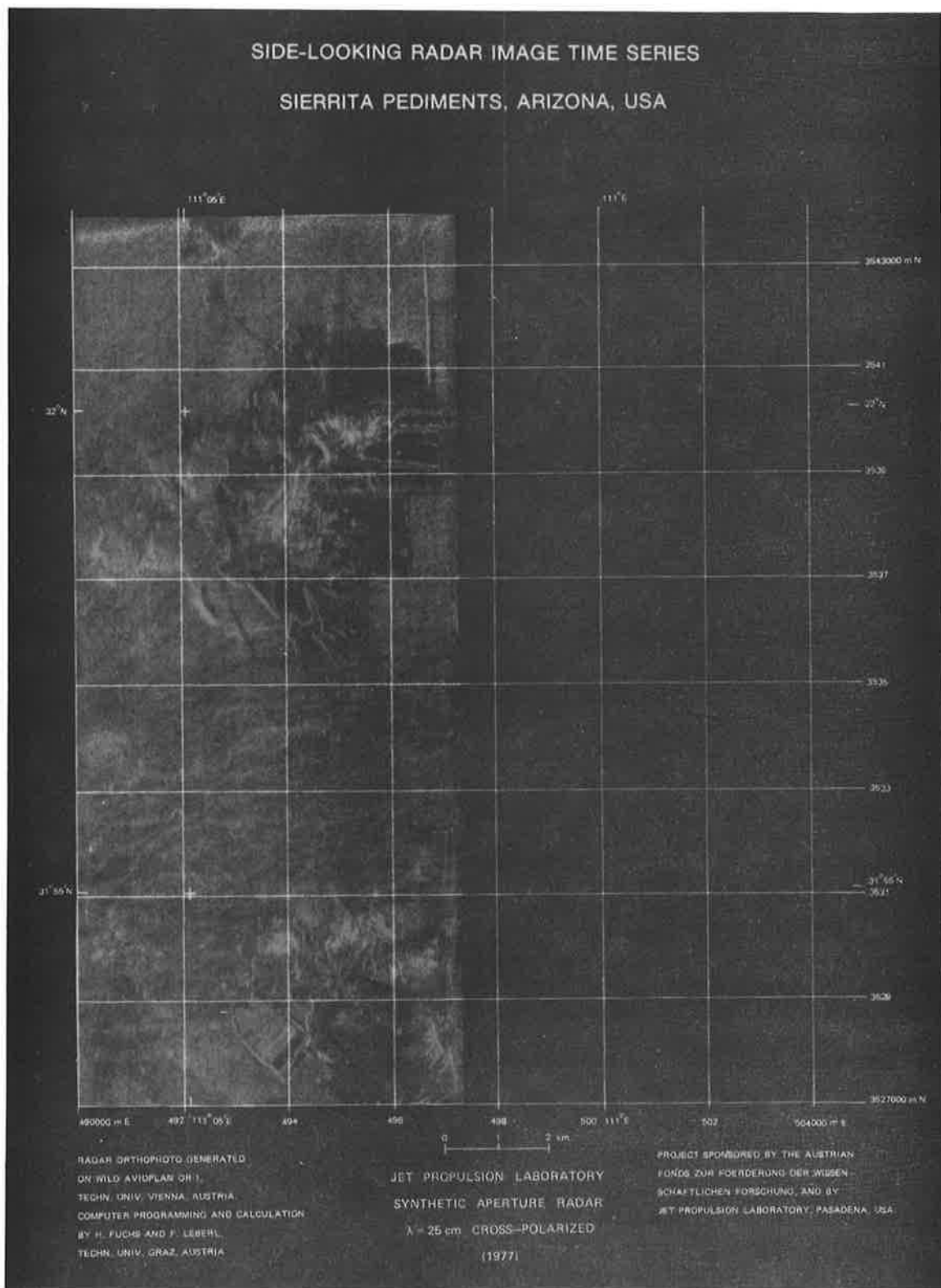


Abbildung 13: Jet Propulsion Laboratory Radarbild aus 1977, synthetische Apertur, L-Band (25 cm). Kreuzpolarisiert, Antenne blickt nach Osten. Optische Korrelation, entzerrt.



Abbildung 14: Jet Propulsion Laboratory Radarbild aus 1977, synthetische Apertur; Gleichpolarisiert, L-Band (25 cm), Antenne blickt nach Osten, optische Korrelation, nicht entzerrt.

Der Vergleich des Bildinhaltes mit früheren Aufnahmen enthüllt, daß die Ablagerungen westlich der Twin-Buttes sehr gewachsen sind, und daß eine neue Struktur westlich der Kupfermühle als kleines X im Bild erkennbar ist. Weiters ist eine neue Ablagerungsstätte westlich von Mission Mine und nördlich des Mineral Hill sichtbar.

6.5 AUFNAHME AUS 1978, SEASAT L-BAND

L-Band SAR-Bilder wurden aus dem SEASAT-Satelliten im August 1978 mit nord-östlich gerichteter Antenne aufgenommen (Abb. 15,16). Die Nadirdistanzen betragen 17° im Nahbereich und 21° im Fernbereich. Der Bildstreifen ist 100 km breit, Schrägdistanzauflösung etwa 50 m. Abb 12 ergibt sich aus optischer Korrelation der rohen Signaldaten, Abb. 16 aus digitaler Korrelation. Keines der Bilder ist entzerrt. Die geometrischen Verzerrungen sind besonders durch die Erdrotation begründet. Die Effekte der Diffusion und niederen Auflösung tragen zur Erschwerung der Identifizierung von kleinen Bilddetails bei.

Ein Vergleich dieser Aufnahmen (Abb. 15) mit einer aus 1973 (Abb. 9) zeigt, daß neue Sinterteiche nördlich der Pima-Mine-Straße entstanden sind. Die hellen Bildmerkmale auf der Linie zwischen Twin-Buttes und Pima/Mission Mine stellen vermutlich Hochspannungsmasten dar, die auf früheren Bildern nicht erkennbar oder vorhanden waren. Die als helles X in Abb. 13 genannte Struktur bei der Twin-Buttes-Mine ist nun kaum sichtbar. Ebensowenig treten die hellen Punktmerkmale längs der großen Straßen auf (vgl. Abb. 9).

Die Gegenüberstellung zwischen Abb. 15 und 16 gestattet einen Vergleich zwischen optischer und digitaler Bilderzeugung. Im ersten Fall wird ein optischer Korrelator verwendet, um die auf Film aufgezeichneten Radarsignale mittels Laser in ein interpretierbares Bild umzuwandeln. Im zweiten Fall liegen die Radarrohsignale in digitaler Form vor und ein rechnerisches Verfahren führt zu einem digitalen Radarbild, welches auf Film ausgeschrieben wird. Der Vergleich der beiden Ergebnisse läßt den Schluß zu, daß das digitale Verfahren zu größerer Auflösung und besserer Bildqualität führt. Allerdings benötigt das digitale Verfahren einige Stunden Rechenzeit und ist somit vergleichsweise sehr teuer.

6.6 AUFNAHMEN AUS 1979, JOHNSON SPACE CENTER X-BAND

Das Johnson Space Center besitzt ein Goodyear AN/APQ-102 SAR-System, welches im 3 cm (X-Band) Wellenbereich abbildet. Das Testgebiet wurde im Mai 1979 überflogen. Die Aufnahmen wurden aus 20 km Flughöhe erstellt. Die Auflösung beträgt etwa 10 m. Die Darstellung ist mit Horizontaldistanzen. Die Fluglinie verlief in nord-südlicher Richtung und die Antenne war nach Osten gerichtet. Nadirdistanzen sind zwischen 45° und 65° . Der Streifen ist 18 km breit. Das Testgebiet ist nicht vollständig abgebildet, da das Santa-Cruz-Tal im Osten nicht eingeschlossen ist.

Die Aufnahmen wurden sowohl mit Kreuz- wie auch mit Gleichpolarisierung erzeugt, wobei Abb. 17 den ersteren, Abb. 18 den zweiten Fall zeigt. Ein Vergleich der beiden Aufnahmen bestätigt wiederum, daß die starken Reflexionen, zum Beispiel entlang der Nord-Süd gerichteten Straßen, nur im gleichpolarisierten Fall, nicht aber bei Kreuzpolarisierung bestehen.

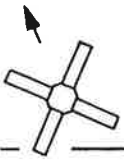


Abbildung 15: SEASAT-Radarbild aus 1978, synthetische Apertur, L-Band (25 cm) optische Korrelation, nicht entzerrt, Flughöhe 900 km.

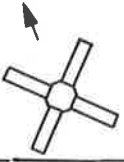


Abbildung 16: SEASAT-Radarbild aus 1968, synthetische Apertur, L-Band (23 cm).
digitale Korrelation, nicht entzerrt, Flughöhe 900 km.

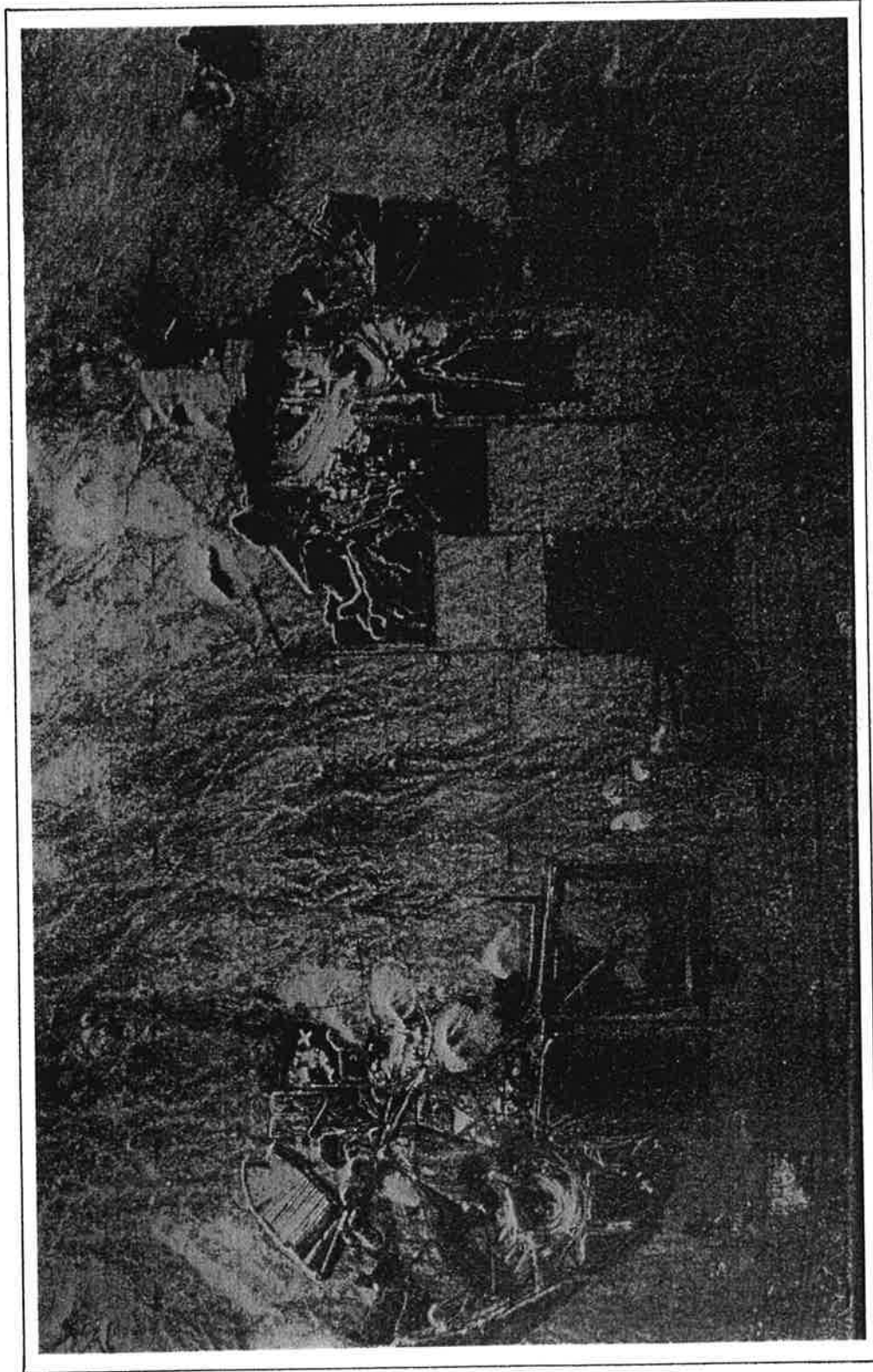


Abbildung 17: Johnson Space Center/Goodyear Radarbild aus 1979. Kreuzpolarisiert, synthetische Apertur, optische Korrelation, X-Band (3 cm), nicht entzerrt.

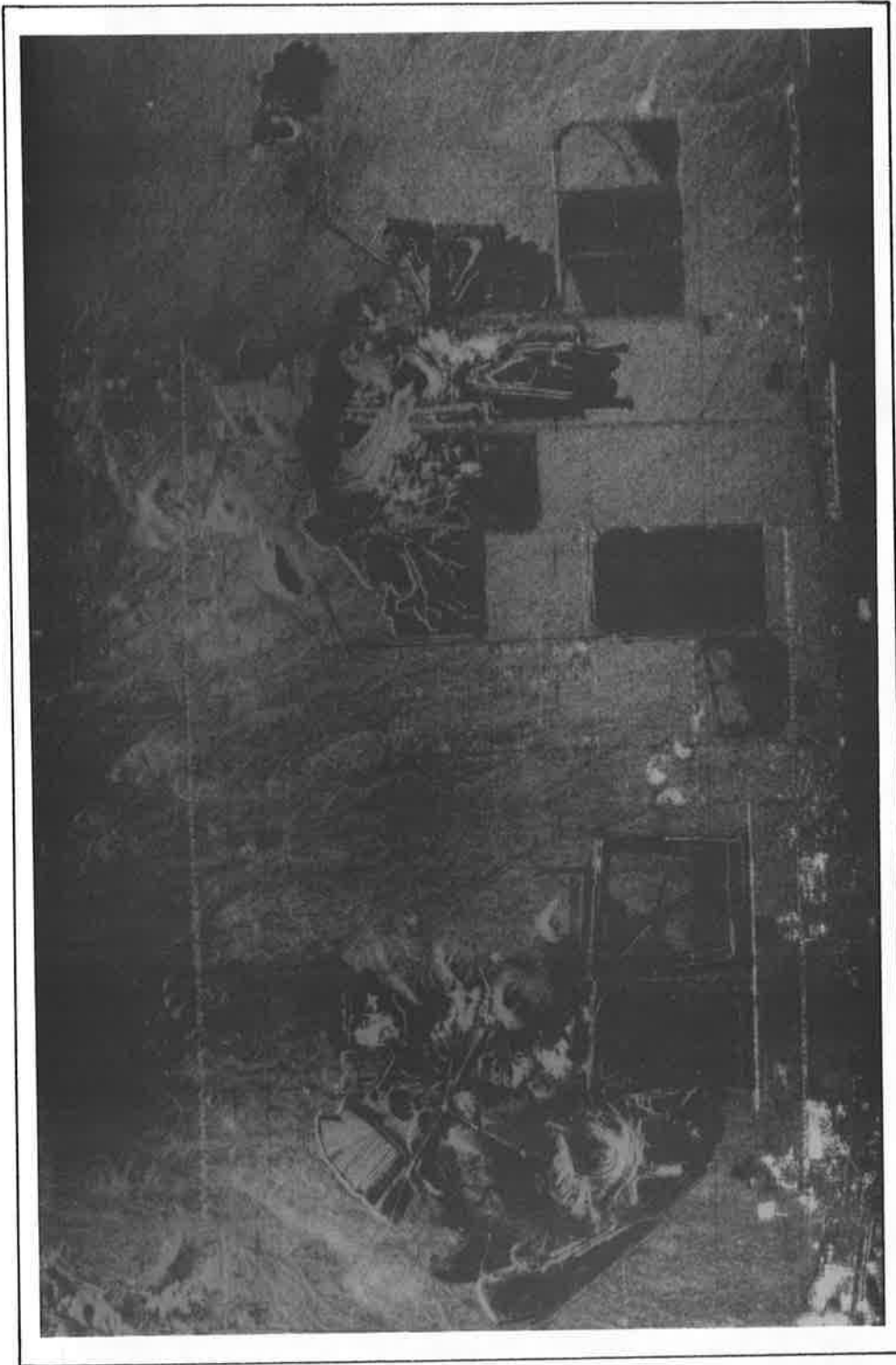


Abbildung 18: Johnson Space Center/Goodyear Radarbild aus 1979; Gleichpolarisiert, synthetische Apertur, optische Korrelation, X-Band (3 cm), nicht entzerrt, Flughöhe 20 km.

Ein interessantes Phänomen ist in Abb. 18 festzustellen: durch Störungen im Aufnahmesystem bestehen hier Bildfehler, die bei der Autobahn zur deutlichen Stückelung führen. Dem Interpreten mag dies als echte Bildinformation erscheinen; tatsächlich ist es ein reines Artifaktum des Systems, wie sich aus dem Vergleich mit anderen Bildern leicht ersehen läßt.

Die JSC-Befliegung ist die jüngste der Serie. Bildqualität und Auflösung sind nur durch die 1973 Aufnahme erreicht. Das Bild dokumentiert eine Veränderung der Landschaft, die nach dem SEASAT-Satellitenflug eintrat: die beiden nebeneinanderliegenden Sinterteiche nördlich der Helmet-Peak-Straße wurden zu einem einzigen Teich vereinigt und die Dämme sind nun so hoch, daß der bisher in der Mitte noch aufragende Hügel ganz überdeckt ist.

6.7 Radar, Luftbild, Landsat

Vergleicht man die verschiedenen Radarbilder mit dem Luftbild (Abb. 3) und Satellitenbild (Abb. 4), so sticht zuerst der Unterschied in der Auflösung ins Auge. Die Bildkontraste und Bildschärfe der Radaraufnahmen sind nicht nur durch die Auflösung von jenen des Luft- und Satellitenbildes unterschiedlich. Die Radarsysteme sind für gewisse punkt- und linienförmige Objekte sehr empfindlich, zum Beispiel wirken Gruppen von Gebäuden wie Reflektoren. So treten metallische Objekte, bebautes Gebiet oder Geländehänge, die normal zur Beleuchtungsrichtung des Radarsystemes stehen, viel stärker in Erscheinung, als ihren Dimensionen entspräche.

Das Luftbild (Abb. 3) und Goodyear-Radarbild (Abb. 9) stammen beide aus dem selben Jahr (1973). Obwohl das Luftbild eine viel höhere Auflösung besitzt, sind gewisse Objekte weniger deutlich abgebildet als im Radar: als Beispiel sei auf die Rohre verwiesen, welche in der Mitte der Sinterteiche nördlich der Pima-Mine-Straße münden. Diese Rohre sind im Luftbild kaum sichtbar, treten im Radarbild jedoch stark auf. Eine wichtige Eigenschaft des Radar wird hier illustriert, nämlich die bevorzugte Betonung gewisser Objekte auf Grund der besonderen Wechselwirkung zwischen Radarsystemparameter und Geländeeigenschaften.

7. SCHLUSS

Eine umfangreiche und einzigartige Sequenz von Seitwärtsradarbildern eines Bergbaugebietes in Arizona wurde hier gezeigt und diskutiert. Sie demonstriert Möglichkeiten und Beschränkungen von Radarabbildungen und dokumentiert die Entwicklung eines Gebietes von 1965 bis 1979. Die Verschiedenheiten des Auflösungsvermögens, Aufnahme-richtung und Nadirdistanz, Polarisierung ermöglichen einen Einblick in die Bedeutung dieser Parameter: steile Aufnahmewinkel oder Nadirdistanzen neigen zur Betonung von Auswirkungen der Oberflächenrauheit und zeigen Gewässerrinnen im flachen Gelände; flachere Aufnahmewinkel (größere Nadirdistanzen) erzeugen deutliche Schatten und betonen somit die Topographie. Kreuz-polarisierte Echos haben weniger spekulare Effekte als gleichpolarisierte. Zwar sind diese Tatsachen nicht neu, jedoch ermöglicht die hier vorgelegte Datenfolge eine Dokumentation mit Bildern eines einzigen Gebietes.

Zum Vergleich wurde auch ein Luftbildausschnitt mit vergleichsweise sehr hoher Auflösung und ein LANDSAT-Multispektralbild betrachtet. Der deutlichste Unterschied der Daten liegt in der Auflösung. Diese beiden Bilder haben aber auch Grenzwerte und Töne, die in den monochromatischen Radardaten nicht enthalten sind.

Ein wesentliches Ergebnis der Studie besteht aus 5 differentiell entzerrten Bildern. Kostenbeschränkungen verhinderten die Entzerrung aller Bilder. Die in den entzerrten Daten auftretenden Restfehler sind durch die beschränkte Punktidentifizierung und Punktverteilung begründet. Die Größenordnung stimmt mit der Paßpunktdichte in Bezug gesetzt überein.

Die Entzerrung wird in einem optischen photogrammetrischen Gerät zur Orthophotoentzerrung verwirklicht. Die Berechnungen zur Ermittlung der Steuerdaten für die Entzerrung sind jedoch ident mit jenen für die Entzerrung mittels digitaler Bildverarbeitung. Unterschiede liegen nur im Aufwand und den Kosten. Die optische Entzerrung verursacht zur Zeit wesentlich weniger Kosten als die digitale Entzerrung: etwa öS 1000,-- (U\$ 70,--) kostet die optische Entzerrung ohne Paßpunktmessung und Berechnung.

Wir meinen, daß eine ordnungsgemäße Beschreibung des Zustandes eines wichtigen Gebietes, wie es das Testgebiet darstellt, einigen geometrischen Anforderungen genügen muß, welche Daten auch immer verwendet werden. Mit Radar-daten sind die erfüllbaren und notwendigen Anforderungen gewiß geringer als bei Luftbildern, aber doch auch wichtig. Wenn festgestellt wird, daß Maßstabsunterschiede im Ausmaß von 20 % in 2 orthogonalen Richtungen in den Rohbildern durchaus üblich sind, so unterstreicht dies die Forderung nach verbesserter geometrischer Disziplin, wie sie die Entzerrung ermöglicht.

DANK

Dieses Projekt wurde durch den Österreichischen Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung unterstützt. Die Mitwirkung des Jet Propulsion Laboratory wurde durch die U.S. National Aeronautics and Space Administration mit Kontrakt NAS-7-100 ermöglicht.

LITERATUR

- COOLEY, M.E., 1973, Map showing distribution and estimated thickness of alluvial deposits in the Tucson area, Arizona: U.S. Geological Survey, Map I-844-C.
- KONECNY, G., 1979, Digital Differential Rectification, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 45, pp. 727-734.
- KRAUS K., 1976, "Auswertungsmöglichkeiten eines digital gesteuerten Differentialumbildeggerätes." Geowissenschaftliche Mitteilungen, No. 8, pp. 1-22, Technische Universität Wien, Österreich.
- LEBERL F., 1976, "Imaging Radar Applications to Mapping and Carting," Photogrammetria, Vol. 32, pp. 75-100.
- LEBERL F., FUCHS H., 1978, "Photogrammetric Differential Rectification of Radar Images." Presented Paper, Symposium of Comm. III of the Int. Soc. of Photogrammetry, Moscow, USSR, 30 July - 5 August.
- MATTHEWS R.E., 1975, "Active Microwave Workshop Report," NASA Special Report No. SP-376, Washington, D.C., USA, 502 Seiten.
- RADAR GEOLOGY WORKSHOP, 1979, Proceedings of a meeting held in Snowmass, Colorado, USA, 16 - 21 July 1979, NASA Special Report, in Vorbereitung.
- TURNER, R.M., 1974, Map showing vegetation in the Tucson area, Arizona: U.S. Geological Survey, Map I-844-H.