

FERNERKUNDUNG MIT AKTIVEN SENSOREN

F. Leberl
Forschungszentrum Graz
Abteilung für dig. Bildauswertung und Verarbeitung graf. Daten

!

ZUSAMMENFASSUNG

Das wesentliche aktive Fernerkundungssystem ist das Seitwärtsradar (Side-Looking-Radar, SLR). Dieser Sensor steht seit Beginn der 60er Jahre für zivile Forschungsaufgaben und später auch für Anwendungen zur Verfügung. Diese Anwendungen wurden bis heute nur im Rahmen von geowissenschaftlichen Erkundungsprojekten zur Erfassung großer Räume genutzt. Von österreichischem Territorium bestehen zur Zeit (Oktober 1980) noch keine SLR-Bilder. Der gegenwärtige Stand der SLR-Technologie wird daher in diesem Beitrag kurz beschrieben, ohne dabei auf österreichische Arbeiten eingehen zu können.

ABSTRACT

Side-Looking-Radar (SLR) is the essential active remote sensing system. This sensor has been available since the beginning of the 60's for civilian research, and since the 70's also for operational application. These did concern so far only geo-science reconnaissance projects in large areas. There exist currently (October 1980) no SLR-images of Austrian territory. The current situation with SLR as reviewed in this paper addresses therefore the worldwide situation, without anything to report from Austria.

1. EINLEITUNG

In den letzten 20 Jahren entstand eine Vielzahl von Artikeln, wissenschaftlichen Papieren und Handbüchern zur Beschreibung des Seitwärts-Radar (engl. Side-Looking-Radar, SLR). Eine besonders klare Darstellung findet sich im Scientific American des Oktober 1975 von Jensen u.a. (1975). Auch dieser Autor hat zu der Flut an Publikationen beigetragen (siehe z.B. Leberl (1976), Leberl und Clerici (1980) und die dortigen Referenzlisten). Es fällt daher einigermaßen schwer, zu diesem Thema eine weitere Übersichtsdarstellung zu geben. Das 1. österreichische Fernerkundungssymposium ist jedoch ein Anlaß, die natürliche Hemmung dagegen zu überwinden.

Aktive Sensoren in der Fernerkundung kennen wir natürlich mehr als nur das Seitwärts-Radar. Wir zählen dazu alle Sensoren, welche das Objekt aktiv beleuchten, um es abzubilden oder die reflektierte Energie auszumessen. Dazu gehören:

- Blitzlichtphotographie,
- Schallbilder (Unterwasser),
- Laserabtaster,
- Scatterometer,
- Radarbildsensoren.

Weitaus am wichtigsten sind die Seitwärtsradarbildsensoren, da sie bisher als einziges System in der operationellen Fernerkundung eine Rolle spielen konnten. Blitzlichtphotographie dient nicht in dieser Anwendung. Schallbilder mittels SONAR spielen eine gewisse Rolle zur Kartierung des Meeresbodens. Laserabtaster zur Bilderstellung bestehen noch nicht; solche Sensoren haben es bisher nur bis zur Anwendung in der Profilmessung gebracht (LIDAR). Scatterometer sind nichtabbildende Sensoren zur Erfassung der Streu- und Reflexionseigenschaften von Objekten als Funktion des Einstrahlwinkels und der Wellenlänge.

Radarbilder bestehen seit Beginn der 40er Jahre (USA, England, Deutschland), allerdings mit rotierender Antenne und der Bilddarstellung wie auf Flugplätzen, in Schiffen, usw., nämlich mit kreisrunder Kathodenstrahlröhre.

Erst in den 50er Jahren entstand Seitwärtsradar, um eine wesentlich höhere Auflösung zu erreichen. Etwa im Jahre 1962 wurden die ersten Bilder der zivilen Öffentlichkeit zugänglich gemacht (USA), 1965 wurden große Experimente für geowissenschaftliche Forschung aus Flugzeugen geflogen (US-NASA, U.K. Royal Radar Establishment). 1967 wurden die ersten großen Gebiete operationell kartiert (Darien-Provinz, Panama). Seither wird SLR in Flugzeugen kommerziell geflogen. Große Gebiete der Erde wurden kartiert (Brasilien, Venezuela, Teile Ecuadors, Perus, ganz Togo, Nigieren, Teile der Philipinen, Indonesiens, Neu-Guineas, Australiens, usw.).

Im folgenden werden einige Radarbilder vorgestellt. Sodann wird die Radarabbildungstechnik kurz erläutert und auf einige Anwendungen eingegangen. Satellitenradar wird behandelt, um schließlich mit Überlegungen zur Zukunft der Radarbildtechnik abzuschließen.

2. BEISPIELE VON RADARBILDERN

Abbildung 1 zeigt ein SLR-Bild gefrorener Seen. Diese wie ein Photo aussehende Darstellung unterscheidet sich jedoch von einer photographischen Aufnahme durch schwarze Ränder der zugefrorenen Seen. Eine Erklärung der schwarzen Ränder ergibt sich aus Abbildung 2: die Radarreflexionen von der Grenzschicht Eis/Wasser sind wesentlich stärker als jene von der Grenzschicht Eis/Land in Ufernähe. Wir stellten fest, daß dieses Radarbild Details aus dem Objektinneren darstellt.

Abbildung 3 ist eine Radaraufnahme einer atlantischen Insel. Was wie eine Vogelperspektive aussieht, ist wiederum etwas gänzlich anderes: der Sensor befindet sich über der Insel, der Flugnadir wird als "Horizont" abgebildet. Überdies zeigt sich bei näherer Prüfung, daß die Inseln als Doppelbilder dargestellt sind: wie durch eine Glasoberfläche sind die dem Beobachter zu- und abgewandten Hänge übereinander sichtbar.

Abbildung 4 ist eine AN-UPD4 Radarabbildung eines Gebietes mit einem Fußballstadion. Die geometrische Auflösung der Aufnahme entspricht dem zur Zeit gültigen US-amerikanischen enteheimlichten Standard von 3 m. Charakteristisch hierfür ist die Tatsache, daß die Torstangen im Fußballfeld als getrennte Bildmerkmale gesondert identifizierbar sind.

Abbildungen 5 und 6 sind eine Touristenansicht und ein Radarbild des bekannten "Gateway-Bogens" von St. Louis, Missouri (USA). Das Radarbild zeigt eine seltsame, für Radar charakteristische Wiedergabe des riesigen Bogens. Nicht jedes Radarbild muß jedoch geometrisch stark verformt sein. Abbildung 7 stellt ein differentiell entzerrtes Radarorthophoto dar, wie es an einem WILD AVIOPLAN OR-1 erstellt wurde (Leberl und Fuchs, 1978).

Die bisher besprochenen Abbildungen sind alle neueren Datums. SLR-Bilder liegen jedoch schon seit Beginn der 60er Jahre vor. Ein frühes Beispiel kontinentaleuropäischer Radarbilder ist in Abbildung 8 gegeben. Es zeigt die Landschaft Frieslands in einer Aufnahme aus dem Jahre 1965 aus geringer Flughöhe (170 m). Charakteristisch sind die langen Schatten der Alleebäume.

3. TECHNIK DER SLR - BILDERSTELLUNG

Die Frage der Bilderstellung ist zum Verständnis des Radarbildinhaltes sehr wichtig. Hierzu sei auf Abbildung 9 verwiesen. Aus einem mit einer länglichen Antenne versehenen Flugzeug werden Impulse ausgesandt, welche die in Abbildung 9(a) angegebene Form haben, etwa 20 m lang (quer zur Flugrichtung) und einige Milliradians breit (in Flugrichtung). Für jeden Impuls findet folgender Aktionsablauf statt.

- (a) Antenne auf Senden; Impuls abgestrahlt;
- (b) Antenne abgeschaltet; Impuls wandert zur Erdoberfläche;
- (c) Reflexionen werden zurückgesandt;
- (d) Antenne schaltet auf Empfangen; Impuls-Echos werden empfangen;
- (e) Antenne schaltet auf Senden; nächster Impuls abgestrahlt;

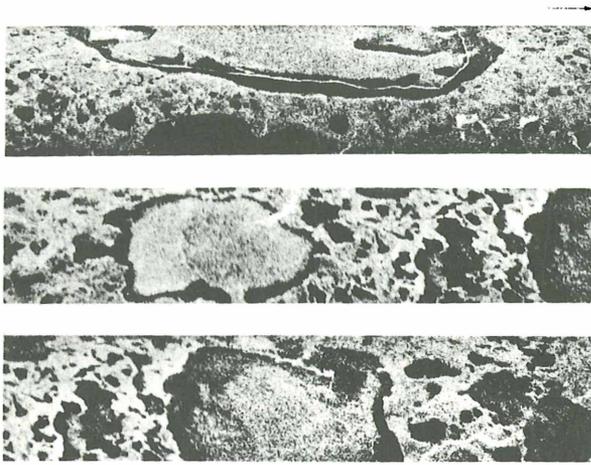


Abb. 1: SLR-Bild zugefrorener Seen mit dunklen Rändern entlang der Seeufer. 25 cm Wellenlänge, 10 km Flughöhe (NASA-Jet Propulsion Laboratory).

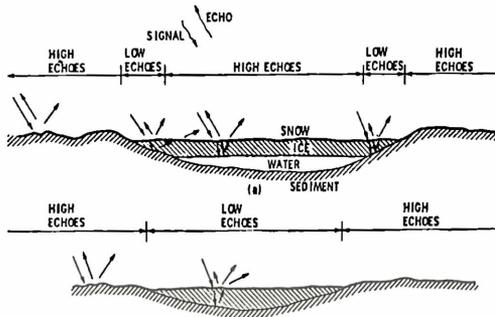


Abb. 2: Erläuterungen der schwarzen Ränder entlang der Seeufer von Abb.1 (von C. Elachi und W. Weeks, NASA - Jet Propulsion Laboratory und CRREL).

←
Flugzeug

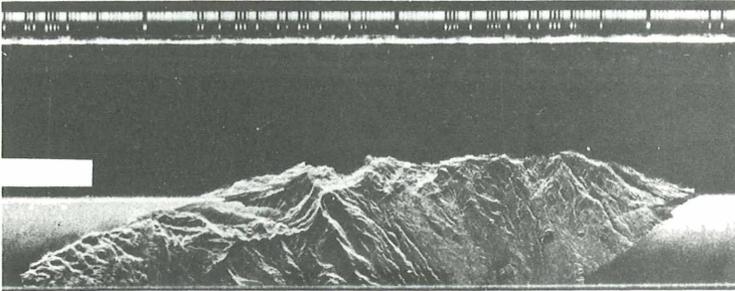


Abb. 3: Radarbild einer atlantischen Insel, wobei der Nadir im Bild oben abgebildet ist. 10 km Flughöhe, 25 cm Wellenlänge.

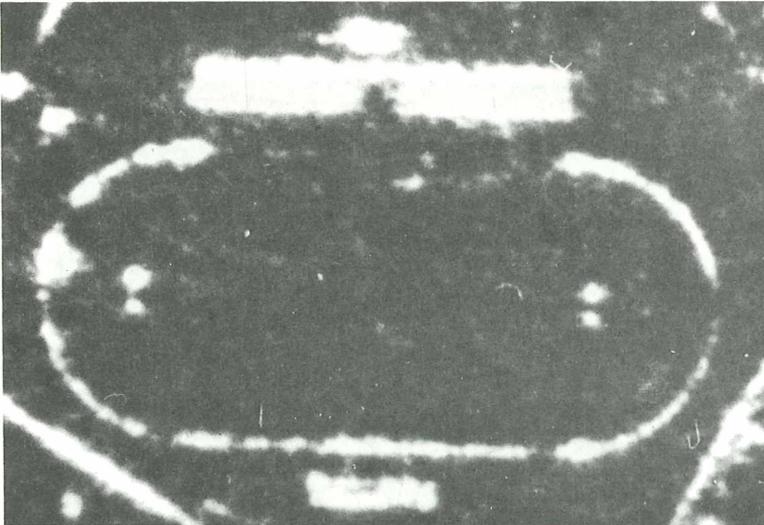


Abb. 4: Ausschnitt eines hochauflösenden SLR-Bildes mit dem Goodyear AN-UPD4 System, 3 cm Wellenlänge, 3 m Auflösung. Zu beachten sind die getrennt abgebildeten Torpfosten des Fußballfeldes.

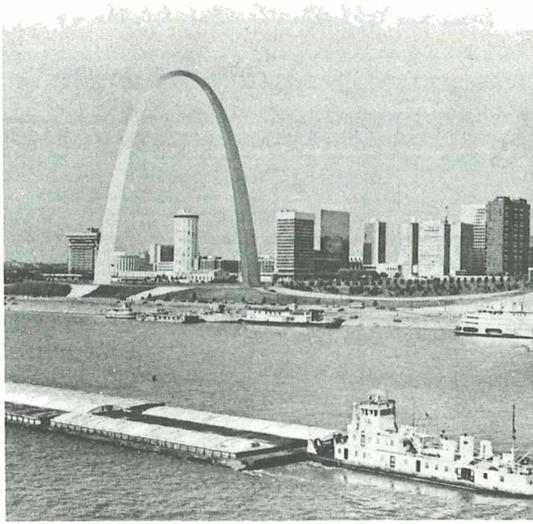


Abb. 5: Touristenansicht des "Gateway-Arch" in St.Louis, USA. Im Vordergrund der Mississippi-Fluß.



Abb. 6: SLR-Bild des "Gateway-Arch" in St.Louis, 3 cm Wellenlänge (zur Verfügung gestellt von G. LaPrade, Goodyear Aerospace, USA).



Abb. 7: Ausschnitt eines SLR-Orthophotos (siehe Leberl und Fuchs, 1978). Goodyear-SAR, 3 cm Wellenlänge, 12 km Flughöhe. Maschenweite des Gitters 2 km.



Abb. 8: SLR-Bild von Friesland, aufgenommen mit britischem EMI-SLR aus 170 m Flughöhe. Beachte die langen Schatten von Alleebäumen.

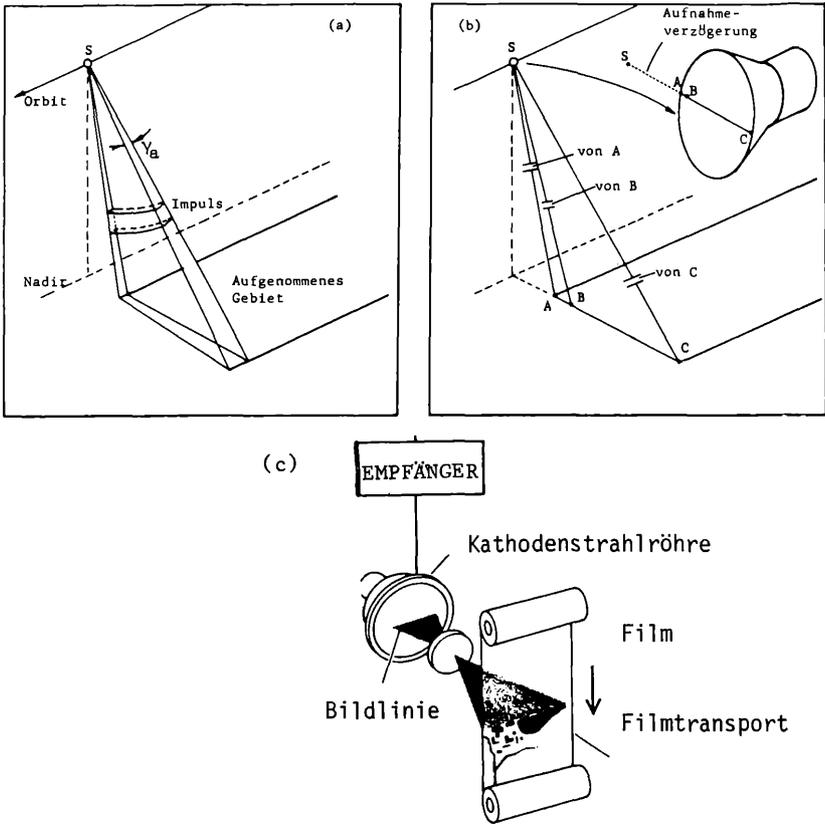


Abb. 9: Technik der SLR-Bilderstellung. (a) Flugzeug und Radarimpuls. (b) Abbildungsvorgang. (c) Abbildung auf Film.

(f) zurück zu (b).

Diese Sequenz kann sich 3000 Mal pro Sekunde wiederholen. Ein Streifen zu einer (oder mit 2 Antennen zu beiden) Seite(n) des Flugzeuges werden beleuchtet und durch die Impulsfolge wie die Fortbewegung des Flugzeuges sequentiell abgebildet. Die Lage im Aufzeichnungsteil des Systems ist in Abbildung 9(b) beschrieben. Es wird eine Kathodenstrahlröhre mit einem Leuchtpunkt verwendet, um die empfangenen Echos vom schmalen Geländestreifen (siehe Pkt.(d) oben) als Bildlinie auf der Röhre wiederzugeben. Ein vor der Röhre befindlicher Film nach Abbildung 9(c) dient der Aufzeichnung der Bildlinie. Die Fortbewegung des Films vor der Röhre mit einer Geschwindigkeit proportional zur Fluggeschwindigkeit führt zur sukzessiven Abbildung des Geländes Linie für Linie.

Abbildung 10 zeigt ein DC6-Flugzeug mit einer SLR-Antenne. Die lange Antennendimension ist in Flugrichtung angeordnet, um die Radarimpulse gut in eine Ebene quer zur Flugrichtung zu bündeln.

Die Radarbildauflösung im geometrischen Sinn wird durch die Form des Impulses (Bündelung) bestimmt. In der in Abbildung 9 dargestellten Weise ist das SLR-System eines mit sogenannter "realer Apertur". Die Auflösung ist wegen des endlichen Öffnungswinkels des Impulspaketes von einigen Milliradians nur in Antennennähe hoch und verringert sich mit wachsendem Abstand. Je länger die Antenne, desto besser die Bündelung und die Auflösung. Andererseits kann gezeigt werden, daß dies nur die Dimension der Auflösung in Flugrichtung betrifft. Quer dazu ist die Auflösung überall im wesentlichen konstant; nur in der Nähe des Flugnaders, bei senkrechter Inzidenz des Radarimpulses, verschlechtert sich die Auflösung quer zur Flugrichtung rapide. Daher wird meist unter dem Flugzeug nicht abgebildet. Abbildung 3 war eine Ausnahme.

Es gibt nun die sogenannten "synthetischen Apertur"-Radarsysteme, wo die Auflösung des SLR vom Abstand zum Objekt unabhängig ist. Diese Auflösung ist einfach nur die Hälfte, also $D/2$, der Antennenlänge D .

Um hier eine Vorstellung des nun technisch vernünftig realisierbaren Auflösungsvermögens zu geben, sei darauf verwiesen, daß eine Antenne der Länge $D=1$ m technisch durchaus realisierbar ist. Es muß jedoch betont werden, daß bessere Auflösung zur Verkleinerung des Gesichtsfeldes führt (vgl. Effekt von Teleobjektiven in der Optik).

Für Details zur Funktionsweise des synthetischen Apertur Radars sei auf frühere Darstellungen verwiesen (Jensen u.a., 1975; Leberl, 1978).

Der Vollständigkeit halber sei hier die Tatsache angeführt, daß die Unterwasserschallabbildung (Side-Looking SONAR) entsprechend Abbildung 11 in vollkommener Analogie zur Radarabbildung erstellt wird. Die Antenne wird durch Membranen, die elektromagnetischen Mikrowellen durch Schallwellen ersetzt.

Ein Beispiel für Unterwasser-SONAR ist in Abbildung 12 wiedergegeben.

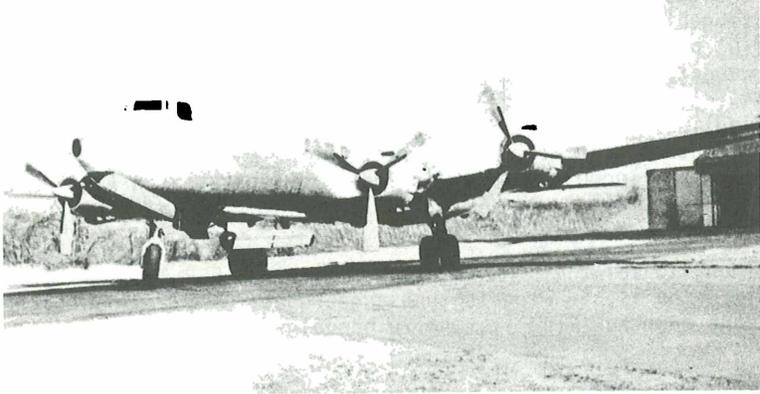


Abb. 10: DC-6 Flugzeug mit SLR-Antenne für reale Apertur (bis 1974 benutzt von Westinghouse, USA, für kommerzielle Befliegungen).

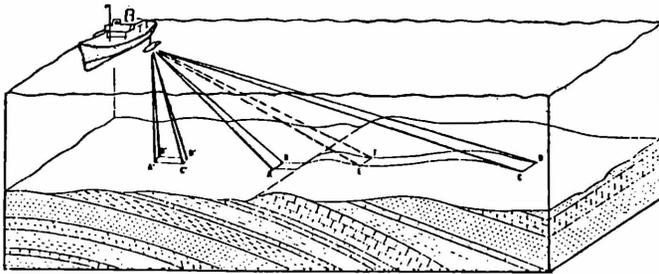


Abb. 11: Prinzip der Unterwasserschallabbildung (Side-Looking SONAR).

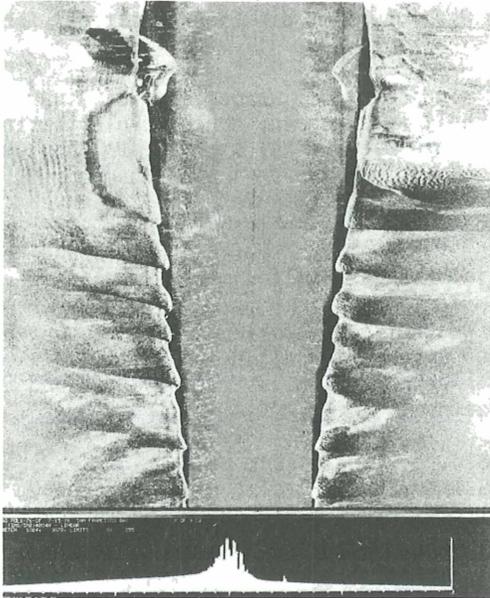


Abb. 12: Beispiel einer Side-Looking SONAR Aufnahme in Küstengewässern Kaliforniens. Zwei Membranen zu Schallabstrahlung und Echoempfang wurden zu beiden Seiten des Schiffes verwendet (NASA-Jet Propulsion Laboratory).

4. S L R - A N W E N D U N G E N

Der wesentliche Grund für die zivile Anwendung von SLR ist die Fähigkeit der elektromagnetischen Wellen, um Wolken und Regen zu durchdringen (siehe Abbildung 13).

Im militärischen Bereich kommt die Eigenschaft der Abbildung bei Nacht hinzu.

Weitere Vorteile sind sekundär, werden aber oft ins Treffen geführt: große Flächen sind schnell aufzunehmen; mehrere Polarisationen und Wellenlängen sind verwendbar; die Blickwinkel sind verstellbar, usw..

Der in Abbildung 13 demonstrierte Vorteil von SLR hat zur weitverbreiteten Anwendung in tropischen Regengebieten geführt. Aber auch in arktischen Gebieten bestehen Sichtprobleme wegen Wolken, Nebels und der langen arktischen Nächte. Daher sind Eis-Patrouillen mit SLR sehr sinnvoll.

Damit wurden die wesentlichen zivilen Radaranwendungen angeführt. Viele weitere Anwendungen wurden und werden für Sonderfälle diskutiert, wie z.B. die Überschwemmungsüberwachung bei Katastrophenwetter und Souveränitätskontrolle in Küstengewässern.

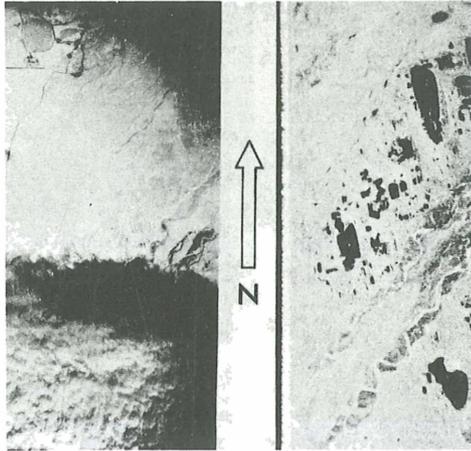
Stereo-SLR besteht und wurde bisher manchmal spärlich verwendet. Wie bei aktiver Abbildung zu erwarten, stellt die Ausleuchtung von verschiedenen Standpunkten aus ein großes Problem dar (vgl. Abbildungen 14 und 15). Details zu dieser Fragestellung wurden von Leberl (1979) behandelt.

5. S A T E L L I T E N R A D A R B I L D E R

Das SEASAT-1 Projekt war und ist bisher das einzige geowissenschaftliche Unternehmen mit Satellitenradar der Erde (Tabelle 1). Es folgte einer Radar-Mission zum Mond im Rahmen der 1972-Apollo 17-Mondlandung. SEASAT konnte für Seitwärtsradar nicht jenen weltweiten Erfolg verbuchen, wie dies bei LANDSAT für MSS wohl der Fall war: SEASAT wurde nach 3-monatiger Dauer funktionsuntüchtig. Die erhaltenen Daten werden jedoch als außerordentlich interessant und wertvoll beurteilt, vor allem für ozeanographische Problemstellungen.

Abbildung 16 zeigt das Beispiel eines SEASAT-Radarbildes aus der Region um Salton-Sea (USA). Von Österreich bestehen keine Aufnahmen.

Die Begründung für das abbildende Radarsystem in SEASAT ist ozeanographisch: die Wellenstrukturen an der Meeresoberfläche und die bewegenden polaren Eismassen waren das Ziel des Experimentes.



10OCT75

(a)

72°20'N 148° 25'W

(b)

Abb. 13: Demonstration der Wolkendurchdringung mittels (a) Luftbild und (b) L-Band Radar (25 cm Wellenlänge, SLR); simultan aufgenommen. (NASA - Jet Propulsion Laboratory)

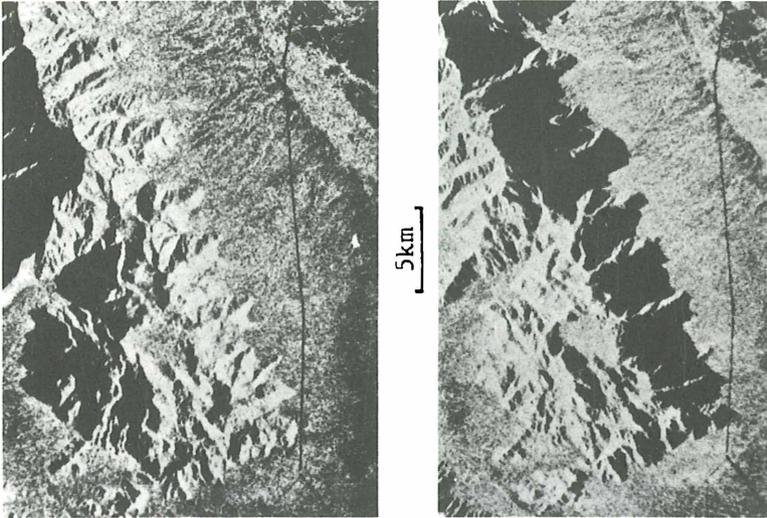


Abb. 14: Beispiel einer SLR-Stereoaufnahme mit Ausleuchtung von verschiedenen Seiten eines Objektes (siehe Leberl, 1979). SLR von Goodyear Aerospace Corp., 10 m Auflösung, 12 km Flughöhe. Estrella-Gebirge, Arizona.

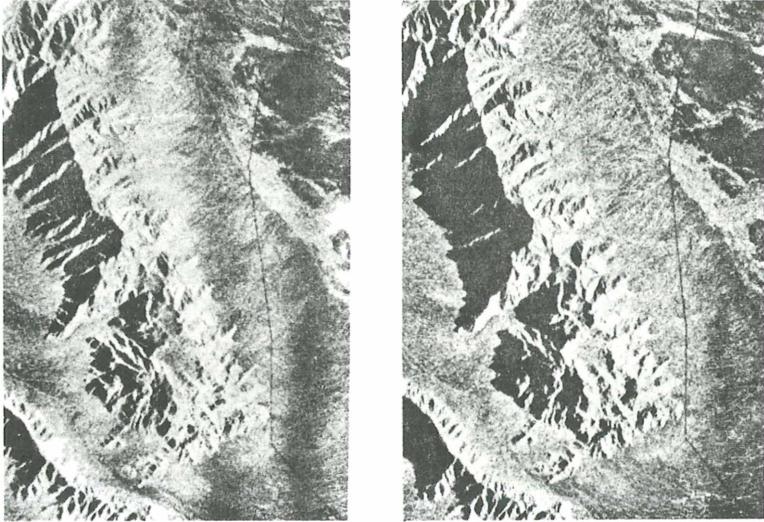


Abb. 15: Beispiel einer SLR-Stereoaufnahme mit Ausleuchtung der gleichen Objektseite aus zwei Standpunkten. Vgl. Abb. 14.

Tabelle 1: SEASAT-Bahn und Parameter des Radarabbildungssystems.

Dauer der Mission	4. Juli	11. Oktober 1978
Bahnhöhe		790 - 820 km
Bahnneigung		180° retrograd
Umlaufperiode		100 min
Art des Radarsensors	Synthetische Apertur, seitwärts abbildend	
Wellenlänge des Radarsystems		25 cm (L-Band)
Radaraufnahmewinkel	17° bis 23°	Nadirdistanz
Breite des aufgenommenen Gebietes		100 km
Geometrische Grundauflösung		25 m (nominell)

→
Flugrichtung
(Norden)

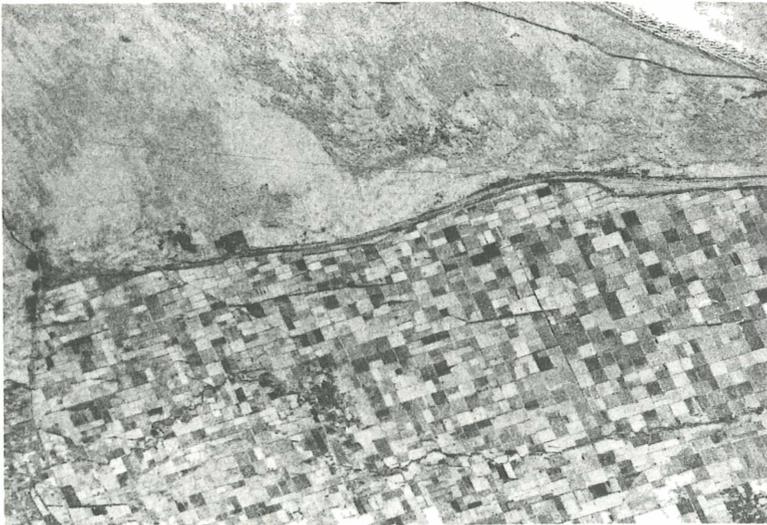


Abb. 16: Satellitenradarbild aus SEASAT eines Gebietes um Salton Sea in Kalifornien.

6. ZUKUNFTIGE ENTWICKLUNGEN

Die weitere Rolle des SLR-Abbildungsverfahrens ist nur in Spekulationen absehbar. Zweifelsohne werden SLR-Bilder weiterhin erzeugt werden, da die Technologie im militärischen und hoheitsrechtlichen Überwachungssystem sehr wertvolle Dienste leisten kann. Im geowissenschaftlichen Bereich jedoch ist die Anwendung zur Erkundungskartierung nur von beschränkter Lebensdauer. Es erhebt sich somit die Frage, ob in der detaillierten Aufnahme von Umweltgrößen auch eine Aufgabe für SLR liegt.

Zu erwarten ist ein technologischer Durchbruch bei der kostengünstigen Erzeugung billigerer SLR-Systeme zum Einbau in kleinere Flugzeuge, wobei die technisch höchste und sinnvollste Auflösung verwirklicht werden kann. Des weiteren könnte die in der Fernerkundung erwartete synergistische Verschmelzung verschiedenartiger Daten in einem umfassenden Informationssystem die besonderen Eigenheiten des Radarbildes nutzbringend verwenden. Erste Ansätze wurden in der Überlagerung von SLR und LANDSAT-MSS verwirklicht.

Eine Reihe von Satellitenradarexperimenten werden vorbereitet, sowohl für die US-Space-Shuttle wie auch das europäische Spacelab. Die Ergebnisse dieser Projekte werden erst über die weitere Verwendbarkeit von SLR Aufschluß geben.

Der Datenfluß wird also weiterhin offen sein. Das Sehen mit Radaraugen ("Alien Eyes", siehe Kobrick, 1980) muß jedoch erst noch besser gelernt werden, um die Bildinhalte im größeren Detail verwenden zu können.

7. S C H L U S S

Unter den aktiven Sensoren interessiert den geowissenschaftlichen Nutzer vor allem das Seitwärts-Radar (SLR). Die weltweite intensive Anwendung beschränkte sich auf Maßstäbe 1 : 100 000 und kleiner. SLR wurde bisher nicht in größeren Maßstäben eingesetzt. Hiezu war der Detailreichtum von SLR-Bildern ungenügend.

Eine Vielzahl von Gründen besteht, um SLR-Bilder in Entwicklungsgebieten zu erstellen. Jedoch sind solche Gründe in Österreich nicht näher untersucht. Von österreichischem Gebiet bestehen derzeit keine SLR-Bilddaten für wissenschaftliche Fragestellungen. Dies ist einerseits für die wesentliche bisherige Anwendung von SLR-Daten, nämlich die thematische Übersichtskartierung, verständlich, verhindert aber die Teilnahme an Programmen zur Entwicklung verfeinerter Verfahren in Anwendungen dieser Daten.

L I T E R A T U R

- Jensen, H., Graham, L., Porcello, L., Leith, E., 1977: Side-Looking Airborne Radar. Scientific American, Oktober 1977, S. 84-95.
- Kobrick, M., 1980: Alien Eyes. Astronomy, Vol.8, Nr.1, S. 6-17.
- Leberl, F., 1976: Imaging Radar Applications to Mapping and Charting. Photogrammetria, Vol.32, S. 75-100.
- Leberl, F., 1978: Radargrammetry for Image Interpretation. ITC-Technical Report Nr.2 (Revised Edition), International Institute for Aerial Surveys and Earth Sciences (ITC), P.O.Box 6, Enschede, Niederlande, 228 S.
- Leberl, F., 1979: Accuracy Analysis of Stereo Side-Looking Radar. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol.45, Nr.8, S. 1083-1096.
- Leberl, F., Fuchs, H., 1978: Photogrammetric Differential Rectification of Radar Images. In Mitteilungen der geodätischen Institute der TU Graz, Folge 33, S. 5-30.
- Leberl, F., Clerici, E., 1980: Current Status of Metric Reduction of Active Scanner Images. Proceedings, 14. Kongreß der Internationalen Gesellschaft für Photogrammetrie, 13.-27. Juli 1980, Hamburg, S. 435-450. Zu beziehen über Univ. Bonn, Inst. f. Photogrammetrie.