

Geowissenschaftliche RadARBildinterpretation

Systemgrundlagen einer neuen Fernerkundungsmethode am Beispiel eines
SEASAT-SAR-Bildes der Kölner Bucht

von

Wilfried Endlicher & Ralf Kessler Freiburg i. Br.

A b s t r a c t :

Radar imagery for geoscientific use. Radar imagery taken from aircrafts or satellites are a new means of geo-scientific remote sensing.

The first part of the essay deals with the basic facts for taking radar images and with the various systems, wave-lengths, and polarisations. Subsequently we explain the various topographical parameters like the relief, the dielectric constant, surface roughness and surface geometry all of them important to the information the images contain. The second part is a qualitative and quantitative interpretation of a SEASAT-SAR-image of the Cologne Region, a model interpretation dealing with the possibility of making geographical statements.

Z u s a m m e n f a s s u n g :

Von Flugzeugen und Satelliten aus aufgenommene RadARBilder sind ein neues Hilfsmittel der erdwissenschaftlichen Fernerkundung. Im ersten Teil des Aufsatzes werden die Aufnahmegrundlagen von RadARBildern und die verschiedenen Systeme, Wellenlängen und Polarisationen dargelegt. Die Bedeutung von geländespezifischen Faktoren wie Reliefierung, dielektrische Konstante, Oberflächenrauigkeit und -geometrie für die Bildinformation wird erläutert. Am Beispiel einer qualitativen und quantitativen Interpretation eines SEASAT-SAR-Bildes der Kölner Bucht werden im zweiten Teil geowissenschaftliche Aussagemöglichkeiten von RadARBildern diskutiert.

Anschrift der Verfasser:

DR. WILFRIED ENDLICHER, Geographisches Institut I der Universität Freiburg, Werderring 4, D-7800 Freiburg

Dipl.-Forstw. RALF KESSLER, Abt. Luftbildmessung und -interpretation des Instituts für Forsteinrichtung und Forstliche Betriebswirtschaft der Universität Freiburg, Werderring 6, D-7800 Freiburg

Die erdwissenschaftlichen Fernerkundungssysteme erlebten im vergangenen Jahrzehnt eine rasante Entwicklung, die besonders durch die Satelliten der *Landsat*-Serie gefördert wurde. Viele Probleme wie z. B. Landnutzungskartierungen, Inventarisierung natürlicher Ressourcen oder Gewässerüberwachung, konnten auf regionaler und globaler Ebene einer Lösung näher gebracht werden. Mit dem wachsenden Einsatz der im sichtbaren und infraroten Spektralbereich sensiblen Abtastsysteme wurde man sich aber auch immer stärker deren Grenzen bewußt. Die verwendeten Sensoren können Wolken nicht durchdringen, es sind Schönwettersysteme. Trotz mehrjähriger Befliegungsdauer und Aufnahmen im Abstand von 14 Tagen liegen aus den bewölkungsreichen Teilen unserer Erde nur wenige Datensätze vor. Insbesondere einer kontinuierlichen Überwachung z. B. im Bereich der Ozeanographie (Wellenstrukturen, Meeresströmungen) oder Glaziologie (Eiskartierungen) sind dadurch enge Grenzen gesetzt. Aus diesen Gründen wurde in den 70er Jahren nach der Freigabe der Mikrowellensysteme für zivile Aufgaben auch die Weiterentwicklung wetterunabhängiger Sensoren vorangetrieben. Der von der NASA im Sommer 1978 für 3 Monate in eine kreisförmige Erdumlaufbahn mit einer Erdentfernung von 800 km geschossene Satellit SEASAT war dann der erste, nicht-militärische Satellit mit einem Radarsystem an Bord. In Anbetracht der Tatsache, daß aktive Mikrowellenbilddaufnahmesysteme in ihrer Entwicklung einen ähnlich raschen Fortgang zu nehmen scheinen, wie vor einem Jahrzehnt die multispektralen Zeilenabtastsysteme, sollen die technischen Grundlagen, die Möglichkeiten und Probleme der Radarbildsysteme hier dargelegt werden. Die Analyse eines SEASAT-SAR-Radarbildes soll dann im zweiten Teil im Mittelpunkt stehen.

1. Einführung in die Radarbilddaufnahme

Radarsysteme arbeiten im Gegensatz zu den optischen Sensoren im Milli- und Zentimeterbereich des elektromagnetischen Spektrums (Abb. 1). Die Bedeutung dieses nicht-photographischen Fernerkundungssystems erklärt sich aus der Tatsache, daß diese Wellen Tag und Nacht Wolken mit je nach Wellenlänge mehr oder weniger starken, insgesamt betrachtet aber nur sehr geringen Verlusten durchdringen können. Radarsysteme sind *Tag/Nacht- und Allwettersysteme*. Konventionelle Sensoren wie Filmemulsionen im Bereich der Luftbilddaufnahmen oder Halbleiterdetektoren für Thermalbilder arbeiten *passiv*, sie zeichnen die an der Erdoberfläche reflektierte oder von ihr emittierte Energie auf. Radarsysteme sind *aktiv*, sie erzeugen die elektromagnetischen Wellen an Bord eines Flugkörpers, strahlen sie aus und empfangen das vom Gelände zurückgeworfene Echo. Anders ausgedrückt, die von einem *Mikrowellensender* erzeugte elektromagnetische Energie wird in Impulse von Nanosekundendauer zerlegt und über eine *Antenne* fächer- bzw. keulenförmig *schräg nach unten abgestrahlt*. Der grundlegende Zusammenhang zwischen dem Radarsystem und dem aufgenommenen Flächenelement wird in Abb. 2 dargestellt.

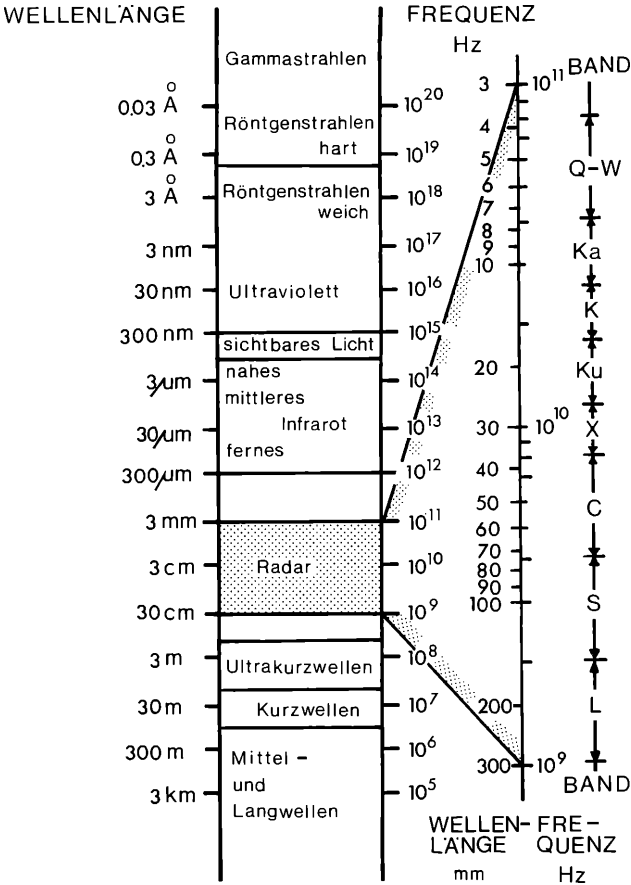


Abb. 1: Die elektromagnetischen Wellenbereiche mit besonderer Berücksichtigung der Radar-Bänder (nach SCHNEIDER 1974, S. 140 und DEANE 1972, Abb. 35)

Die von der Antenne der Sende- und Empfangseinheit ausgestrahlte Energie wird gestreut, sobald sie auf ein Objekt trifft. Ein Teil der rückgestreuten Strahlung erreicht über dieselbe Antenne einen Empfänger, der die Intensität des Energieimpulses zu einem Magnetbandgerät oder einem Kathodenstrahler weiterleitet. Die Empfangseinheit ist mit dem Impulsgeber der Sendeinheit gekoppelt, so daß nicht nur die *Stärke des Radarechos*, sondern auch die *Zeitspanne zwischen Impulsausstrahlung und Echoempfang* – getrennt nach einzelnen Echos – aufgezeichnet wird. Jeder Impuls produziert entsprechend der jeweiligen Objektentfernung eine zeitlich differenzierbare Echokette. Im Falle von SEASAT beträgt die Impulshäufigkeit 1 500

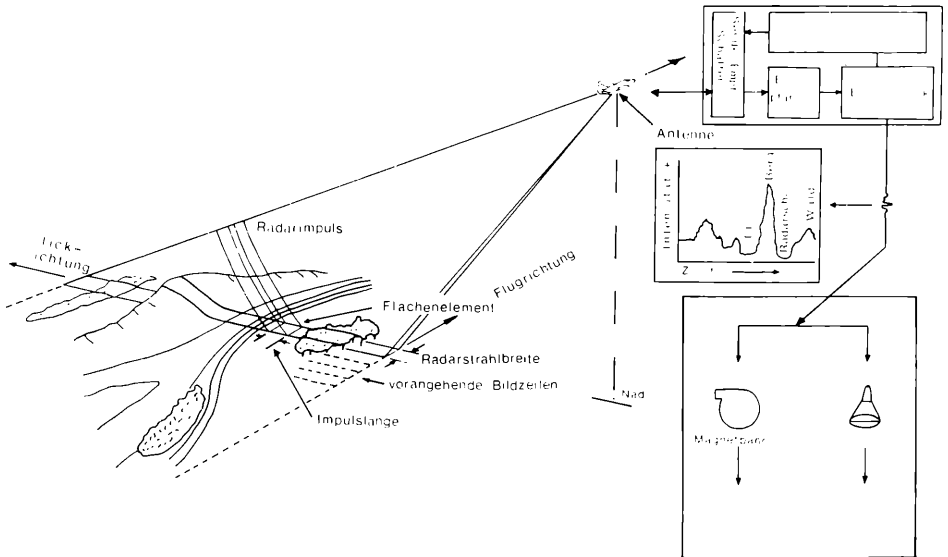


Abb. 2: Flußdiagramm der Radarbildaufnahme (nach LEWIS 1976 aus LILLESAND und KIEFER 1979, S. 495, erweitert)

Impulse/Sekunde mit einer Impulsdauer von 50 Nanosekunden (SCHANDA 1980, S. 169). Die Strahlbreite der Energiequelle ist von der Antennenlänge abhängig, wobei für eine gute Bildauflösung in Flugrichtung bei „Real-Apertur“-Systemen eine möglichst lange Antenne mit geringer Strahlbreite erforderlich ist. Ein „Synthetic-Apertur“-System arbeitet nach einem Prinzip, welches für eine gute Auflösung in Flugrichtung eine eher breitere Energiekeule erfordert (s. 1.2). Die Strahlhöhe beträgt meist mehrere Grad, je nachdem, welche Grundfläche bei einer gegebenen Flughöhe abgedeckt werden soll. SEASAT-SAR arbeitet mit einer Strahlungsbreite von ca. 1° und einer Strahlhöhe von 6° bei Inzidenzwinkeln zwischen 17° und 23° . Dies ergibt eine Streifenbreite von ca. 100 km bei einer fortlaufenden Länge von 4 000 km, welche den jeweils zur Verfügung stehenden 10 Minuten Aufnahmezeit entsprechen (TELEKI und RAMSEIER 1978, S. 96). Dieser Geländestreifen liegt ca. zwischen 240 und 340 km in Flugrichtung gesehen rechts von der Nadirlinie. Die Reflexion des ausgesandten Radarimpulses beginnt an einem der Sender-Empfänger-Einheit näher liegenden Objekt, der sog. „near-range-Lage“, einige Mikrosekunden früher als bei einem weiter entfernt liegenden, der „far-range-Lage“. Da diese Zeitdifferenzierung zur Positionierung der Bildelemente notwendig ist, wird auch verständlich, warum Radar ein *Seitensichtsystem* ist.

1.2 „Synthetic-“ und „Real-Apertur“-Systeme

Grundsätzlich werden derzeit zwei verschiedene Radarbildsysteme verwendet, das „*Real-Apertur*“-System *SLAR* (Side Looking Airborne Radar) und das „*Synthetic-Apertur*“-System *SAR* (Synthetic Aperture Radar). *SLAR* ist das ursprüngliche System, welches auf den bereits vorhandenen Navigationsradargeräten aufbaute. Bei diesem System bestimmt die Geometrie des gesendeten Impulses die Bildauflösung sowohl in Flugrichtung als auch senkrecht zur Flugrichtung. Die Bildauflösung senkrecht zur Flugrichtung ergibt sich bei *SAR* und bei *SLAR* nach dem gleichen Prinzip; bei der Herleitung der Bildauflösung in Flugrichtung zeigen sich die grundsätzlichen Unterschiede beider Systeme. Beim *SLAR* bestimmt der Strahlbreitewinkel die Bildauflösung in Flugrichtung. Je länger die seitlich entlang des Flugkörperrumpfes verlaufende Antenne ist, umso besser die Auflösung. Da durch die Antennenlänge zwangsläufig ein Transportproblem entstehen kann, sind beim *SLAR* der Bildauflösung natürliche Grenzen gesetzt.

Das „*Synthetic-Apertur*“-System ist das aufwendigere und modernere Radarbildsystem, welches mit kurzen Antennen Bildauflösungen in Flugrichtung ermöglicht, die dem *SLAR* nur bei theoretisch vorstellbaren, sehr langen Antennen möglich wäre. Dies wird dadurch erreicht, daß beim Vorbeiflug des *SAR* jedes Bodenobjekt mehrmals von relativ breit abgestrahlten Impulsen getroffen wird. Radarechos allgemein differenzieren sich nach Zeitdifferenz und Signalintensität, im *SAR* kommt zusätzlich die Differenzierung nach der jeweiligen Dopplerfrequenz hinzu. Dieser *Dopplereffekt* entsteht dadurch, daß jeder der von einem bestimmten Objekt nacheinander reflektierten Radarimpulse aufgrund der Flugbewegung in einer anderen Frequenz empfangen wird. Im ersten Abschnitt der Flugzeit bewegt sich der Flugkörper den Radarechos schräg entgegen und die Frequenz des empfangenen Signals ist höher, als die des gesendeten Signals. Am Zentralkpunkt der Flugroute, an der sie mit der Strecke Flugkörper-Objekt einen rechten Winkel bildet, sind die Frequenzen von Impuls und Signal gleich. Während der zweiten Hälfte des Flugabschnittes entfernt sich der Flugkörper schräg vom Objekt, das empfangene Echo hat jetzt eine niedrigere Frequenz als der gesendete Impuls. Alle Echos eines Objekts werden zu einem Bild desselben zusammengesetzt. (Abb. 3).

Je mehr Impulse pro Objekt empfangen werden, umso besser ist die Bildauflösung. Je weiter ein Objekt aber von der Flugbahn entfernt ist, desto früher bzw. desto länger wird es beim Vorbeiflug der Trägerplattform von den Impulsen getroffen. Dadurch wird die mit zunehmender Objektentfernung abnehmende Auflösung, wie es bei *SLAR* aufgrund der sich verbreiternden Energiekeule der Fall ist, kompensiert. *Die Bodenaufklärung von SAR-Bildern ist also entfernungsunabhängig.* Sie beträgt bei *SEASAT-SAR* 25 m und liegt damit weit unter derjenigen der Satelliten der *LANDSAT*-Serie. Die Bildinformationen müssen aufgrund der extrem hohen Datenraten bei *SEASAT-SAR* direkt zu einer Bodenstation gesendet und dort aufgenommen werden (real time transmission). Die Bilddaten werden dann digital oder in Form eines Interferenzbildes als Radarhologramm festgehalten, um später mit Hilfe der kohärenten Lichtquelle eines Lasers rekonstruiert zu werden.

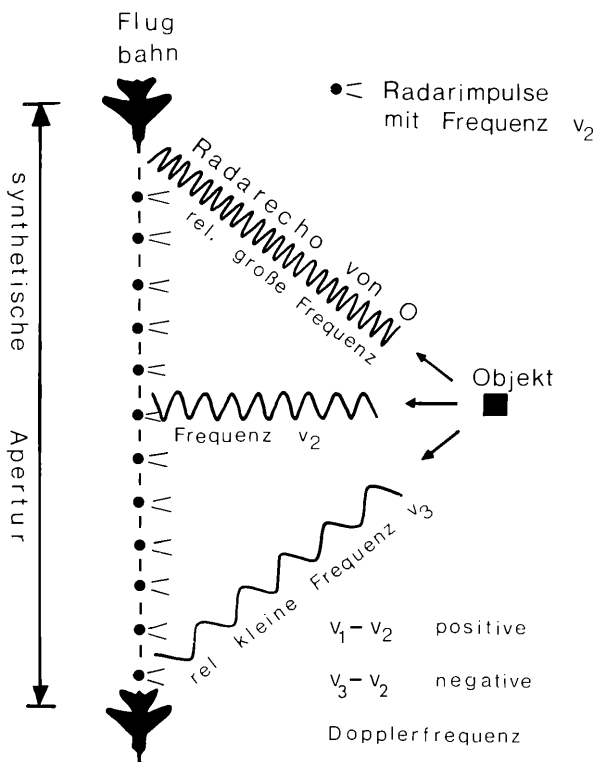


Abb. 3: Der Doppler-Effekt bei Synthetic-Aperture-Radar (SAR); die Frequenzen der Radarechos sind bei Annäherung an das Objekt größer und bei Entfernung vom Objekt kleiner als diejenigen der Radarimpulse (unter Verwendung von PARRY 1977, S. 387, verändert; Frequenz = Anzahl der Wellen, die pro Zeiteinheit einen Fixpunkt passieren).

2. Die Geländewiedergabe im Radarbild

Die Abbildung der Erdoberfläche durch Radar wird sowohl durch system- als auch durch geländespezifische Faktoren gesteuert. Zu den systemspezifischen Faktoren zählen: die Wellenlänge, die Polarisation, der Speckle-Effekt, die Antennenneigung und die Flughöhe. Wichtige geländespezifische Faktoren sind: die dielektrische Konstante, die Oberflächenrauigkeit, die Struktur des Untergrundes, die Reliefierung, die Oberflächengeometrie.

2.1 Wellenlänge

Es gehört zu den besonderen Eigenschaften der cm-Wellen, daß sie in verschiedenen Frequenzbereichen unterschiedlich auf die physikalischen und chemischen Eigenschaften der aufzunehmenden Flächen reagieren. Eine Wasserfläche bildet für eine Niederfrequenz eine glatte, spiegelnd reflektierende Oberfläche, für eine Hochfrequenz eine rauhe, diffus reflektierende Oberfläche. Niederfrequente Wellen dringen tiefer in den Erdboden ein als hochfrequente (DEANE u. DOMVILLE, 1972). Diese wichtige Eigenschaft der Mikrowellen macht man sich seit Beginn der 70er Jahre zunutze, um daraus ein *Mehrfrequenz-SAR* zu entwickeln, das, ähnlich einem Multispektralsystem im sichtbaren Bereich, simultan verschiedene Mikrowellenlängen senden und empfangen kann. Erste Versuchsflüge wurden 1973 durchgeführt. Die dabei Verwendung findenden Wellenlängen bzw. Band-Bezeichnungen sind Abb. 1 zu entnehmen. SEASAT-SAR ist ein Monofrequenzsystem und arbeitet im L-Band bei einer Wellenlänge von 23 Zentimetern.

2.2 Polarisation

Unter der Polarisation versteht man die Richtung des elektrischen Vektors in einer elektromagnetischen Welle bezüglich der Erdoberfläche. Dabei bestimmt die Sendereinrichtung die Polarisation der ausgesandten Wellen (vgl. WEDLER 1977, S. 3

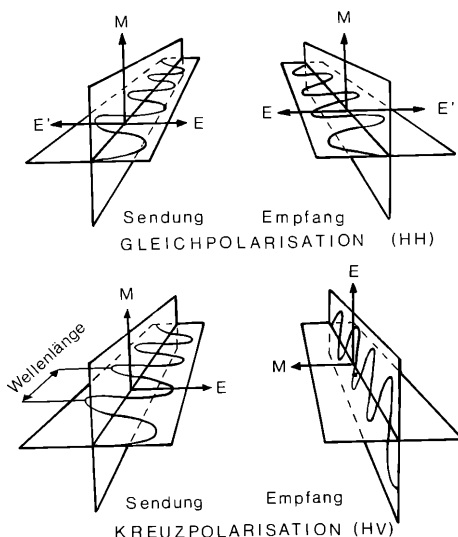


Abb. 4: Gleich- und Kreuzpolarisation: H = Horizontale, V = Vertikale Polarisation; E = elektrischer, M = magnetischer Vektor (nach WEDLER 1977, S. 35)

ff). Sie sind im allgemeinen horizontal oder vertikal polarisiert. Die Polarisation der in einer bestimmten Richtung polarisierten Welle kann nun bei ihrem Auftreffen auf die Erdoberfläche durch bestimmte Oberflächeneigenschaften teilweise geändert werden. Dies ist ein radartypischer Effekt. Bei einem System, welches nur über eine einzige Polarisation verfügt, bedeutet ein schwaches Rückstreusignal entweder, daß das Signal im wesentlichen weggestreut worden ist, oder, daß das Signal zwar im wesentlichen zurückgestreut worden ist, jedoch in einer anderen Polarisationsrichtung, als empfangen werden kann. Bestimmte Oberflächenstrukturen depolarisieren den elektrischen Vektor einer elektromagnetischen Welle mehr oder minder stark. Dieser Effekt läßt sich zur Radarbildinterpretation ausnutzen, indem mit Zweipolarisationssystemen gearbeitet wird. Es wird horizontal bzw. vertikal gesendet und gleich- bzw. kreuzpolarisiert empfangen (Abb. 4). WEDLER und KESSLER (1981) differenzierten auf diese Weise mit Mehrkanal-SAR-Bildern Feucht- und Trockengebiete in Kanada, da die Feuchtgebiete eine höhere gleichpolarisierte und eine niedrigere kreuzpolarisierte Rückstreuung aufwiesen, als die umgebenden trockeneren Wälder. SHUCHMAN et al. (1975) gelang mit einem 2-Frequenz-2-Polarisations-SAR die Klassifizierung verschiedener Feldfrüchte aufgrund von Grauwert- und Texturparametern.

2.3 Speckle-Effekt

Radarbilder zeigen im Vergleich zu konventionellen Luftbildern eine viel körnigere Textur. Dieser „Pfeffer und Salz-“ oder „Speckle-Effekt“ ist systemspezifisch und eine Folge der bei kohärenten Wellensystemen auftretenden Interferenz. Die von einem Objekt zurückgeworfenen Wellenimpulse werden nämlich im Empfän-

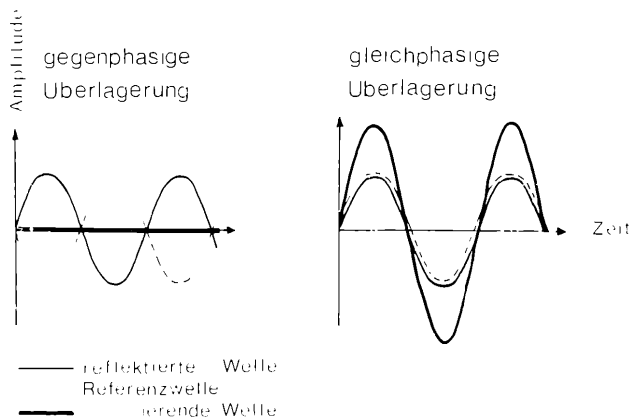


Abb. 5: Modellvorstellung der Interferenz kohärenter Wellensysteme bei gegenphasiger und gleichphasiger Überlagerung

ger mit Referenzwellen gleicher Frequenz und Amplitude überlagert. Im Extremfall können dadurch Wellen mit der doppelten Amplitude entstehen oder die Wellen sich gegenseitig auslöschen (Abb. 5). Je nachdem, ob die Wellen in der Phase oder aus der Phase sind, ist das resultierende Signal relativ stark oder schwach und bewirkt damit — unabhängig von der Bodeninformation — die Aufzeichnung eines helleren oder dunkleren Bildpunktes.

2.4 Antennenneigung und Flughöhe

Aus der Seitensicht des Radars ergeben sich je nach Flughöhe und Relief Konsequenzen für die Antennenneigung, da je nach Geländere relief unter Umständen die radartypischen Schattenzonen (sichttote Bereiche) bei zu flachen Depressionswinkeln dominant auftreten oder Überlagerungen (layover) bei zu steilen Depressionswinkeln vorkommen (Abb. 6). Für SLAR-Befliegungen in einer Flughöhe von 6 km erwiesen sich Depressionswinkel von 10° bei flachwelligem Terrain und 55° bei Hochgebirgsrelief als günstig. Der Depressionswinkel von SEASAT-SAR ist dagegen mit $69,5^\circ$ relativ groß.

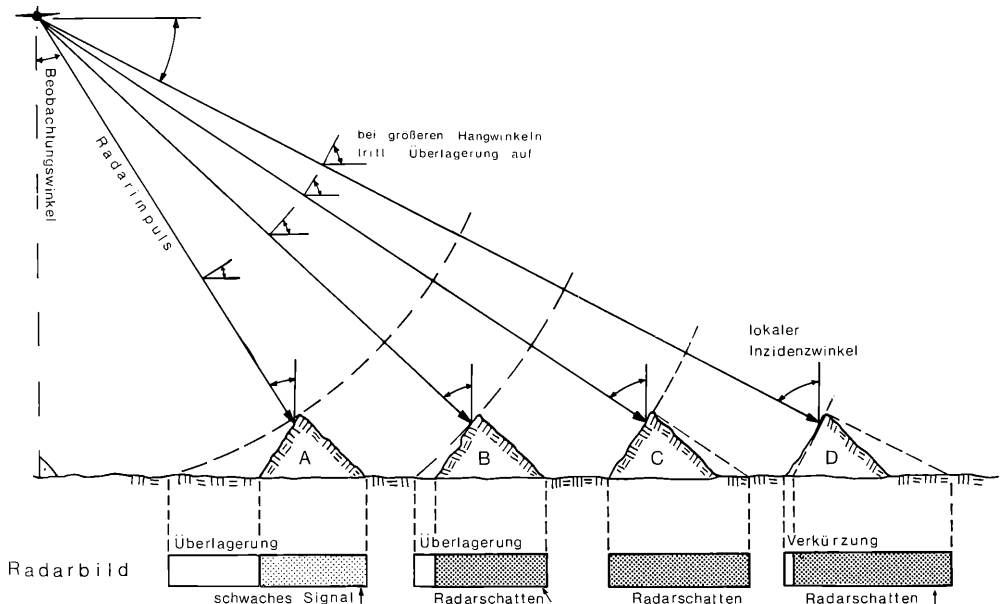


Abb. 6: Verkürzungs(foreshortening)-, Abschwächungs(grazing)-, Abschattungs(shadowing)- und Überlagerungs(layover)-Effekte, die bei reliefierten Oberflächen auftreten: Hänge gleicher Neigung erzeugen bei verschiedenen Depressionswinkeln unterschiedliche Echos (nach LEWIS 1976 aus LILLESAND und KIEFER, 1979, S. 516)

2.5 Reliefierung

In Bildern reliefierten Geländes oder geländeüberragender Objekte wie Waldbestände und Gebäude werden die Wesensmerkmale des Radarbildes, das sich völlig von konventionellen Aufnahmen unterscheidet, besonders deutlich. Kunstbauten und Waldränder treten auf dem Radarbild deutlich abgegrenzt hervor. Dem Radar zugeneigte Flächen verursachen starke Reflexion, die so hell sein kann, daß auf dem Bild keine Strukturen mehr erkennbar sind. Vom Radar weggeneigte Flächen haben eine entsprechend *geringere Signalmückstreuung*, die bei Neigungen kleiner als der Depressionswinkel in eine völlig rückstreuungsfreie *Schattenzone* übergeht (Abb. 6).

Da mit zunehmendem Abstand vom Nadir der Depressionswinkel flacher wird, ist bei gleichen Geländemustern der Anteil an Schattenzonen in „far-range“-Lage höher als in „near-range“-Lage. Da die Lageparameter eines Objektes in einem Radarbild durch die Zeitdauer definiert werden, die die abgestrahlte Energie vom Objekt und wieder zurück zur Antenne benötigt, wird das Relief nicht lagegerecht wiedergegeben, sondern es treten *Verkürzungseffekte* auf. Insbesondere Hochpunkte wie Berggipfel oder Hochhausdächer liegen räumlich näher am Empfänger als ihre vertikale Projektion in die umgebenden Ebenheiten wie Talböden oder Straßenniveau. Folglich erreicht auch ihr Echo schneller die Antenne. Die entsprechenden Bildpunkte sind räumlich auf die Flugroute hin verschoben. Ist der Hangwinkel größer als der lokale Inzidenzwinkel (Winkel zwischen Radarstrahl und Zenith), tritt sogar eine *Überlagerung bzw. Vertauschung* entsprechender Hangpartien auf. Dieser Effekt ist mit den verhältnismäßig kleinen Inzidenzwinkeln im near-range-Bereich am größten und verursacht eine Scheinkippung von Bergzügen auf die Flugroute hin. Mit zunehmenden Inzidenzwinkeln verringern sich auch die Verkürzungseffekte ohne jedoch selbst bei flach geneigten Hängen völlig zu unterbleiben.

2.6 Dielektrische Konstante

Die Tatsache, daß überhaupt eine Reflexion zustande kommt, liegt in der unterschiedlichen elektrischen Leitfähigkeit verschiedenen Materials begründet. So haben z. B. Luft und Wasser jeweils eine andere dielektrische Konstante; sie ist bei Luft relativ niedrig, bei Wasser verhältnismäßig hoch. Das Radarecho entsteht an einer dielektrischen Grenzfläche zwischen 2 Materialien mit verschiedenen dielektrischen Eigenschaften, und die Eindringtiefe ist abhängig vom dielektrischen Spannungsverhältnis der Medien, die an dieser Grenzfläche zusammenkommen. Je größer das dielektrische Spannungsverhältnis verschiedenartiger Medien ist, umso intensiver wird die Reflexion an dieser Grenze sein und umso geringer folglich die Eindringtiefe. Die dielektrischen Eigenschaften variieren je nach der physikalisch-chemischen Materialzusammensetzung. Auf der Tatsache, daß Wasser wie oben angeführt in einem dielektrisch sehr kontrastreichen Spannungsverhältnis zu Luft steht, basieren Überlegungen, Radarbilder zur fernerkundeten Bestimmung der Bodenfeuchtigkeit heranzuziehen (ULABY et al. 1977, 1978).

2.7 Oberflächenrauigkeit

Ein weiterer ursächlicher Zusammenhang besteht zwischen den Rauigkeitsparametern der Erdoberfläche und der Grauwertintensität und Verteilung auf dem Radarbild. Der Begriff der Rauigkeit ist aber relativ in Bezug auf die Wellenlänge der einfallenden Energie zu sehen. Oberflächen, deren Körnungselemente erheblich unter einer Wellenlänge liegen, wirken gegenüber dem System glatt und reflektieren die eingestrahlte Energie *spiegelnd*. Bei flachen Depressionswinkeln ist das Hauptecho vom Empfänger weggerichtet, das erzeugte Signal wird deshalb nur sehr schwach und der Bildpunkt dunkel sein (Abb. 7). Trifft der einfallende Radarstrahl jedoch steil auf eine glatte Fläche, dann wird im Gegenteil ein sehr starkes Signal registriert, da der Empfänger im Bereich der Reflexionskeule liegt. Oberflächen, deren Körnungselemente gleich groß oder größer als eine Wellenlänge sind, reflektieren den Radarstrahl mehr oder weniger *diffus* und erzeugen so im Empfänger ein entsprechendes Streusignal. Rauhe Oberflächen (bzgl. der Wellenlänge) zeigen sich in ihren Reflexionseigenschaften unabhängiger vom Depressionswinkel als glatte Oberflächen.

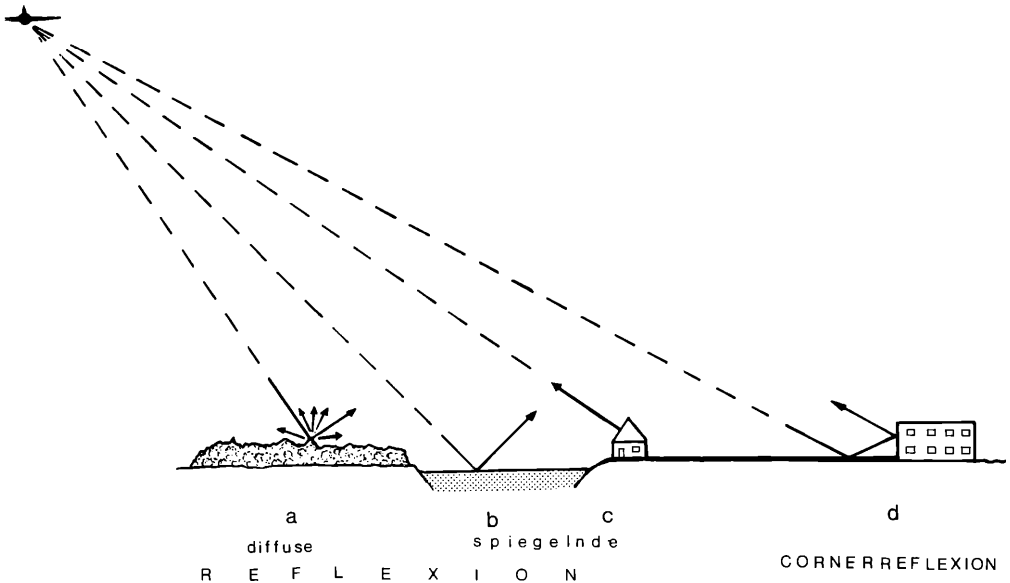


Abb. 7: Radarechos verschiedener Oberflächen (nach LILLESAND und KIEFER 1979, S. 505, erweitert)

2.8 Oberflächengeometrie und Cornerreflexion

Flächengefüge, wie sie künstlich hergestellt und als Orientierungspunkte bei Radarbefliegungen ausgebracht werden, nennt man Cornerreflektoren. Darunter versteht man 2 oder 3 glatte, aufeinander senkrecht stehende und zum Radarstrahl ausgerichtete Flächen, die komplexe Einfallswinkelkombinationen verursachen und deren Reflexwirkung sich bei gleicher Elementgröße potenziert. Das Signal erscheint auf dem Radarbild als kräftiger, kreisförmiger Lichtblitz, der so stark sein kann, daß er umliegende Bildpunkte völlig überstrahlt. Seine Intensität kann durch Querschnittmessung (*cross section*) bestimmt werden. Auch Gebäudestrukturen können Cornerreflexionen auslösen, vor allem, wenn derartige geometrische Sekundäroberflächen symmetrisch zum einfallenden Radarstrahl angeordnet sind (Abb. 7).

2.9 Untergrundstruktur

Eine weitere charakteristische Eigenschaft der Mikrowellen, ihr Eindringvermögen in feste Materie, unterscheidet sie wesentlich vom sichtbaren Licht. Aufgrund dieser Tatsache wirkt bei der Bilderzeugung nicht nur die Rauigkeit der Oberfläche, sondern auch die „Rauigkeit“ des Untergrundes, z. B. die Bodenart, das Krümelgefüge, die Klüftigkeit und das anstehende Gestein, mit. Insofern können sich im sichtbaren Bereich gleich darbietende Flächen aufgrund einer verschiedenen Untergrundstruktur ein anderes Radarecho ergeben. Die Untersuchung geologisch-geomorphologischer Parameter wird sicher ein wichtiges Anwendungsgebiet der Radarfernerkundung sein.

3. Interpretation eines SEASAT-SAR-Bildes der Niederrheinischen Bucht

SEASAT-SAR lieferte die ersten, einem breiten Nutzerkreis zugänglichen Radarbilder von Mitteleuropa. Das vorgestellte Satellitenbild (Abb. 8) der Niederrheinischen Bucht wurde am 28. August 1978 aufgenommen und vom German Space Operation Centre (GSOC) bei der Deutschen Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt (DFVLR) aus 4 Teilbildern digital für die European Space Authority (ESA) prozessiert. Es besitzt den Maßstab 1:250 000 und eine Bodenauflösung von 25 m. Hell werden starke, dunkel schwache Radarechos wiedergegeben. Die Daten lassen sich sowohl analog als auch digital auswerten. Bei einer analogen Auswertung muß man aber berücksichtigen, daß bei der Überführung auf den Film durch dessen begrenzte Grauwertdynamik schon ein erheblicher Informationsverlust eintritt, der bei dem hier vorliegenden Papierabzug noch stärker ist. Die folgende qualitative Beschreibung von Bildstrukturen nach *Grauwert*, *Textur* und *Muster* soll eine Betrachtung der ungewohnten Radarechos erleichtern. Der Grauton der Auflösungszelle ergibt sich aus der Signalintensität des von der Erdoberfläche zurückgeworfenen Radarstrahls als integraler Wert. Die Textur entsteht



Abb. 8: SEASAT-SAR-Bild der Kölner Bucht vom 28. August 1978 aus einer Entfernung von 800 km, digital prozessiert von der DFVLR; Maßstab 1 : 250 000

durch eine, für eine bestimmte Bildgestalt charakteristische räumliche und geometrische Verteilung von Auflösungszellen mit verschiedenen Grauwerten. Das Muster schließlich entsteht dadurch, daß bestimmte Bildgestalten sich derart zueinander ordnen, daß ein Sinnzusammenhang entsteht. Hinweise für weiterführende, quantitative Analysen werden dann an einigen Mikrodensitometermessungen von typischen Baukörperstrukturen der Stadtlandschaft von Köln aufgezeigt.

3.1 Qualitative Bildinterpretation

Das *linksrheinische Stadtgebiet von Köln* ist durch die beiden dunkelgrauen und mit schwarzen Flecken durchsetzten Halbkreise gegliedert. Es sind die beiden, mit Teichen und Baggerseen (spiegelnde Reflexion weg vom Empfänger) durchsetzten Grüngürtel (rel. hohe Rauigkeit) der Stadt. Weiter sind deutlich zu erkennen die sternförmigen Ausfallstraßen (spiegelnde Reflexion des glatten Asphalts), die Rheinbrücken (v. a. die Stahlkonstruktion der Hohenzollernbrücke mit sehr hellem Signal), die Hafenanlagen und das helle Kreuz des Rangierbahnhofs zwischen nördlicher Altstadt und Grüngürtel (Bildausschnitt 1). Die Altstadt (2) selbst fällt durch ihre körnige Textur auf. Aufgrund der sehr inhomogenen Baukörperstrukturen treffen die Radarimpulse in unzähligen Winkelkombinationen auf und die Echos differieren entsprechend von sehr hell bis dunkel.

Der *Rhein* gehört zu den dunkelsten Bildbereichen, jedoch variiert sein Grauwert auf der wiedergegebenen Laufstrecke, insbesondere im Südabschnitt und um Brücken und Schiffe. Hier zeigt sich die durch L-Band und steilen Depressionswinkel gegebene Eignung von SEASAT-SAR zur Erforschung von Wasserflächen, da Wirbel und Wellenstrukturen des Wassers entsprechende Radarechos verursachen. Der östlich des Rheins gelegene Bildteil zeigt einen stark mit Industrie und Siedlungen durchsetzten Agrarraum. Deutlich heben sich einerseits die dunklen und mittelgrauen Ackerparzellen (rel. glatte Oberflächen) von den hellen Baustrukturen (Cornerreflexion) ab. Es ist die *rechtsrheinische Niederterrasse*. In der östlichen Bildecke schließt sich ein Streifen von Waldland an, die *Mittelterrasse*, in der die Einschnitte der Autobahnen und die Rodungsinsel des Köln-Bonner Flughafens zu erkennen sind.

Das linksrheinische *städtische Umland* von Köln zwischen dem Autobahnring und der Ville zeigt einen Wechsel von sehr hellen, scharf begrenzten Flächen (zumeist Trabantensiedlungen mit Cornerreflexion und Industrieanlagen, aber auch landwirtschaftliche Nutzflächen), hellgrauen und fließend begrenzten Flecken (alte Dorfsiedlungen), mittelgrau-körnig texturierten Waldarealen und mittel- bis dunkelgrauen Agrarparzellen. Besonders fallen 2 mehrere Quadratkilometer große Flächen auf, die sich aus Linien mit perlschnurartig aufgereihten weißen Punkten zusammensetzen. Helligkeitsgrad und Muster weisen sie als zum Chemiegürtel der Stadt gehörende Industriekomplexe aus (Bildpunkte 3 und 4). Auch die bedeutenden, rechtwinklig strukturierten, sehr hellen Gebiete an der Leverkusener und Dormagener Rheinschlinge zählen hierzu (Bildpunkte 5 und 6).

Das *Braunkohlenrevier der Ville* erstreckt sich streifenförmig vom unteren bis zum oberen Bildrand und setzt sich aus unterschiedlich hellen, texturierten und gemusterten Teilflächen zusammen. Am unteren Bildrand ist das durch die Autobahn in zwei Hälften getrennte rekultivierte Wald(hellgrau-körnig)- und Seen(schwarz)-Gebiet von Brühl-Liblar zu erkennen. Daran schließt sich der aktive Tagebau von Frechen (südlich der Autobahn), Garsdorf und Frimmersdorf (oberer Bildrand) an. Er ist durch den Wechsel dunklerer Streifen und heller Lineamente gekennzeichnet. Die sehr steilen Böschungen des Tieftagebaus geben je nach Exposition in Bezug auf die Flugbahn ein sehr schwaches oder ein sehr starkes Signal, die Terrassen dagegen werden mittelgrau abgebildet. Zwischen dem Tagebau weisen einheitlich graue Flächen auf mit Wald rekultivierte Abraumhalden hin. Der weiße Überstrahlungseffekt des Kraftwerkes Niederaußem (Cornerreflexion, Bildpunkt 7) sticht besonders hervor.

Von der ca. ein Dutzend Orte umfassenden Siedlungsreihe, die Ville und Börde trennt, gehen von Gymnich, Kerpen und Sindorf die kräftigsten Signale aus. Auf dem Ausschnitt der *Zülpicher Börde* am linken Bildrand dominiert in mittel- bis dunkelgrau — je nach Kultur und Erntestand — die Großblockflur, in die zahlreiche Dörfer eingestreut sind. Zusammen betrachtet ist es erstaunlich, wie gut naturräumliche Einheiten von SEASAT-SAR wiedergegeben werden.

3.2 Quantitative Bildanalyse typischer Baukörperstrukturen des Kölner Stadtgebiets

Zur Quantifizierung transparenter Bildvorlagen hat sich das Mikrodensitometer bewährt. Bei diesem Auswerteverfahren wird mittels einer geeichten Lichtquelle die Transmission der Bildvorlage gemessen. Die Dichte- bzw. Transmissionsmessungen wurden mit dem Mikrodensitometer M III K von Joyce Loeb Ltd. bei der Abt. Luftbildmessung und -interpretation der Universität Freiburg durchgeführt. Geeicht wurde das Gerät mit einem Stufengraukeil zwischen 0,25 und 2,06 D. D ist die optische Dichte der Bildvorlage und errechnet sich aus der prozentualen Transmission $D = \log \frac{100}{T}$. Die Blendenöffnung des Mikrodensitometers ist

quadratisch zwischen 0,005 mm und mehreren Millimetern einstellbar. Für dieses Experiment wurde mit $0,033 \times 0,033 \text{ mm}^2$ eine Spaltöffnung gewählt, die etwas kleiner als die Auflösungszelle im Radarbild ist.

Insgesamt wurden durch 9 ausgewählte Testgebiete mit unterschiedlicher Bebauungsstruktur je 4 Profile mit zusammen 48 Einzelmessungen gelegt, wobei immer 2 Profile längs und quer zur Satellitenflugrichtung angeordnet waren. Die numerische Auswertung der vom Mikrodensitometer aufgezeichneten Dichtewerte ergab eine breite Streuung zwischen 0,57 D (hell) und 1,62 D (dunkel). Die in Tab. 1 niedergelegten Mittelwerte und Standardabweichungen zeigen Unterschiede in den Radarechos entsprechend der Baukörperdifferenzierung.

Die Gleisanlagen des Güterbahnhofs (1) ergaben ein sehr starkes Radarecho bzw. einen geringen Dichtewert auf dem Film. Das gründerzeitliche Villenviertel von

Tab. 1: Mikrodensitometermessung im SEASAT-SAR-Bild des Stadtgebietes von Köln

Bildausschnitt (Abb. 8) Nr.	Stadtteil	Oberflächenstruktur	Mittelwert	Dichte Standard- abweichung
1	Neustadt Nord	Güterbahnhof	0,96	0,22
2	Altstadt Süd	unregelmäßig-dicht- verbaute City	1,28	0,24
8	Marienburg	gründerzeitliches Villenviertel	1,27	0,18
9	Nippes	gründerzeitliche Blockbebauung	1,24	0,23
10	Kalk	Hallen und Anlagen der Motoren- und Maschinenindustrie	1,35	0,18
11	Melaten	Friedhof	1,47	0,13
12	Junkersdorf	alter Dorfkern	1,32	0,22
13	Neustadt Nord	dichte Blockbebauung	1,10	0,24
14	Neustadt Süd	am Innenstadtrand	1,12	0,23

Marienburg (8) hat aufgrund seiner Gartenanlagen etwas höhere Dichtewerte als die Blockbebauung von Nippes (9). Stärker ist allerdings das Echo, das die Blockbebauung der Neustadt (13, 14) hervorruft. Die Altstadt (2) mit ihrer unregelmäßig dichten und hohen Verbauung, die möglicherweise Echoteile verschluckt, hat ein geringeres Signal mit hoher Standardabweichung. Noch schwächer ist dasjenige des alten, relativ locker verbauten Dorfkerns von Junkersdorf (12). Die geringsten Echos erzeugen die Fabrikhallen des Kalker Industrieviertels (10) und die Grünzone des Friedhofs Melaten (11). Derartige Grauwertanalysen sowie entsprechende Texturuntersuchungen und Mustererkennungen können auch digital durchgeführt werden und bilden wichtige Verarbeitungsschritte bei der modernen Satellitenbildauswertung.

4. Ausblick

Die Bedeutung von Radarbildaufnahmesystemen trat in den vergangenen Jahren bei den Befliegungen der amerikanischen und afrikanischen Regenwaldgebiete (z. B. Projecto RADAM in Amazonien) mit ihren hohen Bewölkungsgraden klar hervor. Noch ist aber die Sensor- und Systementwicklung nicht abgeschlossen. SEASAT-SAR war ein 1-Kanal-System, welches für großräumige Erduntersuchungen geeignet, für verschiedene Anwendungsgebiete insbesondere der Land- und Forstwirtschaft aber nur begrenzt nutzbar ist. Im Rahmen des MRSE (Microwave Remote Sensing Experiment) — Projektes ist für Mitte der 80er Jahre mit SPACELAB ein weiteres 1-Kanal-SAR-Experiment der NASA in Vorbereitung. In Europa führte die ESA im Sommer 1981 die großangelegte Befliegungskampagne „SAR 580“ durch. In Deutschland befanden sich Testgebiete am Oberrhein, in Oberbayern und im Nordseeküstenraum. Es handelt sich hierbei um ein 6-Kanal-System (X-, C- und L-Band mit je 2 Polarisationen), welches vom Flugzeug aus Bilddaten hoher Auflösung liefert. Hierbei soll einem internationalen Nutzerkreis die Gelegenheit gegeben werden, die Möglichkeit eines Mehrkanal-Systems zu erproben. Ferner sollen die Ergebnisse dieses Experiments Hinweise auf die technisch optimalen Parameter und die entsprechende Anwendbarkeit zukünftiger Einkanalssysteme liefern.

Satelliten- und flugzeuggetragene Fernerkundungssysteme im optischen, infraroten und Mikrowellen-Bereich des elektromagnetischen Spektrums werden in diesem Jahrzehnt eine Fülle neuer Möglichkeiten der Erderkundung eröffnen. Schwierigkeiten sind dabei weniger durch die Sensortechnologie, als vielmehr bei der Bewältigung der anfallenden Datenflut zu erwarten.

5. Literatur

- American Society of Photogrammetry: Manual of Remote Sensing. Falls Church, Va., 1975.
DEANE, R. A.: Side-looking Radar Systems and their potential Application to Earth Resource Survey. Vol. 1, Basic Principles of Side-looking Radar. EASAMS-Report August 1972, 86 S.

- DEANE, R. A. und A. R. DOMVILLE: Side-looking Radar Systems and their potential Application to Earth Resource Surveys Vol. 2, Radar Scattering from Natural Surfaces. EASAMS-Report, August 1972, 28 S.
- JENSEN, H., L. C. GRAHAM, L. J. PORCELLO und E. N. LEITH: Side-looking Airborne Radar. Scientific American 237 (1977), S. 84—95.
- LARSON, R. W. und E. SCHANDA: Microwave sensors and sensor systems. Proceedings 12th. Intern. Symposium on Remote Sensing of Environment. Manila 1978, S. 297—321.
- LEBERL, F.: Radargrammetry for Image Interpreters. International Institute for Aerial Survey and Earth Sciences. Enschede (The Netherlands), 2. Aufl. 1978.
- LEWIS, A. J. [Hg.] Geoscience Applications of Imaging Radar Systems. Remote Sensing of the Electromagnetic Spectrum, Vol. 3, No. 3, 1976.
- Liegenschaftsamt der Stadt Köln, Vermessungsabt.: Stadtplan Köln, 1:25 000, Stand 1. 1. 1980.
- LILLESAND T. M. und R. W. KIEFER: Remote Sensing and Image Interpretation. New York-Chichester-Brisbane-Toronto. 1979, 612 S.
- MOORE, R. K. und G. C. THOMANN: Imaging Radars for Geoscience Use. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). Transactions on Geoscience Electronics, Vol. GE-9, No. 3, July 1971, S. 155—164.
- PARRY, J. T.: Interpretation Techniques for X-Band SLAR. Proceedings 4th. Canadian Symposium on Remote Sensing, Quebec 1977, S. 376—394.
- SCHANDA, E.: Remote Sensing of the Environment. Naturwissenschaften 65 (1978), S. 169—173.
- SCHANDA, E.: Satellite-Generated Radar Images of the Earth. Naturwissenschaften 67 (1980), S. 169—173.
- SCHLUDE, F.: Ein Experimental-Radargerät zur Erdbeobachtung vom Flugzeug aus. Bildmessung und Luftbildwesen 46 (1978), S. 123—132.
- SCHNEIDER S.: Luftbild und Luftbildinterpretation. Lehrbuch der Allgemeinen Geographie. Bd. XI, Berlin-New York 1974, 530 S.
- SHUCHMAN, R. A., R. F. RAWSON und B. DRAKE: A dual frequency and dual polarization synthetic aperture radar system and experiments in agriculture assessments. Proceedings of the National Aerospace and Electronics Conference, Dayton (Ohio) 1975, S. 133—140.
- TELEKI, P. G. und R. O. RAMSEIER: The Seasat — A Synthetic Aperture Radar Experiment. Proceedings of the International Symposium on Remote Sensing, Freiburg, 1978. Internat. Archives of Photogrammetry, Vol. XXII-7 (1978), S. 93—114.
- ULABY, F. T. und M. C. DOBSON: Analysis of the Active Microwave Response to Soil Moisture, Part I: Bare Ground. Remote Sensing Laboratory, University of Kansas, Techn. Report 264-18, Lawrence (Kansas), 1977, 36 S.
- ULABY, F. T., G. A. BRADLEY und M. C. DOBSON: Microwave Backscatter Dependence on Surface Roughness, Soil Moisture and Soil Texture, Part. II: Vegetation-Covered Soil. Remote Sensing Laboratory Tech. Report 264—19, The University of Kansas, Center for Research, Inc., Oct. 1978.
- WEDLER, E.: Spectral Terrain Analysis by Airborne Remote Sensing. M. A. Sc. Thesis (unveröffentl.) University of Toronto 1977, 149 S.
- WEDLER, E. und R. KESSLER: Interpretation of Vegetative Cover in Wetlands Using Four-Channel SAR Imagery. Techn. Papers of the American Soc. of Photogrammetry 1981, 47th Annual Meeting, Washington, D. C., S. 111—124.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Berichte der naturforschenden Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau](#)

Jahr/Year: 1981/1982

Band/Volume: [71-72](#)

Autor(en)/Author(s): Endlicher Wilfried, Kessler Ralf

Artikel/Article: [Geowissenschaftliche Radarbildinterpretation 17-34](#)