

internationale Zusammenarbeit zustande gebracht werden kann. Den amerikanischen Fachleuten ist, wie bei der Tagung erfreulicherweise mehrmals betont wurde, daran äußerst gelegen. Sie müßte zunächst einmal damit einsetzen, daß in verschiedenen geographischen Zonen der Erde günstige Versuchsgebiete ausgewählt werden, an Hand derer verschiedene Erkundungssysteme getestet und geeicht werden könnten. Zu einem späteren Zeitpunkt, während des tatsächlichen Satelliteneinsatzes, müßte gefordert werden, daß regionale Datenzentren eingerichtet würden, von denen man auf Anfrage alle Informationen ohne Einschränkungen irgendwelcher Art erhalten könnte. Leider ist mit Bestimmtheit zu erwarten, daß sich den rein wissenschaftlichen Motiven, die dem geographischen Satellitenprojekt der NASA zweifellos zugrunde liegen, nicht geringe Hemmnisse politischer Art in den Weg stellen werden. Insbesondere was die praktische Realisierung weltweiter Venturen anbelangt, darf man deshalb sicher nicht allzu optimistisch sein. Trotzdem ist zu hoffen, daß sich mit der Zeit alle Nationen der Erde im eigenen Interesse zu einem Denken globaler Art zusammenfinden werden.

#### Literatur

- ALEXANDER, R. H.: Geographic Data from Space. Prof. Geographer, 16 (6): 1-5, 1964.
- BERRY, B. J. L.: A Note Concerning Methods of Classification. Annals Assoc. Amer. Geogr., 48 (3): 300-303, 1958.
- BIRD, J. B. und MORRISON, A.: Space Photography and its Geographical Applications. Geogr. Rev., 54 (4): 463-486, 1964.
- BIRD, J. B., MORRISON, A. und CHOWN, M. C.: World Atlas of Photography from TIROS Satellites I to IV. NASA Contractor Rep. No. 98, 152 S., NASA, Washington, D. C., 1964.
- COLWELL, R. N.: Some Practical Applications of Multiband Spectral Reconnaissance. Amer. Scientist, 49 (1): 9-36, 1961.
- COLWELL, R. N. et al.: Basic Matter and Energy Relationships Involved in Remote Reconnaissance. Rep. of Subcommittee I, Photo Interpr. Committee, Amer. Soc. of Photogramm., Photogramm. Engin., 29 (5): 761-799, 1963.
- COLWELL, R. N.: Uses of Aerial Photography for Livestock Inventories. Annual Meeting, Agric. Research Institute, 11 S., Okt. 1964.
- HAEFNER, H.: Moderne Lufterkundungssysteme (Remote Sensing of Environment). Neue Zürcher Zeitung, Nr. 3382-84, Zürich, 18. Aug. 1965.
- LEONARDO, E. S.: Capabilities and Limitations of Remote Sensors. Photogramm. Engin., 30 (6): 1005-1010, 1964.
- MOLINEUX, C. E.: Multiband Spectral System for Reconnaissance. Photogramm. Engin., 31 (1): 131-143, 1965.
- Office of Naval Research: Geographic Research Program for Earth-Orbiting Missions. Summary of a Proposal to NASA, 15 S., Washington, D. C. 1964.
- PORTER, P. W.: Population Distribution and Land Use in Liberia. Ph. D. Diss. Manusk., 213 S., Dept. of Geography, London School of Economics and Polit. Science, London, 1956.
- STEINER, D.: Die Faktorenanalyse - ein modernes statistisches Hilfsmittel des Geographen für die objektive Raumlagerung und Typenbildung. Geographica Helvetica, 20 (1): 20-34, 1965.

## NEUE VERFAHREN DER LUFTERKUNDUNG UND IHRE ANWENDUNGSMÖGLICHKEITEN

Mit 7 Abbildungen und 4 Luftbildern

HAROLD HAEFNER

### I. Einleitung

Die letzten Jahre haben auf dem Gebiet der Lufterkundung gewaltige Fortschritte gebracht und zahlreiche neue Methoden für die wissenschaftliche Forschung erschlossen, und zwar sowohl in technischer (Aufnahmeverfahren, Neukonstruktion und Verbesserung von Instrumenten) als auch in methodologischer (Interpretationsmethodik, Automation) Hinsicht. Die ERDKUNDE hat immer wieder über derartige Fortschritte berichtet, z. B. in den Arbeiten von SCHMIDT-KRAEPELIN (Method. Fortschritte der Luftbildinterpretation 1958-60) und STEINER (Luftaufnahme und Luftbildinterpretation in der Sowjetunion 1963) etc. Während STEINER im gleichen Heft der ERDKUNDE über die neuen Perspektiven berichtet, die sich aus der Erschließung des Weltraumes für die Luftbildinterpretation eröffnen, soll hier auf neue Typen von Luftbildern, ihre Entstehungsweise und Aussagemöglichkeiten aufmerksam gemacht werden.

An Stelle des konventionellen schwarzweißen Luftbildes werden heute immer häufiger andere Filmtypen (Infrarot, Farb-, False-Color-Film etc.) verwendet. Daneben wurden aber eine ganze Reihe weiterer Lufterkundungssysteme entwickelt, die auf davon ganz verschiedenen physikalischen Grundlagen und technischen Konstruktionsprinzipien beruhen und entsprechend verschiedenartige und vielseitige Ergebnisse zu liefern vermögen. Ein Blick auf das elektromagnetische Spektrum (Abb. 1) zeigt, wie klein der Anteil des sichtbaren Lichtes ist (und damit ungefähr derjenige der konventionellen Photographie) und welche große Bereiche daneben zur Verfügung stehen, wenn diese elektromagnetischen Wellen erfaßt, sichtbar und damit einer Auswertung zugänglich gemacht werden können.

Es braucht nicht besonders betont zu werden, daß diese neuen Verfahren ursprünglich für militärische Zwecke gebaut und verwendet wurden, weshalb auch heute noch viele technische Daten und fast alle der gemachten Aufnahmen unter militärischer Klassifikation stehen. Sehr schnell wurden aber auch Wert und Einsatzmöglichkeiten dieser Systeme für die Wissenschaft erkannt und genutzt. So werden einige von ihnen bereits in weiterreichendem zivilen Einsatz gebraucht, insbesondere für erdwissenschaftliche Untersuchungen aller Art, während andere immer noch im Experimentier- und Teststadium stecken. Die rasche technische Verbesserung der Instrumente bringt laufend neue Anwendungsmöglichkeiten mit sich. Die Entwicklung ist in vollem Fluß, weshalb vielfach keine endgültige Stellungnahme über Wert und Einsatzmöglichkeiten eines Systems gegeben werden kann. Erst die Klärung seiner technischen Grenzen wird erkennen lassen, ob die erzielbaren Resultate den technischen Aufwand rechtfertigen.

Grundsätzlich unterscheidet man passive und aktive Systeme. Die passiven registrieren Strahlun-

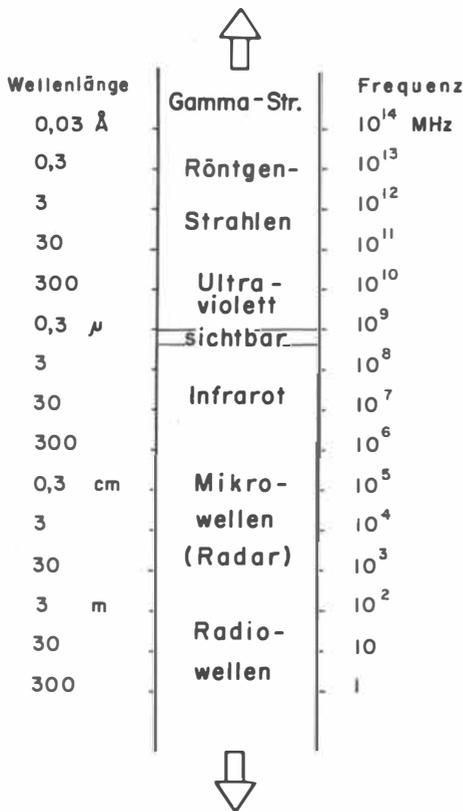


Abb. 1: Ausschnitt aus dem elektromagnetischen Spektrum

gen, die vorhanden sind, ob das Gerät nun arbeitet oder nicht (z. B. reflektiertes Sonnenlicht), während die aktiven (z. B. Radar) eine eigene Energiequelle besitzen und selbsttätig elektromagnetische Strahlung aussenden, wobei dann der vom Erdboden reflektierte Betrag wieder aufgefangen und registriert wird.

Im amerikanischen Sprachgebrauch wird die Gesamtheit dieser Lufterkundungsverfahren unter dem Oberbegriff „remote sensing of environment“ zusammengefaßt. Darunter verstehen wir die Messung gewisser Eigenschaften eines Objektes aus Distanz, d. h. ohne daß Meßinstrument und Objekt miteinander in Kontakt sind. Es handelt sich also vorzugsweise um Aufnahmen von Objekten an der Erdoberfläche aus der Luft. Ein entsprechender deutscher Begriff fehlt. Gemessen werden im wesentlichen folgende Eigenschaften:

1. Kraftfelder: (Magnetismus, Schwerefeld, elektr. Leitfähigkeit) mit Magnetometern, Gravimetern, Elektromagnetometern etc.
2. Elektromagnetische Strahlen praktisch aller Wellenlängen (Remission, Emission, Transmission, Absorption) mittels Kameras, Infrarot-Detektoren, Radarsystemen, Mikro- und Radiowellenempfängern etc.
3. Akustische Energie: mittels Seismographen etc.
4. Radioaktivität mit Szintillometern etc.

Für erdkundliche Untersuchungen sind vor allem die verschiedenen Systeme interessant, die elektromagnetische Strahlungen verschiedenster Wellenlänge zu registrieren vermögen. Was für Möglichkeiten und Resultate von Wellenlängenbereich zu Wellenlängenbereich des elektromagnetischen Spektrums (Abb. 1) sich erzielen lassen sowie die dabei angewandten Aufnahmeverfahren samt ihren elementaren technischen Grundlagen, sollen im folgenden näher beschrieben und ihr spezieller Informationsgehalt an Hand entsprechender Bilder erläutert werden. Aus der unterschiedlichen Strahlungscharakteristik lassen sich jeweils die wesentlichen Anwendungsgebiete, die Vorteile und auch die Grenzen der einzelnen Systeme erkennen.

Daneben soll ein möglichst umfassendes Literaturverzeichnis über die meist in Englisch geschriebene und oft nicht leicht zugängliche Literatur gegeben werden. Ganz besonders sei an dieser Stelle auf die in periodischen Abständen stattfindenden Symposia an der University of Michigan, Ann Arbor über „remote sensing of environment“<sup>1)</sup> und die darüber publizierten „Proceedings“<sup>2)</sup> hingewiesen. Sie berichten jeweils über den neuesten Entwicklungsstand und die Forschungsergebnisse. Wie schnell das Interesse auf diesem Sektor zunimmt, vermag allein schon die Tatsache zu zeigen, daß beim ersten Symposium, 1962, 18 Beiträge auf 124 Seiten zur Sprache kamen, beim dritten, 1964, aber bereits deren 53 auf 821 Seiten.

## II. Photographie

Der Bereich des sichtbaren Lichtes enthält die heute gebräuchlichsten und am weitesten verbreiteten Erkundungssysteme, die verschiedenen Arten der Luftphotographie, aufgenommen mit einer Kamera. Aufnahmeverfahren und Interpretationsmethoden sind bekannt und vielfach beschrieben worden<sup>3)</sup>. Es soll nicht weiter darauf eingegangen werden.

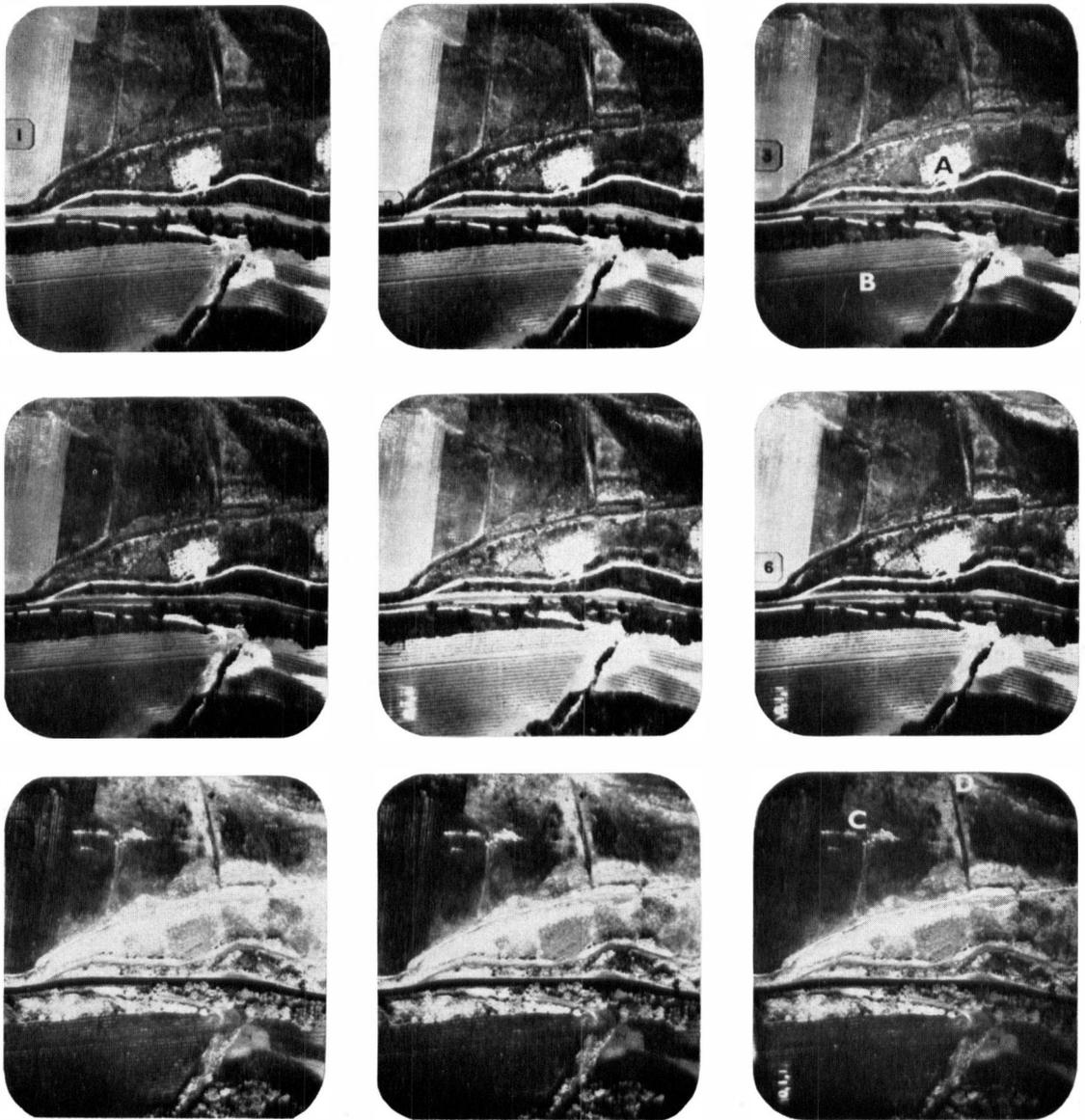
Neuer sind dagegen die Bestrebungen, nicht mehr den gesamten zur Verfügung stehenden Empfindlichkeitsbereich eines Filmes zu benutzen, sondern davon schmale Ausschnitte, z. B. eine einzelne Farbe, „herauszuschneiden“, die für eine bestimmte Aufgabe ganz besondere Vorteile, d. h. möglichst große Tonkontraste, versprechen. Dies geschieht mit Hilfe geeigneter Film/Filter-Kombinationen oder mit Interferenzfilter. Voraussetzung für ein derartiges Vorgehen sind Messungen der spektralen Reflexion einzelner Objekte und Oberflächenmaterialien über einen möglichst weiten Bereich des Spektrums<sup>4)</sup>. Eine wesentliche Steigerung des Informationsgehaltes wird erreicht, wenn gleichzeitig mehrere derartige Ausschnitte (Bänder) aus dem sichtbaren Spektrum aufgenommen und miteinander

<sup>1)</sup> Das nächste Symposium findet vom 12.–14. 4. 1966 statt.

<sup>2)</sup> Die Beiträge aus den Proceedings können nicht einzeln im Literaturverzeichnis aufgeführt werden.

<sup>3)</sup> Allg. Lehrbücher hierzu: *Manual of Photographic Interpretation*, Washington 1960, R. CHEVALLIER: *Photographie Aérienne*, Paris 1965. *ITC-Textbook Photo-Interpretation*, Delft.

<sup>4)</sup> Arbeiten zu diesem Thema liegen vor allem vor von: KRINOV, 1947; OLSON, 1964; ORR, 1963 etc.



**Luftbild 1:** Aufnahmen einer ITEK-9-Linsen-Multiband-Kamera:  
 Boden ohne Vegetation (A); bepflanztes Feld mit unterschiedlichem Feuchtigkeitsgehalt (B); spez. Baumart (C);  
 Bäume und Gebüsch (D)  
 Empfindlichkeitsbereiche in  $m\mu$ : 1 = 400–500; 2 = 450–510; 3 = 520–550; 4 = 550–600; 5 = 590–640; 6 = 670–720;  
 7 = 700–800 (IR); 8 = 810–900 (IR); 9 = ges. Empfindlichkeitsbereich des IR-Films. (Mit freundlicher Bewilligung  
 der ITEK Laboratories, Palo Alto, Californien)

kombiniert werden können. Im Amerikanischen bezeichnet man dieses gleichzeitige Verwenden verschiedener Wellenlängenbereiche als „*multiband spectral reconnaissance*“.

Als momentanes Spitzenprodukt auf diesem Gebiet darf die *ITEK 9-Linsen Multiband Kamera* angesehen werden, bei der jede Linse jeweils nur einen schmalen Ausschnitt (zwischen 30–110  $m\mu$ ) des sichtbaren Lichtes und nahen Infrarots aufnimmt. Luftbild 1 zeigt die dabei simultan entstehenden 9 verschiedenen Bilder des gleichen Landschaftsausschnittes mit den von

Bild zu Bild veränderten Kontrastverhältnissen. Besonders eindrücklich kommen dabei die Wechsel bei verschiedenen Boden- und Vegetationstypen zum Ausdruck.

Die Anwendung dieser Mehrbereichs-Photographie dürfte sich vor allem bei nachstehenden Untersuchungen als vorteilhaft erweisen:

**Vegetationskunde, Land- und Forstwirtschaft:** Bestimmung einzelner Arten, ihrer Verteilung, Mischungsverhältnisse und Standortsdifferenzierungen; der Nutzungssysteme; von Wuchs-

kraft, Ertrag, Pflanzenkrankheiten und Mangelerscheinungen bei allen möglichen phänologischen Zuständen.

**Pedologie:** Bestimmung der Bodenverhältnisse auf Grund der Vegetation; des Bodentyps; des Feuchtigkeitsgehaltes; der gegenwärtigen und ehemaligen Nutzungssysteme: fossiler Böden etc.

**Länderkunde:** Für allgemeine Inventarisierungen aller Art, für formale und funktionale Strukturanalysen, insbesondere aber für kulturlandschaftsgeschichtliche Untersuchungen etc.

### III. Infrarot

IR-Aufnahmen entstehen in zwei in ihrer Art völlig verschiedenen Techniken. Im unmittelbar an das sichtbare Licht anschließenden *nahen* oder *photographierbaren IR* ( $0,7-1,5 \mu$ ) wird das an der Erdoberfläche selektiv reflektierte Sonnenlicht mit Hilfe geeigneter Filmemulsionen registriert. Es ergeben sich keinerlei prinzipielle Unterschiede zur Photographie im Bereich des sichtbaren Lichtes. Die im vorangehenden Kapitel gemachten Ausführungen gelten daher auch für diese Art Luftbilder. Im Amerikanischen unterscheidet man diese „*IR-photography*“ begrifflich klar von der zweiten Art, der „*IR-imagery*“.

#### Indirekte IR-Bilder:

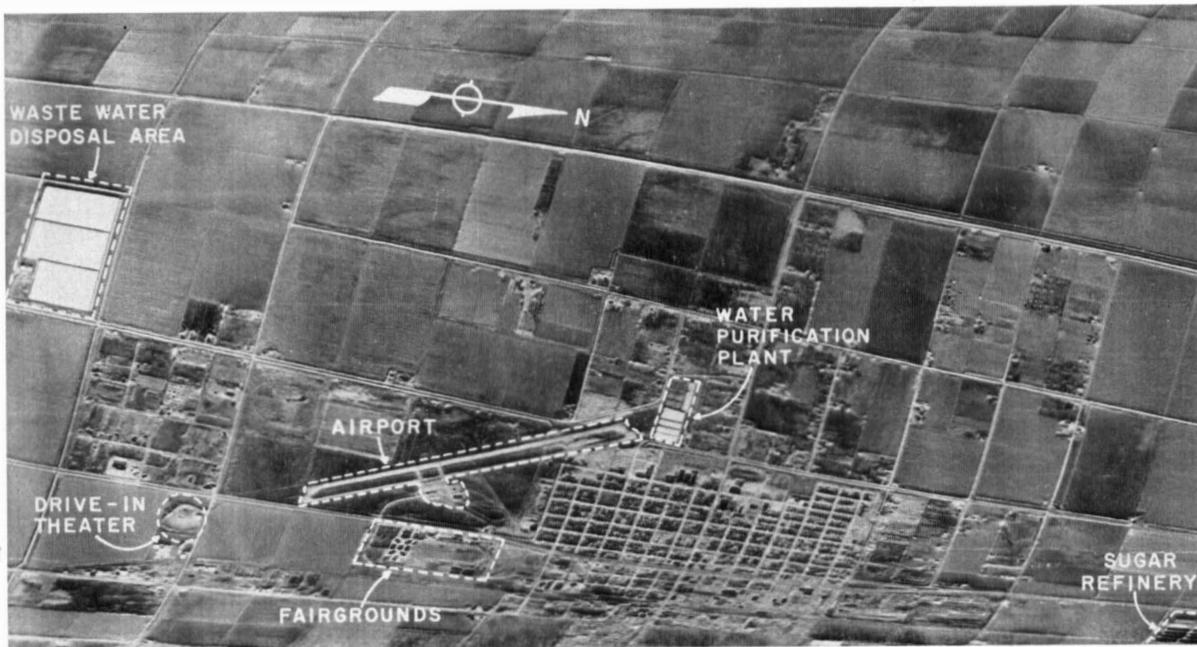
Diese entstehen auf ganz anderem, indirekten Weg. Die Strahlungen des mittleren und fernen IR's müssen mit geeigneten Detektoren in Kombination mit einem Abtastgerät (scanner) aufgefangen und die dabei entstehende Energie anschließend in sichtbares Licht umgewandelt werden. Damit kann dann ein gewöhnlicher

Filmstreifen belichtet und ein Luftphoto erstellt werden. Nicht mehr der Betrag des reflektierten Sonnenlichtes verursacht hier die Grautondifferenzen, sondern die Ausstrahlung der Objekte, die *Emission*, die wir als Wärmestrahlung empfinden. Im IR-Bereich nimmt das Reflexionsvermögen mit zunehmender Wellenlänge rasch ab; von ca.  $3 \mu$  an dominiert dafür das Emissionsvermögen.

Luftbild 2 zeigt ein derartiges „IR-Image“, ein indirektes IR-Photo. Die Unterschiede gegenüber dem bekannten Luftbild treten deutlich hervor, so z. B. in der sehr hellen Abbildung der Wasseroberflächen, der rel. dunklen Tönung der Flugplatzpiste etc.

Alle Objekte strahlen Energie aus, solange ihre Temperatur über dem absoluten Nullpunkt liegt. Die Intensität der Ausstrahlung, die Emission eines Objektes ist dabei direkt proportional zum Emissionsvermögen, das von der Art der Oberflächenbeschaffenheit abhängt, und zur 4. Potenz der Temperatur. Generell gesehen strahlt die Erdoberfläche Energie aus, deren Spektrum annähernd demjenigen eines Schwarzkörpers bei  $300^\circ$  Kelvin entspricht, mit einem Maximum bei  $9,5 \mu$ . Dazu kommt tagsüber das reflektierte Sonnenlicht, dessen Spektrum sich demjenigen eines Schwarzkörpers bei  $6000^\circ$  Kelvin mit einem Max. bei  $0,5 \mu$  annähern läßt. Ein Schwarzkörper gilt als perfekter Strahlungskörper, der alle einfallende Energie absorbiert und nachher wieder ausstrahlt als Funktion seiner Temperatur. Da es praktisch keine idealen Strahlungskörper gibt, sondern alle Objekte eher Graukörpern gleichzusetzen sind, ergeben sich entsprechende Modifizierungen in der Emission.

Die von der Erdoberfläche ausgestrahlte Energie wird selektiv von der Atmosphäre absorbiert, insbe-



Luftbild 2: IR-Nachtaufnahme  
Farm-Gebiet und Kleinstadt aus dem Südwesten der Vereinigten Staaten  
(Mit freundlicher Bewilligung der HRB Singer Inc., State College, Penns.)

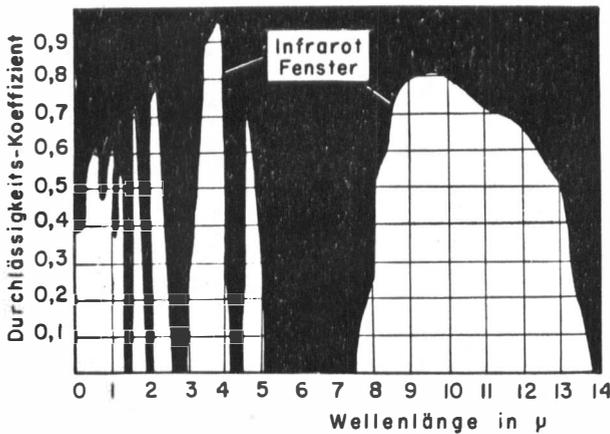


Abb. 2: Durchlässigkeitsspektrum der Atmosphäre (nach PARKER, in Lit. 47)

sondere durch H<sub>2</sub>O- und CO<sub>2</sub>-Moleküle. Abb. 2 veranschaulicht die Durchlässigkeits-Charakteristik der Atmosphäre für diesen Bereich. Nur Wellenlängen, die innerhalb der sog. IR - Fenster liegen, werden die im Flugzeug montierten Detektoren erreichen, die daher so konstruiert sein müssen, daß ihre maximale Empfindlichkeit in einen dieser Bereiche zu liegen kommt. Insbesondere das breite Fenster zwischen 7-14 μ ist hierfür geeignet.

**Vorteile:** Sie ergeben sich vor allem aus der Tatsache, daß für eine Aufgabe kein direktes Sonnenlicht und gutes Flugwetter mit wolkenlosem Himmel mehr nötig sind. Das System arbeitet bei Tag und Nacht, bei Nebel und geringer Wolkenbedeckung (dicke Wolken, Schnee und Regen dagegen absorbieren diese Strahlen weitgehend). Weitere Vorteile sind die relativ gute Bodenauflösung (etwas schlechter als bei der Photographie, besser als bei Radar), die es ermöglicht, auch kleine Objekte sichtbar zu machen, wenn sich ihre Emission stark von derjenigen der Umgebung abhebt, sowie die relativ einfache und leichte Bauweise der Geräte.

**Anwendungsgebiete:** Sie sind außerordentlich vielfältig und für zahlreiche Aufgaben erfolgreich erprobt. Der Einsatz empfiehlt sich vor allem, wenn nicht auf gutes Flugwetter gewartet werden kann (Militär, Eisüberwachung für die Schifffahrt). Aufschlußreiche Resultate sind besonders zu erwarten, wenn mit Hilfe von Temperaturdifferenzen operiert werden kann, wie z. B.:

**Militär:** Erkundung nächtlicher Truppenbewegungen (warmer Motor und Auspuffgase laufender Fahrzeuge); Lokalisierung von Industrien (auch unterirdischer), von Feuern unter schützendem Walddach etc.

**Meteorologie:** Aufnahme der Wolkenfelder in der Nacht (z. B. mit NIMBUS-Wettersatellit), Verlauf von Wirbelstürmen, Gewittern etc.; Temperatur der Wolkenoberfläche etc.

**Ozeanologie:** Bestimmung der Oberflächentemperaturen; von Ausdehnung, Verlauf und Veränderungen warmer und kalter Meeresströmungen.

**Eisüberwachung:** Laufende Kontrolle der

Eisberge und Eisschollen in polaren Gewässern (Polarnacht) für die Schifffahrt (Lage, Größe, Bewegung); Bestimmung von Eisdicken etc.

**Glaziologie:** Lokalisation oberflächlich nicht sichtbarer Gletscherspalten, von Entwässerungssystemen etc.

**Hydrologie:** Bestimmung von Grundwasserläufen in homogenem Material (z. B. Schotter), von Quellen etc.

**Abwässerkartierung:** Kartierung unbekannter Abwassereinläufe in öffentliche Gewässer, ihre Ausdehnung und Einwirkungen (Unterscheidung besser auf Grund der Wärmedifferenzen als des Farbtons).

**Vulkanologie:** Differenzierung zwischen tätigen und erloschenen Vulkanen und Kratern; Bestimmung der Zone größter Aktivität, von Veränderungen in der Wärmebilanz; Verlauf eines Ausbruchs. Ziel: Rechtzeitige Voraussage eines Vulkanausbruchs.

Lokalisation heißer Quellen (auch unter Wasser), von Gasaustritten etc.

**Geologie, Geomorphologie:** Geologische Kartierung (Trennung von Schichten an Hand des unterschiedlichen Emissionsvermögens); Separierung von Oberflächenmaterialien wie Sand, Kies, Grundmoräne, Löß etc.; Tektonische Analysen, Spaltensysteme etc., Trennung von gefrorenem und aufgetautem Boden; Grenze des Dauerfrostbodens etc.

**Pedologie:** Aussagen über die Bodenverhältnisse, spez. den Feuchtigkeitsgehalt.

**Vegetation:** Bessere Differenzierung gewisser Vegetationsaspekte, spez. in Verbindung mit der Bodenbeschaffenheit und dem Feuchtigkeitsgrad; Standortsdifferenzierungen etc.

**Forstwirtschaft:** Lokalisation von Waldbränden, resp. von schwelenden Feuerherden, hervorgerufen durch Blitzschlag, in der Nacht nach einem abendlichen Gewitter. Ausdehnung und Verlauf eines Brandes, Lage der Hauptzentren etc. (wenn infolge der großen Rauchentwicklung mit der gewönl. Photographie nichts mehr ausgerichtet werden kann). Das gleiche gilt auch für Grasbrände.

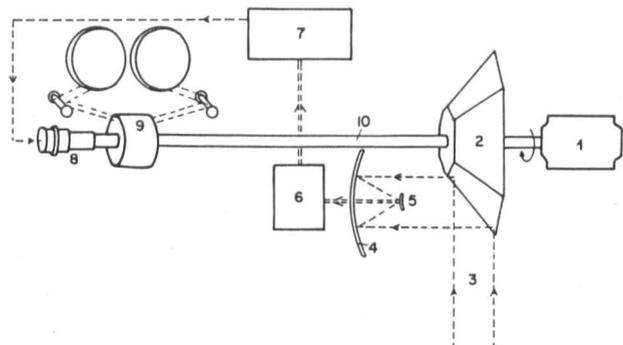


Abb. 3: Schema eines IR-Abtastgeräts  
1 Antriebsmotor; 2 prismat. Mehrzellenspiegel; 3 einfalende Strahlen; 4 Hohlspiegel mit Loch; 5 Konkavspiegel; 6 Detektor; 7 Verstärker; 8 und 9 Anzeigergeräte (Neonröhre und Film)

**Bergbau:** Auffinden unterirdischer Feuer, spez. von Bränden in aufgegebenen Zechenarealen, in Kohlen- und Schlackenhalde etc.

**Aufnahme-System:** Das Prinzip eines Abtastgerätes geht aus Abb. 3 hervor. Das Gelände wird durch einen rotierenden Spiegel (Plan- oder prismat. Mehrzellenspiegel) linienweise abgetastet. Die auftreffende Strahlung wird durch ein optisches System gesammelt und auf den Detektor geleitet. Dieser registriert den Betrag der ankommenden Energie und verwandelt ihn in einen entsprechend starken elektrischen Impuls, der über einen Verstärker auf das Anzeigergerät geleitet wird. Die Sichtbarmachung kann auf verschiedene Art erfolgen, z. B. in Form einer graphischen Kurve (Abb. 6), oder – in den meisten Fällen – durch erneute Umwandlung der elektrischen Energie in sichtbares Licht, mit dem dann ein konventioneller Film belichtet werden kann. Daraus ergeben sich die indirekten IR-Bilder (IR-imagery).

Es gibt bereits eine ganze Reihe verschiedener Detektoren-Typen, die in unterschiedlichen Wellenlängenbereichen des IR's, spez. des mittleren, empfindlich sind. Sie funktionieren ähnlich wie eine Photozelle, indem die Intensität der auftreffenden Strahlung analoge Veränderungen gewisser Eigenschaften (z. B. des elektrischen Widerstandes) bewirkt. Es sind zumeist dünne Membrane eines halbdurchlässigen Materials (z. B. mit Germanium oder Gold gedoptes Kupfer). Abb. 4 zeigt den Empfindlichkeitsbereich einiger Detektoren.

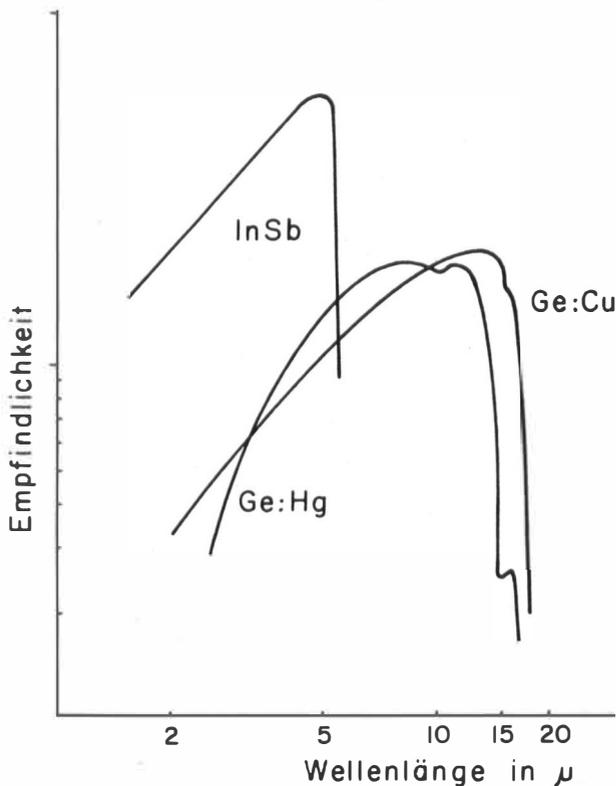


Abb. 4: Empfindlichkeitsspektrum einiger IR-Detektoren (nach HARRIS und WOODBRIDGE)

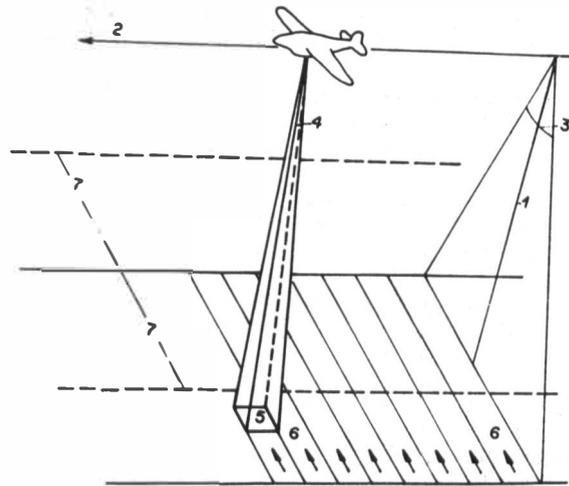


Abb. 5: Aufnahmetechnik mit IR-Abtastgeräten: 1 Flughöhe; 2 Flugrichtung; 3 Gesamtbreite des erfaßten Geländeausschnittes; 4 Winkelbreite des augenblicklichen Gesichtsfeldes; 5 augenblickliches Gesichtsfeld; 6 abgetasteter Geländestreifen und Abstrichrichtung; 7 Lage des nächsten Flugstreifens für stereoskopische Überdeckung

Da die vom Spiegel aufgefangene Strahlung eine Kombination von Emission und Reflexion darstellt, müssen, zumindest bei Tagesaufnahmen, die Wellenlängen kleiner als  $3\mu$  weggefiltert werden, um die Reflexion auszuschalten. Je länger der Wellenlängenbereich, in dem der Detektor arbeitet, desto stärker muß er gekühlt werden, um ein einwandfreies Funktionieren zu garantieren.

**Aufnahmetechnik:** Eine der gebräuchlichsten Aufnahmetechniken ist in Abb. 5 dargestellt. Der rotierende Spiegel ist so montiert, daß er das Gelände streifenförmig, quer zur Flugrichtung abtasten kann. Die Fortbewegung des Flugzeuges bewirkt, daß beim nächsten Umgang der anschließende Geländestreifen aufgenommen wird usw. Entscheidend ist, daß auf einmal am Boden eine möglichst kleine Fläche, das augenblickliche Gesichtsfeld (in Winkelgraden angegeben), erfaßt wird. Davon hängt das Auflösungsvermögen ab. Der Detektor registriert Emissionsunterschiede zwischen diesen einzelnen augenblicklichen Gesichtsfeldern. Die Breite des abgetasteten Streifens in der Flugrichtung und damit die Größe des augenblicklichen Gesichtsfeldes ist direkt proportional zur Flughöhe. Die minimal notwendige Streifenanzahl für eine lückenlose Geländeüberdeckung ergibt sich dann aus folgender Formel (nach HARRIS und WOODBRIDGE):

$$X = \frac{v}{h \cdot \alpha}$$

wobei: X = Streifenanzahl pro Sek.  
v = Fluggeschwindigkeit  
h = Flughöhe üG  
α = Winkel des augenblicklichen Gesichtsfeldes.

Analog der punkt- und streifenförmigen Aufnahme des Geländes erfolgt im Anzeigergerät eine entsprechende Belichtung des Filmstreifens. Es entstehen dabei also keine Einzelbilder, sondern ein zusammenhängender Streifen. Für die stereoskopische Bildbetrachtung

muß die nächste Fluglinie so angelegt werden, daß eine genügende Querüberdeckung entsteht. Bei flachem Gelände ist die genaue Einstellung der Rotationsgeschwindigkeit des Spiegels und synchron der Durchlaufgeschwindigkeit des Films relativ einfach. Schwieriger hingegen wird es bei gebirgigem Gelände (d. h. bei ständig veränderlichem „h“ in obiger Formel). Es wurden daher spezielle Geschwindigkeit-Höhen-Rechner konstruiert, die die Geschwindigkeiten im Scanner automatisch den topographischen Verhältnissen anzupassen vermögen.

Das Auflösungsvermögen wird durch die Winkelöffnung des augenblicklichen Gesichtsfeldes gegeben. Heute sind Geräte bis zu 3 Bogenminuten möglich, doch hofft man es noch bis auf 1 Min. einengen zu können.

**Beispiel:** Bei einer Flughöhe von 10 km und einer Winkelauflösung von 3' beträgt die gleichzeitig erfaßte Bodenfläche, die Bodenauflösung ca.  $10 \times 10$  m. Ein gebräuchlicher panchromatischer Film hätte im Vergleich eine Bodenauflösung (10 km üG,  $f = 153$  mm, durchschn. Auflösungsvermögen 15 Linien/mm) von ca. 2,2 m.

#### Problematik der Interpretation:

Die im Detektor auftreffende Strahlung ist von verschiedenen Variablen abhängig, insbesondere von der Oberflächentemperatur der Gegenstände (die sich mit der Tageszeit kontinuierlich ändert), ferner aber auch vom Wechsel der täglichen Strahlungsintensität der Sonne, vom Absorptionsvermögen der Erdoberfläche, von der Wärmekapazität des Materials und der Wärmeleitfähigkeit der darunterliegenden Schichten, von der Kühlung durch Wind etc. Das gleiche Objekt wird also verschieden abgebildet werden, je nach der Tageszeit und seiner Lage (z. B. eine geologische Schicht auf der Sonnen- resp. Schattenseite eines Berges).

Am vorteilhaftesten erscheinen für nichtmilitärische Zwecke Aufnahmen kurz nach Sonnenuntergang zu sein, wenn die Objekte die tagsüber gespeicherte Wärme am intensivsten und differenziertesten ausstrahlen. Aber auch Aufnahmen kurz vor Sonnenaufgang ergeben interessante Resultate.

Die völlig anderen Gesetzmäßigkeiten, unter denen die Grautöne im indirekten IR-Bild entstehen, und ihre Variationsmöglichkeiten müssen bei einer Bildbetrachtung und Interpretation immer vor Augen gehalten werden. Nur ausgedehnte Versuchsreihen zu den verschiedensten Tageszeiten und bei allen Wetterlagen werden die notwendigen Erfahrungen für gesicherte Interpretations-Kriterien zu liefern imstande sein.

#### IV. Mikrowellen-Radiometrie

Bis heute noch wenig für praktische Aufgaben eingesetzt wurden die an das IR anschließenden Mikrowellen (Abb. 1), da die notwendigen technischen Anlagen hier sehr kompliziert und die erhaltenen Resultate sehr komplex sind. Die physikalischen Grundlagen entsprechen weitgehend denjenigen der IR-Strahlung – es handelt sich um langwelligere Wärmestrahlung –, die technische Ausrüstung dagegen eher den Radar-Anlagen. An Stelle der optischen Aufnahme-Systeme treten Antennen, die Funktionen des Detektors überneh-

men Mikrowellen-Empfänger, sog. *Radiometer*. Aufgenommen wird nicht mehr über einen relativ breiten Wellenlängenbereich, sondern nur noch in eng begrenzten Bändern.

Abb. 6 vermittelt eine auf diese Art erhaltene graphische Kurve im Vergleich mit der IR-Aufnahme von demselben Gelände. Die Vorteile sind sofort ersichtlich: Obwohl die in diesem Bereich zur Verfügung stehende Energie wesentlich schwächer ist als im mittleren IR, vermag das System eine viel differenziertere Geländebeurteilung zu geben. Die Temperaturauflösung ist besser, es können viel schwächere Emissionen registriert werden, da die Empfindlichkeit des Systems erheblich größer ist. Hinzu kommt die praktisch totale Unabhängigkeit vom Wetter (mindestens ab Wellenlängen größer als 1,8 cm), auch dicke Wolken, Regen und dichter Nebel können durchdrungen werden (nur starker Schneefall wirkt sich noch störend aus).

Demgegenüber stehen aber auch größere Nachteile: Die Geräte sind viel komplizierter, größer und kostspieliger und entsprechend weniger leicht zu handhaben, die Resultate schwerer interpretierbar. Die Bodenauflösung ist wesentlich schlechter als bei den IR-Systemen.

Das bekannteste Anwendungsgebiet ist die *Astronomie*. Mittels möglichst großer, ja überdimensionierter Antennen, die auf dem Erdboden installiert sind, werden allerfeinste Signale aus dem Weltall von bisher noch unbekanntem Himmelskörpern aufzufangen versucht. Hier zeigen sich sofort die Grenzen dieses Systems für die Lufteerkundung. Die im Flugzeug (oder Satelliten) montierbaren Antennen sind in ihrer Größe limitiert und damit auch die direkt davon abhängige Bodenauflösung.

Als Einsatzgebiete kommen in Frage: Eisberg-Überwachung, Messung der Eisdicke, Registratur feinsten Differenzen der Oberflächentemperatur in Gewässern, Lokalisation von Gletscherspalten, Variationen in der Bodenfeuchtigkeit etc.

#### Technische Ausrüstung:

Die Antenne tastet das Gelände wiederum streifenförmig ab (aufgenommene Winkelbreite bis ca.  $55^\circ$  aus der Senkrechten) und leitet die auftreffende Energie – eine Kombination von Reflexion, Emission und thermometrischer Temperatur – auf das Empfangsgerät. Das Ausmaß der Temperaturänderungen ergibt entsprechende Schwankungen in der durchschnittlichen Geräuschstärke des Empfängers. Die von diesem abgegebene Energie (output) wird verstärkt, mehrfach gefiltert und endlich in eine sicht- und haltbare Aufzeichnung umgeformt. Die Ergebnisse werden im Flugzeug meistens auf Magnetband festgehalten und anschließend im Labor weiter verarbeitet. Die endgültige Aufzeichnung besteht z. B. in einer graphischen Kurve (Abb. 6) oder einer sog. „thermal gradient map“ oder „radiograph map“.

Die an der Antenne ankommende Gesamtenergie hängt von den verschiedenartigsten Faktoren ab, wie: Antennengröße, verwendete Wellenlänge, Bandweite etc. Da sich die Emission zudem mit der Tages- und Jahreszeit sowie den Wetterverhältnissen ändert, sind entsprechend unterschiedliche und nicht leicht deutbare Resultate zu erwarten. Zusätzliche Störungsfaktoren

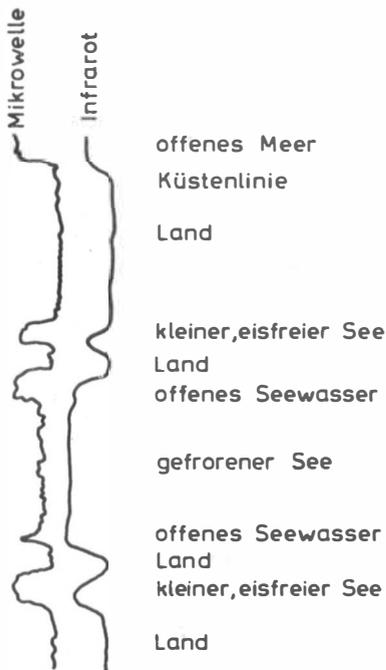


Abb. 6: Vergleich von IR und Mikrowellen-Geländeaufnahme (nach SKILES et al., in Lit. 47)

ergeben sich aus dem Himmelslicht und seiner Reflexion an der Erdoberfläche, Erdgeräuschen wie Gewitter, TV-Sendestationen etc.

Die Temperaturauflösung kann 1/10–1/100 Grad C erreichen. Die benutzte Bandweite und der Geräuschfaktor des Empfängers entscheiden über die Temperatur-Empfindlichkeit. Die Bodenauflösung ist neben der verwendeten Wellenlänge vor allem von der Antennenöffnung abhängig. Die Antenne kann daher nie groß genug sein.

Beispiele für die Bodenauflösung: Flughöhe 100 m, Wellenlänge 1 cm, Antennenöffnung 1 m; Bodenauflösung ca. 1 m.

Flughöhe 500 km (Satellit), Wellenlänge 10 cm, Antenne 30,5 m (100 ft); Bodenauflösung ca. 1,5 km.

Im Vergleich ergäbe die panchromatische Photographie ( $f = 153$  mm, Auflösungsvermögen 15 Linien/mm) entsprechende Werte von ca. 2,2 cm bzw. 109 m.

**Problematik der Interpretation:**

Die große Zahl der beeinflussenden Faktoren macht die Aufstellung allgemeiner Interpretationskriterien außerordentlich schwierig. Unerlässlich sind deshalb ausgedehnte Versuchsprogramme mit eingehender Bodenkontrolle (wobei eine visuelle Inspektion allein nicht mehr genügt, sondern durch umfangreiche Messungen z. B. der Emission, der Oberflächentemperatur, des Feuchtigkeitsgehaltes etc. unter Berücksichtigung der bestehenden Wetterlage ergänzt werden müssen) zur Abklärung der die aufgezeichneten Grenzlinien verursachenden Faktoren. Erst diese umfangreichen Vorstudien werden die Aufstellung gültiger Interpretationsmethoden und damit die Verwendung des Systems in der Praxis ermöglichen.

**V. Radar**

Eine wiederum vollständig verschiedene Reflexionscharakteristik und folglich eine neue Art von Bildern entsteht mit Radar. Bis jetzt handelte es sich um passive Systeme; Radar dagegen gehört zu den aktiven, die eigene Energie von ganz bestimmter Wellenlänge ausstrahlen und den davon am Erdboden reflektierten Betrag feststellen. Dieser hängt vor allem von der Oberflächenbeschaffenheit der Objekte und von ihrer Lage im Raum und zum Aufnahmegerät ab. Glatte Oberflächen reflektieren gerichtet (wie ein Spiegel), rauhe, unebene dagegen diffus. Eine homogene, aber reliefierte Oberfläche wird daher nicht einheitlich, sondern in vielen variierenden Grautönen abgebildet. Das gleiche gilt auch von einer bewegten Wasseroberfläche, während eine glatte einheitlich dargestellt wird. Abb. 7

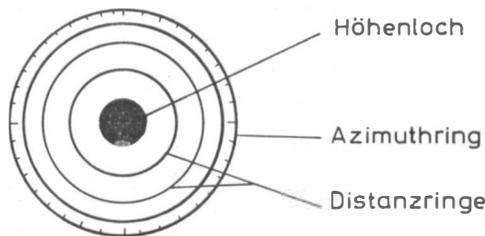
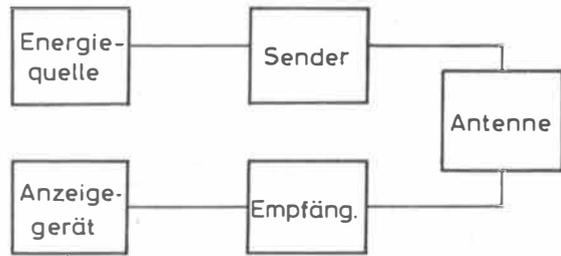
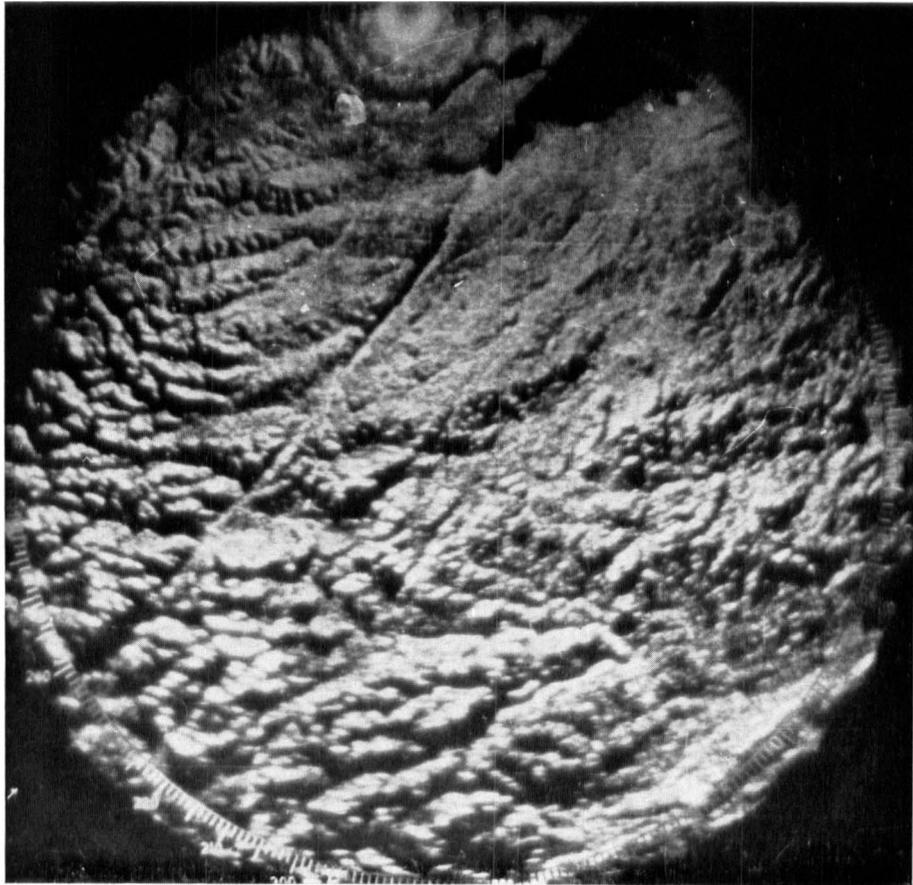


Abb. 7: Prinzip einer Radaranlage für die Lufterkundung mit PPI-Wiedergabe (nach HOFFMANN, 1960)

zeigt ein gebräuchliches Schema einer Radaranlage. Die für die Lufterkundung in Flugzeugen oder Satelliten montierten Geräte sind in der Regel gegenüber den bekannten Typen für Flug- und Schiffsverkehrsicherung und die Luftüberwachung mit bedeutend stärkerer Energiequelle und empfindlicheren Aufnahmegegeräten ausgerüstet und haben entsprechend besseres Auflösungsvermögen. Der letzte Punkt bildet eines der Hauptprobleme für die Lufterkundung, doch konnten in letzter Zeit ganz bedeutende Fortschritte erzielt werden. Deshalb kommt diesem Erkundungssystem für die Zukunft ganz besondere Bedeutung zu, da dank der künstlichen Energiequelle ein für die Auswertung integrierender Faktor genau bekannt ist.

Luftbild 3 und 4 geben eine Vorstellung von der heute erreichbaren Bodenauflösung und der Art der Geländedarstellung. Es sind Photos der beiden gebräuchlichsten Radar-Systeme, das runde 360°-Radar-Bild (3) oder PPI (plan position indicator)-Radar und das Mosaik (4) einzelner Filmstreifen vom seitwärts-



*Luftbild 3:* 360°-Radar-Photographie von Schottland, aus ca. 12 500 m Höhe aufgenommen. Hervorstechend die Great Glen-Verwerfungslinie vom Moray Firth (oben rechts) mit Inverness über Loch Mess, Loch Lochy zum Loch Linnhe und dem beginnenden Firth of Lorne. Deutliche Unterscheidung zwischen den Tiefländern um den Moray Firth und den Hochländern (Grampian und Northwest Highlands). (Aufnahme freundlichst zur Verfügung gestellt durch RAF-Photograph, Crown Copyright Reserved, dank Vermittlung von Prof. CAMERON, Wolfsville, Canada)

gerichteten Radar (side looking radar). Es ist klar ersichtlich, daß sich die beiden Bildarten in ihrer Toncharakteristik prinzipiell nicht unterscheiden. Ebenso deutlich wird die hervorragende Eigenschaft der Geländedarstellung, der Oberflächenformen, geologischen Strukturen und großen tektonischen Zusammenhänge. Der Unterschied zwischen den beiden Systemen liegt zur Hauptsache in der Abtastvorrichtung. Weitere Differenzierungen ergeben sich aus der verwendeten Wellenlänge. Zwischen 0,536 cm und 10 m (Abb. 1) stehen neun günstige Bänder zur Verfügung, von denen allerdings noch nicht alle praktisch erprobt sind. Fast jedes Band verlangt spezifische Sende- und Empfangsgeräte und besitzt entsprechend eigene charakteristische Transmissionseigenschaften durch die Oberflächenmaterialien und die Atmosphäre. Je größer die Wellenlänge, desto tiefer vermögen die Strahlen unter die Erdoberfläche einzudringen. Während kleinere Wellenlängen (z. B. das  $K_n$ -Band zw. 0,834–0,909 cm) vor allem eine gute Darstellung der Geländeoberfläche liefern, kann mit 10 m Wellenlänge mehrere Meter tief in trockenes Material eingedrungen werden, be-

vor die Strahlen reflektiert oder absorbiert werden. In der Regel werden kurze Wellenlängen bevorzugt, die längeren bleiben Spezialaufgaben (Hydrologie, Pedologie, Archäologie etc.) vorbehalten.

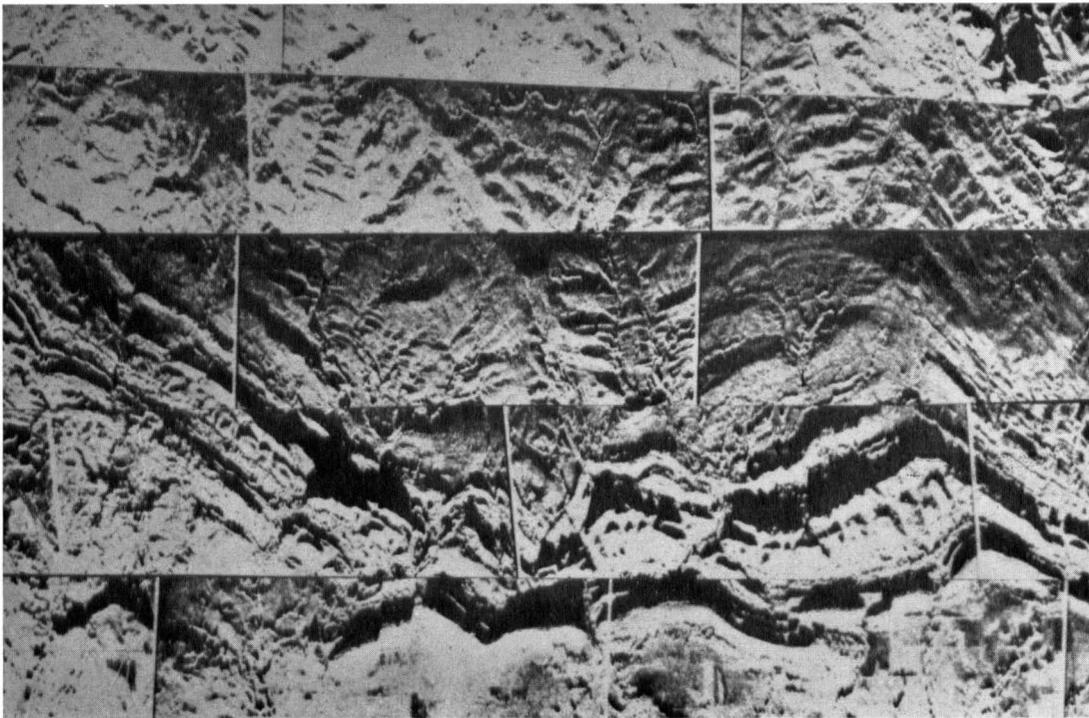
Neben den bereits erwähnten Vorzügen weisen Radar-Systeme folgende wesentliche Vorteile auf:

1. Die Präsentation auf dem Bildschirm erlaubt eine sofortige visuelle Auswertung (z. B. für die militärische Aufklärung wichtig).

2. Radar kann Vegetation (auch das dichte Pflanzenkleid des tropischen Urwaldes) und die Schneedecke durchdringen und Auskunft über die darunter liegenden Bodenverhältnisse (Material, Strukturen) geben.

3. Auch die Verhältnisse und Zusammensetzung von Schichten unter der Erdoberfläche sind bis in eine gewisse Tiefe ablesbar.

4. Radar reagiert auf gewisse chemische Eigenschaften des Bodens (Salzgehalt, Grundwasser, Ölschiefer etc.).



Luftbild 4: Mosaik von Radarfilmstreifen. Arbuckle Mountains, Oklahoma. (Aufnahme freundlichst zur Verfügung gestellt durch Texas Instruments Inc., Dallas, Tex.)

5. Gute Durchdringung der Atmosphäre; der Einsatz auf große Distanz ist jederzeit möglich, ohne empfindliche Detailverluste befürchten zu müssen.

Daraus leitet sich die Vielzahl der Anwendungsmöglichkeiten ab:

Allgemein: Aufspüren von Objekten, die von oben nicht direkt gesehen werden können, sondern durch das Baumdach geschützt sind oder unter dem Erdboden liegen, wie: Gebäude, Siedlungen, Verkehrsnetz, Fahrzeuge, Industrieanlagen etc.

Geologie, Geomorphologie, Pedologie, Hydrologie: Oberflächenformen, Strukturen, tektonischer Aufbau, Art des Untergrundes, Schichtung, Sedimenttiefe, Verwitterungstiefe, Bodenkrusten, chemische Eigenschaften des Bodens, Bodenfeuchtigkeit, Lokalisation von Grundwasser, evtl. Erdöl etc.

Ozeanologie: Lokalisation von Untiefen, Sandbänken, Korallenriffen, Eisbewegung, Eisdicke, Spalten-Muster etc.

Archäologie: Auffinden unbekannter Objekte, die vom Erdboden verdeckt sind oder in seichtem Wasser liegen.

360°-Radar:

Die unter dem Flugzeug montierte Antenne tastet das Gelände kreisförmig ab, bis zu einer zuvor eingestellten Distanz. Für eine Umdrehung benötigt sie ca. 2 1/2 Sek. Auf dem ebenfalls runden Bildschirm entsteht simultan das Bild, sein Zentrum entspricht der Position des Flugzeuges im Zeitpunkt der Aufnahme. Auf dem Bildschirm können zusätzlich Distanz-

ringe eingebaut sein, die mit photographiert werden, zur einfacheren Bestimmung von Maßstab und Umfang des erfaßten Gebietes sowie für Distanzmessungen und außen um das Bild ein Azimutring mit 360°-Einteilung zur genauen Orientierung (Abb. 7). Ältere Aufnahmen zeigen noch das sog. Höhenloch, da der direkt unter dem Flugzeug liegende Teil nicht erfaßt werden konnte. Bei neueren Bildern ist auch dies möglich (Luftbild 3).

Simultan mit der rotierenden Antenne dreht sich der Leuchtstrahl auf dem Bildschirm. Dank seiner Nachleuchteigenschaften bleiben die Formen weitgehend erhalten, bis eine Umdrehung vollendet ist. Dieses ungleich helle Bild muß zur Haltbarmachung periodisch photographiert werden. Es ist allerdings nicht einfach, auf diesem Weg qualitativ hochwertige Photos zu bekommen. Die einzelnen Aufnahmen lassen sich dann beliebig vergrößern und sofern genügende Überdeckung vorhanden ist, auch stereoskopisch betrachten.

Derartige Radarbilder sind mit systematischen Verzerrungen behaftet (entsprechend der Radialdeformation der Luftbilder), die vorab in der Vorwärtsbewegung des Flugzeuges während einer Umdrehung der Antenne und der zunehmenden Laufzeit des Radarstrahls vom Zentrum zum Rand hin begründet liegen. Mit eigens dafür entwickelten Entzerrungsgeräten („radar presentation restitutor“) lassen sich diese Verzerrungen aber automatisch beseitigen. PPI-Bilder werden praktisch nur in sehr großen Maßstäben aufgenommen (ab ca. 1 : 100 000), da ihre Bodenauflösung nicht besonders gut ist und sie sich daher vorwiegend für großräumige Übersichten eignen.

### Seitwärtsgerichtetes Radar:

Die Aufnahmeanlagen bestehen hier aus zwei Empfangsgeräten und Antennen. Letztere tasten je einen Geländestreifen quer zur Flugrichtung zu beiden Seiten des Flugzeuges ab. Die normale Streifenbreite liegt zwischen  $26\frac{1}{2}$  und  $40^\circ$  aus der Senkrechten, kann aber zwischen  $10$  bis  $70^\circ$  variieren. Auf zwei nebeneinander plazierten Bildschirmen erscheinen simultan die beiden Geländestreifen, die parallel auf denselben Filmstreifen aufgenommen werden. Es entstehen also keine Einzelbilder, sondern ein zusammenhängender Filmstreifen. Die anschließende Fluglinie muß so angelegt werden, daß das bis dahin nicht erfaßte, direkt unter dem Flugzeug liegende Gelände aufgenommen und genügende Querüberdeckung für die stereoskopische Betrachtung miteingeschlossen wird (Luftbild 4).

Die günstigere Anordnung der Antennen, verbunden mit stärkeren Energiequellen, ergeben eine bessere Bodenauflösung, weshalb sich dieses Radar-System auch für kleinmaßstäbige Aufgaben eignet.

Für die Auswertung wurden wiederum spezielle Betrachtungs- und Meßgeräte konstruiert, in denen zwei lange Filmrollen (= 4 Geländestreifen) bequem gehandhabt und räumlich betrachtet werden können. Mit Hilfe der bekannten Flugdaten und signalisierter Geländepunkte lassen sich ebenfalls verzerrungsfreie Filmstreifen herstellen, die speziell für photogrammetrische und kartographische Arbeiten von Nutzen sind.

### VI. Ausblick

Mit diesen modernen Erkundungssystemen eröffnen sich dem Naturwissenschaftler ungeahnte Perspektiven. Neue, bisher nicht erhältliche Informationen aller Art stehen ihm als unschätzbare Unterlagenmaterial zur Verfügung und geben Anregungen zu völlig neuen Problemstellungen und Untersuchungen oder zu weiträumigen Erfassungen und Kartierungen bisher nur ganz lokal meßbarer Phänomene. Gerade die Geographie, die sich mit den Erscheinungen an der Erdoberfläche auseinandersetzt, kann davon außerordentlich profitieren. Sie bekommt hier Dokumente in die Hand, die weit über die mit den heutigen Methoden erreichbaren Ergebnisse und das, was direkt im Felde gesehen werden kann, hinausgehen.

Eine Schwierigkeit besteht allerdings darin, daß das richtige Deuten der Resultate meistens erhebliche technische und physikalische Kenntnisse voraussetzt. Umgekehrt wissen die Erbauer dieser Instrumente häufig zu wenig von den speziellen Anliegen und Wünschen der Naturwissenschaftler, um die Entwicklung der Geräte entsprechend ausrichten zu können. Zwischen Herstellern und Benutzern öffnet sich hier leider ein nicht so leicht überbrückbarer Graben.

Gleichwohl empfiehlt es sich, die Entwicklung auf diesem Gebiet sorgfältig zu überwachen und die sich bietenden Möglichkeiten zu nutzen, selbst wenn heute vieles noch allzu kompliziert und technisch erscheinen mag. Die Zukunft wird sicher viele dieser Verfahren verbessern und vereinfachen. Die Systeme werden vermehrt in den zivilen Einsatz gelangen und damit einer breiteren Benutzung zugänglich werden, zur Erweiterung und Vertiefung der wissenschaftlichen Forschung.

### Literatur

PE = Photogrammetric Engineering

- BATTAN, L. J.: Radar Meteorology. University of Chicago Press, 1959.
- BUETTNER, K. J. K. und KERN, C. D.: Infrared Emissivity of the Sahara from TIROS Data. Science, 142/1963.
- BUSH, E. W. und PAPPAS, M. J.: Shiran - AN/USQ-32 Microwave Geodetic Survey System. Paper, X. Intern. Kongreß für Photogrammetrie, Lissabon 1964.
- CADE, C. M.: Lufterkundung mittels Infrarot-Verfahren. Bildmessung und Luftbildwesen 2/1962.
- CANTRELL, J. L.: Infrared Geology PE 6/1964.
- CLARK, W.: Photography by Infrared. New York 1946.
- COLWELL, R. N.: Some Practical Applications of Multiband Spectral Reconnaissance. American Scientist 1/1961.
- COLWELL, R. N. et al: Basic Matter and Energy Relationship Involved in Remote Reconnaissance. PE 5/1963.
- CRANDALL, C. J.: Advanced Radar Map Compilation Equipment. PE 6/1963.
- CROSS, B.: Aerial Photos: New Weapon against Pollution. Chem. Engineering, April 1962.
- DICKE, R. H.: The Measurement of Thermal Radiation at Microwave Frequencies. Review of Sc. Instruments 7/1946.
- DÓCKÁLEK, A.: Die Anwendung von Detektoren infraroter Strahlung bei der Luftaufnahme (Tschech.). Geodestický a kartografický obzor, 3/1964, Prag.
- DREYER, G.: New Approaches to Infrared. The South African Journal of Photogrammetry, 2/1, Mai 1963.
- FEDER, A. M.: Interpreting Natural Terrain from Radar Displays PE 4/1960.
- FEDER, A. M.: Radar Geology Can Aid Regional Oil Exploration. World Oil, Juli 1962.
- FEDER, A. M.: Infrared as an Oil Search Tool. World Oil, Juli 1963.
- FISCHER, W. A. et al: Infrared Surveys of Hawaiian Volcanoes. Science, 6. Nov. 1964.
- FROST, R. E.: The Program of Multiband Sensing Research at the US Army Snow, Ice and Permafrost Research Establishment. PE 5/1960.
- HAEFNER, H.: Moderne Lufterkundungssysteme. Beilage „Technik“, Neue Zürcher Zeitung, Nr. 3380, 18. 8. 1965.
- HAIKFORTH, H. L.: Infrared Radiation. McGraw-Hill Book Comp. New York 1960.
- HANNAH, L. D. et al.: The Experimental Evaluation of Multisensor Intelligence Systems. Techn. Documentary Report No. RADC-TDR-64-160 Washington 1964.
- HARRIS, D. E. und WOODBRIDGE, C. L.: Terrain Mapping by Use of Infrared Radiation. PE 1/1964.
- HOFFMAN, P.: Interpretation of Radar-Scope Photographs. PE 3/1954.
- HOFFMAN, P.: Photogrammetric Applications of Radar-Scope Photographs. PE 5/1958.
- HOFFMAN, P.: Progress and Problems in Radar Photo Interpretation. PE 4/1960.
- HOLTER, M. R. et al.: Fundamentals of Infrared Technology. Macmillan Publ. Co. 1962.
- HOLTER, M. R.: Infrared Multispectral Sensors. Paper, Inst. of Sc. and Techn., Uni. of Michigan 1965.
- Infrared Imagery.* Werbeschrift, HRB - Singer Inc., State College, Penns., ca. 1960.
- JAMIESON, J. A. et al: Infrared Physics and Engineering. McGraw-Hill Book Comp., New York 1963.
- KEMP, B.: Modern Infrared Technology. Howard W. Sams Co. Inc., Indianapolis 1962.
- KRUSE, P. W.: Elements of Infrared Technology. J. Wiley and Sons, New York 1963.
- LATTMAN, L. H.: Geologic Interpretation of Airborne Infrared Imagery. PE 1/1963.

- LEONARDO, E. S.: An Application of Photogrammetry to Radar Research Studies. PE 3/1959.
- LEONARDO, E. S.: Comparison of Imaging Geometry for Radar and Camera Photographs. PE 2/1963.
- LEONARDO, E. S.: Capabilities and Limitations of Remote Sensors. PE 6/1964.
- LEVINE, D.: Principles of Stereoscopic Instrumentation for P. P. I. Photography. PE 4/1963.
- MARTIN, G. E. und RUBIN, L.: Automatic Processing of NIMBUS Infrared Radiometer Data. Meteorological Satellite Lab. Report No. 28, US Weather Bureau, Washington 1964.
- MOORE, R. K. et al.: Portion of the Radar Team Reply – Anticipated User Applications and Instrument Requirements . . . Paper for: Conference on the Use of Orbiting Spacecraft in Geographic Research, Houston, Jan. 1965.
- MOLINEUX, C. E.: Multiband Spectral System for Reconnaissance. PE 1/1965.
- NEWBRY, L. L. E.: Terrain Radar Reflectance Study. PE 4/1960.
- OLSON, C. E.: Infrared Sensors and Their Application in Forestry, in: Proc. of the Michigan Acad. of Sciences, Arts and Letters, Vol. 50, 1964 im Druck.
- OORT, J. H.: Radio Astronomy – A Window to the Universe. American Scientist 1960.
- PARKER, D. C. et al.: Sensor Systems and Their Carriers and Factors Limiting Their Use. Report of Subcomm. II für Photo Interpret. Comm., Annual Meeting Am. Soc. f. Photogrammetry, Washington 1963.
- PLACE, J. L.: Remote Sensing of Environment. Paper for: Conference on the Use of Orbiting Spacecraft in Geographic Research, Houston, Jan. 1965.
- Proceedings of the First Symposium on Remote Sensing of Environment 1962; Institute of Science and Technology, Uni. of Michigan, Ann Arbor 1962.
- Proceedings of the Second Symposium on Remote Sensing of Environment, Okt. 1962, Institute of Science and Technology, Uni. of Michigan, Ann Arbor 1962.
- Remote Sensing of Environment – Final Report; Institute of Science and Technology, Uni. of Michigan, Ann Arbor 1963.
- Proceedings of the Third Symposium on Remote Sensing of Environment, Okt. 1964; Institute of Science and Technology, Uni. of Michigan, Ann Arbor 1965.
- Proceedings – Symposium on Detection of Underground Objects, Materials and Properties, März 1962. US Army Engineer Research and Development Laboratories, Fort Belvoir 1962.
- PRZEWŁOCKI, S.: Einige Bemerkungen zur Frage der kartogr. Radarbildauslegung (Poln.). Przegląd Geodezyjny, 1/1964, Warschau.
- QUINN, A. O. und ASCE, F.: Photogrammetry to Locate Water. Civil Engineering, Aug. 1963.
- RAWCLIFFE, R. C. et al: Optical Simulation of Radar Resolution. Journal. Opt. Soc. of America, 1959.
- ROBINOVE, CH. J.: Photography and Imagery – a Classification of Terms. PE 5/1963.
- SCHEPS, B. B.: Visible Light Photography and Analogous Imagery from other Portions of the Spectrum. Paper for: Conference on the Use of Orbiting Spacecraft in Geographic Research, Houston, Jan. 1965.
- SHEPARD, J. R.: A Concept of Change Detection. PE 4/1964.
- SIMONETT, D. S.: Possible Uses of Radar for Geoscience Purposes from Orbiting Spacecraft. Paper, Dep. of Geography, Uni. of Kansas, Lawrence 1964.
- SIMONETT, D. S.: Radar and Possible Uses of Spacecraft for Geographic Research. Paper for: Conference on the Use of Orbiting Spacecraft in Geographic Research, Houston, Jan. 1965.
- STILLWELL, J. E.: Radar Network Adjustment. PE 6/1963.

SUITS, G. H.: The Nature of Infrared Radiation and Ways to Photograph It. PE 5/1960.

VENGOECHEA, F. P., de: Radar Antenna Calibration using Half-Base Convergent Photography. PE 1/1965.

#### VIER KLEINMASZTÄBIGE LUFTBILDER AUFGENOMMEN VOM WETTERSATELLITEN NIMBUS A

Mit 4 Luftbildern und 1 Abbildung

WILLIBALD HAFFNER

Seit sieben Jahren umkreisen Satelliten den Erdball, regelmäßig wird die Erde vom Weltraum her fotografiert. Satelliten-Luftbilder liegen bereits in großer Fülle vor, ihre Qualität nimmt ständig zu.

Vor allem in den USA wird die Literatur über Weltraum-Photographie (space photography) immer umfangreicher; die ersten Bibliographien sind erschienen, und ein Weltatlas mit den Photographien der Tiros-Satellitenserie liegt ebenfalls vor<sup>1)</sup>.

Neben meteorologischen, geologischen und geodätischen Interpretationen ist auch von geographischer Seite bereits versucht worden, Satelliten-Luftbilder auszuwerten<sup>2)</sup>. Die Vereinigten Staaten versuchen, außer für militärische Beobachtungen, Satelliten einzusetzen zur frühzeitigen Entdeckung von Wirbelstürmen, zur Kontrolle der Eisverhältnisse auf dem Meere und zur Überwachung der ausgedehnten nordamerikanischen Waldgebiete bei Brandgefahr<sup>3)</sup>. Wenn die Qualität der Satellitenbilder weiter verbessert werden kann, werden sie sich ähnlich vielseitig verwenden lassen wie die bisher üblichen Luftbilder.

Bei den bisher vorliegenden Satellitenbildern der Erdoberfläche handelt es sich entweder um echte Photographien oder um gerasterte Funkbilder. Die schönsten z. T. farbigen Bilder sind die Photos, die von den bemannten Satelliten der Gemini-Serie aufgenommen wurden<sup>4)</sup>. Wegen der relativ geringen Aufnahmehöhe und des verhältnismäßig kleinen Ausschnitts der Erdoberfläche, der dabei abgebildet wird, ähneln diese Bilder normalen Luftaufnahmen aus großer Höhe.

Ganz andere Dimensionen erfassen dagegen die aus Höhen von ungefähr 800 km Erdentfernung durch Funk zur Erde übermittelten Bilder der unbemannten Tiros- und Nimbus-Satelliten. Während jedoch die Satelliten der Tiros-Serie noch stark verzerrte Schrägaufnahmen lieferten, gelang es bei Nimbus A im Jahre 1964 erstmals, die Aufnahmekameras in senkrechter Ausrichtung zur Erde zu halten. Vier Funkbilder aus der großen Serie, die von der Sternwarte Bochum aufgezeichnet wurde, werden hier wiedergegeben und besprochen<sup>5)</sup>. Sie haben mit allen Funkbildern den Nachteil eines sehr begrenzten Auflösungs-

<sup>1)</sup> J. B. BIRD u. a. 1964.

<sup>2)</sup> J. BRIAN BIRD and A. MORRISON 1964.  
I. HAUPT 1964.

<sup>3)</sup> S. F. SINGER 1962.

<sup>4)</sup> *Life International* Oct. 4, 1965.

<sup>5)</sup> Für die Überlassung der Nimbus-Bilder zur Veröffentlichung und für wertvolle Hinweise danke ich Herrn KAMINSKI, Direktor der Sternwarte Bochum.