

through Kerman was as valuable as that through Narmashir and ten-fold greater than that through Sirjan or Yezd.

Incomplete though the information presented may be, Figs. 3 A–3 D indicate very clearly the relative importance of the competing sources of trade in eastern Iran during this period of intense competition.

The flexibility of trade through Kerman as a result of its central position; its isolation; the supersession of Siraf and Qais by Hormuz and Bandar Abbas; all these may have helped to offset the natural advantages of Sirjan and Jiruft and may partly account for their failure, once destroyed, ever to recover their former importance at the expense of Kerman.

### Conclusions

Human, commercial and political inertia have all helped to maintain the hegemony of Kerman once achieved. The climate, less enervating in summer than Sirjan or Jiruft, may have had some influence. Nor can the caprices of rulers be ignored.

Yet, when all is considered, the development of Kerman as a provincial centre seems to derive from a small number of causes:

- (1) Potential local surplus of agricultural produce;
  - (2) A good natural defensive position for a citadel;
- (1) is shared with both Sirjan and Jiruft, and (2) is shared with Sirjan.
- (3) Maximum distance from tribal centres and from other centres of independent dynasties;
  - (4) A central position between the two preferred routes of a major axis of international trade, both of them vulnerable to tribal interruptions at points remote from Kerman.
- (3) and (4) may have been sufficient to outweigh the otherwise superior situations of Sirjan and Jiruft.

They emphasize the contrast between the factors which affect the distribution and development of the rural settlements of the Kerman plain, and the factors which have affected the development of the city itself.

### References

- BECKETT, P. H. T. (1953): *Qanats* around Kerman. Roy. Central Asian J. Vol. 40. p. 47. (1953).
- BECKETT, P. H. T. and GORDON, E. D. (1966): Land Use and Settlement round Kerman in S. Iran. Geogr. J. (in the press).
- LE STRANGE, E. G. (1905): *Lands of the Eastern Caliphate*. Cambridge. Univ. Press.
- LOCKHART, L. (1939): *Famous Cities of Iran*.
- NOEL, E. (1944): *Qanats*. Roy. Central Asian J. Vol. 31. p. 191.
- PIGOTT, S. (1950): *Prehistoric India*. Penguin Books.
- SMITH, A. J. F., ARMSTRONG, A. J. F. (1951): *Qanats*. J. Iran Soc. Vol. 1. p. 86.
- SYKES, P. M. (1902): *Ten thousand miles in Persia*. John Murray.
- TARN, W. W. (1951): *The Greeks in India and Bactria*. Cambridge Univ. Press.
- WILSON, A. T. (1928): *The Persian Gulf*. Allen & Unwin.

## KONFERENZ ÜBER DIE VERWENDUNG VON RAUMFAHRZEUGEN FÜR DIE GEOGRAPHISCHE FORSCHUNG

(„Conference on the Use of Orbiting Spacecraft in Geographic Research“)

in Houston, Texas, 28.–30. Januar 1965

DIETER STEINER

### Einleitung

Ende Januar letzten Jahres fand im „NASA-Manned Spacecraft Center“ in Houston, Texas, eine Konferenz über den möglichen Einsatz von Satelliten für die geographische Forschung statt, zu der auch einige europäische Geographen eingeladen waren. Die Tagung wurde organisiert vom Committee on Geography, National Academy of Sciences – National Research Council (NAS-NRC) und der Geography Branch, Office of Naval Research (ONR), US Department of the Navy, mit Unterstützung der National Aeronautics and Space Administration (NASA).

Die ursprünglichen Impulse für die Entwicklung der Raumforschung stammen zweifellos vom Verlangen, in den Weltraum vorzustoßen, also von einer nach außen orientierten Blickrichtung her. In den letzten Jahren haben sich die verantwortlichen Fachleute aber auch mehr und mehr darauf besonnen, welche neuartigen, ja ungeahnten Möglichkeiten der „Blick zurück“ für die verschiedenen Erdwissenschaften eröffnet. Die Erde als Beobachtungsobjekt von Satelliten ist damit nicht mehr nur als bloßes Analogon zu andern Planeten von Interesse, sondern die gemachten Beobachtungen sollen in den Dienst der Erforschung der Erde selbst gestellt werden.

Nachdem auf dem Gebiet der Meteorologie bereits eine ganze Reihe von Versuchen mit den bekannten Wettersatelliten TIROS und NIMBUS gemacht worden sind, befaßt sich neuerdings die NASA mit dem Gedanken, einen allgemeinen geographischen Forschungssatelliten zu lancieren. Während über das bisher bestehende Raumbildmaterial und seine mögliche geographische Verwendbarkeit vom Geographischen Institut der McGill-Universität zusammengestellte Übersichten vorliegen (BIRD und MORRISON 1964, BIRD, MORRISON und CHOWN 1964), geht es nun im Falle einer speziellen geographischen Beobachtungsstation darum, festzustellen, was einerseits unter bestimmten gegebenen Bedingungen erwartet werden darf und welche Spezifikationen andererseits für die Ausrüstung eines solchen Satelliten aufgestellt werden müßten. Die Tagung in Houston diente zur Klärung dieser Frage sowie der Formulierung von konkreten Vorschlägen für zukünftige Forschungsprogramme (siehe auch ALEXANDER 1964 und OFFICE of NAVAL RESEARCH 1964).

Die vorbildlich organisierte Tagung erforderte von den 80 Konferenzteilnehmern aktivste Mitarbeit an Ort und Stelle. Der erste Tag wurde nach den Berührungen mit Berichten und Mitteilungen von Experten eröffnet, die sich auch bei einer informellen Abendsitzung zur Diskussion stellten. Dieses einleitende Programm gab den wissenschaftlichen und

technischen Hintergrund für die eigentliche Tagungsarbeit ab.

#### Liste der einführenden Berichte und Mitteilungen

- BADGLEY, P. C.: Advanced Missions Manned Space Sciences Division, NASA Headquarters, Washington, D. C.: „Das geographische Programm der NASA und seine Beziehungen zu andern Erdsatelliten-Forschungsprogrammen“;
- PLACE, J. L.: Geography Branch, ONR, Washington, D. C.: „Remote Sensing of Environment“;
- COLWELL, R. N.: School of Forestry, University of California, Berkeley, Calif.: „Das Konzept der multispektralen Erkundung und seine geographische Anwendung“;
- SCHEPS, B. B.: USA Army Engineer, Geodesy, Intelligence and Mapping Research and Development Agency (GIMRADA), Ft. Belvoir, Va.: „Photographie mit sichtbarem Licht und analoges Bildmaterial aus andern Bereichen des Spektrums“;
- HOLTER, M. R.: Infrared and Optical Sensor Laboratory, University of Michigan, Ann Arbor, Mich.: „Infrarot-Erkundung von Oberflächenelementen der Erde“;
- SIMONETT, D. S.: Department of Geography, University of Kansas, Lawrence, Kans.: „Geographische Anwendungen von Radar mit hoher Auflösung“;
- BRYSON, R. A.: Center of Climatic Research, University of Wisconsin, Madison, Wis.: „Die meteorologischen Satelliten und ihre geographische Bedeutung“;
- GARRISON, W. L.: Department of Geography, Northwestern University, Evanston, Ill.: „Möglichkeiten für die Datenverwaltung“;
- LATHAM, J. P.: Department of Geography, Florida Atlantic University, Boca Raton, Fl.: „Instrumentationsprobleme für die geographische Forschung mit Daten aus dem Raum“;
- LEESTMA, R. A.: GIMRADA, Ft. Belvoir, Va.: „Der NASA-GIMRADA-Weltatlas“;
- MORRISON, A.: Department of Geography, McGill University, Montreal, Canada: „Forschung in Raumgeographie an der McGill-Universität“;
- BAILEY, W. H.: Division of Earth Sciences, NAS-NRC, Washington, D. C.: „Die Rolle der NAS-NRC in raumbezogenen geographischen Forschungsprogrammen“;
- PRUITT, E. L.: Geography Branch, ONR, Washington, D. C.: „Küstengeographie an der Raum-Ozeanographie-Tagung“ (bezieht sich auf eine Tagung, die unter der Bezeichnung „Conference on Oceanographic Applications of Orbiting Spacecraft“ an der Woods Hole Oceanographic Institution in Woods Hole, Mass., im August 1964 abgehalten wurde).

Besonderes Interesse verdiente die Mitteilung von R. A. LEESTMA über den gemeinsam von der NASA und der GIMRADA geplanten Weltatlas. Dieses Werk soll Beispiele von in verschiedenen Spektralzonen aufgenommenem Bildmaterial zeigen, das auf kommenden Flügen des GEMINI- und des APOLLO-Programmes, vor allem aber vom „Orbital Research Laboratory“ (ORL) gesammelt werden soll, dessen Abschluß für die Periode 1970-74 geplant ist. Die Bilder werden aus Regionen der Erde zwischen 30° Nord und 30° Süd stammen und voraussichtlich einen Maßstab zwischen 1 : 1 Mill. und 1 : 4 Mill. haben.

Nach den erwähnten Einleitungen verteilten sich die Teilnehmer nach einem zum voraus bestimmten Plan auf acht Diskussionsgruppen („Panels“), von denen jede ein bestimmtes Thema zu bearbeiten hatte. Die Themen dieser Gruppen und ihre Vorsitzenden waren die folgenden:

- Kartierung, Bildmaterial („imagery“) und Datenverarbeitung: J. C. SHERMAN, University of Washington, Seattle, Wash.;
- Geomorphologie und Glaziologie: R. J. RUSSEL, Louisiana State University, Baton Rouge, La.;

- Vegetation und Böden: H. ASCHMANN, University of California, Riverside, Calif.;
- Energie- und Wasserhaushalt: D. B. CARTER, Southern Illinois University, Carbondale, Ill.;
- Nutzung der natürlichen Hilfsquellen: M. E. MARTS, University of Washington, Seattle, Wash.;
- Siedlung, Bevölkerung und historische Geographie: F. E. LUKERMANN, University of Minnesota, Minneapolis, Minn.;
- Stadtgeographie: W. L. GARRISON, Northwestern University, Evanston, Ill.;
- Verkehr und Verbindungen: E. J. TAAFFE, Ohio State University, Columbus, Ohio.

Am Nachmittag des zweiten Tages hatten die Gruppenleiter einen Zwischenbericht über den Stand der Arbeiten zu erstatten. Bis am Abend desselben Tages mußte jede Gruppe die erste Fassung eines Berichtes einreichen, der während der Nacht vervielfältigt und am nächsten Morgen verteilt wurde. Die restliche Zeit des dritten Tages diente zur Revision dieser vorläufigen Rapporte. Im folgenden versuchen wir, in zusammenfassender Weise einige wesentliche Dinge aus diesen Berichten herauszugreifen.

#### Technologie

##### Technische Ausrüstung des Satelliten

Der technischen Ausrüstung des geplanten geographischen Satelliten kommt natürlich grundlegende Bedeutung zu. Es ist anzunehmen, daß nicht nur mit konventioneller Photographie, sondern auch mit Erkundungssystemen gearbeitet werden wird, die für Ultraviolett-, Infrarot- und Radarstrahlung empfindlich sind. Auf diesem Gebiet sind ja in den letzten Jahren enorme Fortschritte erzielt worden (vgl. dazu die Mitteilung von H. HAEFNER in dieser Nummer sowie die Berichte von COLWELL 1961, HAEFNER 1965 und LEONARDO 1964; für eine Diskussion der physikalischen Grundlagen siehe COLWELL 1963). Prinzipiell ist es so, daß die Identifizierbarkeit von Elementen der Geosphäre mit der Zunahme der Zahl der simultan in verschiedenen Spektralbereichen arbeitenden Erkundungssysteme steigt. Allerdings wird dabei ein Optimum in bezug auf Aufwand und Ergebnis anzustreben sein. Leider herrschte nun gerade auf dem Gebiete der nicht-konventionellen Erkundung eine bedeutende Diskrepanz zwischen dem an der Tagung gebotenen Hintergrund und der an die Konferenzteilnehmer gestellten Aufgabe. Aus Gründen der Geheimhaltung ist über die tatsächlich vorhandenen Möglichkeiten einfach zu wenig bekannt. In der Aufstellung der Forschungsprogramme mußte deshalb gezwungenermaßen einiges der Spekulation überlassen bleiben. Als minimale Ausrüstung wurden eine Kamera für konventionelle Photographie zusammen mit einem wolkendurchdringenden System (Radar) bezeichnet.

Unbestritten ist die Notwendigkeit für Testgebiete, in denen verschiedene Erkundungssysteme experimentell angewandt und die Resultate mit Bodenbeobachtungen verglichen werden können. Es darf auch erwartet werden, daß für verschiedene Erscheinungen unkonventionelle Surrogatmaße gefunden werden können, deren Einführung die Erkundung aus dem Raum genauer, rationeller oder unabhängiger von äußeren Bedingungen gestalten könnte. Zum Beispiel wurde vorgeschlagen, die Vibration von Straßen mit Radar zu messen und als ein Maß für die Verkehrs-

belastung zu verwenden, die die direkte Beurteilung des sichtbaren Verkehrs ersetzen würde. Die multispektralen Experimente sollten in einer Vorbereitungsphase zunächst einmal von Flugzeugen aus durchgeführt werden, später aber simultan zum umlaufenden Satelliten wiederholt werden, um einen direkten Vergleich von Luftbild- und Raumbildmaterial zu ermöglichen.

#### Datenübermittlung

Wenn man annimmt, daß sich eine ganze Reihe von Erkundungssystemen an Bord des Satelliten befinden wird, dürften sich nicht leicht zu lösende Probleme für die Übermittlung der anfallenden Masse von Information ergeben. Die direkte Übertragung der Daten kommt, auch wenn ein genügend dichtes Netz von Bodenstationen vorhanden wäre, wahrscheinlich deshalb nicht in Frage, weil die Zahl der verfügbaren Übertragungskanäle nicht ausreichen würde. Zwar setzt man in diesem Zusammenhang große Hoffnungen auf den möglichen Einsatz monochromatischer LASER- und MASER-Strahlung, aber die nötige Technologie ist noch nicht soweit fortgeschritten, als daß sich eine baldige Lösung des Problems anzeigen würde. Wenn die Möglichkeit der direkten Übermittlung wegfällt, muß die anfallende Information vorübergehend oder dauernd auf Informationsträgern wie magnetischem Band oder Film gespeichert werden. Man kann sich unschwer vorstellen, daß sich in beiden Fällen enorme Mengen von Trägermaterial an Bord befinden müßten. Die photographische Aufzeichnung ist zwar die kompakteste Art der Speicherung von Information, die man sich vorstellen kann, dafür aber kann der Film nur einmal benützt werden, währenddem das Band beliebige Male gelöscht und wiederverwendet werden kann.

Eine Wiedergewinnung von Originalfilm würde für den Auswerter einen Idealfall darstellen. Die zeilenweise Übertragung des Bildinhaltes, wie sie von der Wettersatellitenphotographie her bekannt ist, wirkt sich zwangsläufig immer in einer bedeutenden Degradation des Auflösungsvermögens aus. Es ist klar, daß bei einer Auflösung, wie man sie bisher bei den TIROS- und NIMBUS-Aufnahmen erreicht hat, kaum irgendwelche mit der konventionellen Luftbildinterpretation vergleichbare geographische Arbeiten durchgeführt werden könnten. Nun sind auf diesem Gebiete zweifellos in Zukunft noch starke Verbesserungen zu erwarten, aber trotzdem wird sich ein einschneidender Verlust an Information nie vermeiden lassen. Letzten Endes ist es natürlich die Sache der Techniker, das Problem der Datenübermittlung zu bearbeiten und ein brauchbares System zu entwerfen. Diese technischen Fragen haben aber für den Geographen insofern eine wesentliche Bedeutung, als die Wahl der einen oder anderen Variante der Übertragung die Qualität der Information beeinflussen und damit die Durchführbarkeit geplanter Arbeiten beschränken oder gar unmöglich machen wird.

Viele der von den einzelnen Diskussionsgruppen gemachten Vorschläge sind unter der Annahme gemacht worden, daß die erreichbare Auflösung mit derjenigen in der konventionellen Luftphotographie zum mindesten vergleichbar ist.

#### Datenverarbeitung

Ein anderes grundlegendes Problem ist die zweckmäßige Verarbeitung der aus verschiedenen Spektralbereichen stammenden Simultan-Information. Zunächst wird man sich die Frage stellen müssen, ob eine bestimmte Aufgabe nicht mit der Auswertung der Daten von nur einem Erkundungssystem gelöst werden kann. Falls dies nicht möglich ist, müssen die benötigten Multiband-Daten so integriert werden, daß ihre Kombination anschließend eine maximale Separierung der untersuchten Elemente gestattet. Für eine solche Integration kommen mindestens 3 Methoden in Frage:

(1) Optisch-photographische Integration im Sinne des von der Firma Itek entwickelten Verfahrens zur Auswertung des mit einer neun-linsigen Kammer aufgenommenen Bildmaterials (siehe MOLINEUX 1965). Dabei wird mit Hilfe einer günstigen Kombination der ursprünglichen Negative ein neuer Film schrittweise so belichtet, daß sich im Ergebnis maximale Grau- oder Farbtonkontraste ergeben;

(2) Umwandlung der Bildinformation in elektrische Impulse mit direkter elektronischer Verarbeitung;

(3) Umwandlung der Bildinformation in numerische Werte (z. B. durch optische Dichtemessungen) und anschließende Verarbeitung der Daten mit statistischen Methoden, die eine maximale Differenzierbarkeit gewährleisten. In Frage kommen Methoden wie die Faktorenanalyse für die Integration (siehe dazu STEINER 1965) und die Diskriminante Analyse für die Differenzierung (vergleiche mit BERRY 1958).

In jedem Fall ist es klar, daß auch gleichzeitig eine gewisse Automation der Bildauswertetechnik entwickelt werden muß, da sonst die optimale Ausnutzung des umfangreichen Datenmaterials nicht möglich wäre.

#### Forschungsprojekte

Es ist zu betonen, daß bei der Formulierung der Forschungsprojekte davon abgesehen wurde, diese durch heute bekannte technische Limitationen einengen zu lassen. Die Vorschläge umfassen das, was vom wissenschaftlichen Standpunkt aus wünschenswert wäre. Insbesondere fußen sie auf der Annahme, daß eine die Erde umkreisende geographische Beobachtungsstation zu einer stehenden Einrichtung werde und nach Bedarf jederzeit Information zu liefern imstande sei. Das tatsächliche Potential einer solchen Station wird sich aus der Wechselwirkung zwischen technischen Möglichkeiten und Forderungen der Wissenschaft ergeben, und wie die Sache in der Praxis aussehen wird, kann deshalb erst die Zukunft zeigen.

Die vorgeschlagenen Untersuchungen lassen sich in verschiedene Gruppen einteilen. Eine davon umfaßt grundlegende weltweite Inventuren. Dabei kann es sich um konventionelle „Luftbildkartierungselemente“ und damit um eine Übertragung bisheriger Auswertungsverfahren auf den kleineren Maßstab und die größere Flächenbedeckung des Raumbildes handeln. Bereits bestehende Projekte wie etwa die Internationale Weltkarte oder der „World Land Use Survey“ könnten dadurch revidiert, erweitert oder beschleunigt werden.

Andererseits kommt aber auch die Erfassung neuer, mit dem Luftbild bis jetzt nicht oder kaum kartierter Elemente wie z. B. der Bevölkerung in Frage. Außerdem bietet die Satellitenphotographie mit der Möglichkeit der beliebigen Wiederholung in kürzeren oder längeren Intervallen ungeahnte Aussichten für die Erfassung von Veränderungen irgendwelcher Art.

Im Gegensatz zu den weltweiten Inventuren denkt man aber auch an die Ausführung von regionalen oder sogar lokalen Detailstudien. Es liegt aber nahe, den allgemeinen globalen Kartierungen die Priorität zu geben, da für detaillierte Untersuchungen die Anforderungen an die Qualität der Information viel höher sein werden. Diese dürften erst nach weiterer technischer Entwicklung und mit zunehmender Erfahrung möglich werden.

### Weltweite Inventuren

Da ein Satellit in polarer Umlaufbahn in kurzer Zeit vollständige Bildbedeckungen der Erde zu liefern imstande ist, ist der Gedanke an die Erstellung von Weltkarten naheliegend. Dies wurde denn auch in übereinstimmender Weise von fast allen Diskussionsgruppen als wünschenswerter erster Schritt bezeichnet. Das Außerordentliche und grundlegend Neue bei solchen künftigen globalen Kartierungen liegt darin, daß sie sich nach durchgehend einheitlichen Gesichtspunkten werden durchführen lassen und daß sie sich auf praktisch simultan aufgenommenes Datenmaterial werden stützen können. Sie werden nicht nur eine wertvolle Ergänzung zu bestehenden internationalen Statistiken bilden, sondern in vielen Fällen zur Revision solcher Statistiken dienen können, die ja erfahrungsgemäß oft sehr ungenau sind. Außerdem wird man, wie dies bei der Luftbildkartierung schon bisher in beschränktem Rahmen möglich war, von politischen Grenzen unabhängig werden und wird Untersuchungen zum Beispiel auf der Grundlage von naturräumlichen Größeneinheiten durchführen können.

Es wurde vorgeschlagen, mit Kartierungen in extrem kleinem Maßstab zu beginnen und später, mit zunehmender Erfahrung, auf größere Maßstäbe überzugehen. Dies gilt insbesondere für die im Vordergrund stehende Erstellung einer allgemeinen topographischen Übersichtskarte. Hier soll von einem Maßstab von vielleicht 1 : 10 Mill. über 1 : 1 Mill. bis zu 1 : 250 000 fortgeschritten werden. Auch die Produktion von weltweiten Photoatlanten wird ins Auge gefaßt, und man kann sich unschwer vorstellen, welche Bedeutung solches Material speziell etwa für Lehrzwecke haben würde.

Eine Reihe von Vorschlägen befaßt sich mit thematischen Weltkarten. Als Kartierungsobjekte wurden z. B. Geologie, Hydrologie und Glaziologie, Vegetation und Landnutzung genannt. Dies sind Elemente, mit deren Aufnahme man schon vom konventionellen Luftbildwesen her vertraut ist. In dieser Hinsicht wird sich für die Auswertetechnik und -methodologie zunächst nichts grundlegend Neues ergeben. Es ist aber daran zu denken, daß immer ein größerer Teil der Erdoberfläche von Wolken bedeckt sein wird, ein Umstand, der vor allem dann, wenn es um die Aufnahme der Simultansituation in einer bestimmten Jahreszeit geht, den Einsatz von wolkendurchdringenden

Erkundungssystemen außerhalb des sichtbaren Spektrums erforderlich machen wird. Für die Auswertung des damit gewonnenen neuartigen Bildmaterials wird eine intensive Forschung entsprechende Methoden zu entwickeln haben.

Neue Aspekte, die durchaus zu neuen wissenschaftlichen Erkenntnissen führen könnten, ergeben sich aus der gegenüber konventionellen Luftbildern enormen Verkleinerung des Maßstabes, die automatisch zu einer direkten optischen Generalisierung führt, wie sie bisher auf keinem andern Wege erreicht werden konnte. Es ist vorauszusehen, daß damit eine Abklärung vieler Grenzprobleme und eine wohlfundierte Abgrenzung der großen geographischen Zonen der Erde möglich wird.

Neben den bereits genannten gibt es nun eine Anzahl von Projekten, die die Kartierung von Elementen vorsieht, die aus verschiedenen Gründen im konventionellen Luftbildwesen bisher kaum eine Rolle gespielt haben. In eine erste Gruppe gehört die Aufnahme der auf der Erdoberfläche sichtbaren Transportsysteme. Dabei denkt man nicht nur an eine Inventur der Transportanlagen, sondern auch, unter Zuhilfenahme wiederholter Bildbedeckungen, an eine Erfassung der effektiven Verkehrsströme. Eine Aufnahme zum Beispiel des weltweiten Schiffverkehrs wäre für den Wirtschaftsgeographen zweifellos von außerordentlichem Interesse, da insbesondere für den Transport von Massengütern statistische Unterlagen oft spärlich sind oder ganz fehlen. Daß natürlich auch Fischereiflotten erfaßt werden könnten, sei in diesem Zusammenhang am Rande erwähnt.

In eine zweite Gruppe gehört die Kartierung von Elementen, die entweder nicht direkt sichtbar sein werden oder deren Sichtbarmachung enorme Anforderungen an das Auflösungsvermögen des Aufnahmesystems stellen würden, denen möglicherweise nicht entsprochen werden kann. Aus dem einen oder andern Grunde ist deshalb hier mit der Entwicklung und Einführung von zuverlässigen Surrogatmassen zu rechnen. Als Beispiel nennen wir die Herstellung einer Karte, die die bewohnten Gebiete der Erde mit Angabe der Bevölkerungsdichte und Siedlungsverteilung zeigen würde. Mögliche Indikatoren für die Bevölkerungsdichte sind die an Hand der Baulichkeiten sichtbare Siedlungsart und Siedlungsdichte. Die einzige dem Schreibenden bekannte Arbeit, in der in diesem Sinne die Bevölkerungsdichte eines Landes vom Luftbild kartiert wurde, betrifft Liberia und stammt von PORTER (1956). Eine ähnliche Methodik ließe sich bestimmt für die globale Auswertung von Raumbildmaterial entwickeln, indem aus terrestrischen Kontrollen in verschiedenartigen geographischen Einheitsräumen die nötigen Korrelationen abgeleitet würden. Man geht sogar noch einen Schritt weiter und denkt an eine Kartierung der menschlichen Aktivität. So stellt sich die Frage, ob man etwa mit Messungen der Thermalstrahlung direkt ein Maß für die Energiekonsumtion erhalten könnte. Wenn sich diese Idee realisieren ließe, müßte dies für die wirtschaftsgeographische Forschung von umwälzender Bedeutung sein. Weiter ist auch die Möglichkeit einer Erfassung der Viehbestände und Wildherden diskutiert worden. Speziell hier ist das Problem des Auflösungsvermögens von entscheidender

Bedeutung, und es ist fragwürdig, ob direkte Erkennungsmethoden, wie sie schon auf dem Gebiete des konventionellen Luftbildwesens mit großen Schwierigkeiten verbunden sind (siehe dazu COLWELL 1964), auf den Fall der Satellitenphotographie überhaupt übertragen werden könnten. Wenn dies nicht der Fall ist, müßte auch hier ein „sichtbarer“, eine genügende Korrelation gewährleistender Indikator gefunden werden. Ob dies aber gelingen würde, ist eine andere Frage.

Besonders interessant sind auch die Aussichten, die sich für die klimatische Forschung ergeben. Zunächst liegt es nahe, die auf Bildern konventioneller Art auffallende Wolkenbedeckung über größere Zeiträume hinweg in kurzen Intervallen systematisch zu verfolgen und damit zu Karten der mittleren jahreszeitlichen oder jährlichen Bewölkungsdauer zu gelangen. Gleichzeitig könnte auch noch nach Art der Wolken unterschieden werden. Weitere klimatische Elemente, deren Erfassung möglich sein sollte, sind etwa die Oberflächentemperatur der Erde, die Niederschlagsverteilung, der Gehalt der Atmosphäre an niederschlagbarem Wasser und die atmosphärische Trübung. Hier müßten weitgehend unkonventionelle, auf Thermal- und Radarstrahlung ansprechende Erkundungssysteme eingesetzt werden. Als wichtigste Neuerung für die klimatische Kartierung im allgemeinen ist die Möglichkeit zu betrachten, daß mit Satellitendaten die klimatischen Elemente flächenmäßig und lückenlos erfaßt werden können. Bisher war man stets auf die Interpretation einzelner punktueller gemachter Beobachtungen angewiesen, die dann auf die Fläche verallgemeinert werden mußten. Diese Kapazität der Erkundung aus dem Raum dürfte zu einer ganz neuartigen Klimatologie führen.

#### Erfassung von Veränderungen

Die Möglichkeit, weltweites Datenmaterial regelmäßig in kürzeren oder längeren Intervallen zu erhalten, kann dazu benützt werden, um jahreszeitliche Fluktuationen oder säkulare Veränderungen der oben genannten und anderer Elemente zu untersuchen. Im ersten Fall wird die Erfassung periodischer Schwankungen etwa der Wasser-, Schnee- und Eisbedeckung, des Vegetationsbewuchses und klimatischer Variablen im Vordergrund stehen. Mit entsprechendem Bildmaterial wird man direkt optisch zeigen können, wie die Erde zu verschiedenen Jahreszeiten von „außen“ gesehen aussieht. Es wurde sogar der faszinierende Vorschlag gemacht, Zeitrafferfilme herzustellen, die den jahreszeitlichen Rhythmus der Erde visuell faßbar machen würden.

Auch aperiodische allmähliche Veränderungen werden sich weit besser als bisher und auf weltweiter Basis registrieren lassen. Im Zeitalter der rapiden Bevölkerungsexpansion und der stets intensiveren Umgestaltung der Erdoberfläche durch den Menschen kommt diesem Umstand zweifellos enorme Bedeutung zu. Die Feststellung der Entwicklungstendenzen auf der ganzen Erde werden eine zuverlässigere Schätzung dessen ermöglichen, was wir in 50 oder 100 Jahren zu erwarten haben. Außerdem könnte eine in Abständen von etwa 5 Jahren wiederholte Inventur zum Beispiel der waldwirtschaftlichen Verhältnisse, der agrarischen

Landnutzung und der Bevölkerung zur Überbrückung der normalerweise in größeren Intervallen (10–20 Jahre) ausgeführten nationalen Erhebungen dienen, womit sich auch bessere Grundlagen für die kurzfristige Planung gewinnen ließen.

#### Räumlich beschränkte Spezialstudien

Man rechnet damit, mit der weiteren technischen Entwicklung der Erkundungstechnologie in einem späteren Zeitpunkt einen Satelliten auch für Aufgaben regionalen oder gar nur lokalen Umfangs einsetzen zu können. Vieles weicht dabei in der Aufgabenstellung nicht von dem ab, was im konventionellen Luftbildwesen üblich ist, oder zumindest möglich wäre. Der entscheidende Vorteil des Satelliten liegt dabei darin, daß nicht spezielle Bildflüge ausgeführt werden müssen, sondern daß die nötigen Daten zu einem beliebigen Zeitpunkt von dem ohnehin um die Erde kreisenden Raumfahrzeug gewonnen werden können. Im Vordergrund steht die Erkundung im Zusammenhang mit Katastrophen wie Überflutungen, Erdbeben, Lawinen und Bränden, nämlich für die Feststellung der Schäden, die Planung der Wiederherstellungsarbeiten, aber auch – soweit möglich – für die Voraussage.

Weitere mögliche Anwendungsgebiete umfassen, um nur einige wenige Beispiele zu nennen, die Kontrolle des Haushaltes von Gletschern, die Erfassung rascher topographischer Veränderungen der Erdoberfläche mit wiederholter Radarprofilierung, die Lokalisation von Zonen aktiver Deformation mit Hilfe der Thermalemission, die Feststellung von Schwankungen des Trockenfeldbauareals in klimatisch kritischen Gebieten und die Durchführung von Verkehrsanalysen in Städten. Im Zusammenhang mit dem letzten Punkt sei darauf hingewiesen, daß man gerade zum Beispiel hier nicht nur an die Auswertung von Bildmaterial denkt. Man hat davon gesprochen, den Pendelverkehr in Städten dadurch zu registrieren, daß eine Stichprobe aller Fahrzeuge oder sogar aller Personen mit kleinen Sendern ausgerüstet wird, deren Emissionen vom Satelliten aufgefangen und zu ihrer Lokalisation verwendet werden könnten. Ähnliche Verfahren kämen auch für die Feststellung der Wanderungen von Nomaden in Frage. Für derartige Projekte dürften sich aber nicht nur technische Probleme ergeben, sondern es müßte etwa die Frage gestellt werden, wieweit damit nicht ein unerwünschter Eingriff in die Privatsphäre des Menschen verbunden wäre.

#### Internationale Zusammenarbeit

Aus der Fülle der gemachten Vorschläge haben wir hier nur Beispiele aufgezählt. Vieles mag im Moment noch äußerst utopisch anmuten, aber man hat sich in den letzten Jahren daran gewöhnt, auf technischem Gebiet nichts als unmöglich zu betrachten. Zweifellos ist die Kapazität eines Satelliten als Informationsvermittler in jedem Fall enorm. Das Zukunftsbild sieht so aus, daß die Erde selbst direkt als Datenbank angesehen werden kann, aus der nach Bedarf via Raumfahrzeug die benötigte Information herausgeholt werden kann.

Eine vernünftige Ausnützung dieser Kapazität läßt sich natürlich nur erreichen, wenn eine fruchtbare

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 Strahlung