

WELTRAUMPHOTOGRAPHIE - STAND UND ENTWICKLUNGSTENDENZEN

Karl-Heinz Marek
 ives Fernerkundungszentrum Potsdam
 Berliner Str. 50, O-1560 Potsdam
 Germany

Vladimir V. Kiselev
 Staatliches Zentrum Priroda
 Krzhizhanovskogo 14, Kor. 2, 117801, Moskau, V-218
 Russia

ZUSAMMENFASSUNG

Die Weltraumphotographie hat in der 2. Hälfte der 80er Jahre insbesondere im Rahmen des nationalen Fernerkundungsprogramms der UdSSR/GUS eine deutliche Weiterentwicklung erfahren. Neben der großformatigen Kamera KFA-1000 gehört die Multispektralkamera MK-4 zu einer neuen Generation von photographischen Sensoren, die über ein großes Gesichtsfeld und über hohe geometrische und spektrale Bildeigenschaften verfügen. Diese Kameras haben eine breite Akzeptanz bei der Ressourcenerkundung und Umweltüberwachung bis zum Maßstab 1:25 000 gefunden.

Im Beitrag wird der gegenwärtige Entwicklungsstand auf dem Gebiet der Weltraumphotographie am Beispiel des komplexen russischen Fernerkundungssystems dargestellt und auf künftige weitere Entwicklungen hingewiesen.

SPACE PHOTOGRAPHY - STATUS AND TENDENCIES SUMMARY

In the eighties space photography was further developed especially in the frame of the national remote sensing program of the USSR/CIS. In particular both the high resolution camera KFA-1000 and the multispectral camera MK-4 belong to a new generation of photographic sensors possessing a large image format simultaneously with high spatial and radiometric image properties. These space cameras have achieved a broad acceptance in the application for mapping and investigation of environment and natural resources up to a scale of 1:25 000.

The paper gives the state-of-the-art of space photography exemplified on the Russian photographic remote sensing system, an assessment of the information potential of modern space cameras and an outlook for the possibilities of future technical development.

KEY WORDS: Space cameras, Information potential.

1. MODERNE ENTWICKLUNGEN AUF DEM GEBIET DER WELTRAUMPHOTOGRAPHIE

Die Weltraumphotographie als Methode der Fernerkundung wurde in den letzten Jahren insbesondere im Rahmen des nationalen Weltraumprogramms der UdSSR/GUS bedeutend weiterentwickelt. Hauptgegenstand dieser Entwicklungen waren insbesondere

- die Erhöhung des räumlichen Informationsgehalts der Aufnahmen durch Steigerung des geometrischen Auflösungsvermögens bei gleichzeitiger Bewahrung eines relativ großen Gesichtsfeldes,
- die Erhöhung des spektralen und radiometrischen Informationsgehalts durch Nutzung multispektraler Verfahren mit sensitometrischer Kontrolle und
- eine Verbesserung der Operativität beim Datenzugriff durch ein entsprechendes Datenmanagement.

Gegenwärtig existiert ein komplexes und in die Routine-nutzung bei der Lösung zahlreicher Aufgaben der flächenhaften Ressourcenerkundung und Umweltüberwachung in die Praxis eingeführtes System der photographischen Erderkundung aus dem Weltraum, dessen einzelne Komponenten ein abgestuftes Informationspotential (geometrische und spektrale Auflösung, Bildmaßstab,

Gesichtsfeld, Stereoinformation) besitzen und damit je nach Anwendungszweck differenziert einsetzbar sind (Tab.1.).

Tab.1. Russische Weltraumkameras mit unterschiedlichem Informationspotential

	Geometrisches Potential	
	Auflösung 25-30 m	Auflösung 5-10 m
Spektrales Potential (k-Anzahl der Spektralbänder)		
panchrom.(k=1)	KAP-350	KFA-1000
spektrozonal (pseudo-k=2)	-	KFA-1000
multispektral (k=3...6)	KATE200, MKF-6	MK-4

Dieses komplexe System zur photographischen Fernerkundung aus dem Weltraum wird durch drei Satellitensysteme realisiert:

- Satelliten vom Typ RESSOURCE-F1 mit 2 Kameras KFA-1000 und 3 Kameras KATE-200 (s. Fig.1),
- Satelliten vom Typ RESSOURCE-F2 mit der Kamera MK-4,
- bemannte Weltraumstation MIR einschl. ihrer Spezialmodule "Quant 2" bzw. "Kristall" mit dem Kamera-komplex "Priroda-5" (2 Kameras KFA-1000, deren optische Achsen zueinander um 16° geneigt sind) sowie den Kameras MKF-6M und KAP-350.

Neben diesem photographischen System verfügt Rußland über weitere Weltraum-Fernerkundungssatelliten:

- RESSOURCE-0 mit dem Multispektralscanner MSU-E (Flughöhe 650 km, 3 Spektralbereiche im VIS und NIR, Pixelgröße 45 m) und
- Station ALMAZ-1 mit einem SAR-System (Flughöhe 280 km, Wellenlänge 10 cm, Auflösung ca. 15 m).

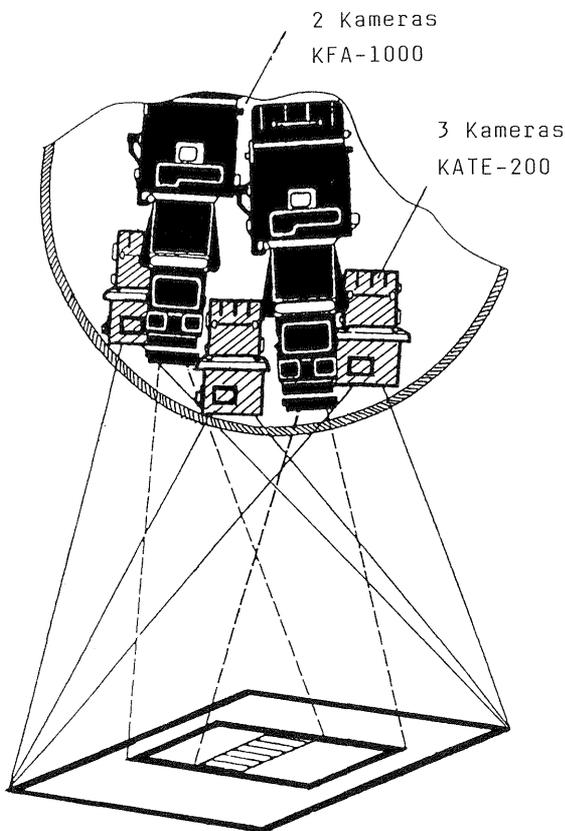


Fig.1. Kameraanordnung im Satelliten RESSOURCE-F1

Nahezu 95% aller Aufnahmen für Ressourcenerkundungen und Umweltüberwachungen erfolgen in Rußland mit Hilfe der RESSOURCE-Satelliten. Die Photomaterialien dieser Kameras werden nach Belichtung in speziellen Rückkehrbehältern zur Erde zurückgeführt. Die Aufnahmen auf der Station MIR werden im automatischen Betrieb oder durch die Kosmonauten manuell ausgelöst. Ihre Rückführung erfolgt mit Hilfe von Transportraumschiffen.

Die technischen Daten der eingesetzten Kameras zeigt Tab.2.

Die Aufnahmen werden im allgemeinen regelmäßig im Zeitraum zwischen April und September ausgeführt, wobei ihre Kontinuität durch aufeinanderfolgende Satellitenstarts garantiert ist. Von einem Satelliten kann bei einer Lebensdauer von etwa 1 Monat eine Gesamtfläche von ca. 20 Mio. km² aufgenommen werden. Davon sind durchschnittlich etwa 8-10 Mio. km² ohne meteorologisch bedingte Beeinträchtigungen auswertbar.

Während des genannten Zeitraumes kann das gleiche Gebiet der Erdoberfläche 2-3 mal photographisch erfaßt werden.

Die großformatige Kamera KFA-1000 hat als Ausgangsmaterial für die topographische und thematische Kartierung in den Maßstäben 1:50 000 und 1:25 000 international bereits eine relativ breite Akzeptanz gefunden. Die "echte" Multispektralkamera MK-4 weist gegenüber der KFA-1000 einige Vorzüge in geometrischer, spektraler und radiometrischer Hinsicht auf (Marek, 1990). Sie wird in der Regel in einem Kanal mit Zweischichten-Farbfilm (Spektrozonalfilm SN-10) und in den übrigen drei Kanälen mit hochauflösenden Schwarzweiß-Filmen und vorgeschalteten unterschiedlich definierten Bandfiltern betrieben. Auf diese Weise bietet die MK-4 die unikale Möglichkeit, für thematische Interpretationen sowohl die echte Multispektralsynthese, als auch die spektrozonale Abbildung heranzuziehen.

Die geometrische Auflösung ist bekanntlich im allgemeinen eine variable Größe, die neben den Aufnahmebedingungen von Flughöhe, Objektform und -kontrast, Filmemulsion u.a. abhängt. Für die MK-4 wurden folgende Werte für die Geländeauflösung ermittelt:

- für flächenhafte Objekte mit mittlerem Kontrast: 5-8m
- für flächenhafte Objekte mit hohem Kontrast : 4-5m
- für linienhafte Objekte mit mittlerem Kontrast : 3-5m
- für linienhafte Objekte mit hohem Kontrast : bis 2m.

Die Kamera verfügt über

- Öffnungsverhältnis: 1:5,6 ... 1:13,
- Belichtungszeit: 1/25 ... 1/200 s,
- lineare Bildbewegungskompensation mit einer Genauigkeit von $\pm 3\%$,
- Auflösung der Film/Objektivkombination von 150 LP/mm (damit ist 10-15 fache Vergrößerung möglich),
- Genauigkeit bei der Lagebestimmung $\pm 6m$, bei der Höhenbestimmung $\pm 10m$,
- photometrische Zusatzeinrichtung als Graukeil auf jedem Bild (Breite 6mm, Konstante 0.01 mm, minimale optische Dichte 0,2 D),
- Genauigkeit der Bestimmung spektraler Helligkeiten: $\leq \pm 5\%$,
- Verzeichnung im gesamten Feld: $< 10\mu m$,
- Verteilung der Beleuchtungsstärke im Gesichtsfeld (β): entspricht $\cos^4\beta$,
- Differenz der relativen Beleuchtungsverteilung in allen Kanälen: $< 4\%$,
- aufbelichtete Zusatzinformationen: Film- und Bildnummer, Belichtungszeit, kodierte Bordzeit, Uhr, photometrischer Graukeil, Gerätebezeichnung, kalibrierte Brennweite, Öffnung, Startdatum,
- aufbelichtete Information innerhalb des Gesichtsfeldes: Kanalnummer, Nr. der Reseauplatte, Gitterkreuze (am Bildrand),
- Anzahl der Aufnahmen pro Kanal: 2.500.

Tab.2. Technische Daten der wesentlichsten gegenwärtig im Einsatz befindlichen Weltraumkameras

Satellit	Ressource - F1		Ressource-F2	Station MIR
Flughöhe (km)	270		240	340
Bahnneigung	62 - 83°		82°	51°
Kameratyp	KFA-1000	KATE-200	MK-4	KFA-1000
Anzahl der Kameras	2	3	1	2
Schwadbreite (km)	2 x 80	240	140	2 x 100
Brennweite (mm)	1000	200	300	1000
Bildformat (cm)	30 x 30	18 x 18	18 x 18	30 x 30
Film	SZ ¹⁾	SW ²⁾	1x SZ, 3x SW	SW
Spektralkanäle	2	3	4	2
Spektralbereiche (µm)	0.57-0.67 0.67-0.81	0.5-0.6 0.6-0.7 0.7-0.8	0.635-0.690 0.515-0.565 0.580-0.800 0.810-0.900 0.460-0.505 0.400-0.700	0.57-0.67 0.67-0.81
Aufnahmemaßstab	1:270 000	1:1 350 000	1:800 000	1:340 000
Längsüberdeckung (%)	60	20-80	60	20-60
Geländeauflösung (m)	5-10	25-30	8-10	12

1) SZ - Zweischichten-sensibilisierter Farbfilm (Spektronzonalfilm)

2) SW - hochauflösender Schwarzweiß-Film

Für die optisch-analoge Auswertung der multispektralen Weltraumphotographien existiert eine Reihe spezieller Auswertegeräte, die in den letzten Jahren weiter vervollkommen wurden.

Dazu gehören u.a.

- der 4-Kanal-Multispektralprojektor PS-4 zur Farb-Synthese großformatiger Aufnahmen,
- das Synthese- und Kopiergerät "Kontakt-1",
- das Projektions- und Interpretationsgerät SPM.

Auf ihre Besonderheiten soll an dieser Stelle nicht weiter eingegangen werden.

2. ZUM INFORMATIONSPOTENTIAL DER WELTRAUMPHOTOGRAPHIE

Für statistische Bewertungen hat sich der aus den Kamera- und Bahndaten über die mittlere Entropie des Bildinhalts berechnete sog. potentielle Informationsgehalt H bewährt (Malila, 1986; Marek, 1986):

$$H = H_R + H_S + H_T$$

Dabei bedeuten

- geometrischer Informationsgehalt $H_R = \log_2 \sum_{i=1}^k N_i$

- spektraler Informationsgehalt $H_S = \log_2 \sum_{i=1}^k n_i$

- temporaler Informationsgehalt $H_T = \log_2 t$

sowie

N - Anzahl der Bildelemente, deren Größe dem geometrischen Auflösungsvermögen entspricht, pro Einzelaufnahme,

k - Anzahl der Spektralbänder,

$r=2n$ - radiometrische Auflösung,

n - Anzahl der Binärstufen der Strahlungsintensität innerhalb eines jeden Spektralbereichs (in bit/Band),

t - temporale Auflösung (Zeitspanne zwischen wiederholten Aufnahmen der gleichen Szene).

Der für die verschiedenen Weltraumkameras berechnete geometrische und spektrale Informationsgehalt ist in Fig. 2 gegeben. Bei den Berechnungen wurde zugrunde gelegt

a) eine Relation zwischen photographischer Auflösung (A_{phot}) und äquivalenter Größe eines Elements des Digitalbildes bzw. äquivalentem Digitalisierungsintervall (A_{pix}) von

$$A_{\text{phot}} : A_{\text{pix}} = 2,0$$

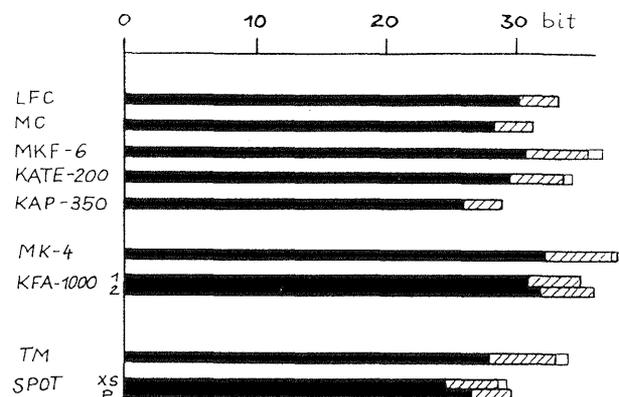


Fig.2. Potentieller geometrischer und spektraler Informationsgehalt von Weltraum-Fernerkundungssystemen

b) anstelle von k die "letzte" noch akzeptierbare Ordnung k_0 der Hauptkomponenten nach erfolgter Bildtransformation, um die Korrelationen zwischen den Aufnahmen in unterschiedlichen Spektralbereichen, die zu erheblichen Redundanzen im spektralen Informationsgehalt führen, zumindest teilweise zu berücksichtigen.

Auf der Grundlage ihres Informationspotentials lassen sich die eingesetzten Weltraumkameras unterschiedlichen Generationen zuordnen:

	Kameratyp	Geometr. Auflösung (m)	Spektralbereiche	ableitbarer Kartenmaßstab
1. Generation	KATE-200, KAP-350	25-30	3 bzw. 1	1:100 000-1:200 000
	MKF-6	15-20	6	1:50 000-
	MC, LFC		je 1	1:100 000
2. Generation	KFA-1000	5-10	2 (3)	1:25 000-
	MK-4		4	1:50 000
3. Generation	?	1-3	>2	1:10 000

Die Kameras der 2. Generation verfügen sowohl über ein großes Gesichtsfeld, als auch über hohe geometrische und spektrale (photometrische) Bildeigenschaften.

Ein Vergleich mit den digitalen Weltraum-Fernerkundungssystemen auf der Grundlage von Fig. 2 zeigt hinsichtlich des potentiellen Informationsgehalts eine gewisse Überlegenheit der photographischen Systeme. Die durchgeführte rein statistische Bewertung reduziert den Informationsgehalt von Fernerkundungsaufnahmen auf den diskreten Bildinhalt und abstrahiert damit sowohl von semantischen, als auch von rein nutzerspezifischen Relationen, die sich z.B. in Kontextbeziehungen des Bildinhalts ausdrücken. Einen ähnlichen, nur schwierig objektivierbaren Einfluß zugunsten des Interpretationsertrags von Digitalbildern besitzt auch die i. allg. höhere spektrale Auflösung dieser Digitalbilder, deren Bildkontrast als wichtige Größe für den erreichbaren geometrischen Informationsgehalt darüberhinaus relativ einfach manipulierbar ist.

Die genannten Gründe tragen dazu bei, daß in der Praxis die nutzungsbezogenen Unterschiede zwischen den modernen digitalen (z.B. Kombination von SPOT und LANDSAT TM) und den photographischen Weltraum-Fernerkundungssystemen der 2. Generation geringer bleiben als aus den rein statistischen Abschätzungen erwartet wird. Als optimale Lösung bietet sich offensichtlich eine gegenseitige Ergänzung und ggf. Kombination der Daten aus beiden Fernerkundungssystemen an.

Eine Verfügbarkeit von Weltraumkameras der 3. Generation in den nächsten Jahren würde allerdings der Weltraumphotographie bezüglich der Detailliertheit bei der Informationsgewinnung eine im allgemeinen dominierende Stellung in der Konkurrenz zur Luftbildaufnahme einräumen.

3. KÜNFTIGE ENTWICKLUNGEN

Die weitere technische Entwicklung der Weltraumphotographie ist auch in den nächsten Jahren in erster Linie auf

- einen höheren Informationsgehalt (geometrische Auflösung von etwa 3 m aus Höhen von 600 km bei gleichzeitig großer Schwadbreite, schmalbandige Multispektralinformation, höhere zeitliche Auflösung) und
- eine höhere Operativität (extreme Verkürzung der Datenzugriffszeiten für den Nutzer bis zur Quasi-Echtzeit-Nutzung) orientiert.

Diese Ziele sind erreichbar durch

- permanente Vervollkommnung der existierenden Systeme der 2. Generation (Satellitenbahn, Kamera-konfiguration an Bord des Satelliten, Filmemulsionen, Aufnahmemethodik, Datentelemetrie) und
- Nutzbarmachung von Verifikationsatelliten für die zivile Erderkundung bzw.
- Entwicklung einer neuen Generation von Weltraumkameras mit Echtzeit-Datenübertragung und geometrischer Auflösung von < 1m.

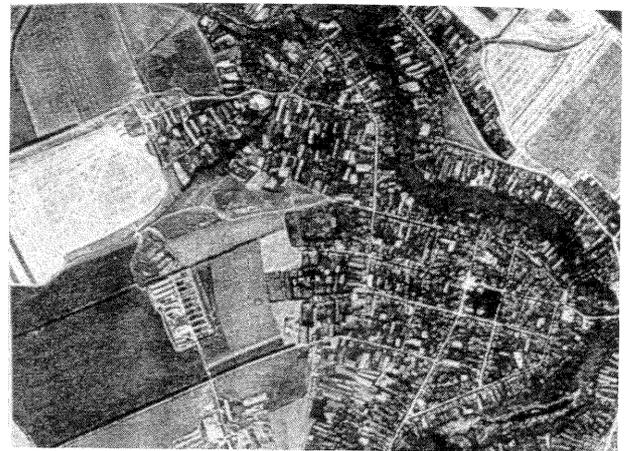


Fig.3. Digital bearbeitete Aufnahme, erhalten von einer Weltraumkamera der 3. Generation

Fig. 3 zeigt eine solche, von einem experimentellen photographischen Weltraumsystem der 3. Generation gewonnene und digital bearbeitete Aufnahme (Originalmaßstab 1:50 000 ... 1:100 000, Auflösung nach digitaler Bearbeitung ca. 3m). Solche Aufnahmen sind bei schneller Verfügbarkeit für die lokale Umwelterkundung und Katastrophenüberwachung vorteilhaft einsetzbar.

Solche hoffnungsvolle Entwicklungen zeigen, daß neben der Entwicklung von geometrisch und spektral höher auflösenden Scannersystemen (MOMS-2, SPOT-4, LANDSAT-6) auch die Weltraumphotographie in den nächsten Jahren ihre Bedeutung für ein breites Anwendungsfeld bei der Erkundung von Erscheinungen und Prozessen auf der Erdoberfläche, die im optischen Bereich erfaßbar sind, weiter beibehalten wird. Die Vorteile der Weltraumphotographie sind in erster Linie ihre hohe photogrammetrische Genauigkeit und räumliche Auflösung sowie die relativ geringen Kosten bei der Datengewinnung und -auswertung.

LITERATUR

Malila, W. A., 1986. Components and comparisons of potential information from several imaging satellites. Proc. IGARSS 86, Zürich. Ref. ESA SP-254.

Marek, K.-H., 1990. Progress in Space Photography. In: Int. Arch. Photogramm. Remote Sensing. Dresden. Vol. 28 Part 2, pp. 227-238

Marek, K.-H., 1986. Comparative analysis of the information content of several remote sensing systems. Proc. Int. Colloquium "Space Photography". Leipzig