

FERNERKUNDUNG IM SICHTBAREN UND INFRAROTBEREICH

Gegenwärtiger Stand und zukünftige Entwicklung

Dipl.-Ing. Michael Sartori
AUSTROPLAN-SPACETEC
Linke Wienzeile 234
A-1153 Wien

ZUSAMMENFASSUNG

Übersichtsvortrag zum Systemaufbau der Fernerkundung, speziell im Spektralbereich 0,4 - 16 μm . Thematische Karte als Produkt der Fernerkundung. Übersicht über den Informationsfluß. Diskussion der das Ergebnis bestimmenden Qualitätsfaktoren. Ausblick auf die Weiterentwicklung von Aufnahmesystemen. Bedeutung der elektronischen Systeme.

EINLEITUNG

Die Entwicklung eines Arbeitsgebietes kann nur beschrieben werden, wenn in gleicher Weise eine kritische Auseinandersetzung mit den damit angestrebten Zielen verbunden ist.

Der Begriff Fernerkundung ist eigentlich eine Herausforderung für diese kritische Auseinandersetzung. Als sich in Europa gegen Ende der sechziger Jahre und zu Anfang der siebziger Jahre unter dem Einfluß von Entwicklungen der Weltraumforschung und im militärischen Bereich ein eigenes Gebiet zur Untersuchung der Erdoberfläche etablierte, sprach man ausschließlich von "Remote Sensing". Die angesichts der spektakulären bildhaften neuen Ansichten unserer Umwelt eingeführte Übersetzung "Fernerkundung" verrät eigentlich nichts über die zentrale Aufgabe dieses Wissensgebietes, nämlich die Herstellung einer Abbildung des Untersuchungsgebietes im Sinne einer thematischen Karte. Die Fotografie als klassischer Bereich der Fernerkundung kann sehr gut zur Verdeutlichung dieses Problems herangezogen werden.

Ein Luftbild zeigt aus einer zunächst ungewohnten Perspektive in einer eindrucksvollen und umfassenden Art die Lage von Objekten, die Spuren, die Natur und menschliche Aktivitäten auf der Erdoberfläche hinterlassen und vieles mehr. Dies ist sicher Fernerkundung.

Der Schritt von einem Luftbild, auf dem z.B. Umweltschäden sichtbar sind, zu einer thematischen Karte, die die Art und Intensität dieser Schäden darstellt, ist aber die eigentliche Aufgabe und das zentrale Problem der Fernerkundung.

FERNERKUNDUNG IM SICHTBAREN UND INFRAROTBEREICH

Um große Gebiete in kurzer Zeit erfassen zu können, muß ein Fernerkundungsaufnahmesystem eine mehr oder weniger große Entfernung zu den Untersuchungsobjekten haben. Die elektromagnetische Strahlung, die von diesen Objekten ausgesendet und vom Aufnahmesystem empfangen wird, ist zunächst das einzige Informationsübertragungsmedium.

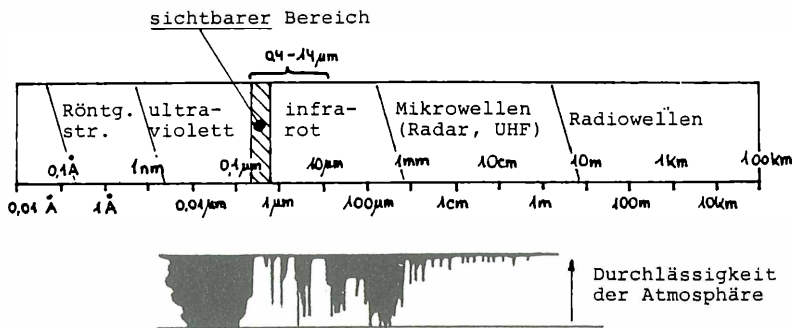


Abb. 1 Das elektromagnetische Strahlenspektrum und die Durchlässigkeit der Atmosphäre

Die Entwicklung der Fernerkundung im sichtbaren Bereich des Spektrums, die technische Entwicklung sowie die physikalischen Gegebenheiten bei den Untersuchungsobjekten und in der Erdatmosphäre haben einen Spektralbereich ergeben, in dem sich heute der größte Teil der Fernerkundung abspielt. Dieser Spektralbereich erstreckt sich von der kurzwelligen Grenze des sichtbaren Lichtspektrums bei $0,4 \mu\text{m}$ bis zur Wellenlänge von $14 \mu\text{m}$ der mittleren Infrarotstrahlung. Das ergibt ungefähr die vierzigfache Bandbreite des sichtbaren Spektralbereiches.

Bezeichnung der Wellenlängenbänder sowie ihre Unterbrechung durch das Strahlungsabsorptionsverhalten der Erdatmosphäre ergeben folgende Aufnahmebereiche, die intensiv von flugzeug- und erdsatellitengestützten Fernerkundungssystemen genutzt werden.

sichtbarer Bereich	$0,4 \mu\text{m}$	$0,7 \mu\text{m}$
naher Infrarotbereich	$0,7 \mu\text{m}$	$1,1 \mu\text{m}$
	$2 \mu\text{m}$	$2,5 \mu\text{m}$
mittlerer Infrarotbereich	$3 \mu\text{m}$	$5 \mu\text{m}$
	$8 \mu\text{m}$	$14 \mu\text{m}$

Tabelle 1 Nutzbare Spektralbereiche zwischen $0,4 \mu\text{m}$ und $14 \mu\text{m}$

Im sichtbaren Bereich und im nahen Infrarot dominiert das von den Untersuchungsergebnissen reflektierte Sonnenlicht.

Im mittleren Infrarot wird zum allergrößten Teil die Strahlung empfangen, die von den Oberflächen aufgrund ihrer Temperatur abgestrahlt wird.

AUFGABE DER FERNERKUNDUNG

Um den Stand und die Weiterentwicklung der Fernerkundung - orientiert an ihrer Aufgabenstellung - beschreiben zu können, soll ab nun die thematische Karte in den Mittelpunkt gestellt werden.

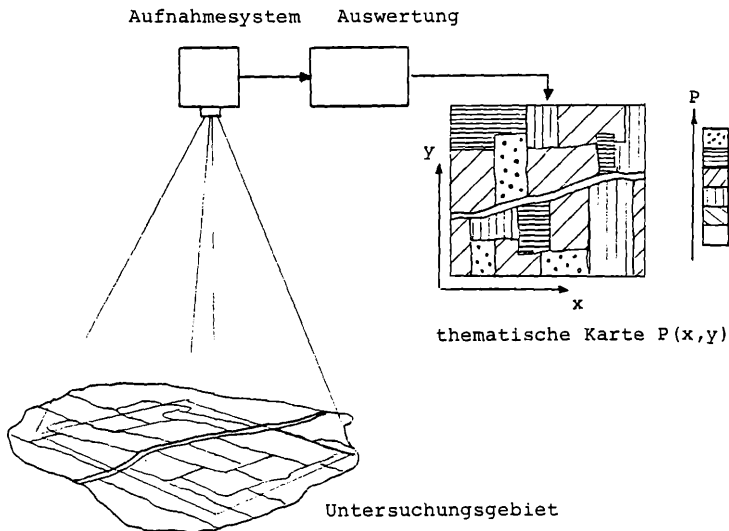
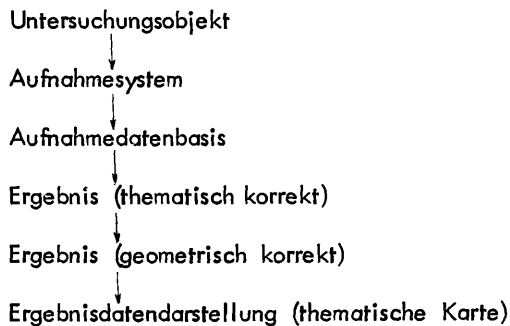


Abb. 2 Die thematische Karte als Ergebnis der Fernerkundung

Dieses Ergebnis ist der Endpunkt eines Informationsflusses, der mit der Aussendung von Strahlung durch das Untersuchungsobjekt beginnt.



In diesem Informationsfluß ist zunächst nicht entscheidend, ob das Ergebnis durch EDV-Prozesse oder durch persönliche Interpretation der Aufnahmedatenbasis entstanden ist.

Die Spezifikation des Ergebnisses, also die Anforderungen, die an die Ergebnisdarstellung gestellt werden, entscheiden letztlich zwingend, welcher Weg zwischen Aufnahmesystem und Ergebnis beschritten werden soll. Die Diskussion über den Einsatz des Computers bei verschiedenen Aufgabenstellungen kann so klar entschieden werden.

INFORMATIONSFLOSS IN DER FERNERKUNDUNG

Der im vorigen Abschnitt skizzierte Informationsfluß wird vom Aufnahmesystem hervorgerufen und muß zum Zwecke der Ergebnisbildung durch einen weiteren Informationsfluß ergänzt werden. Das Schema in Abb. 3 stellt übrigens einen fundamentalen Zusammenhang in der Fernerkundung dar. Der mit der durchgehenden Linie markierte Informationsfluß ist gleichbedeutend mit dem in der Abb. 2 dargestellten.

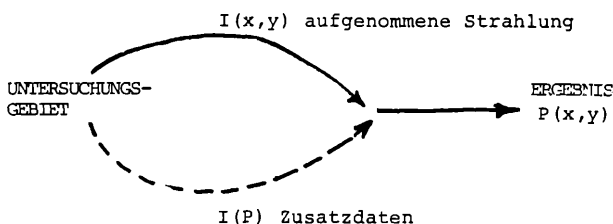


Abb. 3 Informationsfluß in der Fernerkundung

Das Ergebnis (thematische Karte) ist eine Darstellung des Ergebnisparameters P im Koordinatensystem (x,y) . Der aus Abb. 2 übernommene Informationsfluß kann aber bestenfalls die aufgenommene Strahlungsintensität als Funktion ihres Ortes, also $I(x,y)$ ergeben. Um $P(x,y)$ darstellen zu können, muß der Zusammenhang $P(I)$ oder $I(P)$ bekannt sein. Dies ergibt den zweiten Informationsfluß (unterbrochene Linie in Abb. 3). Im Auswerteprozess wird nun $I(P)$ in die Beziehung $I(x,y)$ eingesetzt, was zum Ergebnis $P(x,y)$ führt.

Trotz großer Anstrengungen ist es heute bei noch vielen Aufgabenstellungen in der Fernerkundung nicht möglich, den Zusammenhang quantitativ zufriedenstellend zu beschreiben. Daher kann auch der Computer für Interpretationsschritte für solche Fernerkundungsfälle nicht oder nur beschränkt eingesetzt werden.

Mit der Behandlung der $I(P)$ - Frage tritt automatisch das Anwendungsfachgebiet des Fernerkundungsprogrammes (Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Klimatologie, Landesplanung usw.) in den Mittelpunkt der Arbeit. Die Schnittstelle Physik / Anwendungsfachgebiet wird auch in den Grundlagenforschungsbereichen aller Anwendungsdisziplinen, die die Fernerkundung benötigen, eine große Rolle spielen. Die Fernerkundung kommt heute in steigendem Maße in den dichtest besiedelten Gebieten zur Behandlung von z.B. Umwelt-, Landesplanungs-, Energie- und Landwirtschaftsertragsfragen zum Einsatz und erfordert so Physiker mit einer Zusatzausbildung in dem jeweiligen Fachgebiet oder umgekehrt.

VERFAHRENSSCHRITTE

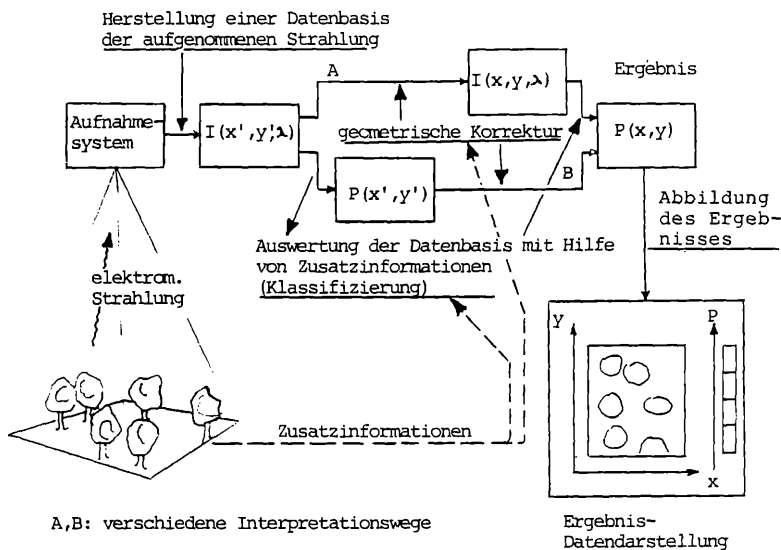


Abb. 4 Verfahrensschritte in der Fernerkundung

Eine erfolgreiche Fernerkundung bei der Rohstoffsuche, im Umweltschutz und bei anderen, heute wichtigen Anwendungen wird zur Erzielung genauer und objektiver Ergebnisse vom Umfang EDV-gestützter Verfahrensschritte abhängen. Abb. 4 sowie die Diskussion der zukünftigen Entwicklungen sollten daher unter diesem Blickwinkel gesehen werden.

- **Herstellung einer Aufnahmedatenbasis:**
Abgesehen von wenigen Ausnahmen ist es zunächst erforderlich, mit den Meßergebnissen des Aufnahmesystems eine computer-kompatible Datenbasis zu schaffen. Diese Datenbasis enthält eine Aufzeichnung der empfangenen Strahlungsintensitäten in Abhängigkeit von der Wellenlänge und den Koordinaten der Aufzeichnung (x' , y').
- **Klassifikation:**
Mit Hilfe von Zusatzinformationen kann nun die Aufnahmedatenbasis ausgewertet (klassifiziert) werden. Dies führt zum Ergebnis P im Koordinatensystem (x' , y').
- **Geometrische Entzerrung:**
Abbildung der Zwischenergebnisse oder Ergebnisse vom Koordinatensystem (x' , y') in das System der Ergebnisdarstellung (x , y). Das Koordinatensystem (x , y) ist z.B. das einer Landkarte, in die das Ergebnis einzutragen ist.
- **Ergebnisdarstellung:**
Nach der geometrischen Entzerrung liegt das Ergebnis $P(x, y)$ im allgemeinen zunächst nicht als Bild oder Karte, sondern als Datensammlung auf Magnetband oder Platte vor. Die Ergebnisdarstellung ist nun ein eigener Vorgang, der die thematische Karte im richtigen Maßstab in gebrauchsfertiger Form zum Ziel hat.

In Abb. 4 sieht man, daß die Reihenfolge geometrische Entzerrung und Klassifikation vertauscht werden kann. Geht man von der Forderung minimaler Informationsverluste aus, so ist es in den meisten Fällen notwendig, zuerst zu klassifizieren und dann zu entzerren.

QUALITÄTSANFORDERUNGEN

Die Ergebnisgenauigkeit hängt hauptsächlich von Qualitätsfaktoren ab (ohne spezielle Anforderungen unterschiedlicher Anwendungsprogramme zu berücksichtigen), die durch die Verfahrensschritte vorgegeben werden.

Qualitätsfaktor	Beschreibung	Verfahrensschritt
geometrische Auflösung	Größe eines Bildelements	Aufnahmesystem
spektrale Auflösung	Bandbreite eines Aufnahme-kanals	Aufnahmesystem
temporale Auflösung	Aufnahmezeit/Bildelement (Aufnahmezeit für einen Standardbildausschnitt dividiert durch die Zahl der Bildelemente)	Aufnahmesystem
Auswertemodellgüte	Anwendungsbezogenes physikalisch/mathematisches Modell	Klassifikation
Geometrische Verzerrung	Positionsgenauigkeit der Bildelemente im Ergebnis	Geometrische Entzerrung Aufnahmesystem
Ergebnisgenauigkeit	Qualitätsergebnis in einem Testgebiet $EG = \frac{P_T}{ P_T - P }$ P_T Ergebnisparameter (Testgebiet) P Ergebnisparameter (Fernerkundung)	Gesamtes Fernerkundungssystem

Tabelle Qualitätsfaktoren in einem Fernerkundungssystem

AUFNAHMESYSTEME

Bei voll EDV-gestützter Verarbeitung der Aufnahmedaten kann man mit Ausnahme der geometrischen Korrekturen davon ausgehen, daß die Qualität der Ergebnisse nunmehr von der Art des Aufnahmesystems abhängt.

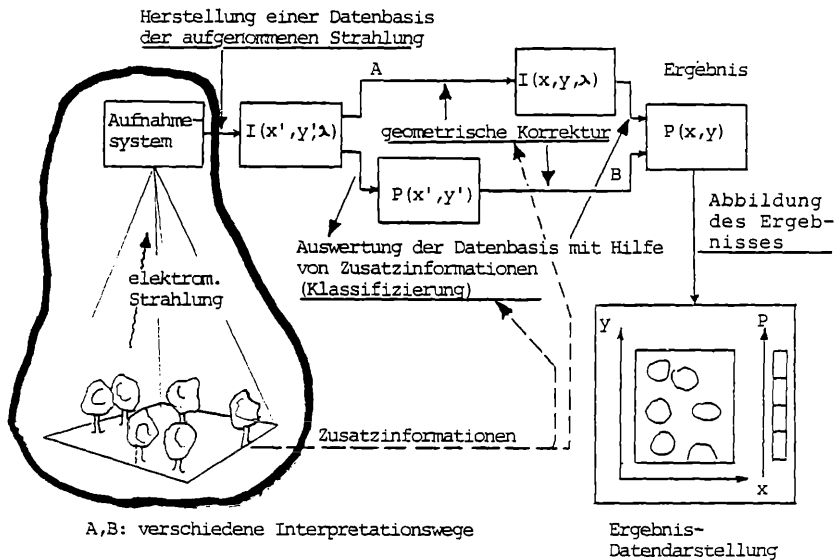


Abb. 5 Bei standardisierter Datenaufbereitung hängt die Qualität der Ergebnisse im wesentlichen vom Aufnahmesystem ab

Heute sind innerhalb des eingangs erwähnten Spektralbereiches zwei Hauptgruppen von Aufnahmesystemen im Einsatz.

a) Fotografie:

Bei der hier angesprochenen konventionellen Fotografie ist ein belichteter Film das Produkt des Aufnahmeprozesses. Multispektralaufnahmen können durch Filterung hergestellt werden und liegen auch zu einem gewissen Grad in Form einer Farbaufnahme vor.

b) Multispektrales Scanning:

Für Einsätze im vorgegebenen Spektralbereich werden heute mechanisch-optisch-elektronische Scanner eingesetzt. Über ein mechanisch-optisches System werden die Bildelemente nacheinander auf die in den einzelnen Spektralbereichen arbeitenden Detektoren abgebildet. Das vom Detektor ausgelöste elektrische Signal wird auf Magnetband gespeichert.

Beide Verfahren sind als Ausgangspunkt einer heute sehr schnell fortschreitenden Weiterentwicklung auf dem Gebiet der Aufnahmesysteme anzusehen.

In der folgenden Übersicht werden die beiden Verfahren einander gegenübergestellt. Die hervorstechendsten Unterschiede liegen in der Größe des spektralen Einsatzbereiches, in der geometrischen und der spektralen Auflösung, sowie im unterschiedlichen Bildaufbau. Während bei der Fotografie alle Teile eines Bildes zugleich entstehen, ist bei einem Scanner eine Zeitspanne für den Aufbau eines Bildes notwendig.

Ist z.B. ein Flugzeug mit einer Luftbildkamera und mit einem Scanner gleichzeitig ausgerüstet, wobei beide Systeme den gleichen Aufnahme-Öffnungswinkel haben, so kann eine Reihe von Fotografien einer $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$ großen Fläche einem geschlossenen Scannerbild einer Fläche von z.B. $1 \text{ km} \times 100 \text{ km}$ gegenübergestellt werden. Dieser

extreme Unterschied kommt daher, daß für den Scanner die Flugzeugbewegung ein notwendiger Faktor für den Bildaufbau in Flugrichtung ist.

Qualitätsfaktor	Fotografie	mech.opt.elektr.Scanner
Geometrische Auflösung	40 - 70 μ rad 4 cm - 7 cm Auflösung bei 1000 m Aufnahmehöhe	70 - 2500 μ rad 7 cm - 2,5 m Auflösung bei 1000 m Aufnahmehöhe
Spektrale Auflösung	ca. 0,1 μ m	ca. 0,01 μ m
Spektraler Bereich	kein mittleres Infrarot	sichtbarer Bereich, nahes und mittleres Infrarot
temporale Auflösung	alle Bildelemente werden gleichzeitig belichtet. 10^{-10} sec/Bildelement bei ca. 1 km Aufnahme- höhe und Maßstab 1:25000	die Bildelemente werden nacheinander belichtet 10^{-5} sec/Bildelement
Geometrische Verzerrung	gering durch hohe temporale Auflösung	problematisch durch Bewegungsstörungen bei geringer temporaler Auflösung

Tabelle 3 Vergleiche zwischen Fotografie und Scanning
bei gegenwärtigen Fernerkundungsprogrammen

Die so entstandene unterschiedliche temporale Auflösung der Aufnahmeprodukte kann eine wichtige Rolle bei Auswerteprozessen spielen, wenn sich Bewegungen bzw. Veränderungen im Untersuchungsgebiet ereignen.

ZUKÜNFTIGE ENTWICKLUNGEN

Um optimale Qualitätsfaktoren und damit optimale Ergebnisse zukünftiger Fernerkundungssysteme erreichen zu können, entstehen Aufnahmesysteme, die die Vorteile von Kamera und Scanner miteinander vereinigen.

Derartige Systeme, die heute in Einsätzen bei militärischen und Weltraumforschungsprogrammen bereits bestehen und gegenwärtig für den allgemeinen Fernerkundungseinsatz weiter entwickelt werden, vereinigen die Vorteile hoher geometrischer und temporaler Auflösung, sowie der einfachen geometrischen Entzerrung bei der Fotografie mit der EDV-Kompatibilität und der besseren spektralen Auflösung, sowie des größeren spektralen Bereiches von Scannersystemen.

Gleichzeitig vollzieht sich eine Entwicklung von der bisherigen Experimentalphase bei Scannersystemen in eine Phase des Einsatzes von anwendungsorientierten Spezialgeräten.

Bisher war es im Sinne einer intensiven Erprobungs- und Entwicklungstätigkeit notwendig, einen Scanner in modularer Bauweise für unterschiedliche Einsatzbereiche auszulegen. Mit der Verschärfung der Spezifikationen und durch das Auftreten zusätzlicher Anforderungen für die verschiedenen Anwendungsbereiche ist es vom wirtschaftlichen Standpunkt gesehen unmöglich, universelle Systeme zu bauen und mit vertretbaren Kosten einzusetzen.

Diese Argumentationen gelten allgemein für Aufnahme- bzw. Fernerkundungssysteme in dem in diesem Beitrag angegebenen Spektralbereich. Egal, ob die Aufnahmeplattform erdgebunden, mobil, in einem Flugzeug oder in einem Erdsatelliten untergebracht ist.

Die laufend verbesserten Systemparameter, z.B. die geometrische Auflösung, führen oft zu der falschen Annahme, die Fernerkundung mit Hilfe von Erdsatelliten würde die Fernerkundung mit Hilfe von Flugzeugen ablösen. Dies trifft nicht zu, da die Aufgabenstellung die Spezifikation eines Fernerkundungsprogrammes bestimmt und es so erst in dieser Phase möglich ist, die geeignete Aufnahmeplattform auszuwählen. So kann z.B. eine oftmalige Untersuchung innerhalb eines kurzen Zeitraumes notwendig sein, was bei einem vorgegebenen Aufnahmezeitplan eines Erdsatelliten unmöglich ist.

Schließlich sollte die unterschiedliche Flexibilität der mit den Aufnahmeplattformen verbundenen Organisationen nicht vergessen werden. Es wird immer viel leichter sein, für vorgegebene Aufgabenstellungen oder plötzlich auftretende Fragen die Ausrüstung eines Flugzeugs, sowie den Einsatzplan kurzfristig festzustellen. Diese Möglichkeiten bestehen bei Einsätzen aus einer Erdumlaufbahn aus technischen und organisatorischen Gründen nicht.

Für die zukünftige Anwendung von Fernerkundungssystemen muß in Bezug auf die Qualität der Ergebnisse und den Nutzwert der Meßprogramme der Kombination von Anwendungsbereich, technisch-wissenschaftlichem Potential für den Auswertebereich und der Geräteausrüstung besondere Beachtung geschenkt werden.