

Photogrammetrie und Fernerkundung als Komponenten von Geo-Informationssystemen

Autor(en): **Grün, A.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik : VPK =
Mensuration, photogrammétrie, génie rural**

Band (Jahr): **90 (1992)**

Heft 1

PDF erstellt am: **06.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-234806>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Photogrammetrie und Fernerkundung als Komponenten von Geo-Informationssystemen

A. Grün

Moderne komplette Geo-Informationssysteme bestehen aus den Komponenten Datenakquisition, -verwaltung, -analyse, -repräsentation und -ausgabe. In jüngster Zeit kommt der Beschaffung genauer, zuverlässiger, vollständiger und aktueller Daten eine stetig wachsende Bedeutung zu. Hier wiederum spielen Photogrammetrie und Fernerkundung eine zunehmend wichtige Rolle. Dieser Beitrag weist darauf hin, dass Photogrammetrie und Fernerkundung nicht nur Verfahren der Primärdatenakquisition zur Verfügung stellen, sondern darüber hinaus Algorithmen und Subsysteme zur Datenverarbeitung, Editierung, Analyse und Repräsentation (z.B. Visualisierung) für GIS anbieten. Insbesondere die modernen digitalen Verfahren verschaffen der Photogrammetrie und Fernerkundung ein höheres Funktionsniveau und eröffnen interessante Möglichkeiten zur Generierung neuer Produkte. Durch die beidseitige digitale Basis können für GIS sowie für Photogrammetrie und Fernerkundung gemeinsame Systemplattformen (z.B. Computerarbeitsstationen) benutzt werden, was eine Integration beider Bereiche wesentlich erleichtert. Die grosse Herausforderung für die Zukunft wird dann in der Realisierung der halb- und vollautomatischen Datenauswertung und Datenanalyse innerhalb derartiger integrierter Systeme liegen.

Les systèmes d'information du territoire moderne et complet se constituent de composants de l'acquisition, l'administration, l'analyse, la représentation et la sortie de données. Récemment l'acquisition des données précises, correctes, complètes et actuelles devient continuellement plus importante. La photogrammetrie et la télédétection jouent un rôle de plus en plus important dans ce domaine. Cette contribution montre, que la photogrammetrie et la télédétection offrent non seulement des procédures à l'acquisition primaire des données, mais aussi des algorithmes et des sous-systèmes pour le traitement, l'analyse et la représentation (par exemple visualisation) pour des systèmes d'informations du territoire. Spécifiquement les méthodes modernes digitales procurent à la photogrammetrie et la télédétection un niveau de fonctionnalité plus élevé, et ouvrent des possibilités intéressantes pour la création de nouveaux produits. Par la base digitale commune de systèmes d'informations du territoire, ainsi que de la photogrammetrie et la télédétection, on peut utiliser des plateformes de systèmes (p. ex. des stations de travail graphique), ceci facilitant l'intégration de ces deux domaines. Le grand défi du future restera la réalisation du traitement et de l'analyse semi-automatique et automatique dans tels systèmes.

1. Einleitung

Im folgenden werden die Begriffe «Photogrammetrie» und Fernerkundung» meist synonym gebraucht. Dies ist dadurch gerechtfertigt, dass beide Begriffe für im wesentlichen ein Verfahren stehen, welches als indirekte Vermessungsmethode, die bilderzeugende Sensoren benutzt, charakterisiert werden kann. Gleichermassen wie moderne Verfahren der digitalen Photogrammetrie mit (opto-)elektronischen Bildsensoren arbeiten, benutzt die Ferner-

kundung auch Verfahren der klassischen Bildinterpretation. Dort, wo ein gewisser Unterschied gemacht werden soll, werden die Begriffe «Luftbildphotogrammetrie» und «Satellitenfernerkundung» separat verwendet.

Dieser Beitrag zeigt die Bedeutung von Methoden der Photogrammetrie/Fernerkundung für Geographische Informationssysteme (GIS) auf. Ein wesentliches Anliegen ist es dabei, diese Methoden nicht nur als Verfahren zur Datenakquisition darzustellen, sondern zu erläutern, wie sie darüber hinaus Algorithmen, Prozeduren und Hilfsmittel zur Verfügung stellen, die auch für Zwecke der Datenverarbeitung, -analyse und -repräsentation nutzbringend gebraucht werden können.

Kapitel 3 gibt einen Überblick über die zur

Datenakquisition eingesetzten Sensoren und deren wichtigste technische Daten. In Kapitel 4 wird die Funktionalität verschiedener Systeme der Photogrammetrie/Fernerkundung von klassischen Stereoanaloggeräten bis zur Digitalen Station klassifiziert. Leistungsmerkmale moderner Systeme bezüglich Punktbestimmung, Kartierung, Digitales Terrainmodell sowie Neuentwicklungen werden im Kapitel 5 beschrieben.

Einige grundsätzliche Betrachtungen zur Integration von Systemen der Photogrammetrie/Fernerkundung mit GIS (bzw. umgekehrt) folgen in Kapitel 6.

2. Zur Rolle von Photogrammetrie und Fernerkundung für Datenakquisition und Datenverarbeitung

Wie der Abbildung 1 zu entnehmen ist, stehen zur Akquisition von Daten für Geographische Informationssysteme (GIS) neben den Verfahren der Vermessung/Geodäsie, dem Digitalisieren/Scannen von Karten und Plänen, der Extraktion von Information aus Statistiken, Tabellen, etc. auch die Methoden der Photogrammetrie und Fernerkundung zur Verfügung.

Systeme der Photogrammetrie und Fernerkundung erzeugen bildhafte Darstellungen der aufgenommenen Objekte mit einem im Prinzip sehr hohen Informationsgehalt – ein Luftbild des Formats 23 x 23 cm² repräsentiert ca. 500 MByte an Grauwertinformation. Aus den Grauwerten und ihren gegenseitigen Beziehungen lassen sich eine Fülle unterschiedlicher Informationen entnehmen und auf eine genaue gemeinsame geometrische Basis beziehen. Gegenüber den anderen Methoden handelt es sich hierbei also um echte Mehrzweckvermessungssysteme.

Die Bildinformation ist in aller Regel aktuell, weitgehend vollständig, aber zunächst auch unstrukturiert und uninterpretiert. Die letzteren beiden Aspekte können sich als Vorteil, aber auch als Nachteil erweisen. Grundsätzlich generiert ein derartiges Bild also für sich selbst bereits ein (unstrukturiertes) Informationssystem. Die Information kann in analoger Form (photographische Bilder) oder in digitaler Form (Multispektralscanner, z.B. MSS und Thematic Mapper oder Linear Array Scanner, z.B. SPOT, MOMS) vorliegen. Insbesondere die digitale Datenform erweist sich als grundsätzlich gut kompatibel mit (digitalen) Geo-Informationssystemen. Daher werden in letzter Zeit vermehrt Daten der Satellitenfernerkundung in Geo-Informationssysteme integriert und dort weiterverarbeitet. Daneben stellt die Leistungsfähigkeit der modernen Bildscanner der Digitalisierung von photographischen Bildern keine ernstesten Hindernisse mehr in

Geringfügig modifiziertes Referat, gehalten am Internationalen Seminar «Photogrammetrie und Geographische Informationssysteme», 8.–12. April 1991, ETH Zürich.

Partie rédactionnelle

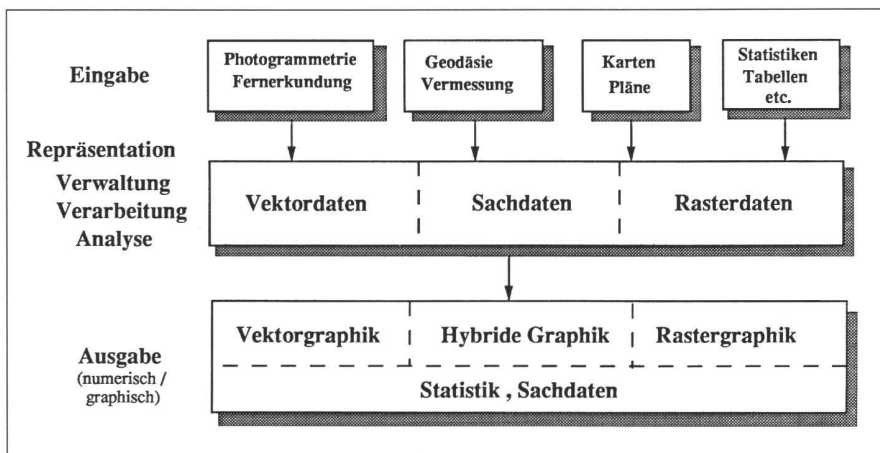


Abb. 1: Komponenten moderner Geo-Informationssysteme.

den Weg, so dass digitalisierte Bilddaten fast gleichermassen unproblematisch den Eingang in Geo-Informationssysteme finden. Für diese sogenannten «Rasterdaten» stehen bis dato allerdings erst wenige Geo-Informationssysteme zur Verfügung bereit (vgl. SICAD/Siemens, Intergraph, ERDAS/ArcInfo Life Link). Die Mehrzahl der kommerziellen Systeme gestattet lediglich die Verarbeitung von Vektordaten. Diese Vektordaten können aber auch aus Systemen der Photogrammetrie und Fernerkundung extrahiert werden. Dies entspricht der klassischen Aufgabe der Photogrammetrie. In moderner Terminologie spricht man von der Transformation der ikonischen Repräsentation der Daten (ursprüngliches Grauwertbild) in eine symbolische Repräsentation. Diese Transformation kann manuell/visuell durch den Operateur («Auswertung»), aber auch halbautomatisch oder gar vollautomatisch erfolgen. Das automatische Verfahren benutzt die Methoden der Bildanalyse, um nach Vorverarbeitung und Bildsegmentierung, Extraktion der geometrischen Struktur und nachfolgend der relationalen/semantischen Struktur zur symbolischen Repräsentation zu kommen (vgl. Abb. 2).

Diesen Transformationsstufen sind bestimmte Klassen von Algorithmen zugeordnet. Die Leistungsfähigkeit (Genauigkeit, Zuverlässigkeit, Robustheit, Geschwindigkeit) dieser Algorithmen ist ganz unterschiedlich. Während die Algorithmen der Stufen «Segmentierung» und geometrische Struktur unter bestimmten Voraussetzungen brauchbare Ergebnisse liefern, stehen die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten auf der Stufe «relationale/semantische Struktur», wo dem automatischen Bildverstehen eine wesentliche Rolle zukommt, noch ganz am Anfang und können somit nicht Gegenstand dieser Betrachtungen sein. Abbildung 2 zeigt darüber hinaus insofern ein stark vereinfachtes Schema, als die einzelnen Stufen/Algorithmenklassen nicht separat und sequentiell zu betrachten sind, sondern stark miteinander verknüpft und mit Rückkopplungsmechanismen versehen sind. Als wichtiger Gesichtspunkt bleibt hier zu vermerken, dass Systeme der Photogrammetrie und Fernerkundung nicht nur Methoden und Sensoren zur Primärdatenakquisition zur Verfügung stellen, sondern weit darüber hinaus einen Reichtum an Verarbeitungsalgorithmen anbieten, der zur Datenverarbeitung im Geo-Infoma-

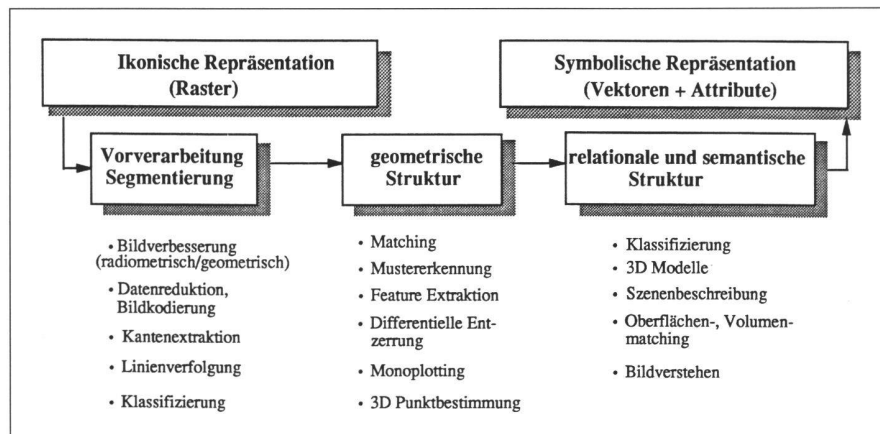


Abb. 2: Bildtransformation (automatisches Verfahren); Verarbeitungsstufen und zugeordnete Algorithmen.

tionssystem vorteilhaft genutzt werden kann. Für diejenigen der Informationssysteme also, welche Rasterdatenstrukturen akzeptieren, spielen Photogrammetrie und Fernerkundung nicht nur die Rolle von Datenakquisitionsmethoden, sondern leisten erhebliche Beiträge zur Datenverarbeitung sowie zur Repräsentation und Visualisierung von Situationen, Vorgängen und Zusammenhängen am Objekt. Wie in Abbildung 3 dargestellt, erweitert sich somit die klassische Funktion des photogrammetrischen Systems als reiner Erfassungsmodul für Geo-Informationssysteme zu der einer Editier-, Analyse- und Repräsentationsfunktion.

Diese funktionale Erweiterung wird allerdings nur wirksam bei Verwendung moderner photogrammetrischer Systeme, wie sie Analytische Plotter mit Einspiegelung oder Digitale Stationen darstellen (weiteres dazu in Kapitel 4).

3. Sensoren und technische Daten zur Datenakquisition

Die Vorzüge von Bilddaten liegen in deren Informationsdichte und Aktualität, der Flächendeckung und Vollständigkeit, dem Charakter von Originaldaten und der Möglichkeit zu direkter Verifikation sowie in der Automationsfreundlichkeit und im Potential zur Ableitung neuer Produkte (vgl. Kapitel 5). Zur Datenakquisition für Geo-Informationssysteme können vorwiegend folgende Sensoren eingesetzt werden:

Aerophotogrammetrie:

- photographische Luftbildkameras
- optoelektronische Videokameras.

Für die Zukunft werden hier Videokameras und auch Linear Array CCD-Kameras (z.B. vom Typ MOMS-2) eine zunehmend grössere Rolle spielen.

Satellitenfernerkundung:

- Metrische und halbmetrische photographische Kameras (ESA Metrische Kamera [MC], NASA Large Format Camera [LFC], Glavkosmos KFA 1000 und KATE 200, Space Shuttle Linhof Aero Technika und Hasselblad 500 EL/M)
- Multispektralsensoren (MSS, Thematic Mapper (TM))
- Linear Array CCD-Kameras (SPOT, MOMS, etc.).

Die Vorteile der Datenakquisition durch Aerophotogrammetrie liegen in der fast jederzeitigen Verfügbarkeit des Aufnahmesystems, der durch die grossen Bildmassstäbe (1:3000 bis 1:120 000) bedingten hohen metrischen Genauigkeit und dem grossen Auflösungsvermögen (Detailerkennbarkeit) sowie den relativ geringen Kosten des Bildmaterials. Dagegen zeichnen sich die Satellitenfernerkundungsdaten aus durch permanente Flugbahnen,

Plattform	Sensor	Kammerkonst. [mm]	Flughöhe [km]	Bildmassstabszahl	Bodenpixelgrösse ("footprint") [m]	Gedekte Fläche [km ²]	Spektrale Bänder	Spektralbereiche	Datenumfang pro Szene ¹ [M Byte]
Space Shuttle	MC	305	250	$0.82 \cdot 10^6$	10	188 ²	2	PAN, NIR	35
Space Shuttle	LFC	305	225 - 352	$0.74 \cdot 10^6 - 1.2 \cdot 10^6$	5	~170 x 340	2	PAN, NIR	2312
Cosmos	KFA-1000	1000	280	$0.275 \cdot 10^6$	4	80 ²	1	PAN	400
Landsat 4/5	TM	-	705	-	30	180 x 170	7	SI, NIR, MIR, FIR	35
SPOT	HRV-P ; -X5	2087	840	-	10 ; 20	60 ²	1 ; 3	PAN ; SI, NIR	36 ; 9
Space Shuttle (geplant)	MOMS-2	600, 237, 200	296	-	4.5, 13.5	37 ² , 78 ²	5	PAN ; SI, NIR	68 ; 34

¹ bezogen auf 8 Bit / Pixel

SI ... Sichtbar

MIR ... Mittleres Infrarot

NIR ... Nahes Infrarot

FIR ... Fernes Infrarot

Tab. 1: Parameter von Sensoren der Satellitenfernerkundung.

sehr grosse Gebietsüberdeckung (vgl. Abbildung 4), z.T. direkte digitale Information und mehrere Spektralbereiche sowie damit verbunden eine potentiell bessere Eignung zur Automatisierung der Auswertung.

Tabelle 1 zeigt einige wichtige Parameter von Sensoren der Satellitenfernerkundung; der Abbildung 4 ist deren Flächendeckung zu entnehmen.

Der hohen metrischen Auflösung der photographischen Kameras MC, LFC und KFA-1000 bis herunter zu ca. 4 m Pixelgrösse steht die grosse radiometrische Auflösung der optoelektronischen Sensoren gegenüber (TM mit 7 Spektralkanälen, SPOT mit 4 Spektralkanälen). Die Benutzung des einen oder anderen Systems richtet sich somit ganz nach den Anwendungen, Anforderungen und der Verfügbarkeit der jeweiligen Bilddaten; auch sollten die Verarbeitungskapazitäten (Art des Auswertesystems – analog, analytisch, digital) eine wichtige Rolle spielen.

Heute finden sich die wichtigsten Anwendungen in den Bereichen Meteorologie, Ozeanographie, erneuerbare Ressourcen (Landwirtschaft und Forstwesen), nicht-erneuerbare Ressourcen (Bodenschätze), Landnutzung, Topographische Kartierung und Umweltkontrolle. Dabei werden ganz unterschiedliche Ansprüche an Plattformen, Sensoren und Datenverarbeitung gestellt. Wichtig sind geometrische und radiometrische Auflösung, Aufnahmezyklus (Frequenz der wiederholten Beobachtung des gleichen Objekts), Auswertegeschwindigkeit und -verfahren (automatisch, halbautomatisch, operateurgestützt). Somit lassen sich die Anforderungen an Satellitenerkundungssysteme grob in drei Gruppen zusammenfassen:

- Meteorologie und Ozeanographie mit sehr grober Auflösung, aber häufiger Datenerfassung
- Ressourcenerfassung und Umweltkontrolle mittlerer geometrischer, aber hoher spektraler Auflösung; zum Teil zeitkritisch
- Kartographie mit Bedarf für geometrisch hohe Auflösung bei niedriger Wiederholungsrate.

Diesen unterschiedlichen Anforderungen versuchen verschiedene Satelliten/Sensorsysteme gerecht zu werden:

- METEOSAT, NOAA mit 1–5 km Auflösung und mehrmals täglich bis wöchentliche Wiederholung
- LANDSAT, MOS (Japan) mit 30–80 m Auflösung und wöchentlichen bis monatlichen Daten
- SPOT sowie Spezialmissionen für metrische photographische Kameras mit 4–20 m Auflösung in monatlichen bis jährlichen Intervallen.

Eine bisher nur wenig benutzte Datenquelle sind die mit photographischen Kameras (Hasselblad 500 EL/M und Linhof Aero Technika) und mit Camcorder Videokameras erstellten Bilder im Rahmen des «Space Shuttle Earth Observation Handheld Photography»-Programms der NASA. Seit 1981 (STS-1 Mission) wurden bis 1989 (STS-30 Mission) insgesamt etwa 100 000 Erdaufnahmen von Space Shuttle aus produziert. Ein spezieller Katalog gibt über alle Hasselblad- und Linhof-Aufnahmen Auskunft (Adresse: Manager, Space Shuttle Earth Observation Office, Code SN 15, NASA JSC, Houston, Texas 77058, USA). Die Bildmassstäbe der Hasselbladaufnahmen (Bildformat: 60 x 60

mm², c = 50, 100, 250 mm) spannen von 1:1.6 · 10⁶ bis 1:1.2 · 10⁶, die der Linhof (Bildformat: 100 x 127 mm², c = 90, 250 mm) von 1:3.3 · 10⁶ bis 1:1.2 · 10⁶. Die entsprechenden Flächendeckungen sind der Abbildung 4 zu entnehmen.

4. Zur Funktionalität von Systemen der Photogrammetrie und Fernerkundung

Die Photogrammetrie hat im Laufe der Jahre durch Integration neuer Technologien Funktionalität, Produktspektrum und Leistungsfähigkeit erheblich erweitert bzw. gesteigert. Die *analoge* Photogrammetrie beschränkte sich bezüglich Aufnahmeconfiguration und Auswertemethodik auf einfache Standardverfahren (Verwendung von Messkammern, Senkrechtaufnahmen, klassische Verteilung von Modell- und Passpunkten) und lieferte im wesentlichen Ergebnisse in graphischer Form (hardcopy). In Abbildung 5 ist diese Situation durch «Stereoanaloggerät I» gekennzeichnet. Auf der nächsten Entwicklungsstufe wurde diesem Stereoanaloggerät ein Computer zur Rechnerstützung beigegeben. Dieses System «Stereoanaloggerät II» war nun in der Lage, die gemessenen Daten auch digital zu speichern.

Durch die *analytische* Photogrammetrie und insbesondere durch den Einsatz von Analytischen Plottern konnten wesentliche Erweiterungen und Verbesserungen in den Bereichen Sensorik (Amateur- und Halbmesskammern mit beliebiger Kammerkonstante), Aufnahmeconfiguration (allgemeine Aufnahmeanordnungen wie

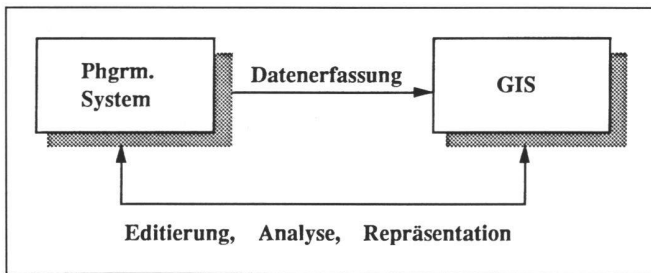


Abb. 3: Funktionale Verknüpfung moderner photogrammetrischer Systeme mit GIS.

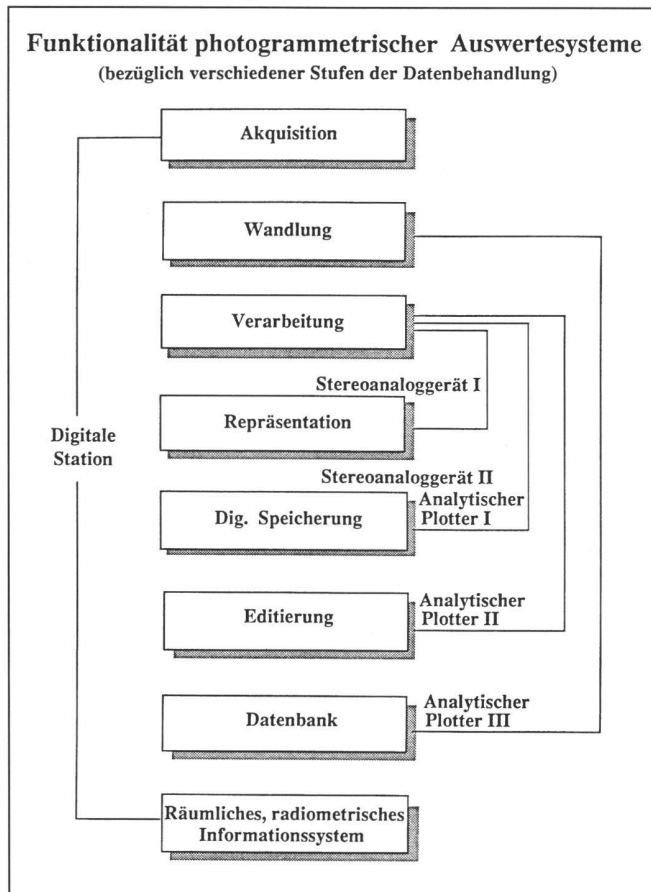


Abb. 5: Funktionalität verschiedener Systeme der Photogrammetrie.

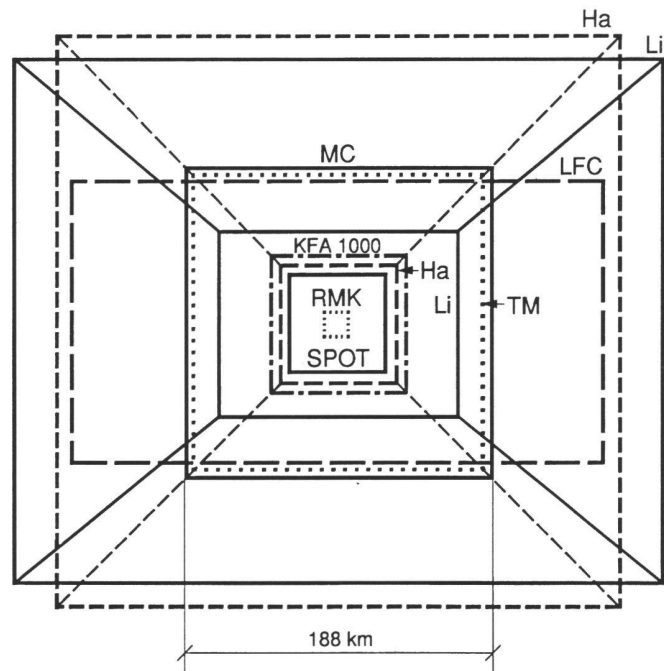


Abb. 4: Flächendeckung von Sensoren der Satellitenfernerkundung (die Fläche der Reihenmesskammer RMK ist lediglich in symbolischer Grösse mitgeführt).

Sensor	σ_{xy} [m]	σ_z [m]	$\sigma_{xy} : \sigma_z$	b : hg
MC	8	20	1 : 2.5	1 : 3.3
LFC	6	10	1 : 1.7	1 : 1.6
KFA-1000	7	25	1 : 3.6	1 : 8
TM	15	40	1 : 2.7	1 : 5
SPOT	6	8	1 : 1.3	1 : 1

Tab. 2: Metrische Genauigkeit der punktwisen Stereomodellauswertung von Satellitenfernerkundungssensoren. σ_{xy} ... Mittlerer Lagefehler, σ_z ... Mittlerer Höhenfehler. Diese Werte sind empirisch aus der Messung wohldefinierter Kontrollpunkte ermittelt.

Konvergent- und Schrägaufnahmen, Integration von Zusatzdaten), Auswertemethodik (verfeinerte und allgemeine analytische Modelle, bessere Kompensation systematischer Fehler), Genauigkeit und Auswertegeschwindigkeit erzielt werden. Die grundsätzliche Funktionalität («Analytischer Plotter I») wurde dadurch aber nicht berührt. Vielmehr stellt diese erste Generation Analytischer Plotter lediglich einen Ersatz für das Analoggerät, vor allem im Hinblick auf schnelleres und genaueres Kartieren, Triangulieren, etc. dar. Erst die Integration graphischer Bildschirme («Analytischer Plotter II») führte zu neuen Möglichkeiten der graphischen Datenrepräsentation und on-line Editierung. Der Analytische Plotter wird nun zu einem interaktiv graphischen Kartiersystem,

er wird aber auch zunehmend bei nicht-topographischen Sonderanwendungen eingesetzt sowie zur DTM-Messung, für die Auswertung von SPOT-Daten und anderem mehr. Mit der nächsten Generation Analytischer Plotter («Analytischer Plotter III») und der Integration von leistungsfähigen Hostcomputern (Workstations), der Mono- und Stereoeinspiegelung sowie dem Einbau von CCD-Kameras zur Bilddigitalisierung wurde die Funktionalität nochmals entscheidend erweitert in Richtung auf Verwaltung der Daten in einer Datenbank, neue Verfahren der Dateneditierung und -verifikation sowie zur Bilddatenwandlung (analog-digital) und dem damit verknüpften Potential zur automatischen Auswertung. Insbesondere die Stereoeinspiegelung

(«Videomap») kann für GIS-Zwecke nutzbringend vor allem in folgenden drei Bereichen eingesetzt werden:

- Editierung und Verifikation (Vollständigkeit, Genauigkeit)
- Nachführung (Vergleich alter <-> neuer Stand)
- Planung (Überlagerung Situation <-> Planungsmassnahmen in 3D)

Die Ausstattung mit CCD-Kameras verleiht dem System eine neue Qualität: Sie definiert den Übergang zum «hybriden System». Hybrid ist in dem Sinne zu verstehen, dass nun analoge und digitale Bilddaten gemeinsam verarbeitet werden können.

Das voll digitale System wird durch die «Digitale Station» repräsentiert. Am An-

fang des Prozesses können hier z.B. mit CCD-Kameras Primärbilddaten in digitaler Form direkt generiert werden, oder es können digitalisierte/gescannte Karten und photographische Bilder und Daten der Satellitenfernerkundung eingelesen werden. Neben der Beherrschung aller bisher beschriebener Funktionen kann die Digitale Station zu einem vollen räumlichen und radiometrischen Informationssystem mit einer Pixeldatenbank ausgebaut werden.

5. Leistungsmerkmale moderner photogrammetrischer und Fernerkundungs-Systeme

Grundsätzlich entnimmt man den Bilddaten der Photogrammetrie und Fernerkundung zwei Arten von Informationen: Metrische («quantitative») und semantische («qualitative»).

Während man für die verschiedenen Sensoren recht realistische und zuverlässige Werte für die metrische Leistungsfähigkeit zur Verfügung hat, gilt dies für die Semantik nicht. Hier spielen zu viele Parameter und komplexe Zusammenhänge eine Rolle: Sensortyp und Aufnahmebedingungen, Art der zu extrahierenden Information und Anwendung, Auswertemethode (manuell/visuell oder automatisch) und Erfahrung des Bearbeiters. Die Interpretierbarkeit einer Szene müsste also jeweils anhand eines konkreten Beispiels diskutiert werden. Im folgenden sollen daher in erster Linie Produkte näher vorgestellt werden, zu deren Gewinnung die Metrik im Vordergrund steht.

5.1 Genauigkeit der Punktbestimmung

Hier geht es um die Frage, mit welcher metrischen Genauigkeit wohldefinierte Objekte (z.B. signalisierte Punkte in Luftbildern oder Strassenkreuzungen in Satellitenzenen) ausgemessen werden können. Die Genauigkeit wird durch folgende Parameter wesentlich beeinflusst:

- Bildmasstab bzw. Bodenpixelgröße
- Anzahl der simultan verwendeten Szenen
- Geometrie dieser Szenenanordnung
- Grad der Strenge des benutzten geometrisch-mathematischen Modells
- Genauigkeit von Messgerät und Messmethode.

Tabelle 2 gibt für einige wichtige Sensoren der Satellitenfernerkundung die Lagegenauigkeit σ_{xy} und die Höhengenaugigkeit σ_z , wie sie sich aus der Auswertung von Stereomodellen ergeben. σ_{xy} und σ_z sind als mittlere Fehler für den «besten Fall» zu verstehen, stellen somit Grenzgenauigkeiten dar.

Aus den Werten für die Lagegenauigkeit ist ersichtlich, dass für Sensoren ver-

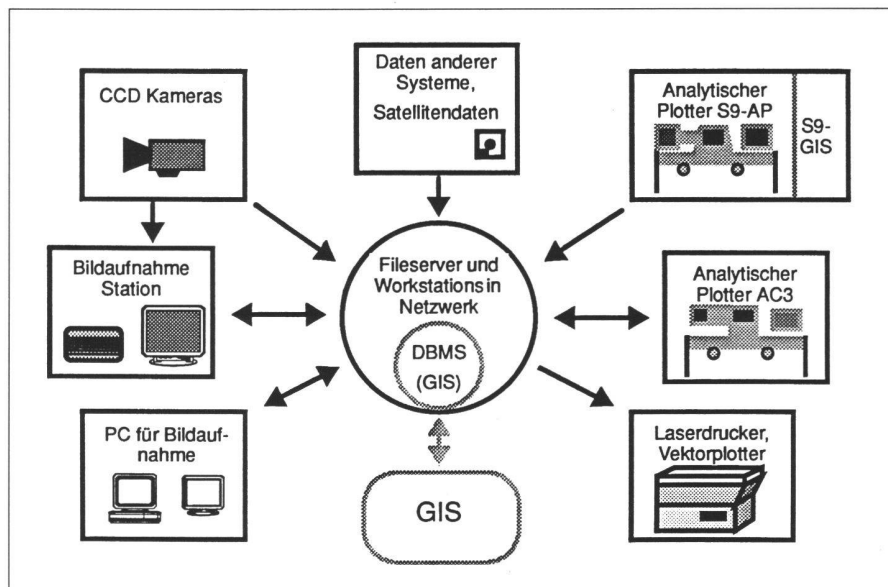


Abb. 6: Periphere Einheiten der Digitalen Photogrammetrischen Station DIPS II.

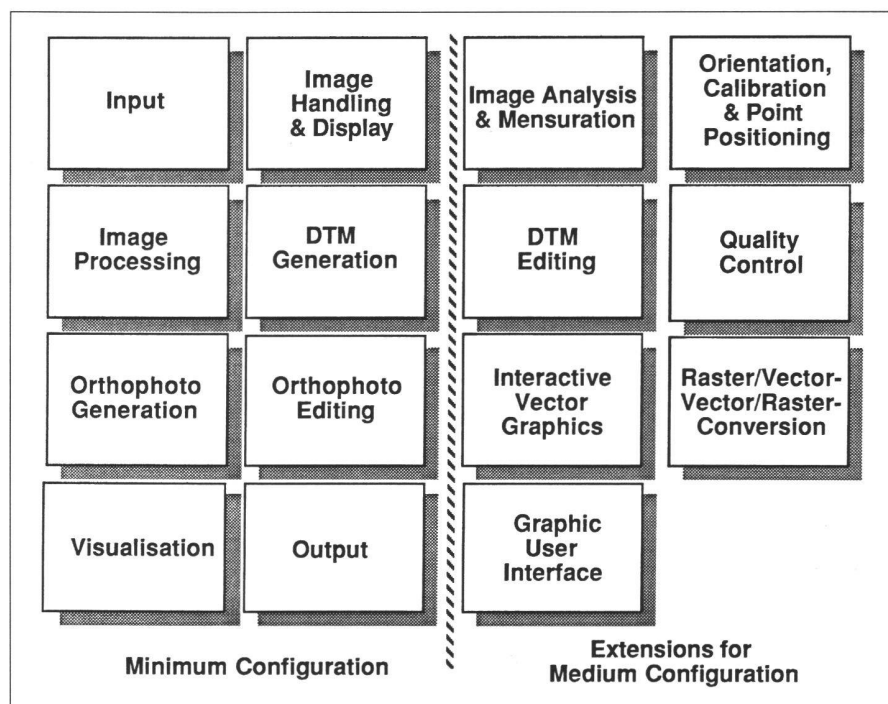


Abb. 7: Funktionale Komponenten einer Digitalen Orthophoto Arbeitsstation.

gleichbarer Bodenpixelgröße (MC, LFC, KFA-1000, SPOT) eine etwa übereinstimmende Genauigkeit $\sigma_{xy} = 6-8$ m resultiert. Die Höhengenaugigkeit wird dagegen entscheidend vom Basisverhältnis $b:hg$ (Stereobasis: Flughöhe über Grund) beeinflusst. Das Verhältnis $\sigma_{xy}:\sigma_z$ stimmt nach Tabelle 2 recht gut mit der Relation $b:hg$ überein.

Spezifiziert man hochwertige graphisch-kartographische Produkte mit einer Genauigkeit von $\sigma_{xy} = 0,2$ mm (Zeichengenauigkeit), dann zeigt sich, dass mit Ausnahme des TM alle anderen Sensoren eine ausreichende Lagegenauigkeit für den Kartenmasstab 1:50 000 und kleiner

liefern. Verlangt man, dass der mittlere Fehler eines Höhenpunktes mit 95%iger Wahrscheinlichkeit nicht grösser als $\frac{1}{3}$ des Höhenlinienabstandes ΔZ sein soll, dann erfüllt keiner der Sensoren diese Bedingung für die Höhe. Dies gilt umso mehr, als die grosse Mehrzahl der Höhenpunkte von wesentlich schlechterer Messqualität als die den Werten der Tabelle 2 zugrundeliegenden Punkte sein werden.

In Landinformationssystemen (Mehrzweckkataster) werden vielfach die Parzellargrenzen und mithin die Grenzpunkte als Datenebene mitgeführt. Dafür sind die Genauigkeitsanforderungen oft sehr hoch ($\sigma_{xy} = 2-5$ cm für städtische Gebiete). Die

Luftbildphotogrammetrie stellt hier ein geeignetes Hilfsmittel zur Verfügung, sehr grosse Punktmengen, wie sie z.B. bei Neuvermessungen anfallen, wirtschaftlich und genau zu koordinieren. In zwei Pilotprojekten (Flachland und Hochgebirge) haben wir in den letzten Jahren gezeigt, dass aus dem Massstab 1 : 10 000 mit modernen Standardverfahren (Bündelausgleichung mit Selbstkalibrierung) eine Lagepunktgenauigkeit von $\sigma_{xy} = 2-3$ cm erzielt werden kann [Grün, 1986, Grün, Runge, 1987]. Diese Genauigkeit lässt sich in erster Näherung linear mit dem Bildmassstab auf andere Bildflugbedingungen umrechnen.

Die Photogrammetrie ist als Verfahren zur rationellen Vermessung grosser Punktmengen sehr geeignet. Ein grosser Teil des Aufwands geht allerdings in die Bestimmung von Passpunkten. Hier bietet die Nutzung des Global Positioning Systems (GPS) im kinematischen Modus während des Bildfluges die Möglichkeit, auf Passpunkte weitgehend zu verzichten. Erste Pilottests sind weltweit im Gange. In wenigen Jahren wird dieses System operationell in der Praxis einsetzbar sein. Damit werden für Photogrammetrie und Fernerkundung unter Einsatz photographischer Kameras sowie auch elektrooptischer Sensoren neue Applikationen zu wirtschaftlichen Bedingungen erschlossen.

5.2 Kartierung

Prüft man die Kartiergenauigkeit von Satellitensensorsystemen, so tut man gut daran, sich daran zu erinnern, dass die Kartierung vielfach linienweise erfolgt und somit eine starke dynamische Komponente aufweist. Die Grenzgenauigkeiten der Tabelle 2 gelten für Punktmessung und entsprechen nicht der Kartierrealität. Hier sind deutliche Genauigkeitsabschläge für Lage und Höhe (100% und mehr) zu berücksichtigen.

Dazu kommt, dass die geringe geometrische Auflösung der Satellitenszenen es nicht erlaubt, viele der für die Karte 1 : 50 000 wesentlichen Kartenelemente zu extrahieren. In Grün, Spiess, 1987 wurde nachgewiesen, dass die Verwendung von LFC-Aufnahmen selbst bei der Neukartierung 1 : 200 000 und der Nachführung 1 : 100 000 keine zufriedenstellenden Ergebnisse liefert. Diese Probleme könnten allerdings dadurch gelöst werden, dass man als Interpretationshilfe zusätzlich auf Luftbilder geeigneten Massstabs zurückgreift.

In diesem Zusammenhang ist auf die jedem photogrammetrischen Praktiker bekannte Relation zwischen Bildmassstabszahl (m_b) und Kartenmassstabszahl (m_k) zu verweisen:

$$m_b \approx 200 \sqrt{m_k}$$

Damit ergibt sich z.B. für $m_k = 50 000$ ein $m_b \approx 45 000$.

Dieser Wert ist zu weit entfernt von den für Satellitensensoren gültigen Massstäben, als dass diese für den gegebenen Zweck benutzt werden könnten.

Um Satellitenaufnahmen trotzdem für den Kartenmassstab 1 : 50 000 oder gar 1 : 25 000 zur Neukartierung und Nachführung etwa in Ländern mit unvollständigem Kartenwerk einsetzen zu können, müssen erhebliche Abstriche an den Qualitätsanforderungen gemacht werden (vergleiche u.a. Moore, 1989). Dem Aspekt der Aktualität der Karte wird dann eine höhere Priorität zugemessen als dem der Genauigkeit und Vollständigkeit. Es wird gemeinhin erwartet, dass damit topographische Datenbanken einen wesentlich grösseren Nutzerkreis erschliessen.

Die klassischen manuellen Verfahren der Kartierung aus photographischen Luftbildern sind weltweit seit langem eingeführt und werden gut beherrscht. Für die Auswertung digitaler Satellitenfernerkundungsszenen fehlen dagegen vielerorts, besonders in kleineren Ingenieurbüros, die entsprechenden Geräte und auch die Erfahrung. Zum anderen stehen die automatischen Auswerteverfahren erst am Anfang einer noch langjährigen Entwicklung, und es muss vor zu optimistischer Beurteilung ihres Leistungsvermögens gewarnt werden.

Einen interessanten Kompromiss zwischen traditioneller Luftbildphotogrammetrie und Satellitenfernerkundung stellen Hochbefliegungen (Bildmassstäbe 1 : 75 000–1 : 125 000) dar, die nach Ansicht des Autors bisher noch viel zu wenig zum Einsatz kommen.

5.3 Digitales Terrainmodell

Die Messung Digitaler Terrainmodelle (DTM) aus Luftbildstereomodellen gehört heute zu den Standardverfahren der Photogrammetrie. Analytische Plotter bieten viele unterschiedliche Erfassungsmodi (Höhenlinien direkt, Gittermodell, Profile, unregelmässiges Punktfeld, Kanten, etc.). Die Stereoeinspiegelung (vgl. Beyer, 1991 und Kapitel 5.4) unterstützt diese Verfahren bezüglich Qualitätskontrolle in hervorragender Weise. Insbesondere die on-line Ableitung von Folgeprodukten und deren Echtzeiteinspiegelung kann von grossem Wert sein (z.B. Ableitung von Höhenlinien aus Profil- oder Gitterdaten).

Die Benutzung von CCD-Kameras an Analytischen Plottern zur Bilddigitalisierung erlaubt es, DTMs vollautomatisch zu generieren. Die Qualität dieser Produkte ist in erster Linie abhängig von Bildmassstab, Geländeform, Oberflächentextur und Matchingalgorithmus. Je kleiner der Bildmassstab, desto brauchbarer werden die Ergebnisse sein. Das Korrelieren von SPOT-Stereoszenen kann dann erfolgreich durchgeführt werden, wenn beide Szenen zum etwa gleichen Zeitpunkt aufgenommen wurden und somit keine gros-

sen Unterschiede in der Textur und im Reflexionsverhalten der Geländeoberfläche bestehen.

5.4 Neuentwicklungen

Wichtige Neuentwicklungen, welche wesentlich zur Steigerung von Funktionalität und Leistungsvermögen der Photogrammetrie und Fernerkundung beitragen, sind:

- Einspiegelung an Analytischen Plottern
- Integration von CCD-Kameras in Analytische Plotter
- Scanner zur genauen Bilddigitalisierung grosser Bildformate
- Integration von kinematischem GPS in photogrammetrische Bildflüge und Blocktriangulationen
- Algorithmische Entwicklungen zur halb- und vollautomatischen Bildauswertung
- Entwicklung Digitaler Stationen und deren Derivate.

Die einzelnen Bereiche sind von stark unterschiedlicher Praxisreife.

Die Einspiegelung an Analytischen Plottern und die Bildscannertechnologie (vgl. Leberl, 1990) können als voll operationell angesehen werden. Die Integration von CCD-Kameras ist hardwaremässig gelöst, auf der Seite der Auswertelgorithmen für digitale Bilddaten besteht jedoch noch ein sehr grosser Forschungs- und Entwicklungsbedarf. Dies gilt auch für Punkt e) in ganz genereller Form und unabhängig von der Art der Bilddatenakquisition.

Die Integration von kinematischem GPS in photogrammetrische Blöcke zur Bodenpasspunktersparnis ist in vollem Gange und dürfte in zwei bis drei Jahren operationell gelöst sein.

Grosse Bedeutung für die zukünftige Photogrammetrie und Fernerkundung werden die Digitalen Stationen erlangen, also die voll digitalen und universellen Systeme mit Funktionen der Datenerfassung bis hin zur Integration von Informationssystemen (vgl. Abbildung 5). Probleme zur Hardwarearchitektur derartiger Stationen sind in Grün, 1989 und Beyer, 1991 angesprochen.

Am Institut für Geodäsie und Photogrammetrie der ETH Zürich wird seit 1986 mit dem System DIPS II gearbeitet, welches sich auf ein Netz von Sun-Arbeitsstationen stützt, die einzeln oder auch zusammen als Programmier- und Auswertepattformen dienen. Das System ist modular und offen im Hinblick auf Hard- und Softwareintegration, es ist flexibel und adaptiv bezüglich Funktionalität und Kosten. Abbildung 6 zeigt einige der wichtigsten gegenwärtigen Peripherieeinheiten von DIPS II. Nähere Beschreibungen finden sich in Grün, 1989 und Grün, Beyer, 1991.

Das Computervision GIS System 9 wird

als periphere Einheit benutzt. Weitere GIS-Anschlüsse sind in Vorbereitung. Das Data Base Management System (DBMS) der zentralen Arbeitsstationen existiert noch nicht, es ist hier als mögliche Erweiterung zu interpretieren.

Aus diesem System mit universellem Applikationsanspruch lassen sich einfachere «Targetsysteme» für spezielle Anwendungen ableiten, so z.B. für Architekturphotogrammetrie und CAAD, industrielle Messtechnik (Qualitätskontrolle und Inspektion), photogrammetrische Stereokartierung und anderes mehr. In Baltsavias, Grün, Meister, 1991 wird eine Digitale Orthophoto Arbeitsstation (DOW), welche sich in Entwicklung befindet, beschrieben. In Abbildung 7 sind deren mögliche (und notwendige) Funktionen angedeutet. Die gegenwärtige Ausbaustufe entspricht einem Zwischenprodukt der minimalen und mittleren Konfiguration.

Die Abbildungen 8 und 9 zeigen an dieser Station erzeugte Produkte – ein digitales Orthophoto mit überschriebenen Höhenlinien und eine zugehörige synthetische Geländedarstellung in schräger Parallelprojektion.



Abb. 8: Digitales Orthophoto mit integrierten Höhenlinien (Gebiet Simplan).

6. Zur Integration von Systemen der Photogrammetrie und Fernerkundung mit GIS

Konzeptionell lassen sich gemäss Abbildung 10 folgende drei Integrationsniveaus unterscheiden:

- a) *Teilintegration 1*: Zwei separate Systeme mit Datenaustauschmodul
- b) *Teilintegration 2*: Gemeinsame Benutzeroberfläche (inklusive Display) mit sonst separaten Softwaremodulen
- c) *Vollintegration*: Gemeinsame Benutzeroberfläche, darunter ein gemeinsamer Softwaremodul inklusive Datenbank

Konzept (a) verknüpft zwei anderweitig vollkommen getrennte Systeme durch ein Übersetzungsprogramm DIM («Data Interchange Modul»). Dies ist heute das übliche Verfahren bei der Mehrzahl kommerzieller Produkte.

Bei Konzept (b) wird eine gemeinsame Benutzeroberfläche (z.B. Sunview) eingesetzt, darunter läuft der Austausch ähnlich wie bei (a).

Der Datenaustausch funktioniert bei (a) und (b) heute üblicherweise erst in einer Richtung. In dieser Richtung können dann aber Produkte, die auf Daten beider Systeme zurückgreifen, definiert werden. Sehr verbreitet ist hier zum Beispiel der graphische Display von einander überlagerten Vektor- und Pixeldaten (vgl. Abbildung 8).

Konzept (c) erfüllt den Anspruch der Vollintegration. GIS und Photogrammetrie/Fernerkundung greifen auf eine gemeinsame

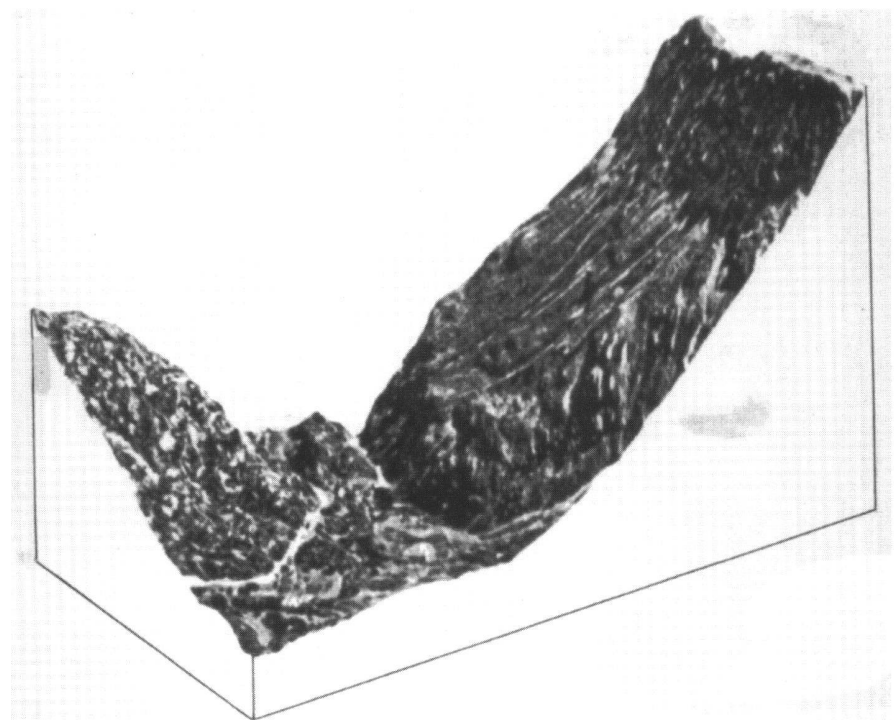


Abb. 9: Synthetische Geländedarstellung in schräger Parallelprojektion (Gebiet Simplan).

Datenbank zurück. Die Frage, welches dieser Konzepte die bessere Lösung anbietet, ist längst nicht ausdiskutiert. Die Antwort richtet sich wohl in erster Linie nach der Arbeitsumgebung, den Aufgaben und Applikationen sowie der Leistungsfähigkeit der benutzten Computer und Datenbanken.

Wiewohl die Vollintegration zunächst vom Konzept her attraktiv wirkt, sollte man dort doch sorgfältig die Probleme bezüglich Modularität (Ausbaumöglichkeiten), Flexibilität (Anschluss an andere Produkte), Leistungsfähigkeit (Rechenzeiten und Funktionalität) und Kosten überprüfen.

Für eine Gruppe, die über einen längeren Zeitraum unter nur wenig veränderlichen Projektbedingungen vorwiegend Standardprodukte produziert und sich in diesem Zusammenhang stark mit Datenerhebung beschäftigen muss, ist die Vollintegration sicher die adäquate Lösung. Insbesondere können dann mehrere Akquisitionssysteme (Photogrammetrie und andere) eine zentrale Verwaltungs-, Editier- und Analyseeinheit zusammen bedienen (vgl. Abbildung 11 a).

Abbildung 11 b zeigt dagegen eine Konfiguration, wie sie sich für eine Forschungs- und Entwicklungsgruppe der Photogram-

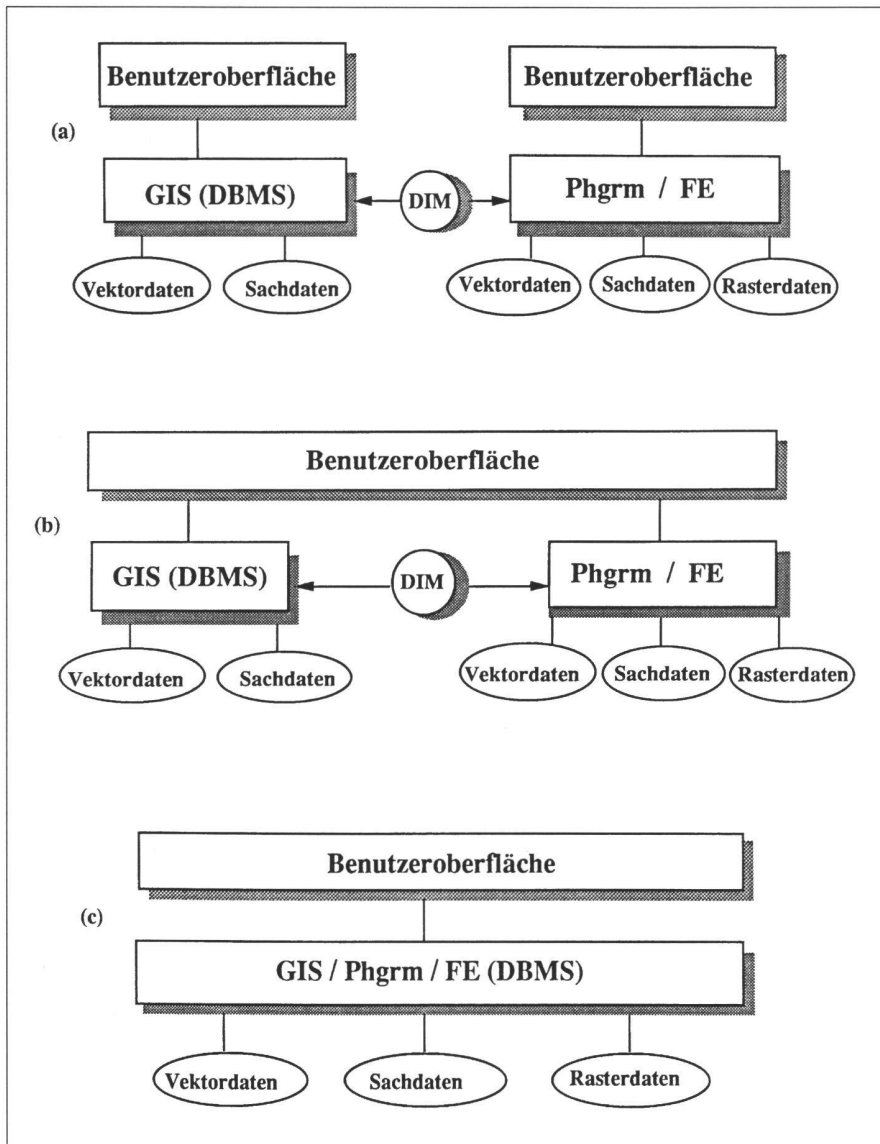


Abb. 10: Integrationsstufen von Systemen der Photogrammetrie und Fernerkundung mit GIS.

metrie/Fernerkundung anbietet. Tatsächlich ist unsere Digitale Station DIPS II nach diesem Prinzip aufgebaut (vgl. Abbildungen 5 und 6).

Bill, 1990 hat Anforderungen an ein modernes GIS formuliert. Daraus seien hier die wichtigsten aufgelistet:

- Workstation als Hardwareplattform, integriert in Computernetzwerk
- Möglichkeit, Peripheriegeräte gemeinsam zu nutzen (Server-Client Konzept)
- Betriebssystem UNIX
- GIS-Programmierung in C oder in objektorientierter Sprache
- PHIGS als Graphikschnittstelle
- X-Windows als Benutzeroberfläche
- Verwaltung von Vektor-, Sach- und Rasterdaten.

Moderne Systeme der digitalen Photogrammetrie sollten einen Grossteil dieser Anforderung erfüllen (vgl. Konzept und Ar-

chitektur von DIPS II). Wegen der dann gemeinsamen Basis ergäben sich gute Voraussetzungen für die Integrierbarkeit digitaler Systeme der Photogrammetrie und Fernerkundung mit Geo-Informationssystemen.

7. Schlussbemerkungen

Verfahren der Photogrammetrie und Fernerkundung produzieren Daten flächendeckend, vollständig, aktuell und automationsfreundlich. Sie eignen sich daher sehr gut als Akquisitionsverfahren für Geo-Informationssysteme. Gleichzeitig stellen die modernen digitalen Auswerteverfahren Algorithmen und Methoden der Datenverarbeitung, -analyse und -repräsentation für GIS zur Verfügung. Neue Produkte, basierend auf hybrider Raster-Vektor-Datenbehandlung, sowie der Kombination realer und synthetischer Bilder kön-

nen ein breites Anwendungsspektrum erschliessen.

Digitale photogrammetrische Stationen werden unter Einsatz modernster Computerstandards betrieben und bieten somit die Voraussetzungen für die Integration zukunftsweisender GIS. Wie bereits die konventionellen Verfahren Photogrammetrie und Kartographie sich gegenseitig benötigten und ergänzten, werden wir auch in Zukunft eine neue Generation von leistungsfähigen Systemen sich entwickeln sehen, die beide Disziplinen, zusammen mit anderen mehr, unter dem Schirm der Behandlung digitaler raumbezogener Daten vereinigen.

Automation bei Datenakquisition und -verarbeitung ist heute in aller Munde. Noch aber klaffen zwischen dem Anspruch auf vollautomatische Verfahren und der Realität der begrenzten Leistungsfähigkeit der entsprechenden Algorithmen und Systeme viele Jahre, wenn nicht Jahrzehnte produktiven Forschens.

Literatur:

Baltsavias, E., Grün, A., Meister, M., 1991: Digitale Orthophoto Workstation (DOW). Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik, Nr. 10, Oktober.

Beyer, H. A., 1991: Architekturen und Komponenten von photogrammetrischen und GIS-Arbeitsstationen. Tagungsband «Photogrammetrie und Geographische Informationssysteme», ETH Zürich, 8.–12. April.

Bill, R., 1990: GIS – quo vadis? Geo-Informationssysteme, Jahrgang 3, Heft 3, S. 26–33.

Ehlers, M., Edwards, G., Bédard, Y., 1989: Integration of remote sensing with Geographic Information Systems: A necessary evolution. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 55, No. 11, November, pp. 1619–1627.

Grün, A., 1986: Projekt «Uster» – ein Beispiel moderner photogrammetrischer Punktbestimmung. Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik, Nr. 4, S. 136–142.

Grün, A., 1989: Digital photogrammetric processing systems: Current systems and prospects. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 55, No. 5, May, pp. 581–586.

Grün, A., 1990: Photogrammetrische Welt-raumbilder der Erde. ETH Zürich, Jahresbericht 1989, S. 50–54.

Grün, A., Beyer, H. A., 1991: DIPS II – Turning a standard computer workstation into a Digital Photogrammetric Station. ZPF, Zeitschrift für Photogrammetrie und Fernerkundung, 59. Jahrg., 1/91, S. 2–10.

Grün, A., Runge, A., 1987: Projekt «Heinzenberg» – Präzisionsphotogrammetrie im Gebirge. Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik, Nr. 7, S. 271–276.

Grün, A., Spiess, E., 1987: Point positioning and mapping with Large Format Camera data. Geocarto International, Vol. 2, No. 2, pp. 3–15.

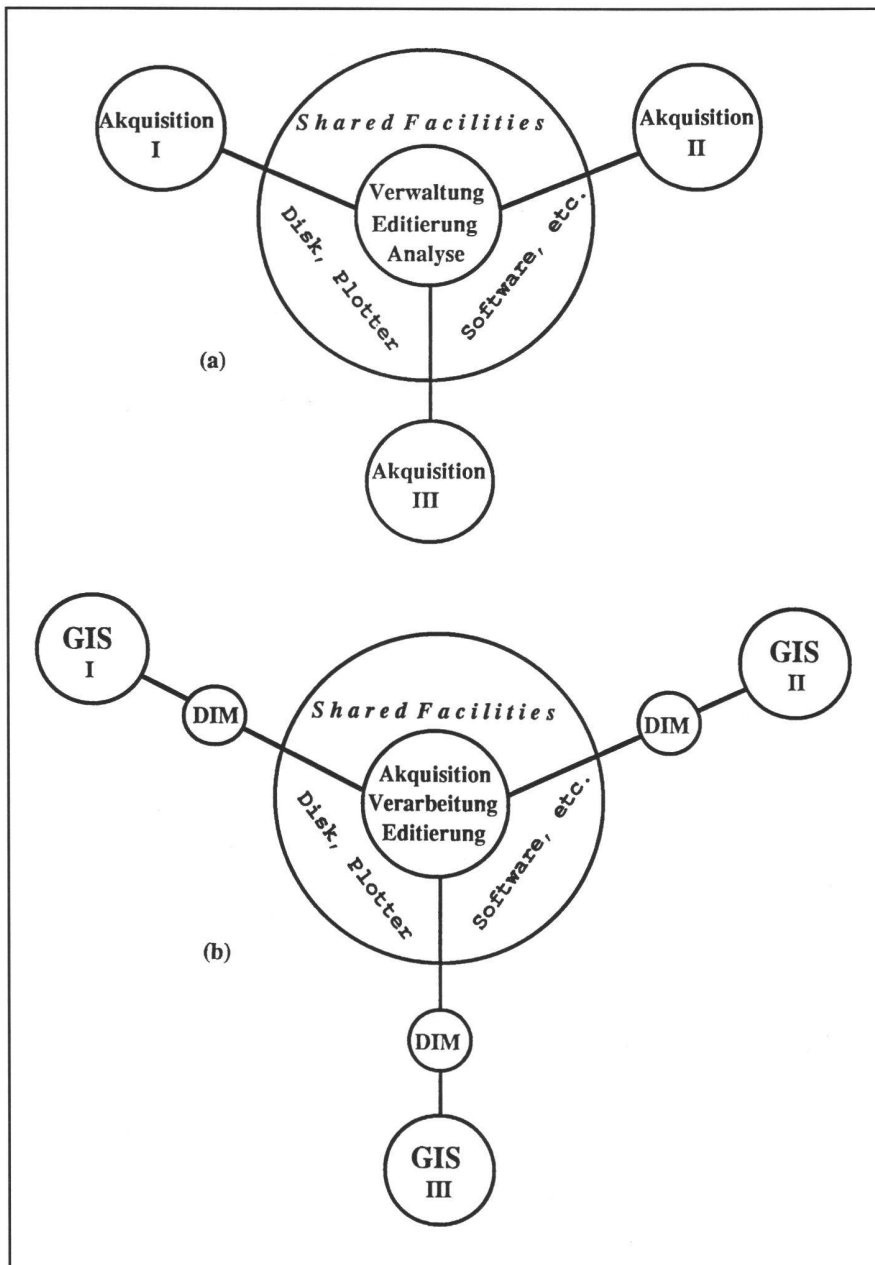


Abb. 11: Systemkonzepte zur Teil- und Vollintegration: a) Vollintegration (Produktionsgruppe), b) Teilintegration (Forschungsgruppe Phgrm/FE).

Konecny, G., 1991: Der Einsatz von Fernerkundungsdaten in GIS. Tagungsband «Photogrammetrie und Geographische Informationssysteme», ETH Zürich, 8.–12. April.

Leberl, F. W., 1990: The VX-Series of interactive film scanners: film-based softcopy photogrammetry. Int. Arch. of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 28, Part 5/1, ISPRS Commission V Symposium, Zürich, pp. 299–307.

Lulla, K., Helfert, M., 1990: Catalogs of Space Shuttle Earth Observations Photogramphy. GEOCARTO International, Vol. 5, No. 3, 1990, pp. 59–64.

Markwitz, W., Winter, R., 1989: Fernerkundung. Daten und Anwendungen. H. Wichmann Verlag, Karlsruhe.

Moore, H. D., 1989: SPOT vs Landsat TM for the maintenance of topographical databases. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 44, S. 72–84.

Adresse des Verfassers:
 Prof. Dr. Armin Grün
 Institut für Geodäsie und
 Photogrammetrie
 ETH Hönggerberg
 CH-8093 Zürich

LIS/GIS-Marktübersicht

Neue, überarbeitete und erweiterte Auflage!

Anhand von über 50 Kriterien werden die folgenden Systeme beschrieben:

ADALIN, ARC/INFO, ARGIS.4GE, C-PLAN, CALIS, CARTO/INFO, GEOPOINT, GEOS4, GIMS, GRADAS-GEO, GRADIS-GIS, GRIPS, GRIVIS, MAPIX, INFOCAM, INTERGRAPH, SICAD, SPANS, SYSTEM-9.

Weitere Informationen unverbindlich bei:
 Martin Vogt, Fellenbergstrasse 8, 3053 Münchenbuchsee
 Telefon: 031/869 11 08

Vermarktungsarbeiten

übernimmt und erledigt

- genau
- prompt
- zuverlässig
- nach Instruktion GBV

für Geometerbüros und Vermessungsämter in der deutschsprachigen Schweiz

Josef Lehmann, Vermarktungsunternehmer
 9555 Tobel TG
 Tel. 073/45 12 19
 oder 9556 Affeltrangen, Tel. 073/45 15 42