

# Das Projekt *swissphoto* - Flächendeckende und aktuelle Geodaten als Grundlage für viele GIS-Anwendungen in der Schweiz

Th. Kersten

Swissphoto Vermessung AG, Dorfstr. 53, CH - 8105 Regensdorf-Watt

Tel. +41 1 871 22 22, Fax +41 1 871 22 00, e-mail thomas.kersten@swissphoto.ch

## Zusammenfassung

In diesem Beitrag werden digitale Orthophotos als wichtige und aktuelle Grundlage für viele Anwendungen in Geographischen Informationssystemen vorgestellt. Der Weg von den Ausgangsdaten zum digitalen Orthophoto wird kurz aufgezeigt. Mit dem Projekt *swissphoto* wird in diesem Artikel ein aktueller Luftbilddatensatz vorgestellt, der flächendeckend für die gesamte Schweiz in hoher Auflösung zur Verfügung steht und der die steigende Nachfrage nach schnell verfügbaren und kostengünstigen Geodaten zufriedenstellen soll. Anhand von verschiedenen Anwendungsbeispielen wird die Vielseitigkeit und Flexibilität von digitalen Orthophotos als integrierte Basisdaten in Informationssystemen dargestellt.

## 1. Einführung

Die Entwicklung in der Computertechnologie und damit auch in der graphischen Datenverarbeitung und die zunehmende Verfügbarkeit von qualitativ hochwertigen digitalen Daten haben zu neuen Formen der Aufgabenbearbeitung in der öffentlichen Verwaltung und in der privaten Wirtschaft geführt. Das führte in zunehmendem Masse zu einem Bedarf an digitalen topographischen Informationen, die als Basisdaten für digitale raumbezogene thematische Bearbeitungen unverzichtbar geworden sind. Um den steigenden Bedarf an genauen, einfach und schnell zu erfassenden, günstigen und grossmasstäbigen Geo-Informationen unserer Umwelt von verschiedenen GIS-Anwendern wie z.B. die öffentlichen Stellen, Ingenieurbüros, Versorgungsunternehmen und viele mehr für Planungsaufgaben, Ressourcenverwaltung und Umweltmonitoring, etc., befriedigen zu können, müssen in immer kürzeren Zeitabständen aktuelle Grundlagendaten in digitaler Form zu fairen und verbraucherfreundlichen Preisen zur Verfügung gestellt werden. Als solche Grundlagendaten bieten sich digitale Orthophotos an, die durch eine entsprechende Transformation aus Luftbildern oder Satellitenbildern mit Zentralprojektion zu einer georeferenzierten orthogonalen Photokarte umgeformt werden. Durch die Georeferenzierung wird ein Raumbezug gewährleistet und eine spätere gemeinsame Nutzung verschiedener Datensätze im GIS vereinfacht. Digitale Orthophotos liefern den grossen Informationsgehalt von Luftbildern und sind heute schnell und einfach zu generieren. Daher dienen sie in zunehmendem Masse als aktuelle Grundlage für viele GIS-Anwendungen.

Digitale Orthophotos erfüllen Kriterien wie Aktualität, Genauigkeit, Homogenität und volle Gebietsabdeckung. Sie weisen folgende Vorteile auf:

- Hohe Genauigkeit, Stabilität und Informationsgehalt
- Erfassung/Darstellung grosser Flächen in kurzen Zeitabständen
- Kurze Produktionszeit, niedrige Kosten, hohe Effizienz
- Flexibilität in der Produktion der Orthophotos und Ableitung von Folgeprodukten
- Computergestützte Informationsextraktion mit Möglichkeiten zur Automation

- Einfache radiometrische Manipulationen (hohe Bildqualität, Mosaikherstellung, Farbmanipulationen, digitales Dodging)
- Integration von Zusatzinformationen (Schrift, Rahmen, etc.) durch digitale Bildverarbeitung
- Steigerung des Nutzens durch Kombination mit bestehenden Vektordaten

Digitale Orthophotos haben aus folgenden Gründen in letzter Zeit zunehmend an Bedeutung gewonnen (Grün et al., 1994):

- Digitale Daten sind heute flächendeckend als Satelliten- oder Luftbilder leicht verfügbar.
- Scanner ermöglichen ein qualitativ hochwertiges Digitalisieren von Luftbildern und anderen Daten.
- Digitale Terrainmodelle als Grundlagedaten für die Herstellung von DOPs sind durch verschiedene Erfassungsmethoden wie digitale automatische Bildkorrelation oder Laser-Scanning zunehmend in unterschiedlichen Qualitätsstufen verfügbar.
- Notwendige Passpunktinformationen können durch GPS genau, schnell und kostengünstig erfasst werden.
- Computer sind heute mit hoher Rechnerleistung und Speicherkapazität kostengünstig erhältlich.
- Kommerzielle Software für die digitale Orthophoto-Generierung ist von einer Vielzahl von Anbietern erhältlich.
- Die digitale Kartographie bedient sich für die Kartennachführung zunehmend digitaler Orthophotos.
- Die amtliche Vermessung bedient sich für die Nachführung von Bodenbedeckungen ausserhalb des Baugebietes und für die Verifikation zunehmend digitaler Orthophotos.
- Digitale Orthophotos bilden als Rasterdaten eine wichtige und aktuelle Informationsebene in Geo-Informationssystemen.
- Digitale Orthophotos werden durch günstige Visualisierungssoftware auf PC's einer breiten Öffentlichkeit zugänglich.

## 2. Digitale Orthophotos

Digitale Orthophotos (DOPs) werden durch automatische digitale Prozesse hergestellt und sind die ersten operationellen Produkte der modernen digitalen Photogrammetrie. Für die Generierung von DOPs müssen folgende Ausgangsdaten vorhanden sein:

- Digitale Luftbilddaten
- Orientierungsparameter der Luftbilder
- Digitales Terrainmodell des vom Luftbild abgebildeten Gebietes

Analoge Luftbilder werden an hochgenauen photogrammetrischen Scannern, die sowohl eine geometrische als auch eine radiometrische Stabilität und Genauigkeit aufweisen wie z.B. die Hela-va/Leica Digital Scanning Workstation DSW200, der PS1 von Zeiss/Intergraph, der SCAI von Zeiss, etc., digitalisiert. Je nach Anwendung und Genauigkeitsanforderung liegt die Auflösung beim Scannen in der Regel zwischen 10  $\mu\text{m}$  (2540 dpi) und 50  $\mu\text{m}$  (508 dpi). Von den digitalen Luftbilddaten müssen die inneren und äusseren Orientierungsparameter vorliegen. Die innere Orientierung des Bildes ist durch die Kammerkonstante, Lage der Rahmenmarken und des Bildhauptpunktes, sowie durch die radiale Verzeichnung gegeben. Zur Herstellung der inneren Orientierung werden heute die Rahmenmarken in den digitalen Bildern vollautomatisch gemessen (Kersten und Häring, 1995). Die räumlichen Koordinaten der Projektionszentren und die drei Drehwinkel (äussere Orientierung) können mit Hilfe von Passpunkten bei Einzelbildern durch räumliches Rückwärtseinschneiden, bei zwei sich überlappenden Bildern durch Stereoauswertung und bei einem Luftbildverband durch Aerotriangulation abgeleitet werden. Digitale Terrainmodelle (DTMs) können durch verschiedene Methoden erfasst

werden wie z.B. durch topographische Felddatenerfassung, digitalisieren vorhandener Kartenunterlagen (siehe DHM25 der Landestopographie Schweiz), photogrammetrische Auswertungen am Analytischen Plotter, automatische Bildkorrelation in digitalen Bildern, Laser-Scanning (Lindenberger, 1991; Ackermann et al., 1994), etc. Das Gebiet für die Orthophoto-Generierung muss flächendeckend ein solches DTM aufweisen. Für die automatische Generierung von digitalen Orthophotos wird für jedes Pixel im Orthophoto geometrisch der zugehörige Ort im Luftbild und radiometrisch der entsprechende Dichtewert aus dem Luftbild bestimmt. Dabei wird zur geometrischen Entzerrung über die Lage des Orthophotopixels, die aus den Kollinearitätsgleichungen bekannt ist, die dazugehörige Geländehöhe aus dem DTM interpoliert. Die jeweiligen Bildkoordinaten werden anschliessend in das entsprechenden Referenzkoordinatensystem transformiert. Für die radiometrische Entzerrung wird jedem Orthophotopixel ein Grau- bzw. Farbwert zugewiesen, der aus der Pixelnachbarschaft des Luftbildes interpoliert wird. Die benötigte Rechenzeit für die Orthophoto-Generierung hängt u.a. von der verfügbaren Computerperformance und der gewählten Auflösung ab, doch liegt sie heute im allgemeinen im Bereich von 1 bis 2 Stunden pro Bild. Werden mehrere Orthophotos zu einem Orthophoto zusammengesetzt, so spricht man vom Mosaiking. Bei diesem Prozess werden besonders die Schnittstellen bzw. Überlappungsbereiche der verschiedenen Orthophototeile radiometrisch und geometrisch aneinander angepasst.

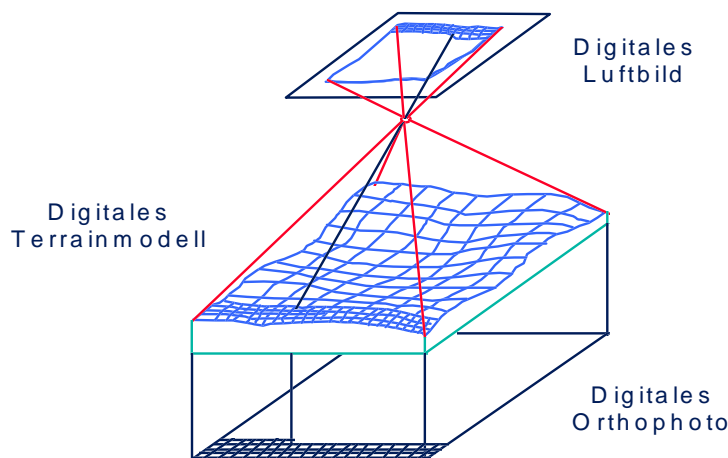


Abb. 1: Prinzip der digitalen Orthophoto-Herstellung

Folgende Probleme können bei der Herstellung von Orthophotos auftreten:

- Schattenbereiche können nur durch die Aufnahme von Luftbildern zu Zeiten mit einem hohen Sonnenstand oder durch die Verwendung von Luftbildern aus mehreren verschiedenen Positionen bei der Herstellung von Orthophotos verkleinert werden.
- Häuser, Brücken, oder andere menschlich geschaffene Objekte werden in Orthophotos falsch dargestellt. Doch durch die 3-D Erfassung (Mapping) von solchen Objekten können die Orthophotos mit erhöhtem Aufwand korrigiert werden; man spricht dann von sogenannten True-Orthophotos.
- Durch den unterschiedlichen Reflexionswinkel der Sonne in das Objektiv werden die mittleren Bereiche der Bilder heller als die Randbereiche abgebildet. Moderne digitale Filtertechniken aus der Bildverarbeitung können diese radiometrischen Unterschiede ausgleichen.

### 3. Projekt *swissphoto* - Flächendeckende Basisdaten

Aktuelle und flächendeckende Basisdaten für ein breites Spektrum von Anwendern und Nutzern wie z.B. Bundesamtsstellen, Kantonale Amtsstellen, Gemeinden, Ingenieurbüros, Geometer, Transport-

und Verkehrsbetriebe, Planer und Architekten, Umwelt, Forschung, Ver- und Entsorgungsindustrie, Kommunikation und Leitsysteme sowie Tourismus stellen zunehmend ein akutes Bedürfnis dar. Um die vielen Marktbereiche bzw. Anwender in der Schweiz schnell, qualitätsbewusst und preisgünstig mit gewünschten Geo-Daten versorgen zu können, wurde 1995 im Rahmen des Projektes *swissphoto* die gesamte Schweiz befliegen.

### 3.1. Befliegung der Schweiz

Die Befliegung der Schweiz (siehe Abb. 2) erfolgte in 2 Phasen, wobei simultan zwei Kameras jeweils mit Farb- bzw. Infrarotfilm eingesetzt wurden. In der Phase 1 wurde von Mai bis August 1995 das Mittelland mit allen Wirtschaftszentren in einem Massstab von ~1: 25'000 befliegen. Die Befliegung der Alpengebiete (Massstab ~1: 35'000) und der Alpentäler (~1: 24'000) erfolgte in den Monaten August bis Oktober 1995 (Phase 2). Im Juli 1996 wurden einige kleine Gebiete, in denen im 95er Flug leichter Dunst und vereinzelt Wolken auftraten, wiederholt befliegen. Um die Kosten für die Aerotriangulation gering zu halten, wurden die Projektionszentren während des Bildfluges mit DGPS bestimmt - bei gleichzeitigen GPS-Messungen auf Referenzstationen am Boden - und nur wenige gut verteilte Punkte wurden als Passpunkte signalisiert. Als Passpunkte dienten die 104 Punkte des neuen Landesvermessungsnetzes LV'95.

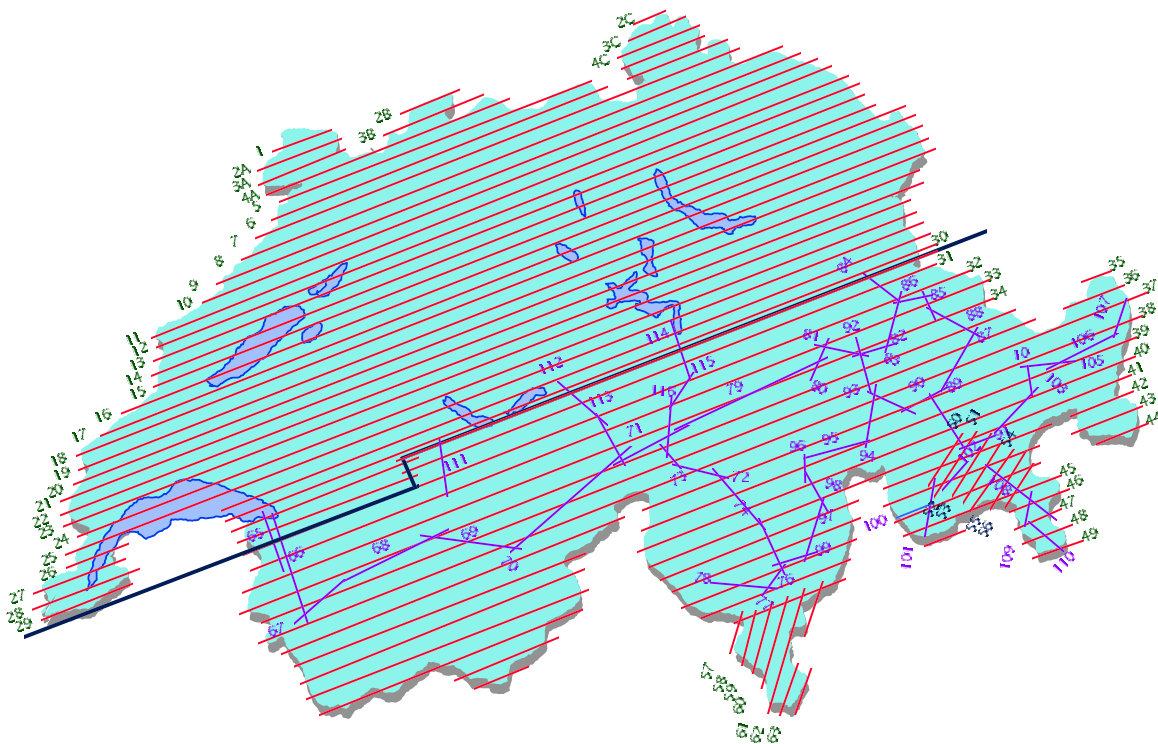


Abb. 2: Fluglinien für das Projekt *swissphoto*

In der Tabelle 1 sind die Flug- und Blockdaten für das gesamte Projekt *swissphoto* zusammengefasst.

Gebiet:	Schweiz
Flächengrösse:	~42000 km <sup>2</sup>
Geländehöhe:	~400 - 4800 m
Flughöhe über Meereshöhe:	~4400 - 9800 m
Kameras:	Wild RC30/20, 15/4 UAGA-F
Bildmassstab:	~1: 24000 - 1: 38000
Längs- und Querüberdeckung:	70-90%/30-40%
Anzahl Flugstreifen:	117
Anzahl Bilder:	~8000
Flugdatum:	Juni - Oktober 1995, Juli 1996
Film:	Farb- und Infrarot-Diapositive
Scanner:	Helava/Leica DSW200
Pixelgrösse:	25 µm

Tabelle 1: Flug- und Blockdaten für das Projekt *swissphoto*

### 3.2. Verarbeitung der Daten

Um den zunehmenden Bedarf an aktuellen Geo-Daten in Zukunft schnell zu befriedigen, werden moderne und effiziente Methoden zur Verarbeitung der Daten eingesetzt. Mit modernen Methoden und Techniken der digitalen Photogrammetrie und Bildverarbeitung werden die aktuellen Luftbilddaten operationell und weitestgehend automatisiert verarbeitet. Einige Prozesse wie z. B. der Import der Bilddaten, die innere Orientierung, Teilprozesse der Aerotriangulation, DTM und Orthophoto-Generierung werden vollautomatisch durchgeführt. Die *swissphoto* Datenproduktion unterteilt sich in die Arbeitsschritte Scanning, Datenarchivierung, Digitale Aerotriangulation, automatische Generierung digitaler Terrainmodelle und Orthophotos, Mosaicking, Datenmanagement und Datenausgabe. Für die Datenproduktion werden digitale photogrammetrische Arbeitsstationen eingesetzt. Die Luftbilder werden zur Zeit an zwei digitale Scanning-Arbeitsstationen DSW200 von Helava/Leica gescannt. Die Aerotriangulation und die DTM-Generierung erfolgt auf zwei digitalen photogrammetrischen Arbeitsstationen DPW770 von Helava/Leica, während die Orthophoto Generierung und das Mosaicking auf zwei PC's (Intergraph TD 4) mit der Software SysImage von ISM durchgeführt wird.

Im folgenden werden die einzelnen Arbeitsschritte zur Verarbeitung der circa 8000 Photos je Film etwas näher vorgestellt:

- (1) Die analogen Farbluftbilder werden mit einer Auflösung von 25 µm (1016 dpi) an der Helava/Leica Digitalen Scanning Workstation DSW200 digitalisiert, was einer Datenmenge von ca. 240 MByte pro Bild entspricht. Die Scanzeit beträgt circa 30 Minuten pro Farbbild. Die Auflösung entspricht je nach Bildmassstab einer Pixelgrösse von ca. 0.63 - 1.30 m am Boden. Für die Aerotriangulation (AT) und die DTM-Generierung werden die digitalen Farbbilddaten in Grauwertbilder (ca. 80 Mbyte) umgewandelt, um für diese Arbeitsprozesse die Bilddaten so weit wie möglich zu reduzieren.
- (2) Die Bestimmung der genauen Orientierungsparameter der Bilder erfolgt durch AT von grossen Subblöcken (100 bis 500 Bilder) mit der Software HATS (Helava Automated Triangulation Sy-

stem) an der DPW770. Die Messungen werden anschliessend in einer kombinierten Bündelblockausgleichung zusammen mit den GPS-Daten der Kamerastationen ausgeglichen. Eine Genauigkeit von besser als 0.5 m in der Lage und 1 m in der Höhe für natürliche Punkte ist anzustreben. Erste Ergebnisse (Kersten, O'Sullivan, 1996) zeigen, dass die Genauigkeiten zu erreichen sind. Neben den signalisierten Passpunkten des LV'95 Netzes werden noch weitere Passpunkte aus folgenden Quellen zur Stützung der AT herangezogen:

- Voll-Passpunkt durch nachträgliche GPS-Messung im Feld
- Höhen-Passpunkt aus Höhenkoten der TK25
- Voll-Passpunkt aus anderen photogrammetrischen Projekte
- Lage-Passpunkt durch Digitalisieren aus Grundbuchplan

Eine detailliertere Beschreibung der AT ist in Kersten und O'Sullivan (1996) zusammengefasst. Zur Zeit werden circa 32 Bilder pro Arbeitsschicht trianguliert.

- (3) Die Digitalen Terrainmodelle werden durch automatische Bildkorrelation in den digitalen Bilddaten (Stereomodell) an der DPW770 in einem 10 m Raster generiert und anschliessend von groben Fehlern, die zwischen 20 m und einigen hundert Metern variieren kann, bereinigt. Die Genauigkeit der automatischen DTM-Generierung ist von der Auflösung der digitalen Bilddaten, von der Geländecharakteristik (flach, gebirgig, hügelig, etc.), von der Oberfläche (Wald, Besiedlung, Wasser, etc.) und von den Orientierungsdaten abhängig. Berücksichtigt man alle aufgeführten Faktoren, so ist je nach Gelände eine Höhengenaugkeit im Bereich von 2-5 m anzustreben. Die Korrelation für ein DTM in einem Stereomodell dauert momentan circa 1 Stunde, während das Editieren der generierten DTMs bis zu 3 Stunden pro Modell dauern kann. Grosse Probleme bei der automatischen DTM-Generierung bereiten natürlich die grossen Höhenunterschiede wie sie üblicherweise in der Schweiz auch schon in einem Stereomodell auftreten können. Wenn bei extremen Höhendifferenzen der automatische Korrelationsalgorithmus versagt, wird das DTM-Teilgebiet an einem Analytischen Plotter gemessen. Die einzelnen DTMs werden zu einem gemeinsamen Oberflächenmodell mit einer Grösse von 5 km x 5 km verschmolzen.
- (4) Für automatische Erstellung digitaler Orthophotos sind die digitalen Rasterdaten (Farbe oder Infrarot), die Orientierungsparameter aus der AT und die DTMs die Datengrundlagen. Der Prozess der Orthophoto-Erstellung erfolgt nach der Dateneingabe und einer Perimeteingabe an einem PC (Intergraph TD40) vollautomatisch. Die Berechnung dauert zur Zeit circa 1 Stunde pro Photo. Durch Mosaiking werden mehrere DOPs zu einem Orthophoto-Mosaik zusammengesetzt, dessen Grösse eigentlich nur durch die vorhandenen Speicherkapazitäten begrenzt wird. Für die einfachere Datenhandhabung werden die Orthophoto ebenfalls als 5 km 5 km Teilflächen abgespeichert. Um auch eine hohe radiometrische Qualität der Orthophotos zu erreichen, werden die Helligkeitsunterschiede in jedem einzelnen Photo (Vignetting-Problem) durch Ausgleichung des dynamischen Bereiches mit einem modifizierten Wallisfilter minimiert.
- (5) Die erzeugten Daten werden einer Qualitätskontrolle unterzogen. Die Genauigkeit von DOPs hängt von der radiometrischen und geometrischen Qualität der gescannten Bilder, von der Genauigkeit der Orientierungsparameter und des DTMs ab. Die gescannten Bilder werden visuell auf radiometrische und geometrische Fehler untersucht. Die Qualität der AT wird durch die Ergebnisse der Bündelblockausgleichung analysiert. Die generierten DTMs werden visuell im Stereomodell überprüft, während die Qualität der Orthophotos durch mindestens vier gut verteilte Kontrollpunkte oder durch Überlagerung von gegebenenfalls vorhandenen Vektordaten kontrolliert wird.
- (6) Die digitalen Daten werden auf verschiedenen Speichermedien abgegeben. Als externe Speichermedien stehen je nach Datenmenge u.a. CD-ROMs, Video8 und DAT-Bänder zur Verfügung.

gung. Die digitalen Orthophotos können auch auf qualitativ hochwertigen Plottern wie Hewlett Packard HP750C und IRIS ausgegeben werden. Als Standardausgabemasstäbe sind die Bereiche von 1: 2'000 bis 1: 10'000 vorgesehen.

Die digitalen Orthophotos sollen im Jahr 1997 flächendeckend für die gesamte Schweiz vorliegen. Die Prioritäten für die laufende Produktion werden je nach Datenbedarf festgelegt. Für eine schnelle, flexible und effiziente Produktion werden die einzelnen Arbeitsschritte weitestgehend automatisiert und die entsprechenden Schnittstellen aufeinander abgestimmt.

#### **4. Geographische Informationssysteme (GIS)**

Trotz des vielseitigen Einsatzes von Luftbildern und DOPs beschreiben sie immer nur Symptome bzw. die aktuelle Topographie, doch die Ursachen von komplexen Zusammenhängen lassen sich nur durch Hinzuziehen von zusätzlichen Informationen z.B. in einem GIS analysieren. Somit dienen neben den Rasterdaten auch Vektor- und Sachdaten als Informationsquellen, die in einem GIS miteinander verknüpft werden können. Deshalb sind die Aufgaben bzw. Funktionen in einem GIS umfassend, d.h. in einem modernen GIS werden räumliche Daten erfasst, verwaltet, analysiert und repräsentiert. Wegen der Vielfältigkeit der Anwendungen haben sich in verschiedenen Fachdisziplinen eigene Geo-Informationssysteme entwickelt, die in Form von Spezialisierungen klassifiziert werden. Folgende Einteilung von GIS in die verschiedenen Spezialisierungen ist allein durch die Anwendung definiert (Bill und Fritsch, 1991).

- (1) Landinformationssysteme (LIS) für die exakte geometrische Erfassung und Aktualisierung von Grund und Boden (Liegenschaftskataster) und deren Verknüpfung mit Sachdaten.
- (2) Rauminformationssysteme (RIS) für diverse Anwendungen mit erforderlichen Raumbezug (z.B. Landes- oder kommunale Entwicklung verschiedener Themen wie Infrastruktur, Bevölkerung, Wirtschaft, Siedlungen, etc.).
- (3) Umweltinformationssysteme (UIS) für Anwendungen von raum-, zeit- und inhaltsbezogenen Daten zur Beschreibung des Umweltzustandes hinsichtlich Belastungen und Gefährdungen als Entscheidungsgrundlage für Umweltschutzmassnahmen.
- (4) Netzinformationssysteme (NIS) für die Dokumentation und Bearbeitung von Betriebsmitteldaten (Leitungen und Anlagen zur Ver- und Entsorgung).
- (5) Fachinformationssysteme (FIS) für Spezialanwendungen wie z. B. für Navigation (Auto, Flugzeug, etc.), Wellenausbreitungen (Telecom), etc.

Beispiele für die einzelnen Spezialisierungen werden in Kapitel 5 genannt.

Für viele Entscheidungsträger aus Politik, Wirtschaft, Raumplanung und Versorgung spielt der Aufbau eines GIS eine immer wichtigere Rolle. Doch die einzelnen Kostenfaktoren für den Aufbau eines GIS müssen dabei richtig eingeschätzt werden. Im Zeitalter der hohen, aber preisgünstigen Computerleistung macht die Hardware nur noch 5% der Kosten für ein GIS aus, Personal und Software kosten je 10%, während die Daten mit 75% den Grossteil der Kosten verschlingen. Das verdeutlicht, wie wichtig die Verfügbarkeit von flächendeckenden und aktuellen Daten ist.

#### **5. GIS-Integration von Orthophotos und weitere Anwendungsmöglichkeiten**

Mit der zunehmenden Verfügbarkeit von ausreichendem Speicherplatz und flexiblen Datenbanksystemen lassen sich digitale Rasterdaten leichter in GIS integrieren. Für die Integration von Orthophotos in Form von digitalen Rasterdaten in GIS müssen verschiedene Aspekte berücksichtigt werden. Wesentliche Kriterien sind dabei das Rasterdatenformat (Header-Informationen, Aufteilung bei gro-

ssen Datenmengen, Bildkomprimierung), etc.), Datenstrukturen und Datenbankmanagement von Orthophotos, integrierte oder unabhängige Datenerfassung, verfügbare Funktionalität (wie z.B. Bild-darstellung, Verarbeitung und Manipulation) und die besonders wichtige Möglichkeit der Qualitätskontrolle. Die Aspekte der Orthophoto-Integration werden u.a. ausführlich in Baltsavias (1993) diskutiert.

Die Anwendungsmöglichkeiten von digitalen Orthophotos in einem GIS sind vielfältig. Die beiden wichtigsten Anwendungsbereiche sind die Nutzung von Orthophotos als Hintergrundinformation für verschiedene Vektordaten und die Digitalisierung von neuen Vektordaten aus Orthophotos. Im folgenden werden verschiedene Aufgaben kurz zusammengefasst, für die man digitale Orthophotos einsetzen kann (Baltsavias, 1993):

- Überprüfung von Daten auf geometrische Richtigkeit und Vollständigkeit durch Überlagerung von Vektordaten auf Orthophotos
- Neudatenerfassung durch Vektorisierung aus Orthophotos
- Karten- und Datennachführung aus aktuellen Orthophotos
- Herstellung von Orthophotokarten
- 3-D Datenerfassung durch Monoplotting aus Orthophoto und DTM
- Erstellen von synthetischen 3-D Ansichten (Perspektiven)
- Verifikation von Änderungen aus Vergleichen von zeitlich unterschiedlichen Orthophotos
- Verschneiden mit anderen Daten (Raster-, Vektor- oder Sachdaten)
- Qualitätskontrolle von DTMs durch Stereo-Orthophotos (Grün et al., 1994)
- Aufbau einer Orthophoto-Datenbank als Land-Basisinformation für Länder und Kantone

Im folgenden werden Beispiele aus verschiedenen Anwendungsbereichen aufgezählt, bei denen DOPs als die Grundlage, d.h. als Ersatz für fehlende Basisdaten oder auch als Ergänzung zu bestehenden Grundlagedaten, für den Aufbau von Informationssystemen verwendet werden können.

#### (1) Vermessung

- Digitale Nachführung des Übersichtsplanes (z.B. 1: 10'000 oder 1: 5'000) durch Überlagerung von Vektordaten oder durch Verschneidung von unterschiedlichen Rasterdaten.
- Den Einsatz von Orthophotos als Ergänzung zur amtlichen Vermessung im Kanton Solothurn zeigen von Däniken und Blatter (1994) auf. Die Basisdaten werden dabei zentral gespeichert, so dass sie schnell und kostengünstig u.a. über das Netzwerk für verschiedene Anwender abgegeben werden.

Die Orthophotos können bei fehlenden oder veralteten Grundbuchplänen als Ersatz oder für die Nachführung vor allem bei den Bodenbedeckungen dienen. Neue Grundbuchpläne können durch Überlagerung visuell kontrolliert werden.

#### (2) Melioration und Güterzusammenlegung

- Meliorationen sind Projekte zur Gestaltung und Förderung des ländlichen Raumes, die durch digitale Orthophotos und 3-Modelle wirkungsvoll unterstützt werden.

#### (3) Wasserwirtschaft

- Als Beispiel für ein Gewässerinformationssystem stellen Grenzdörffer et al. (1995) die Überwachung eines Trinkwasserschutzgebietes mit Hilfe eines integrierten GIS-Ansatzes vor, bei dem die Orthophotos für die Erfassung der Landnutzung verwendet werden.
- Siedlungsentwässerung
- Quelleninformationssystem
- Hydrologische Kartengrundlagen



- (4) Landwirtschaft am Beispiel des Kantons Solothurn (von Däniken und Blatter, 1994)
  - Beitragsflächen werden mit Hilfe von Orthophotoplänen bestimmt.
  - Fruchtfolgeflächen werden mit Hilfe von Orthophotoplänen vor Ort von Ortsexperten und Bauern festgelegt.
  - Hangneigungen werden mit Hilfe von Orthophotoplänen überprüft, aktualisiert und ergänzt.
- (5) Raumplanung
  - Erstellung eines Naturinventars aus Orthophotos für die Gemeinden
  - Orthophotos dienen als aktuelle Grundlagedaten für die Landes-, Regional- und Ortsplanung. Synthetische 3-D Ansichten werden aus Orthophotos abgeleitet und dienen als Entscheidungsgrundlage.
- (6) Versorgungs- und Entsorgungswirtschaft
  - In Netzinformationssystemen dienen DOPs als aktuelle Grundlagedaten für die Überlagerung von Leitungsnetzen (Elektrizität, Gas, Wasser, Abwasser, Fernwärme, TV-Netze) oder für die Darstellung der Wellenausbreitungen von Funknetzen.
- (7) Umwelt
  - Bodenkartierung
  - Lärmschutzkataster
  - Schadstoffemissionskataster
  - Gefahrenkataster
  - Verdachtsflächenkataster
- (8) Infrastrukturentwicklung
  - Mit zeitlich unterschiedlichen Orthophotos über einen längeren Zeitraum lassen sich in vielen Bereichen wie z. B. in der Land- und Forstwirtschaft, für Siedlungszonen, für die Freizeitgestaltung, etc. die Entwicklung der Infrastruktur aufzeigen.
- (9) Geomarketing
  - Digitale Orthophotos kombiniert mit statistischen Daten (z. B. Bevölkerungsdichte, -struktur, Kaufkraft, etc.) dienen der Standortoptimierung von Gewerbe-, Industrie-, Dienstleistungs-, und Touristikbetrieben.
- (10) Navigationssysteme
  - Aktuelle digitale Orthophotos dienen als Grundlage für die Vektordatenerfassung von Strassen- und Verkehrsdaten für den Aufbau eines Navigationssystemes (siehe Travelpilot der Firma Bosch). Ein ähnliches Navigationssystem kann aufgebaut werden, um Flugzeuge nach der Landung bei schlechter Sicht zum entsprechenden Terminal zu navigieren.
- (11) Simulationssysteme
  - Digitale Orthophotos dienen als Grundlage für den Aufbau von Simulationssystemen z. B. für Helikopter oder Flugzeuge. Darüberhinaus nimmt die Bedeutung von Simulationssystemen in der Computeranimations- und Spielzeugbranche ständig zu.
- (12) Tourismus
  - Digitale Orthophotos können als Grundlage genutzt werden, um eine neue Form von Ausflugskarten, Stadtplänen und Tourismusführer zu gestalten.
- (13) Verkehrswesen (Strassen und Bahn)
  - Strassenachsen, Strassenbeläge, Unfallstatistik, Verkehrsregelung, etc.
  - Strassen- und Bahnkataster, Lärmbelastungskataster

(14) Spezielle Anwendungen wie z. B. das Notrufsystem

- Durch die Georeferenzierung von Telefonnummern und deren Darstellung in einem Informationssystem kann u.a. das Notrufsystem für Polizei, Feuerwehr, Notfallambulanz und Taxiunternehmen vereinfacht und effizienter werden. Doch mögliche Probleme mit dem Datenschutz müssen vorher sauber gelöst werden.

## 6. Schlussfolgerung und Ausblick

Automatische Methoden und automatisierte Arbeitsabläufe bei der photogrammetrischen Datenerfassung gewähren eine schnelle Verfügbarkeit von Geo-Daten. Mit den in Kapitel 3 vorgestellten flächendeckenden *swissphoto* Bilddaten können die Bedürfnisse an aktuellen Orthophotos für viele Anwendungen in der Schweiz gedeckt werden. Aufgrund der Vielseitigkeit und Flexibilität werden Orthophotos als schnell verfügbare Basisdaten immer mehr Anwender finden. Kundenspezifische Orthophotokarten, bei denen der Anwender den Perimeter, den Massstab, die darzustellenden Informationen und die Ausgabeart (digital oder analog als Plot) definiert, werden in Zukunft Standard. Digitale Orthophotos werden so zukünftig konventionelle Karten zunehmend ergänzen oder sogar ersetzen. Da durch die Orthophotos die Bedeutung der Rasterdaten zunimmt, werden sich die hybriden GIS, in denen Datenbankaspekte, Verarbeitung und Analyse sowie Visualisierung von Raster- und Vektordaten berücksichtigt werden, gegenüber den reinen vektororientierten Informationssystemen durchsetzen.

Eine zukünftige Vision stellt die on-the-flight Produktion von DOPs in Flugzeugen, die mit einer digitalen Kamera, mit DGPS und einem Inertialsystem (INS) sowie mit einem Laser-Scanning-System ausgerüstet sind, dar (Abb. 3). Die Orientierung des Kamerasystems, das hochauflösende Bilddaten auf einer real-time Disk speichert, wird durch DGPS und INS bestimmt, während das DTM on-line durch Laser-Scanning abgeleitet wird. Mit diesen erfassten Daten können anschliessend on-the-flight digitale Orthophotos generiert werden. Die technischen Voraussetzungen sind heute grösstenteils schon vorhanden, doch wird es noch einige Zeit dauern, bis digitale Luftbildkameras in der Lage sein werden, hochauflösende Bilddaten (> 16 k x 16 k Pixel) zu liefern und sie dann in Echtzeit auf Hard-

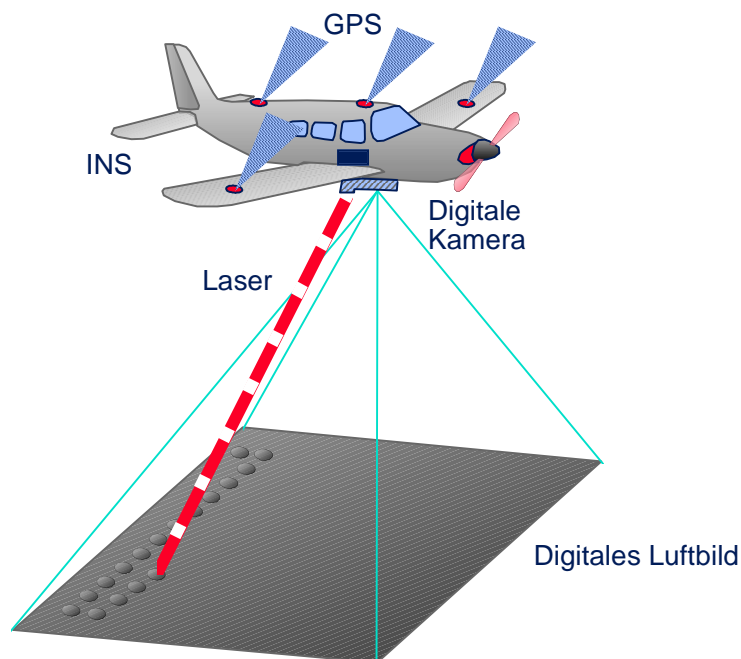


Abb. 3: Multisensor-Flugzeug für zukünftiges Real-Time Mapping (Vision)

disk zu speichern. Erste Versuche mit einer digitalen Grossformatkamera (4 K x 4 K Pixel) stellen Thom und Jurvellier (1993) vor.

## **7. Literatur**

ACKERMANN, F., English, M., Kilian, J., 1994. Die Laser-Profil-Befliegung „Gammertingen 1992“. ZfV - Zeitschrift für Vermessungswesen, pp. 264ff.

BALTSAVIAS, E., 1993. Integration of ortho-images in GIS. Photogrammetric Week '93, Eds. Fritsch/Hobbie, pp. 261-272.

BILL, R., FRITSCH, D., 1991. Grundlagen der Geo-Informationssysteme. Band 1 (Hardware, Software, Daten), Wichmann Verlag, Karlsruhe, p. 414.

von DÄNIKEN, P., BLATTER, U., 1994. Orthophotos als Ergänzung zur amtlichen Vermessung im Kanton Solothurn. Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik, Nr. 12, pp. 547-550.

GRENZDÖRFFER, G., WANNENWETSCH, R., BILL, R., 1995. Digitales Orthophoto im GIS: neue Wege der Luftbildinterpretation. Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik, Nr. 3, pp. 129-133.

GRÜN, A., BALTSAVIAS, E., MEISTER, M., 1994. Digitale Orthobilder und Terrain-Visualisierung. VGI - Österreichische Zeitschrift für Vermessung & Geoinformation, Heft 3, pp. 220-234.

KERSTEN, Th., HAERING, S., 1995. Automatic Interior Orientation for Digital Aerial Images. Interner Bericht, Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, ETH Zürich.

KERSTEN, Th., O'SULLIVAN, W., 1996. Experiences with the Helava Automated Triangulation System. Int. Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXI, Part B3, pp. 591-596.

LINDENBERGER, J., 1991. Laser-Profilmessungen zur topographischen Geländeaufnahme. Doktorarbeit, Universität Stuttgart.

THOM, C., JURVELLIER, I., 1993. Experiences with a Digital Aerial Camera at Institut Géographique National (France). Photogrammetric Week '93, Eds. Fritsch/Hobbie, pp. 73-83.