

# Hochauflösende digitale Orthophotos in der Planungs- und Ingenieurpraxis

M. Calörtscher<sup>1</sup>, Th. Kersten<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ingenieurbüro Cavigelli und Partner, Via Santeri 1, CH - 7130 Ilanz

<sup>2</sup>Swissphoto Vermessung AG, Dorfstrasse 53, CH - 8105 Regensdorf-Watt

## Zusammenfassung

Digitale Orthophotos bilden eine wichtige und aktuelle Grundlage für viele Anwendungen in Geographischen Informationssystemen. In der letzten Zeit werden die digitalen Orthophotos auch in der Planungs- und Ingenieurpraxis zunehmend eingesetzt, da sich viele Arbeitsprozesse effizienter durchführen lassen und bei der Datenbeschaffung und -analyse für Ingenieurprojekte viele Synergien durch Orthophotos genutzt werden können.

In diesem Beitrag stellen wir den Einsatz von hochauflösenden digitalen Orthophotos bei Anwendungen innerhalb der Gesamtmelioration für eine Gemeinde im Berggebiet vor. Es wird diskutiert, welche Abklärungen für einen Einsatz von Orthophotos erforderlich sind. Der Ablauf der Datenproduktion zur Generierung von digitalen Orthophotos wird am Beispiel der Gemeinde Vals GR dargestellt und die Einsatzmöglichkeiten werden an Beispielen aufgezeigt. Abschliessend werden die Vor- und Nachteile von digitalen Orthophotos in der Planungs- und Ingenieurpraxis beurteilt.

## Résumé

Les orthophotos digitales constituent une base importante et actuelle dans beaucoup d'applications de systèmes d'information du territoire. Ces derniers temps, les orthophotos digitales sont utilisées de plus en plus par les ingénieurs et les aménagistes car ainsi beaucoup de procédés de travail se déroulent de manière plus efficiente et car dans des projets d'ingénieur, beaucoup de synergies peuvent être mises à profit par des orthophotos lors de la récolte de l'analyse des données.

Dans cet article, nous présentons l'utilisation d'orthophotos digitales à haute résolution dans le cadre de l'amélioration foncière intégrale d'une commune située en zone de montagne. La discussion porte sur les examens pour l'emploi d'orthophotos. À l'exemple de la commune de Vals GR, on décrit le déroulement de la production des données pour l'établissement d'orthophotos digitales. Les possibilités d'utilisations sont montrées à l'aide d'exemples. Enfin, l'auteur juge les avantages et inconvénients d'orthophotos digitales pour le travail pratique de l'aménagiste et de l'ingénieur.

## 1. Einleitung

Der zunehmende Kostendruck führt auch in der Planungs- und Ingenieurpraxis dazu, dass nach effizienten und innovativen Lösungen gesucht wird, um für die Projektbearbeitung aktuelle, genaue, einfach und schnell zu erfassende, günstige und grossmassstäbige Geodaten zur Verfügung zu haben. Gerade bei Gesamtmeliorationen spielt die Datenbeschaffung besonders für Gemeinden in Berggebieten eine zentrale Rolle, da dort teilweise die Grundlagedaten noch fehlen oder veraltet sind. Als effiziente Ergänzung zur amtlichen Vermessung erfüllen digitale Orthophotos (DOPs) Kriterien wie Aktualität, Genauigkeit, Homogenität und volle Gebietsabdeckung. Von Däniken und Blatter (1994) stellen die Verwendung von Orthophotos als Ergänzung zur amtlichen Vermessung im Kanton Solothurn vor.

Für die Schweiz werden zur Zeit flächendeckend digitale Orthophotos in Farbe mit einer Pixelauflösung von 75 cm am Boden hergestellt (Kersten, 1996). Doch diese Grundlagedaten können in der Planungs- und Ingenieurpraxis und ebenfalls in der amtlichen Vermessung wegen der geringen Auflösung nur im begrenzten Masse eingesetzt werden. Hochauflösende digitale Orthophotos (Pixelgrösse < 20 cm) bieten sich dagegen für verschiedene Anwendungsmöglichkeiten in vielfältigen und interdisziplinären Ingenieurprojekten wie beispielsweise bei Gesamtmeliorationen an.

Orthophotos weisen folgende Merkmale / Eigenschaften 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, Laser-Scanning oder Radar 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.

Die allgemeinen Anwendungsmöglichkeiten von digitalen Orthophotos sind vielfältig. Die wichtigsten Anwendungsbereiche sind die Nutzung von Orthophotos als Kartengrundlage, als Hintergrundinformation für verschiedene Vektordaten sowie für 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, Kantone und Gemeinden

In unserem Beitrag zeigen wir anhand des Beispiels der Gesamtmelioration die Anwendungen von digitalen Orthophotos in der Planungs- und Ingenieurpraxis auf. Im Kapitel 2 werden wichtige Aspekte, welche vor der Orthophoto-Herstellung zweckmässigerweise abgeklärt werden sollten, erörtert, während im Kapitel 3 die Produktion von digitalen Orthophotos anhand der Daten für die Gemeinde Vals GR beschrieben wird. Ausgewählte Anwendungsbeispiele für den Einsatz von digitalen Orthophotos werden in Kapitel 4 vorgestellt. Abschliessend werden die Vor- und Nachteile der digitalen Orthophotos in dem vorgestellten Projekt beurteilt.

## 2. Vorabklärungen bei der Projektplanung

In der Phase der Projektplanung sollten folgende Punkte betreffend des Einsatzes von Orthophotos erörtert, beurteilt und berücksichtigt werden:

### 2.1 Projektart, -grösse

Die Verwendung von Orthophotos empfiehlt sich eher bei grossräumlichen Gesamtplanungen und -projekten, in welchen eine Vielzahl an geographischen Informationen aufgearbeitet und analysiert werden müssen. Zusätzlich muss der Orthophoto-Einsatz den Aufwand für Erhebungen, Verifikationen und Begehungen im Feld in erheblichem Masse reduzieren. Vor diesem Hintergrund spielt die Projektart und -grösse bei der Entscheidung über die Erstellung eines Orthophotos eine wesentliche Rolle.

Daher empfiehlt es sich ebenfalls, im voraus abzuklären, ob im betreffenden Bearbeitungsgebiet bereits vorhandene Orthophotos mit ausreichender Auflösung und Aktualität verfügbar sind.

## 2.2 Einsatzbereiche des Orthophotos innerhalb des Projektes

Das Orthophoto enthält eine Menge von Informationen, die in der Regel projektspezifisch interpretiert werden müssen. Anhand einer detaillierten Auflistung der einzelnen Projektschritte lassen sich die verschiedenen, möglichen Einsatzbereiche des Orthophotos innerhalb des Projektes „step by step“ überprüfen und schliesslich gesamthaft beurteilen. Dadurch kann auch die Frage geklärt werden, welche Informationen mit welcher Genauigkeit für welchen Arbeitsschritt auf dem Photo erkennbar sein sollen.

## 2.3 Massstab und Pixel-Auflösung

Mit der vorausgehenden Bezeichnung des grössten, benötigten Planmassstabes und der gewünschten Pixel-Auflösung am Boden wird die spätere Erkennbarkeit der geographischen Informationen weitgehend mitbestimmt. Diesbezüglichen Abklärungen ist darum ein grosses Gewicht beizumessen. Für die meisten Orthophoto-Anwendungen in der Planungs- und Ingenieurpraxis und insbesondere in der amtlichen Vermessung sowie in der Gesamtmelioration empfehlen die Verfasser eine Auflösung von 10 cm bis 20 cm für das Pixel am Boden.

## 2.4 Bearbeitungsgebiet

Die Oberflächengestalt und die topographischen Verhältnisse in einem Bearbeitungsgebiet sind weitere Bestimmungsfaktoren für die Planung des Bildfluges und die Nutzbarkeit der Bildinformationen. Ungünstig wirken sich vor allem steiles Gelände, Bewaldungen, hohe Gebäude und Siedlungsgebiete aus. Solche Elemente werfen Schatten, die als schwer interpretierbare, dunkle Flächen auf den Photos abgebildet werden. Weiter erscheint ein solches Einzelobjekt je nach Entfernung zum Aufnahmenadir wie ein „schiefer Turm von Pisa“, weil die Entzerrung der Luftbilder normalerweise auf Bodenniveau gerechnet wird.

Diese Aspekte sollten bei der Entscheidung für oder gegen die Erstellung eines Orthophotos ebenfalls berücksichtigt werden.

## 2.5 Nebenprodukte, Synergieeffekte

Bei der Erstellung eines Orthophotos fällt als Nebenprodukt immer auch ein digitales Höhen- bzw. Terrainmodell (DHM/DTM) an. Falls ein Planungsauftrag bzw. ein Ingenieurprojekt beispielsweise auch bauliche Anlagen im Gelände mit einschliesst, ist ein DTM oftmals eine nützliche Projektierungshilfe. Die im DTM enthaltenen Informationen können auch für weitere Anwendungen genutzt werden. Beispielsweise lassen sich auf einfache Weise auch Pläne mit Flächen gleicher Neigung einfach auswerten und darstellen. Solche Geo-Informationen sind bei verschiedenen Projektierungs- und Planungsarbeiten hilfreich.

Im Rahmen von amtlichen Vermessungen ergeben sich weitere Synergieeffekte, wenn die Informationsebenen Bodenbedeckung und Einzelobjekte photogrammetrisch ausgewertet werden.

Die Nutzungsmöglichkeiten solcher Synergieeffekte werden darum mit Vorteil zum vornherein ergründet und im Auftrag an den Photogrammeter mitberücksichtigt.

## 2.6 Ausrüstung und Personal

Voraussetzung zur effizienten Nutzung und Weiterverarbeitung der hochauflösenden Orthophotos sind eine leistungsfähige, eigene technische Ausrüstung im EDV/GIS-Bereich (hybride Systeme: Kombination von Vektor- und Rasterdaten) sowie selbstverständlich qualifizierte Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Als Hardwarekomponenten sollten Computer mit hoher Rechnerleistung (z.B. Taktfrequenz 200 Mhz) und genügend RAM (256 MByte) sowie ausreichender externer Speicherplatz (Disk mit 23 Gbyte) zur Verfügung stehen.

## 2.7 Terminplanung

Idealerweise wird der Bildflug in der Zeit nach der Schneeschmelze und vor Vegetationsbeginn bei wolkenlosem Wetter (kein Schattenwurf) durchgeführt. In dieser Zeitspanne wird der Boden weder durch den Schnee oder durch das Laub der Bäume noch durch den Pflanzenwuchs auf den Feldern verdeckt.

Gilt das Interesse nicht dem Boden, sondern beispielsweise dem Pflanzenbewuchs bei einem bestimmten Vegetationsstand, ist der ideale Flugtermin für die Bildaufnahme selbstverständlich in der entsprechenden Vegetationszeit anzusetzen.

Allerdings gilt allgemein die Feststellung, dass der kleinste Schattenwurf in den Monaten mit hohem Sonnenstand auftritt. Folglich sind die Spätherbst- und Wintermonate generell ungünstige Befliegungszeiten. Die Terminplanung sollte deshalb den projektspezifisch idealen Flugtermin im voraus berücksichtigen.

## 2.8 Entscheidung für die Verwendung von Orthophotos

Eine Unterstützung der Projektbearbeitung durch die Verwendung von Orthophotos sollte frühzeitig – idealerweise bereits bei der Offertbearbeitung – entschieden werden. Damit lassen sich Doppelspurigkeiten und Wiederholungen vermeiden.

## 2.9 Kostenüberlegungen (Prüfung von Alternativen)

Die Kosten für die Orthophoto-Erstellung liegen heute bei einem zu befliegendem Gebiet von beispielsweise rund 400 bis 500 Hektaren in der Grössenordnung von Fr. 30'000.- bis Fr. 40'000.-. Das entspricht einem Hektarpreis von ca. Fr. 75.- für ein hochauflösendes Farbothophoto. Ein Kostenvergleich mit der günstigsten Alternative ohne Orthophoto gibt wesentlichen Aufschluss über den Entscheid zur Erstellung

eines Orthophotos. Nach den bislang gemachten Erfahrungen fallen dabei vor allem die unterschiedlichen Kosten bei den Feldarbeiten ins Gewicht.

Im Zusammenhang mit den Kosten ist eine Vorbesprechung der Methode der Luftbilder-Orientierung mit dem Photogrammeter ebenfalls empfehlenswert. Beispielsweise hat die Aero-Triangulation gegenüber der Einzelbildeinpassung den Vorteil bedeutend weniger Passpunkte zu benötigen. Dafür ist die Einzelbildeinpassung beim Photogrammeter preisgünstiger. Entscheidend für die Wahl der Methode sind auch hier in den meisten Fällen der Aufwand der Feldarbeiten, namentlich die Kosten der Signalisation und Vermessung der Pass- und der Lagefixpunkte. Insgesamt sind die Verfasser der Meinung, dass die Einzelbildeinpassung sich für kleinere, zugängliche Gebiete mit ca. 2 bis 4 Bildaufnahmen auszahlen könnte. Zur Luftbilder-Orientierung in grösseren oder unwegsameren Gebieten empfiehlt sich hingegen eine Aero-Triangulation.

### 2.10 Zusammenarbeit zwischen Ingenieur- und Photogrammetriebüro

Für eine reibungslose und effiziente Zusammenarbeit zwischen dem Ingenieur- und Photogrammetriebüro wird der Arbeitsablauf und die Arbeitsaufteilung bereits im voraus abgesprochen. Dies betrifft insbesondere die notwendigen Projektangaben für den Photogrammeter: Art der Luftbilder-Orientierung, Signalisation und Vermessung der Passpunkte im Feld, Bildflugplanung, Berechnung der Passpunktkoordinaten, Datenformat und -träger für den Datentransfer usw.

## 3. Orthophotoproduktion

Um aktuelle Orthophotos für die Projektbearbeitung einsetzen zu können, wurde die Gemeinde Vals GR am 27. und 30. Mai 1997 im Bildmassstab 1: 9200 befliegen.

Die Flug- und Blockdaten des Block Vals sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Vor der Befliegung wurden 25 Passpunkte im Gemeindegebiet signalisiert. Die Koordinaten der Passpunkte wurden durch GPS-Messungen bestimmt.

Fläche:	28 km <sup>2</sup>
Geländehöhe:	1200 - 2100 m
Flughöhe ü. d. M.	~ 3000 m
Kamera:	Leica RC30, 15/4 UAGA-F
Bildmassstab:	~1: 9'200
Überdeckung (L/Q):	80%/30%
Flugstreifen:	3
Bilder:	21
Flugdatum (pro Streifen-Nr.):	27.5.97 (2, 3) 30.5.97 (1)
Film/digitale Bilder:	Farbdiapositive/RGB 24 bit

Tabelle 1: Flug- und Blockdaten des Block Vals

Anschliessend wurden die Farbluftbilder mit modernen Methoden und Techniken der digitalen Photogrammetrie und Bildverarbeitung operationell und weitestgehend automatisiert verarbeitet. Einige Arbeitsschritte wie z. B. der Import der digitalen Bilddaten, die innere Orientierung, sowie die DTM und Orthophoto-Generierung wurden vollautomatisch durchgeführt. Die Datenproduktion unterteilte sich in die Arbeitsschritte Scanning, digitale Aerotriangulation, automatische Generierung digitaler Terrainmodelle (DTM) und Orthophotos (DOP), Mosaiking und Datenabgabe. Für die Datenproduktion wurden digitale photogrammetrische Arbeitsstationen eingesetzt.

Im folgenden werden die einzelnen Arbeitsschritte zur Herstellung der hochauflösenden Orthophotos über das Bezugsgebiet der Gesamtmelioration Gemeinde Vals (siehe Abb. 1) etwas näher vorgestellt:

### 3.1. Scanning

Die analogen Farbluftbilder wurden mit einem photogrammetrischen Scanner (LH Systems DSW200) digitalisiert, der eine hohe geometrische Stabilität (besser als 5 µm) garantiert. Die Auflösung von 12.5 µm (2032 dpi) verursachte einer Datenmenge von ca. 1 GByte pro Farbbild, was insgesamt einer Datenmenge von 21 GByte für die digitalen Luftbilder entsprach. Die Scanzeit betrug circa 20 Minuten pro Farbbild. Die Auflösung entspricht bei dem gewählten Bildmassstab einer Pixelgrösse von ca. 11.5 cm am Boden.

### 3.2. Digitale Aerotriangulation

Für die Bestimmung der Orientierungsparameter der Bilder wurde eine digitale Aerotriangulation mit der Software HATS (Helava Automated Triangulation System) an der digitalen photogrammetrischen Arbeitsstation DPW770 von LH Systems durchgeführt. Wegen des steilen Berggebietes wurde auf eine

automatische Triangulation verzichtet und alle Verknüpfungs- und Passpunkte wurden durch den Operateur interaktiv im semi-automatischen Modus in den Farbbildern gemessen. Die Messungen wurden anschliessend in einer Bündelblockausgleichung mit dem Programmpaket BLUH ausgeglichen. Folgendes Ergebnis wurde mit dem Block Vals erzielt: Sigma a posteriori aus der Ausgleichung  $\sigma_0 = 5.8 \mu\text{m}$ , Restfehler in den Passpunkten RMS  $x = 3.3 \text{ cm}$ ,  $y = 3.7 \text{ cm}$  und  $z = 3.7 \text{ cm}$ . Das erreichte Ergebnis kann für Berggebiete als sehr gut beurteilt werden.

### 3.3. DTM Generierung

Das digitale Terrainmodell (DTM) wurde durch automatische Bildkorrelation in den digitalen Bilddaten (Stereomodell) an der DPW770 in einem 2 m Raster generiert. Anschliessend wurde der Datensatz von groben Fehlern durch manuelles Editieren in den am Bildschirm in 3-D dargestellten Höhenlinien bereinigt. Das DTM wurde durch zusätzliche Bruchkanten, die am Analytischen Plotter SD2000 (LH Systems) gemessen wurden, verstärkt. Eine spezielle Schnittstelle ermöglichte den effizienten Datentransfer der Orientierungsdaten von den digitalen Stationen zu dem Analytischen Plotter.

### 3.4. Orthophoto Generierung

Während das Scanning, die Aerotriangulation und die Generierung des Terrainmodells auf den UNIX basierten photogrammetrischen Stationen (DSW200/DPW770) im VITEC Format durchgeführt wurde, erfolgten die nächsten Arbeitsschritte (Orthophoto-Generierung, Mosaiking, Datenabgabe) auf einer PC basierten digitalen Orthophoto-Workstation (DOW) in internem SIO Format. Für die Erstellung der digitalen Orthophotos wurden die digitalen Bilddaten, die Orientierungsparameter aus der Aerotriangulation und das DTM über das Netzwerk auf die DOW übertragen. Für die Übergabe der Orientierungsparameter wurde ein spezielles Interface entwickelt, was einen automatischen Update der Parameterfiles an der DOW erlaubte. Die Orthophoto-Erstellung erfolgte nach der Dateneingabe und einer Perimeteereingabe mit der Software SysImage von der kanadischen Firma ISM vollautomatisch pro Bild. Die Berechnung dauerte damals circa 1 Stunde pro Photo. Die DOPs wurden mit einer Pixelgrösse von 15 cm am Boden berechnet.

### 3.5. Mosaiking

Die einzelnen Orthophotos wurden durch Mosaiking zu einem Orthophoto-Mosaik zusammengesetzt, dessen Grösse eigentlich nur durch die vorhandenen Speicherkapazitäten begrenzt wird. Bei diesem Arbeitsschritt wurden die einzelnen Orthophotos aneinander gehängt, so dass sie ein einheitliches und homogenes Orthophoto-Mosaik über das gesamte Bezugsgebiet der Gesamtmelioration ergaben. Bei dem Anhängen der einzelnen Orthophotos wurden leichte Farb- und Helligkeitsunterschiede durch individuelles Einstellen der Helligkeit, des Kontrastes und der Gammakorrektur pro Orthophoto ausgeglichen.

### 3.6. Qualitätskontrolle und Datenabgabe

Die erzeugten Orthophotos wurden 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 wurden visuell auf radiometrische und geometrische Fehler untersucht. Die Qualität der AT wurde durch die Ergebnisse der Bündelblockausgleichung analysiert. Das generierte DTM wurde visuell im Stereomodell überprüft, während die Qualität der Orthophotos durch mindestens vier gut verteilte Kontrollpunkte oder durch Überlagerung von vorhandenen Vektordaten kontrolliert wurde. Für die einfachere Datenhandhabung wurden die Orthophotos in vordefinierten 1 km x 1 km Teilflächen, die als regelmässiges Quadratkilometerraster über das Bezugsgebiet der Gesamtmelioration gelegt wurden, im TIFF Format abgespeichert. Pro Farboroughphoto-Kachel ergab sich eine Datenmenge von ca. 133 MByte. Für die erstellten 22 Quadratkilometerkacheln ergab sich eine Datenmenge von 2.9 GByte. Das DTM wurde im Punktraster als ASCII-File abgespeichert. Die digitalen Daten wurden auf CD-ROMs an das Ingenieurbüro abgegeben.

Um bei solchen grossen Datenmengen eine schnelle, flexible und effiziente Produktion zu gewährleisten, sind folgende Kriterien massgebend: genügend externen Speicherplatz (Disks), schnelles Netzwerk, leistungsfähige Computer, robuste und bedienungsfreundliche Software sowie gut ausgebildetes Personal.

## 4. Ausgewählte Anwendungsbeispiele von digitalen Orthophotos

Die nachfolgende Übersicht zeigt verschiedene Einsatzbereiche und -möglichkeiten von digitalen Orthophotos in der Planungs- und Ingenieurpraxis. Die Auflistung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.



Abb. 1: Orthophotoausschnitt der Gemeinde Vals

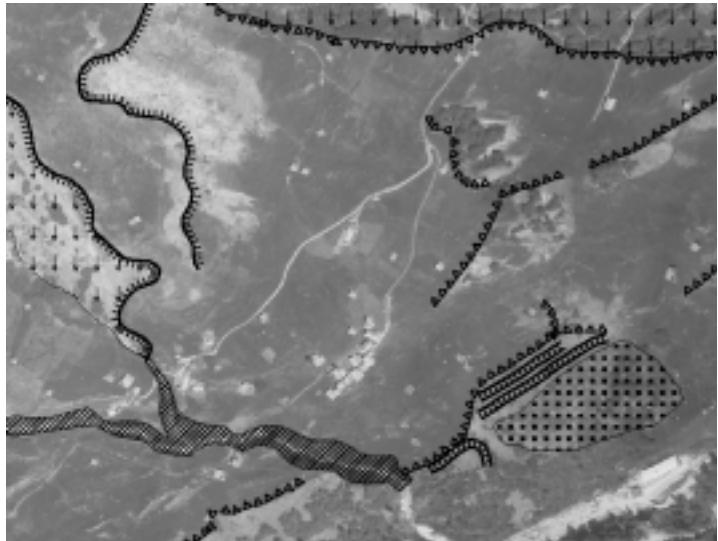


Abb. 2: Orthophoto mit Visualisierung des geologischen Gutachtens (Massenbewegungen)

#### 4.1 Planung

Im Planungsbereich, namentlich in der *Orts- und Regionalplanung*, halten Orthophotos aktuelle und lückenlose Hintergrundinformationen bereit, die beispielsweise die Suche nach potentiell geeigneten Standorten für bestimmte Nutzungszwecke wie Deponien, Gewerbestandorte usw. wesentlich erleichtern oder - als weiteres Beispiel - die Feldarbeiten zur Erhebung von Überbauungs- und Erschliessungszuständen auf ein Minimum reduzieren.

Im Bereich der *Landschaftsplanung* sind Orthophotos - digital auf dem Laptop und/oder als Plot - eine grosse Unterstützung bei den Inventarisierungen im Feld. So bieten sie dem Kartierer zum einen eine ideale Orientierungshilfe im Gelände und zum anderen sind die Abgrenzungen der einzelnen Landschaftsobjekte auf dem massstabstreuen Photoplan grösstenteils sichtbar und auf einfachem und dennoch exaktem Weg zu kartieren.

Bei *landwirtschaftlichen Entwicklungsplanungen* vereinfacht das Orthophoto beispielsweise die Erfassung der Bodennutzung, die Ermittlung von aktuellen Bewirtschaftungsgrenzen oder eine flächenmässige Zuordnung der einzelnen Bewirtschafter. Überlagert mit dem Parzellennetz der Liegenschaften können im weiteren der Parzellierungsgrad sowie die Eigentums- und Pachtverhältnisse aufgezeigt werden. Aufgrund der ebenfalls im Orthophoto sichtbaren landwirtschaftlichen Gebäude, Wege und Zufahrten lassen sich zudem die Erschliessungssituation und die Lage der Ökonomiegebäude speditiv beurteilen.

#### 4.2 Expertisen anhand von Luftbilder und Orthophotos

Eine interessante Verwendung zeigt sich immer wieder auch bei der *geologischen Interpretation der Luftbilder*. Dem geübten Geologen erlauben stereoskopische Bildbetrachtungen beispielsweise in kurzer Zeit das Erkennen und Abgrenzen von Rutschgebieten oder von anderen geologischen und geomorphologischen Anomalien, die in Orthophotos visualisiert werden können (Siehe Abb. 2).

Weitere Anwendungsbeispiele im Rahmen von Expertisen sind:

- die Darstellung *faunistischer Untersuchungen* (Ausbreitung von Brutvogelvorkommen, Zugvogel-Korridore usw.)
- die Unterstützung bei der Feststellung von *Gletscherbewegungen* (Glaziologie)

#### 4.3 Vermessung

Im Vermessungsbereich bieten Orthophotos generell wichtige Hintergrundinformationen zur Identifikation von Punkten und Linien. Beispiele ergeben sich im Bereich der *Fixpunktvermessung* oder bei *Verschiebungsmessungen* (Darstellung von Verschiebungsvektoren im Massstab 1:1). Auch die Lesbarkeit von *Werkplänen / Leitungskataster* lässt sich durch die Hinterlegung von Orthophotos wesentlich erhöhen.

Bei *amtlichen (Neu-) Vermessungen* ist durch die Luftbilder ein Synergieeffekt zu den Orthophotos gegeben, da die Möglichkeit besteht, photogrammetrische Auswertungen der Ebenen Bodenbedeckung und Einzelobjekte, namentlich von natürlichen (und signalisierten) Grenzen, Dachtraufen, Mauern, feste Zäune, Bäche, Kulturengrenzen, Bruchkanten usw. durchzuführen. Terrestrische Aufnahmen beschränken sich heute vielfach auf die nicht luftsichtbaren Gebiete, insbesondere in Siedlungsgebieten und Waldungen.



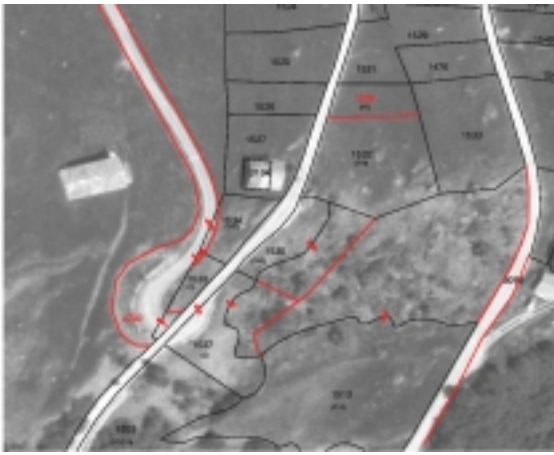


Abb. 3: Orthophoto mit Parzellarvermessung-Grenzbereinigung (Parzellengrenzen gemäss Blitzaktion-Vermessung 1979 in Schwarz, neue bereinigte Grenze in Rot, ≠ aufzuhebende Grenze)



Abb. 4: Orthophoto mit der Erschliessungsplanung Gemeinde Vals (Bezugsgebiet gelb markiert, bestehende Erschliessungsanlagen in Schwarz, geplante Wege in Rot)

#### 4.4 Bodenordnung

Eine wesentliche Unterstützung bieten Orthophotos im besonderen auch bei *Grenzbereinigungen* und bei der *Klärung von Eigentumsverhältnissen*. Die Lesbarkeit der massstabstreuen Photopläne ist dem Übersichtsplan oder anderen Planunterlagen weit überlegen. Bei Bereinigungsverhandlungen mit den Grundeigentümern haben die gemachten Erfahrungen eindrücklich gezeigt, dass sich auch Laien rasch auf den Photoplänen zurecht finden. Insbesondere sind die betreffenden Personen in kurzer Zeit in der Lage, die einzelnen Liegenschaften eigentumsmässig zu identifizieren und fehlende oder falsch eingezeichnete Grenzen zu beanstanden. Aufgrund des exakten und lückenlosen Informationsgehaltes der massstabstreuen Photopläne lässt sich gemeinsam mit den Grundeigentümern ein grosser Teil der Grenzen im Büro berichtigen (siehe Abb. 3). Die Eigentumsverhältnisse lassen sich mit wenigen Ausnahmen gänzlich anhand der Orthophotos klären.

#### 4.5 Landumlegung und Gesamtmelioration

Im Rahmen von Landumlegungen, im besonderen bei Güterzusammenlegungen, haben die gemachten Erfahrungen in den letzten Jahren gezeigt, dass das Orthophoto vor allem für die *Bodenbewertung* und die Bearbeitung der *Neuzuteilung* wertvolle Dienste leistet.

Ähnlich wie bei allgemeinen Landschaftskartierungen ist das Photo für die sogenannten Boniteure eine ideale Orientierungshilfe im Gelände. Zudem sind in sich homogene Bodenarten oftmals auf dem massstabstreuen Photoplan sichtbar, was die Festlegung von Bonitierungs- bzw. Wertgrenzen erheblich erleichtert.

Im Rahmen der Neuordnung der Grundstücke sind Orthophotos eine wertvolle Hilfe zur Abstimmung der neuen Grenzen auf die naturgegebene Struktur der Terrainoberfläche. Ausserdem erhöht die Abbildung der neuen Grenzen auf Orthophotos die Lesbarkeit der Neuzuteilung.

#### 4.6 Erschliessungsplanung

Die Diskussionen rund um Erschliessungskonzepte wie beispielsweise einem land- und forstwirtschaftlichen Wegnetz oder dem gemeindlichen Wanderwegnetz zeigen immer wieder, dass Photopläne bei der *Planung von Erschliessungsanlagen* eine grosse Unterstützung sind (siehe Abb. 4). Vor allem ortskundige Personen sind anhand von Orthophoto-Plänen im Massstab 1:1000 bis 1:2000 in der Lage eine bestimmte Linienführung mit einer Genauigkeit von 3 bis 5 Metern zu beurteilen.

#### 4.7 Bauprojektierung

Ausserdem leistet das Orthophoto in Verbindung mit dem DTM wertvolle Dienste sowohl zur *Detailprojektierung* als auch bei *Baubesprechungen* eines zu realisierenden Weg- oder Strassenstückes. So lassen sich das Trassee verständlich darstellen und die Einpassung des Bauwerkes in die Umgebung weitaus besser als mit jeder anderen Plangrundlage beurteilen (siehe Abb. 5).

#### 4.8 Analysen und Interpretationen

Die Überlagerung verschiedener Informationsebenen im GIS bietet bekanntermassen uneingeschränkte Analyse- und Interpretationsmöglichkeiten. Mit der Abbildung auf dem Orthophoto kann die Aussagekraft

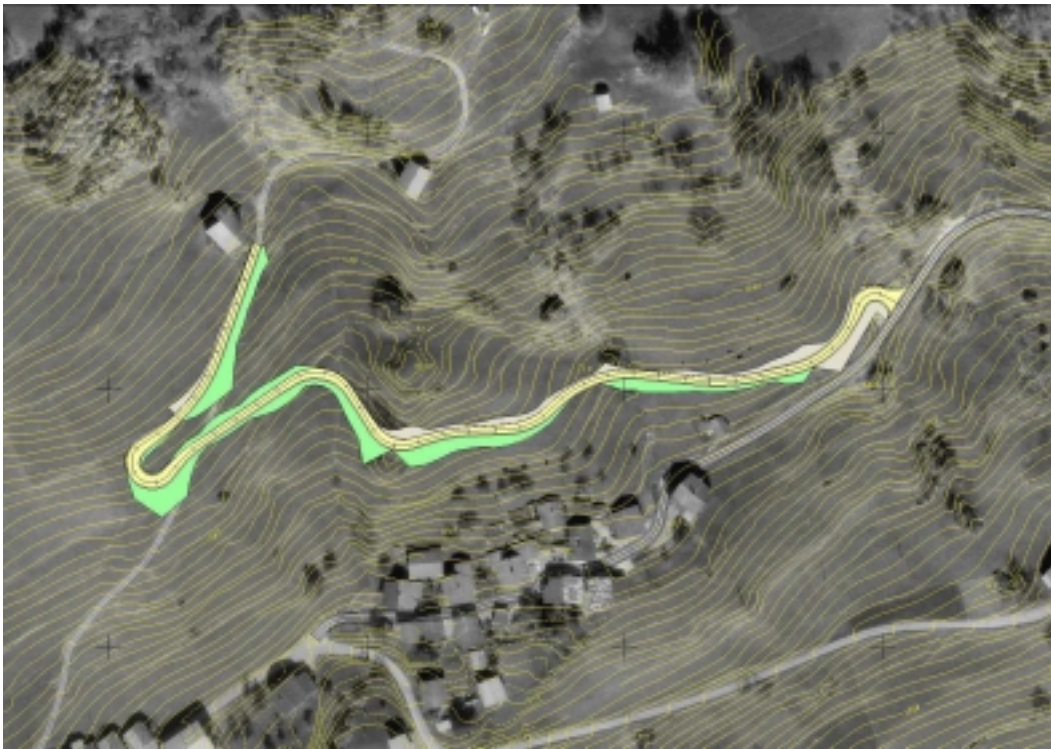


Abb. 5: Orthophoto und DTM mit Strassenbauprojekt der Gemeinde Dardin (Trasse in Gelb, Aufschüttung in Grün, Abtrag in Hellgrau, Äquidistanz der Höhenkurven 2 m)

zusätzlich verstärkt werden. Beispielsweise lassen sich Konfliktkarten und Projektoptimierungen im Rahmen von *Umweltverträglichkeitsprüfungen* dokumentieren.

## 5. Vor- und Nachteile

Die beim Ingenieurbüro Cavigelli und Partner bisher gemachten Erfahrungen mit digitalen Orthophotos zur Unterstützung der Ingenieur- und Planungsprojekte sind überwiegend als positiv zu bezeichnen. Die Vor- und Nachteile sind nachfolgend zusammengefasst aufgezählt:

### 5.1 Vorteile

- Das Orthophoto ist eine zum Zeitpunkt der Aufnahme aktuelle, realitätsbezogene, exakte und lückenlose, qualitativ hochstehende Abbildung eines geographischen Raumes. Es besteht keine Gefahr, ein Element zu vergessen. Jedes vorhandene Objekt ist abgebildet.
- Der Informationsgehalt ist weder vorinterpretiert noch in irgendeiner Weise generalisiert. Entsprechend sind die Geo-Informationen fehlerfrei und wirklichkeitstreu.
- Orthophotos sind massstabstreue Abbildungen (Orthogonalprojektion) im Gegensatz zu herkömmlichen Photos (Zentralprojektion).
- Die Lesbarkeit der Orthophotos ist dem Übersichtsplan oder anderen graphischen Planunterlagen weit überlegen. Auch Laien finden sich rasch auf den Photoplänen zu recht.
- Als Nebenprodukt der Orthophoto-Erstellung steht immer auch ein digitales Höhen- bzw. Terrainmodell (DHM/DTM) zur Verfügung.
- Bereits in einem frühen Stadium eines Projektes kann über eine vollständige geographische Abbildung des Bearbeitungsgebietes verfügt werden.
- Eine Vielzahl an Plangrundlagen können in beliebiger Kombination mit dem Orthophoto selbst erstellt werden. Mit der Abbildung auf dem Orthophoto wird die Aussagekraft zusätzlich verstärkt. Dies erlaubt einfache, flexible und rasche Analysen, Interpretationen, Projektoptimierungen usw.
- Der Orthophoto-Einsatz reduziert den Aufwand für Erhebungen, Verifikationen und Begehungen im Feld erheblich.
- Thematische Feldaufnahmen sind einfach und exakt zu kartieren, da die Elemente auf dem massstabstreuen Photoplan grösstenteils sichtbar sind.
- Orthophotos sind eine ideale Orientierungshilfe im Gelände.
- Projektbesprechungen auf der Grundlage von Orthophotos sind effizienter als auf jeder anderen Plangrundlage.
- Planausgaben sind einfach, beliebig wiederholbar und preisgünstig.



## 5.2 Nachteile

- Für die Nachführung der Orthophotos ist ein neuer Bildflug erforderlich. Doch es ist keine Signalisierung von Passpunkten und keine Aerotriangulation notwendig, da die Orientierungen der neuen Luftbilder aus den alten Orthophotos und dem vorhandenen DTM abgeleitet werden können. Das DTM muss nur bei signifikanten Änderungen des Geländes angepasst werden.
- Die Datenmenge der erstellten Orthophotos (ca. 130 Mbyte pro Quadratkilometer bei einer Pixelauflösung von 15 cm) erfordert eine Arbeitsplatzausstattung mit entsprechender Hardware (leistungsstarke Computer und genügend Speicherplatz).
- Die Herstellung von sogenannten „wahren“ (true) Orthophoto ist durch die notwendige Erfassung der 3-D Dachlandschaften mit erheblichen Mehraufwand verbunden. Hierbei empfiehlt sich auch, die Befliegung mit einer ausreichenden Überdeckung quer zur Streifenrichtung durchzuführen, um bei der Korrektur der Häuser für sichttote Räume genügend Informationen aus anderen Bildern zu haben.

## 6. Schlussbemerkungen

Die vorliegende Publikation zeichnet ein Bild zum Thema „Orthophoto in der praktischen Anwendung“ gemäss den im Ingenieurbüro Cavigelli und Partner bis heute gemachten Erfahrungen. Sie stehen zudem mit Planungen und Ingenieurprojekten im Zusammenhang, welche typisch für das Berggebiet und die Praxis im Kanton Graubünden sind. Die vorliegende Schrift kann deshalb dem Anspruch der Allgemeingültigkeit nicht genügen. Generell empfehlen die Verfasser aber dennoch den vermehrten Einsatz von digitalen Orthophotos in der praktischen Planer- und Ingenieurstätigkeit. Die Vorteile dieses Hilfsmittels sind insgesamt überzeugend und zukunftsweisend.

## Literatur

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

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

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., 1996. Das Projekt swissphoto - Flächendeckende und aktuelle Geodaten als Grundlage für viele GIS-Anwendungen in der Schweiz. Zeitschrift GEO-INFORMATION-SYSTEME GIS Nr. 6/96, pp. 12-19.