

<b>Zeitschrift:</b>	Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik : VPK = Mensuration, photogrammétrie, génie rural
<b>Herausgeber:</b>	Schweizerischer Verein für Vermessung und Kulturtechnik (SVVK) = Société suisse des mensurations et améliorations foncières (SSMAF)
<b>Band:</b>	93 (1995)
<b>Heft:</b>	3
<b>Artikel:</b>	Digitales Orthophoto im GIS : neue Wege der Luftbildinterpretation
<b>Autor:</b>	Grenzdörffer, G. / Wannenwetsch, R. / Bill, R.
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-235139">https://doi.org/10.5169/seals-235139</a>

### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 17.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Digitales Orthophoto im GIS: neue Wege der Luftbildinterpretation

G. Grenzdörffer, R. Wannenwetsch, R. Bill

GIS-Nutzer aus allen Bereichen haben steigenden Bedarf an genauen, einfach zu erfassenden, günstigen und grossmassstäbigen Informationen zu unserer Umwelt. Hochauflösende Luftbilder bieten einen sehr grossen Informationsgehalt, der durch eine Transformation in digitale Orthophotos entscheidend vergrössert werden kann. Die Integration digitaler Bilder in ein GIS erfordert spezielle «hybride» Funktionalitäten zum Be- und Verarbeiten von Raster- und Vektor- daten. In einem Beispiel wird die Überwachung eines Wasserschutzgebietes mit herkömmlichen Mitteln mit einem integrierten GIS-Ansatz, bei dem die digitalen Orthophotos zur Landnutzungserfassung eine zentrale Rolle spielen, verglichen. Dabei werden die Bilder mittels Fernerkundungsmethoden klassifiziert und multitemporal verglichen.

Die Bedeutung digitaler Orthophotos in einer hybriden GIS-Umgebung wächst mit deren Verfügbarkeit. Aktuelle Tendenzen im Bereich der digitalen Photogrammetrie lassen die Hoffnung zu, dass in wenigen Jahren digitale Orthophotos «on the flight» generiert werden können.

*Dans tous les domaines, les utilisateurs de SIT ont des besoins croissants d'informations précises et faciles à saisir, économiques et à grande échelle relatives à notre environnement. Les photos aériennes à haute résolution offrent une très grande quantité d'informations et peuvent être sensiblement agrandies par leur transformation en orthophotos digitales. L'intégration d'images digitales dans un SIT requiert des fonctionnalités «hybrides» spéciales capables de traiter des données de type raster et vectorielles. Dans un exemple on compare la surveillance d'une zone de protection de sources à l'aide de moyens conventionnels avec la méthode d'un SIT intégré où les orthophotos digitales jouent un rôle central pour la reconnaissance de l'utilisation des terres. Par cette méthode les images sont classifiées au moyen de la télédétection et soumises à une comparaison multitemporelle. L'importance d'orthophotos digitales s'accroît dans un environnement SIT hybride en fonction de leur disponibilité. Les tendances actuelles dans le domaine de la photogrammétrie digitale laissent espérer que dans quelques années il sera possible de générer, au cours du vol, des orthophotos digitales.*

Gli utenti del SIT in tutti i settori sentono sempre più l'esigenza di disporre di informazioni utili, vantaggiose, su vasta scala e facili da rilevare. Le immagini aeree ad alta risoluzione offrono numerose informazioni che possono essere ingrandite, tramite trasformazione, in ortofoto. L'integrazione di immagini digitali in un SIT richiede speciali funzionalità «ibride» nell'elaborazione di dati raster e vettoriali. Con un esempio si confronta la sorveglianza di una zona di acque protette con sistemi tradizionali a un metodo SIT integrato, in cui svolgono un ruolo essenziale le ortofoto digitali per il rilevamento sull'utilizzazione del territorio. Si provvede anche alla classificazione e al raffronto multitemporale delle immagini tramite metodi di telerilevamento. Il significato delle ortofoto in un ambiente SIT ibrido cresce con la loro disponibilità. Le attuali tendenze nel settore della fotogrammetria digitale lasciano sperare che tra alcuni anni le ortofoto digitali possano essere generate «on the flight».

## 1. Einleitung

Sehr viele Nutzer von Geoinformationssystemen (GIS) in den unterschiedlichsten Sparten stehen vor dem Problem, aktuelle und lagegenaue Daten mit vertretbarem Kosten- und Zeitaufwand zu erfassen. Das gilt insbesondere für Daten über unsere Umwelt. Gerade Reihenmessbilder werden durch ihre Aktualität, hohe spektrale und geometrische Qualität und ihre «Benutzungsfreundlichkeit» in vielen An-

wendungen bevorzugt. Das Spektrum reicht von der Landesvermessung bis zur Umweltplanung. Einzelne Beispiele sollen dies verdeutlichen.

In allen Ebenen der Landschaftsplanung ist die Erfassung des gegenwärtigen Zustandes der Landschaft notwendig. Dazu hat sich in den letzten Jahren die luftbildgestützte Biotopkartierung durchgesetzt. Diese ist, verglichen mit der Geländeaufnahme, um den Faktor vier bis fünf schneller und darüber hinaus noch voll-

ständiger und in unübersichtlichem Gelände genauer [1]. Anschliessend werden die analogen Daten in eine Karte übertragen, digitalisiert und in ein GIS integriert.

Zum Aufspüren von Altlasten hat sich die berührungsreie Altlastenerkundung bewährt, bei der durch multitemporale Untersuchungen aus Karten und Luftbildern alle Gefahrenflächen ermittelt werden sollen. Luftbilder bieten dabei, aufgrund des Detailreichtums, ein umfassendes Bild potentieller Altlasten und dies für manche Gebiete z.T. seit über 60 Jahren. In jüngster Zeit werden zusätzlich neue Sensoren, wie z.B. Magnet- und Längstwellen in die Untersuchungen mit einbezogen.

Für landwirtschaftliche, bodenkundliche Anwendungen werden Luftbilder in vielfältiger Form eingesetzt. Sie sind z.B. zur Ermittlung der Erntemengen oder auch zur flächenhaften Abschätzung der Bodenerosion unentbehrlich. Die Erscheinungen auf Luftbildern beschreiben immer nur Symptome, die Ursachen komplexer Wirkungsgefüge lassen sich nur durch die Hinzuziehung von zusätzlichen Informationen, z.B. aus einem GIS, bestimmen. Aus den Beispielen wird zum einen deutlich, dass mit der Erfassung von Daten auch für eine Weiterverarbeitung gesorgt werden muss, zum anderen sollten die Daten direkt, geometrisch korrekt und digital erfasst werden, um sie anschliessend bequem in einem GIS zu integrieren.

Allgemein ausgedrückt dient ein Geoinformationssystem zur Erfassung, Verwaltung, Analyse und Präsentation von räumlichen Daten. Grundsätzlich können in einem modernen GIS Raster-, Vektor- und Sachdaten verarbeitet werden [2]. In den letzten Jahren geht der Trend zur Entwicklung von GIS, die sowohl Raster- als auch Vektordaten verwalten können (hybride GIS) [3]. Fernerkundung und GIS haben sich über einen längeren Zeitraum parallel entwickelt, ohne den gemeinsamen Raumbezug der Daten zu nutzen. Durch die Verknüpfung verschiedener Fernerkundungsmedien mit anderen räumlichen Informationen bieten hybride GIS ein interessantes Werkzeug zur Bearbeitung von Umweltfragestellungen.

## 2. Digitale Orthophotos

Die Verknüpfung digitaler Luftbilder mit GIS-Informationen setzt allerdings einen gemeinsamen Raumbezug voraus. Luftbilder stellen Zentralprojektionen, Karten hingegen Parallelprojektionen dar. Während bei der Parallelprojektion alle Geländepunkte der Karte lagerichtig abgebildet werden, werden in der Zentralprojektion des Luftbildes nur diejenigen Geländepunkte richtig abgebildet, die senkrecht unter der Kamera liegen, bzw. auf der Höhe der Bezugsebene. Zur Verknüpfung von Luftbildern mit GIS-Daten müssen wir demzufolge fordern, dass Luft-

# Partie rédactionnelle

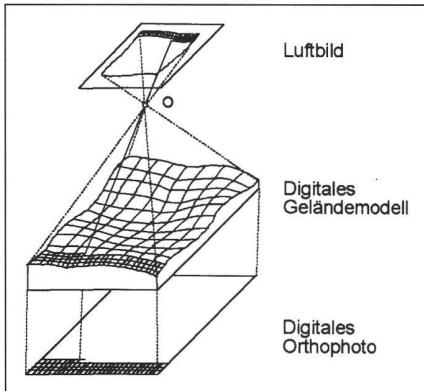


Abb. 1: Geometrisches Modell der digitalen Orthophotoerzeugung.

bilder digital vorliegen und die Verzerrungen der Zentralprojektion ausgeglichen werden. Digitale Orthophotos erfüllen die Voraussetzungen. Zur Herstellung müssen die digitalen Luftbilder orientiert und mit dem Landeskoordinatensystem verknüpft werden. Ein Digitales Geländemodell (DGM) wird benötigt, um den durch Höhendifferenzen verursachten Fehler zu korrigieren (Abb. 1).

Die Herstellung eines Orthophotomosaiks umfasst sechs Schritte [4]:

1. Digitalisierung des Luftbildes
2. Orientierung des Luftbildes
3. Bereitstellung des Höhenmodells
4. Orthoprojektion
5. Mosaikierung mehrerer Orthophotos
6. Ausgabe der Orthophotos bzw. -mosaik.

Zur Herstellung digitaler Orthophotos müssen analog vorliegende Luftbilder in eine digitale Form überführt werden. Dazu wird das Luftbild mit einem hochgenauen Scanner kalibriert und anschliessend abgetastet. Vom gescannten Luftbild muss die innere und äussere Orientierung für die Orthoprojektion rekonstruiert werden. Die innere Orientierung eines Bildes ist durch die Kammerkonstante, Lage der Rahmenmarken und des Bildhauptpunktes, sowie durch die radiale Verzeichnung gegeben [4]. Die räumlichen Koordinaten des Projektionszentrums sowie die drei Drehungen des Bildes um die Achsen des Landeskoordinatensystems stellen die äussere Orientierung dar. Die Orientierungsdaten können mit einigen Passpunkten durch räumliches Rückwärtseinschneiden, eine Zweibildauswertung oder eine Aerotriangulation gewonnen werden. Das bereitzustellende digitale Geländemodell muss das Gebiet der Orthophotokarte vollständig überdecken. Die eigentliche digitale Orthoprojektion besteht nun darin, für jedes Orthophotopixel geometrisch den zugehörigen Ort im Luftbild und radiometrisch den entsprechenden Dichtewert für das Orthophoto aus dem Luftbild zu bestimmen. Zur geometrischen Entzerrung wird über die Lage des Orthophotopixels, aus Kollinearitätsgleichun-

gen bekannt, die dazugehörige Höhe aus dem Geländemodell interpoliert. Die Bildkoordinaten werden anschliessend in das Landeskoordinatensystem des digitalen Luftbilds transformiert. Bei der radiometrischen Entzerrung muss jedem Orthophotopixel ein Grau- oder Farbwert zugewiesen werden. In Kenntnis der genauen Lage wird aus der Nachbarschaft ein Grau- oder Farbwert interpoliert. Der benötigte Zeitaufwand mit der entsprechenden Software und ausreichender Erfahrung wird auf ca. 1,5–2 h pro Bild geschätzt [4]. Der Überlappungsbereich zweier Orthophotos ist zwar durch die radiometrische Kalibrierung beim Scannen sehr ähnlich, dennoch treten beim Mosaikieren benachbarter Bilder Probleme auf, denn die Orientierung der Schatten ist abhängig von der Entfernung zum Bildmittelpunkt und der Orientierung des Luftbildes. Ausserdem treten bei verschiedenen Aufnahmezeitpunkten phänologische Differenzen auf. Zusätzlich lassen sich bei der Mosaikierung von Farbinfrarotbildern Farbverschiebungen durch unterschiedliches Filmmaterial nicht vermeiden. Die Ausgabe digitaler Orthophotos kann entweder als Plot, und damit wieder in einer analogen Form, oder digital via Netzwerk oder Datenträger erfolgen. Während eine Ausgabe in Kartenform, insbesondere unter Einbeziehung von thematischen Vektorinformationen, gewisse kartographische Fähigkeiten erfordert, sind bei einem digitalen Transfer Austauschstandards gefragt. Aufgrund der hohen Preise von elektrostatischen Plottern oder Thermotransferdruckern stellt die Ausgabe von digitalen Orthophotos in ansprechender Qualität den grössten Engpass dar. Die Kosten pro Bild belaufen sich auf ca. 300–400 DM mit fallender Tendenz [4].

Insbesondere Anbieter von Luftbildbefliegungen haben den kommenden Markt erkannt. Ausserdem sind auch die Landesvermessungsämter in einzelnen Bundesländern schon in der Betriebsphase zur Erstellung digitaler Orthophotos, denn: Die grosse Bedeutung digitaler Orthophotos in einer GIS-Umgebung liegen – durch ihre kartenähnliche Geometrie – erstens, in der Möglichkeit, sie als Hintergrunddarstellung zur Datenerfassung und -nachführung oder als Basisinformation für thematische Karten zu nutzen [8]. Zweitens können digitale Orthophotos aufgrund ihrer Eigenschaften als Fernerkundungsmedium genutzt werden, z.B. zum multitemporalen Vergleich oder zur Multispektral Klassifikation. Drittens eignen sich digitale Orthophotos zur 3D-Visualisierung synthetischer Oberflächen wie sie z.B. zur Visualisierung von landschafts- oder verkehrsplanerischen Massnahmen erforderlich sind. Viertens sind die Bestrebungen staatlicher Stellen in mehreren Ländern zu nennen, die digitale Ortho-

photos zusätzlich zu analogen Luftbildern in einem digitalen Archiv vorrätig zu halten. Weiterführende Informationen sind z.B. in: Baltsavias in [10], [5] gegeben. Die Bedeutung von Orthophotos in einem GIS wächst mit der Verfügbarkeit von hybriden GIS und kostengünstigem Speicherplatz. Anschliessend sollten an einem Beispiel die Möglichkeiten digitaler Orthophotos als Fernerkundungsmedium zur Erfassung von Umweltdaten zur Interpretation und Klassifikation kleinräumiger Landschaften vorgestellt werden.

### 3. Digitale Orthophotos als zentrales Element in einem GIS zur Trinkwasser-Schutzgebietsüberwachung

Trinkwasser ist ein wichtiges Gut für die Menschen. Um sauberes Trinkwasser zu fördern und zu erhalten, wird eine möglichst lückenlose Überwachung der Wasserqualität immer wichtiger. Dies beinhaltet zwingend eine Kontrolle der Wasserschutzgebiete (WSG) im Einzugsbereich der Entnahmestellen. Je flacher die Entnahmetiefe des Wassers, desto wichtiger ist eine flächenmässige Beobachtung der Wasserschutzgebiete, da eventuell auftretende Schadstoffe schneller und in grösserer Konzentration im geförderten Wasser auftreten können. Im Bereich der Landeswasserversorgung Baden-Württemberg (LW) bei Langenau, welcher an der Grenze der Landkreise Ulm und Heidenheim ca. 20 km östlich von Ulm liegt, besteht ein 514 km<sup>2</sup> grosses, einheitliches Wasserschutzgebiet mit sechs Fassungsbereichen. Es stellt sich hier die Frage, wie ein so grosses Schutzgebiet mit seinen drei Schutzzonen – Fassungsbereich (I), engere Schutzone (II) und weitere Schutzone (III) – wirksam überwacht werden kann.

Ein wichtiger Bestandteil der Schutzgebietsüberwachung stellt die Aufnahme der Flächennutzung dar. So ist im Fassungsbereich (Schutzone I) lediglich eine Grünlandbewirtschaftung erlaubt, Ackernutzung gänzlich verboten. Durch die Schutzausgleichsverordnung (SchALVO) wird den Landwirten ein finanzieller Ausgleich für die Grünlandnutzung bestimmter vorhandener, vorher ackerbaulich genutzter Flächen garantiert. Bei Grünlandnutzung eines Flurstücks von mindestens fünf Jahren darf dasselbe hinterher nicht mehr umgebrochen und als Ackerland genutzt werden, damit stark überhöhte Nitrateintragungen ins Grundwasser möglichst entfallen. Der Anbau der Parzellen mit Zwischenfrüchten wird zwingend vorgeschrieben, um hierdurch dem übergrössen Nitrateintrag entgegenzuwirken. Die Unterscheidung von Grünland und Ackerland sowie eine Feststellung von Zwischenbegrünungen sind also wichtige

Bestandteile einer Wasserschutzgebietsüberwachung.  
Zur Kontrolle von Schutzverletzungen gibt es mehrere konventionelle Möglichkeiten, die nachfolgend kurz skizziert und verglichen werden:

1. Die einfachste Möglichkeit ist das örtliche Abfahren der einzelnen Flurstücke mit manueller Kartierung der Flächenutzung. Diese Methode erweist sich allerdings als recht zeitaufwendig, was zur Folge hat, dass sich die Nutzung während der Aufnahme ändern kann (z.B. Mahd, Pflügen), außerdem sind Aufnahmen von mehreren Kontrolleurten schwer reproduzierbar. Schliesslich ist ein beträchtlicher Nachbereitungsaufwand notwendig, um die Ergebnisse in ansprechende Berichts- und Kartenform zu überführen. Das führt dazu, dass sich diese Methode nur bei kleineren Flächen rentiert.
2. Kontrolle aus der Luft mit regelmässigen Befliegungen zum jeweils optimalen Zeitpunkt. Parallel dazu müssen Kontrollflächen zur Eichung festgelegt werden. Die manuelle Auswertung erfolgt mit Spiegelstereoskopen. Die Auswertung ist bei grösseren Flächen wesentlich rationeller und ökonomischer. Jedoch ist auch bei diesem Ansatz die Nach- und Aufbereitung zeitaufwendig. Leider sind Befliegungen, die durch andere Dienststellen zu anderen thematischen Fragestellungen durchgeführt wurden für die Schutzgebietsüberwachung, insbesondere mittels CIR Aufnahmen, unbrauchbar, da keine parallel erhobenen Bodeninformationen vorliegen.
3. Hubschrauberbefliegungen sind sehr kurzfristig arrangierbar. Aufnahmen auf Video können sofort ausgewertet werden, Photos sind nach ca. 1 Woche zur Auswertung entwickelt. Jedoch ist eine Verständigung zwischen Pilot und Kontrolleur schwierig, und der Anflug auf bestimmte Parzellen problematisch. Dennoch ist diese Möglichkeit zur Durchführung von stichprobenartigen Überwachungsflügen durchaus erfolgversprechend. Für ein grosses Gebiet steht der Aufwand an Material und Zeit jedoch in keinem Verhältnis zu den Kosten.

Aus den bisherigen Erfahrungen ergab sich ein Handlungsbedarf in Richtung einer automatisierten, digitalen Schutzgebietsüberwachung mit digitalen Orthophotos als zentralem Bestandteil einer GIS-Umgebung [6].

### 3.1 Schutzgebietskontrolle – eine GIS-Perspektive

Die bisher genannten Ansätze sind für eine langfristige und gerichtsverwertbare Schutzgebietsüberwachung ungeeignet, da der Datenfluss über mehrere Jahre hin-

weg umständlich ist. Ausserdem sind Fehlinterpretationen einzelner Jahrgänge kaum rekonstruierbar. Weiterhin verhindert die Karteikartenhaltung unterschiedlicher thematischer Datensätze sinnvolle Analysen und Kontrollen. Deshalb ist für die Zukunft ein Informationssystem mit allen wichtigen Informationen, Schutzgebietsüberwachung und -kontrolle (SchALVO) zu fordern. Zentraler Bestandteil des GIS ist die Kontrolle der Schutzgebiete und gegebenenfalls eine Verfolgung von Verstössen. Dazu muss die Landnutzung, insbesondere die grün- und ackerbauliche Nutzung im Sinne der SchALVO bekannt sein.

### 3.2 Multispektrale Klassifikation digitaler Orthophotos

Für klein- und mittelmassstäbige Landnutzungsberhebungen hat sich seit 1972 mit dem Start des Erderkundungssatelliten LANDSAT 1 die Methode der multispektralen Klassifikation bewährt. Allgemein lässt die Genauigkeit mit ca. 60–90% noch Wünsche offen, außerdem stimmen Landnutzungsklassen digitaler Auswertungen nicht immer mit Nutzungsklassen aus Luftbildern und Geländeberhebungen überein. Denn im Gegensatz zu einer manuellen Interpretation, bei der ein Objekt durch eine Kombination aus Farbe, Form, Grösse, Textur, Schattenwurf, dreidimensionalem Eindruck und nicht zuletzt mit der ganzen Erfahrung des Interpreten bestimmt wird, zieht der digitale Ansatz oftmals nur die Farbe zur Objektdifferenzierung heran. Die Voraussetzung für eine digitale Klassifikation ist die Tatsache, dass verschiedene Objektklassen (Mais, Wiese, ...) oberflächentypische Reflexionseigenschaften besitzen, die in einzelnen Spektralkanälen stark voneinander abweichen.

Verglichen mit der etablierten Technik zur Satellitenbildinterpretation bereitet eine Klassifikation hochauflösender Farbinfrarot-Orthophotos neue und bisher ungelöste Probleme. Dabei unterscheiden sich Luft- und Satellitenbilder grundsätzlich in ihrer geometrischen, spektralen und radiometrischen Auflösung. Entsprechend Bill & Grenzdörffer in [10] konnten im einzelnen sechs Probleme adressiert werden. Zu Testzwecken wurden aus dem Schutz-

gebiet ein 525 ha grosses Gebiet mit der inneren Schutzzone gewählt. Zur Klassifikation und multitemporalen Auswertung wurden jeweils vier Luftbilder aus zwei Befliegungen mit einem Massstab 1: 8550 vom 11.7.91 und 20.7.92 mit dem Zeiss PS1 Scanner abgetastet. Anschliessend wurden die Bilder diffentiell entzerrt und mosaickiert.<sup>1</sup> Das digitale Höhenmodell der Landesvermessung lag für das Gebiet vor. Die geometrische Auflösung der Ausgabemosaike betrug 2 m/Pixel. Damit ergibt sich eine Datenmenge von 1,5 MByte/ Luftbild und Flurkarte. Insgesamt betrug die Datenmenge für beide Jahrgänge 16 MByte.

Parallel dazu wurde die Topographie und Katasterinformationen mit MicroStation GIS Environment (MGE) von Intergraph manuell digitalisiert. Anschliessend wurden in die Datenbank Sachinformationen aus bisherigen Befliegungen integriert.

Verglichen mit einer manuellen Landnutzungsklassifikation/Kartierung, die mittels einer stereoskopischen Auswertung bis zu 180 verschiedene Landnutzungen/Biotope aus einem 1:10 000 CIR-Luftbild zu differenzieren vermag, unterliegt der digitale Versuch aufgrund der oben genannten Gründe gewissen Beschränkungen. Um einen möglichst dem Bildmaterial und der Fragestellung angepassten Klassifikationsschlüssel zu erstellen, muss der Interpret genau zwischen dem klassifizierbaren Detail im Ausgangsbild, dem Ziel der Klassifikation sowie dem Massstab der zu erstellenden Karte entscheiden. Bei der Umsetzung eines Klassifikationsschlüssels tritt das von [7] angesprochene Problem starker spektraler Heterogenität einzelner Nutzungsklassen bei grossmassstäblichen Luftbildern besonders kritisch hervor. Außerdem sind in grossmassstäbigen Luftbildern die Objektmerkmale weniger in den Grauwerten als vielmehr in der geometrischen Form verpackt. Damit ergaben sich für die Klassifikation acht spektral differenzierbare Landnutzungsklassen (vgl. Tab.1).

Eine multispektrale Klassifikation ist in drei Phasen unterteilt: die Vorverarbeitung (Preprocessing), das eigentliche Klassifizieren und die Nachbereitung (Postprocessing). In der Vorverarbeitung wurden für die Nutzungsdifferenzierung unnötige

Landnutzung	Landnutzungsklasse 1991	Landnutzungsklasse 1992
Ackerland	Mais/Getreide Getreide (vier Unterklassen) Raps Grünland/Hackfrüchte	Mais Getreide (sechs Unterklassen) Raps Hackfrüchte
Grünland	Grünland (drei Unterklassen)	Grünland (drei Unterklassen)
Sonstiges		

Tab. 1: Klassifikationsschlüssel Testgebiet Niederstotzingen, 1991 und 1992.

# Partie rédactionnelle

Flächen ausmaskiert (Forst, Siedlung), eine Filterung war nicht notwendig. Die überwachte Klassifikation wurde für 1991 mit einem Maximum-Likelihood-Klassifikator und 1992 mit einem Minimum-Distance-Klassifikator durchgeführt. In der Nachbereitung wurden einzelne Klassen (z.B. helles und dunkles Grünland) zusammengefasst, das Ergebnis mit einem 3 x 3 Medianfilter geglättet und die Ergebnisse ausgewertet und präsentiert (vgl. Abb. 2). Die Klassifikationsergebnisse sind differenziert zu betrachten. In der 91er Klassifikation liegt die allgemeine Genauigkeit der Trainingsgebiete bei 91%, einer Qualitätsangabe, die den Anteil aller korrekt klassifizierten Pixel beschreibt. Ob die klassifizierten Pixel auch am richtigen Ort korrekt klassifiziert sind, wurde geschätzt. Die ortsbezogene Genauigkeit liegt bei ca. 70%. Von besonderem Interesse jedoch ist die Trennbarkeit zwischen Grünland und ackerbaulich genutzten Flächen. Diese ist leider nicht immer gegeben, denn hohes Gras hat ähnliche spektrale Merkmale wie Getreideflächen, darüber hinaus treten Fehlklassifikationen vor allem bei Hackfrüchten auf.

Nennenswerte Anteile nicht klassifizierbarer Pixel sind nur innerhalb von Grünland und Getreide an lokal vernässten Stellen oder im Bereich von Feldwegen und an Feldrändern aufgetreten. Schliesslich beeinträchtigen auch die obengenannten Faktoren die Klassifikationsergebnisse. Im Überlappungsbereich zweier Luftbilder sind die Ergebnisse nicht eindeutig. Bedingt durch den späteren Aufnahmzeitpunkt ist die Qualität der 92er Befliegung etwas geringer. Insbesondere bei abgemähten Feldern ist nicht zweifelsfrei festzustellen, ob es sich um abgeerntetes Grünland oder Getreidefelder handelt. Andererseits treten lokal Überschneidungen zwischen den Klassen Mais und Grünland auf.

## 4. Optimierung durch Integration von Zusatzinformationen

Nachdem der Ansatz einer multispektralen Klassifikation aufgrund der diskutierten Probleme, z.B. geometrische und radiometrische Auflösung, spektrale Variabilität einzelner Klassen, Aufnahmzeitpunkt, ungenaue Abbildung von Objektklassen usw. zum Teil zu unbefriedigenden Ergebnissen führte, müssen Zusatzdaten in den Klassifikationsablauf integriert werden. Das Ziel für die Einbeziehung weiterer Daten in eine rein pixelorientierte multispektrale Klassifikation ist, dass nicht nur allein die Farbwerte für die Klassenzugehörigkeit, sondern auch andere Masszahlen, z.B. Vorwissen, Grösse, Form oder Textur zu nutzen. Prinzipiell können Zusatzinformationen während drei verschiedener Phasen in den Klassifikations-

ablauf integriert werden: vor der Klassifikation, während der Klassifikation und nach der Klassifikation.

Als Ergebnis der Klassifizierung wird zur Schutzgebietsüberwachung eine parzellenscharfe Nutzungszuweisung verlangt. Deshalb sollen zur Optimierung die Ergebnisse der Klassifizierung mit den Parzellengrenzen verschneitten werden. Jedoch stimmen leider die Parzellengrenzen auch nicht immer mit den aktuellen Nutzungsgrenzen überein. Problematisch ist dies allerdings nur bei Flurstücken, die mehr als nur eine Nutzung beinhalten. Dies gilt insbesondere für Waldgebiete, Siedlungs-ränder mit Gärten und für sehr grosse Parzellen. In den flurbereinigten Parzellen des Schutzgebiets ist eine Mehrfachnutzung selten.

Als Optimierungsansatz ist deshalb die in der Literatur mit dem Begriff «Objektklassifikation» umschriebene Methode gewählt worden. Ein «Objekt» ist dabei eine Fläche, in der eine eindeutige Nutzung zu erwarten ist. Der Ansatz geht von zwei Prämissen aus [8]:

1. Die Objektgrenzen sind in einem GIS gespeichert.
2. Die Mehrheit der Pixel innerhalb eines Objekts sind bei der pixelweisen Klassifikation korrekt klassifiziert.

Die Strategie lässt allerdings noch Wünsche betreffend der Qualität bei der Zuweisung offen. Außerdem bleiben sogenannte «Composite Classes», also Klassen, die über mehr als nur eine eindeutige spektrale Signatur definiert sind, aussen vor. Basierend auf der Methodik von [8] räumt die in vier Verfahrensschritte gegliederte Optimierungsstrategie von [9] die genannten Probleme aus:

1. Bestimmung der häufigsten Klasse innerhalb eines Objekts;
2. Ausweisung der objektweisen Klassifikationsgenauigkeit durch die Bestimmung des prozentualen Anteils der häufigsten Klasse innerhalb eines Objekts;
3. Schwellwertoperation zur objektscharfen Zuweisung einzelner Nutzungsklassen;
4. Bestimmung von Composite Classes und nicht eindeutig klassifizierbarer Objekte.

Wichtig für einen reibungslosen Arbeitsablauf ist der digitale Datenfluss von der Erfassung der Klassifikationsergebnisse bis zur Übertragung und Kontrolle in der relationalen Datenbank.

Für eine weitere Ergebnissesteigerung müssen in Zukunft mehr Informationen aus einem GIS früher in die Klassifikation eingebracht werden. Denkbar sind vor allem Masken zum Ausschluss nicht relevanter Information wie z.B. Siedlungen. Weiterhin könnten Trainingsgebiete mit bekannter Nutzung zur Automation einer über-

wachten Klassifikation herangezogen werden. Eine Integration von GIS-Daten in den Klassifikationsablauf wäre ein weiterer, wenngleich komplexer und aufwendiger Schritt hin zu einer akkurate Landnutzungsklassifikation mit Werkzeugen der Fernerkundung. Die neueren Ansätze mit Expertensystemen sind vielversprechend, wenngleich der Aufwand zum Aufbau eines solchen Systems beträchtlich erscheint. Dies ist vor allem vor dem Hintergrund zu sehen, dass für jedes zu interpretierende Bild die Regeln neu kalibriert und eventuell ergänzt werden müssen.

## 5. Ausblick

Die Einsatzmöglichkeiten und Chancen digitaler Orthophotos sind zahlreich. Dennoch bereitet die Produktion, insbesondere für Nicht-Photogrammeter ohne spezielle und teure Hard- und Software Probleme. Einige Trends in den letzten Jahren weisen den Weg zu einer on the flight Produktion digitaler Orthophotos (Abb. 3):

1. Seit vielen Jahren versuchen Photogrammeter zusätzliche Sensoren einzusetzen, um alle Orientierungsparameter bereits während des Bildflugs zu bestimmen. Schade in [10] demonstriert ein Multisensorkonzept, bei dem die Parameter der äusseren Orientierung durch ein differenzielles GPS gewonnen werden. Parallel tastet ein Lasersystem die Erdoberfläche für ein DGM ab. Die Daten müssen anschliessend mit den parallel dazu aufgenommenen Luftbildern synchronisiert werden, was sich als nicht trivial erweist.
2. Eine andere Alternative stellen grossformatige digitale Kameras dar, Thom & Jurvellier in [10]. Ein primärer Vorteil grossformatiger digitaler Kameras liegt in der durchgängigen digitalen Verarbeitung. Schliesslich ist der Scavorgang analoger Vorlagen mit einem beträchtlichen Informationsverlust verbunden. Außerdem sind die radiometrischen Eigenschaften sehr stabil und decken einen grösseren Teil des Spektrums ab. Die Nachteile sind vor allem technischer Natur. Grossformatige digitale Kameras sind immer noch Prototypen und reichen qualitativ nicht an vergleichbare Messbildaufnahmen heran. Es dauert immer noch 18 Sekunden, um ein Bild zu speichern (16 MByte). Glas, Wasser oder Metallflächen erzeugen lokale Überstrahlungseffekte, die von grossformatigen digitalen Kameras bisher nicht beherrschbar sind.
3. Ein weiteres Konzept digitaler Orthophotogenerierung ist durch den Ansatz einer Dreizeilenkamera realisierbar, Hofmann, et al. in [10]. Das grundlegende Konzept der Dreizeilenkamera liegt darin, dass jedes Objekt während eines Überflugs aus drei verschiedenen Winkeln aufgenommen wird. Die Rekonstruktion der Oberfläche wird durch homologe Punkte in jedem Streifen möglich. Die Berechnung



Abb. 2: Untersuchungsgebiet und Klassifikation digitaler Orthophotos im Wasserschutzgebiet Langenau.

geschieht mit einer Bündelblockausgleichung. Der grundlegende Vorteil einer Dreizeilenkamera liegt in der Möglichkeit, automatisch digitale Geländemodelle ableiten zu können. Weitere Vorteile der Dreizeilentechnologie beinhalten volle digitale Verarbeitung, eine Kombination zwischen multispektraler Information und Stereoauswertung und letztlich liefert der Scanner kontinuierliche Informationen und keine einzelnen Bilder. Nachteilig bei der Dreizeilenkamera ist bisher der exklusive Preis und in der bisherigen Konstellation die hohe Anzahl benötigter Passpunkte.

## 6. Zusammenfassung

Es konnte gezeigt werden, dass digitale Orthophotos vielfältig einsetzbar sind, nicht nur in der akademischen Forschung sondern in naher Zukunft auch in der wirtschaftlichen Praxis. Insbesondere wurde deutlich, dass die Verknüpfung von Daten aus einem GIS und digitalen Orthophotos entscheidende Vorteile bringt. Technische Schwierigkeiten beim flächenhaften Einsatz digitaler Orthophotos liegen vor allem in den grossen Datenmengen und den damit verbundenen Problemen des Datenmanagements und der Archivierung.

Zukünftige Entwicklungen in der Photogrammetrie werden den Trend zum Ein-

satz digitaler Orthophotos in GIS fördern, wenngleich bis zur Produktionsreife einer der drei vorgestellten Konzepte noch ein paar Jahre vergehen werden. Abschliessend kann man feststellen, dass der Einsatz von digitalen Orthophotos in der planerischen Praxis grosse Zukunftschancen hat. Insbesondere dann, wenn ein Projekt in einer GIS-Umgebung durchgängig digital bearbeitet und digitale Orthophotos zur Datenerhebung, -kontrolle, zur Visualisierung und darüber hinaus als Grundlage thematischer Information genutzt werden. Andernfalls ist der zeitliche und finanzielle Aufwand noch zu gross.

### Literatur:

- [1] Bierhals, E. (1988): CIR-Luftbilder für die flächendeckende Biotopkartierung. Informationsdienst Naturschutz Niedersachsen 8 H.5: S. 77-104; Hannover.
  - [2] Bill, R. & Fritsch, D. (1994): Grundlagen der Geo-Informationssysteme (Band 1: Hardware, Software und Daten). 2. Aufl.: 429 S.; Karlsruhe. (Wichmann)
  - [3] Bill, R. & Glemser, M., Grenzdörffer, G. (1993): Softwarevergleichsstudie marktgängiger Geoinformationssysteme. Umweltbundesamt UBA-Texte: 214 S.; Berlin.
  - [4] Höhle, J. (1992): Herstellung von digitalen Orthophotos mit einer Arbeitssta-
- tion des Geo-informationssystems Intergraph TIGRIS. Zeitschrift für Photogrammetrie und Fernerkundung 60 (2): S. 42-48; Karlsruhe.
- [5] Loodts, J. & Steenmans, C. (1993): Digital Orthophotos and GIS: The Perfect Couple. Proceedings of the International Symposium – Operationalization of Remote Sensing, Bd. 6: S. 205-216; Enschede.
  - [6] Wannenwetsch, R. (1994): Möglichkeiten der GIS-gestützten Erfassung und Überwachung von Störpotentialen der Karstwassergewinnung im Langenauer Ried. 93 S.; Tübingen (unveröff. Dipl. Arb.).
  - [7] Kraus, K. (1990): Fernerkundung. Band 2 (Auswertung photographischer und digitaler Bilder): Bonn (Dümmler).
  - [8] Janssen, L.L.F. (1990): GIS supported landcover classification of satellite images. EGIS '90 Proceedings Bd. 1: S. 485-493; Utrecht.
  - [9] Grenzdörffer, G. (1993): Die Landnutzungsklassifikation des Talkessels von Beuren bei Heubach/Schwäbische Alb. Ein Fallbeispiel mit digitalen Orthophotos unter Einbeziehung von Zusatzdaten in einem hybriden GIS. 143 S. Tübingen (unveröff. Dipl. Arb.).
  - [10] Fritsch, D. & Hobbie [Hrsg.] (1993): Photogrammetric Week '93: 318 S.; Stuttgart (Wichmann).

### Anmerkungen:

- 1 Ermöglicht durch die freundliche und grosszügige Hilfe von Herrn Baum und Frau Braun, Landesvermessungsamt Baden-Württemberg.

### Adressen der Verfasser:

Görres Grenzdörffer, Dipl. Geogr.  
Ralf Bill, Prof. Dr.-Ing.  
Universität Rostock  
Institut für Geodäsie und Geoinformatik  
Justus-von-Liebig-Weg 6  
D-18051 Rostock  
Rainer Wannenwetsch, cand. geogr.  
Bahnhofstrasse 13  
D-89168 Niederstotzingen

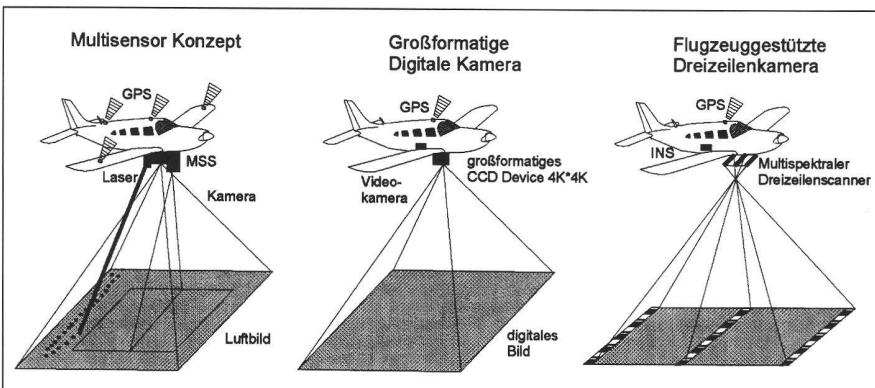


Abb. 3: Konzepte zur «on the flight» Produktion digitaler Orthophotos.