



Machbarkeitsstudie zur Nutzung von Satelliten- daten in der ländlichen Bodenordnung

Juliane Huth,
Karl-Heinz Thiemann

Die satellitengestützte Fernerkundung findet zunehmend breitere Anwendung. Möglich wird dies durch räumlich hochauflösende Sensoren und leistungsfähige Speichermedien. In einem praxisbezogenen Ansatz analysiert der Beitrag die derzeitigen Anwendungsmöglichkeiten in der ländlichen Neuordnung.

1 Einleitung

Das Luftbild gehört seit jeher zu den klassischen Planungswerkzeugen in der ländlichen Neuordnung. Die Katasterphotogrammetrie verdrängte seit ihrer Einführung Mitte der 50er Jahre zunehmend die terrestrische Vermessung und erreichte Ende der 60er Jahre ihren Höhepunkt. In Bayern wurden zum Beispiel in den Jahren 1965 bis 1972 mit einer durchschnittlichen Jahresleistung von rund 50 000 ha über zwei Drittel der neuvermessenen Fläche photogrammetrisch ausgewertet. Nach Einführung automationsfreundlicher elektronischer Vermessungsgeräte (RegElta 14) ging ihre Bedeutung aber schnell wieder zurück. Heute findet die Katasterphotogrammetrie keine Anwendung mehr, da die Neuvermessung mit registrierenden Tachymetern und netzwerkbasierten Verfahren zur satellitengestützten Punktbestimmung (SAPOS) wesentlich flexibler und vor allem kostengünstiger durchgeführt werden kann. Geblieben ist jedoch der Einsatz im Planungsbereich, heute mittels digitaler Bildverarbei-

tungssysteme, welche die konventionelle Orthophototechnik abgelöst haben.

Das Luftbild gewährt vor allem in der Einleitungsphase von Bodenordnungsverfahren einen schnellen, lückenlosen und aktuellen Einblick in das Planungsgebiet. Es ermöglicht auf einfache Art und Weise eine erste Landschafts- und Problemanalyse sowie die Erörterung des Handlungsbedarfs mit den Beteiligten. Die maßstabsgerechte Luftbildkarte (Orthophoto) erlaubt als Schwarz-Weiß- oder Farbbild die lagerichtige Entnahme und Interpretation aller planungsrelevanten Bestandteile der Landschaft (hierzu ausführlich Oberholzer/Seiffer 1987, Brinkmann 1991). Durch Einkopie der Liegenschafts- und/oder Schätzungskarte ist gleichzeitig die Grundstücksstruktur und Bodengüte erkennbar. Die Erfahrung zeigt, dass die anschauliche, inhaltsreiche und leicht verständliche Darstellung vor allem die Wertermittlung, Planung und Verhandlungsführung mit den Grundstückseigentümern und Trägern öffentlicher Belange erheblich erleichtert. Das Luftbild ist daher zu einem unverzichtbaren Hilfsmittel in der ländlichen Bodenordnung geworden. Hierauf soll im Beitrag nicht näher eingegangen werden. Degenhardt 1990 gibt an Hand zahlreicher Bildbeispiele eine eindrucksvolle Zusammenstellung der vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten in der Flurbereinigung und Dorferneuerung. Mit Albertz 2001 liegt eine exzellente Einführung in die Fernerkundung vor, die die Grundlagen der Interpretation von Luft- und Satellitenbildern behandelt. Im Folgenden sollen sie nicht nochmals wiederholt, sondern anwendungsbezogene Aspekte näher betrachtet werden.



*Abb. 1: Abdeckung Süddeutschlands
mit LANDSAT-7-Daten
(Quelle: <http://eoweb.dlr.de>)*



2 Potential von Satellitendaten im Vergleich zum Luftbild

Die generellen Vorzüge von Satellitendaten liegen in der hohen Aktualität, schnellen Verfügbarkeit und multispektralen Darstellung der Erdoberfläche.

Im Gegensatz zu den turnusmäßigen Befliegungen der Landesvermessung, welche in der Regel im Abstand von 5 Jahren durchgeführt werden, weisen die Satelliten eine Wiederholungsrate auf, die zwischen einem Tag und einem Monat liegt. Die Satellitendaten vieler Anbieter können per Internet bestellt werden. Die Übertragung erfolgt in der Regel mittels FTP (file transfer protocol), so dass ein rascher Zugang innerhalb eines Werktages gewährleistet ist. Hierbei ist eine schnelle Internetverbindung von Vorteil, da die Datenmengen von beachtlicher Größe sein können. Bei dem Bezug über andere Medien (Post) müssen eventuell auch längere Bearbeitungszeiten in Kauf genommen werden, die sich von denen der Luftbildbestellung in digitaler Form auf CD kaum unterscheiden.

Satellitenbilder operationeller Sensoren weisen, wie die Luftbildkarte, eine durchgehende Abdeckung auf, da sie bis zu einer bestimmten nördlichen und südlichen geographischen Breite flächendeckend aufgenommen werden (Abb. 1). Dabei ist die gleichzeitige Verfügbarkeit von multispektralen und panchromatischen (schwarz-weiß) Daten ein enormer Vorteil gegenüber dem Luftbild. Je nach Aufbau des Satellitensensors werden die Daten in Schwarz-Weiß und in mehreren Farbkanälen aufgezeichnet. Dies erlaubt es, die Kombination verschiedener Kanäle dem Anwendungsgebiet anzupassen und flexibel zu gestalten. Demgegenüber liegen die Stärken des Luftbildes bekanntermaßen in der variablen, das Wetter berücksichtigenden Wahl des Aufnahmezeitpunktes (wolkenlose Sicht), der guten räumlichen Auflösung und hohen Lagegenauigkeit des Orthophotos.

Die Abbildung der Erdoberfläche erfolgt beim Satellitenbild anstatt mit photographischer Aufnahmetechnik über Abtastsysteme (Scanner). Unterschieden wird in optisch-mechanische Scanner, mit denen beispielsweise LANDSAT-TM ausgestattet ist, und optoelektronische Scanner, die zum Beispiel das Aufnahmesystem auf SPOT-Satelliten darstellen. Der mechanische Scanner nimmt die elek-

tromagnetische Strahlung mittels eines quer zur Flugrichtung beweglichen Spiegels auf. Die digitale Bildverarbeitung wird genutzt, um die digitalisierten Werte des Photonenstroms zu einem Bildstreifen zusammenzufügen. Der optoelektronische Scanner besteht aus in Reihe angeordneten CCD-Sensoren, deren gleichzeitige Erfassung der Bildzeilen zu besseren geometrischen Eigenschaften der Daten führt. Mehrere Bildzeilen werden auch hier zu einem Bildstreifen zusammengefasst. Die Abbildung erfolgt nicht verzerrungsfrei, sondern muss noch geometrisch korrigiert werden, was bei den kommerziell verfügbaren Daten meist standardmäßig erfolgt.

Die Qualität von Satelliten- und Luftbilddaten wird vor allem durch die spektrale (Anzahl und Bandbreite der Aufnahmekanäle) und geometrische (räumliche) Auflösung bestimmt. Letztere gibt an, mit welcher Kantenlänge ein Pixel einen Teil der Erdoberfläche abbildet. Eine Auflösung von 5 m besagt, dass die Daten, die aus jeweils einem Sensorpixel ausgelesen werden, eine Fläche von $5 \times 5 \text{ m}^2$ am Erdboden abbilden. Dabei erfolgt üblicherweise eine Gliederung in die Klassen sehr hoch- (1–4 m; IKONOS, QuickBird und OrbView-3), hoch- (4–10 m; SPOT 5), mittel (10–50 m; LANDSAT) und gering (größer als 50 m) auflösend (vgl. Ehlers et al. 2002).

3 Marktanalyse und Wirtschaftlichkeit

Schon seit mehreren Jahrzehnten gibt es kommerziell verfügbare Aufnahmen satellitengestützter Erderkundungssensoren. Experimentelle Systeme sollen hier nicht näher betrachtet werden. Die am längsten operationell arbeitende Satellitenreihe ist **LANDSAT** (www.landsat.org), welche 1972 mit LANDSAT 1 begann und bis Mai 2003 (LANDSAT 7) Daten lieferte. In den 80er Jahren kam in einer Serie von bisher fünf Satelliten **SPOT** (www.spotimage.com) hinzu. Weitere Entwicklungen im Bereich der sehr hoch auflösenden Sensoren konnten ab Ende der 90er Jahre auf Systemen wie **IKONOS**, betrieben von SpaceImaging (www.spaceimaging.com), **QuickBird**, betrieben von DigitalGlobe (www.digitalglobe.com) und **OrbView-3**, betrieben von OrbImage (www.orbimage.com), in den Orbit gebracht werden. Technische Verbesserungen ermöglichen es erst seit wenigen Jahren,

Tab. 1: Satellitendaten versus Luftbilddaten im Vergleich

Satellit	Auflösung multispektral	Auflösung panchromatisch	Wiederholungsrate [Tage]	Preis der Daten [€ pro km ²]
SPOT 2–4	20 m	10 m	26	ca. 20 (60 × 60 km ² für 1300 €)
SPOT 5	10 m	5 m	26	ca. 30 (60 × 60 km ² für 1900 €)
LANDSAT 4, 5 (TM)	30 m	15 m	16	ca. 3–8 (185 × 185 km ² für 600–1500 €)
LANDSAT 7 (ETM+)	25 m	12,5 m	16	ca. 3–8 (185 × 185 km ² für 600–1500 €)
IKONOS	4 m	1 m	1–3	10–30
QuickBird	2,9 m	0,6 m	1–3,5	10–30
OrbView-3	4 m	1 m	< 3	14–26
Luftbild	0,4–2 m	0,4–2 m	5 Jahre	2–10

Satelliten mit hochsensiblen optischen Sensoren auszustatten und die entsprechend großen Datenmengen mit leistungsstarken Speichern zu den Bodenstationen zu übertragen. Erst dadurch wurde die kommerzielle Verfügbarkeit von Daten mit 1 m Auflösung möglich.

In Tabelle 1 wird ein Preisvergleich zwischen kommerziell vertriebenen Satellitendaten nach den Angaben der oben genannten Firmen und Luftbilddaten der Bayerischen Vermessungsverwaltung (www.geodaten.bayern.de) angestellt. Hierzu ist ergänzend anzumerken, dass der Preis für Ortho-Luftbild-Daten je nach Auflösung (von 2 bis 0,4 m) zwischen 2 und 10 € pro km² liegt. Zur Zeit sind bei einem Mindestbestellwert von 40 € farbige Orthophotos mit einer geometrischen Auflösung von 0,4 m zu einem Preis von 10 € pro km² in digitaler Form für jedermann erhältlich. Nach den Zusammenarbeitsregelungen zwischen den Flurbereinigungs- und Vermessungsverwaltungen werden die Daten für Zwecke der ländliche Neuordnung in der Regel kostenfrei oder gegen Erstattung der Materialaufwendungen zur Verfügung gestellt. In Ländern, in denen beide Fachverwaltungen zusammengefasst sind (Baden-Württemberg, Hessen, Niedersachsen), ist die Kostenerstattung ohnehin obsolet. Die genannten Werte sind daher als dem jeweiligen Land entstehende Gesteungskosten zu sehen.

Bei den Satellitendaten ist die Preisgestaltung differenzierter zu betrachten, da sie von verschiedenen Firmen angeboten werden und unterschiedliche Mindestwerte für die Abgabe gelten (vgl. <http://telsat.belspo.be>). Für die sehr hoch aufgelösten Daten der Satelliten IRS-PAN und EROS A1 sind mit vertretbarem Aufwand keine aussagekräftigen Preisauskünfte zu erhalten, zudem fehlen Vermarktungswege. Die übrigen hier in Frage kommenden hoch bis mittel aufgelösten Daten (SPOT-, LANDSAT-, IKONOS-, QuickBird- und OrbView-Daten) können per Internet für einen Quadratkilometerpreis von 3–30 € bestellt werden und liegen damit bis zu 300 % über dem Preis von vergleichbaren Luftbilddaten.

Im Ergebnis der Marktanalyse ist festzuhalten, dass als einzig technisch sinnvolle (räumliche Auflösung von 12,5 m im Panchromatischen) und wirtschaftlich vertretbare (km²-Preis von 3–8 €) Alternative zum Luftbild nur Daten des Sensors ETM+ auf LANDSAT 7 in Betracht kommen. Für die Studie konnten sie kostenfrei über das CORINE Landcover 2000 Projekt des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) bezogen werden. Im Rahmen des Projektes werden jeweils ein wolkenfreier Datensatz eines beliebigen Gebietes in Deutschland aus den Jahren 1999 bis 2001 für nichtkommerzielle Zwecke im Internet zur Verfügung gestellt (<http://image2000.jrc.it/i2000/index.html> über download).

4 Anwendungsmöglichkeiten

Bisher sind keine Studien zur Nutzung von Satellitenbildern in der ländlichen Neuordnung bekannt. In der Einleitungsphase von Bodenordnungsverfahren, welche in der Regel eine Größe von 500–1500 ha aufweisen, benötigt man eine schnelle Erfassung der Landschaftsstrukturen. Aus einer ersten Analyse sollen Problemfelder identifiziert, der bodenordnerische Handlungsbedarf abgeleitet und Lösungsmöglichkeiten aufgezeigt werden. Dies erfolgt bisher durch die Auswertung (Interpretation) von Luftbildern, ergänzt durch aktuelle Flurkarten und sonstige Erhebungen. Neu ist die Idee, hierzu Satellitenbilder hoher räumlicher Auflösung einzusetzen, um die Erschließungs-, Biotop- und Feldstrukturen zu analysieren und auf einfache und kostengünstige Art und Weise anschauliches Material für die Aufklärung der voraussichtlich beteiligten Grundstückseigentümer sowie die Anhörung und Unterrichtung der anderen Planungsträger (§ 5 FlurbG) zu erhalten.

Abb. 2 gibt einen Landschaftsausschnitt nordöstlich von der Stadt Nördlingen (Donau-Ries-Kreis) wieder. Oben (Abb. 2a) ist ein Auszug aus einem Luftbild der Bayerischen Vermessungsverwaltung (<http://www.bayern->

<http://www.bayern->

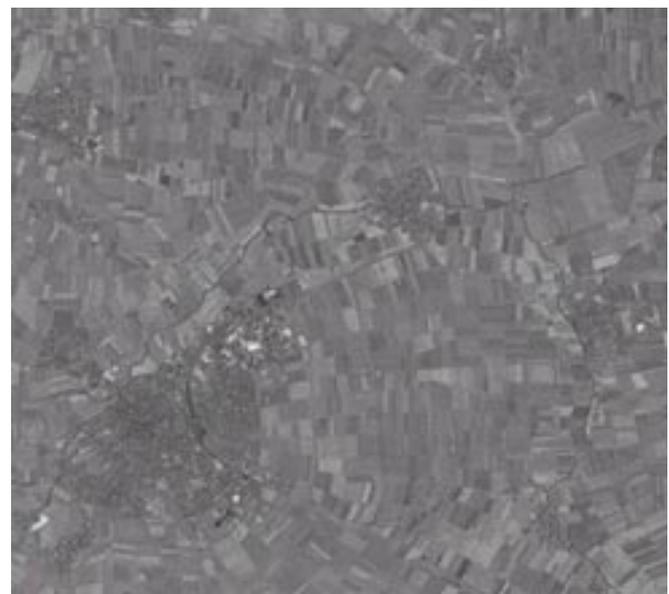
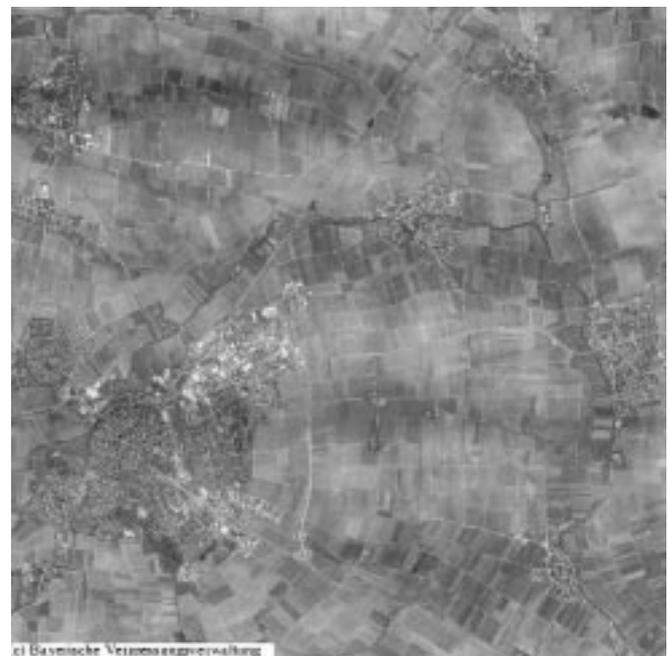


Abb. 2: Testgebiet (Region Nördlingen, Donau-Ries-Kreis) mit der Gegenüberstellung von (a) Luftbild und (b) LANDSAT-Satellitenbild



viewer.de) zu sehen (Aufnahmedatum: Bayernbefliegung am 17. April 2003), unten (Abb. 2b) ein Ausschnitt aus einer LANDSAT-Szene (<http://image2000.jrc.it/>, Aufnahmedatum 18. Juni 2000). Die Maßstäbe sind in etwa identisch.

In beiden Bildern erkennt man jeweils die Stadt Nördlingen sowie die umliegenden Dörfer und Feldlagen. Zum Luftbild ist anzumerken, dass die unregelmäßige Farbgebung aus der Zusammensetzung mehrerer Bilder im Bayernviewer resultiert und die Qualität der Originaldaten wesentlich besser ist und eine einwandfreie Interpretation ermöglicht.

Das Erscheinungsbild der freien Landschaft ist beim Satellitenbild durch den schwachen Kontrast und die vergleichsweise geringe räumliche Auflösung nicht ohne Probleme zu analysieren. Bezüglich der Erschließungsstruktur sind kaum Straßen und Wege erkennbar, während sie beim Luftbild klar und deutlich als helle Linien hervortreten. Flussläufe sind in beiden Bildern gut von der Umgebung zu unterscheiden. Im Hinblick auf eine Analyse der Biotopstrukturen sind die Hecken, Feldgehölze und Raine im Luftbild einwandfrei zu erkennen. Im LANDSAT-Bild ist dies kaum möglich. Die einzelnen Objekte sind nicht mehr zu identifizieren, so dass wesentliche Informationen über die Landschaftsstrukturen fehlen. Die Feldlage wirkt im Satellitenbild deutlich zergliederter und unzusammenhängender als im Luftbild. Mit geeigneten Werkzeugen (z. B. GIS ArcView) können die Nutzungsstrukturen näher untersucht werden, zum Beispiel um eine durchschnittliche Schlaglänge und -größe zu ermitteln. So ergaben sich in einer Stichprobe von 100 Feldern Werte von 260 m und 3,75 ha. Die tatsächliche mittlere Feldstückgröße, herausgegeben von der Bayerischen Landesanstalt für Betriebswirtschaft und Agrarstruktur, beträgt jedoch nur 1,75 ha. Dies Diskrepanz verdeutlicht auch im Vergleich zum Orthophoto, dass sich die einzelnen Felder nicht eindeutig voneinander abgrenzen lassen, daher mehr als doppelt so groß in Erscheinung treten und eine Analyse der Feldstrukturen nur sehr bedingt möglich ist.

5 Fazit und Ausblick

Die Machbarkeitsstudie bestätigt die allgemeine Auffassung, dass Satellitenbilder im Bereich der Landentwicklung noch keine Alternative zum Luftbild darstellen (Passberger 2004). Die im Rahmen der vorliegenden Untersuchung in einer einfach strukturierten Landschaft aus LANDSAT-Daten abgeleiteten Erkenntnisse über die Erschließungs-, Biotop- und Feldstrukturen reichen bei weitem nicht aus, um daraus brauchbare Informationen für die ländliche Neuordnung zu gewinnen. Praktisch gesehen ist das Luftbild für die Verwendung in der Flurbereinigung/Flurneuordnung Satellitenbildern noch deutlich überlegen. Für eine Schnellanalyse der Landschaft ist eine räumliche Auflösung von mindestens 1–2 m notwendig. Diese Qualität wird bisher nur von IKONOS-, QuickBird- und OrbView-Aufnahmen erreicht, deren Preise jedoch rund dreimal so hoch wie die vergleichbarer Luftbilder sind. Erst wenn optische Satellitendaten sehr

hoher Auflösung kostengünstig verfügbar sein werden, dürfte mit einer Nutzung der satellitengestützten Fernerkundung für die Landentwicklung zu rechnen sein.

Literatur

- [1] Albertz, J.: Einführung in die Fernerkundung. Grundlagen der Interpretation von Luft- und Satellitenbildern. – 2. Auflage, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt, 2001.
- [2] Brinkmann, B.: Erweiterte Möglichkeiten der Orthophoto-Interpretation für die Flurbereinigungsplanung durch verschiedene Filmarten und Aufnahmezeitpunkte. – Diplomarbeit an der Professur für Landentwicklung der Universität der Bundeswehr München, Neubiberg, 1991.
- [3] Degenhardt, H.: Das Luftbild in der Ländlichen Neuordnung. – Materialien zur Ländlichen Neuordnung, Heft 20, 1990.
- [4] Ehlers, M., Janowsky, R., Gähler, M.: New Remote Sensing Concepts for Environmental Monitoring. – In: Ehlers, M. (Hrsg.): Remote Sensing for Environmental Monitoring, GIS Applications and Geology, Proc. SPIE, Band 4545, 2002, S. 1–12.
- [5] Oberholzer, G., Seiffer, B.: Die Interpretation des Orthophotos für die Flurbereinigungsplanung – Arbeitsanleitung für die Flurbereinigungsämter in Baden-Württemberg. – Landesamt für Flurbereinigung Baden-Württemberg, Ludwigsburg, 1987.
- [6] Passberger, E.: Neue Verfahren zur Gewinnung von Geobasisdaten aus der Sicht der Ländlichen Entwicklung. – Mitteilungen des DVW-Bayern 52, Heft 3, 2000, S. 299–323.

Anschrift der Verfasser:

Dipl.-Ing. Juliane Huth,
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Karl-Heinz Thiemann,
Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen,
Landmanagement,
85577 Neubiberg

Zusammenfassung

Für eine schnelle Landschafts- und Problemanalyse sowie als Hilfsmittel zur Wertermittlung und Planung der gemeinschaftlichen und öffentlichen Anlagen wird seit Anfang der 80er Jahre das Orthophoto in der ländlichen Neuordnung eingesetzt. Vor diesem Hintergrund skizziert der Beitrag das Potential von Satellitenbildern und kommt in einer Marktstudie zu dem Schluss, dass als wirtschaftlich vernünftige Alternative derzeit nur LANDSAT-Daten zur Verfügung stehen, jedoch auf Grund ihrer begrenzten räumlichen Auflösung für eine fundierte Bestandsanalyse (Infra-, Biotop- und Feldstrukturen) ungeeignet sind. In Zukunft wird die satellitengestützte Fernerkundung in der ländlichen Bodenordnung nur dann zur Anwendung kommen können, wenn hochauflösende Daten (1–2 m) kostengünstig zur Verfügung stehen.