

Hochauflösende Satellitenbilddaten in der Raumplanung

Konzepte und Anwendungen

Klaus STEINNOCHER & Günther KNÖTIG

(Dipl.-Ing. Dr. Klaus Steinnocher, Forschungszentrum Seibersdorf / Abteilung Umweltplanung, 2444 Seibersdorf,

email: klaus.steinnocher@arcs.ac.at;

Dipl.-Ing. Dr. Günther Knötig, Land Oberösterreich / Überörtliche Raumordnung, 4010 Linz, email: guenther.knoetig@ooe.gv.at)

1 EINLEITUNG

Im Zuge der österreichischen Projektinitiative MISSION wurden in den letzten Jahren Möglichkeiten aufgezeigt, die sich durch die neuen Satellitenbilddaten mit einer Auflösung im Meterbereich für verschiedene Anwendungen ergeben. Das Forschungszentrum Seibersdorf untersuchte in diesem Zusammenhang die Erfassung und Aktualisierung von Nutzungskartierungen für den Einsatz in der Raumplanung. Die Arbeiten wurden in Kooperation mit dem Amt der OÖ Landesregierung / Abteilung Raumordnung durchgeführt.

Der vorliegende Beitrag beschreibt zunächst die Anforderungen der Raumplanung sowohl hinsichtlich der räumlichen als auch der thematischen Differenzierung der gesuchten Nutzungsobjekte. Diesen Anforderungen werden die heute verfügbaren Datenquellen – Luft- und Satellitenbilder – gegenübergestellt und deren Vor- und Nachteile diskutiert.

Im zweiten Teil erfolgt die Beschreibung der Pilotstudie, die im Rahmen der Projektinitiative MISSION durchgeführt wurde. Einen wichtigen Aspekt bilden dabei Methoden der digitalen Bildverarbeitung, die die Extraktion der gesuchten Information unterstützen. Ein weiterer Schwerpunkt liegt in der Diskussion der bis dato gewonnenen Ergebnisse in Bezug auf die Anforderungen der Raumplanung. Abschließend erfolgt ein Ausblick auf geplante Aktivitäten.

2 LAUFENDE RAUMBEOBACHTUNG

2.1 Raumb Beobachtung

Die Aufgaben der Raumplanung wandeln sich kontinuierlich von der Erstellung normativer Festlegungen hin zum Anbieten von Lösungsstrategien für (Nutzungs-)Konflikte und Erstellung von flexiblen Entwicklungsleitbildern. Für diese Aufgaben ist es erforderlich, über verlässliche Informationen bezüglich der Entwicklung raumbezogener Phänomene zu verfügen. Zu diesem Zweck wurden in der Vergangenheit vor allem bei den Verwaltungsbehörden umfangreiche Informationssysteme (z.B. Raumordnungskataster) aufgebaut, die sich inzwischen der geographischen Informationstechnologie bedienen.

Ein Großteil des Informationsbestandes beschränkt sich jedoch auf Querschnittsinformationen, die aus amtlichen Statistiken abgeleitet werden (Bevölkerungsentwicklung; Arbeitsplatzentwicklung; Veränderung landwirtschaftlicher Kulturarten). Sie beziehen sich auf statistische Raumeinheiten wie Bezirke, Gemeinden oder Zählsprenkel und erlauben oft nur eine sehr lange Beobachtungsperiode (z.B. 10 Jahresintervall der statistischen Großzählungen). Die geographische Ausprägung dieser Entwicklungen innerhalb der statistischen Einheiten ist in der Regel nicht erfaßt. Insbesondere gibt es, von wenigen Ausnahmen wie der Realnutzungskartierung der Stadt Wien abgesehen, keine Informationen über die großräumige Veränderung der tatsächlichen Bodennutzungen.

Vor allem im landwirtschaftlichen Bereich führt der ökonomische Druck zu Nutzungsänderungen, so daß besonders in peripheren Ungunstlagen die landwirtschaftliche Bewirtschaftung durch Aufforstungen ersetzt werden bzw. sich die Struktur der Kulturarten verändert. Zugleich steigt der Anreiz, bisher landwirtschaftlich genutzte Flächen als Bauland zu verwerten. Dies führt zu einer nachhaltigen Veränderung unserer Kulturlandschaft und zu einer Verschärfung der Probleme in der Siedlungsstruktur. Für eine effektive Raumordnungspolitik werden deshalb zunehmend Informationen über die Entwicklung der Bodennutzungen bedeutend, um dadurch rechtzeitig Entscheidungsgrundlagen für eine geeignete Gestaltung der politischen Instrumente verfügbar zu machen.

Das Land Oberösterreich hat sich dementsprechend entschlossen, eine landesweite Bodenbilanz zu erstellen, die in dreijährigem Abstand aktualisiert werden soll. Innerhalb des Beobachtungszeitraumes soll untersucht

werden, wie sich die Nutzungen insbesondere außerhalb des Baulandes verändert haben und für welche Flächen bzw. Nutzungen eine Verwertung als Bauland durch entsprechende Flächenwidmung ermöglicht wurde. Voraussetzung für diese Untersuchungen sind eine für das gesamte Landesgebiet vergleichbare, großmaßstäbige Erfassung der Bodennutzung, wobei auf eine Differenzierung der relevanten Nutzungsarten zu achten ist.

Die genannte Zielsetzung stellt entsprechende Anforderungen an die Datengrundlagen: sie müssen für das gesamte Landesgebiet (ca. 12.000 km²) zu einem vergleichbaren Aufnahmezeitpunkt in hoher Auflösung zur Verfügung stehen und in 3-Jahresabständen aktualisierbar sein. Darüber hinaus sollte die Interpretation dieser Daten hinsichtlich der Bodennutzungen möglichst automatisiert erfolgen können. Im folgenden werden potentielle Datenquellen betrachtet, die für die gestellte Aufgabe in Frage kommen.

2.2 Basisinformationen

Neben der terrestrischen Erhebung, die sich auf lokale Anwendungen beschränkt, repräsentieren heute Luftbilder die übliche Informationsquelle auf regionaler Ebene. Aufgrund der technologischen Entwicklungen der letzten Jahre stoßen nun Satellitenbilder in einen Maßstabsbereich vor, der bis dato den Luftbildern vorbehalten war. Zur gleichen Zeit bieten sie Vorteile gegenüber dem traditionellen Luftbild. Hierbei wären zunächst die höhere Verfügbarkeit und der leichtere Zugang zu aktuellen Daten zu nennen. Weiters liegen die Bilddaten in digitaler Form vor, was eine direkte Übernahme in bestehende räumliche Informationssysteme ermöglicht und eine zumindest teilweise automatische Verarbeitung zuläßt. Ein nicht minder wichtiger Aspekt sind die geringeren Kosten der neuen Technologie.

Im folgenden wird versucht die Vor- und Nachteile des Satellitenbildes im Vergleich zu den Luftbildern zu analysieren. Zu diesem Zweck werden drei Datenquellen definiert, die die Beobachtung des Raumes ermöglichen:

- ?? im Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen verfügbare digitale Orthophotos (BEV),
- ?? im Rahmen eines beauftragten Bildfluges erstellte digitale Orthophotos (BF), und
- ?? aus Satellitenbildern erstellte digitale Orthophotos (SB).

Tabelle 1 zeigt die grundlegenden Parameter, die für den Vergleich herangezogen werden.

Tab. 1: Digitale Orthophotos aus unterschiedlichen Datenquellen

Datenquelle	Auflösung			Kosten pro km ² (Pan)
	Räumlich	Zeitlich	Spektral	
BEV	< 1m	~ 7 Jahre	Pan (/ TC / CIR)	~ ATS 100.--
BF	< 1m	variabel	Pan / TC / CIR	~ ATS 140.--
SB	> 1m (5m)	< 1 Monat	Pan + CIR	~ ATS 25.--

Pan panchromatisch (schwarz/weiß)

TC true colour (Echtfarben)

CIR colour infrared (Farbinfrarot)

Betrachtet man die Orthophotos des BEV, so liegen deren Vorteile in der raschen Verfügbarkeit, in ihrer hohen räumlichen Auflösung und in den geringen Kosten. Das ist darauf zurückzuführen, daß die Bildflüge im Rahmen hoheitlicher Aufgaben durchgeführt und archiviert werden – konkret zur Revision der Österreichischen Karte 1 : 50.000 (ÖK50) – und daher lediglich Bearbeitungskosten anfallen. Der Nachteil dieser Datenquelle liegt in der zeitlichen Komponente. Revisionsflüge werden lediglich alle 5 – 7 Jahre durchgeführt, mit der Folge, daß für ein bestimmtes Gebiet weder ein einheitlicher Aufnahmezeitpunkt noch die Aktualität der Orthophotos garantiert werden können. Zusätzlich variiert das Filmmaterial je nach Zielsetzung des Bildfluges. Für Aufgaben der Raumbeobachtung in Intervallen kürzer als 5 Jahre ist daher diese Datenquelle nur begrenzt einsetzbar.

Als Alternative dazu bietet sich der eigene Bildflug an, der die Vorteile des BEV Orthophotos mit einer zeitlich variablen Komponente verknüpft. Zusätzlich kann zwischen panchromatischem, Echtfarben und Farbinfrarot Filmmaterial gewählt werden. Demgegenüber stehen allerdings die vergleichsweise hohen Kosten, in die neben dem Filmmaterial und dessen Verarbeitung auch der Betrieb des Flugzeugs und das dazugehörige Personal eingehen.

Satellitenbilder repräsentieren in diesem Kontext einen Mittelweg. Die Kosten sind vergleichsweise niedrig, wobei allerdings die geringere räumliche Auflösung zu berücksichtigen ist. Einen klaren Vorteil bietet die periodische Verfügbarkeit der Aufnahmen, mit Intervallen zwischen zwei Wochen und einem Monat. Durch Schwenken der Sensoren können diese Intervalle auf wenige Tage reduziert werden. Die beste räumliche Auflösung für panchromatische Aufnahmen liegt zur Zeit bei knapp unter 6m, bei multispektralen Aufnahmen bei 20m. In naher Zukunft sollten sich diese Parameter jedoch deutlich verbessern, wobei Auflösungen von einem Meter für panchromatische und unter 5m für multispektrale Bilder erwartet werden. Fernerkundungssatelliten neuerer Generation verfügen zudem über Sensorsysteme, die ein panchromatisches und ein multispektrales Bild gleichzeitig aufnehmen können. Die Kombination solcher multisensoraler Aufnahmen ist daher ein weiterer Vorteil des Satellitenbildes gegenüber dem Luftbild.

Betrachtet man die Parameter im einzelnen, so ergeben sich unterschiedliche Aussagen für die einzelnen Anwendungen. Im Rahmen einer Detailplanung, bei der sowohl eine hohe Auflösung als auch Aktualität gefordert sind, wird ein eigener Bildflug unumgänglich sein. Die Wahl des Bildmaterials kann dabei den Anforderungen der Anwendung angepaßt werden. Bei Ersterhebungen auf regionaler Ebene kann es durchaus ausreichen, die verfügbaren Orthophotos des BEV als Grundlage heranzuziehen. Aber hier stellen Satellitenbilder bereits eine interessante Alternative dar, da die räumliche Auflösung für regionale Anwendungen auch heute schon ausreichend ist. Das zeigt sich auch in dem vermehrten Wunsch der Anwenderseite nach Orthophotos des BEV, deren Auflösung auf 2-3m reduziert wurde. Der Vorteil der Satellitenbilder wäre in diesem Kontext der einheitliche Aufnahmezeitpunkt für große Gebiete, die höhere Aktualität und die geringeren Kosten der Bilddaten. Im Sinne eines regelmäßigen Monitorings in Intervallen von 3-5 Jahren repräsentiert das Satellitenbild die beste Lösung, da es periodisch verfügbar ist, aber deutlich kostengünstiger als regelmäßige Befliegungen.

Aus den in Kapitel 2.1 gestellten Anforderungen wird ersichtlich, daß als Datengrundlage für die Bodenbilanz entweder eigenes Bildflugmaterial oder Satellitendaten in Frage kommen. Aufgrund der deutlich geringeren Kosten hat das Land Oberösterreich den Satellitendaten den Vorzug gegeben und sich an der Projektinitiative MISSION beteiligt.

3 ANWENDUNG

Im Rahmen der Projektinitiative MISSION – Teilprojekt Nutzungskartierung – wurden die im letzten Kapitel diskutierten Aspekte der Raumbbeobachtung mittels Satellitendaten untersucht. Als Datengrundlage standen geo-referenzierte Aufnahmen des indischen Fernerkundungssatelliten IRS-1C und des amerikanischen Erdbeobachtungssystems Landsat TM aus den Jahren 1996 und 1997 zur Verfügung (siehe auch Anhang 1 – Sensorparameter). Ziel der Arbeiten war die zumindest zum Teil automatisierte Erstellung einer digitalen Landnutzungskarte aus Satellitenbilddaten, die als Grundlage für die Bodenbilanz eingesetzt werden kann. Die Nomenklatur der einzelnen auszuweisenden Nutzungsklassen ist in Anhang 2 dargestellt.

3.1 Methodik

Zunächst wurde der Nutzen der einzelnen Datenquellen in Bezug auf die Aufgabenstellung untersucht. Im Sinne der thematischen Differenzierung bieten multispektrale Aufnahmen eine gute Grundlage, da sie mittels statistischer Klassifikatoren semi-automatisch ausgewertet werden können. Allerdings liegt die beste räumliche Auflösung multispektraler Bilddaten, die zur Zeit operationell zur Verfügung steht, im Bereich von 20m und erfüllt daher die geometrischen Anforderungen nicht. Im Gegensatz dazu bieten panchromatische Aufnahmen eine ausreichend genaue Auflösung, liefern aber nur eine beschränkte thematische Information. Daher wurde im Rahmen des Projektes ein Verfahren entwickelt, daß die Kombination beider Informationsquellen ermöglicht. Dieses Verfahren, genannt Adaptive Image Fusion (AIF), extrahiert Objekte aus den hochauflösenden panchromatischen Daten und „füllt“ diese mit der multispektralen Information. Als Ergebnis liegt ein multispektrales Bild vor, das jedoch die hohe Auflösung der panchromatischen Aufnahme aufweist. Im Gegensatz zu üblichen Verfahren des *Image Mergings* bleibt die spektrale Information dabei unverändert, was die weitere numerische Bearbeitung der Ergebnisse ohne störende Einflüsse erlaubt (Steinnocher 1997).

Die Ergebnisse der AIF wurden sodann einer multispektralen Klassifikation unterworfen, wobei zunächst Aufnahmen eines Zeitpunktes herangezogen wurden. Das Problem der Auswertung solcher monotemporaler

Aufnahmen liegt in der statischen Betrachtung des Raumes. Zwar können verschiedene Arten der Landbedeckung unterschieden werden, genauere Differenzierungen, vor allem im Bereich des Grünlandes, sind jedoch nur beschränkt möglich. Daher wurde das Verfahren um die zeitliche Komponente erweitert, indem multitemporale Aufnahmen, also Bilddaten mehrerer Zeitpunkte innerhalb eines Jahres, eingesetzt wurden. Dadurch war es möglich, kurzzeitige Veränderungen im Bereich der Vegetation in der Auswertung zu berücksichtigen. Das betrifft vor allem die Trennung landwirtschaftlich genutzter Flächen von Weiden, Wiesen und natürlicher Vegetation. Auch die Abgrenzung von bebauten Flächen konnte mit diesem Ansatz verbessert werden. Als Ergebnis dieses Arbeitsschrittes lag eine digitale Landnutzungskarte vor, die einer eingehenden Bewertung hinsichtlich ihrer Eignung für die Erstellung der Bodenbilanz unterzogen werden konnte (Steinnocher et al, 1998).

3.2 Bewertung

Auf der ersten Ebene der Nomenklatur konnte klar zwischen Bauland und Grünland unterschieden werden. Die automatische Erfassung der Verkehrsflächen, insbesondere der Straßen, erfordert jedoch zusätzliche Untersuchungen. Eine Möglichkeit stellen Algorithmen dar, die auf Linienverfolgung basieren. Hilfreich wäre in diesem Kontext in jedem Fall die Verwendung bestehender Daten des Straßennetzes im GIS, die zum Trainieren solcher Algorithmen verwendet werden könnten.

Innerhalb der Klasse Bauland kann zuverlässig zwischen dichter und lockerer Siedlungsstruktur unterschieden werden. Inwieweit diese Trennung jedoch der Definition Kerngebiet bzw. Wohnbaugebiet entspricht müßte durch Vergleich mit Flächenwidmungsplänen bestimmt werden. Industriegebiete mit einer signifikanten Flächenausdehnung werden zum Großteil erkannt. Allerdings können sie nicht direkt über ihren Oberflächentyp klassifiziert werden, sondern ergeben sich aus dem Kontext benachbarter Regionen. Hier ist also eine interaktive Nachbearbeitung notwendig, die jedoch mit relativ geringem Aufwand durchgeführt werden kann. Als schwieriger gestaltet sich die Ausweisung von Gewerbegebieten, da ihre Struktur sowohl Industriegebieten – z.B. bei Einkaufszentren - als auch Wohngebieten – bei Kleingewerbe - entsprechen kann. Zur eindeutigen Bestimmung dieser Klasse sind zusätzliche Informationen unerlässlich.

Am besten sind die Ergebnisse für die Differenzierung von Grünlandnutzung. Durch den Einsatz multitemporaler Satellitendaten konnte zuverlässig zwischen Wiesen/Weiden, Ackerland und Wald unterschieden werden. Die Trennung von Laub-, Misch- und Nadelwald wurde aufgrund fehlender Referenzdaten nicht durchgeführt, sollte aber methodisch kein Problem darstellen. Im Bereich der landwirtschaftlichen Nutzung wurden zusätzlich die wichtigsten im Untersuchungsraum angebauten Kulturen ausgewiesen. Von den in der Nomenklatur angegebenen Sonderflächen wurden Abbaugelände und natürliche Vegetation ausgewiesen. Vegetationslose Flächen, außerhalb der landwirtschaftlichen Brachflächen, traten im Untersuchungsgebiet nicht auf.

4 CONCLUSIO UND AUSBLICK

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß ein Großteil der gestellten Anforderungen erfüllt werden konnte. Besonders im Hinblick auf großräumige Untersuchungen ist die Fernerkundung als geeignetes Instrument zur Erstellung der Bodenbilanz zu bewerten. Kleinräumige Fragestellungen erreichen hingegen bald die Grenze der verfügbaren Auflösung von 5m. Eine weitere Steigerung der Auflösung scheint nicht sinnvoll, da sowohl das Datenvolumen als auch die Kosten einen realistischen Rahmen sprengen würden. Hilfreich wäre allerdings eine feinere Auflösung im multispektralen Bereich, die mit 25m deutlich unter den Anforderungen lag. Die Methoden der *Image Fusion* konnten diesen Nachteil zwar relativieren, aber nicht eliminieren.

Der Einsatz von Satellitendaten erweist sich als besonders effektiv, wenn die Bodenbedeckung und deren Veränderung erfaßt werden soll. Das gilt vor allem für Grünlandnutzungen, wobei für eine effiziente Auswertung unbedingt multitemporale Satellitendaten herangezogen werden sollten. Probleme ergeben sich bei denjenigen Objekten, deren Nutzung nicht oder nur beschränkt aus der Bodenbedeckung abgeleitet werden können. Das betrifft in erster Linie die Nutzungsarten im Bauland, deren Interpretation die Einbeziehung von Sekundärinformationen (z.B. Flächenwidmung) notwendig macht. Je höher der Differenzierungsgrad der Nutzungsklassen sein soll, desto detaillierter müssen die sekundären Informationen zur Verfügung stehen.

Für die großräumige Beobachtung der Entwicklung von Raumnutzungen auf der Basis von Satellitendaten bieten sich deshalb zwei Strategien an:

- ?? Eine hoch differenzierte, flächendeckende Erfassung der Bodennutzung zum ersten Beobachtungszeitpunkt unter Einbeziehung umfangreicher Sekundärinformationen und periodische Erfassung der Veränderungen; oder
- ?? die Beschränkung auf wenige relevante Nutzungen und eine differenzierte Erfassung der Veränderung dieser Nutzungen.

Während einzelne Aspekte der ersten Strategie, vor allem in Hinblick auf die Bodenbilanz, noch zu klären sind, bietet sich die zweite Strategie als Grundlage für ein gezieltes Monitoring bestimmter Nutzungen bereits heute an, z.B. zum Rohstoffmonitoring. Die zunehmenden Konflikte im Bereich des Rohstoffabbaues und die stark divergierenden Angaben über die genehmigten Rohstoffreserven erfordern gesicherte Informationen über den Verlauf von Abbautätigkeiten und die damit verbundene Reservensituation. Unter Einsatz von Satellitenbilddaten könnte die Entwicklung von Abbauflächen erfaßt und die abgebauten Mengen abgeschätzt werden. Diese Vorgangsweise ermöglicht die gebietsweise Beurteilung der Versorgungssituation in kurzen Zeitabständen und eine deutliche Verbesserung der Entscheidungsgrundlagen für die Rohstoffpolitik.

Anhang 1: Sensorparameter

System	Sensor	Kanal	räumliche Auflösung (m)	Aufnahmestreifen (km)	spektrale Auflösung (?m)
IRS-1C	PAN	1	5.8	70	0.50 - 0.75
	LISS-III	2	23.5	141	0.52 - 0.59
		3	23.5	141	0.62 - 0.68
		4	23.5	141	0.77 - 0.86
		5	70.5	148	1.55 - 1.70
Landsat	TM	1	30.0	185	0.45 - 0.52
		2	30.0	185	0.52 - 0.60
		3	30.0	185	0.63 - 0.69
		4	30.0	185	0.76 - 0.90
		5	30.0	185	1.55 - 1.75
		6	30.0	185	1.55 - 1.75
		7	30.0	185	2.08 - 2.35

Anhang 2: Nomenklatur

1. Bauland	1.1 Städtisches Kerngebiet	
	1.2 Wohnbauggebiet	
	1.3 <i>Mischgebiet</i>	
	1.4 <i>Gewerbegebiet</i>	
	1.5 <i>Industriegebiet</i>	
2. Verkehrsgebiet	2.1 <i>Straßenverkehrsflächen</i>	2.1.1 fließend 2.1.2 ruhend
	2.2 <i>Bahnverkehrsflächen</i>	
	2.3 <i>Flugverkehrsflächen</i>	
3. Grünland	3.1 Landwirtschaftliche Nutzung	3.1.1 Wiesen / Weiden
		3.1.2 Ackerland
	3.2 Wald	3.2.1 <i>Laubwald</i>
		3.2.2 <i>Mischwald</i>
		3.2.3 <i>Nadelwald</i>
	3.3 <i>Sonderflächen</i>	3.3.1 <i>Friedhöfe</i>
		3.3.2 <i>Schottergruben</i>
		3.3.3 <i>natürliche Vegetation</i>
		3.3.4 <i>vegetationslose Flächen</i>
	3.3.n	

normal aus Fernerkundungsdaten (semi-)automatisch extrahierbare Information
kursiv aus Fernerkundungsdaten und zusätzlicher Information im GIS extrahierbar
fett in Fernerkundungsdaten nicht oder nur durch zusätzliches Wissen zu differenzieren

LITERATUR

- Steinnocher K. (1997): Application of adaptive filters for multisensoral image fusion. Proc. IGARSS'97, 3.-8. August 1997, Singapore, pp. 910-912.
- Steinnocher K., Knötig G., Köstl M. und Kressler M. (1998): Entwicklung und Anwendung von Verfahren zur Erfassung und Aktualisierung von Nutzungskartierungen aus hochauflösenden Fernerkundungsdaten für den Einsatz in der Raumplanung - *Endbericht*. OEFZS-A-4379, Seibersdorf.

