

Überprüfung der Landnutzungsmodelle ATKIS, CORINE Land Cover und Landsat-Klassifikation anhand Feldkartierung

MARTIN BACH, ELKE HIETEL, HANS-GEORG FREDE & RAINER WALDHARDT, Gießen

Keywords: remote sensing, ATKIS, CORINE land cover, field inventory, Landsat classification, land use model.

Zusammenfassung: Kenntnisse über die Bedeckung bzw. die Nutzung der Erdoberfläche haben in allen Bereichen der raumbezogenen Planung, Bewertung und Kontrolle höchste Bedeutung. Als digitale Informationsquellen werden dafür vielfach die Landnutzungsmodelle ATKIS, CORINE Land Cover (CLC) sowie Klassifikationen von Satellitenszenen verwendet, deren Wiedergabetreue allerdings im Regelfall nicht beurteilt werden kann. Die Güte der drei genannten Landnutzungsmodelle wird daher exemplarisch anhand der Ergebnisse einer Feldkartierung der Nutzungsklassen ‚Siedlung und Verkehr‘, ‚Wald‘, ‚Ackerland‘, ‚Grünland‘ sowie ‚Brachland (einschließlich sonstiger Nutzungen)‘ in zwei Testgebieten (drei Gemarkungen, zusammen 17 km²) in Mittelhessen überprüft. Das Untersuchungsgebiet ist durch eine kleinstrukturierte Landschaft mit einem relativ hohen Anteil an Bracheflächen gekennzeichnet. Die Ergebnisse der overall accuracy für die drei Landnutzungsmodelle variieren zwischen 69 % und 88 % im Vergleich zur Geländeerhebung in den zwei Kartierungsgebieten. Die Kongruenz der Siedlungs- und Verkehrsflächen sowie der Waldflächen ist deutlich höher als für Ackerland, Grünland und Brache. In der Gesamtbetrachtung der Modelle liefert ATKIS etwas bessere Gütemaße, ohne jedoch den beiden anderen Landnutzungsmodellen entscheidend überlegen zu sein. Das CLC-Modell unterschätzt Nutzungen tendenziell umso stärker, je geringer deren Flächenanteil ist.

Summary: *Verification of land use models ATKIS, CORINE Land Cover und Landsat-classification with field inventory.* Digital maps of the land use/land cover are an essential source of information for any kind of spatial distributed landscape planning and evaluation. Therefore the land use models ATKIS, CORINE Land Cover (CLC), and Landsat-TM-classifications are widely used. However, the users of these data mostly are not able to verify their quality. The fidelity of the three land use models is reviewed based on the results for the classes ‘urban and traffic areas’, ‘forest’, ‘arable land’, ‘grassland’, and ‘fallow land (including other uses)’ of an field inventory in two test areas (together 17 km²) in the German state Hessen. The area of interest is characterized as a small structured landscape with a relatively high portion of fallow land. The results for the overall accuracy between the field inventory and the land use models varies from 69 % to 88 %. For the land uses classes ‘urban and traffic areas’ and ‘forest’ the congruency is clearly better compared to ‘arable land’, ‘grassland’, and ‘fallow’. Overall, the model ATKIS shows a somewhat better rating, without being crucially superior to the two other land use models. The CLC model tends to underestimate land use classes, that have relatively small coverage, or that are more strongly dispersed in the landscape.

1 Einleitung

Kenntnisse über die Bedeckung bzw. die Nutzung der Erdoberfläche haben in allen Bereichen der raumbezogenen Planung, Bewertung und Kontrolle höchste Bedeutung.

Insbesondere für GIS-gestützte Analysen und für die raumvariate Modellierung von physischen Prozessen im Landschaftsmaßstab sind Informationen über die Art und die räumliche Verteilung der Landnutzung unverzichtbar. Für diese Zwecke werden re-

gelmäßig digitale Karten zur Landnutzungsverteilung herangezogen. In Deutschland kommen dabei für mesoskalige Anwendungen vor allem die drei digitalen Landnutzungsmodelle ATKIS, CORINE Land Cover (CLC) sowie Landnutzungsklassifikationen von Satellitenszenen als Datenquellen in Betracht. Eine ausführliche Darstellung bedeutender nationaler und internationaler Flächenerhebungsprogramme in Europa geben u. a. MEINEL & HENNERSDORF (2002).

Der Gebrauchswert digitaler Landnutzungsmodelle für den Nutzer hängt maßgeblich von ihrer Qualität ab, das heißt von der Güte der Übereinstimmung zwischen Modellabbildung und Wirklichkeit. Digitale Kartenwerke können jedoch zwangsläufig keine naturgetreue 1 : 1-Wiedergabe der realen Flächennutzung bzw. Bodenbedeckung leisten. Die Erstellung eines digitalen Modells der Landnutzung bzw. Bodenbedeckung bedingt, sowohl die Zahl der Geoobjekte als auch die Anzahl der Attribute und die Differenzierung für diese Geoobjekte auf ein praktikables Maß zu beschränken. Diese Bearbeitungsschritte reduzieren zwangsläufig den Informationsgehalt des Endproduktes, da mit der Aggregation sowohl auf der geometrischen als auch auf der sachlichen Ebene unvermeidlich eine Reduktion von Komplexität einhergeht. Ein Geodatenmodell bedeutet somit immer eine Generalisierung der Informationsvielfalt und eine Abstraktion der Realität (SBRESNY 1997).

In Anbetracht dieser Einschränkungen ist für praktische Anwendungen zu fragen, mit welcher Güte die drei häufig verwendeten Landnutzungsmodelle ATKIS, CLC und Landsat-TM-Klassifikation die reale Flächennutzung wiedergeben. Zur Beantwortung dieser Frage werden im vorliegenden Beitrag die Wiedergabetreue (respektive die Abweichungen) der drei aufgeführten Landnutzungsmodelle anhand einer Geländekartierung der Landnutzung in drei Gemarkungen überprüft. Parallel dazu ist die Kongruenz der drei Landnutzungsmodelle für ein größeres Untersuchungsgebiet untersucht sowie mit statistischen Angaben zur Flächennutzung verglichen worden (BACH et al. 2005).

2 Daten und Methodik

2.1 Geländekartierung

Im Rahmen des Sonderforschungsbereichs SFB 299 „Landnutzungskonzepte für periphere Regionen“ (FREDE & BACH 1999) sind in zwei Arealen des Untersuchungsgebietes des SFB 299 Geländekartierungen durchgeführt worden: in der Gemarkung Erda (Gemeinde Hohenahr) mit 1007 Hektar kartierter Fläche sowie in den zwei aneinander grenzenden Gemarkungen Steinbrücken (Gemeinde Dietzhölzthal) und Eibelshausen (Gemeinde Eschenburg) mit zusammen 692 Hektar ausgewerteter Kartierungsfläche (Abb. 1). Für die Kartierung wurden, auf der Basis der Amtlichen Liegenschaftskarte (ALK, Maßstab 1 : 5.000), die Nutzungen in den Jahren 1997 bzw. 1998 parzellenscharf aufgenommen (FUHR-BOSSDORF 2003).

Die kartierten Gemarkungen liegen im mittelhessischen Bergland und sind durch ungünstige agrarstrukturelle und standörtliche Voraussetzungen für die landwirtschaftliche Bewirtschaftung geprägt. Die Freilandflächen weisen eine sehr kleine Parzellierung und einen engräumigen Wechsel von Acker- und Grünlandflächen auf; zudem wird ein vergleichsweise hoher Anteil von Landwirtschaftsflächen als so genannte „Sozialbrache“ nicht mehr für die Agrarproduktion genutzt (HIETEL et al. 2004). Diese Charakteristika der untersuchten Testgebiete sind typisch für viele Mittelgebirgslandschaften in Deutschland. Insbesondere die Gemarkungen Steinbrücken und Eibelshausen (im folgenden Stb./Eibh. abgekürzt) zeichnen sich durch eine fast vollständige Aufgabe der ackerbaulichen Nutzung zugunsten von Grünland, Brache oder Siedlung aus. Entsprechend der Fragestellung des SFB 299 diente die Kartierung vorrangig dem Ziel, die Nutzungsverhältnisse von *Landwirtschaftsflächen* (aktuelle und ehemalige) zu erfassen, so dass sich die Kartierung auf das Freiland konzentrierte; in Stb./Eibh. wurden daher unter anderem die Areale mit geschlossener Besiedlung sowie die Gewässer nicht erfasst. Abbildungen zu den Kartenbildern der Geländekartierung

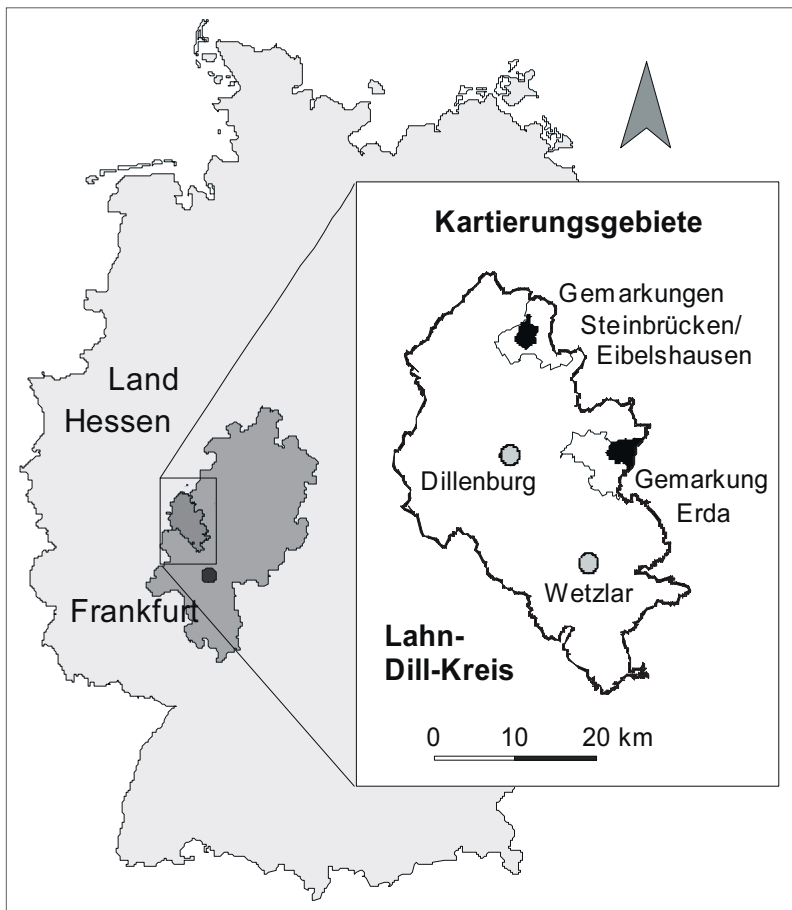


Abb. 1: Kartierungsgebiete Gemarkungen Erda und Steinbrücken/Eibelshausen (Lahn-Dill-Kreis, Hessen).

und des ATKIS-Modells sind in HIETEL et al. (2002) wiedergegeben.

2.2 Digitale Landnutzungsmodelle

In **ATKIS** (Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem) wird die Erdoberfläche durch das topologische Netz der Straßen, Wege, Schienenbahnen und Gewässer in Polygone aufgeteilt (AdV, 2002; <http://www.atkis.de>). Die vorherrschende Nutzung innerhalb der Polygone wird über die visuelle Interpretation von Luftbildern nach Vorschrift des Objektartenkatalogs der AdV (2002) abgeleitet. Der Aktualisierungsrhythmus beträgt fünf Jahre, wobei nach

Auskunft der Katasterverwaltung der Schwerpunkt allerdings auf der Aktualisierung des topografischen Netzes und weniger auf der Überprüfung der Nutzungen liegt. Die Mindest erfassungsgrößen sind für verschiedene Objektarten unterschiedlich, für Vegetationsflächen im Freiland gilt beispielsweise 1 Hektar als Mindestgröße, für Waldflächen 0,1 Hektar. ATKIS ist nicht flurstückstreu, beispielsweise werden Straßen und Wege stets nur als Linienobjekte repräsentiert. Die Lagegenauigkeit wird mit ca. ± 3 m für die wesentlichen linearen Objekte (Maschenbildner) und mit ca. ± 10 m für die übrigen Grenzlinien im Freiland angegeben. Für die hier durchgeführte Unter-

suchung wurde der ATKIS-Datenbestand des Hessischen Landesvermessungsamts mit Stand vom 1. 1. 1998 verwendet; Tab. 1 gibt eine Übersicht der ausgewerteten Objektklassen.

CORINE Land Cover (CLC, COoRdination of INformation on the Environment) bezeichnet einen Datenbestand zur Bodenbedeckung, der nach einheitlicher Methodik für 28 Länder in Europa erstellt worden ist (European Communities Commission 1992). Landsat TM-Szenen aus den Jahren 1989 bis 1992 wurden zunächst unter Bezugnahme auf topographische Karten im Maßstab 1:100.000 geokodiert (Statistisches Bundesamt 1997); anschließend wurden die Bodenbedeckungsdaten über eine rechnergestützte visuelle Satellitenbildinterpretation ermittelt und den CLC-Erhebungseinheiten zugewiesen (Statistisches Bundesamt 1996; <http://www.destatis.de/stabis/start.htm>). Die Mindestgröße der Erhebungseinheiten (Erfassungsuntergrenze) beträgt 25 Hektar, linienförmige Objekte (z. B. Gewässerläufe) werden ab einer Breite von 100 m erfasst. Die CLC-Nomenklatur unterscheidet in der dritten Gliederungsebene 44 Klassen, die eine Mischform aus Bedeckungs- und Nutzungskategorien darstellen.

Landsat-5-TM-Klassifikation des Untersuchungsgebietes von NÖHLES (2000), für die drei Miniszene (50 km * 50 km, path/row 196/25 nach World Reference System, Pixelgröße 30 m) vom 24.06.1994, 14.10.1994 und 23.03.1995 als multitemporale Klassifikation in einem dreistufigen Verfahren ausgewertet wurden. An die (i) geometrische und radiometrische Korrektur schloss sich (ii) eine überwachte hierarchische Klassifikation mit fünf Landbedeckungsklassen (Siedlung, Laubwald, Nadelwald, Gewässer, ‚Restflächen‘) an. Die Klasse der ‚Restflächen‘ wurde anschließend (iii) in einer Subpixelklassifikation weiter interpretiert und mit dem Verfahren der Spectral Mixture Analysis (SMA) in die drei Klassen ‚Ackerland‘, ‚Grünland‘ und ‚Übergangsvegetation‘ aufgeteilt. Aufgabe der SMA war es speziell, die Pixel mit so genannter Übergangsvegetation, d.h. verschiedenen Sukzessionsstadien des Vegeta-

tionsaufwuchses auf Bracheflächen, als eigene Klasse von den Ackerland- und Grünlandflächen zu trennen; Einzelheiten zu Methodik und Ergebnissen siehe NÖHLES (2000).

2.3 Datenaufbereitung und Analyse

Entsprechend ihrer unterschiedlichen Erhebungsmethodik und Zielstellung verwenden die drei Landnutzungsmodelle unterschiedliche Klassifikationssysteme zur Einteilung der Flächennutzung bzw. Bodenbedeckung. Die Nutzungsklassen der digitalen Modelle müssen daher zunächst einer der fünf Kategorien ‚Siedlung und Verkehr‘, ‚Wald‘, ‚Ackerland‘, ‚Grünland‘ oder ‚Brachland (einschl. sonstige Nutzungen)‘ der Feldkartierung zugeordnet werden (Tab. 1); Gewässer wurden in der Feldkartierung nicht berücksichtigt. Die Kategorien *Siedlung und Verkehr*, *Wald* sowie *Grünland* werden in den Nomenklaturen der drei Modelle weitgehend übereinstimmend definiert, so dass ihre Gleichsetzung unproblematisch erscheint. Zum *Ackerland* gehören in den Landnutzungsmodellen auch die Flächen mit so genannter konjunktureller (einjähriger) Flächenstilllegung; in CLC werden darüber hinaus mit den Klassen 2.4.2 ‚Komplexe Parzellenstrukturen‘ und 2.4.3 ‚Landwirtschaftsfläche mit Flächen natürlicher Bodenbedeckung‘ auch Areale dazugerechnet, die nur teilweise ackerbaulich genutzt werden.

In der Kategorie *Brachland (einschl. sonstige Nutzungen)* wird ein heterogenes Spektrum an Nutzungsformen bzw. Bodenbedeckungen zusammengefasst, deren Ansprache als ‚Brachland‘ in der Geländeerhebung sich vornehmlich am Vegetationsbestand einer Fläche orientierte. Zum einen fällt das Brachland im klassischen Sinne darunter, das heißt ehemalige Agrarflächen, die seit mehr oder weniger langer Zeit nicht mehr bewirtschaftet (gepflügt, gemäht oder beweidet) werden und auf denen sich eine Spontanvegetation etabliert hat, sowie alle übrigen naturbelassenen Flächen. Weiterhin werden in diese Kategorie auch Gartenland, Dauerkulturflächen und Streuobstwiesen

Tab. 1: Gleichsetzung der Flächennutzungs- bzw. Landbedeckungsklassen der Feldkartierung mit den drei Landnutzungs/Landbedeckungsmodellen.

| Geleändekartierung Nutzungskategorie ^a | ATKIS-Objektarten ^a | CLC-Klassen ^a | Landsat-5- Klassifikation ^b |
|--|--|--|---|
| <i>Siedlung und Verkehr</i> | 2xxx Siedlung 3xxx Verkehr | 1.x.x Bebaute Flächen | „Siedlung“ |
| <i>Wald</i> | 4107 Wald, Forst 4108 Gehölz | 3.1.x Wälder | „Laubwald“ „Nadelwald“ |
| <i>Ackerland</i> | 4101 Ackerland | 2.1.1 Ackerland 2.4.2 Komplexe Parzellenstrukturen 2.4.3 LF mit Fl. natürl. Bodenbedeckung. | „Ackerland“ |
| <i>Grünland</i> | 4102 Grünland | 2.3.x Grünland | „Grünland“ |
| <i>Brachland (einschl. sonstige Nutzungen)</i> | 4103 Gartenland 4104 Heide 4105 Moor, Moos 4106 Sumpf, Ried 4110 Brachland 4120 Vegetat.lose Fl. 4199 Vegetation unbestimmbar | 2.2.x Dauerkulturen 2.4.1 Einj. Kulturen mit Dauerkulturen 3.2.x Strauch- und Krautvegetation 3.3.x Offene Flächen mit geringer Veg. 4.1.x Feuchtf Flächen | „Übergangsvegetation“ |
| <i>(Wasserfläche)^c</i> | 51xx Wasserflächen | 5.1.x Wasserflächen | „Gewässer“ |

a) In der Tab. nicht aufgeführte Objektarten bzw. Klassen sind im Untersuchungsgebiet nicht vertreten bzw. wurden nicht kartiert.

b) Landbedeckungsklassen der Landsat 5-TM-Klassifikation von NÖHLES (2000)

c) Wasserflächen wurden bei der Kartierung nicht berücksichtigt.

eingeorordnet, für die aufgrund ihres sehr geringen Flächenanteils im Untersuchungsgebiet keine eigene Rubrik erstellt werden sollte. Und schließlich sind als ‚Sonstige Nutzungen‘ im Untersuchungsgebiet unter anderem noch militärisch genutzte Areale, Deponien und Abbauf Flächen vertreten, die überwiegend mit Vegetation bedeckt sind und deren Erscheinungsbild mit Kraut- und Buschbewuchs dem Brachland ähnelt.

Zur Beurteilung der Wiedergabequalität sind die drei Landnutzungsmodelle mit den Ergebniskarten der Nutzungskartierung im Gelände verschnitten (ArcView[®] 3.2-Extension *Geoprocessing*, Funktion *Intersect*) und die Flächenanteile der Objekte mit gleicher Nutzung gezählt worden. Zur Bewertung der Übereinstimmung der Flächennutzungen zwischen Feldkartierung und den einzelnen Landnutzungsmodellen wurden error matrices sowie overall accuracy, user accuracy

und Cohen's kappa-Koeffizient herangezogen (CONGALTON 1991, STEHMAN 1997).

3 Ergebnisse

Die Nutzungsanteile nach Geländekartierung und nach den drei Landnutzungsmodellen für die drei Gemarkungen werden in Tab. 2 verglichen. Für die *Siedlungs- und Verkehrsflächen* betragen die größten absoluten Differenzen zur Kartierung 1,4%-Punkte in der Gemarkung Erda und rd. 3%-Punkte in den Gemarkungen Stb./Eibh. *Wald* nimmt nach Geländeaufnahme in Erda 37,3% Anteil ein, während die Landnutzungsmodelle zwischen 33,8 und 41,9% angeben, d.h. der größte Unterschied zwischen zwei Landnutzungsmodellen beträgt für eine der vier Hauptnutzungskategorien 8%-Punkte. In Stb./Eibh. sind die Ergebnisse homogener: 54,1% Wald nach Kartierung

Tab. 2: Flächennutzung nach verschiedenen Landnutzungs-/Landbedeckungsmodellen im Vergleich zur Geländekartierung in den Gemarkungen Erda und Steinbrücken/Eibelshausen.

| Nutzungs-klasse | Gemarkung Erda (10,07 km ²) | | | | Steinbrücken/Eibelshausen (6,92 km ²) | | | |
|-----------------------------------|---|---------|-------|--------------|---|---------|-------|--------------|
| | Kartie-rung % | ATKIS % | CLC % | Land-sat 5 % | Kartie-rung % | ATKIS % | CLC % | Land-sat 5 % |
| Siedlung u. Verkehr | 8,11 | 8,04 | 7,57 | 6,70 | 3,36 | 4,63 | 6,39 | 4,85 |
| Wald | 37,31 | 39,71 | 33,78 | 41,86 | 54,11 | 55,72 | 53,03 | 51,08 |
| Wasser | n. b. | 0,03 | 0,00 | 0,00 | n. b. | 0,57 | 0,00 | 0,00 |
| Freiland zusammen | 54,58 | 52,22 | 58,65 | 51,44 | 42,53 | 39,08 | 41,58 | 44,07 |
| davon: | | | | | | | | |
| – Ackerland | 28,79 | 31,02 | 27,67 | 26,30 | 1,44 | 10,34 | 17,28 | 3,69 |
| – Grünland | 21,01 | 21,08 | 30,99 | 19,95 | 30,12 | 27,29 | 23,30 | 27,54 |
| – Brache, Ödland, Übergangsveget. | 1,05 | 0,04 | | 5,19 | 6,29 | 1,39 | | 12,35 |
| – Gartenland | 0,26 | 0,08 | | | 1,78 | 0,05 | | |
| – Streuobst | 1,44 | | | | 1,23 | | | |
| – Sonstige Nutzung | 2,04 | | | | 1,67 | | | |

stehen Angaben der Modelle von 51,1 bis 55,7% gegenüber. Auch für die Kategorie *Freiland* liegen die Bandbreiten der Nutzungsanteile in ähnlichen Größenordnungen, in Erda beträgt die Überschätzung durch CLC rd. 4%-Punkte, während ATKIS und Landsat-5 den Freilandanteil um ca. 3%-Punkte unterschätzen. Für Stb./Eibh. liefert dagegen das ATKIS-Modell das schlechteste Ergebnis, welches das Freiland um 3,5% zu gering schätzt; Landsat-5 weist hier mit 44,1% den höchsten Anteil aus. Wasserflächen wurden in der Geländeaufnahme nicht berücksichtigt, so dass dafür keine Vergleichswerte zu den Landnutzungsmodellen vorhanden sind.

Schlüsselt man die Freilandnutzungen weiter auf, so werden teilweise starke Diskrepanzen offenkundig. Für *Ackerland* werden für Erda von allen Informationsquellen relativ übereinstimmend Anteile von 26,3% bis 31,0% genannt. Für Stb./Eibh. dagegen sind in der Kartierung nur 1,4% Ackerflächen ermittelt worden, was auch von der Landsat-5-Klassifikation mit 3,7% noch relativ gut wiedergegeben wird, während nach ATKIS 10,3% und nach CLC sogar 17,3% Ackerland in diesen Gemarkungen anzutreffen sein sollten. Die Angaben zu den *Grünlandanteilen* sind aufgrund der unterschiedlichen Klassifikationssysteme zur Flächennutzung/Bodenbedeckung der Land-

nutzungsmodelle nicht unmittelbar vergleichbar, da die Klasse *Grünland* in CLC und in ATKIS (teilweise) auch Flächen mit Brachland bzw. Vegetationssukzession beinhaltet. Die Ergebnisse der Landsat-5-Klasse *Übergangsvegetation* mit 5,2% in Erda resp. 12,4% in Stb./Eibh. stimmen mit den Summen von *Brache, Ödland, Gartenland, Streuobst* sowie *Sonstige Nutzungen* der Felderhebung gut überein, die dafür 4,8% in Erda resp. 11,0% in Stb./Eibh. angibt.

Die Gesamtübereinstimmung zwischen Geländekartierung und den Landnutzungsmodellen beträgt im besten Fall 87,6% (overall accuracy der ATKIS-Daten für Erda, Berechnung mit N = 6 Nutzungskategorien), das schlechteste Ergebnis liefert CLC für Stb./Eibh. mit 69,2% (Tab. 3). Das ATKIS-Modell schneidet in beiden Testgebieten am besten ab, während CLC die geringste Übereinstimmung zeigt, was vor allem in der wesentlich stärkeren Aggregation infolge der Mindestobjektgröße von 25 Hektar in CLC begründet ist. Die Güte der Landsat-5-Klassifikation rangiert jeweils zwischen diesen beiden Landnutzungsmodellen. Im Vergleich der Testgebiete deuten die durchgängig niedrigeren Werte der overall accuracy für Stb./Eibh. darauf hin, dass die Landnutzungs- bzw. Landbedeckungsmodelle das tatsächliche Nutzungsmuster

umso schlechter abbilden können, je klein-strukturierter und vielfältiger die Nutzungsverteilung in einen Landschaftsraum ist.

Für die einzelnen Nutzungskategorien erreicht die Flächenkongruenz im Maximum 99% (*Waldflächen* des ATKIS-Modell für Erda; Tab. 4). Mit Werten von über 80% für

vier Nutzungskategorien zeigt ATKIS für das Testgebiet Erda hier durchgängig relativ eine hohe Übereinstimmung zwischen Modell und Kartierung; die *Bracheflächen* werden jedoch nicht getroffen. Die user accuracy für die Klassen *Siedlung und Verkehr* sowie *Wald* zeigt keine nennenswerten Unterschiede zwischen den drei Landnutzungs-

Tab. 3: Gütemaße der Übereinstimmung zwischen Geländekartierung und den Landnutzungs-/Landbedeckungsmodellen in den Gemarkungen.

| Vergleich ^a | Gemarkung Erda (10,07 km ²) | | Steinbrücken/Eibelshausen (6,92 km ²) | |
|--------------------------|---|-------------------|---|-------------------|
| | overall accuracy | kappa Koeffizient | overall accuracy | kappa Koeffizient |
| Kartierung vs. ATKIS | 0,876 | 0,826 | 0,796 | 0,660 |
| Kartierung vs. CLC | 0,748 | 0,652 | 0,692 | 0,518 |
| Kartierung vs. Landsat 5 | 0,792 | 0,707 | 0,742 | 0,587 |

Tab. 4: Übereinstimmung zwischen Flächennutzung nach Geländekartierung und nach Landnutzungs-/Landbedeckungsmodellen in der Gemarkung Erda (10,07 km²).

| ATKIS | Kartierung (Referenz) | | | | | User accuracy |
|------------------------------------|-----------------------|--------------|--------------|--------------|------------------------------------|---------------|
| | Siedlung und Verkehr | Wald | Ackerland | Grünland | Brache, sonst. Nutzg. ^a | |
| Siedlung und Verkehr | 0,880 | 0,002 | 0,001 | 0,012 | 0,111 | <i>0,888</i> |
| Wald | 0,006 | 0,991 | 0,006 | 0,007 | 0,489 | <i>0,931</i> |
| Ackerland | 0,029 | 0,004 | 0,917 | 0,170 | 0,138 | <i>0,851</i> |
| Grünland | 0,084 | 0,003 | 0,075 | 0,810 | 0,233 | <i>0,807</i> |
| Brache, sonst. Nutzg. ^a | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,024 | <i>0,939</i> |

| CORINE Land Cover | Kartierung (Referenz) | | | | | User accuracy |
|------------------------------------|-----------------------|--------------|--------------|--------------|------------------------------------|---------------|
| | Siedlung und Verkehr | Wald | Ackerland | Grünland | Brache, sonst. Nutzg. ^a | |
| Siedlung und Verkehr | 0,832 | 0,008 | 0,009 | 0,006 | 0,032 | <i>0,891</i> |
| Wald | 0,004 | 0,841 | 0,020 | 0,034 | 0,228 | <i>0,929</i> |
| Ackerland | 0,077 | 0,086 | 0,681 | 0,145 | 0,250 | <i>0,708</i> |
| Grünland | 0,088 | 0,065 | 0,290 | 0,816 | 0,490 | <i>0,553</i> |
| Brache, sonst. Nutzg. ^a | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | <i>0,000</i> |

| Landsat 5 (NÖHLES 2000) | Kartierung (Referenz) | | | | | User accuracy |
|------------------------------------|-----------------------|--------------|--------------|--------------|------------------------------------|---------------|
| | Siedlung und Verkehr | Wald | Ackerland | Grünland | Brache, sonst. Nutzg. ^a | |
| Siedlung und Verkehr | 0,780 | 0,004 | 0,004 | 0,006 | 0,087 | <i>0,883</i> |
| Wald | 0,021 | 0,942 | 0,044 | 0,032 | 0,289 | <i>0,922</i> |
| Ackerland | 0,071 | 0,010 | 0,764 | 0,207 | 0,140 | <i>0,783</i> |
| Grünland | 0,095 | 0,006 | 0,142 | 0,704 | 0,247 | <i>0,704</i> |
| Brache, sonst. Nutzg. ^a | 0,033 | 0,039 | 0,046 | 0,052 | 0,236 | <i>0,206</i> |

^{a)} Brachland, Gartenland, Streuobstwiesen, Übergangsvegetation, Ödland, sonstige Nutzungen.

Tab. 5: Übereinstimmung zwischen Flächennutzung nach Geländekartierung und nach Landnutzungs-/ Landbedeckungsmodellen in den Gemarkungen Steinbrücken/Eibelshausen (6,92 km²).

| ATKIS | Kartierung (Referenz) | | | | | User accuracy |
|------------------------------------|-----------------------|--------------|--------------|--------------|------------------------------------|---------------|
| | Siedlung und Verkehr | Wald | Ackerland | Grünland | Brache, sonst. Nutzg. ^a | |
| Siedlung und Verkehr | 0,897 | 0,005 | 0,000 | 0,011 | 0,092 | 0,652 |
| Wald | 0,053 | 0,973 | 0,001 | 0,019 | 0,212 | 0,945 |
| Ackerland | 0,007 | 0,002 | 0,880 | 0,248 | 0,133 | 0,123 |
| Grünland | 0,043 | 0,019 | 0,116 | 0,714 | 0,407 | 0,788 |
| Brache, sonst. Nutzg. ^a | 0,000 | 0,001 | 0,003 | 0,007 | 0,106 | 0,807 |

| CORINE Land Cover | Kartierung (Referenz) | | | | | User accuracy |
|------------------------------------|-----------------------|--------------|--------------|--------------|------------------------------------|---------------|
| | Siedlung und Verkehr | Wald | Ackerland | Grünland | Brache, sonst. Nutzg. ^a | |
| Siedlung und Verkehr | 0,378 | 0,037 | 0,021 | 0,064 | 0,104 | 0,199 |
| Wald | 0,071 | 0,906 | 0,012 | 0,071 | 0,147 | 0,924 |
| Ackerland | 0,306 | 0,035 | 0,442 | 0,257 | 0,548 | 0,037 |
| Grünland | 0,244 | 0,022 | 0,524 | 0,608 | 0,201 | 0,786 |
| Brache, sonst. Nutzg. ^a | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |

| Landsat 5 (NÖHLES 2000) | Kartierung (Referenz) | | | | | User accuracy |
|------------------------------------|-----------------------|--------------|--------------|--------------|------------------------------------|---------------|
| | Siedlung und Verkehr | Wald | Ackerland | Grünland | Brache, sonst. Nutzg. ^a | |
| Siedlung und Verkehr | 0,426 | 0,027 | 0,008 | 0,036 | 0,077 | 0,296 |
| Wald | 0,096 | 0,860 | 0,108 | 0,042 | 0,256 | 0,911 |
| Ackerland | 0,163 | 0,004 | 0,241 | 0,071 | 0,037 | 0,094 |
| Grünland | 0,227 | 0,029 | 0,503 | 0,729 | 0,231 | 0,798 |
| Brache, sonst. Nutzg. ^a | 0,087 | 0,079 | 0,140 | 0,121 | 0,356 | 0,316 |

^{a)} Brachland, Gartenland, Streuobstwiesen, Übergangsv egetation, Ödland, Sonstige Nutzungen.

modellen; offensichtlich wirken sich bei diesen Nutzungsformen, die meist in relativ großen, geschlossenen Arealen auftreten, die unterschiedlichen Mindestobjektgrößen der drei Modelle kaum auf die Abbildungsgüte aus. Erst bei Betrachtung der Ergebnisse für die verschiedenen Nutzungen des *Freilandes* mit ihrem kleinräumigen Wechsel werden größere Unterschiede zwischen den Modellen erkennbar. Der Vergleich der *Brachflächen* nach Landsat-5 mit der Kartierung verdeutlicht, dass ein annähernd identischer Flächenanteil nicht zwangsläufig auch eine gute Flächenübereinstimmung bedeuten muss. Während die Bracheanteile in Erda mit 5,2% nach Landsat-5-Klassifikation bzw. 4,8% nach Kartierung ähnlich

hoch sind, stimmt die Lokalisierung dieser Flächen nur zu 23,6% überein.

Die entsprechenden Konformitätstabellen für die Gemarkungen Stb./Eibh. unterstreichen, wie unterschiedlich die Repräsentanz der Landnutzungsmodelle in zwei verschiedenen Testgebieten ausfallen kann (Tab. 5). Die Übereinstimmung der *Siedlungs- und Verkehrsflächen* beträgt in Landsat-5 hier nur noch 42,6% und in CLC 37,8%. Aus dem hohen *Ackerlandanteil* im ATKIS-Datenbestand resultiert zwar eine hohe Kongruenz von 88%, der sehr niedrige Wert der user accuracy von nur 0,12 bringt jedoch die gravierende Überschätzung dieser Nutzung durch ATKIS im Vergleich zur Kartierung zum Ausdruck. Die *Bracheflä-*

chen in den Gemarkungen Stb./Eibh. werden von keinem Modell gut wiedergegeben; selbst die Landsat-5-Klassifikation kann nur rund ein Drittel der Brachefläche zutreffend verorten.

4 Diskussion

Eine externe Validierung bzw. von unabhängiger Seite erhobene Angaben zur Genauigkeit der Landnutzungsmodelle ATKIS, CLC und Landsat-Klassifikationen werden in der Literatur nur sehr selten beschrieben. Für ATKIS sind nach Stand der Kenntnis bislang keine entsprechenden Auswertungen durchgeführt worden. Zur Genauigkeit des CLC-Datensatzes für Deutschland macht das Statistische Bundesamt (1997) keine Angaben; für das CLC-Modell der Niederlande geben THUNISSEN & MIDDELAAR (1995) die Übereinstimmung anhand einer stichprobenartigen Überprüfung an 324 Stellen mit 87% an. Die Klassifikationsgüte ihrer siebenstufigen Landsat-5-Klassifikation beträgt nach NÖHLES (2000) 82,8%. HEINZMANN & ZOLLINGER (1995) kommen bei der Überprüfung einer fünfklassigen Landsat-5-Klassifikation mittels Feldbegehung für ein 9 km²-Areal in der Oberrheinebene zu ähnlich großen Abweichungen für die Nutzungsklassen ‚Ackerland‘ und ‚Rebland‘ wie die hier durchgeführte Untersuchung. JÜRGENS (2000) erreichte eine deutlich bessere Klassifikationsgenauigkeit multitemporaler Landsat-Szenen von rd. 90% für drei Gemeindegebiete, wofür allerdings phänologisch günstigere Aufnahmetermine zur Verfügung standen und die Szenen zusätzlich mit SPOT Pan-Daten zur Georeferenzierung verschnitten wurden.

Als generelles Fazit der Überprüfung von ATKIS, CLC und der Landsat-5-Klassifikation von NÖHLES (2000) anhand einer Feldkartierung ist festzuhalten, dass die reale Nutzungsverteilung in den Testgemarkungen der Untersuchung von den digitalen Landnutzungsmodelle im besten Fall mit einer Kongruenz in der Größenordnung von 90% bei Betrachtung aller Nutzungen repräsentiert wird. Die Übereinstimmung kann aber auch auf unter 70% sinken, wie

das Beispiel des CLC-Datensatzes für Stb./Eibh. zeigt, das heißt auf mehr als 30% der Fläche wurde in diesen Gemarkungen die Nutzung vom Modell falsch wiedergegeben. Legt man den Fokus auf eine differenzierte Analyse der Freilandnutzungen Ackerland, Grünland und Brachland, so verschlechtert sich die Wiedergabetreue aller Landnutzungsmodelle weiter. Insbesondere die Nutzungs-kategorie ‚Brache (einschl. sonstige Nutzungen)‘ wird nur in der Landsat-5-Klassifikation zumindest dem Anteil nach zutreffend berücksichtigt, bei ATKIS und CLC werden die meisten Flächen mit Übergangs- und ähnlicher Vegetation dem Grünland zugeordnet. Wie wenig zuverlässig die Modelle für einzelne Situationen sein können, verdeutlichen die Ergebnisse für Ackerland in Stb./Eibh.: die Übereinstimmung zwischen Kartierung (als Referenz) und CLC beträgt zwar immerhin noch 44%, die Zuverlässigkeit für den Nutzer (user accuracy) des Datenbestandes beträgt für diese Klasse jedoch nur 0,04.

Die nicht unerheblichen Divergenzen, sowohl in Bezug auf die Nutzungsanteile als auch auf die Kongruenz der Nutzungsverteilung, sind teilweise auf die Charakteristika der Modelle zurückzuführen; für verschiedene Effekte können die Autoren allerdings nach Stand der Kenntnis keine Hypothesen anbieten. Die Ursachen für die Abweichungen in den *Nutzungsanteilen* zwischen der Flächenerhebung und den drei Landnutzungsmodellen sind unter anderem in der Generalisierung und Aggregation der drei Geodatenbestände zu suchen, in deren Folge insbesondere kleinere Brachlandareale bzw. sonstige Nutzungen in den sie umgebenden Nutzungen (meistens ‚Grünland‘) aufgehen. Weiterhin kann die fehlende Übereinstimmung mit der Geländeerhebung zu einem gewissen Teil mit den abweichenden Erhebungsjahren der Datenbestände erklärt werden: CLC geht auf die Jahre 1989 bis 1992 zurück, die Landsat-5-Klassifikation von NÖHLES (2000) basiert auf Szenen aus 1994 und 1995, während die Geländekartierungen 1997/98 durchgeführt worden sind; der Aktualisierungsstand der Nutzungen in ATKIS ist nicht dokumen-

tiert. In einer Gemarkung wie Stb./Eibh., in der in den neunziger Jahren in größerem Umfang Agrarflächen brachgefallen sind, werden die Differenzen zur Kartierung sicherlich zu einem gewissen Anteil durch den Zeitversatz zu den Modellen verursacht. Es erscheint allerdings fraglich, ob die gravierenden Differenzen beim ‚Ackerland‘ zwischen Kartierung (1,4%) und ATKIS (10,3%) bzw. CLC (17,3%) in Stb./Eibh. mit dem Zeitversatz ausreichend erklärt werden können. Abweichungen in der hier beobachteten Größenordnung sind wahrscheinlich vorrangig auf die methodischen Fehler bei der Generierung der digitalen Landnutzungsmodelle zurückzuführen.

Die Ergebnisse zur *Kongruenz* der Landnutzungsmodelle mit der aktuellen Nutzung nach Feldkartierung zeigen tendenziell etwas bessere Werte für ATKIS und Landsat-5 im Vergleich zu CLC, was vor allem auf die höhere räumliche Auflösung der Modelle Landsat und ATKIS zurückgeführt werden kann. Die relativ hohe Kongruenz der Landsat-5-Daten ist zudem in der Methodik von NÖHLES (2000) begründet: im Verlauf der hierarchischen Klassifikation sind die einzelnen Nutzungen sukzessive klassiert und nach jedem Schritt die neue Klasse zu einem räumlich möglichst geschlossenen Objekt vereinigt worden. Dabei wurden darin eingeschlossene vereinzelte Pixel mit abweichenden Eigenschaften der Nutzungsklasse des gebildeten Objektes zugeschlagen. Die schlechtere Nutzungsrepräsentanz im CLC-Modell ist auch mit der stärkeren Aggregation der Flächenobjekte zu erklären, deren Mindestgröße 25 ha beträgt. Dadurch werden vor allem diejenigen Nutzungsarten systematisch unterrepräsentiert, die innerhalb einer Raumeinheit nur mit vergleichsweise geringen Flächenanteilen vertreten sind, oder die sich durch eine geringe spezifische Flächengröße auszeichnen.

Infolge der hohen kleinräumigen Variabilität der Nutzungstypen stellen die hier kartierten Gemarkungen zweifellos besonders hohe Anforderungen an die Qualität von Landnutzungsmodellen, insbesondere im Bereich der Freilandnutzungen. Auch wenn für das ATKIS-Modell im Regelfall etwas

bessere Gütemaße ermittelt worden sind, kann bei der Überprüfung der Landnutzungsmodelle nicht von einem eindeutigen „Testsieger“ im Sinne eines optimalen oder besten Datenbestands gesprochen werden. In Anbetracht der Missweisung aller digitalen Modelle gegenüber der Geländekartierung sowie angesichts der Divergenzen der Modelle untereinander (vgl. BACH et al. 2005) ist den Nutzern von Landnutzungsmodellen anzuraten, *jede* Datenquelle zunächst kritisch zu überprüfen. Für bestimmte Anwendungen wie beispielsweise Landschaftsanalysen zur Konnektivität oder zur Grenzliniendichte erscheinen alle drei untersuchten Modelle wenig geeignet, zumindest in Landschaften mit kleinstrukturierter Parzellierung und sehr heterogener Nutzungsverteilung (s.a. HIETEL et al. 2002). In dieser Situation gewinnen dann andere Kriterien für die Entscheidung an Bedeutung (s. dazu MEINEL & HENNERSDORF 2002), welche Landnutzungsdaten ein Modellanwender als Eingabevariablen zur Landnutzung bzw. Bodenbedeckung für sein Modell heranziehen soll. Zu diesen Faktoren gehören beispielsweise die Beschaffungskosten, die Datenverfügbarkeit, der Aktualisierungsstand, die Art der Geodaten (Vektor/Raster), das kategoriale System der Nutzung/Bodenbedeckung, die räumliche Auflösung, die Gebietsabdeckung usw., worauf in diesem Beitrag nicht näher eingegangen werden kann.

5 Danksagung

Die ATKIS-Daten sind freundlicherweise vom Hessischen Landesvermessungsamt zur Verfügung gestellt worden. Für die GIS-Auswertung ist JUKKA HÖHN zu danken. Der SFB 299 wird von der Deutschen Forschungsgemeinschaft, Bonn, finanziell gefördert.

6 Literatur

- AdV (Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen in der Bundesrepublik Deutschland), 2002: ATKIS – Amtliches topographisch-kartographisches Informationssystem.
 – Landesvermessungsamt Nordrhein-Westfalen [<http://www.atkis.de/>].

- BACH, M., BREUER, L., FREDE, H.G. & HUISMAN, J.A., 2005: Kongruenz unterschiedlicher Informationsquellen zur Flächennutzung. – Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation (in print).
- CONGALTON, R.G., 1991: A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. – *Remote Sensing Environment*, **37** (1): 35–46.
- European Communities Commission, 1992: EUR 12585 – CORINE Land Cover Project – Technical Guide. – Office for Official Publications of the EU, Luxembourg (ISBN 92-826-8).
- FREDE, H.G. & BACH, M., 1999: Perspektiven für periphere Regionen. – *Z. Kulturtechnik Landentwicklung*, **40** (5/6): 193–196.
- FUHR-BOSSDORF, K., 2003: Die Bedeutung der Diasporenbank aktuell und ehemals landwirtschaftlich genutzter Standorte für Vegetationsentwicklungen im Lahn-Dill-Bergland (Hessen). – PhD-Thesis, Univ. Giessen.
- HEINZMANN, U. & ZOLLINGER, G., 1995: Validation of representativeness with relief parameters based on the comparison of two landscape classifications. – *Catena*, **24**: 69–87.
- HIETEL, E., WALDHARDT, R. & OTTE, A., 2002: Zur Eignung von DHM- und ATKIS-Daten für die Landschaftsmodellierung. – *Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation*, **2002** (6): 399–408.
- HIETEL, E., WALDHARDT, R. & OTTE, A., 2004: Analysing land-cover changes in relation to environmental diversity. – *Landscape Ecology* (accepted).
- JÜRGENS, C., 2000: Change Detection – Erfahrungen bei vergleichenden multitemporalen Satellitenbilddauswertung in Mitteleuropa. – *Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation*, **2000** (1): 5–18.
- MEINEL, G. & HENNERSDORF, J., 2002: Erhebungsmethoden, Programme und Nomenklaturen der Flächenbedeckung und Flächennutzung. – *Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation*, **2002** (4): 271–286.
- NÖHLES, I., 2000: Landnutzungsklassifikation mit multitemporalen Landsat TM-Szenen in einer kleinstrukturierten Agrarregion. – *Boden u. Landschaft*, Bd. **32**, 173 S., Giessen (Diss. Univ. Giessen).
- SBRESNY, J., 1997: Fehlerquellen in Raumbezogenen Informationssystemen. – *Geol. Jahrb., Reihe F, H.* **33**, 132 S.
- Statistisches Bundesamt, 1996: Datenerhebungsanleitung CORINE Land Cover (deutsche Ausgabe), Stand 1.9.1996. – Statistisches Bundesamt, Wiesbaden [<http://www.destatis.de/stabis/start.html>].
- Statistisches Bundesamt, 1997: Daten zur Bodenbedeckung für Deutschland (CORINE Land Cover). – Statistisches Bundesamt, Wiesbaden [2 CD-ROM].
- STEHMAN, S.V., 1997: Selecting and interpreting measures of thematic classification accuracy. – *Remote Sensing Environment*, **62** (1): 77–89.
- THUNISSEN, H.A.M. & MIDDELAAR, H.J. VAN, 1995: The CORINE Land Cover database of The Netherlands. – DLO Winand Staring Centre, Report 78, 58 p., Wageningen.

Anschriften der Verfasser

Dr. MARTIN BACH,
 Prof. Dr. HANS-GEORG FREDE,
 Dr. RAINER WALDHARDT,
 Justus-Liebig-Universität Gießen, SFB 299,
 Institut für Landschaftsökologie und
 Ressourcenmanagement,
 Heinrich Buff-Ring 26–32, D-35392 Gießen,
 Tel. 0641-99-37375
 martin.bach@agrар.uni-giessen.de

Prof. Dr. ELKE HIETEL,
 Fachhochschule Bingen, Bereich Umweltschutz,
 Berlinstr. 109, D-55411 Bingen.

Manuskript eingereicht: August 2004

Angenommen: November 2004