

DLM-Update - Integration von Erdbeobachtungstechnologien zur Aktualisierung des ATKIS[®]-Basis-DLM in die EDV-Strukturen des Landesamtes für Vermessung und Geoinformation Schleswig-Holstein

**ANDREAS VÖLKER¹, ANDREAS GERSCHWITZ², ALEXANDRA BICSAN¹,
MICHAEL FISCHER¹, ADRIAN KLINK¹, CHRISTIAN LUCAS², SÖNKE MÜLLER¹,
CARSTEN SCHMIDT² & STEFAN STRUNCK²**

Zusammenfassung: Das Projekt „DLM-Update“ kombiniert Digitale Orthophotos (DOP) des Landesamtes für Vermessung und Geoinformation (LVerGeo SH) mit Satellitendaten, die zukünftig im Rahmen des Copernicus (GMES) Land Monitoring-Dienstes kostenfrei zur Verfügung stehen. Die automatisierte Klassifikation der aktuellen Landbedeckung erfolgt multitemporal, was die Stabilität der aus der Landbedeckungsklassifikation abgeleiteten Änderungshinweise bzgl. der Tatsächlichen Nutzung des ATKIS[®]-Basis-DLM verbessern soll. Ein wesentlicher Bestandteil des Projektes ist dabei die Realisierung eines Softwareprototyps, der in die vorhandene EDV-Struktur des LVerGeoSH integriert wird, um das Update des ATKIS[®]-Basis-DLM mit einer robusten, kosteneffizienten und automatisierten Änderungsdetektion innerhalb der Vermessungsverwaltung zu unterstützen.

1 Einleitung

Das Landesamt für Vermessung und Geoinformation Schleswig-Holstein (LVerGeo SH) ist als Landesbehörde für hoheitliche Kernaufgaben wie die Führung und Erneuerung des Amtlichen Topographisch-Kartographischen Informationssystems ATKIS[®] zuständig (VERMESSUNGS- UND KATASTERGESETZ § 10). Eine Teilaufgabe ist dabei die Aktualisierung des digitalen Landschaftsmodells ATKIS[®]-DLM für Schleswig Holstein. Aus dem ständigen Ziel, die bestehende Arbeitsweise wirtschaftlich zu optimieren und aufgrund einer geringeren Anzahl des zur Verfügung stehenden Personals, ist das Landesamt bestrebt, den Fortführungsprozess zu einem möglichst großen Anteil zu automatisieren. Im Zuge der Straffung der Vermessungs- und Katasterverwaltung des Landes soll in dem hier beschriebenen Pilotvorhaben geprüft werden, inwieweit die bisherige manuelle Nachführung des ATKIS[®]-Basis-DLM zukünftig durch ein teilautomatisiertes Verfahren unter Zuhilfenahme von Satellitenfernerkundungsdaten optimiert und damit beschleunigt werden kann.

Verfahren und Methoden, die Analysen bzgl. einer Veränderung der Erdoberfläche durchführen, bezeichnet man in der Fernerkundung als Veränderungsdetektion (engl.: change detection). Ein Methodenreview zur Veränderungsdetektion findet sich bei SINGH (1989), ein Überblick über deren konkrete Anwendung im Umweltmonitoring wird von COPPIN et al. (2004) dargestellt.

¹ EFTAS Fernerkundung Technologietransfer GmbH, Oststr. 2-18, 48145 Münster;
E-Mail: andreas.voelker@eftas.com

² Landesamt für Vermessung und Geoinformation Schleswig-Holstein, Mercatorstr. 1, 24106 Kiel;
E Mail: andreas.gerschwitz@lvermgeo.landsh.de

Häufig werden zwei Methodengruppen unterschieden: Bild-zu-Bild-Vergleich (Prä-Klassifikation), der anhand einer Differenzbildung der Spektralwerte zweier Bilder entsteht sowie Post-Klassifikationsverfahren, die die thematische Interpretation eines Gebietes der Zeitpunkte t_0 und t_1 vergleichen (LANG & BLASCHKE 2007). Beide Ansätze sind kombinierbar, indem eine vorhandene Klassifikation u. a. auf spektrale oder geometrische Änderungsindikatoren geprüft wird (BÜSCHER et al. 2008; LANGANKE & LANG 2004). Das hier vorgestellte Verfahren stellt eine Post-Klassifikations-Methode dar, deren Besonderheit eine in das System integrierte überwachte Klassifikation sowie die Übersetzung der im Bild sichtbaren Landbedeckung in die Tatsächliche Nutzung (TN) des ATKIS[®]-Basis-DLM darstellt.

2 Projektziel

Auf Grundlage des ATKIS[®]-Objektartenkatalogs (ATKIS[®]-OK), der Dokumentation zur Modellierung der Geoinformation des amtlichen Vermessungswesens (GeoInfoDok), werden die Datensätze des digitalen Basis-Landschaftsmodells (Basis-DLM) hergestellt (ARBEITSGEMEINSCHAFT DER VERMESSUNGSVERWALTUNGEN 2008). Dieser Objektartenkatalog gliedert die Landschaft vornehmlich nach topographischen Gesichtspunkten, klassifiziert die topographischen Erscheinungsformen und Sachverhalte der Landschaft und definiert den Inhalt des Basis-DLM.

Die Fortführung des Basis-DLM erfolgt bisher auf Basis digitaler Orthophotos und terrestrisch erfasster Geodaten (Grundaktualität: fünf Jahre, kürzere Spitzenaktualität für besonders bedeutsame Objektarten, z. B. Straßen). Das Basis-DLM ist in Schleswig-Holstein auf der Grundlage der DGK5 entstanden und hat daher eine Lagegenauigkeit von mind. drei Metern (bei Straßenachsen ca. eineinhalb Meter).

Im hier beschriebenen Pilotvorhaben wird nur der Objektartenbereich der Tatsächlichen Nutzung (TN) betrachtet. Da die Satellitenfernerkundungsdaten in der Regel aktueller als die digitalen Orthophotos sind, ihre Auflösung für eine direkte Fortführung jedoch häufig nicht ausreicht, fließt eine kombinierte Auswertung der Satellitenfernerkundungsdaten und der digitalen Orthophotos in die hier beschriebene Veränderungsdetektion ein.

Bei der Formulierung der Ziele wurden folgende Teilschritte definiert:

- Fortführungsanlass: Hinweis, wo die Tatsächliche Nutzung aktualisiert werden muss.
- Fortführungshinweis: Vorschlag der neuen Tatsächlichen Nutzung in einer für ATKIS[®] geometrisch akzeptablen Abgrenzung.
- Fortführungsauftrag: AAA-konformer Fortführungsauftrag für die Tatsächliche Nutzung im NAS-Format.

Der Fokus des Projektes sind der Fortführungsanlass und der Fortführungshinweis, da eine AAA-konforme Geometriebildung im Sinne eines Fortführungsauftrags deutlich über die Kernaufgabe der Änderungsdetektion hinausreicht. Ein weiteres übergeordnetes Ziel des Projektes ist die Integration von Daten aus dem europäischen Erdbeobachtungsprogramm Copernicus, insbesondere eine Vorbereitung der Nutzung von SENTINEL-2-Satellitenbilddaten.

3 Eingangsdaten

Die Eingangsdaten für die Ableitung von Änderungshinweisen sind die Digitalen Orthophotos (DOP) des LVermGeo SH, ein multitemporaler Satellitenbilddatensatz (Abb. 1) und die zu aktualisierenden ATKIS[®]-Daten mit den Objektarten der Tatsächlichen Nutzung. Es wird je ein Testgebiet mit ländlichem und städtischem Charakter in Schleswig-Holstein bearbeitet.

Die Digitalen Orthophotos liegen als 3-kanalige CIR-Bilder vor. Diese besitzen eine räumliche Auflösung von 40 cm / Pixel und liefern somit eine hohe geometrische Genauigkeit. Als weiterer Bilddatensatz werden multitemporale Satellitendaten verwendet. Da zur Projektlaufzeit noch keine SENTINEL-2-Daten zur Verfügung stehen, werden diese durch LANDSAT-5/8-Daten mit einer höheren räumlichen Auflösung (30 m / Pixel) ersetzt. Von den sieben bzw. elf zur Verfügung stehenden Spektralkanälen werden sechs Kanäle aus dem Bereich des sichtbaren Lichts sowie des nahen und mittleren Infrarots für die Bildanalyse verwendet.

Es sind drei Aufnahmezeitfenster definiert, die jeweils von mind. einem Bild des multitemporalen Bilddatensatzes aus DOP und Satellitenbildern belegt sein müssen. Um Vegetationsklassen wie Grünland und Ackerland zu unterscheiden und diese erfolgreich von Nicht-Vegetationsklassen abzugrenzen, decken die drei Zeitfenster verteilt auf die Monate „März-Mai“, „Juni-Juli“ und „August-Oktober“ die Vegetationsperiode eines Jahres ab.

Die ATKIS[®]-Daten der Tatsächlichen Nutzung umfassen 27 Objektarten mit flächenhaften Objekten und sieben Objektarten mit linienhaften Objekten. Im Projekt DLM-Update liegt der Fokus auf den flächenhaften Objektarten, diese werden im Format der Normbasierten Austausch Schnittstelle (NAS) abgerufen und für die weitere Analyse ins Shape-Format konvertiert.

4 Systemstruktur und Methoden

Um die Bedienung des Gesamtsystems auch durch Personen ohne vertiefte Fernerkundungsexpertise zu ermöglichen, ist ein einfacher Workflow sowie eine nutzerfreundliche Bedienoberfläche wichtig, die den Dateninput und -output steuert (sog. Userinterface 1) und den Kernbereich des Analysesystems (sog. Fernerkundungsmodul) möglichst einfach parametrisiert. Eine weitere Bedienoberfläche (sog. Userinterface 2) zur Einarbeitung der Änderungshinweise in die ATKIS[®]-Daten integriert sich als ArcGIS-Erweiterung in die vorhandene Systemumgebung am LVermGeo SH.

4.1 Userinterface 1

Das Userinterface 1 bietet dem Nutzer eine Oberfläche zur Steuerung von Dateninput und Bildanalyse. Die Nutzeroberfläche gliedert sich in zwei Bereiche, eine Funktionsleiste und eine Kartenansicht mit Interaktionsmöglichkeiten für den Nutzer (Abb. 2).

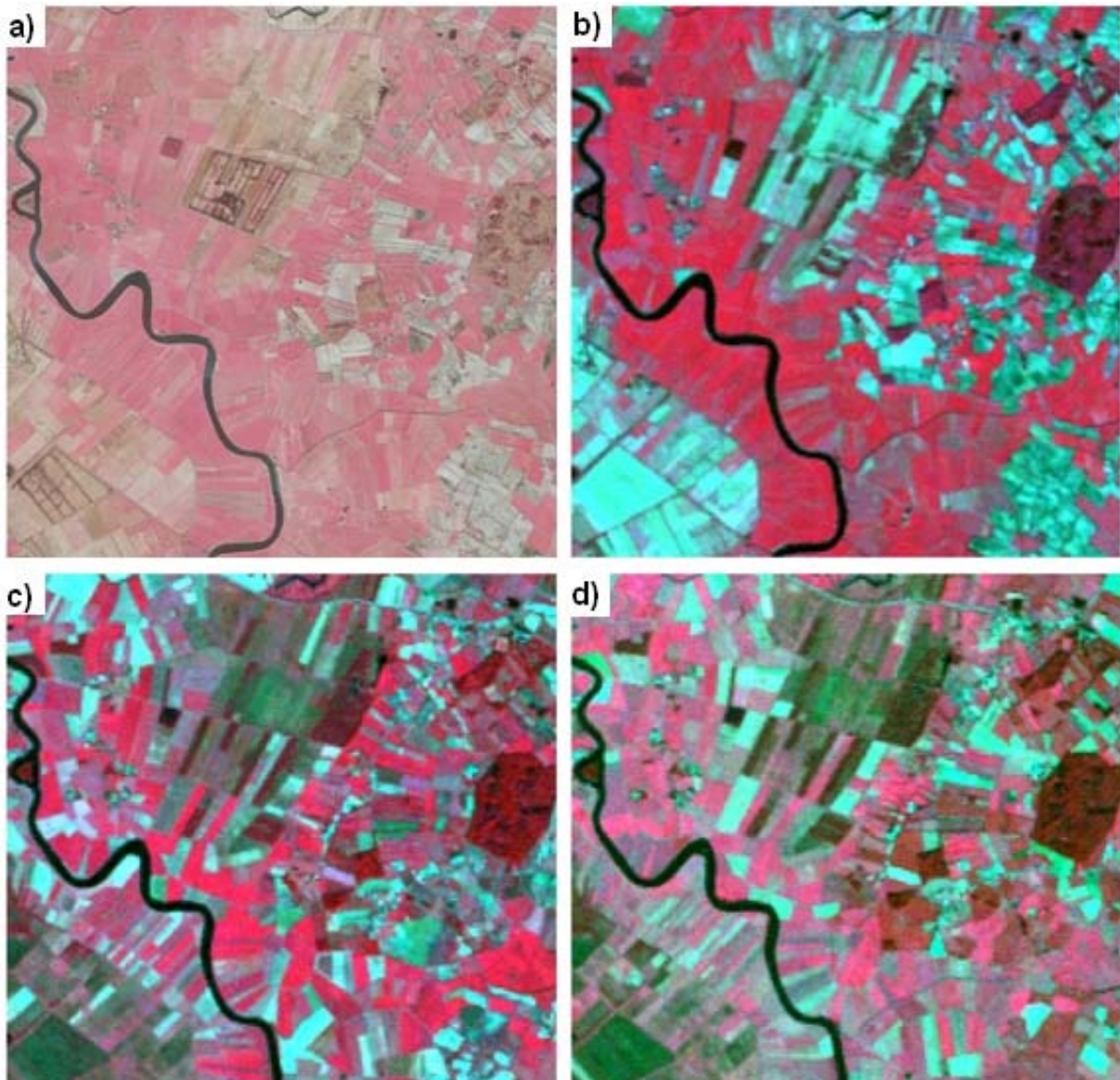


Abb. 1: Bilddaten für Testgebiet 1 mit ländlichem Charakter: a) Digitales Orthophoto mit 40 cm Bodenaufösung in CIR-Darstellung vom 27.03.2012; b) LANDSAT-5 Aufnahme in CIR-Darstellung (4-3-2) vom 06.05.2011; c) LANDSAT-5 Aufnahme in CIR-Darstellung (4-3-2) vom 03.07.2009; d) LANDSAT-5 Aufnahme in CIR-Darstellung (4-3-2) vom 20.08.2009.

In der Funktionsleiste befinden sich Werkzeuge zum Datenimport, zur Steuerung der Analyse und zur Bearbeitung von allgemeinen Einstellungen. Über die Einstellungen werden Quell- und Zielverzeichnisse von Eingabe- und Ausgabedaten, sowie die Parameter zum Abrufen der ATKIS®-Daten definiert. Über die Kartenansicht können Informationen über den aktuellen Bearbeitungsstatus der einzelnen Projekte sowie über vorliegende Bilddaten abgerufen werden.

Außerdem bietet die Karte eine interaktive Möglichkeit, Projekte für die Bearbeitung auszuwählen. Die Analyse kann für einzelne Projekte oder im Batchmodus für eine vom Benutzer definierte Liste von Projekten automatisch im anschließenden Fernerkundungsmodul ausgeführt werden.

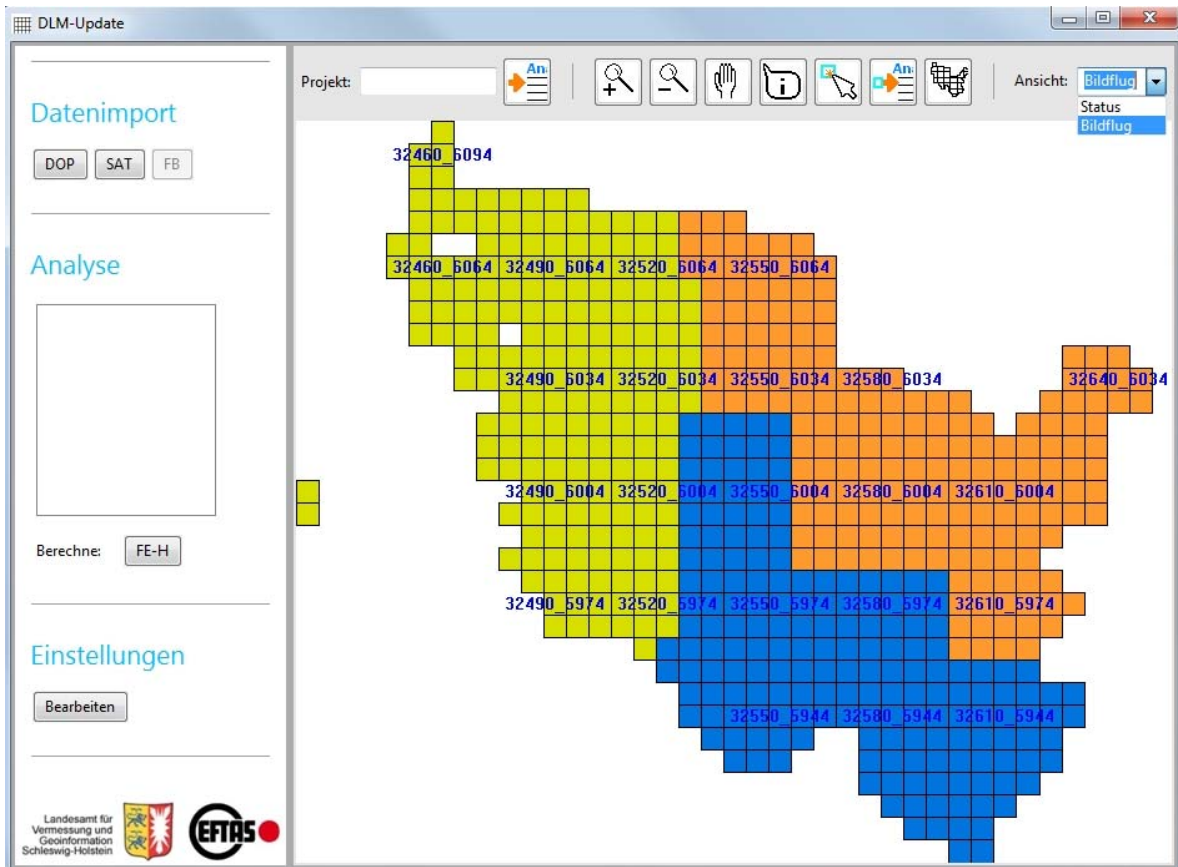


Abb. 2: Userinterface 1 bestehend aus Funktionsleiste (links) und Kartenansicht (rechts).

4.2 Fernerkundungsmodul

4.2.1 Automatische Selektion von Trainingsdaten und überwachte Klassifikation

Der erste Schritt im Fernerkundungsmodul gliedert sich in die automatische Selektion von Trainingsdaten sowie in die darauf aufbauende überwachte Landbedeckungsklassifikation. Es werden die Landbedeckungsklassen Versiegelung, Grünland, Acker, Wald / Gehölz, Wasser, Feuchtflächen und Offenboden / Sand (im folgendem auch Bildklassen genannt) berücksichtigt. Sowohl die DOP als auch die Satellitenbilder werden auf eine einheitliche Auflösung von 2 m / Pixel skaliert.

Zum Training der Landbedeckungsklassen werden die Trainingsdaten automatisch aus bestehenden ATKIS®-Daten erstellt, indem bestimmte Landnutzungsklassen mit einem hohen Anteil der benötigten Landbedeckungsklassen selektiert werden und nicht der gewünschten Landbedeckung entsprechende (d. h. unerwünschte) Teilflächen der Tatsächlichen

Nutzungsobjekte (so genannte Ausreißer) statistisch eliminiert werden: Über die Berechnung des Normalisierten Differenzierten Vegetationsindex (NDVI) werden Bereiche mit und ohne Vegetation unterschieden. Weitere charakteristische Merkmale für bestimmte Bildklassen (wie z. B. ein geringer Wert im nahen Infrarot bei Wasser oder mindestens ein vegetationsfreier Zeitpunkt bei Acker zur Unterscheidung von Grünland) sorgen dafür, dass unplausible Teilflächen statistisch als Ausreißer betrachtet und aus dem Trainingsdatensatz ausgeschlossen werden. Neben der automatisierten Selektion können aber auch manuell erfasste Trainingsdaten im shp-Format genutzt werden.

Mit den so erstellten Trainingsdaten wird der „Support Vector Machine“-Klassifikator (SVM) anhand einer repräsentativen Kachel für einen Satz aus DOP des gleichen Aufnahmezeitpunktes und der gleichen Satellitenbildkombination trainiert. Anschließend erfolgt die die pixelbasierte Landbedeckungsklassifikation flächendeckend auf dem gesamten Bilddatensatz.

4.2.2 Änderungsdetektion

Im anschließenden Schritt der Änderungsdetektion wird das Ergebnis der überwachten Klassifikation, welches in Form einer pixelweisen Landbedeckungskarte vorliegt, verwendet, um Änderungshinweise automatisch abzuleiten. Dabei muss berücksichtigt werden, dass die Bildklassen der Landbedeckungskarte in den meisten Fällen nicht 1:1 der Tatsächlichen Nutzung entsprechen, sondern sich diese häufig aus mehreren Landbedeckungsklassen zusammensetzt. In einer Überführungsmatrix, die auszugsweise in Tabelle 1 dargestellt ist, wurde ermittelt, welche Landbedeckungsklassen für die jeweilige Tatsächliche Nutzung zulässig sind.

Aus Tabelle 1 geht z. B. hervor, dass die heterogen zusammengesetzte Objektart AX_Wohnbaufläche aus den Landbedeckungsklassen Versiegelung, Grünland, Acker, Wald/Gehölz, Feuchtflächen und Offenboden/Sand bestehen kann, wohingegen für die Objektart AX_Landwirtschaft je nach Vegetationsmerkmal (VEG) nur die Landbedeckungsklassen Grünland oder Ackerland gültig sind.

Die Überprüfung der Zusammensetzung der Landbedeckung setzt dabei auf den originalen Polygoneometrien auf und verwendet in der aktuellen Version der erstellten Software die prozentuale Zusammensetzung der Landbedeckung und die Überprüfung von Mindestkartierflächen zur Überprüfung eines Polygons. Beide Kriterien wurden bereits in HELMHOLZ ET AL. (2012) zur Qualitätssicherung topographischer Daten erfolgreich verwendet.

Beim ersten Kriterium wird für jede Landbedeckungsklasse die prozentuale Verteilung innerhalb der gesamten Polygongrenzen ermittelt und mit der Überführungstabelle (Tabelle 1) abgeglichen. Ist der Anteil für die jeweilige Landbedeckungsklasse zu niedrig oder zu hoch, wird ein entsprechender Änderungshinweis erstellt.

Bei großen Polygonen werden häufig die prozentualen Schwellwerte nicht erreicht, so dass beim zweiten Kriterium überprüft wird, ob zusammenhängende Fehlerpolygone existieren, die eine definierte Mindestkartierfläche erreichen und somit unabhängig vom ersten Kriterium einen Änderungshinweis darstellen (Versiegelung 0,1 ha; Grünland 1 ha; Acker 1 ha; Wald/Gehölz 0,1 ha; Wasser 0,1 ha; Feuchtflächen 1 ha; Offenboden/Sand 1 ha).

Werden ein oder mehrere Änderungshinweise ermittelt, muss ein ATKIS®-Basis-DLM-Objekt überprüft und nachbearbeitet werden (siehe Kap. 4.3). Ein Beispiel für verschiedene Änderungshinweise in einem ATKIS®-Polygon findet sich in Abbildung 4.

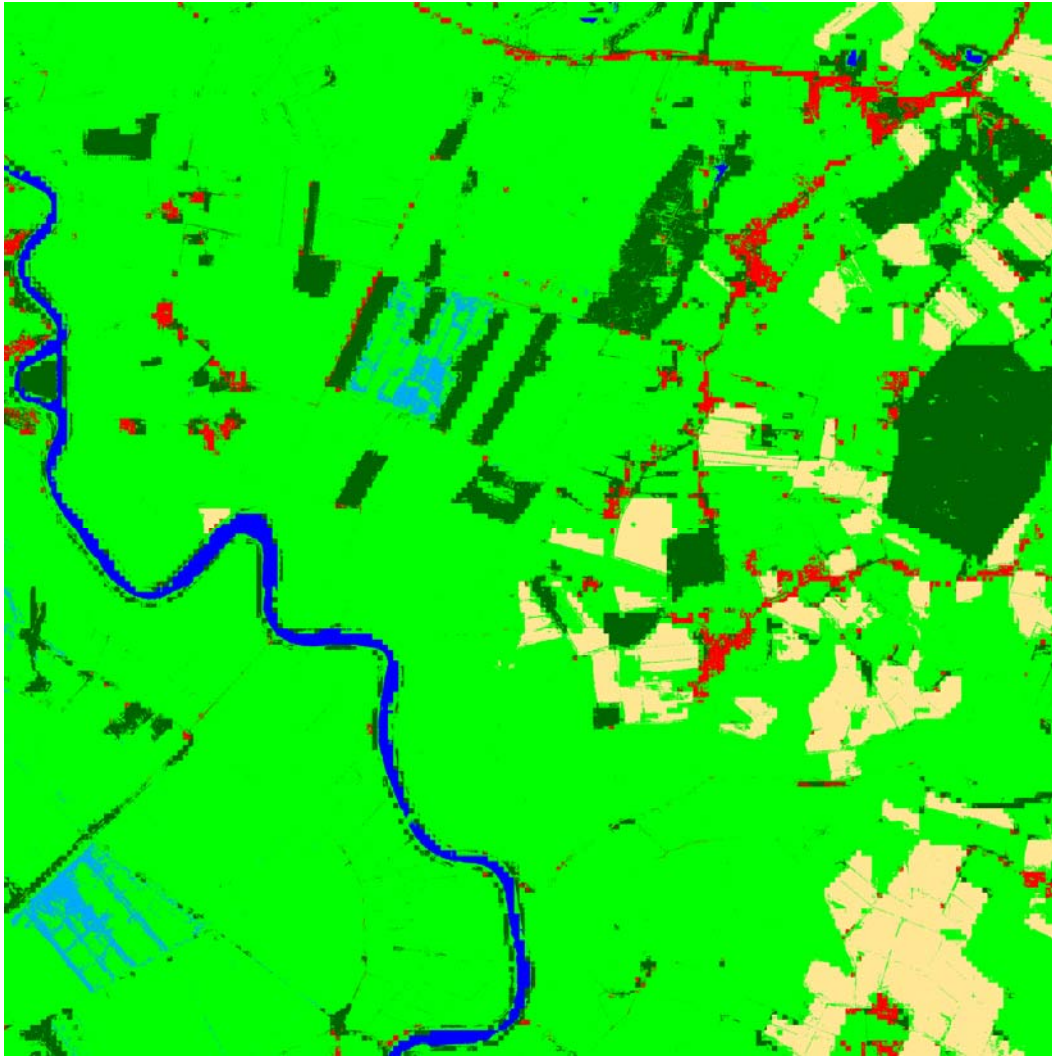


Abb. 3: Ergebnis der Landbedeckungsklassifikation im ländlichen Testgebiet (rot = Versiegelung, grün = Grünland, beige = Acker, dunkelgrün = Wald/Gehölz, blau = Wasser, hellblau = Feuchtflächen, gelb = Offenboden/Sand).

Tab. 1: Beispiel für die Überführung der ATKIS®-Objektarten (TN) zu Bildklassen (Landbedeckung).

ATKIS®- Basis-DLM- Objektart	Bildklasse	Versiegelung	Grünland	Acker	Wald/Gehölz	Wasser	Feuchtflächen	Offenboden/ Sand
AX_Wohnbaufläche		50-100%	0-20%	0-20%	0-20%	-	0-20%	0-20%
AX_Landwirtschaft		-	100% (1020)	100% (1010)	-	-	-	-
AX_Wald		-	-	-	100%	-	-	-
AX_Gehoeolz		-	-	-	100%	-	-	-
AX_Heide		-	0-100%	-	0-100%	-	-	0-100%

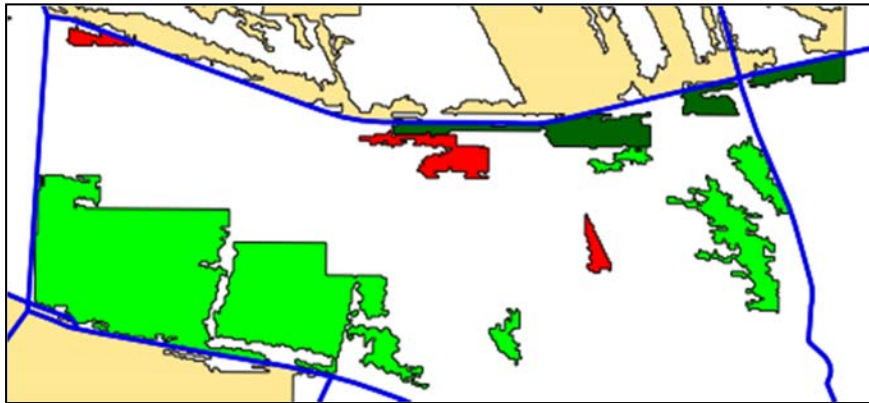


Abb. 4: Änderungshinweise (hellgrün = Grünland, dunkelgrün = Gehölz, rot = Versiegelung) innerhalb einer ATKIS®-Geometrie (blau) der Tatsächlichen Nutzung „Acker“.

4.3 Userinterface 2

Das Userinterface 2 wurde als Erweiterung für ArcGIS 10 implementiert, so dass es den Anwendern möglich ist, die in der Änderungsdetektion erkannten Hinweise in der bekannten Arbeitsumgebung zu visualisieren und mit dem 3A Editor (AED-SICAD) direkt in die bestehenden ATKIS®-Daten einzuarbeiten. ATKIS®-Objekte mit Änderungshinweisen werden einzeln anhand von einer Liste abgearbeitet, die zu jedem ATKIS®-Objekt in einem separaten Fenster die zugehörigen Änderungshinweise darstellt (Abbildung 5). Stellt der Anwender für einen Hinweis eine tatsächliche Änderung fest, so wird diese in der Tatsächlichen Nutzung geändert und der Hinweis über eine entsprechende Schaltfläche als akzeptiert markiert. Liegt keine Änderung vor wird der Hinweis abgelehnt.

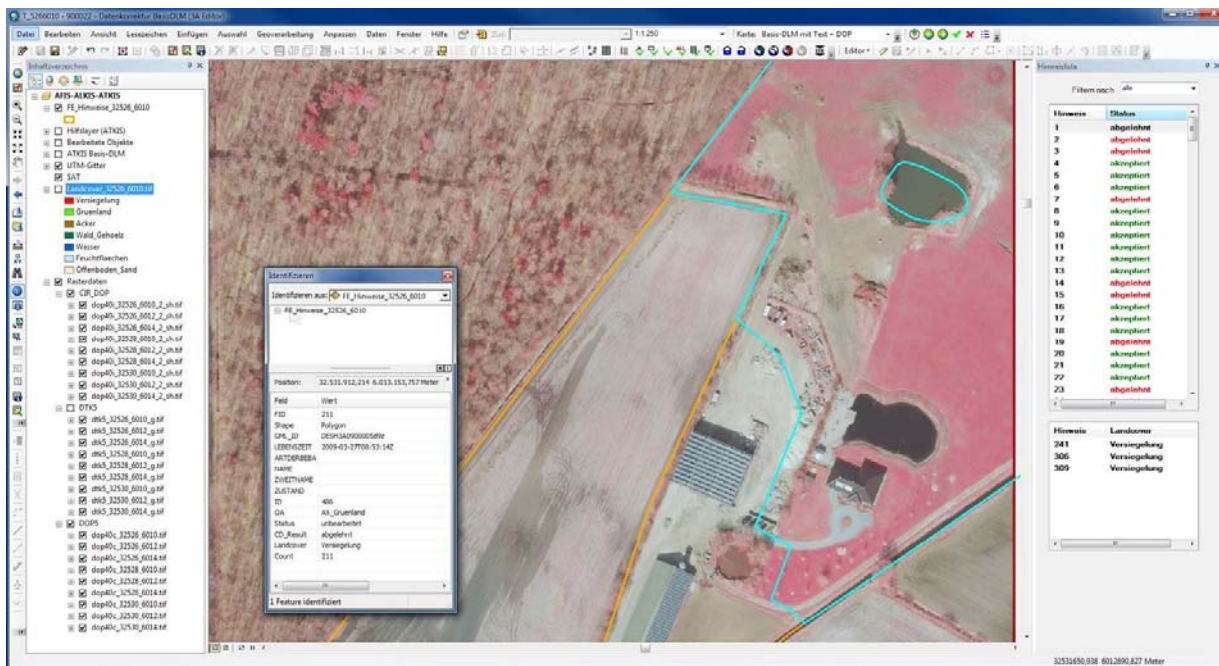


Abb. 5: Softwareumgebung zur Aktualisierung des ATKIS®-Basis-DLM am LVerGeo SH mit integriertem Userinterface 2 (rechts im Bild).

5 Evaluation und erste Ergebnisse

Die Evaluation des Gesamtsystems erfolgt durch das LVerGeo SH. Da sich das Pilotvorhaben noch mitten in der Projektphase befindet, wurde zum gegenwärtigen Zeitpunkt nur der bisher vorliegende Prototyp 1 evaluiert.

Technisch, funktionaler Ablauf: Die Gestaltung des Userinterface 1 sowie des Userinterface 2 sind übersichtlich und in ihrer Bedienung nahezu selbsterklärend. Das Userinterface 1 liest die aus der ATKIS®-Datenhaltungskomponente exportierten ATKIS®-Daten im NAS-Format ein. Ebenso automatisch werden die digitalen Orthophotos aus den Verzeichnisstrukturen gelesen. Die manuell bereit gestellten LANDSAT-Daten werden zusammen mit den digitalen Orthophotos im Fernerkundungsmodul ausgewertet und als Ergebnis eine Landbedeckungskarte erstellt. Diese wird für eine Veränderungsdetektion mit den ATKIS®-Basis-DLM-Daten verwendet. Die resultierenden Fortführungshinweise können leicht durch das Userinterface 2 im bestehenden Workflow der ATKIS®-Fortführung angezeigt und integriert werden.

Semantische Prüfung: Das Landesamt hat zu Beginn des Pilotvorhabens die Vorgabe festgelegt, dass auch für diejenigen Flächen bereits ein Fortführungshinweis erzeugt wird, für welche aufgrund des Klassifikationsergebnisses nur der Verdacht einer Veränderung besteht. Auf diese Weise müssen bei der weiteren interaktiven Bearbeitung nur die Fortführungshinweise der Reihe nach abgearbeitet werden. Diese Vorgabe führte beim ersten Prototypen noch zu einer Vielzahl von Fortführungshinweisen, bei denen die erkannte Veränderung in ihrer Ausdehnung zu gering war, da die Mindest erfassungsgröße noch nicht berücksichtigt wurde. Diese Prüfung ist jedoch im Prototyp 2 implementiert. Des Weiteren zeigte beim ersten Prototypen die Landbedeckungsklasse „Versiegelung“ noch zu viele Fehlerkennungen, welche durch die Integration zusätzlicher manuell erfasster Trainingsflächen jedoch reduziert werden konnte. Ziel im weiteren Projektverlauf ist es, u. a. durch die neue selbsttrainierende Funktion des Prototyps 2, die Anzahl an derartigen Fehlerkennungen deutlich zu reduzieren.

Wirtschaftlicher Effekt: Da sich der Prototyp 2 noch in der Entwicklung befindet, kann der wirtschaftliche Effekt zurzeit noch nicht bewertet werden.

Zusammenfassend können bereits jetzt folgende Aspekte für die ATKIS®-Fortführung herausgestellt werden:

- Es werden Satellitenbilder und DOP des LVerGeo SH kombiniert verwendet, der weitgehend automatische Workflow des Fernerkundungsmoduls greift auf die benötigten ATKIS®-Daten und die digitalen Orthophotos zu.
- Es wird eine automatische Veränderungsdetektion zwischen der klassifizierten Landbedeckung und dem Basis-DLM durchgeführt, die Fortführungshinweise werden direkt in den bestehenden Workflow der ATKIS®-Fortführung integriert.
- Das in Kap. 2 definierte Ziel des Fortführungsanlasses ist zum jetzigen Zeitpunkt bereits übertroffen und das Ziel des Fortführungshinweises voll erreicht.

6 Ausblick

Ausstehende Ziele in der noch verbleibenden Projektlaufzeit sind die direkte Anbindung an die ATKIS®-Datenhaltungskomponente (DHK), eine Rückkopplung zwischen den vom Bearbeiter als falsch erkannten und abgelehnten Änderungshinweisen mit dem Fernerkundungsmodul sowie eine weitere Erhöhung der Qualität bei der Landbedeckungsklassifikation und der Änderungsdetektion. Im Rahmen einer erweiterten Evaluation wird der zweite Prototyp des Softwaresystems auch von weiteren Landesvermessungen getestet und bewertet, um zukünftig eine Einbindung des vorgestellten Verfahrens in die Arbeitsumgebung weiterer Vermessungsbehörden zu ermöglichen. Über das Projekt hinaus stellen die Integration linienhafter ATKIS®-Objekte in die Prüfroutinen sowie die Nutzung tatsächlicher SENTINEL-2-Daten (geplanter Start des ersten Satelliten: April 2015) wichtige Bausteine für geplante Weiterentwicklung des Systems dar.

7 Danksagung

Die Projektpartner danken dem Bundesministerium für Wirtschaft und Energie sowie dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt für die Vorhabensförderung im Rahmen des Nationalen Programms ‚Förderung von Weltraumforschung- und Technik‘ (Förderkennzeichen 50EE1249 und 50EE1250).

8 Literaturverzeichnis

- ARBEITSGEMEINSCHAFT DER VERMESSUNGSVERWALTUNGEN DER LÄNDER (ADV), 2008: ATKIS®-Objektartenkatalog für das Digitale Basis-Landschaftsmodell.
- BÜSCHER, O.; BUCK, O.; LOHMANN, P.; HOFMANN, P.; MÜLLER, S.; SCHENKEL, R. U. & WEISE, C., 2008: Einsatz von Change Detection Methoden zur Fortführung von DeCOVER-Objektarten. *Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation* **5**, S. 395-407.
- COPPIN, P., JONCKHEERE, I., NACKAERTS, K., MUYS, B. & LAMBIN, E., 2004: Digital change detection methods in ecosystem monitoring: A review. *International Journal of Remote Sensing* **25**, S. 1565-1596.
- HELMHOLZ, P.; BECKER, C.; BREITKOPF, U.; BÜSCHENFELD, T.; BUSCH, A.; BRAUN, C.; GRÜNREICH, D.; MÜLLER, S.; OSTERMANN, J.; PAHL, M.; ROTTENSTEINER, F.; VOGT, K.; ZIEMS, M. & HEIPKE, C., 2012: Semi-automatic Quality Control of Topographic Data Sets. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* **78** (9), S. 959-972.
- LANG, S. & BLASCHKE, T., 2007: *Landschaftsanalyse mit GIS*. Stuttgart.
- LANGANKE, T. & LANG, S., 2004: Strukturelle Indikatoren zur Beurteilung von Habitatqualität im europäischen Naturschutz. *Habitatmodelle - Methodik, Anwendung, Nutzen*. UFZ-Berichte, Leipzig. S. 141-145.
- SINGH, A., 1989: Review Article. Digital change detection techniques using remotely-sensed data. *International Journal of Remote Sensing* **10** (6), S. 989-1003.
- VERMESSUNGS- UND KATASTERGESETZ (VERMKATG), 2004: Gesetz über die Landesvermessung und das Liegenschaftskataster i. d. F. v. 12. Mai 2004, Gesetz- und Verordnungsblatt Schleswig-Holstein 2004, S. 128.