

Landmodell = CityGML für die Agrarlandschaft?

Thomas MACHL, Andreas DONAUBAUER und Thomas H. KOLBE

Lehrstuhl für Geoinformatik · Technische Universität München · Arcisstraße 21 · 80333 München
E-Mail: {thomas.machl, andreas.donaubauer, thomas.kolbe}@tum.de

Zusammenfassung

Ziel der Forschungslinie „3D + t Landmodellierung“ am Lehrstuhl für Geoinformatik ist die Entwicklung eines Monitoringsystems zur umfassenden und tiefgreifenden Analyse der Agrarlandschaft und ihrer raum-zeitlichen Veränderungsprozesse. Den wesentlichen Kern des Datenmodells bildet ein semantisches Datenmodell zur Abbildung der Agrarlandschaft als komplexes System interagierender und sich verändernder Elemente.

Im Kontext der Stadt- bzw. Stadtsystemmodellierung hat sich in den vergangenen Jahren der internationale Standard CityGML als wesentliche Grundlage zur semantischen Strukturierung und zum Austausch virtueller 3D-Stadtmodelle etabliert. Dieser Beitrag beschäftigt sich mit der Fragestellung, welche Konzepte aus CityGML in die Entwicklung eines semantischen Datenmodells zur Repräsentation der Agrarlandschaft einfließen können und welche Konzepte speziell für eine umfassende Abbildung der Agrarlandschaft zu entwickeln sind.

1 Hintergrund und Zielstellung

Der landwirtschaftliche Strukturwandel und nicht zuletzt auch die Ausweitung des Anbaus nachwachsender Rohstoffe für die energetische Nutzung hat in den vergangenen Jahrzehnten zu einer grundlegenden Veränderung der Agrarlandschaft beigetragen und diese nachhaltig geprägt. Die deutliche Konsolidierung der Zahl landwirtschaftlicher Betriebe einhergehend mit einer starken Zunahme der Betriebsgrößen (STMELF 2014), veränderte Parzellengrößenstrukturen, steigende Pachtquoten (STMELF 2014) und Veränderungen in der Anbaustruktur seien beispielhaft angeführt. Hinzu kommen Veränderungen der (Agrar-)Landschaft bedingt durch den anhaltend hohen Flächenverbrauch für Siedlungs- und Verkehrsflächen (LFSTAD 2014).

Vor diesem Hintergrund beschäftigt sich die Forschungslinie „3D + t Landmodellierung“ mit der Entwicklung von Methoden und Konzepten zur flächendeckenden Erkennung, Dokumentation und Analyse raum-zeitlicher Veränderungsprozesse in der Agrarlandschaft. Wesentliches Rückgrat dieses Monitoringssystems bildet ein objektorientiertes semantisches 3D + t Datenmodell zur Abbildung der Agrarlandschaft als komplexes System interagierender und sich verändernder Elemente und Subsysteme. Durch die klare semantische Definition von Objekten und Attributen sowie der Konformität zu bestehenden Standards der ISO 19100 Serie bietet das semantische Datenmodell eine solide, formal beschriebene und maschineninterpretierbare Grundlage für die Entwicklung komplexer Werkzeuge zur umfassenden und tiefgreifenden Analyse der Agrarlandschaft sowie ihrer raum-zeitlichen Veränderungsprozesse.

Bei der Konzeption des semantischen Datenmodells wurden erfolgreiche Konzepte aus CityGML aufgegriffen und für eine Anwendung im Kontext einer umfassenden Abbildung der Agrarlandschaft weiterentwickelt. Ein wesentliches Augenmerk der Modellierung liegt auf einer vollständigen Abbildung der Dimension Zeit im konzeptuellen Datenmodell. In diesem Zusammenhang werden Konzepte entwickelt, die ggf. für künftige Entwicklungen von CityGML relevant sein könnten.

In den folgenden Abschnitten werden zunächst grundlegende Konzepte von CityGML beleuchtet, bevor wesentliche Anforderungen an ein semantisches Datenmodell zur Abbildung der Agrarlandschaft vorgestellt werden. Der Beitrag skizziert anschließend die grundlegende Struktur des entwickelten Datenmodells um abschließend näher auf die Abbildung raum-zeitlicher Aspekte auf Ebene des konzeptuellen Datenmodells einzugehen.

2 Grundlegende Konzepte von CityGML

In den vergangenen Jahren hat sich der internationale Standard CityGML (OGC 2012) als wesentlicher Standard zur Strukturierung, Speicherung sowie zum Austausch komplex strukturierter semantischer 3D-Stadt- und Landschaftsmodelle etabliert. Der CityGML-Standard beschreibt eine Vielzahl verschiedener Konzepte, die sich in der praktischen Anwendung erfolgreich bewahrt haben. Diese Konzepte umfassen insbesondere (nach KOLBE 2009 bzw. OGC 2012):

- **Modularisierung:** Der CityGML-Standard untergliedert sich in ein gemeinsames Kernmodul und verschiedene weitere thematische Module. Während das Kernmodul grundlegende Konzepte beinhaltet, werden thematische Aspekte beispielsweise zu Gebäuden, Landnutzung oder Transport durch separate Module abgedeckt.
- **Erweiterbarkeit:** Ziel der Entwicklung von CityGML ist die Schaffung eines universellen topographischen Informationsmodells. Fokus der Konzeption des CityGML-Datenmodells liegt daher auf der Abbildung wesentlicher Klassen und Attribute, die für eine Vielzahl verschiedener Anwendungen relevant sind (KOLBE 2009). Darüber hinaus bietet CityGML die Möglichkeit, sowohl bestehende Klassen über generische Attribute zu erweitern als auch zusätzliche generische Objekte im semantischen Datenmodell abzubilden. Zudem besteht in CityGML die Möglichkeit, über anwendungsspezifische Erweiterungsmodule (sog. Application Domain Extensions, ADE) eine systematische Erweiterung des Datenmodells für bestimmte Anwendungen vorzunehmen (KOLBE 2009; KRÜGER & KOLBE 2012; OGC 2012; SCHULTE & COORS, 2008).
- **Geometrisch-semantische Kohärenz:** CityGML erlaubt eine geometrisch-semantisch kohärente Abbildung komplexer Stadtobjekte (STADLER & KOLBE 2007). Diese Kohärenz bezieht sich sowohl auf Einzelobjekte als auch auf Aggregationen mehrerer Objekte. Dadurch verfügen einerseits Geometrieobjekte (bzw. Aggregationen von Geometrieobjekten) über semantische Informationen, andererseits besitzen semantische Objekte Informationen zu Lage und räumlicher Ausdehnung (KOLBE 2009).

- Referenzen auf externe Objekte: Durch die Möglichkeit der Ausbildung von Referenzen auf externe Objekte können CityGML-Objekte mit zusätzlichen Informationen angereichert werden.
- LOD-Konzept CityGML ermöglicht eine mehrskalige Repräsentation von Objekten der Stadt in verschiedenen Generalisierungsstufen, sog. Levels of Detail (LOD). Diese reichen von einer 2.5D-Repräsentation bis hin zu einer vollständig dreidimensionalen Abbildung von Stadtobjekten in sehr hohem geometrischen und semantischen Detaillierungsgrad.
- Erzeugung komplexer Objekte durch Aggregation: Über Aggregationsbeziehungen lassen sich in CityGML komplexe Objekte durch Aggregation einfacher Objekte erzeugen.
- Möglichkeit zur impliziten Modellierung von Topologieübergemeinsamen genutzten Geometrieobjekten: Neben der reinen Beschreibung der Geometrie von Objekten erlaubt CityGML auch die implizite Abbildung von Topologie über von mehreren semantischen Objekten gemeinsam genutzte Geometrieobjekte.
- Appearance: Objekte in CityGML verfügen neben geometrischen und thematischen Eigenschaften auch über Informationen zu sichtbaren Eigenschaften ihrer Oberflächen.
- Möglichkeit zur Abbildung impliziter Geometrie: Neben einer expliziten Abbildung der Geometrie von Objekten kann auch eine implizite Abbildung der Geometrie erfolgen. In diesem Fall verweisen entsprechende CityGML-Objekte auf die Geometrie prototypisch gespeicherter Objekte (beispielsweise die eines Baumes oder einer Ampel). Die genaue Positionierung erfolgt dann über einen Referenzpunkt, Skalierung, Rotation und Translation über eine Transformationsmatrix.
- CityGML als Datenmodell und XML-basiertes Austauschformat: CityGML definiert neben dem semantischen Datenmodell zur Strukturierung komplexer Stadtmodelle auch ein XML bzw. GML-basiertes Austauschformat zur Bereitstellung dieser 3D-Stadtmodelle.

Ein weiteres Konzept, welches sich im Kontext von CityGML als erfolgreich erwiesen hat, besteht in der Kopplung von semantischem Datenmodell und komplexen Analysemethoden (KADEN ET AL. 2013; KADEN & KOLBE, 2013). Durch semantische Anreicherung von Objekten ist es möglich, die Ergebnisse verschiedenster komplexer Analysemethoden auf Ebene der betreffenden Objekte zu speichern und für weiterführende Analysen bereitzustellen (CityGML als Integrationsplattform).

3. Anforderungen an ein semantisches Datenmodell zur Abbildung der Agrarlandschaft

Wesentliches Ziel sowohl von CityGML als auch des Landmodell ist eine umfassende und - im jeweiligen Kontext - zunächst anwendungsneutrale Abbildung der Realwelt in einem semantischen Informationsmodell. Während sich CityGML klar auf eine umfassende Beschreibung des urbanen Umfelds konzentriert, liegt der Fokus bei der Konzeption des

Landmodells auf einer umfassenden Abbildung der Agrarlandschaft als komplexes System interagierender und sich verändernder Elemente. Neben der erforderlichen Modellierung grundlegend anderer Klassen (landwirtschaftliche Parzelle \neq CityObject) ergeben sich für das Landmodell als grundlegender Kern eines Monitoringsystems zur tiefgreifenden der Agrarlandschaft und ihrer raum-zeitlichen Veränderungen folgende Anforderungen, die in der aktuellen Version 2.0 des CityGML Standards nicht oder nur unzureichend berücksichtigt werden:

- Vollständige Berücksichtigung der Dimension Zeit im konzeptuellen Datenmodell: Ein raum-zeitliches Datenmodell zur Abbildung der Agrarlandschaft muss in der Lage sein, sowohl Zustände der Realwelt bzw. einzelner Objekte zu verschiedenen Zeitpunkten zu erfassen als auch (objektübergreifende) Veränderungen explizit im konzeptuellen Datenmodell abzubilden.
- Abbildung statistischer Aggregationseinheiten: Vor dem Hintergrund eines flächendeckenden Monitorings sind im konzeptuellen Datenmodell insbesondere auch statistische Aggregationseinheiten abzubilden.
- Explizite Abbildung räumlicher Überlagerung: Durch explizite Repräsentation räumlicher Überlagerung im konzeptuellen Datenmodell ist es möglich, die Multifunktionalität einzelner Komponenten der Agrarlandschaft bzw. Teile dieser Komponenten (beispielsweise landwirtschaftliche Parzelle als Teil eines Schutzgebiets) im konzeptuellen Datenmodell abzubilden.
- Möglichkeit zur expliziten Abbildung von Analyseergebnissen auf Ebene einzelner Objekte: Das Datenmodell muss in der Lage sein, die Ergebnisse komplexer Analysen (beispielsweise arbeitswissenschaftlich relevante Parameter der Geometrie landwirtschaftlicher Parzellen (vgl. MACHL ET AL. 2013) oder Hof-Feld-Entfernungen) auf Ebene der jeweiligen Objekte abbilden zu können.
- Abbildung topologischer Netzwerke: Viele Elemente der Agrarlandschaft sind Teil komplexer Netzwerke (Verkehrswegenetz, Gewässernetz, Biotopnetzwerk). Daher sollte das Datenmodell in der Lage sein, auch komplexe Knoten-Kanten-Netzwerke abbilden zu können.
- Möglichkeit zur Abbildung feldbasierter Information: Ein Datenmodell zur umfassenden Abbildung der Agrarlandschaft sollte neben einer objektbasierten Repräsentation von Phänomenen der Realwelt auch die Abbildung kontinuierlich verlaufender Phänomene über feldbasierte Modellierung erlauben. Exemplarisch sind hier Bodengüte, Erosionsexposition, Ertrag oder aber Applikationsmengen anzuführen.

4. Das semantische raum-zeitliche Landmodell

Bei der Konzeption des semantischen Datenmodells zur Abbildung der Agrarlandschaft werden verschiedene Konzepte aus CityGML aufgegriffen. Hierzu zählen insbesondere die Modularität, die Erweiterbarkeit über generische Objekte und Attribute sowie Application Domain Extensions (ADE), das Konzept der geometrisch-semantischen Kohärenz, die Bildung komplexer Objekte durch Aggregation sowie insbesondere auch das im Kontext

von CityGML erfolgreich praktizierte Konzept der Kopplung von semantischem Datenmodell mit komplexen Analysemethoden. Darüber hinaus werden Konzepte für eine vollständige Repräsentation der Dimension Zeit im konzeptuellen Datenmodell entwickelt. In den folgenden beiden Abschnitten soll zunächst die grundlegende Modulstruktur des Landmodells vorgestellt werden bevor anschließend genauer auf die Abbildung zeitlicher Aspekte im konzeptuellen Datenmodell eingegangen wird.

4.1 Module des semantischen Landmodells

In der aktuellen Entwicklungsphase untergliedert sich das Landmodell in ein Kernmodul, ein Modul zur Abbildung von Landobjekt-Gruppen, ein Modul zur Abbildung generischer Attribute und Objekte sowie sechs thematische Module zur Abbildung verschiedener Aspekte der Agrarlandschaft.

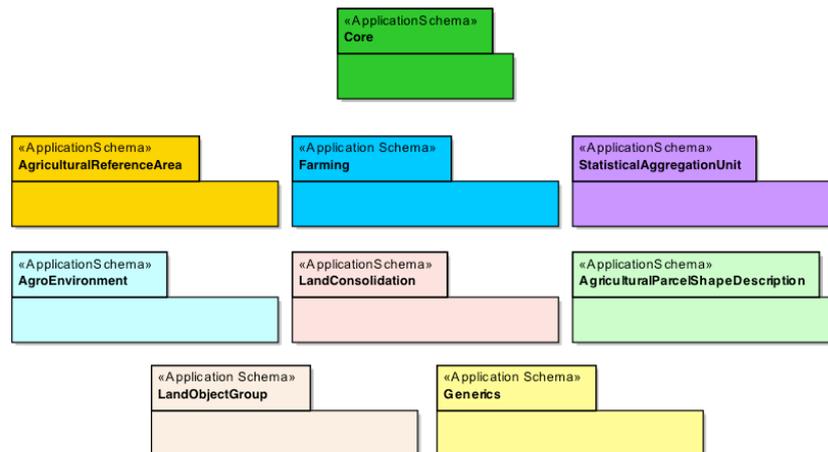


Abbildung 1: Derzeit im Landmodell abgebildete Module

Diese Module beschreiben im Einzelnen:

- **Core:** Im Core-Modul erfolgt die Definition grundlegender Bestandteile und Konzepte mit Bezug auf das gesamte Datenmodell bzw. die übrigen Module.
- **AgriculturalReferenceArea:** Das Modul definiert Klassen und Beziehungen zur Repräsentation verschiedener landwirtschaftlicher Referenzparzellen.
- **Farming:** Das Modul beschreibt Objekte und Assoziationen zur Modellierung landwirtschaftlicher Betriebe bzw. Betriebsinhaber als wesentliche Akteure innerhalb der Agrarlandschaft.
- **StatisticalAggregationUnit:** Das Modul beschreibt Aggregationseinheiten, die für eine statistische Beschreibung verschiedener Merkmale relevant sind. Neben administrativen Einheiten umfasst das Modul auch Klassen zur Abbildung künstlich generierter Einheiten wie beispielsweise Raster verschiedener Kantenlänge (vgl. (KATZLBERGER 2012; INSPIRE 2013b)).

- LandConsolidation: Im Paket werden Klassen und Assoziationen zu verschiedenen Aspekten der Flurbereinigung abgebildet.
- AgroEnvironment: Das Modul definiert Klassen und Beziehungen zu agrarökologische Aspekten der Agrarlandschaft (beispielsweise seien hier Wind- und Wassererosion sowie Agrarumweltmaßnahmen angeführt).
- AgriculturalParcelShapeDescription: Im Zuge des Forschungsprojekts wurden u.a. Methoden für eine flächendeckende Beschreibung der Form landwirtschaftlicher Parzellen sowie zur Ableitung arbeitswissenschaftlich relevanter Parameter entwickelt (vgl. MACHL ET AL. 2013). Gemäß des Konzepts der Kopplung von semantischem Datenmodell mit komplexen Analysemethoden werden die Ergebnisse des Analyseprozesses zur semantischen Anreicherung der betreffenden Objekte genutzt und in diesem Modul abgebildet. Damit stehen die Analyseergebnisse für weiterführende Analysen zur Verfügung.

4.2 Der Kern des Landmodells: das Core-Modul

Das Core-Modul des Landmodells (Abbildung 2) beschreibt - ähnlich CityGML - grundlegende Klassen und Konzepte, die sich auf alle Module des Landmodells beziehen. So setzt sich das Landmodell aus „AbstractLandObjects“ (analog zu abstrakten Klasse „_CityObject“ in CityGML) zusammen, welche wiederum in Subklassen spezifiziert bzw. differenziert werden. Instanzen der Subklassen des FeatureTypes „AbstractLandObject“ verfügen neben der Möglichkeit, Referenzen auf externe Objekte auszubilden, auch über eine Assoziation zum abstrakten FeatureType „AbstractAnalysisResult“. Damit ist es möglich, auf Einzelobjekte bezogene Analyseergebnisse explizit im Datenmodell abzubilden.

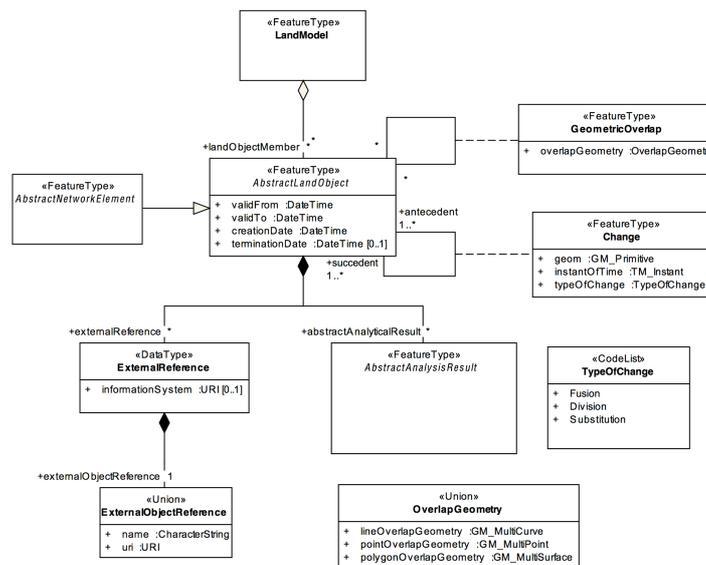


Abbildung 2: Core-Modul des Landmodells

Eine Besonderheit des Core Moduls besteht in der expliziten Abbildung von Objekten, die durch Überlagerung verschiedener Landobjekte entstehen (beispielsweise Teile landwirtschaftlicher Parzellen innerhalb von Schutzgebieten, Teile von Parzellen innerhalb statistischer Aggregationseinheiten oder von Auflagen betroffene Bereiche von Parzellen).

4.3 Konzepte zur Abbildung zeitlicher Aspekte

Klarer Fokus der Konzeption des Datenmodells liegt auf einer vollständigen Berücksichtigung der Dimension Zeit. Neben Zuständen der Realwelt zu verschiedenen Zeitpunkten sollen auch Veränderungen geometrischer und thematischer Natur explizit im Datenmodell abgebildet werden.

Nachdem Geodaten in der Vergangenheit häufig nur den Zustand der Realwelt zu einem bestimmten - meist dem jeweils aktuellen - Zeitpunkt repräsentierten und damit einen quasi statischen Datenbestand darstellten (WORBOYS & DUCKHAM 2004; BILL 2010), sind viele Geoinformationssysteme heute in der Lage verschiedene Zustände der Realwelt zu unterschiedlichen Zeitpunkten darzustellen. Während dies sehr häufig über voneinander unabhängige Zeitscheiben realisiert wurde (sog. „Snapshot-Ansatz“), verfügen viele Datenmodelle heute über ein (teilweise optionales) Versionierungs- bzw. Historisierungskonzept zur Repräsentation des Zustandes der Realwelt zu einem bestimmten Zeitpunkt. Beispielhaft sind hier Datenmodelle wie AAA (ADV 2008), INSPIRE (INSPIRE 2013a) oder CityGML (OGC 2012) anzuführen. Während das AAA-Modell nur die Speicherung der Gültigkeit eines Objekts in der Realwelt vorsieht, erfolgt die Datenhaltung bei INSPIRE teils über einen bitemporalen Ansatz durch Speicherung von Transaktionszeit und Gültigkeitszeitraum eines Objekts bzw. einer Objektversion in der Realwelt. CityGML beinhaltet in der aktuell gültigen Fassung lediglich für Instanzen der Subklassen der FeatureTypes „_AbstractBuilding“, „_AbstractBridge“ und „_AbstractTunnel“ durch optionale Attribute zu Bau- bzw. Abbruchjahr sowie optionale Attribute zur Abbildung der Objektlebensdauer eine Art bitemporalen Historisierungsansatz. Alle übrigen Subklassen des FeatureTypes „_CityObject“ verfügen lediglich über optionale Attribute zur Abbildung des Entstehens bzw. des Untergangs ihrer Instanzen.

Im Kontext eines Monitorings von Veränderungsprozessen besteht eine wesentliche Einschränkung eines reinen Historisierungsansatzes darin, dass Veränderungen nur implizit (durch Verschneidung verschiedener Objektversionen) erkannt und analysiert werden können und nicht explizit im Datenmodell abgebildet sind.

Vor diesem Hintergrund wurden in der Vergangenheit verschiedene ereignisbasierte Ansätze zur Abbildung von Veränderungen entwickelt. Diese reichen von der Überlagerung eines Grunddatenbestands mit Veränderungen (LANGRAN & CHRISMAN 1988; LANGRAN 1989; PEUQUET & DUAN; 1995, BILL 2010) über Raum-Zeit-Zusammensetzung (LANGRAN & CHRISMAN 1988; BILL 2010) bis hin zur expliziten Modellierung bzw. Speicherung von Vorgänger-Nachfolger-Beziehungen über graph-basierte bzw. graph-ähnliche Ansätze (WILCOX ET AL. 2000; ISO 2005; NAN ET AL. 2005; DEL MONDO ET AL. 2013).

Im Zuge des Projekts Landmodellierung wurde ein graph-basierter, hybrider Ansatz aus zustands- und ereignis-orientierter Repräsentation zeitlicher Veränderung im konzeptuellen Datenmodell entwickelt. Zustände eines Objekts zu einem bestimmten Zeitpunkt bilden dabei die Knoten, (objektübergreifende) Veränderungen bzw. Vorgänger-Nachfolger-

Beziehungen die Kanten des Graphen. Auf Ebene des konzeptuellen Datenmodells erfolgt die Abbildung dieses Graphen über eine reflexive Assoziationsklasse (Kante) auf die abstrakte Klasse „AbstractLandObject“ (Knoten), welche die Superklasse aller Landobjekte bildet (vgl. Abbildung 2). Die reflexive Assoziationsklasse zur Abbildung der Kanten verfügt neben Attributen zur Angabe des Zeitpunkts eines Ereignisses sowie dessen Art (Zusammenlegung, Teilung, Ersetzung) auch über ein Geometrieattribut zur Abbildung des betreffenden Bereichs. Dies ist beispielsweise dann notwendig, wenn nur ein Teil eines Geoobjekts mit einem (Teil eines) anderen Geoobjekt(s) zu einem neuen Geoobjekt vereint wird bzw. wenn ein Teil eines Geoobjekts in ein anderes überführt wird. Zeitabhängige Beziehungen zwischen Objekten werden im semantischen Datenmodell über Assoziationsklassen mit Attributen zu zeitlicher Gültigkeit der jeweiligen Beziehung in der Realwelt realisiert. Die Abbildung sämtlicher zeitlicher Aspekte erfolgt durch Speicherung von Gültigkeitszeit und Transaktionszeit grundsätzlich über einen bitemporalen Datenhaltungsansatz.

Um das Prinzip dieses Ansatzes anschaulich darzustellen, soll es schematisch anhand eines deutlich abstrahierten Datenmodells (Abbildung 3) und eines stark vereinfachten Beispiels mit entsprechender Überführung des objektorientierten Datenmodells auf ein relationales Modell (Abbildung 4) erläutert werden.

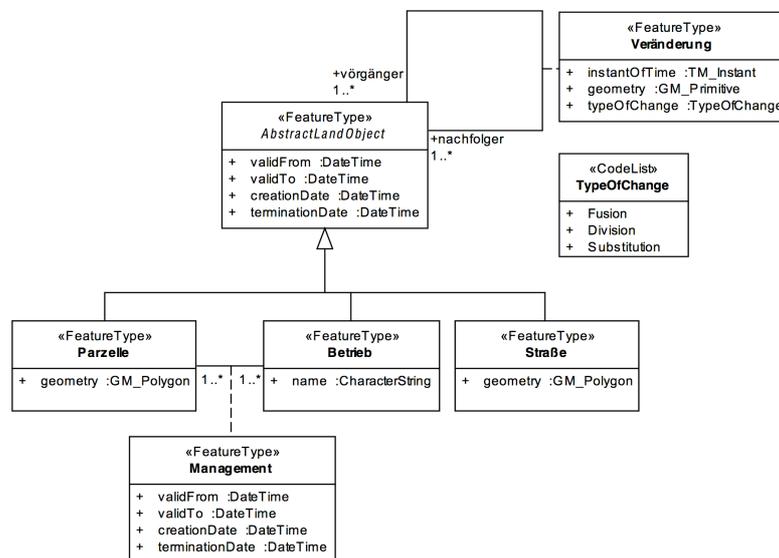


Abbildung 3: Abstrahierter Auszug des Datenmodells zur Erläuterung des Konzepts zur Abbildung raum-zeitlicher im konzeptuellen Datenmodell

Zum Zeitpunkt t_0 befinden sich zwei landwirtschaftliche Parzellen A und B nebeneinander, diese werden von Betrieb F1 (A) und F2 (B) bewirtschaftet (vgl. Abbildung 4). Zu einem späteren Zeitpunkt t_1 erfolgt der Bau einer Straße (S1). Hierfür werden von A und B Teile abgespalten. Der verbliebene Teil von B wird mit einem Teilstück von A zu einer neuen Bewirtschaftungseinheit zusammengefasst und ab t_1 von Betrieb F3 bewirtschaftet. Der übrige Teil von A bleibt unter Bewirtschaftung von F1.

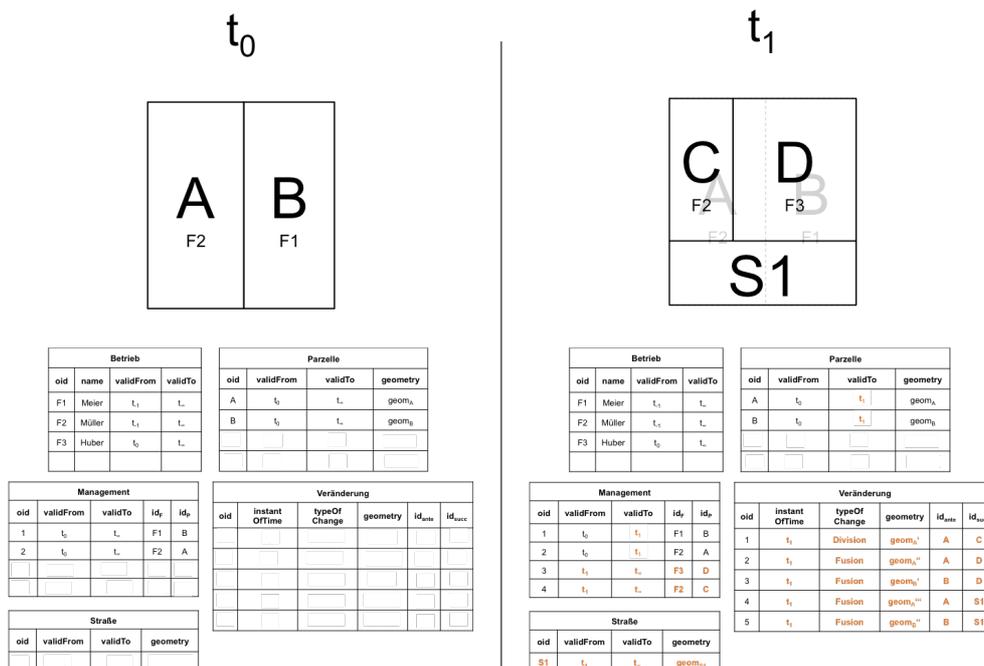


Abbildung 4: Abbildung zeitlicher Veränderung auf relationalem Modell

Damit endet zum Zeitpunkt t_1 die Lebensdauer der Parzellen A und B, gleichzeitig beginnt die Lebensdauer von Parzelle C und D sowie der Straße S1. Zu t_1 endet auch die Bewirtschaftung der Parzelle A durch Landwirt F2 sowie die Bewirtschaftung der Parzelle B durch Betrieb F1. Parzelle C wird künftig von Landwirt F2, Parzelle D von Landwirt F3 bewirtschaftet.

Als Veränderungen Landobjekten zum Zeitpunkt t_1 werden die Abspaltung von $geom_A'$ der Parzelle A zur späteren Parzelle C, die Zusammenlegung von $geom_A''$ von A mit $geom_B'$ zur Parzelle D sowie der Nutzung von $geom_A'''$ und $geom_B''$ für einen Teil der neu gebauten Straße S1.

Durch die hybride Abbildung des Zustands von Objekten zu verschiedenen Zeitpunkten sowie der gleichzeitigen expliziten Repräsentation zeitlicher Veränderungen bzw. der Vorgänger-Nachfolger-Beziehungen im Datenmodell sind tiefgreifende raum-zeitliche Analysen möglich. Exemplarisch soll dies an beispielhaften Fragestellungen erläutert werden:

- Wie war der Zustand der Realwelt zum Zeitpunkt t_0 ?
„Selektiere alle Objekte und deren Beziehungen zu anderen Objekten, die zum Zeitpunkt t_0 gültig waren“.
- Wie groß ist die Fläche der durch den Straßenbau versiegelten Grünlandflächen innerhalb der Region XY?
„Selektiere alle Veränderungen, deren Geometrie sich innerhalb der Region XY

befindet, deren Vorgänger eine Grünlandfläche war und deren Nachfolgeobjekt Straßen sind und summiere die Fläche der Geometrie auf“.

- In welchen Regionen finden sich Hotspots mit einer starken Tendenz zur Zusammenlegung landwirtschaftlicher Parzellen?
„Selektiere Veränderungen des Typs ‚Zusammenlegung‘ und aggregiere deren Frequenz auf Ebene der Aggregationseinheit XY“.
- Wie sah die Abfolge von Feldkulturen auf dem Schlag XY in den vergangenen 5 Jahren aus?
„Erstelle auf Grundlage der Vorgänger-Nachfolger-Beziehungen der Tabelle Veränderung für das Schlagobjekt eine Aufzählung aller Feldfrüchte und sortiere diese nach Zeitpunkt ihrer Gültigkeit aufsteigend“.
- Welche landwirtschaftlichen Parzellen wurden im Zeitraum von t_1 bis t_5 in der Region XY zu größeren Bewirtschaftungseinheiten zusammgelegt?
„Zeige alle Veränderungen vom Typ ‚Zusammenlegung‘ im Zeitraum t_1 bis t_5 , deren Geometrie sich innerhalb der Region XY befindet und deren Nachfolgeobjekte größer sind als eines ihrer Vorgängerobjekte“.

5. Fazit: Landmodell = CityGML_{(Agrar-)Landschaft}

Das im Beitrag beschriebene semantische Datenmodell bildet den wesentlichen Kern eines Monitoringsystems zur tiefgreifenden Abbildung der Agrarlandschaft und ihrer zeitlichen Veränderung. Bei der Konzeption dieses Datenmodells werden erfolgreiche Konzepte aus CityGML aufgegriffen. Hierzu zählen insbesondere Konzepte wie der modulare Aufbau, die Erweiterbarkeit über generische Objekte und Attribute sowie Application Domain Extensions (ADE), die Möglichkeit der Ausbildung von Referenzen auf externe Objekte, das Konzept der geometrisch-semantischen Kohärenz, die Bildung komplexer Objekte durch Aggregation sowie insbesondere auch das im Kontext von CityGML erfolgreich praktizierte Konzept der Kopplung von semantischem Datenmodell mit komplexen Analysemethoden verbunden mit dem Konzept der semantischen Anreicherung des Datenmodells. Darüber hinaus sind bei der Konzeption des Landmodells weitere Aspekte zu berücksichtigen. An dieser Stelle sind neben verschiedenen thematischen Gesichtspunkten insbesondere die vollständige Integration zeitlicher Aspekte (Zustand + Veränderung), die explizite Modellierung statistischer Aggregationseinheiten, die explizite Abbildung multifunktionaler (= durch räumliche Überlagerung verschiedener Objekte entstandene) Elemente, die Abbildung topologischer Knoten-Kanten-Netzwerke, sowie insbesondere auch die Möglichkeit zur Abbildung feldbasierter Informationen zu nennen.

Hinsichtlich der Repräsentation zeitlicher Aspekte wird im Forschungsprojekt derzeit ein graph-basierter und auf einer hybriden Kombination aus zustands- und ereignisorientiertem Ansatz basierendes Konzept entwickelt. Der in diesem Beitrag vorgestellte Ansatz verbindet die Vorteile eines Historisierungsansatzes (= performante Rekonstruktion der Realwelt zu einem bestimmten Zeitpunkt) mit der Möglichkeit, objektübergreifende Veränderungen der Agrarlandschaft explizit im Datenmodell abzubilden und damit für Analysen zugänglich zu machen.

CityGML und Landmodell verfolgen also mit dem Grundgedanken der Entwicklung eines umfassenden und zunächst im jeweiligen Kontext anwendungsneutralen Informationsmodells dasselbe Ziel. Bei der Entwicklung des Landmodells lassen sich einige wesentliche Konzepte von CityGML auf eine Anwendung zur Abbildung der Agrarlandschaft übertragen. Beide Datenmodelle stellen jedoch zunächst eigenständige - wenn auch parallel verlaufende - Entwicklungen dar. Dadurch ergeben sich erhebliche Synergiepotentiale. So könnten Konzepte des Landmodells auch in die Entwicklung künftiger Versionen von CityGML einfließen. Beispielhaft seien hier Konzepte zur Abbildung zeitlicher Aspekte, die explizite Berücksichtigung statistischer Aggregationseinheiten, die Abbildung von Knoten-Kanten-Netzwerken angeführt. Der Transfer dieser Konzepte wird dabei durch den gemeinsamen Bezug beider Datenmodelle auf Standards der ISO 19100 Normenserie deutlich vereinfacht.

Dank

Die Finanzierung des Projekts '2D +t Landmodellierung' erfolgt durch die Verwaltung für Ländliche Entwicklung des Bayerischen Staatsministeriums für Ernährung Landwirtschaft und Forsten (BayStMELF). Weitere Projektpartner sind folgende Einrichtungen der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL): Abteilung Informations- und Wissensmanagement (AIW), Institut für Betriebswirtschaft und Agrarstruktur (IBA) sowie das Institut für Ökologischen Landbau, Bodenkultur und Ressourcenschutz (IAB).

Literatur

- ADV (2008), Dokumentation zur Modellierung der Geoinformationen des amtlichen Vermessungswesens - Hauptdokument.
- BILL, R. (2010), Grundlagen der Geo-Informationssysteme. Wichmann Verlag, Heidelberg.
- DEL MONDO, G., RODRÍGUEZ, A., CLARAMUNT, C., BRAVO, L. & THIBAUD, R. (2013), Modeling consistency of spatio-temporal graphs. *Data & Knowledge Engineering*, 84:59–80.
- INSPIRE (2013a), Data Specification on Agricultural and Aquaculture Facilities – Technical Guidelines.
- INSPIRE (2013b), Data Specification on Statistical Units – Technical Guidelines.
- ISO (2005), ISO 19108:2005: Geographic information - Temporal schema.
- KADEN, R. & KOLBE, T. H. (2013), City-Wide Total Energy Demand Estimation of Buildings using Semantic 3D City Models and Statistical Data. In: *Proceedings of the 8th International 3D GeoInfo Conference*.
- KADEN, R., PRYTULA, M., KRÜGER, A. & KOLBE, T. H. (2013), Energieatlas Berlin: Vom Gebäude zur Stadt - Am Beispiel zur Abschätzung der Wärmeenergiebedarfe von Gebäuden. In: *Geoinformationssysteme 2013 - Beiträge zum 18. Münchner Fortbildungsseminar Geoinformationssysteme*. Wichmann Verlag, Heidelberg.

- KATZLBERGER, G. (2012), Möglichkeiten der Verknüpfung von Sach- und Rasterdaten. In: Expertenrunde des Runden Tisch GIS e.V. – Statistische Daten und GIS.
- KOLBE, T. H. (2009), Representing and Exchanging 3D City Models with CityGML. In: Lee, J. & Zlatanova, S. (Hrsg.), 3D Geo-Information Sciences, Lecture Notes in Geoinformation and Cartography, pages 15–31. Springer, Berlin Heidelberg.
- KRÜGER, A. & KOLBE, T. H. (2012), Building Analysis for Urban Energy Planning using Key Indicators on virtual 3D City Models - The Energy Atlas of Berlin. In: ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XXXIX-B2, 145–150.
- LANGRAN, G. (1989), Time in Geographic Information Systems. Dissertation, Seattle.
- LANGRAN, G. & CHRISMAN, N. R. (1988), A framework for temporal geographic information. In: Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization, 25 (3), 1-14.
- LFSTAD (2014), Pressemitteilung Nr. 295/2014/34/a vom 9.10.2014.
- MACHL, T., DONAUBAUER, A., AUERNHAMMER, H. & KOLBE, T. H. (2013), Shape and ergonomics: Methods for analyzing shape and geometric parameters of agricultural parcels. In EFITA-WCCA- CIGR Conference “Sustainable Agriculture through ICT Innovation. EFITA, WCCA, CIGR.
- NAN, L., RENYI, L., GUANGLIANG, Z. & JIONG, X. (2005), A spatial-temporal system for dynamic cadastral management. In: Journal of Environmental Management, 78(4), 373 - 381.
- OGC (2012), OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard 2.0. Open Geospatial Consortium.
- PEUQUET, D. J. & DUAN, N. (1995), An event-based spatio- temporal data model (estdm) for temporal analysis of geographical data. In: International Journal of Geographical Information Systems, 9(1), 7–24.
- SCHULTE, C. & COORS, V. (2008), Development of a CityGML ADE for dynamic 3D flood information. In: Proceedings of the Joint Conference on Information Systems for Crisis Management.
- STADLER, A. & KOLBE, T. H. (2007), Spatio-semantic Coherence in the Integration of 3D CityModels. In: 5th International Symposium Spatial Data Quality 2007.
- StMELF (2014), Bayerischer Agrarbericht 2014. Bayerisches Staatsministerium für Ernährung Landwirtschaft und Forsten.
- WILCOX, D. J., HARWELL, M. C., & ORTH, R. J. (2000), Modeling dynamic polygon objects in space and time: A new graph-based technique. In: Cartography and Geographic Information Science, 27 (2), 153–164.
- WORBOYS, M. & DUCKHAM, M. (2004), GIS : A Computing Perspective. CRC Press, Boca Raton.