

GeoSaMT – ein Konzept zur Kartierung und Modellierung von steilen Hangbereichen mittels terrestrischer Photos

GeoSaMT - a concept for mapping and modelling steep slopes by the use of terrestrial photographs

Citation Notes

This is an early draft version of

Löwner, M.-O., Dörschlag, D. & Plümer, L. (2005): GeoSaMT - ein Konzept zur Kartierung und semantischen Modellierung von steilen Hangbereichen. Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation, 4/2005: 281-290.

Keywords: Geoinformation, Geographical Information Systems, Geomorphology, Semantic

Zusammenfassung

Bereiche steiler Hangneigung und senkrechte Wände stellen ein bedeutendes Naturgefahrenpotential für die alpinen Gebiete Europas und der gesamten Welt dar. Konzepte zur semantisch motivierten Kartierung und Analyse dieser z. T. überhängenden Bereiche als Mittel für politische Entscheidungsfindung sind mit den Standard-Geoinformationssysteme und den in den Landesvermessungsämtern vorgehaltenen Massendaten der Landoberfläche jedoch nicht durchzuführen. Mit dem GeoSaMT-Konzept (Geomorphologisch- Semantisches Modellierungstool) wird ein Verfahren vorgestellt, mit dem der Anwender terrestrische Digitalfotos effizient verwalten und analysieren sowie dreidimensionale Objekte erfassen und in einer objekt-relationalen Datenbank persistent speichern kann. Das Konzept umfasst eine geometrische Modellierung der Geoobjekte auf Basis des internationalen Standards der Geography Markup Language (GML) sowie die semantische Modellierung der Bereiche von Felswänden mit der Unified Modeling Language (UML). Mit dem GeoSaMT- Konzept wird der Anwender in die Lage versetzt, problembezogene Fragestellungen an Geoobjekten zu bearbeiten, die durch luftgestützte Fernerkundungsdaten nicht aufgeklärt werden können.

Summary

Steep slopes and free faces represent high risk potential for natural hazards in alpine areas of Europe and the entire world. Nevertheless semantically motivated mapping and analysis of these partly over-hanging structures in order to support political decision making processes are not covered by current geographical information systems and the data of the land surface available. With the GeoSaMT- concept (Geomorphologic Semantically Modelling Tool) presented here, the user is enabled to store and analyse terrestrial digital photographs in an object-relational data base as well as three-dimensional objects. The concept covers both a geometrical modelling of geobjects on the basis of the international standard of the Geography Markup Language (GML) and a semantic modelling of free faces on the basis of the Unified Modeling Language (UML). The GeoSaMT- concept enables the user to solve problem-related issues of geobjects which could never be identified by air-based remote sensing data.

1 Einleitung

Die Struktur der Landoberfläche, das Relief, stellt einen wesentlichen Schlüssel zur Erkenntnis der Transportprozesse von Sediment in alpinen Hochgebirgsregionen dar. Ein besonderes Charakteristikum dieser Gebiete sind Felswände und sehr steile Hangbereiche, also Hänge mit einer Neigung über 45° (vgl. DALRYMPLE ET AL. 1968). Sie sind dabei in dreierlei Hinsicht von Bedeutung:

1. Wände stellen in Hochgebirgen beeindruckende und für die Orientierung hilfreiche Landmarks dar (vgl. STECK & MALLOT 2000), die im Freizeit- und Sportbereich eine traditionelle Sonderstellung genießen. Nicht nur die berühmte 1800 m hohe Eiger Nordwand hat immer wieder die Welt der Bergsteiger fasziniert.
2. Wände und steile Hangbereiche stellen aufgrund ihrer hohen Hangneigung und der damit verbundenen hohen kinetischen Energie ein bedeutendes Naturgefahrenpotential für die alpinen Gebiete Europas und der gesamten Welt dar (vgl. GEIPEL 1992). Mit Felswänden verbundene Prozesse wie Felsstürze oder Steinschlag bedrohen Siedlungen und Tourismus in erschreckender Regelmäßigkeit. Auch Muren (vgl. COROMINAS ET AL. 1996), die in den Medien gerne Schlammlawinen genannt werden, sind an steile Hänge und eine entsprechende Bereitstellung von Sediment gebunden. Ausgehend von Wänden bedrohen Steinschläge Siedlungen in alpinen Tälern und geben Anlass für aufwendige Schutzbauten. Abbildung 1 zeigt eine Felswand mit Überhang im Rhonetal (Schweiz). Das am Fuße der Wand stehende Gebäude ist durch Felsstürze stark gefährdet. Allein im Turtmanntal (Schweiz) sind mehr als 200 Wände mit rezenter Steinschlagaktivität dokumentiert (OTTO & DIKAU 2004).
3. Die Erforschung dieser Prozesse und Formen stellt ein drittes Interessensfeld dar, das in den Fachbereich der Geomorphologie fällt. Grundlegende Erkenntnisse, die das Auftreten von Naturgefahren vorhersagen und geeignete kostenoptimierte Lösungen vorschlagen helfen, müssen vertieft und hinzugewonnen werden. Auch ein optisches Monitoring gefährdeter Bereiche, wie es etwa bei Massenbewegungen in Bereichen geringerer Hangneigung im Tessin (Italien) bereits durchgeführt wird (PASUTO ET AL. 1993, HERVÁS ET AL. 2003), müssen auf Wände und steile Hangbereiche ausgedehnt werden.

Diesen vielfältigen Interessen steht entgegen, dass Standard- Geoinformationssysteme und in den Landesämtern vorgehaltenen Massendaten der Landoberfläche keine direkte Möglichkeit zur Analyse von Wänden und steilen Hangbereichen bieten. Wände stehen senkrecht zur Horizontalprojektion, gar überhängend, haben Löcher, Anrissnischen und Klüftungen (vgl. AHNERT 1995), die Hinweise auf mögliche Gefährdungen durch Felsstürze oder Steinschlag geben können. 2D- bzw. 2,5D- Konzepte in Geoinformationssystemen, wie sie etwa ERDAS IMAGINE oder ESRIs ArcMap verfolgen, erlauben keine Analyse senkrecht stehender oder überhängender Landformen und ihrer Strukturen. Digitale Höhendaten im Rasterformat, wie sie etwa aus Luftbildern gewonnen werden, bieten durch ihre Projektion auf die Horizontalebene keine Möglichkeit der Aufklärung. Selbst die hochauflösten Rasterdaten der High Resolution Stereo Camera (HRSC), die in einer Befliegung des Turtmanntales in der Schweiz durch die Deutsche Gesellschaft für Luft und Raumfahrt für das Graduiertenkolleg 437, „das Relief – eine strukturierte und veränderliche Grenzfläche“, erstellt worden sind, bieten keine zusätzlichen Informationen über Strukturen von senkrechten und überhängenden Felswänden und steilen Hangbereichen. Gleichzeitig aber nehmen die Möglichkeiten objekt-relationaler Datenbanken, geometrisch-topologische Datenmodelle im dreidimensionalen Bereich zu implementieren und räumlich zu analysieren, beständig zu.



Abb. 1: Felswand mit Überhang im Rhonetal (Schweiz). Das Haus im Vordergrund ist durch Felsstürze aus der Wand gefährdet.

Eine Untersuchung von Wänden und steilen Hangbereichen erfordert also ein dreidimensionales Datenmodell der Landoberfläche, das über die Repräsentation der Höhe als differenzierbare Funktion des Ortes hinausgeht (vgl. RIGAUD ET AL. 2002). Vertikale Wände und Überhänge müssen ebenso erfasst und gespeichert werden können, wie Volumen zur Berechnung gefährdender Sturzmassen oder vakanter Überhänge. Für weiterreichende Analysen muss das Datenmodell auch eine Repräsentation von semantischen Beziehungen der einzelnen Objekte in den betrachteten Bereichen ermöglichen, um geomorphologisches Fachwissen in formalisierter Form abzubilden und anzuwenden. Informationen in Form von Relief- und Bilddaten können nicht über luftgestützte Fernerkundung, sondern müssen durch terrestrische Feldmethoden akquiriert werden.

Dieser Bedarf an Strukturdaten ist unter Berücksichtigung ökonomischer Wirtschaftlichkeit zu decken. Dem Anwender muss ermöglicht werden, selbständig Felddaten zu erheben, und trotz ihrer Größe effektiv auf sie zuzugreifen, sie aufzubereiten, zu visualisieren und zu analysieren. Dabei fällt der Kartierung und Vermessung semantisch definierter Objekte der beobachteten Bereiche steiler Hangneigung eine besondere Bedeutung zu.

Mit dem GeoSaMT-Projekt stellen wir einen Lösungsansatz für den Fachanwender vor, der es ermöglicht, digitale Fotos von Objekten effektiv zu verwalten und der semantischen Fragestellung entsprechend zu analysieren. Das Konzept füllt insbesondere die Lücken, die zweidimensionale Standard- Geoinformationssysteme bei der Analyse

von vertikalen und überhängenden Wänden zurücklassen. Im Folgenden wird die Architektur des Gesamtkonzeptes skizziert, in den Kapiteln 3 und 4 folgen die Darstellungen der Modellierungen der dreidimensionalen Geometrie und Semantik sowie die Verarbeitung und Analyse der digitalen Fotos.

2 GeoSaMT – das Gesamtkonzept

Die Problematik der Repräsentation vertikaler und überhängender Flächen bei aktuellen Standard- Geoinformationssystemen ist im Wesentlichen zweigeteilt. Dabei betrifft die eine Seite die 2D bzw. 2,5D- Datenkonzepte, mit denen Informationen über die Oberfläche der Erde repräsentiert werden. Die meist verwendete Form der Speicherung der Geländeoberfläche in GI-Systemen ist das Raster, für das für alle Punkte die Gleichung $z = f(x,y)$ gilt. Regelmäßige Raster sind damit nicht in der Lage, vertikale Strukturen zu speichern, da einer Flächeneinheit, einem Pixel, genau ein Höhenwert zugeordnet ist. Wird nun die Hangneigung zwischen zwei Pixeln berechnet, wird dieser Wert wegen der Zellenbreite, die stets größer Null ist, nie 90° annehmen. Überhänge sind ebenfalls nicht darzustellen, da es hier mindestens zwei z-Werte der obigen Funktion geben würde, sie sind nicht sichtbar. Auch Dreiecksvermaschungen (TINs) übernehmen in Folge dieser Bedingung die Schwäche. Unter Einhaltung gewisser geometrischer und topologischer Regeln können Dreiecksvermaschungen allerdings für die Repräsentation von Überhängen herangezogen werden (GRÖGER & PLÜMER 2004). Hierbei handelt es sich aber um ein 2,8D- Konzept, das in Standard-GI-Systemen derzeit nicht implementiert ist. Aber auch diese Konzepte reichen noch nicht aus, um Volumen, wie etwa Gesteinsschichten oder das Volumen einer Schutthalde zu repräsentieren. Die zweite Seite des Problems umfasst die Eingangsdaten für die Erstellung von digitalen Geländemodellen. Hierbei werden auf die Horizontalebene projizierte Daten verwendet, die Überhänge und Strukturen in der Wand nicht sichtbar machen können.

Die beste Alternative für den Fachanwender, hoch aufgelöste Daten von Wänden zu erhalten, terrestrische Digitalbilder, führen häufig zu einer nicht handhabbaren Anzahl sehr großer Bilddateien, auf denen Objekte der Realwelt nicht direkt kartiert werden können. Bildkoordinaten sind nicht direkt in den Objektraum zu übertragen, auch sind Koordinaten verschiedener Bilder ohne Überführung in ein übergeordnetes Koordinatensystem nicht direkt vergleichbar.

Mit dem GeoSaMT- Konzept (Geomorphologisch- Semantisches Modellierungstool) stellen wir einen Lösungsansatz vor, der es ermöglicht, Daten mit terrestrischen Digitalbildern einer handelsüblichen Kamera kostengünstig zu erheben und mithilfe eines kommerziellen objekt-relationalen Datenbankmanagementsystems zu verwalten. Der Ansatz beinhaltet die Möglichkeit, die erhobenen Bilddaten außerhalb kostenintensiver photogrammetrischer Softwareprodukte relativ und absolut zu orientieren und zu analysieren. Dabei steht das Ziel der Visualisierung und Kartierung von semantisch definierten Objekten steiler Hangbereiche im 3D-Raum im Vordergrund. Die kartierten Punkt-, Linien- und Flächenelemente werden mittels eines geometrischen Datenmodells auf der Basis der Geography Markup Language (GML) in der Datenbank abgespeichert (vgl. COX ET AL.). Das Konzept beinhaltet eine grundlegende Semantik für natürliche dreidimensionale Geobjekte der alpinen Felswand.

Abbildung 2 zeigt einen Überblick über das GeoSaMT- Konzept. Den technischen Kern der Datenverwaltung bildet das objekt-relationale Datenbankmanagementsystem (DBMS) Oracle Spatial 10g. Die Wahl eines kommerziellen DBMS birgt den Vorteil von technischen Entwicklungen des Produktes direkt zu profitieren, ohne aufwendige Implementierungen selbst durchzuführen. Schon jetzt verfügt Oracle Spatial 10g über eine Anzahl räumlicher Abfragealgorithmen (ORACLE COOPERATION 2002). Neben den

digitalen Fotos wird hier nach der interaktiven Datenaufbereitung nur die 3 x 3 Matrix der relativen und die 3 x 4 Matrix der absoluten Orientierung der Bilder gespeichert. Somit können die Bilder speicherplatzsparend nach Bedarf zusammengefügt werden (LÖWNER ET AL. 2004) und die abgebildeten Geoobjekte durch Übertragung in ein übergeordnetes Koordinatensystem (DÖRSCHLAG ET AL. 2003) und Visualisierung innerhalb einer Stereokomponente dreidimensional kartiert werden.

Neben dem geometrischen Datenmodell zur Speicherung der Objektkoordinaten ist im DBMS auch ein semantisches Datenmodell implementiert, das dem Anwender erlaubt, fachlich differenzierte Geoobjekte einfacher zu erkennen, zu erfassen, abzuspeichern und zu analysieren. Dabei wächst der Analyseumfang nicht nur mit den zu erwartenden Weiterentwicklungen des räumlichen Datenbankmanagementsystems, sondern auch durch die potentielle Implementierung eigener Algorithmen auf Basis der objektorientierten Klassenmodellierung. Die Kartierung, ebenso wie die semantische Klassifizierung der kartierten Geoobjekte erfolgt interaktiv durch den Benutzer. Dabei kann er auf die im DBMS abgelegte formalisierte Semantik zurückgreifen. Die Anzahl der potenziellen Semantiken und die damit verbundene Anzahl der fachlichen Benutzergruppen ist praktisch unbegrenzt. Unterstützung der Erkennung von Geoobjekten kann durch die Visualisierung von Objektparametern, wie Neigung oder Wölbung, gegeben werden (Löwner et al. 2003). Die Güte dieser Visualisierung ist ebenfalls von der semantischen Modellierung abhängig.

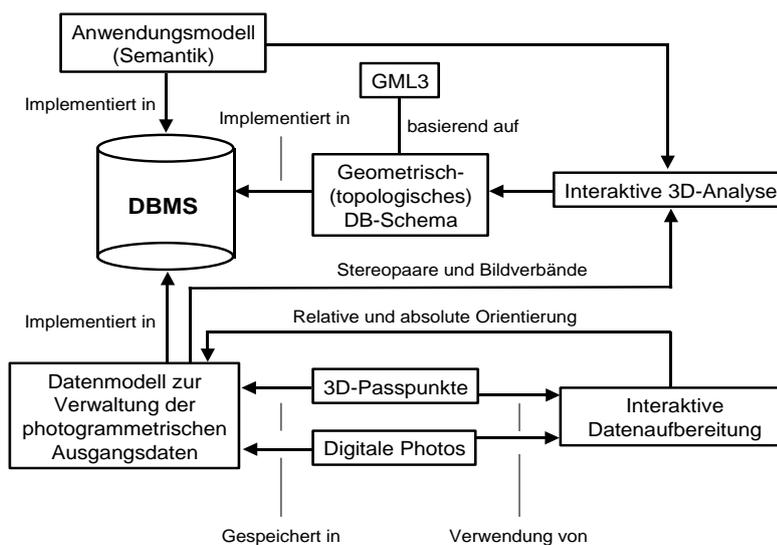


Abb. 2: Überblick des GeoSaMT- Konzeptes. Als Datenbank-managementsystem wird die kommerzielle objekt-relationale Datenbank Oracle Spatial 10g eingesetzt.

3 Datenbankschemata zur semantischen Analyse von Wänden

Die Kartierung und semantische Erfassung geomorphologischer Objekte in und an Wänden und steilen Hangereichen verlangt eine persistente Speicherung dreidimensionaler geometrischer Objekte. Dazu bedarf es eines Datenmodells, das über die Verfahren der Standard- Geoinformationssysteme hinausgeht. Bei vertikalen Wänden oder überhängenden Wandteilen handelt es sich um Flächenobjekte im dreidimensionalen, deren Oberflächenstruktur nicht mit horizontalprojizierten Daten zu erfassen ist. Für die Erkennung von Strukturen einer Felswand reicht es auch nicht aus,

die Auflösung bekannter 2,5D- Datenstrukturen, etwa einem Raster zu erhöhen, um die benötigten Informationen zu erhalten. Da die Auflösung der wahren, also der geneigten Oberfläche m mit der der Horizontalprojektion n und dem Neigungswinkel α durch $m = n / \cos \alpha$ in Beziehung steht, werden Flächen mit einer Hangneigung von 60° nur noch halb so hoch aufgelöst, 80° geneigte Flächen gar nur mit $1/10$ der Auflösung der Horizontalfläche erfasst. Die Repräsentation der Höhe durch $z = f(x,y)$, als eine differenzierbare Funktion des Ortes, lassen sich vertikale Wände oder Überhänge gar nicht repräsentieren. Das zur Speicherung der Geometrie benötigte Verfahren muss also in der Lage sein, dreidimensionale geometrische Objekte, also auch Volumen fassen zu können.

Eine thematische Kartierung ohne vorhergehende semantische Modellierung nicht sinnvoll. Diese Modellierung ist stark vom Verständnis der Phänomene der Welt abhängig und kann als eine Formalisierung von Fachwissen gesehen werden. Da dieses Fachwissen in Abhängigkeit wissenschaftlicher Fragestellung formuliert wird, folgt die semantische Modellierung immer einem Erkenntnisinteresse und einem Ziel. Hier ist das Ziel der Modellierung die Möglichkeit, die in der geomorphologischen Fachliteratur diskutierten Teilobjekte von Wänden und steilen Hangbereichen zu kartieren, zu vermessen und damit die Voraussetzung für eine Prozessmodellierung zu schaffen. Dies umfasst die Struktur der Wand ebenso, wie ihre Funktion als Quelle von Sediment, welches in Speichern, also dreidimensionalen Körpern gehalten wird.

3.1 Das Datenmodell zur Repräsentation dreidimensionaler räumlicher Objekte

Zur Lösung der Repräsentationsprobleme von vertikalen oder überhängenden Wänden wird in GeoSaMT ein dreidimensionales Datenmodell zur Erfassung der Geometrie von Geoobjekten verwendet, das sowohl Flächen als auch Volumina im dreidimensionalen Raum abbilden kann. Es handelt sich hierbei um ein Schema der Geography Markup Language (GML), die auf der Extensible Markup Language XML basiert und eine Modellierung des ISO-Standards 19107 „Spatial Schema“ darstellt (vgl. LAKE ET AL. 2004, Cox et al. 2004). Dabei beruht die Geometrie eines Objektes auf einer Spezialisierung des `AbstractGeometryTypes` in die geometrischen Klassen `Point`, `_Curve`, `_Surface` und `_Solid` (die Unterstriche implizieren abstrakte Klassen). Die Entscheidung über die Art des Geometrietyps wird durch die Assoziation mit der Klasse `GeometryPropertyType` spezifiziert. Die sichtbare Oberfläche eines Geoobjektes in einer Wand kann dann durch eine Instanz der Klasse `PolygonPatchType` begrenzt werden (GML3, Lake et al. 2004). Diesem `PolygonPatch` ist wiederum eine Oberfläche in Form von Dreiecken, also einem TIN zugeordnet.

Der Vorteil einer Modellierung in GML als Realisierung eines ISO Standards liegt hauptsächlich in der Interoperabilität der vorgehaltenen Geodaten mit anderen Informationssystemen (vgl. GRÖGER & KOLBE 2003). Diese wird nach BISHR (1998) durch die Schema-Heterogenität, also die strukturellen Unterschiede bei der Modellierung desselben Objektes, der syntaktischen und der inhaltlich dominierten semantischen Heterogenität zwischen Datenmodellen behindert. Während letzteres aufgrund der fachbezogenen Modellierung nicht eindeutig zu gestalten ist, fallen die ersten beiden Arten der Heterogenität durch die Verwendung international akzeptierter Standards weg.

Das umrissene Modell entspricht aufgrund fehlender Topologie zunächst einem Spaghettimodell (vgl. RIGAUX ET AL. 2002). Zwar kann in GML die Topologie räumlicher Objekte modelliert werden, hier ist allerdings aus zwei Gründen darauf verzichtet worden. Zum Einen ist die Beziehung der natürlichen Objekte alpiner

Regionen primär durch eine prozessuale Aktivität als durch eine Topologie gegeben. Eine Wand steht mit der darunter liegenden Schutthalde also über einen Prozess des Fallens von Sediment in Beziehung. Diese Beziehung besteht auch dann, wenn zwischen dem Objekt *Wand* und dem Objekt *Schutthalde* andere Objekte liegen, etwa Rinnen oder Leisten. Gleiches gilt etwa für Sediment, das durch eine Flut erodiert und z.T. hunderte Kilometer von diesem Ort durch einen Fluss wieder akkumuliert werden kann. Die Beziehung der beiden Objekte zueinander ist dann also durch den fluvialen Transport gegeben. Zum anderen liegt die Entscheidung in der konzeptionelle Einfachheit begründet, die zur Implementierung in ein kommerzielles Datenbanksystem sinnvoll erscheint.

3.2 Beispiel einer semantischen Modellierung für Felswände

Eine thematische Kartierung und Abspeicherung von Geoobjekten verlangt ein formalisiertes Konzept aus Sicht der Fachwissenschaft. Im Fall der Kartierung und Modellierung von Objekten der Wand und steiler Hangbereiche wird auf Fachwissen der Geomorphologie zurückgegriffen. Der hier verwendete Formalismus zur Darstellung ist die Unified Modelling Language (UML) (vgl. HITZ & KAPPEL 1999). Abbildung 3 zeigt eine kurze Übersicht über die Notation von UML.

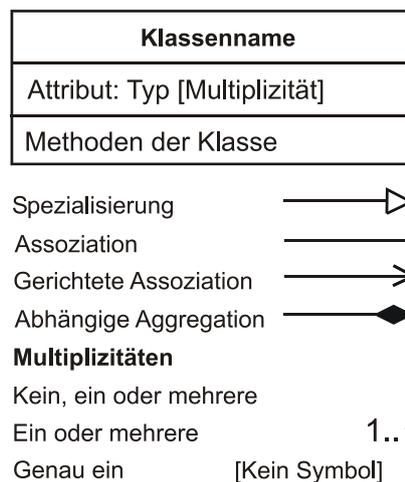


Abb. 3: Ausgesuchte Notation der graphischen Modellierungssprache UML

Abbildung 4 zeigt die Modellierung einer Felswand im Hochgebirge. Die Oberkante der Modellierung bildet das Geoobjekt, dessen geometrische Form durch die Assoziation mit einem Objekt `_GeometryPropertyType` (vgl. Kap. 3.1) gegeben ist. Durch eine externen Referenz der Klasse `ExterneReferenz` ist die Verbindung mit anderen Informationssystemen gegeben.

Der Hang als Spezialisierung des Geoobjektes kann sich unter anderem auch aus dem Geoobjekt `Wand` zusammensetzen, was die Multiplizität `*` (kein oder mehrere) aussagt. Diese Aggregation ist unabhängig, Wände können also auch unabhängig vom Objekt `Hang` existieren. Nach DALRYMPLE sind geneigte Flächen über 65° Grad als Wände anzusprechen, es handelt sich also um eine rein geometrisches Auswahlkriterium. Dies ist unabhängig vom Material der geneigten Fläche anzuwenden. So kann z.B. auch Löß, ein äolisches Sediment, das hauptsächlich aus Schluff mit einer Korngröße $0,002 - 0,063$ mm besteht, nahezu vertikale Wände aufbauen (PÉCSI & RICHTER 1996). Es muss also eine Spezialisierung der Klasse `Wand` durch die Klasse `Felswand` erfolgen, um die im alpinen Hochgebirge auftretende Phänomen zu modellieren. Felswände sind durch eine Oberfläche aus anstehendem, unverwittertem Gestein gekennzeichnet. Diese Oberfläche

kann durch geomorphologisch aufschlussreiche Strukturen, wie etwa Lochverwitterung (AHNERT 1998) gekennzeichnet sein. Die Möglichkeit der Attributierung durch den Anwender wird in einer Stereotypklasse `Codelist` modelliert, eine Auflistung zugelassener Attributwerte für die Klasse `Felswand`. Die `Felswand` kann mit einem Überhang assoziiert werden, der wiederum eine Spezialisierung der `Wand` darstellt. Als Attribut hat der Überhang ein Neigungswinkel größer 90° .

An Felswänden können `Leisten` vorkommen, treppenstufenartige Bänder, die durch Abbrüche einer über ihnen liegenden Scholle entstehen können. Diese `Leisten` sind von der Existenz der `Felswand` abhängig, ohne die sie nicht auftreten können, was die Notation der abhängigen Aggregation deutlich macht. Anders verhält es sich mit `Klüftungen`, die auch in horizontal gelagerten Festgesteinsformationen auftreten können. Sie bestehen ihrerseits aus zwei `Klüftflächen`, deren Entfernung voneinander z.B. eine Aussage über die Stabilität der `Wand` zulässt. Die `Leisten` erfüllen die geomorphologisch wichtige Funktion, Sedimentspeicher, sie können also Verwitterungsmaterial der `Wand` oder darüber gelegener Formen aufnehmen und zurückhalten zu können. `Sedimentspeicher`, wiederum `Geoobjekte`, können in allen Skalen vorkommen, in den Bereichen steiler Hangneigung auch als `Schutthalde`, den `Wänden` untergelagerten Halden des Verwitterungsmaterials der `Wand`. Damit ist auch klar, das `Schutthalde` unterhalb von `Wänden` liegen. Von einer weiterführenden Modellierung von Formenvergesellschaftungen, in denen natürlich auch unterhalb von `Schutthalde` oder – kegeln wiederum `Felswände` liegen können, sei hier abgesehen.

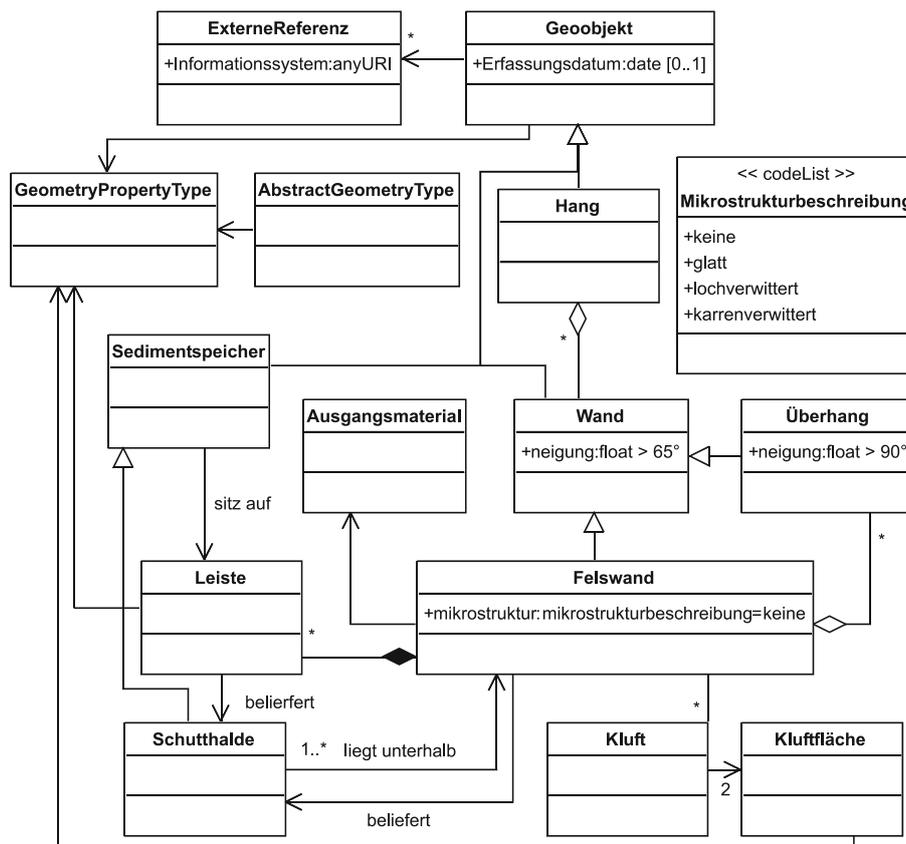


Abb. 4: Auszug der semantischen Modellierung von natürlichen Geoobjekten der Wand.

Das hier vorgestellte semantische Modell erfüllt die Anforderungen an eine semantische Kartierung von Wänden und steilen Hangbereiche und schafft die Basis für eine

Modellierung von Prozessen und Prozessketten. Felswände können kartiert, ihnen aufsitzende Sedimentspeicher ihnen selbst zugeordnet, ihre Geometrie abgespeichert werden. So lässt sich etwa das Gesamtpotential der Sedimentspeicherung in der Wand als Ausdruck der Gefährdung für unterhalb liegende Ortschaften erfassen. Auch können Gefährdungen durch die Kartierung von Klüftungen abgeschätzt werden. Schutthalden können separat kartiert oder aber Felswänden durch Assoziation zugeordnet werden. Über die in Kap. 3.1 verwendete Modellierung der Geometrie sind die kartierten Objekte mit anderen, externen Datenbanken austauschbar.

4. Kartierung von Wänden und steilen Hangbereichen mit GeoSaMT

Ziel des GeoSaMT- Konzeptes ist die Modellierung und Kartierung von steilen Hangbereichen, um die Voraussetzungen für eine später aufsetzende Modellierung der geomorphologischen Prozesse in diesen Bereichen zu schaffen. Wegen des Fokus auf steile Hangbereiche und Wände sind die Voraussetzungen für die Integration von terrestrischen Fotos in die Kartierung zu schaffen, da die sonst üblichen Luftbilder aufgrund technischer Grenzen nicht die benötigte Auflösung für diese Bereiche des Reliefs bieten können.

Hierbei soll auch bedacht werden, die gewonnenen Daten interessierten Dritten zur Verfügung stellen zu können. Aus diesem Grund setzt die in diesem Projekt verwendete Modellierung auch auf internationalen Standards auf um eine hinreichende Transparenz und Portabilität gewährleisten zu können

4.1 Datenakquise mittels terrestrischer Photogrammetrie

Die Tatsache, dass Wände vertikale oder überhängende Phänomene sind, schließt die luftgestützte Fernerkundung und Vermessung für die Datenakquise dieser Reliefeinheiten aus, auch wenn in Einzelfällen schräg aufgenommene Luftbilder zur Analyse verwendet werden können (BUCHROITNER ET AL 2000). Eine Alternative stellt die bodengestützte, terrestrische Photogrammetrie mit handelsüblichen CCD-Kameras dar. Die gestiegene Auflösung der Aufnahmesensoren bis über die 6 Millionengrenze hinaus hat Autoren zum Nachweis der Tauglichkeit handelsüblicher Digitalkameras für photogrammetrische Verfahren veranlasst (KUNII & CHIKATSU 2001, GUARNIERI ET AL. 2004, Fedak (o.Z.)). Sie können im Rahmen tolerierbarer Fehler vom Anwender selbst kalibriert werden (MATUSOKA ET AL. 2002) und sind auch über Monate bezüglich der inneren Orientierung stabil (LAEBE & FÖRSTNER 2004).

Wände und steile Hangbereiche im Hochgebirge können also mit handelsüblichen Digitalkameras von verschiedenen Standorten aus fotografiert, die Fotos relativ zueinander orientiert und durch die Hinzunahme von 3D-Passpunkten stereophotogrammetrisch ausgewertet werden.

Ein allgemeines Problem bei der photogrammetrischen Erfassung von stark strukturierten Wänden im Hochgebirge ist der Konflikt zwischen hinreichender Basislänge und Sichtbarkeit. Insbesondere bei den stark strukturierten, steilen Hangbereichen nimmt die Sichtbarkeit von Objekten und damit die Anzahl homologer Punkte bei zunehmender Entfernung der Fotostandorte ab.

4.2 Datenakquise und Interaktion mit der Datenbank

Für das angestrebte Ziel einer späteren Kartierung von Geoobjekten sind, wie in den vorherigen Kapiteln bereits diskutiert, verschiedenste Daten in ein geeignetes DBMS zu überführen, um einen effizienten Zugriff und einen hinreichenden Überblick zu gewährleisten. Zu diesen Daten zählen im Rahmen dieses Projektes sowohl die terrestrischen Fotos der steilen Hangbereiche, als auch die Passpunkte und vorhandene TINs.

Nach der Speicherung der Ausgangsdaten ist es unumgänglich, die Rohdaten noch weiter zu veredeln, um eine Kartierung natürlicher Geoobjekte zu ermöglichen. So sind erstens die Bildverbände zu erstellen, in denen alle Fotos eines Standpunktes vereint werden, und in denen die Einzelbilder durch homologe Punkte miteinander in Beziehung gesetzt werden. Zweitens müssen die Passpunkte in den Bildern identifiziert und diesen zugeordnet werden. Mit diesen Informationen ist dann schlussendlich mittels einer Bündelausgleichung die notwendige Information abzuleiten, um in einem weiteren Schritt die TIN-Information mit passenden überlagerten Stereobildern in einer im 3D-Viewer-Komponente darzustellen.

Zu diesem Zweck wird im Rahmen des GeoSaMT-Projekts eine Teilkomponente entwickelt, die dieses leistet und für eine Integration der gewonnenen Information in die Datenbank sorgt.

Die Datenbank stellt als zentraler Knotenpunkt die Verwaltungskomponente für sämtliche Daten im Projekt dar. Sie bildet somit die Datenbasis für die 3D-Viewerkomponente, das eigentliche Kartierungswerkzeug und sollte daher auch in der Lage sein, die bei der Kartierung neu generierten Objekte und die zu ihnen gehörenden semantischen Informationen aufzunehmen.

Hierneben soll die 3D-Viewerkomponente eine Erleichterung bei der Identifizierung der modellierten geomorphologischen Objekte mit sich bringen. Zu diesem Zweck wird analog zur Parametervisualisierung, wie sie in LÖWNER ET AL. (2003) vorgestellt wird, eine entsprechende visuelle Unterstützung für den Nutzer realisiert, welche einer Einfärbung des Modells nach Wahrscheinlichkeiten des Auftretens eines geomorphologischen Objekts entspricht. Zu diesem Zweck werden sowohl die importierten TIN-Daten, als auch die durch die Kartierungsarbeit gewonnenen verbesserten TIN-Daten herangezogen.

Da das hier in UML dargestellte semantische Modell der Wand analog zu GML in XML-Schemata übertragen werden kann, sind die so gewonnenen und XML-konform abgelegten Objektdaten besonders einfach auf Schemakonformität und somit auf strukturelle Integrität überprüfbar. Im Hinblick auf die spätere Speicherung in der Datenbank ist es daher sinnvoll auf die XML-Fähigkeiten des gewählten Datenbanksystems zu achten. Diese Fähigkeiten bringt Oracle10g im benötigten Umfang mit. Darüber hinaus bietet dieses Vorgehen den Vorteil, in Zukunft die Daten über Web Services einer breiten Öffentlichkeit plattformübergreifend zur Verfügung zu stellen. Damit wird der wissenschaftliche Diskurs auch nachhaltig angeregt.

5 Fazit

Mit dem GeoSaMT-Konzept haben wir ein umfassendes Verfahren zur semantisch motivierten Kartierung steiler Hangbereiche sowie vertikaler und überhängender Wände des Hochgebirges vorgestellt. Das Konzept schließt die Lücke, die horizontalprojizierte Daten, wie luftbildgestützte digitale Höhenmodelle und zweidimensionale Datenkonzepte bei der Analyse dieser speziellen Landschaftsformen offen lassen. Dem Anwender wird die Möglichkeit gegeben, selbst erhobene Daten aus terrestrischen Digitalfotos

selbständig zu verwalten, zu orientieren und zu analysieren. Mit der Entwicklung einer geomorphologisch motivierten Semantik von Wänden und steilen Hangbereichen ist der Grundstein gelegt, eine problembezogene Kartierung, Beobachtungen und Analyseverfahren anzuwenden. Dies sind insbesondere im Bereich der Naturgefahrenanalyse für die Entscheidungsträger von nicht zu unterschätzender Wichtigkeit.

Des Weiteren ist über die hier auszugsweise dargestellte semantische Modellierung des Geoobjektes Felswand ein wesentlicher Beitrag zur Formalisierung des Georeliefs (vgl. RASEMANN 2004) geleistet worden. Für eine geoinformationsgestützte Analyse der Interaktion von Sedimentquelle und -speicher bedarf es neben der semantischen Modellierung auch einer Möglichkeit, die Geometrien der definierten Objekte interoperabel abzuspeichern. Diese ist im GeoSaMT- Projekt durch die Verwendung des internationalen Standards, den GML darstellt, verwirklicht. Auf der technischen Seite wird dies durch die Verwendung einer kommerziellen raumbezogenen objekt-relationalen Datenbank sichergestellt.

Im Folgenden wird angestrebt, die Modellierung der Semantik weiter voran zu treiben und auf Geoobjekte außerhalb der beschriebenen Wandbereiche auszudehnen. Hierbei ist darauf zu achten, an der aktuellen Diskussion der Fachkreise der Geomorphologie zu partizipieren. Auch wird es eine weitere Herausforderung sein, die Möglichkeiten der Geography Markup Language weiter zu inkorporieren. Dies wird insbesondere in der Modellierung der Topologie erfolgen.

Literatur

Ahnert, F., 1995: Einführung in die Geomorphologie, Stuttgart (= Ulmer). 440 S.

Booch, G., Rumbaugh, J. und I. Jacobson, 1999: *The Unified Modeling Language Guide*. Addison-Wesley. 482 S.

Buchroitner, M. F., Schenkel, R. und M. Winkler, 2000: Towards the virtual Eiger North Face. In Buchroitner, M. F. (Hg.): High Mountain Cartography 2000. Proc. of the second symposium of the commission on mountain cartography. Dresden. 107-120.

Byshr, Y. 1998: Overcoming the semantic and other barriers to GIS interoperability. Int Journal on Geogr. Information Science **12**(4). 229-314.

Corominas, J., Remondo, P., Estevao, M., Zézere, J., Díaz de Terán, J., Dikau, R., Schrott, L., Moya, J. und A. González, 1996: Debris Flow. In: Dikau, R., Brunsden, D. Schrott, L. und M.-L. Ibsen (Hrsg.): Landslide Recognition. 161-180.

Cox, S., Daisey, P., Lake, R., Portele, C. und A. Whiteside (Hrsg.): Geography Markup Language (GML3.1). 2004. http://glass.ipe.tsukuba.ac.jp/~s011304/cgi/nph-proxy.cgi/010100A/http/portal.opengis.org/files/?artifact_id=4700.

Dalrymple, J. B., Blong, R. J. und A. J. Conacher, 1968: An hypothetical nine unit landsurface model. In: Z. Geomorph. N. F. **12**. 60-76.

Dörschlag, D., Backes, M. und L. Plümer, 2003: Creating Digital Ground Truth Maps of Agricultural Fields - Towards a Sustainable Global Future, Abstracts of the Second Biennial International Conference on Agricultural Science and Technology ICAST, Houston, Texas. 20.

Fedak, M., (o.Z.): 3D Measurement Accuracy of a Consumer-Grade Digital Camera and Retro-Reflective Survey Targets. http://www.complxmind.com/PhotoModeler_Studies.htm.

Geipel, R., 1992: Naturrisiken. Katastrophenbewältigung im sozialen Umfeld. Darmstadt (= Wissenschaftliche Buchgesellschaft). 292 S.

- Gröger, G. und T. H. Kolbe, 2003: Interoperabilität in einer 3D-Geodateninfrastruktur. In: Bernhard, L. Sliwinski, A. und K. Senklöer (Hrsg.): Geodaten- und Geodienste-Infrastruktur – von der Forschung zur praktischen Anwendung. IfGI Prints **18**.
- Gröger, G und L. Plümer 2004: Exploiting 2D concepts to achieve consistency in 3D GIS applications. In: Hoel, E. und Rigaux, P. (Hrsg.): Proc. of the 11th International Symposium on Advances in Geographic Information Systems (ACM-GIS'03), New Orleans, Louisiana. 78-85.
- Guarnieri, A., Vettore, S., El-Hakim, S. und L. Gonzo, 2004: Digital photogrammetry and laser scanning in cultural heritage survey. Volume XXXV Part B, ISPRS Congress Istanbul 2004.154-158.
- Hervás, J., Barredo, J. I., Rosin, P. L., Pasuto, A., Mantovani, F. und S. Silvano, 2003: Monitoring landslides from optical remotely sensed imagery: The case history of Tessina landslide, Italy. *Geomorphology* **54**. 63-75.
- Hitz, M. und G. Kappel, 1999: UML at Work, Heidelberg (= dpunkt). 357 S.
- Kunii Y. und H. Chikatsu, 2001: On the application of 3 million consumer pixel camera to digital photogrammetry. In: Videometrics and optical methods for 3D shape measurement, Proceeding of SPIE, Volume 4309. 278-287.
- Läbe, T. und W. Förstner, 2004: Geometric Stability of Low-Cost Digital Consumer Cameras International Archives of ISPRS, Volume XXXV, Part B, ISPRS Congress Istanbul 2004. 528-535.
- Lake, R., Burggraf, D. S., Trninic, M. und L. Rae 2004: Geography Mark-up Language (GML). Chichester (= Wiley). 388 S.
- Löwner, M.-O., Dörschlag, D. und L. Plümer (2003): Interaktive Geoobjekterkennung in digitalen Höhenmodellen mittels Parametervisualisierung. In: Kartographische Schriften **7**. 59-66..
- Löwner, M.-O., Dörschlag, D. und L. Plümer (2004): Improving free face mapping by the use of high resolution terrestrial photos merged on demand. *Geophysical Research Abstracts* **6**, 06141, 2004. SRef-ID: 1607-7962/gra/EGU04-A-06141.
- Matsuoka, R., Fukue, K., Cho, K., Shimoda, H., Matsumae, Y., Hongo, K. und S. Fujiwara, 2002: A study on calibration of digital camera. Proceedings of the Commission III Symposium, Part B. 176-180.
- Oracle Cooperation 2002: Oracle Spatial – User's guide and Reference, Release 9.2., 2002.
- Otto, J.-C. und R. Dikau, 2004: Geomorphologic system analysis of a high mountain valley in the Swiss Alps. *Z. Geomorph. N. F.* **48**(3). 323-341.
- Pasuto, A., Silvano, S., G. P. Bozzo, 1993. The Tessina landslide (Belluno, Italy). In: Panizza, M., Soldati, M., Barani, D. (Hrsg.): Proc. First European Intensive Course on Applied Geomorphology, Pubblicazioni Istituto di Geologia, Università degli Studi di Modena, Italy. 63-69.
- Pécsi, M. und G. Richter 1996: Löss, Herkunft – Gliederung – Landschaften. *Z. Geomorph. N. F. Suppl. Bd.* **98**. 391 S.
- Rassemann, S. 2004: Geomorphologische Struktur eines mesoskaligen alpinen Geosystems. In: *Bonner Geographische Abhandlungen* **111**. 210 S.
- Rigaux, P., Scholl, M. und A. Voisard, 2002: Spatial Databases with application to GIS. London (= Academic Press). 410 S.
- Steck, S. und H. A. Mallot, 2000: The Role of Global and Local Landmarks in Virtual Environment Navigation. In: *Presence*, **9**(1). 69-83.