

## GeoSaMT – ein Konzept zur Kartierung und semantischen Modellierung von steilen Hangbereichen

MARC-O. LÖWNER, DIRK DÖRSCHLAG & LUTZ PLÜMER, Bonn

**Keywords:** Geoinformation, Geographical Information Systems (GIS), Geomorphology, semantic information

**Zusammenfassung:** Bereiche steiler Hangneigung und senkrechte Wände stellen ein bedeutendes Naturgefahrenpotenzial für die alpinen Gebiete Europas und der gesamten Welt dar. Konzepte zur semantisch motivierten Kartierung und Analyse dieser z. T. überhängenden Bereiche als Mittel politischer Entscheidungsfindung sind mit hauptsächlich rasterbasierten Standard-Geoinformationssystemen jedoch nicht durchzuführen. Mit dem GeoSaMT-Konzept (*Geomorphologisch-Semantisches Modellierungstool*) wird ein Verfahren vorgestellt, mit dem der Anwender mittels terrestrischer Digitalphotos steile und überhängende Wandbereiche sowie dreidimensionale Objekte erfassen, modellieren 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 soll der Anwender in die Lage versetzt werden, problembezogene Fragestellungen an Geoobjekten zu bearbeiten, die durch luftgestützte Fernerkundungsdaten nicht aufgeklärt werden können.

**Summary:** *GeoSaMT – A Concept for mapping and semantic modeling of steep slopes.* 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 overhanging structures in order to support political decision making processes are not covered by current raster-based geographical information systems. With the GeoSaMT-concept (Geomorphologic Semantically Modelling Tool) presented here, the user is enabled to collect data of these areas by terrestrial photographs, model them, and store the three-dimensional objects in an object-relational data base. The concept covers both a geometrical modelling of geo-objects 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 geo-objects 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 von

über 45°. Sie sind dabei in dreierlei Hinsicht von Bedeutung:

1. Wände stellen in Hochgebirgen beeindruckende und für die Orientierung hilfreiche Landmarken dar (vgl. STECK & MALLOT 2000), die im Freizeit- und Sportbereich eine traditionelle Sonderstellung genießen. In dieser Hinsicht

nimmt auch ihre Bedeutung als Wirtschaftsfaktor beständig zu.

2. Wände und steile Hangbereiche stellen aufgrund ihrer hohen Hangneigung und der damit verbundenen hohen kinetischen Energie ein bedeutendes Naturgefahrenpotenzial 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 und geben Anlass für aufwendige Schutzbauten. Abb.1 zeigt eine Felswand mit Überhang im Rhonetal (Schweiz). Das am Fuße der Wand stehende Gebäude ist durch Felsstürze stark gefährdet. Allein im Turtmantal (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), müssen auf Wände und steile Hangbereiche ausgedehnt werden.

Diesen vielfältigen Interessen steht entgegen, dass Standard-Geoinformationssysteme 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 ESRI ArcGIS verfolgen, erlauben keine Analyse senkrecht stehender oder überhängender Land-



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

formen und ihrer Strukturen. Digitale Höhendaten im Rasterformat, wie sie etwa aus Luftbildern gewonnen werden, bieten durch ihre Projektion auf die Horizontalebene keine Informationen zur Aufklärung. Gleichzeitig aber nehmen die Möglichkeiten objekt-relationaler Datenbanken, geometrisch-topologische Datenmodelle im dreidimensionalen Bereich zu implementieren und räumlich zu analysieren, beständig zu.

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. RIGAUX 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.

Dieser Bedarf an Strukturdaten ist unter Berücksichtigung ökonomischer Wirtschaftlichkeit zu decken. Dem Anwender muss ermöglicht werden, selbständig Felddaten zu erheben, auf sie zuzugreifen, sie aufzubereiten und zu analysieren.

Mit dem GeoSaMT-Projekt stellen wir einen Lösungsansatz vor, der die Lücken, die zweidimensionale Standard-Geoinformationssysteme bei der Analyse von vertikalen und überhängenden Wänden zurücklassen, schließen soll. 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 Verwendung digitaler 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 Rasterelement, genau ein Höhenwert zugeordnet ist. 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. Volumen, wie etwa Gesteinsschichten oder das Volumen einer Schutthalde, können jedoch auch hiermit nicht repräsentiert werden, da es sich in diesem Fall um ein „echtes“ 3D-Problem handelt. 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 und Überhängen zu erhalten, sind terrestrische Digitalbilder. Dies wurde insbesondere durch GRÜN et al. (2003) gezeigt, ohne jedoch eine umfassende geometrische Modellierung für dreidimensionale Objekte vorzustellen. Bedingung für die Übertragbarkeit der Bildkoordinaten in den Objektraum bleibt in jedem Fall die Beschaffung von Passpunkten.

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. 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. 2004). Das Konzept beinhaltet eine grundlegende Semantik für natürliche dreidimensionale Geoobjekte der alpinen Felswand.

Abb. 2 zeigt einen Überblick über das GeoSaMT-Konzept. Den technischen Kern der Datenverwaltung bildet das objekt-relationale Datenbankmanagementsystem (DBMS) Oracle Spatial, das auch bei Modellierung von Stadtmodellen zum Einsatz kommt (vgl. GRÖGER et al. 2004). 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  $3 \times 3$

Matrix der relativen und die  $3 \times 4$  Matrix der absoluten Orientierung der Bilder gespeichert. Somit können die Bilder platzsparend 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.

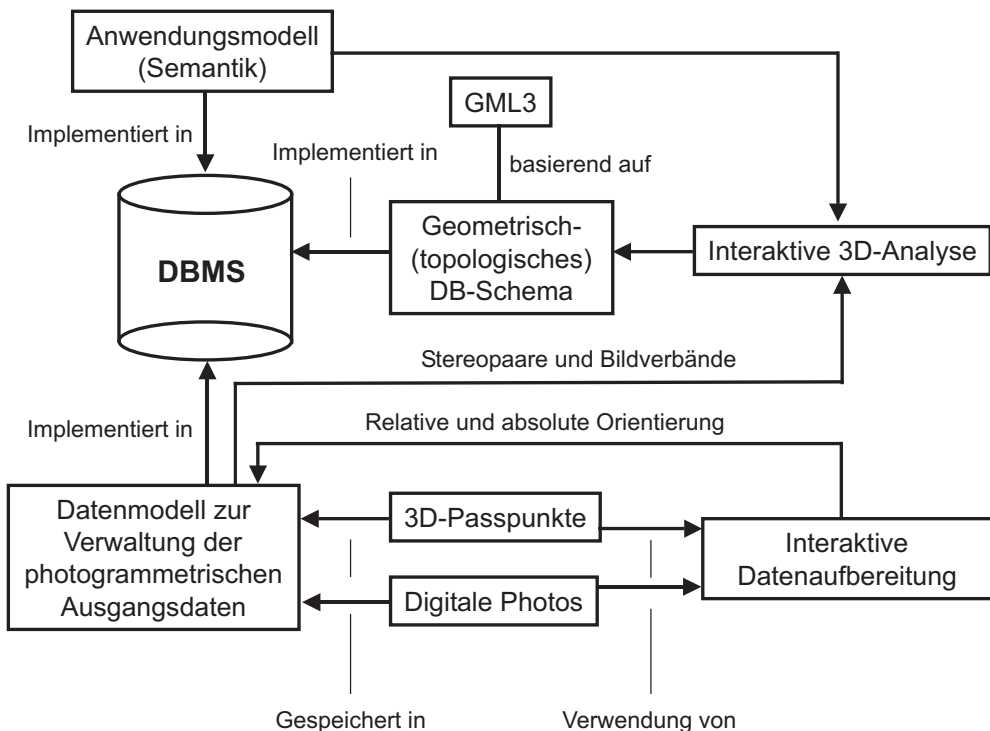
Neben dem geometrischen Datenmodell zur Speicherung der photogrammetrisch gemessenen Objektkoordinaten ist im DBMS auch ein semantisches Datenmodell implementiert, das dem Anwender erlaubt, fachlich differenzierte Geoobjekte zu erfassen, abzuspeichern und zu analysieren. Die Kartierung, ebenso wie die semantische Klassifizierung der kartierten Geoobjekte, erfolgt interaktiv durch den Benutzer. Dabei kann er auf die im DBMS abgelegte formalisierte Semantik zurückgreifen. 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 dabei von der semantischen Modellierung abhängig.

### 3 Datenbankschemata zur semantischen Analyse von Wänden

Bei vertikalen Wänden oder überhängenden Wandteilen handelt es sich um Flächenobjekte im dreidimensionalen Raum, deren Oberflächenstruktur nicht mit horizontalprojizierten Daten zu erfassen ist. Die Kartierung und semantische Erfassung geomorphologischer Objekte in und an Wänden und steilen Hangereichen verlangt eine persistente Speicherung dreidimensionaler, also voluminöser, geometrischer Objekte.

Die einer Kartierung vorweggehende semantische Modellierung ist stark vom Ver-



**Abb. 2:** Überblick über das GeoSaMT-Konzept. Als Datenbank-Managementsystem wird die kommerzielle objekt-relationale Datenbank Oracle Spatial 10g eingesetzt.

ständnis der Phänomene der Welt abhängig und kann als eine Formalisierung von Fachwissen gesehen werden. Da dieses Fachwissen in Abhängigkeit der Fragestellung formuliert wird, folgt die semantische Modellierung immer 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.

### 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“ (HERRING 2001) darstellt (COX et al. 2004). Dabei beruht die Geometrie eines Objektes auf einer Spezialisierung des `AbstractGeometryTypes` in die geometrischen Klassen `Point`, `_Curve`, `_Surface` und `_Solid` (Unterstriche implizieren abstrakte Klassen). Die Entscheidung über die Art des Geometrietyps wird durch die ISO 19109 festgelegt (ISO/DIS 19109) und 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. Diesem `PolygonPatch` ist wiederum eine Oberfläche in Form von Dreiecken, also einem TIN zugeordnet.

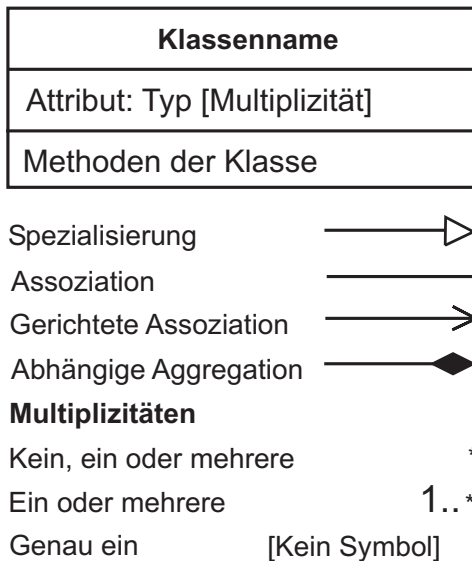
Der Vorteil einer Modellierung in GML als Realisierung eines ISO Standards liegt in der Interoperabilität der vorgehaltenen

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. 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 und nicht durch eine Topologie gegeben. Eine Wand steht mit der darunter liegenden Schutthalde also über den 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, obwohl topologisch disjunkt, durch den fluvialen Transport gegeben. Zum Anderen liegt die Entscheidung in der konzeptionellen Einfachheit begründet, die zur Implementierung in ein Datenbanksystem sinnvoll ist.

### 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



**Abb. 3:** Ausgesuchte Notation der graphischen Modellierungssprache UML.

die Unified Modelling Language (UML). Abb. 3 gibt eine kurze Übersicht über die Notation von UML.

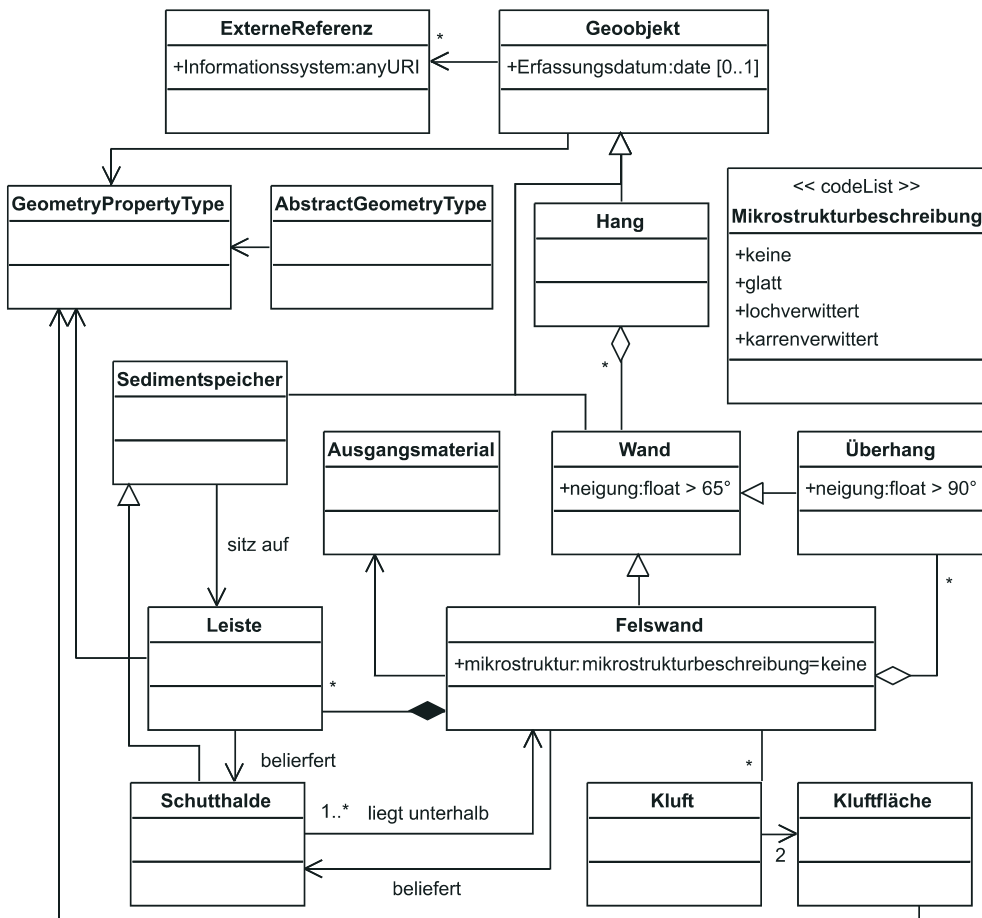
Abb. 4 zeigt die Modellierung einer Felswand im Hochgebirge. Die Oberklasse der Modellierung bildet das *Geoobjekt*, dessen geometrische Form durch die Assoziation mit einem Objekt *\_GeometryPropertyType* (vgl. Kap. 3.1) gegeben ist. Durch eine externe Referenz der Klasse *ExterneReferenz* ist die Verbindung 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) aus sagt. Diese Aggregation ist unabhängig, Wände können also auch ohne ein Objekt *Hang* existieren. Nach DALRYMPLE sind geneigte Flächen mit einer Hangneigung von über 65° als Wände anzusprechen; es handelt sich also um ein rein geometrisches Auswahlkriterium. Dies ist unabhängig vom Material der geeigneten 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. 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 1995), 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 obligatorisches 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. *Leisten* erfüllen die geomorphologisch wichtige Funktion, Sedimentspeicher zu sein, sie können also Verwitterungsmaterial der *Wand* oder darüber gelegener Formen aufnehmen und zurückhalten. *Sedimentspeicher*, wiederum *Geoobjekte*, können in allen Skalen vorkommen, in den Bereichen steiler Hangneigung auch als *Schutthalde*, den *Wänden* untergelagerten *Halden* aus Verwitterungsmaterial der *Wand*. Damit ist klar, das *Schutthalden* unterhalb von *Wänden* liegen. Von einer weiterführenden Modellierung von Formenvergesellschaftungen, in denen natürlich auch unterhalb von *Schutthalden* oder -kegeln wiederum *Felswände* liegen können, sei hier abgesehen.

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



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

Modellierung von Prozessen und Prozessketten. Felswände können kartiert, ihnen aufsitzende Sedimentspeicher ihnen selbst zugeordnet, ihre Geometrie abgespeichert werden. So lässt sich etwa das Gesamtpotenzial 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 teilweise überhängende 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. Dies gilt, obwohl in Einzelfällen schräg aufgenommene Luftbilder zur Analyse verwendet werden können (BUCHROITNER et al. 2000), keinesfalls aber bei stark überhängenden Formen

#### 4.1 *Datenakquise mittels terrestrischer Photogrammetrie*

Eine Alternative zu Luftbildern 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). 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 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 gewährleis-

ten. Zu diesen Daten zählen im Rahmen dieses Konzeptes sowohl die terrestrischen Fotos der steilen Hangbereiche, als auch die für die äußere Orientierung notwendigen Passpunkte, die am Objekt vermessen werden müssen, und eventuell vorhandene TINs.

Nach der Orientierung der Fotos durch einer Bündelausgleichung können die aus den Passpunkten abgeleiteten TIN-Informationen mit den entsprechenden passenden, überlagerten Stereobildern in einer 3D-Viewerkomponente dargestellt werden. 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.

Daneben 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.

## 5 Fazit

Mit dem GeoSaMT-Konzept haben wir eine semantische und geometrische Modellierung für eine Kartierung steiler Hangbereiche sowie vertikaler und überhängender Wände des Hochgebirges vorgestellt. Das Konzept schließt die Lücke, die horizontalprojizierte Rasterdatenkonzepte bei der Analyse dieser speziellen Landschaftsformen offen lassen. Mit der Entwicklung einer geomorphologisch motivierten Semantik von Wänden und steilen Hangbereichen ist der Grundstein gelegt, eine problembezogene Kartierung, anzuwenden. Dies ist insbesondere im Bereich der Naturgefahrenanalyse für die Entscheidungsträger von nicht zu unterschätzender Wichtigkeit.

Des Weiteren ist über die hier auszugswweise dargestellte semantische Modellierung des Geobjektes 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.

Erste Ergebnisse zeigen, dass sich im Turtmanntal (Schweiz) mit einer handelsüblichen Digitalkamera Canon EOS 10D angefertigte und mittels tachymetrischer und DGPS gestützter Passpunkte orientierte Fotos im Sinne der vorgestellten, formalisierten Semantik analysieren lassen. Im Folgenden wird angestrebt, die Modellierung

der Semantik weiter voranzutreiben und auf Geobjekte 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. – 440 S., Ulmer, Stuttgart.
- BOOCH, G., RUMBAUGH, J. & JACOBSON, I., 1999: The Unified Modeling Language Guide. – 482 S., Addison-Wesley.
- BUCHROITHNER, M.F., SCHENKEL, R. & WINKLER, M., 2000: Towards the virtual Eiger North Face. – In: BUCHROITHNER, M.F. (Hrsg.): High Mountain Cartography 2000. – Proc. second symposium of the commission on mountain cartography. Dresden, pp. 107–20.
- BISHR, Y., 1998: Overcoming the semantic and other barriers to GIS interoperability. – Internat. Journ. Geogr. Information Science **12**(4): 229–314.
- COX, S., DAISEY, P., LAKE, R., PORTELE, C. & WHITESIDE, A., 2004: Geography Markup Language (GML3.1). [http://glass.ipe.tsukuba.ac.jp/~s011304/cgi/nph-proxy.cgi/010100A/httpportal.open.gis.org/files/?artifact\\_id=4700](http://glass.ipe.tsukuba.ac.jp/~s011304/cgi/nph-proxy.cgi/010100A/httpportal.open.gis.org/files/?artifact_id=4700).
- DALRYMPLE, J.B., BLONG, R.J. & CONACHER, A.J., : An hypothetical nine unit landsurface model. – Z. Geomorph. N.F. **12**: 60–76.
- DÖRSCHLAG, D., BACKES, M. & PLÜMER, L., 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.
- GEIPEL, R., 1992: Naturrisiken. Katastrophenbewältigung im sozialen Umfeld. – 292 S., Wissenschaftl. Buchgesellschaft, Darmstadt.
- GRÖGER, G. & KOLBE, T.H., 2003: Interoperabilität in einer 3D-Geodateninfrastruktur. – In: BERNHARD, L., SLIWINSKI, A. & SENKLÖER, K. (Hrsg.): Geodaten- und Geodienste-Infrastruktur – von der Forschung zur praktischen Anwendung. – IfGI Prints **18**.
- GRÖGER, G. & PLÜMER, L., 2004: Exploiting 2D concepts to achieve consistency in 3D GIS applications. – In: HOEL, E. & RIGAUX, P. (Hrsg.): Proc. of the 11th International Symposium on

- Advances in Geographic Information Systems (ACM-GIS'03), New Orleans, Louisiana. pp. 78–85.
- GRÖGER, G., REUTER, M. & PLÜMER, L., : Representation of a 3-D City Model in Spatial Object-relational Databases. – Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. 34. Part B4 of Proc. of the XXth ISPRS Congress, Istanbul 2004.
- GRÜN, A., REMONDINO, F. & ZHANG, L., 2003: Image-based reconstruction of the Great Buddha of Bamiyan, Afghanistan. – In: EL-HAKIM, S.F., GRUEN, A. & WALTON, J.S. (Hrsg.): Proc. SPIE Conf. "Videometrics VII", Santa Clara, CA, USA, 21–22 Januar, Vol. 5013: 129–136.
- GUARNIERI, A., VETTORE, S., EL-HAKIM, S. & GONZO, L., 2004: Digital photogrammetry and laser scanning in cultural heritage survey. – ISPRS Congress Istanbul 2004, Vol. XXXV, Part B:154–158.
- HERRING, J.: The OpenGIS abstract specification, Topic 1: Feature Geometry (ISO 19107 Spatial Schema), Version 5. OGC Document 01–101. 168 S.
- ISO/DIS 19109 (2002): Geographic information – Rules for application schema. ISO Technical Committee 211, Draft International Standard. <http://www.isotc211.org>.
- KUNII Y. & CHIKATSU, H., 2001: On the application of 3 million consumer pixel camera to digital photogrammetry. – Videometrics and optical methods for 3D shape measurement, Proceeding of SPIE, Volume 4309: 278–287.
- LÄBE, T. & FÖRSTNER, W., 2004: Geometric Stability of Low-Cost Digital Consumer Cameras. – ISPRS Congress Istanbul 2004, International Archives of ISPRS, Volume XXXV, Part B: 528–535.
- LÖWNER, M.-O., DÖRSCHLAG, D. & PLÜMER, L., 2003: Interaktive Geoobjekterkennung in digitalen Höhenmodellen mittels Parametervisualisierung. – Kartographische Schriften 7: 59–66.
- LÖWNER, M.-O., DÖRSCHLAG, D. & PLÜMER, L., 2004: Improving free face mapping by the use of high resolution terrestrial photos merged on demand. – Geophysical Research Abstracts 6, 06141, 2004.
- MATSUOKA, R., FUKUE, K., CHO, K., SHIMODA, H., MATSUMAE, Y., HONGO, K. & FUJIWARA, S., 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.
- OTTO, J.-C. & DIKAU, R., 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. & BOZZO, G.P., 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, pp. 63–69.
- RASSEMANN, S., 2004: Geomorphologische Struktur eines mesoskaligen alpinen Geosystems. – Bonner Geographische Abhandlungen 111, 210 S.
- RIGAUX, P., SCHOLL, M. & VOISARD, A., 2002: Spatial Databases with application to GIS. – 410 p., Academic Press, London.
- STECK, S. & MALLOT, H.A., 2000: The Role of Global and Local Landmarks in Virtual Environment Navigation. – Presence 9(1): 69–83.

#### Anschriften der Autoren:

Dipl.-Geogr. MARC-O. LÖWNER

Tel.: +49 (0)228 73 6336, Fax: + 49 (0)228 73 1753, e-mail: [loewner@ikg.uni-bonn.de](mailto:loewner@ikg.uni-bonn.de)

Dipl.-Ing. DIRK DÖRSCHLAG

Tel.: +49 (0)228 73 3035, Fax: + 49 (0)228 73 1753, e-mail: [doerschlag@ikg.uni-bonn.de](mailto:doerschlag@ikg.uni-bonn.de)

Prof. Dr. rer. nat. LUTZ PLÜMER

Tel.: +49 (0)228 73 1750, Fax: + 49 (0)228 73 1753, e-mail: [pluemer@ikg.uni-bonn.de](mailto:pluemer@ikg.uni-bonn.de)

Universität Bonn, Institut für Kartographie und Geoinformation, Meckenheimer Allee 172, D-53115 Bonn,

Manuskript eingereicht: Januar 2005

Angenommen: März 2005