Zeitschrift: Swiss bulletin für angewandte Geologie = Swiss bulletin pour la géologie appliquée = Swiss bulletin per la geologia applicata = Swiss bulletin for applied geology

Herausgeber: Schweizerische Vereinigung von Energie-Geowissenschaftern; Schweizerische Fachgruppe für Ingenieurgeologie

Band: 20 (2015)

Heft: 1

Artikel: Geotypen : ein neues Konzept zur Optimierung geologischer Informationen für die Raumplanung

Autor: Parriaux, Aurèle / Turberg, Pascal / Lance, Jean-Marc

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-632517

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 12.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Geotypen: Ein neues Konzept zur Optimierung geologischer Informationen für die Raumplanung

Aurèle Parriaux[1], Pascal Turberg[1], Jean-Marc Lance[2], David Giorgis[3]

Zusammenfassung

Bei der Valorisierung von geologischen Informationen für Anwendungen in der Raumplanung oder im Ingenieurwesen ist es schwierig, die geologischen Karten des Geologischen Atlas der Schweiz (Massstab 1:25'000) in ihrer grossen Komplexität darin zu integrieren. Im Weiteren bietet die Heterogenität der Legenden zwischen aneinander grenzenden Karten oft ein Problem. Aus diesem Grund haben wir die Bezeichnung «Geotyp» vorgeschlagen, als ein Konzept, das in vereinfachter und homogener Art und Weise die wichtigsten geologischen Formationen auf Stufe Kanton beschreibt. Die im Kanton Waadt gewonnenen Erfahrungen zeigen, dass es der Gebrauch von Geotypen erlaubt, geologische Informationen aus Karten und Bohrungen in für die angewandte Geologie nützliche Eigenschaften zu übersetzen. Jeder Geotyp ist durch eine Reihe von Eigenschaften charakterisiert, zum Beispiel die Grössenordnungen von thermischer Leitfähigkeit, Durchlässigkeit, Granulometrie, Plastizität etc. Diese Charakterisierung hat ihre Robustheit in verschiedenen Bereichen, wie seismische Mikrozonierung, Wasserressourcen, Geothermie und Fragen der Hangstabilität, bewiesen. Eine aktuelle Anwendung betrifft das Projekt DEEP CITY, das die Ressourcen im Untergrund von Städten mit bestehenden 3D-Geotypen-Modellen charakterisiert. Numerische Modellierungen sind dort einfacher auszuführen. Die Geotypen ersetzen nicht die wissenschaftliche geologische Information, welche die Basis bildet, namentlich jene der geologischen Karten des Geologischen Atlas der Schweiz.

[1] Faculté ENAC, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Ecublens, CH-1015 Lausanne

[2] ECA – Etablissement d'assurance contre l'incendie et les éléments naturels du Canton de Vaud, Avenue Général Guisan 56, CH-1009 Pully

[3] DGE – Division générale de l'environnement, Etat de Vaud, Département des infrastructures, rue du Valentin 10, CH-1014 Lausanne

Summary

When we have to valorise the geological information for land planning or engineering applications, it is difficult to integrate the large complexity of the maps of the Swiss Geological Atlas at the scale of 1:25'000. The heterogeneity of the legends between neighbouring maps is often another difficulty. That is the reason why we proposed the notion of «geotype», a concept that describes in a simplified and homogeneous manner the principal geological formations at the scale of a canton. The experience in the Canton de Vaud demonstrates that the use of geotypes allows a translation of the geological information of maps and boreholes in terms of properties that are useful for applied geology. Each geotype is characterized by a table of properties like, for example, an order of magnitude of thermal conductivity, permeability, grain size distribution, plasticity etc. This characterization proved its robustness in different domains like seismic microzoning, groundwater resources, geothermy and slope stability. A recent application is the DEEP CITY project which characterizes the underground resources below the cities where 3D models in geotypes are established. The numerical modelling operations are easier to be performed. The geotypes do not replace the academic geological information, which remains the base, particularly the geological maps of the Swiss Atlas.

Résumé

Lorsque l'on veut valoriser l'information géologique pour des applications d'aménagement du territoire ou d'ingénierie, il est difficile d'intégrer la grande complexité des cartes géologiques de l'Atlas géologique de la Suisse au 1:25'000. De plus, l'hétérogénéité des légendes entre des cartes voisines pose souvent des problèmes. C'est pourquoi nous avons proposé la notion de «géotype», concept qui décrit de manière simplifiée les principales formations géologiques et de manière homogène à l'échelle d'un canton. L'expérience acquise dans le Canton de Vaud montre que l'usage des géotypes permet de traduire de l'information géologique des cartes et des forages en termes de propriétés utiles en géologie appliquée. Chaque géotype est caractérisé par une table de propriétés, par exemple les ordres de grandeur de conductivité thermique, de perméabilité, de granulométrie, de

plasticité etc. Cette caractérisation a prouvé sa robustesse dans différents domaines comme le microzonage sismique, les ressources en eau, la géothermie et la stabilité des versants. Une des applications récentes concerne le projet DEEP CITY qui caractérise les ressources souterraines sous les villes où des modèles 3D en géotypes sont établis. Les opérations de modélisation numérique s'en trouvent facilitées. Les géotypes ne remplacent pas l'information géologique académique qui demeure la base, notamment celle des cartes géologiques de l'Atlas de la Suisse.

1 Motivation

Die geologische Kartierung ist eine unentbehrliche Basis jeder geographischen Einheit. In der Tat bildet sie das grundlegende wissenschaftliche Dokument, welches die «Geodiversität» eines Gebiets beschreibt. Diese beinhaltet direkt:

- die Zusammensetzung des Untergrunds (Lockergesteine und Festgesteine);
- die Geometrie der geologischen Körper.

Indirekt kann man folgendes ableiten:

- die Entwicklungsgeschichte eines Landes, angefangen bei lange vergangenen Zeiten bis heute;
- seine Paläogeographie und Paläolandschaften;
- die Prozesse, welche heute die Geosphäre verändern (Erosion, Ablagerung usw.).

Diese grundlegenden wissenschaftlichen Kenntnisse sind notwendig für eine ganze Reihe von praktischen Fragen, welche mit dem Leben des Menschen auf der Erde zusammenhängen und seiner möglichst harmonischen Integration in die Umwelt. Dies sind zum Beispiel:

- die Konzipierung der Fundamente im Bauwesen;
- die Bewirtschaftung der Ressourcen (Wasser, Kohlenwasserstoffe, Erze, Geomaterialien);
- der Umgang mit geologischen Risiken (seismologische, vulkanische, Erdrutsche usw.);
- der Umweltschutz (Trinkwasser, Altlasten).

Allerdings ist der Übergang von der rein wissenschaftlichen Information zu den Anwendungsgebieten nicht immer einfach. Jedes dieser Gebiete besitzt seine spezifischen Bedürfnisse und erfordert eine Konvertierung der geologischen Information an der Basis. Die Schaffung der Methode der Geotypen hat zum Ziel, diesen Konvertierungsprozess zu kodieren.

Sie ergibt sich insbesondere aus zwei Arten von Schwierigkeiten, welche auf die Anwendung von geologischen Informationen, insbesondere von Karten des Geologischen Atlas der Schweiz oder ähnlichen Karten in anderen Ländern, zurückzuführen ist:

- Die geologischen Karten haben lange Zeit die Formationen des Untergrundes hauptsächlich auf Grund von stratigraphischen Kriterien (zum Beispiel oberes Hauterivien) beschrieben. Selbst wenn dieses System zugunsten einer Kartographie von Formationsnamen aufgegeben worden ist, bestehen zahlreiche Karten nur im alten System. Die Autoren der Karten unterscheiden zwischen genetisch ähnlichen Formationen, je nachdem ob sie der einen oder anderen Epoche angehören (zum Beispiel Würm-Moräne und Riss-Moräne), oder ob sie von etwas unterschiedlicher Natur sind (zum Beispiel Rhonegletscher-Grundmoräne und Jurassische Grundmoräne). Diese kartographische Konzeption wird nicht grundlegend in Frage gestellt. Aber je nach Bedürfnissen der Raumplanung ist nur ein Teil dieser Beschreibung unbedingt notwendig.
- Die geologischen Karten sind zu sehr verschiedenen Zeiten erstellt worden und durch Autoren, die ihre eigene Vorstellung der geologischen Vorgänge haben sowie ihre Sensibilität gegenüber der Aufnahme und Benennung der verschiedenen Formationen (zum Beispiel handelt es sich bei den Begriffen Grundmoräne und Blocklehm um ein und dieselbe Formation).

Schon im Rahmen eines methodischen Forschungsmandats für die Gefahren-Kartogra-

phie im Kanton Waadt (CADANAV 2002), hat das Laboratorium für Ingenieur- und Umweltgeologie der EPFL (GEOLEP), über die Möglichkeiten nachgedacht, eine solche Vielfalt und Komplexität im Massstab eines grossen Kantons zu verwalten (der Kanton Waadt dehnt sich auf 25 Kartenblättern im Massstab 1:25'000 aus und beinhaltet Formationen, welche vom Mesozoikum im Jura über die quartären Ablagerungen im Mittelland bis zu den alpinen Kristallinen gehen) im Wissen, dass die Schwierigkeiten ein Planungsbüro dazu veranlassen könnten, auf die geologische Information zu verzichten, um rein morphologische Konzepte zu bevorzugen. Diese Überlegungen haben uns veranlasst, eine vereinfachte geologische Klassifizierung zu schaffen, die es ermöglicht, die ganze Fläche des Kantons einheitlich und kohärent zu charakterisieren. Die Begriffe dieser Klassifizierung haben wir «Geotypen» genannt.

2 Die Beschreibungsmöglichkeiten der Untergrund-Eigenschaften

Der Untergrund wird entweder durch die Geologie beschrieben (Petrographie, Sedimentologie, Chronostratigraphie, Tektonik) oder durch die Geotechnik (granulometrische Parameter und mechanisches Verhalten). Verschiedene Volumen können charakterisiert werden:

- eine Probe;
- eine Schicht (Sedimente);
- eine geologische Formation.

Die Charakterisierung einer Probe wird durch Beobachtungen und Messungen im Labor bestimmt. Jene einer Schicht integriert die Daten der Proben in Form einer Statistik (Variationsbreite, Durchschnitt, Standardabweichung usw.). Die Charakterisierung im Massstab einer ganzen Formation integriert die Daten der Schichten; das Wort «Formation» entspricht hier der Definition des geologischen Wörterbuches von Foucault & Raoult (1984): «Gebiete, die gemeinsame Eigenschaften besitzen und eine Gesamtheit darstellen, dessen Unterscheidung man für nützlich hält». Dies sind zum Beispiel für die Lockergesteine die fluvioglazialen Sedimente und für die Felsen die Kalksteine. Im Falle der Geotypen weisen die Gebiete, welche zu einer bestimmten Formation gehören, entweder eine genetische Verwandtschaft (quartäre Sedimente) auf, oder haben eine ähnliche Zusammensetzung (Felsen).

Für die Probleme der Raumplanung entsprechen die Bedürfnisse im Allgemeinen den Synthesedaten der Formationen. Dies kann in verschiedenen Massstäben stattfinden:

- Im Massstab eines ganzen Landes, um die grossen lithologischen Einheiten zu beschreiben (zum Beispiel für die Darstellung des Karst-Einsturzrisikos oder der grossen Grundwasserleiter als Trinkwasserlieferanten);
- Auf regionaler oder lokaler Ebene (alle Bedürfnisse der Ressourcen-Verwaltung und Umgang mit geologischen Risiken).

Andererseits sind die Eigenschaften, die auf die geotechnischen Versuche zurückzuführen sind (Siebfraktionen, Atterberg Grenzen usw.) fest verbunden mit den analysierten Proben und sind nur schwer in einem grösseren Massstab zu gebrauchen. Ebenso beziehen sich die detaillierten geologischen Beschreibungen der Lockergesteine, wie beispielsweise die Lithofacies-Kodierung (Keller 1996), auf die Proben, die der Charakterisierung dienten. Wenn eine solche Analyse unentbehrlich ist, um das Fundament eines Gebäudes zu planen und zu dimensionieren, entspricht die synthetische Information, welche wir für die mit der Raumplanung zusammenhängenden Entscheidungen benötigen, eher der Identifikation der verschiedenen Formationen, die den Untergrund bilden.

3 Prinzip und Definition der Geotypen

Die Geotypen wurden erstellt, um diesem Bedürfnis gerecht zu werden. Es handelt sich um eine eingeschränkte Anzahl grosser, typischer Formationen, auf die sich die verschiedenen in der Natur und auf der geologischen Karte anzutreffenden Formationen beziehen. Es ist hier angebracht, zwei grosse Geotyp-Gesamteinheiten zu unterscheiden, jene der felsigen Formationen und jene der Lockergesteine.

3.1 Felsige Geotypen

Natürlich ist die petrographische Beschreibung prioritär entscheidend. Effektiv bestimmen die Eigenschaften der ein Gestein aufbauenden Mineralien die Mehrzahl der mechanischen Eigenschaften der Gesteinsmatrix (zum Beispiel die Kieselsäure eines kieselsäurehaltigen Kalksteins) sowie die entscheidende Verwitterungsart (zum Beispiel die Verkarstung). Anhand der petrographischen Zusammensetzung kann der Geologe eine grosse Anzahl von guten oder schlechten Eignungen für verschiedene potenzielle Verwendungen des Gesteins ableiten (Geomaterialien, Gründungen, Hydrogeologie usw.).
Für den Kanton Waadt haben wir 20 felsige Geotypen definiert (Tab. 1). Wenig Platz wurde, in Anbetracht ihrer geringen Verbreitung (Aiguilles Rouge Massiv bei Lavey), den kristallinen Gesteinen eingeräumt. Aber die Liste kann vervollständigt werden, um an einen anderen Kanton oder eine andere Region angepasst zu werden.

3.2 Lockergesteins-Geotypen

Diese Aufteilung hat sich angesichts der extremen Vielfalt an quartären Ablagerungen in unseren Regionen als schwieriger erwiesen. In der Tat ist es verführerisch, sich auf eine Darstellung des Gebiets auf Grund von Zusammensetzungseigenschaften zu beschränken (zum Beispiel die kiesigen oder die tonigen Gebiete) oder direkt ein geotechnisches Kriterium wie der USCS-Code zu kartieren (zum Beispiel Gebiete mit ML-Böden, Gebiete mit CL-Böden usw.). Selbst wenn es auf den ersten Blick für einen raumplanerischen Gebrauch verführerisch erscheinen mag, führt ein solches Vorgehen zum Misserfolg, da es keine sedimentologischen Informationen einschliesst. Diese Schwierigkeit entsteht dann konkret, wenn es darum geht, die interne Struktur einer Ablagerung darzustellen. Ein gut sortierter Kies (USCS-Code GW) wird zum Beispiel überhaupt nicht dieselbe Struktur haben wie die «foreset beds» eines Deltas (Schrägschichtungen) oder fluviatile Ablagerungen mit ihren kanalisierten Sedimenten. Ebenso hängen die geometrischen Beziehungen zwischen zwei Einheiten viel mehr von ihrer sedimentologischen Genese als ihren geotechnischen Eigenschaften ab. Diesen zwei problematischen Fällen begegnet man laufend in der Ingenieurgeologie, insbesondere bei der Interpolation zwischen Sondierprofilen.
Die gewählte Lösung ist eine Typologie, welche auf den genetischen Bedingungen bei der Entstehung basiert. Selbst wenn sie keine direkte Information über die Natur des Gesteins gibt, gibt sie viele indirekte Hinweise über dessen Zusammensetzung, Gefüge, Struktur und Kontinuität der Ablagerung usw. Der Geotyp «fluvioglazial» zum Beispiel beschreibt Lockergesteine bestehend aus Sand und Kiesen, deren Schichtung unregelmässig ist und deren Elemente wenig gerundet sind. Diese genetische Auswahl ist dieselbe wie jene, die wir für die vereinfachte geologische Klassifizierung für Ingenieure machten (Dysli et al 1990), welche zum Teil durch die Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute in der Norm 670 009 (VSS 1995) für Lockergesteine wieder aufgenommen wurde.
Somit können die Lockergesteine des Kantons Waadt in 21 Geotypen aufgeteilt werden (Tab. 2).

Einheit	Gruppe	Geotyp	Code	Definition | Beispiele
Festgesteine	Detritische Gesteine	Konglomerate mit Mergeln	COM	Präsenz mächtiger Konglomeratbänke in Delta-Zyklen | Helvetische Molasse (obere OMM) oder gewisse Schuppen der subalpinen Molasse.
		Sandstein	GR	Im Wesentlichen aus Sandsteinen bestehende Serien | Molasse des Burdigalien (untere OMM).
		Sandsteine mit Mergeln	GRM	Sandsteindominante Serien mit bedeutenden Mergel-Sequenzen | Molasse des Aquitanien (obere USM).
		Mergel mit Sandsteinen	MGR	Mergeldominante Serien. Kann Gips enthalten | Molasse des Chattien (untere USM)
		Wechsellagerung Sandsteine / Tonschiefer	GS	Hauptsächlich schiefrig-sandige Fazies des Flysch.
		Tonsteine	A	Tonsteindominante Serien | Opalinuston des Juras, «Aalénien» des Helvetikums.
	Mergelige Kalksteine	Mergel	M	Mergeldominante Serien, praktisch ohne Kalke | «Hauterivien»-Mergel des Juras, diverse Mergelserien der Alpen.
		Wechsellagerung Mergel / Kalke	MC	Effinger Schichten («Argovien») des Juras, zahlreiche Serien des Helvetikums.
	Kalksteine	Kalke	C	Praktisch mergelfreie Kalkserien | Kalke des oberen Juras im Jura, massive Kalke des Helvetikums.
		Kieseliger Kalk	CS	Kalke mit diffuser Kieselsäure- oder Silex-Imprägnierung | Lias der «Préalpes médianes plastiques», Helvetischer Kieselkalk
		Toniger Kalk	CA	Kalkdominante Serien mit wesentlichen Anteilen von Tonsteinen | Birmenstorfer Schichten des Jura.
		Dolomitischer Kalk	CD	Serien dominiert von dolomitischen Kalken | hauptsächlich alpine Trias.
		Dolomit	D	Dolomitdominante Serien | hauptsächlich alpine Trias.
	Evaporite	Gips	G	Gipsdominante Serien | hauptsächlich alpine Trias, in Tiefen geringer als 100 m.
		Rauhwacke	CO	Zellig-poröses, brecciöses Gestein | alpine Trias, vielfach in tektonischen Kontaktzonen.
		Anhydrit	AN	Anhydritdominante Serien | alpine Trias, in Tiefen grösser als einige Dekameter.
		Salzgestein	RS	Halitgestein | ultrahelvetische Trias in der Region von Bex.
	Metamorphe Gesteine	Quarzit	Q	Sehr hartes quarzhaltiges Gestein, zum Teil arenitisiert | alpine Trias
		Gneis	GN	Quarz- und Feldspat-haltiges Gestein mit Glimmer, stark anisotrop | alpine Kristallinmassive
	Magmatische Gesteine	Granit	GRA	Quarz- und Feldspat-haltiges Gestein mit Glimmer, isotrop | alpine Kristallinmassive

Tab. 1: Kategorisierung und Definition der 20 Festgesteins-Geotypen, welche für die Kartierung des Kantons Waadt verwendet wurden.

Einheit	Gruppe	Geotyp	Code	Definition
Anthropogen		Künstliche Auffüllung	R	Anthropogene Ablagerungen. Sehr unterschiedliche Beschaffenheit, von Aushubmaterial bis Siedlungsabfällen reichend. Generell sehr schlechte geotechnische Eigenschaften. Auffüllungen können gefährliche Substanzen enthalten.
Hang-Ablagerungen		Gehängelehm / Elluvionen	CE	Feinkörnige, durch diffusen Abfluss am Hang entstandene Ablagerungen (Kolluvionen) oder residuale, von komplett verwitterten, anderen Gesteinen stammende Bildungen (Eluvionen). Schlecht strukturierte, lockere Deckschichten, vor allem aus Sanden und Silten bestehend und organische Beimengungen enthaltend.
		Gehängeschutt, Felssturz, Bergsturz	E	Akkumulationen von Blöcken im dm- bis m-Bereich, abgelagert als Schuttvorhänge oder -kegel am Fuss von Felswänden. Zunehmende Grössen bei Fels- und Bergstürzen.
		Rutschungen oder Sackungen	GT	Gravitativ *en masse* bewegtes oder sich noch bewegendes Material. Je nach Anwendung wird dieser Geotyp durch jenen ersetzt, welcher von der Bewegung betroffen ist.
		Tuff	T	Ausscheidung von Kalziumkarbonat beim Austritt von bikarbonatisiertem Quellwasser. Dieser Geotyp sollte nur am Quellaustritt und nicht für Verkrustungen im Abflussbereich talwärts der Quelle ausgeschieden werden.
Alluvionen	Alluvionen der Ebenen	aktuell	APA	Fluviatile, kanalisierte Ablagerungen, meist grobkörnig. Entstanden durch mäandrierende Flüsse. Gut gerundete Kiese.
		terrassenförmig	APT	Dito, erhöht auf Terrassen infolge fluviatiler Erosion.
	Kegelförmige Alluvionen	aktuell	ACA	Grobkörnige und sehr heterogene Ablagerungen, wenig gerundet, schwach geschichtet. Hauptsächlich Schuttkegel, beinhalten auch Murgangablagerungen.
		terrassenförmig	ACT	Dito, erhöht auf Terrassen infolge fluviatiler Erosion.
	Seesedimente	Delta	LD	Grobkörnige Ablagerungen im Mündungsbereich, mit «top-» und «foreset-beds». Beinhaltet aktuelle sowie alte, heute oft höher liegende Deltas.
		Seegrund	LF	Sedimente des Seegrunds, bestehend aus Silten, Tonen und feinkörnigen, laminierten Sanden. Entsprechen den «bottom sets». Schwach bis mittelmässig konsolidiert.
		Seekreide	CRL	Sehr lockere Ablagerung von feinen Kalziumkarbonatpartikeln prinzipiell biogenen Ursprungs.
		Sumpfbildungen	P	Moorbildungen reich an organischen Bestandteilen (Torfe, Gyttja).
Glaziale Ablagerungen	Moränen	Obermoräne	MS	Ursprünglich auf der Gletscheroberfläche liegendes, im Dach der Moräne abgelagertes Geröll. Zerstreute Blöcke in sehr diskontinuierlicher Schicht.
		Endmoräne	MFR	Halbkreisförmig an der Gletscherzunge abgelagertes, durch Gletscherbäche ausgewaschenes Geröll. Kies bis Blöcke, Ablagerung durch Glazialtektonik stark gestört.
		Seitenmoräne	MLAT	Lateraler Geröllwall, weniger ausgewaschen als Endmoräne.
		Grundmoräne	MF	Geröllablagerungen an der Gletscherbasis. Sehr heterogen, ungeschichtet und stark überkonsolidiert. Grössere Komponenten sind von der feinkörnigen Matrix umgeben (matrix supported textures).
		Schlammmoräne	MA	Aquatisch gebildete, feinkörnige, ungeschichtete Ablagerungen, reich an Ton, mit seltenen Moränen-Geröllen.
	Periglazial	Fluvioglazial	FG	Grobkörnige Alluvionen, teils mit gestörter Schichtung infolge Abschmelzen von Toteis. Hinsichtlich der Festigkeit sind die Komponenten weniger gerundet und weniger abgestuft als bei Flussablagerungen.
		Eiszeitliche Seeablagerungen	GL	Wechsellagerung von Silten und Tonen in feinen Laminae. Ähnlich den Seegrundsedimenten, aber mit verstreuten Geröllen («dropstones»). Können stark überkonsolidiert sein.
		Löss	LO	Feinkörnige, quarzhaltige Silte und Sande äolischer Herkunft.

Tab. 2: Kategorisierung und Definition der 21 Lockergesteins-Geotypen, welche für die Kartierung des Kantons Waadt verwendet wurden.

4 Praktische Anwendungen

4.1 Kartographie von Naturgefahren

Im Projekt CADANAV wurden die Geotypen in verschiedenen Massstäben definiert:

- Generelle Geotypen (reduzierte Liste von 12 Geotypen, welche im Massstab 1:500'000 kartiert wurden). Sie repräsentieren die grossen geologischen Einheiten des Kantons und erlauben einen schnellen Überblick über die hauptsächlichen geologischen Gefahren in einer Region (z.B. Gebiete mit Steinschlag, Gebiete mit Rutschungen) sowie der Ressourcen (z.B. Wasserressourcen in den Karstgebieten).
- Detaillierte Geotypen (im Massstab 1:25'000 kartiert). Sie bilden die Basis für die Raumplanung wie unter Kap. 3 beschrieben. Dieselben detaillierten Geotypen können anschliessend in einem lokaleren Massstab angewendet werden (z.B. im Massstab 1:5'000) und erlauben schliesslich die Beschreibung des Untergrunds einer Parzelle.

4.2 Baugrundkartierung

Auf Anfrage der kantonalen Versicherungsanstalt des Kantons Waadt (ECA-Vaud), Auftraggeberin für die Kartierung der Baugrundkategorien betreffend die seismische Mikrozonierung des Kantons Waadt, wurde eine spezifische Methode entwickelt, um in sehr kurzer Zeit die seismische Gefahrenkarte für die 25 Kartenblätter des Kantons zu erstellen.

Das Vorgehen ist auf die Rückverfolgbarkeit ausgerichtet worden, das heisst, dass die Zuordnung einer Formation zu einer Bodenklasse immer anhand von vorher definierten Kriterien erfolgt. Die Redaktion der Blätter kann dann durch verschiedene private Geologiebüros durchgeführt werden, ohne Risiko einer subjektiven Verfälschung.

Es handelt sich um die erste wirklich operationelle Anwendung, welche es ermöglicht, von einem regionalen auf einen lokalen Massstab überzugehen. Zur Erinnerung: die Erstellung der Baugrundkarte für die Mikrozonierung besteht darin, den potenziellen Baugründen eine der 6 durch die Norm SIA 261 (2003) definierten Bodenklassen zuzuordnen (Tab. 3), durch welche letztlich die standortspezifische Vulnerabilität festgelegt wird.

Im Gegensatz zu den diesbezüglichen Bundesrichtlinien, welche nur eine Bearbeitungsetappe vorsehen, wird zuerst eine «konservative» Karte mit Hinweischarakter für das ganze Gebiet im Massstab 1:25'000 entworfen. In einer zweiten Etappe werden dann die Gefahrenkarten im Massstab 1:5'000 für die in Abhängigkeit ihrer Nutzung interessierenden Regionen erstellt.

Die konservative Karte ist auf der Basis begrenzter finanzieller Mittel erstellt worden. Von Vorteil war es, den Schwerpunkt der Abklärungen im Laufe der zweiten Etappe auf die Risikozonen setzen zu können. Mit anderen Worten ging es darum, die Information der geologischen Karten so einfach wie möglich in Bodenklassen übersetzen und dadurch ergänzende Nachforschungen (Sondierungen, Geophysik usw.) stark reduzieren zu können. Die bearbeitenden Büros sind aufgrund ihrer Gebietskenntnisse ausgewählt worden, um von ihrer Erfahrung zu profitieren.

Der Kanton Waadt hat das Glück, dass praktisch die Gesamtheit seiner Fläche kartiert ist (Geologischer Atlas der Schweiz 1:25'000). Diese Karten stammen jedoch aus verschiedenen Zeiten und sind von sehr unterschiedlicher Genauigkeit. Die geologischen Namen einer bestimmten Formation variieren oft von einer Karte zur anderen. Das Zusammensetzen von zwei aneinander grenzenden Karten lässt zahlreiche Inkohärenzen zum Vorschein kommen. Diese Inkohärenzen sind nicht Ausdruck einer ungenügenden Qualität der Kartographie, sondern sind die Folge unterschiedlicher Interpretationen durch die Autoren, unterschiedlichen, mit der Zeit sich verändernden Untersuchungsmethoden und den wissen-

schaftlichen Konzepten, welche ebenfalls je nach Fortschritt der Wissenschaft variierten.

Die Mehrzahl der Karten war nur in Papierform verfügbar, was einer vorgängigen Digitalisierung bedurfte. Dieser Arbeitsschritt wurde durch das Institut für Geomatik und Risikoanalyse (IGAR) der Fakultät für Geowissenschaften und Umwelt der Universität Lausanne im Auftrag und unter der Verantwortung des Bundesamts für Topographie (Swisstopo) durchgeführt. Das Ergebnis ist eine vektorisierte Fläche von mehr als 2'800 km^2, bestehend aus mehreren zehntausend Polygonen unterschiedlicher Eigenschaften, welche dem Inhalt von etwa zwanzig, zwischen 1935 und 2006 publizierten Atlasblättern entsprechen. Wie übersetzt man diese Polygone optimal in Baugrundklassen?

Zur Vereinfachung dieser Übersetzung sind die Geotypen eingeführt worden. Im Rahmen der Erstellung der «konservativen» Baugrundkarte gliedert sich die Übersetzung mit dieser Methode in zwei Hauptarbeitsschritte (Fig. 1).

Zwei Beispiele der Anwendung dieses Vorgehens werden vorgestellt: Das erste (Fig. 2) zeigt den Nutzen der Geotypen zur einfachen und schnellen Erstellung einer Kohärenz der geologischen Formationen an der Grenze von zwei Karten. Das zweite (Fig. 3) zeigt die Aggregation, die durch die Geotypen im Falle einer geologisch komplexen Zone erreicht wurde.

Übersetzung der geologischen Formationen in Geotypen

Jedem Polygon, das durch seine Benennung in der Karte charakterisiert wurde, wird ein Geotyp zugewiesen. Dies erfolgt automatisch dank einer Korrespondenzmatrix, welche für jedes Blatt gemäss der Legende, den Erläuterungen, der regionalen Literatur und der Kenntnis des Kantons aufgestellt wurde.

Baugrund-Klassen	Beschreibung
A	Hartes Gestein (z.B. Granit, Gneis, Quarzit, Kieselkalk, Kalk) oder weiches Gestein (z.B. Sandstein, Konglomerat, Juramergel), maximal von 5 m Lockergestein bedeckt.
B	Ablagerungen von groben Kiesen und zementierten Sanden und/oder überkonsolidierte Lockergesteine mit einer Mächtigkeit von mehr als 30 m.
C	Ablagerungen von normal konsolidierten und nicht zementierten Kiesen und Sanden und/oder Moränenmaterial mit einer Mächtigkeit von mehr als 30 m.
D	Ablagerungen von nicht konsolidierten, feinen Sanden, Silten und Tonen mit einer Mächtigkeit von mehr als 30 m.
E	Oberflächliche Alluvionen der Baugrundklassen C oder D mit einer Mächtigkeit zwischen 5 und 30 m; überlagern eine härtere Schicht der Baugrundklasse A oder B.
F1	Sensible Strukturen und organische Ablagerungen (z.B. Torf, Seekreide) mit einer Mächtigkeit von mehr als 10 m.
F2	Aktive oder reaktivierbare Rutschungen.

Tab. 3: Auszug aus der Tabelle der verschiedenen Baugrundklassen nach der Schweizer Norm SIA 261 (SIA 2003), modifiziert durch das Bundesamt für Wasser und Geologie (BWG 2004). Die seismische Vulnerabilität dieser Klassen steigt von A nach E. Es ist zu beachten, dass die Klasse E nicht einer Bodenart entspricht, sondern auf eine geringe Mächtigkeit (weniger als 30 m) der betrachteten Schicht hinweist, wenn dieselbe Schichten der Klasse A oder B überlagert.

Diese Übersetzung muss danach a priori durch das Geologiebüro, welches das betreffende Blatt bearbeitet, geprüft werden. Das Geologiebüro testet die Kohärenz der maschinellen Übersetzung und verbessert sie wenn nötig gemäss seiner Erfahrung. Das Ergebnis ist eine geologische Karte, die vereinfacht und über das gesamte Gebiet homo-

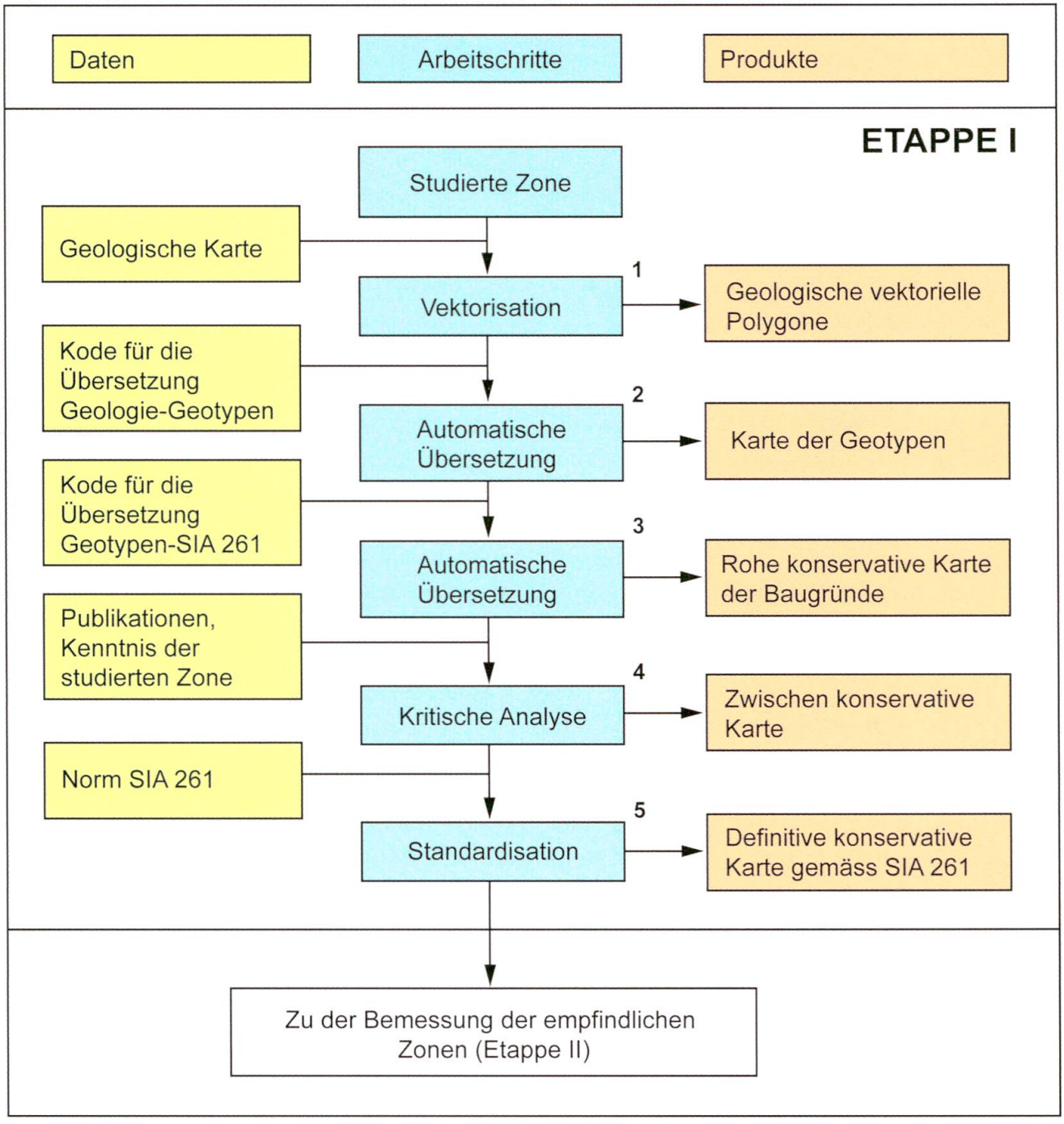


Fig. 1: Vorgehen bei der Erstellung der «konservativen» Baugrundkarte (Etappe I), die insbesondere die Benutzung der Geotypen umfasst. Dieses Vorgehen umfasst 5 aufeinanderfolgende Arbeitsschritte, welches mit der Übersetzung der vektoriellen geologischen Karte (GIS-Daten) in die Karte der Geotypen (Schritt 1 bis 2) und mit der Übersetzung der Karte der Geotypen in die Karte der Baugrundklassen (Schritt 3 bis 5) zusammengefasst werden kann. Diese Folge klar unterschiedlicher Arbeitsschritte bringt eine grosse Transparenz in die Verarbeitung der Daten und hat als Ziel, die Karten in Kenntnis der Sachlage jederzeit aktualisieren zu können. Anmerkung: das Wort Übersetzung wird als Transposition interpretiert und impliziert nicht, dass diese umkehrbar ist. Die geologischen Daten sind in Geotypen übersetzbar, aber das Gegenteil ist nicht der Fall; die Geotypen sind in Baugrundklassen übersetzbar, aber das Gegenteil ist ebenfalls nicht der Fall. Im Rahmen des Mandats der seismischen Mikrozonierung des Kantons Waadt sind die vektoriellen geologischen Karten (Geologischer Atlas, GIS-Daten), durch Swisstopo direkt den Auftragnehmern zur Verfügung gestellt worden.

genisiert wurde. Sie wird als «Karte der Geotypen» bezeichnet.

Übersetzung der Geotypen in Baugrundklassen

Eine zweite Korrespondenzmatrix wurde zwischen den Geotypen und den Baugrundklassen erstellt. Dies ebenfalls auf Grund der Kenntnisse des kantonalen Gebiets. Es handelt sich diesmal um nur eine Matrize für den ganzen Kanton, da die Unterschiede zwischen den Karten durch die Übersetzung in Geotypen eliminiert worden sind. Diese Matrize ermöglicht eine automatische Kartierung der Bodenklassen (abgesehen von der Klasse E). Das Geologiebüro muss die Kohärenz dieser Karte danach ebenfalls kontrollieren und – wenn nötig – das eine oder andere Polygon verbessern. Im Zweifelsfall wählt der Geologe die vorsichtigste Klasse. Danach fügt er die Mächtigkeit der Formationen hinzu und ordnet gewisse Polygone der Klassen C und D der Klasse E zu. Somit erhält man die vorläufige Ergebniskarte.
Der Test der Methode auf dem Versuchsblatt 1242 «Morges» und die Fortsetzung der Arbeiten durch die beauftragten Büros haben gezeigt, dass die Redaktion der «konservativen» Karte der Baugrundklassen vollkommen operativ war. Viel Arbeit hat das kohärente Zusammenfügen aneinander grenzender geologischer Karten gekostet. Diese Harmonisierung wurde auf der Stufe der Karte der Geotypen gemacht, wodurch diese Schwierigkeiten für die weiteren Schritte vermieden werden konnten (Fig. 2, 3).

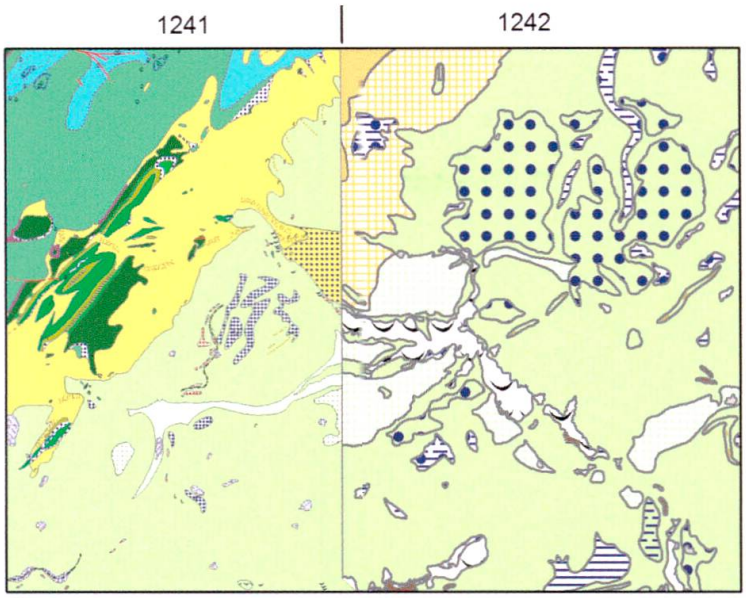
5 Andere Anwendungen

5.1 Geotypen und Gewässerschutzzonen

Die Karten der Gewässerschutzzonen des Kantons Waadt stammen aus dem Jahr 1970. Sie sind ohne Rückverfolgbarkeit der Zuteilung eines Polygons an die eine oder andere Art von Zone erstellt worden, was früher die Norm war. Sie müssen heute aufgrund der neuen Gewässerschutzverordung (GSchV) und der neuen Kenntnisse über die Hydrogeologie des Kantons revidiert werden. Die Rand-bedingungen sind jenen der seismischen Mikrozonierung ähnlich, insbesondere die begrenzten finanziellen Mittel.
Da die Karte der Geotypen, welche anlässlich der seismischen Mikrozonierung erstellt wurde, verfügbar war, ist eine Methode zur Revidierung der Gewässerschutzzonen ausgehend von dieser einheitlichen, zusammenhängenden und flächendeckenden Information entwickelt worden. Durch Hinzufügen zusätzlicher, zu einem guten Teil bereits in GIS-Form vorhandener Kriterien (Topographie, elektrische Widerstandsfähigkeit, Karte der Quellen, Polygon-Nachbarschaft) ist es möglich, die Karte der Geotypen automatisch in Schutzzonen zu übersetzen. Noch ist die Kontrolle des Geologen aber unentbehrlich, indem dieser auf die geologische Karte und auf seine persönlichen Gebietskenntnisse zurückgreift; manuelle Verbesserungen werden so falls nötig angebracht. Im selben Arbeitsgang wird eine Karte der Grundwasserressourcen erstellt.

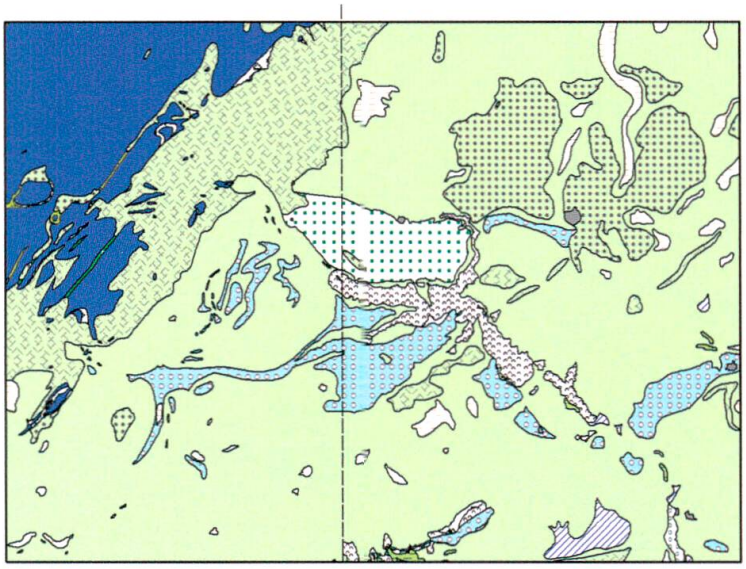
5.2 Geotypen und Hanginstabilitätsrisiken

Wie schon erwähnt, ist dies die Art von Problemen, die am Anfang der Geotypen steht. Die Situation ist allerdings verschieden, da die Karte der Geotypen bereits für den ganzen Kanton verfügbar ist. Diese Basis ist ein guter Ausgangspunkt für die Kartographie der Gebiete bezüglich der Empfindlichkeit für Erdrutsche und andere assoziierte Phänomene. Vervollständigt durch eine detaillierte Analyse der geologischen Eigenschaften ermöglicht die Karte der Geotypen, die Materialeigenschaften und damit die spezifische Wirkung auf potenzielle Rutschgebiete besser zu berücksichtigen.
Diese Charakterisierung der Aufschlüsse hat jedoch, seit der Einreichung des CADANAV-Berichtes (Schneider 2001, Pouyt 2003, Pantet 2005), intensive Forschungsarbeiten erfordert. Das Ziel war immer ein möglichst



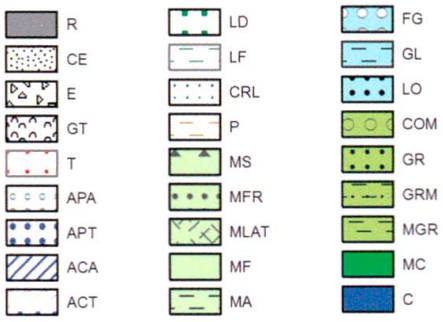
Geologische Karte

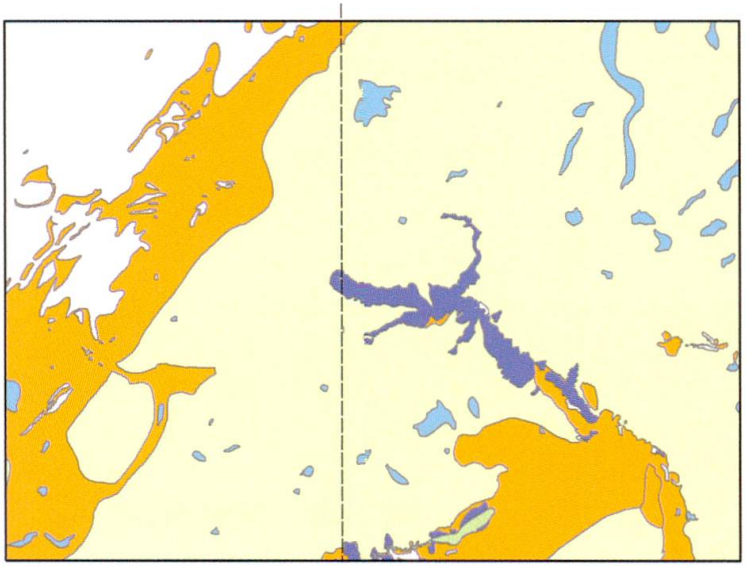
Extrakt der Blätter 1241 und 1242
des geologisches Atlas der Schweiz
1/25'000 (ohne Legende)



Entsprechende Karte der Geotypen

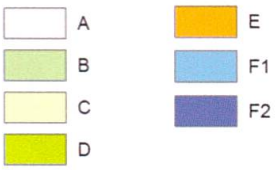
Kode der Geotypen





Entsprechende Baugrundkarte (gemäss SIA 261)

Baugründeklassen



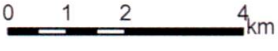
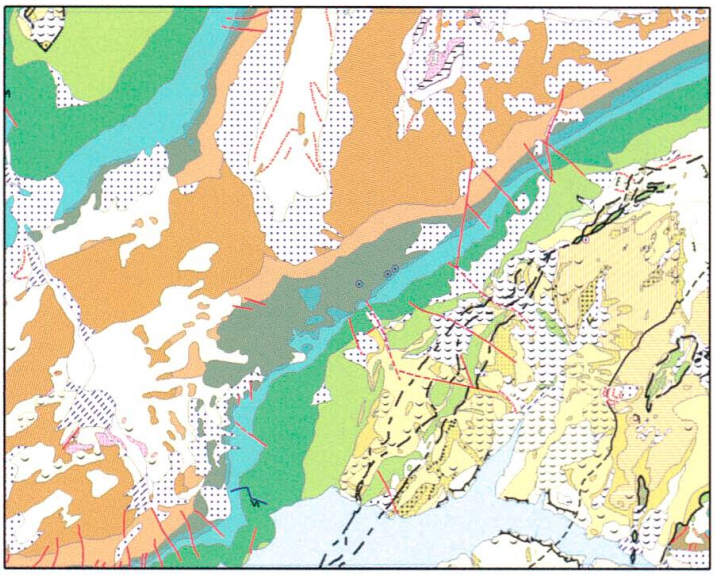
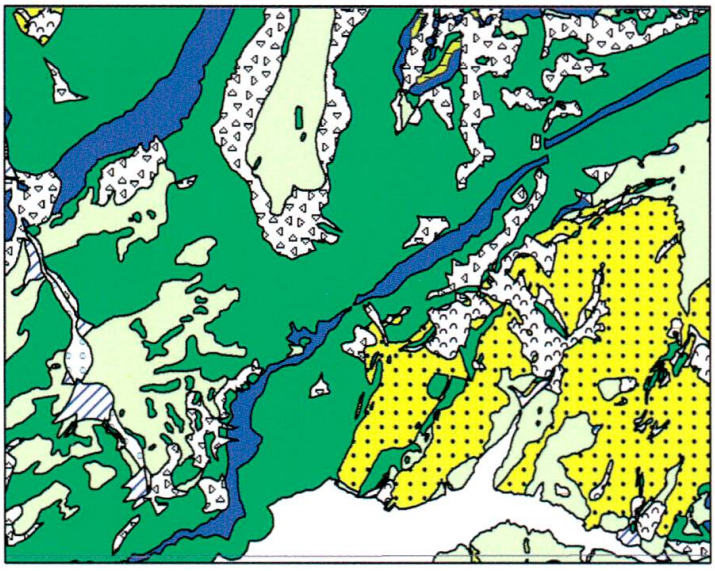


Fig. 2: Von der geologischen Karte zur Karte der Baugrundklassen über die Karte der Geotypen als Zwischenschritt. Oben: Auszug aus dem Geologischen Atlas der Schweiz im Massstab 1:25'000. Dieser zeigt die Problematik der Kontaktzone zwischen den Karten 1241 «Marchairuz» (oben links) und 1242 «Morges» (oben rechts). Mitte: Übersetzung der Geologie in Geotypen mit Behebung der Inkohärenzen an den Kartengrenzen. Unten: Übersetzung der Karte der Geotypen in eine Baugrundkarte. Für eine bessere Leserlichkeit wurde der topografische Hintergrund weggelassen. Copyright AG25-GIS©swisstopo.



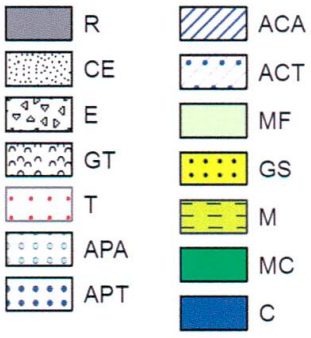
Geologische Karte

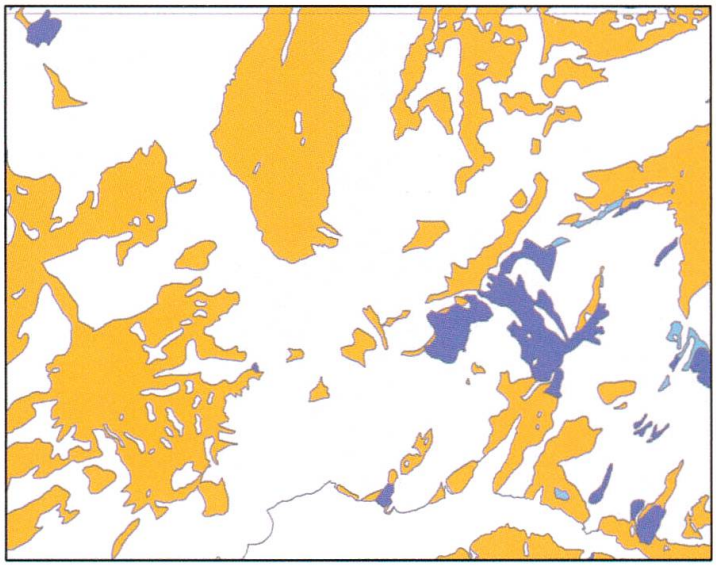
Extrakt des Blattes 1265 des geologisches Atlas der Schweiz 1/25'000 (ohne Legende)



Entsprechende Karte der Geotypen

Kode der Geotypen





Entsprechende Baugrundkarte (gemäss SIA 261)

Baugründeklassen

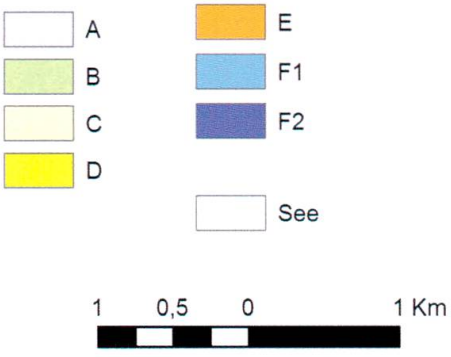


Fig. 3: Von der geologischen Karte zur Karte der Baugrundklassen über die Geotypen als Zwischenschritt. Oben: Auszug aus dem Geologischen Atlas der Schweiz im Massstab 1:25'000. Dieser zeigt die Problematik einer komplexen Zone der Voralpen auf der Karte 1265 «Les Mosses». Mitte: Übersetzung der Geologie in Geotypen mit einer Reduktion der Anzahl Formationen. Unten: Übersetzung der Karte der Geotypen in eine Baugrundkarte. Für eine bessere Leserlichkeit wurde der topografische Hintergrund weggelassen. Copyright AG25-GIS©swisstopo.

objektives Vorgehen mit den geringsten möglichen Kosten anzuwenden.
Die Geotypen sind ebenfalls im geologisch völlig verschiedenen Kontext von Nicaragua angewendet worden (Haeberlin et al. 2004), und haben so ihre Flexibilität und Robustheit gegenüber anderen Bedingungen als im Kanton Waadt beweisen.

5.3 Geotypen und die Einsturzgefahr von Karsthohlräumen

Die Machbarkeitsstudie zu einer gradierten Kartographie der Einsturzgefahr von Karsthohlräumen, welche für die ECA-Vaud (Geolep 2003) durchgeführt wurde, bestätigt das Nutzungspotenzial der Geotypen für diese Problematik, da die karstempfindlichen Gebiete leicht in der Liste der felsigen Geotypen zu identifizieren sind.

6 Bemerkungen zu der Karte der Geotypen – was sie ist und was sie nicht ist

Es ist wichtig festzuhalten, dass die Klassifizierung in Geotypen die vollständige und detaillierte Klassifikation der geologischen Formationen, insbesondere jene des Geologischen Atlas der Schweiz, nicht ersetzt. Ebenso ersetzen die Karten der Geotypen die geologischen Karten nicht. Diese bleiben die grundlegende wissenschaftliche Referenzbasis. Es ist also grundlegend, die Aufnahme solcher Karten zu verfolgen und sogar zu intensivieren. Ohne diese Grundlage wäre es schwierig, die geologischen Kenntnisse in die Raumplanung zu integrieren. Die Karte der Geotypen übersetzt diese wissenschaftliche Information in eine einfachere Form und entspricht damit besser den gezielten Bedürfnissen der angewandten Geologie.

7 Schlussfolgerung

Die Methode der Geotypen hat konkret bewiesen, dass sie durch Vereinfachung der geologischen Beschreibung eines Gebiets diese homogenisiert und folglich den Gebrauch dieser Information in verschiedenen Gebieten der angewandten Geologie vereinfacht. Die Methode eignet sich ausserdem für eine optimale Benutzung der Funktionalität von Geografischen Informations Systemen GIS und garantiert die Rückverfolgbarkeit des Vorgehens, und damit auch die Möglichkeit späterer Revisionen. Schliesslich hat die Einführung im Vergleich zu anderen Vorgehen für identische Bedürfnisse, wie zum Beispiel der seismischen Mikrozonierung, keine zusätzlichen Kosten verursacht. Die grosse geologische Vielfalt des Kantons Waadt hat die Anpassungsfähigkeit dieser Methode an andere Regionen ungeachtet ihres geologischen Zusammenhangs bestätigt.
Über die Kartographie der geologischen Risiken und den Grundwasserreserven hinaus hat die Methode der Geotypen ein Potenzial für andere Anwendungen, bei denen die Darstellung des Untergrundes eine wichtige Rolle spielt.
Nehmen wir schliesslich zur Kenntnis, dass die Forschungsarbeiten zum Ressourcen-Potenzial des urbanen Untergrundes (Deep City Projekt: Blunier et al. 2006, Parriaux et al. 2010) die Kapazität dieser Methode bestätigen, die dreidimensionale Darstellung des Untergrundes zu vereinfachen; eine Herausforderung für die kommenden Jahre.

Referenzen

Blunier, P., Maire, P., Parriaux, A. & Tacher, L. 2006: Deep City: ressources du sous-sol urbain. Tracés, 05, 15 mars 2006, 6–9.

CADANAV 2002: Projet CADANAV. Etablissement d'une méthodologie de mise en œuvre des Cartes de Dangers Naturels du Canton de Vaud. Collectif EPFL: HYDRAM, LMS, LMR, GEOLEP, LASIG, SLF, WSL. Rapport final, 31 Octobre 2002. Non publié.

Dysli, M., Fontana, A., Parriaux, A. & Schlüchter, CH. 1990: Une classification géologique des sols suisses. Route et trafic, 1/90.

Foucault, A. & Raoult, J.-F. 1984: Dictionnaire de géologie. 2ème édition. Ed. Masson, Paris.

GEOLEP 2003: Expertise géologique des phénomènes d'effondrement et de subsidence karstiques dans le cadre de permis de construire. GEOLEP Rapport final, non publié, janvier 2003.

GEOLEP 2004: Microzonage sismique du canton de Vaud. Etablissement de la carte des sols de fondation selon SIA 261. Etude préliminaire. GEOLEP. Rapport final. Janvier 2004.

Haeberlin, Y., Turberg, P., Retière, A., Senegas, O., Parriaux, A. 2003: Validation of SPOT-5 satellite imagery for geological hazard identification and risk assessment for landslides, Mud- and debris flows in Matagalpa, Nicaragua. Actes de Congrès ISPRS 2004, Istanbul.

Keller, B. 1996: Lithofacies-Codes für die Klassifikation von Lockergesteinen. Publications de la Société suisse de mécanique des sols et des roches. Réunion de printemps, 12 avril 1996, no 132.

OFEG 2004: Principe pour l'établissement et l'utilisation d'études de microzonage en Suisse. Directives de l'Office fédéral des eaux et de la géologie (OFEG), Berne 2004.

Pantet, A. 2005: Valorisation des facteurs lithologiques et hydrogéologiques dans l'élaboration des cartes de dangers naturels. GEOLEP, rapport interne de stage, non publié.

Philippe, E. 2003: Méthode et réalisation de cartes indicatives de microzonage sismique du canton de Vaud (Suisse). Mémoire de diplôme postgrade en géologie de l'ingénieur. GEOLEP, Non publié.

Parriaux, A., Blunier, P., Maire, P., Dekkil, G. & Tacher, L. 2010: Projet Deep City – Ressources du sous-sol et développement durable des espaces urbains. Rapport de recherche PNR 54, Fonds national suissse FNS/ vdf ETHZ, 2010.

Pouyt, M. 2003: Développement et test d'identification de terrain, dans le domaine des instabilités de versant. GEOLEP. Travail de diplôme UNIL-EPFL, non publié.

Schneider, Th. 2001: Caractérisation multicritère des formations géologiques du canton de Vaud et de leurs prédispositions face aux dangers naturels. Mémoire de diplôme postgrade en géologie de l'ingénieur. GEOLEP, Non publié.

SIA 261 2003: Norme suisse SN 505 261, Actions sur les structures porteuses. Ed. Société suisse des ingénieurs et architectes, Zürich.

VSS 1995: Norme Suisse SN 670 009. Terminologie géologique des terrains meubles. Union des professionnels suisses de la route (VSS). 30 mars 1995.