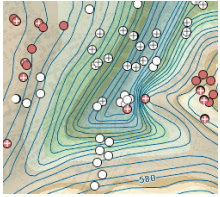


## Schwerpunktthema Ausgabe 4 / 2015

Neue Karte im Geoportal

### Felsreliefkarte im Geoportal

#### Das Felsrelief - Zur Entstehung in der Natur



Die Felsreliefkarte ist ein digitales Höhenmodell der Felsoberfläche. Das digitale Höhenmodell der Geländeoberfläche (DHM) und der Felsoberfläche fallen dort zusammen, wo der Fels an der Erdoberfläche zu Tage tritt oder nur von einer geringen Verwitterungszone überdeckt ist. Das ist in den Alpen und im Jura vielerorts der Fall. Hier können die Isohypsen der Geländeoberfläche zugleich auch für die Reliefdarstellung der Felsoberfläche entstehen. Aber dort wo sich die beiden Reliefs entkoppeln, weil die Verwitterungszone tiefgründig in den Fels hinunterreicht oder weil dieser von Lockergesteinsablagerungen der jüngeren Erdgeschichte überdeckt ist, sind wir auf Sondierungen angewiesen, um den Verlauf der Felsoberfläche im Untergrund zu verfolgen.

Für diese Unternehmung brauchen wir vorerst eine Begriffsklärung für Fels und Lockergestein: Was als Gestein bezeichnet werden kann, wird für den Geologen zum Fels, wenn die Porenräume zwischen den Partikeln von einem kristallisierten Kittmittel erfüllt sind. Der Schotter in der Kiesgrube ist für ihn noch ein Lockergestein, die Nagelfluh am Guggershörnli und im Emmental und die Bausandsteine z.B. der Berner Altstadt hingegen sind Fels.

Dazwischen liegt ein grosser zeitlicher Spagat. Die jüngste Felsformation im Kanton Bern ist die Obere Süsswassermolasse. Sie entstand in einem Zeitraum von 17 bis etwa 5 Millionen Jahren vor heute vor dem alpinen Gebirge in einer Senke, die als Sedimentfalle wirkte und den Abtragungsschutt der Alpen auffing. Hernach erfasste eine grossräumige Hebung die Alpen und das Mittelland. Das hatte zur Folge, dass soeben abgelagerte Gesteine wieder ausgeräumt wurden. Das Gewässernetz, das diese Aufgabe übernahm, musste sich seinerseits an die Hebung und die Verstellungen des Untergrundes anpassen. Man weiss, dass die Ur-Aare ehemals in einem weiten Bogen gegen Westen Richtung Südfrankreich abfloss und auf der anderen Seite der Rhein ein Zufluss der Donau und des Schwarzen Meeres war. Erst im Lauf der Zeit haben sich die aktuellen Wasserscheiden und Einzugsgebiete herausgebildet.

Als vor ca. 2.5 Millionen Jahren eine globale Abkühlung eintrat, kamen neue Kräfte ins Spiel. Mit fortschreitender Klimaverschlechterung stiessen die ersten Vereisungen aus dem Hochgebirge ins Vorland vor und zogen sich pulsierend im Wechsel von Kalt- und Warmzeiten wieder zurück. Dieses Wechselspiel intensivierte sich vor ca. 800 000 Jahren, aber

wir wissen nicht, wie oft es stattgefunden hat. Spuren älterer Eiszeiten wurden von der nachfolgenden teilweise wieder verwischt oder ganz getilgt.

Die Perioden der Vergletscherungen hatten die stärksten Einwirkungen auf den Fels. Lag er blank an der Oberfläche, so verwitterte und bröckelte er unter dem Einfluss von Frost. Am grössten war der Abtrag durch das Gletschereis, wenn es über Jahrhunderte oder gar Jahrtausende den blanken Fels scheuerte und wenn seine sandgetriebenen, schmirgelnden Schmelzwässer sich am Gletscherbett zwischen Eis und Fels einen Weg bahnten. Der grosse hydrostatische Druck unter dem Gletschereis vervielfachte die Erosionskraft der Schmelzwasserströme. So kam es vielerorts zu Übertiefungen, welche unserer Erwartung von einem kontinuierlich abfallenden Talweg zuwiderlaufen. Anschauungsbeispiele für die enorme Erosionskraft von Schmelzwasserströmen unter (mittlerweile zurückgeschmolzenen) Gletschern bieten bekannte Ausflugsziele im Oberland, beispielsweise die Gletscherschluchten von Rosenlauri und von Grindelwald, die Trümmelbachfälle im Lauterbrunnental, die Aareschlucht hinter Meiringen oder die Cholerenschlucht bei Adelboden.



Cholerenschlucht, Adelboden  
Subglazial entstandene Erosionsrinne im Fels  
Bild: Adelboden Tourismus

Die vom Gletscher ausgehobelten Becken und Schluchten wurden beim Rückzug der Eismassen mit Geröllschutt gefüllt, den die Schmelzwasserströme mobilisierten und umlagerten. Diese Prozesse dauern bis heute an: Durch die Geschiebeablagerungen von Bächen und Flüssen und

durch Hangrutschungen und Murgänge nach Starkniederschlägen werden wir Zeitzeugen, wie die ererbten Ungleichgewichte in den Oberflächenformen laufend repariert und ausgeglichen werden. Die ganz grossen und tiefen Senken freilich trotz der Auffüllung bis heute und bereichern als Seen unsere Landschaft. Die grössten Übertiefungen und Auskolkungen hat der Aaregletscher wohl auf der Achse von Briener- und Thunersee geschaffen. Wir kennen die wahren Tiefen zwar nicht, weil die Lockergesteine in den Seebecken bisher nicht in ihrer ganzen Mächtigkeit erbohrt worden sind, aber geophysikalische Erkundungsmethoden deuten darauf hin, dass die Felssohle unter dem Meeresspiegel liegt.

Die Summe aller Einwirkungen aus den letzten 5 Millionen Jahren wird in unserer Felsreliefkarte vereinigt, aber man muss sich vor Augen halten, dass sie ein Phantombild ist. Nie gab es einen Zustand der völligen Entblössung vor Beginn der Eindeckung mit Lockergesteinen. Erosion und Sedimentation fanden simultan statt - aber nicht am gleichen Ort.

## Das Felsrelief - Zur Entstehung am Bildschirm

Jeder Schritt in der Herstellung der Felsreliefkarte hat eine gesonderte thematische Kartenebene erzeugt, welche direkt in die Karte übernommen werden konnte. Ihre Überlagerung ergibt das finale Kartenbild. Als Formate für die verschiedenen Ebenen werden Raster, Linien und Punkte verwendet.

Das Hauptthema, das Felsrelief, wird als Rasterebene dargestellt. Wie bei einer topografischen Karte verleiht ihm eine Schummerung ein plastisches, dreidimensionales Aussehen. Die Linien repräsentieren die Höhenkurven der Felsoberfläche (Felsisohypsen). Sie unterstützen die dreidimensionale Wahrnehmung und sorgen - wenn sie beschriftet sind - für eine bessere Lesbarkeit der unterliegenden Rasterfläche. Zuerst auf die Karte haben wir als Punkte die verwendeten Sondierungen projiziert und bei über 12 000 Bohrungen zusätzlich noch das Bohrprofil als pdf angefügt.

Für die Kartenherstellung wurden die Themenebenen in umgekehrter Reihenfolge der Stapelung behandelt: Zuerst wurden als Datengrundlage die Sondierungen aufbereitet. In den meisten Fällen sind das Bohrprofile, welche wir in der hydrogeologischen Dokumentationsstelle sammeln und digital erfassen. Wenn eine Bohrung den Fels erreicht hat, so liefert sie einen Punkt, der durch die Koordinaten x, y und z in allen drei Dimensionen bestimmt ist. Bei Bohrungen, welche den Fels nicht erreicht haben, ist für die Tiefendimension nur die Aussage «Felskote tiefer als z» möglich (wobei z = Endteufe der Bohrung), aber auch diese Information kann verwertet werden. In der Karte unterscheiden wir die beiden Fälle mit verschiedenen Farben: Rote Punkte stehen für Bohrungen mit Felskote, die weissen für Bohrungen welche nicht bis auf den Fels hinunter reichten.

Im ersten Arbeitsschritt wurden die Linien der Felsisohypsen mit einem Abstand von 10 m erzeugt. Als Anhaltspunkte für den Linienvorlauf dienten die Felskoten oder die Endteufen der Bohrungen. Auf eine automatische Interpolation der Linien zwischen den Punkten wurde nach unbefriedigenden Ergebnissen in der Pilotphase verzichtet; die Felsisohypsen



Bohrgut einer Kernbohrung  
Länge der Bohrkiste 2 m, Grenze Fels / Lockergestein bei 0.35 m  
Bild: Werner + Partner AG, Burgdorf

wurden stattdessen manuell editiert. In Gebieten mit geringer Lockergesteinsüberdeckung entfernen sich die Felsisohypsen nicht weit von den Höhenlinien der Geländeoberfläche. Dort wo die Überdeckung zu grossen Mächtigkeiten anschwillt, es jedoch an verfügbaren Bohrresultaten mangelt, muss mit grösseren Diskrepanzen zwischen dem real existierenden Felsrelief und unserem interpretierten Modell gerechnet werden.

Während der erste Arbeitsschritt zur Erzeugung der Felsisohypsen sehr arbeitsintensiv war, erforderte die darauffolgende Etappe zur Erzeugung der Rasterfläche des Felsreliefs viel weniger Aufwand. Mit einem Standardwerkzeug für die Datenbearbeitung in Geografischen Informationssystemen (GIS) wurde die Rasterfläche gerechnet, die sich über die Felsisohypsen schmiegt. Wir generierten Rasterzellen von 10x10 Metern, was pro Quadratkilometer 10 000 Rasterzellen ergibt. Jede Rasterzelle erhält einen Wert für die mittlere Höhe der Felsoberfläche [m über Meer]. Daraus konnte mit der einfachen Subtraktionsrechnung «digitales Höhenmodell der Geländeoberfläche minus Felskote» für jede Rasterzelle auch gleich die Mächtigkeit der Lockergesteinsüberdeckung ermittelt werden. Diese Themenebene wird deshalb ebenfalls im Rasterformat angezeigt. Der Wertebereich der Lockergesteinsmächtigkeiten ist sehr breit und reicht von null bis über 600 Meter. Das verlangte nach einer kartografischen Aufbereitung mit verschiedenfarbigen Klassen. Wir haben die Klassengrenzen so gewählt, dass für den häufigeren Fall der geringen Lockergesteinsüberdeckung eine bessere Auflösung erzielt wird.



Bohrgut (Cuttings) einer destruktiven Bohrung. Proben wurden nach jeweils 2 m Bohrfortschritt entnommen; daraus wird das Bohrprofil erstellt.  
Bild: Baustofflabor, Uetendorf

Der ganze Arbeitsaufwand war mit dem knappen Personaletat der kantonalen Verwaltung nicht zu schaffen. Die Bearbeitung der von uns zur Verfügung gestellten Aus-



gangsdaten erfolgte am Institut für Geologie der Universität Bern. Die Gebäudeversicherung des Kantons Bern hat das Projekt Felsreliefkarte mit einem grosszügigen Sponsorenbeitrag unterstützt. Wir danken den beiden Institutionen für Ihre Mithilfe.

Mitbeteiligt sind auch alle, die uns zu den geologischen Grundlagendaten verhelfen, indem sie ihre Bohrvorhaben anmelden und nach Ausführung die Profile und begleitenden Berichte zustellen. Die Dunkelziffer an relevanten Daten, die uns für Verbesserungen an der Felsreliefkarte aber auch an der Grundwasserkarte entgehen, ist vermutlich immer noch hoch. Für uns wäre viel erreicht, wenn wir mit diesem Fachbeitrag die Leserschaft vom Nutzen der Zusammenarbeit mit der hydrogeologischen Dokumentationsstelle überzeugen könnten.

## Das Felsrelief - Hinweise zum Gebrauch

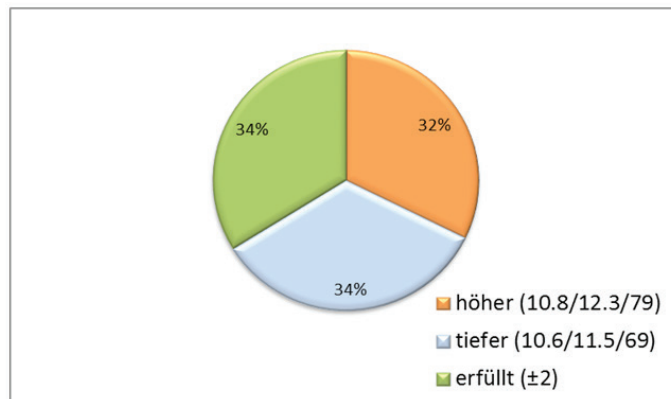
Die Felsreliefkarte ist eine prognostische Karte mit vielen Unsicherheiten. Es lassen sich zwar metergenaue Aussagen daraus ablesen, aber man sollte sie nicht zum Nennwert nehmen, sondern als Richtwerte verstehen. Die Zuverlässigkeit kann auf den einfachen Nenner gebracht werden: Je dichter die Anzahl der verfügbaren Sondierungen und je geringer die Lockergesteinsüberdeckung, desto zuverlässiger ist die Aussage zur Lage der Felsoberfläche.

Die wichtigsten Fehlerquellen sind:

- das manuelle Zeichnen der Felsisohypsen kann sich oft nur an wenigen Punktinformationen orientieren und lässt verschiedene Darstellungen zu.
- tiefgründig verwitterte Felsoberflächen erschweren die Grenzziehung Lockergestein/Fels.
- bei destruktiven Bohrungen (Standard für Erdwärmesonden) muss das Bohrprofil anhand von Gesteinstrümmern aufgenommen werden. Die Abgrenzung von Lockergestein zu Fels ist unter diesen Umständen oft schwierig.
- ungenaue Standortkoordinaten und Terrainkoten verzerren das Felsrelief.
- bei Massenumlagerungen wie Hangkriechen, Sackungen und Bergstürzen ist die Grenzziehung Lockergestein/anstehender Fels besonders unsicher. Wir haben in diesen Fällen tendenziell oberflächennahe Felskoten angenommen.

Die zuletzt aufgeführte Unsicherheit betrifft in erster Linie das alpine Gelände, wo auch weniger Bohrprofile verfügbar sind. Wir beschränken deshalb die Darstellung des Felsreliefs im Berner Oberland auf die stärker besiedelten Haupttäler, behandeln hingegen das Mittelland und den Berner Jura flächendeckend. Somit deckt die Felsreliefkarte 61 % der Kantonsfläche ab.

In fünfeinhalb Monaten seit der Veröffentlichung der Erstversion der Felsreliefkarte im Geoportal des Kantons Bern sind 192 neue Bohrungen hinzugekommen, welche den Fels erbohrt haben und einen Vergleich mit der modellierten Felsoberfläche erlauben. Die Verteilung auf die drei Kategorien «Fels höher als erwartet», «Fels tiefer als erwartet» und «Erwartung erfüllt» ist ausgeglichen; dabei ist zu betonen, dass wir für die Kategorie «erfüllt» die Toleranz mit  $\pm$ zwei Meter recht eng angesetzt haben.



Auswertungsdiagramm für 192 Bohrungen mit Felskoten. In Klammern sind in der Einheit Meter angegeben: Mittelwert der Abweichung vom Erwartungswert der Felsreliefkarte / Standardabweichung / grösster Ausreisser der Kategorie

Die Felsreliefkarte kann in verschiedenen Gebieten nützliche Dienste leisten: Für die Fundation von Gebäuden und Infrastrukturbauten im Tiefbau liefert sie Hinweise zum Baugrund. Für die Beurteilung der Erdbebensicherheit von Gebäuden und Kunstbauten ist es wichtig, die Mächtigkeit der Lockergesteinsüberdeckung und deren Zusammensetzung zu kennen. Für Steine und Erden wird die Abschätzung und Bewirtschaftung vorhandener Reserven erleichtert. Bohrungen und Erdwärmesonden lassen sich für die Bohrunternehmung besser planen und der Heizungsfachmann kann die Anlage besser auf den Energiebedarf abstimmen. Der Forschung stellt die Felsreliefkarte Fragen nach den Erosionsprozessen und der Verfüllung der Erosionsrinnen.

Die Felsreliefkarte ergänzt unser bisheriges Angebot der geologischen Grundlagendaten. Mit ihrem Auftritt im Rasterformat geht sie noch einen Schritt weiter und stösst die Türe auf zu dreidimensionalen Auswertungen, wo noch ein grosses ungenutztes Potenzial schlummert.

[Zur Karte im Geoportal](#)

## Christian Isenschmid

Hydrogeologische Dokumentationsstelle  
Amt für Wasser und Abfall (AWA)