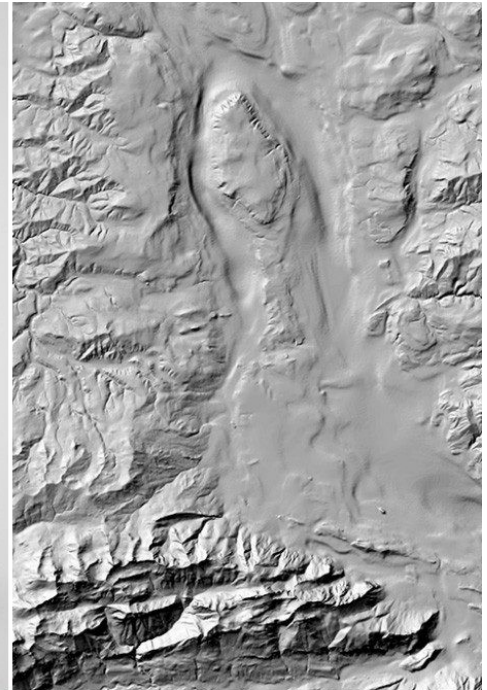




Felsoberflächenmodell (TopFels25)



PRO MAC PC

Modellbeschreibung
Description du modèle
Model description

November 2021



Inhaltsverzeichnis / Table des matières / Table of contents

Inhaltsverzeichnis / Table des matières / Table of contents	2
Einleitung / Introduction / Introduction	3
Arbeitsablauf / Flux de travaux / Workflow	4
1 Eingangsdaten / Données d'entrée / Input data	5
1.1 Bohrdaten / Données de forage / Well data	5
1.2 3D-Modelle / Modèles 3D / 3D models	6
1.2.1 Modell Nagra/Jordan und darin verwendete Daten	6
1.2.2 Modell Dürst Stucki	7
1.2.3 Modell Fiore	7
1.2.4 Modell Schälli	7
1.2.5 Publikation Graf	7
1.2.6 Modell Nagra-Wellenberg	7
1.2.7 Modell Bodmer	7
1.2.8 Modell Klingelé	7
1.2.9 Kantonale Modelle	7
1.2.10 DHM25 / TOPO25	8
1.3 Karten / Cartes / Maps	8
1.4 Profile / Coupes / Cross sections	8
1.5 Seismische Sektionen / Sections sismiques / Seismic sections	8
1.6 Sonstige Daten / Autres données / Other data	8
1.7 Datenbereitstellung / Traitement de données / Data processing	8
1.8 Qualitätssicherung / Test de qualité / Quality check	8
1.8.1 Bohrdaten	9
1.8.2 Kartendaten	9
1.9 Datenabdeckung / Couverture des données / Data coverage	9
2 Modellierungsprozess / Processus de modélisation / Modelling process	10
2.1 Konzept / Concept	10
2.2 Methodik / Méthodologie / Methodology	10
2.2.1 Erste Interpolation	10
2.2.2 Anpassung an Eingangsdaten	10
2.2.3 Finale Interpolation	10
2.3 Parameter / Paramètres / Parameters	11
2.3.1 Interpolationsparameter	11
2.3.2 Parameter zur Morphologie	11
2.4 Validierung / Validation / Validation	11
2.4.1 Validierung: Erste Interpolation	11
2.4.2 Validierung: Anpassung an Eingangsdaten	12
2.4.3 Validierung: Finale Interpolation	12
3 Unsicherheiten / Incertitudes / Uncertainties	12
3.1 Schwierigkeiten / Difficultés / Difficulties	13
4 Anwendungsrichtlinien / Directives d'application / Application guidelines	14
5 Rechtliches / Mentions légales / Legal matters	14
6 Haftungsausschluss / Avis juridique / Disclaimer	14
7 Datenstruktur / Structure des données / Data structure	15
7.1 Datenmodell / Modèle de données / Data model	15
7.2 Attribute und Formate / Attributs et formats / Attributes and formats	15
Literaturverzeichnis / Bibliographie / Bibliography	15



Einleitung / Introduction / Introduction

Im Rahmen des Projekts «GeoMol CH» wurde basierend auf Bohrdaten, geologischen Karten, geologischen Publikationen und bestehenden 3D-Modellen ein flächendeckendes Felsoberflächenmodell (TopFels25) für das Mittelland sowie für die grossen Alpentäler (Rhein, Rhône, Aare, Reuss, Linth und Ticino) erstellt. Es handelt sich dabei um einen digitalen Datensatz, der eine prognostische Darstellung der Felsoberfläche darstellt. Der Datensatz besteht aus einem Raster mit einer Zellengrösse von 25x25m und zeigt die Felskote (in m ü.M.) als Rasterdaten. Durch Subtraktion vom Höhenmodell DHM25 wurde als Begleitprodukt das Mächtigkeitsmodell des Lockergesteins erstellt, das ebenfalls als Raster mit einer Zellengrösse von 25x25m vorliegt. Das Felsoberflächenmodell weist innerhalb des Modellperimeters unterschiedliche Qualitäten auf. Bei hoher Informationsdichte über den Felsverlauf besitzt das Modell eine höhere Präzision als in Gebieten mit tieferer Informationsdichte. Eine absolute Bestimmung der Qualität ist nicht möglich.

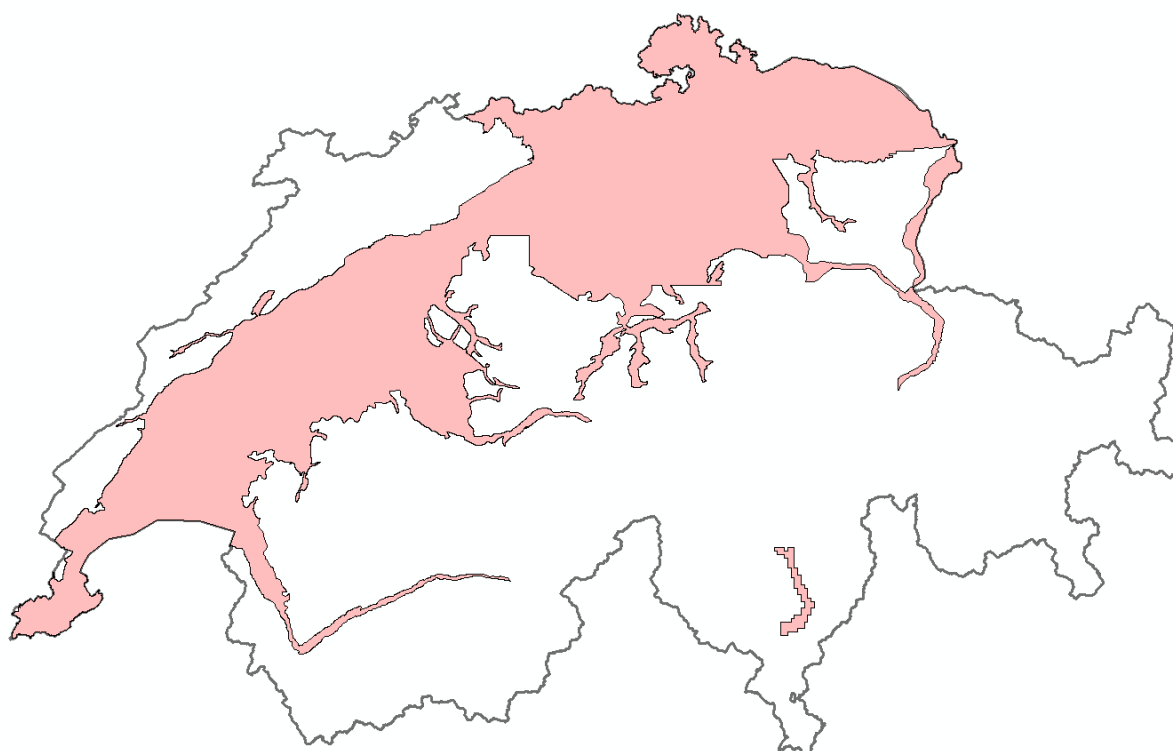


Fig. 1: Perimeter des Modells. Das Modell wurde gegenüber früheren Modellen auf ein Gebiet mit genügender Datendichte reduziert (vgl. TopFels25_Release_Notes_2021)

Ziel und Zweck dieses Dokuments ist es, das Vorgehen der Modellierung und die Qualität der verschiedenen verwendeten Datensätze zu beschreiben. Zusätzlich soll dieses Dokument allgemeine Unsicherheiten und Ungenauigkeiten des Modells aufzeigen. Das hier vorliegende Modell stellt eine erste Version dar und kann mit weiteren Daten und/oder Kenntnisse über den Verlauf der Felsoberfläche ergänzt, verfeinert und verbessert werden.



Arbeitsablauf / Flux de travaux / Workflow

Der Arbeitsablauf für das Felsoberflächenmodell ist aufgeteilt in die Hauptaspekte «Eingangsdaten» und «Modellierungsprozess». Sie werden in den folgenden Kapiteln detailliert beschrieben. Zu beiden Hauptaspekten gehören Qualitätssicherung, Dokumentation und Einträge in die Ablaufsteuerung

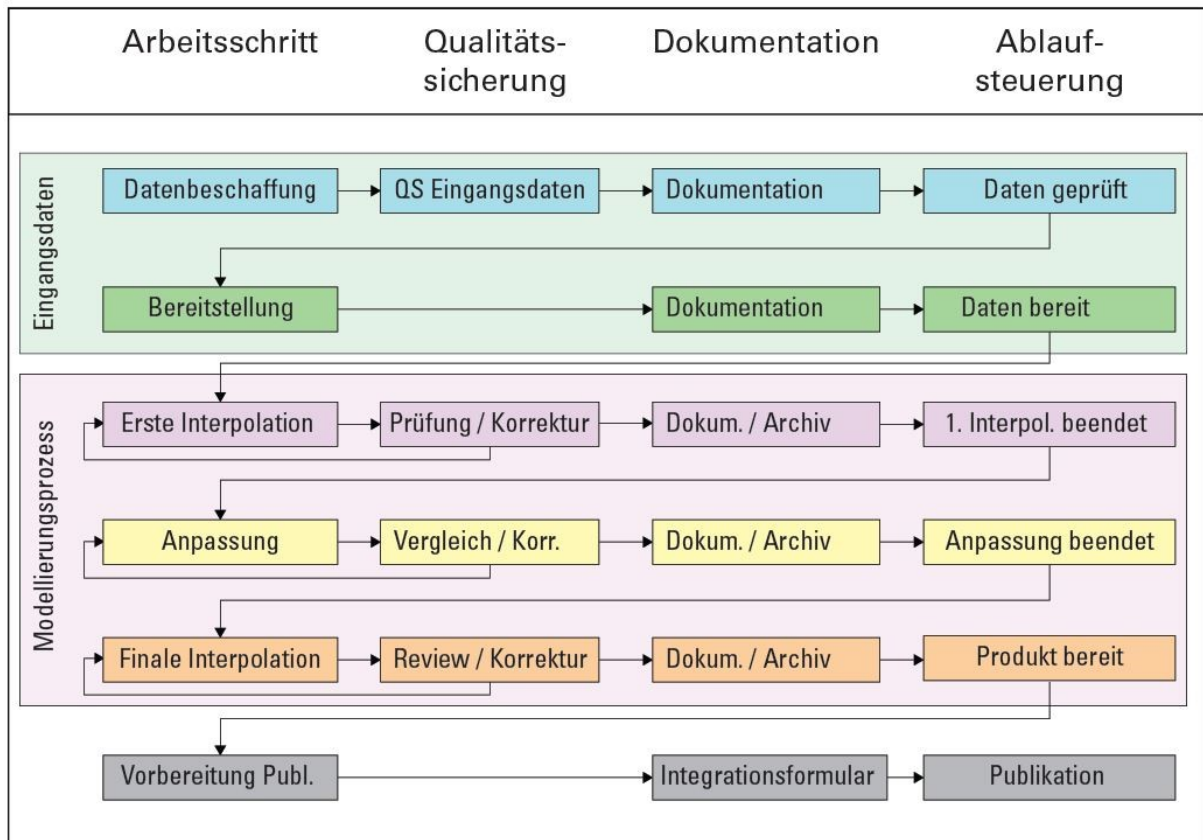


Fig. 2: Arbeitsablauf der Modellerstellung

1 Eingangsdaten / Données d'entrée / Input data

1.1 Bohrdaten / Données de forage / Well data

Die Daten von zirka 50'000 Bohrungen wurden für die Modellierung verwendet. Die verwendeten Bohrdaten stammen aus unterschiedlichen Quellen und weisen deshalb auch unterschiedliche Qualitäten auf.

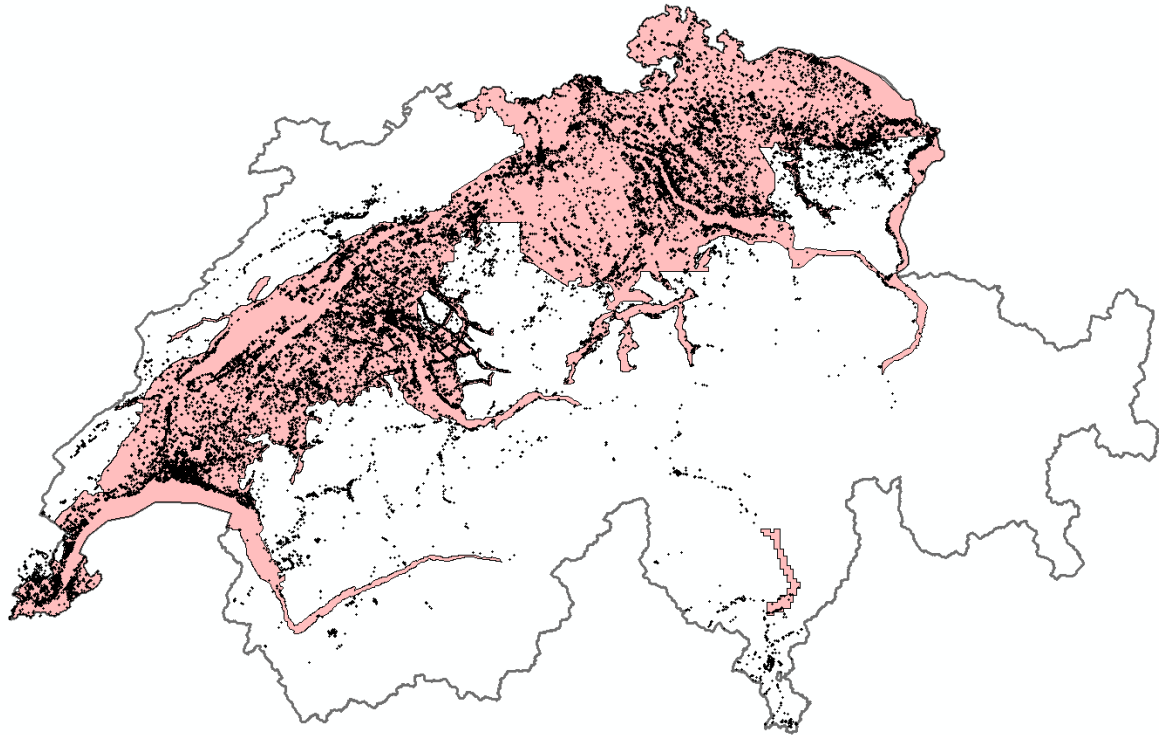


Fig. 3: Für die Modellierung verwendete Bohrungen

Folgende Bohrungen wurden verwendet:

- Bohrungen des Geologischen Atlas 1:25'000 (GA25): 13'500 Bohrungen mit Tiefe der erreichten Felsoberfläche und Lithologie. Zusätzlich 600 Bohrungen aus den Erläuterungen zu den jeweiligen Blättern des Geologischen Atlas der Schweiz.
- Tiefbohrungen aus dem Archiv der Geologischen Informationsstelle von swisstopo: 1'500 Bohrungen mit Tiefe der erreichten Felsoberfläche.
- Aufzeit-Bohrdaten der Schweizerischen Erdöl Aktiengesellschaft (SEAG) : 700 Bohrungen mit Tiefe der erreichten Felsoberfläche, 220 Bohrungen, bei denen der Fels nicht erreicht wurde oder dessen Erreichen nicht eindeutig war.
- Kantonale Bohrdaten (vor allem Erdwärmesonden und Bohrungen aus geotechnischen Untersuchungen): Die meisten Bohrungen wurden von den Kantonen zur Verfügung gestellt.
- Bohrungen der Schweizerischen Bundesbahn (SBB), der armasuisse und des Bundesamts für Strassen (ASTRA).

1.2 3D-Modelle / Modèles 3D / 3D models

Das hier vorhandene Felsoberflächenmodell stellt grundsätzlich eine Kompilation aus verschiedenen bereits bestehenden Felsoberflächenmodellen dar.

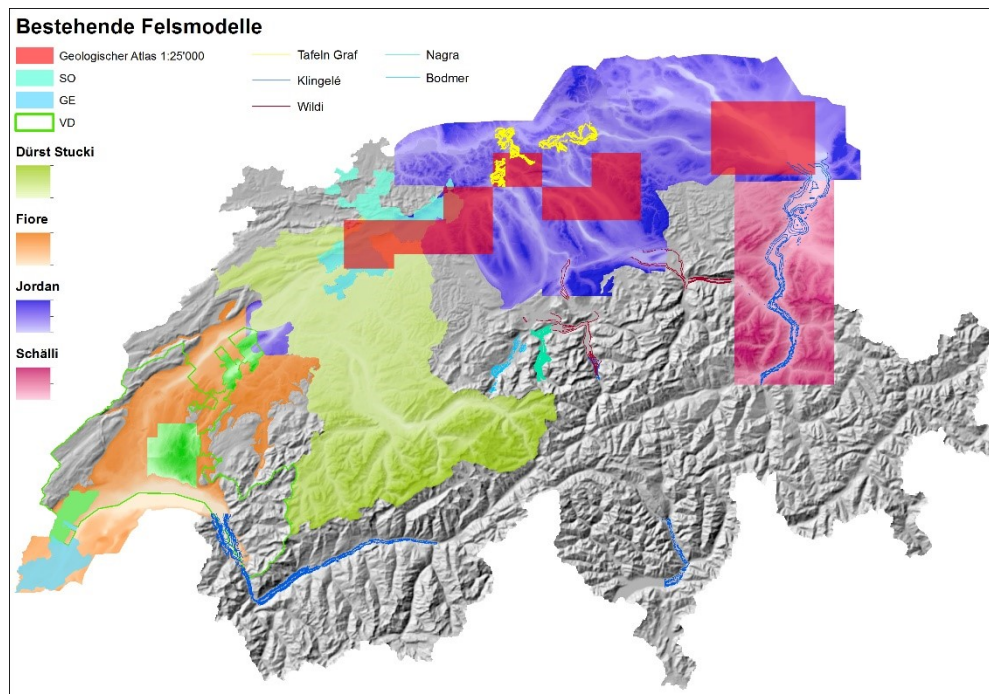


Fig. 4: Benutzte Felsoberflächenmodelle: (Jordan, 2010), (Pietsch & Jordan, 2014), (Dürst-Stucki & Schlunegger, 2013), (Fiore, 2007), (Schälli, 2012); kantonale Modelle (Kantone: Genf, Waadt, Solothurn), Felsisohypsenskarten des geologischen Atlas 1:25'000 (Blätter: Aarau, Baden, Balsthal, Murgenthal, Romanshorn, Schöffland, Uster, Winterthur, Zürich); Publikation von (Graf, 2009); Felsisohypsenskarten der grossen Alpentäler basierend auf Gravimetrie (Klingelé, 2012).

1.2.1 Modell Nagra/Jordan und darin verwendete Daten

Das Modell Nagra/Jordan ((Jordan, 2007), (Jordan, 2010), (Pietsch & Jordan, 2014)) deckt das gesamte Gebiet der Nordostschweiz ab. Dieses Modell wurde in ArcGIS, basierend auf bestehenden Karten, Bohrdaten (Bohrdatenbank der Nagra), Berichten und seismischen Untersuchungen von Hand digitalisiert und zu einem Raster mit einer Zellengrösse von 25x25 m interpoliert. Folgende Daten sind in das Modell eingeflossen:

- Emmental: Werner + Partner AG & Petraqua (1975, 1976), Werner + Partner AG & Wanner (1981),
- Reppischtal – Urdorf: Wyssling (1983)
- Schaffhausen: Schindler (1982)
- Unteres Aaretal: Haldimann et al. (1984)
- Gäu: Pasquier (1986)
- Nordostschweiz: Wildi (1984)
- Westschweiz: Pugin (1988)
- Aargauer Täler: Geologisches Institut Universität Bern (1996)
- Hausen–Windisch: Wyssling AG (1996)
- Thurgau: Keller & Krayss (1999)
- Hochrhein: Wagner et al. (2001)
- Zug: Amt für Umwelt Zug (2007)
- Geologischer Atlas, Blatt 102 Zurzach (Matousek et al. 2000)
- Geologischer Atlas, Blatt 128 Uster (Wyssling 2007)
- Weinland: Frank (2005)
- Revision Nordostschweiz: Naef (2004)
- Südlicher Bodensee Zaugg & Vogel (2005)
- Östlicher Jurasüdfuss: Jordan (2004).



Das Modell entstand 2007 als erste Version und wurde 2013 überarbeitet und an die neusten Daten und Untersuchungen angepasst.

1.2.2 Modell Dürst Stucki

Das Modell Dürst Stucki (Dürst-Stucki & Schlunegger, 2013) deckt das Gebiet des Kantons Bern ab. Die Felsoberfläche wurde anhand von circa 40'000 Bohrungen in ArcGIS erstellt und zu einem Raster mit einer Zellengrösse von 25x25m gerechnet. Für TopFels25 wurden lediglich Gebiete mit genügender Bohrdatenabdeckung (Täler) verwendet

1.2.3 Modell Fiore

Das Modell Fiore (Fiore, 2007) deckt die Westschweiz ab und beruht auf Isohypsenkarten, seismischen Untersuchungen und Geoelektrik (Dupuy 2005; Hole et al. 1993 in Chazal & Grange 2002; Meyer 2000, Pugin 1988). Die Zellengrösse des Rasters beträgt 50x50m, sie wurde für das Felsoberflächenmodell auf 25x25m interpoliert.

1.2.4 Modell Schälli

Das Modell von Livia Schälli (Schälli 2012) deckt die Gebiete Seeztal und unteres Rheintal ab und beruht auf bestehende Karten zum Verlauf der Felsoberfläche (Wildi 1984; Benz 2003; Müller 1995; Grünenfelder 1989; Oberhauser 1998; Klingelé 2009; Pfiffner et al. 1997; Bernasconi 2011). Die Modellierung der Felsoberfläche erfolgte nach dem gleichen Vorgehen wie bei den Modellen Jordan und Dürst Stucki. Die Zellengrösse des Rasters der Felsoberfläche beträgt ebenfalls 25x25m. Für TopFels25 wurde lediglich die Daten in den Tälern benutzt.

1.2.5 Publikation Graf

Im Rahmen der Publikation «Stratigraphie von Mittel- und Spätpleistozän in der Nordschweiz» von Graf (2009) entstanden 5 regionale Felsisohypsenkarten mit einer Äquidistanz von 10 Metern (Thurtal–Rafzerfeld, Rafzerfeld–Rheintal, Birrfeld–Habsburg–Rinikerfeld, Ruckfeld–Surbtal, Aaremündung).

1.2.6 Modell Nagra-Wellenberg

Das Modell der Nagra-Wellenberg (Liniger et al., 2014) deckt das Gebiet um Buochs, Wolfenschiesen und Engelberg in Nidwalden ab. Es beruht auf Bohrungen, dem LEAG-Profil aus dem Jahr 1978, Felsisohypsen aus geologischen Untersuchungen zum Neubau der Steilrampe der Luzern-Stans-Engelberg-Bahn (Dr. T.R. Schneider AG) und Daten der Kohlenwasserstoffindustrie (Bodmer et al., 1996).

1.2.7 Modell Bodmer

Das Modell Bodmer (Bodmer et al. 1996) basiert auf gravimetrischen und seismischen Messungen in der Zentralschweiz im Rahmen der Suche nach tiefen Gasvorkommen und weiteren Studien und Bohrungen in den Haupttälern von Obwalden, Nidwalden und Uri.

1.2.8 Modell Klingelé

Das Modell der Mächtigkeit der Quartären Lockergesteine von Klingelé (2012) basiert auf gravimetrischen Untersuchungen und deckt die grossen Alpentäler und den Jura ab. Der Dichtekontrast zwischen Lockergestein und dem älteren und tieferen Festgestein ermöglicht es, die Mächtigkeit der quartären Sedimente und somit die Lage der Felsoberfläche zu bestimmen.

1.2.9 Kantonale Modelle

In den Kantonen Genf, Waadt und Solothurn bestehen Modelle zur Felsoberfläche. Im Kanton Genf wird der ganze Kanton durch eine Felsisohypsenkarte dargestellt. Im Kanton Waadt bestehen 7 regionale Modelle der Felsoberfläche, welche grosse Gebiete des Kantons Waadt bedecken. Für den Kanton Solothurn besteht eine Felsisohypsenkarte, welche den Teil des Kantons im Molassebecken abdeckt.



1.2.10 DHM25 / TOPO25

Das digitale Höhenmodell DHM25 ist ein Datensatz, welcher die dreidimensionale Form der Erdoberfläche ohne Bewuchs und Bebauung beschreibt. Er wurde im Wesentlichen aus der Höheninformation der Landeskarte 1:25 000 (LK25) abgeleitet. Das DHM25 ist aus der Landeskarte 1:25'000 abgeleitet und basiert im Wesentlichen auf deren Genauigkeit. Vergleiche von «Modellhöhen» mit photogrammetrisch bestimmten Kontrollpunkten zeigen, dass im Mittelland und Jura die mittlere Abweichung 1.5 m beträgt, in den Voralpen und im Tessin 2 m und in den Alpen 3–8 m. Stand der Daten ist 2005.

Im Release 2021 wurde das DHM25 durch «TOPO25», ein auf 25x25m Zellengrösseumgerechnetes swissAlti3D ersetzt (vgl. TopFels25_Release_Notes_2021).

1.3 Karten / Cartes / Maps

Die in der Modellierung verwendeten Kartendaten sind:

- Geologische Karten (Geologischer Atlas der Schweiz 1:25'000 (GA25)
- GeoCover – Geologische Vektordaten)
- Geologische Karte 1:500'000 der Schweiz (GK500)
- Topographische Landeskarten (1:25'000).

1.4 Profile / Coupes / Cross sections

Profile des Geologischen Atlas (Geologischer Atlas der Schweiz 1:25'000 (GA25) wurden zur Qualitätssicherung verwendet.

1.5 Seismische Sektionen / Sections sismiques / Seismic sections

Es wurden keine seismischen Linien verwendet, jedoch wurden Modelle verwendet, die auf Seismischen Profilen beruhen ((Matter, et al., 1973))

1.6 Sonstige Daten / Autres données / Other data

Neben den bisher aufgezählten schon bestehenden Felsoberflächenmodellen, gibt es weitere Publikationen mit Informationen über den Verlauf der Felsoberfläche. So bieten kantonale Untersuchungen zu Grundwasser oder Baugrundklassen Hinweise auf den Verlauf der Felsoberfläche anhand von Profilen. Diese Daten wurden bei der Anpassung an die Eingangsdaten zur Verifizierung des Modells verwendet.

1.7 Datenbereitstellung / Traitement de données / Data processing

Der erste Schritt des Arbeitsablauf beinhaltete die Beschaffung der Bohrdaten, deren Prüfung und die Bereitstellung für die Modellierung. Für das Felsoberflächenmodell genügten die Koordinaten der Bohrung und die Tiefe des erreichten Fels. Je nach Quelle der Bohrdaten gestaltete sich dieser Prozess unterschiedlich. Die Bohrdaten waren unterschiedlich umfangreich vorhanden und in verschiedener Qualität abgelegt. Die notwendigen Informationen waren teils elektronisch als Tabelle oder Datenbank vorhanden oder mussten manuell aus den jeweiligen Bohrprofilen oder -protokollen (analog oder digital vorliegend) herausgesucht und erfasst werden.

Der zweite Schritt beinhaltete die Beschaffung und Bereitstellung der weiteren Grundlagedaten. Wie erwähnt, wurden die Kartendaten als korrekt angenommen und bei der Felsmodellierung direkt so verwendet, wie sie vorhanden sind.

1.8 Qualitätssicherung / Test de qualité / Quality check

Die Bewertung der Qualität der Modelle und ihrer Produkte ist unerlässlich. Diese Qualitätsbewertung bietet die Möglichkeit das bestehende Verbesserungspotenzial bei den Daten zu erkennen und

dadurch ihre Qualität zu erhöhen. Wo Verbesserungen nicht möglich sind, besteht zumindest die Möglichkeit die Unsicherheit der Modelle zu eruieren und zu visualisieren. Die Qualität der Modelle hängt nicht nur vom Modellierungsprozess selbst ab. Die Qualität der Eingangsdaten ist zumindest ebenso wichtig. Deshalb ist der gesamte Prozess von der Datenerfassung bis zur 3D-Modellierung zu berücksichtigen.

1.8.1 Bohrdaten

Folgende drei Merkmale wurden zur Beurteilung der Bohrdaten kontrolliert:

- Genauigkeit der Koordinaten: Die horizontale (x-, y-Koordinaten) und vertikale (z-Wert) Lagegenauigkeit sowie die Plausibilität angegebenen Felskote wurde durch einen Vergleich mit dem Höhenmodell DHM25 kontrolliert. Bohrungen, deren z-Wert an Bohrstelle (x, z) nicht nachvollziehbar waren, wurden, wenn möglich, korrigiert oder ausgesondert. Dies galt auch für Bohrungen, deren Felskote höher als das Gelände lag.
- Bohrart: Bei der Bohrart stellen Bohrungen mit Kernentnahme der höchsten Qualität dar, Cutting-Proben entsprechen der geringeren Qualität. Das Beprobungsintervall wurde auch berücksichtigt.
- Aufnahmeart: Die geologischen Aufnahmen (Bohrprofil / Bohrprotokoll) legen das Augenmerk meist nicht auf die gleichen Merkmale. Ein Bohrprofil ist generell viel präziser beschrieben. Falls Logs gefahren wurden, stellt dies eine präzise Aufnahme dar.

1.8.2 Kartendaten

Die Qualität der Karten wurde nicht beurteilt, die Daten als korrekt angenommen und so verwendet. Einige der Kartenwerke des Geologischen Atlas der Schweiz 1:25'000 sind jedoch nicht mehr aktuell und zeigen oft Diskrepanzen gegenüber dem Gelände. Mit der Harmonisierung «GeoCover 3» werden aktuelle und an die Topographie angepasste Daten erstellt, die für eine zukünftige Qualitätssicherung wichtig sind.

1.9 Datenabdeckung / Couverture des données / Data coverage

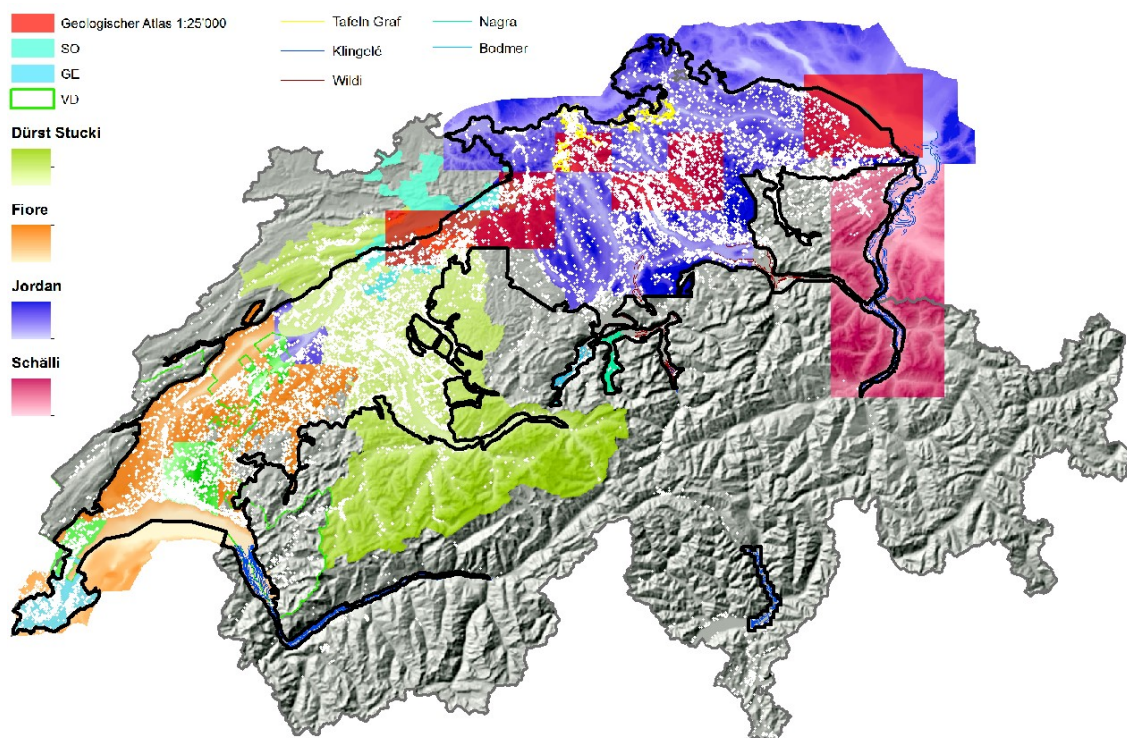


Fig. 5: Datenabdeckung (vgl. TopFels25_Release_Notes_25): Der gewählte Perimeter (schwarze Linie) entspricht der grösstmöglichen Datenabdeckung durch Modelle (farbige Flächen) und Bohrungen (weisse Punkte).



2 Modellierungsprozess / Processus de modélisation / Modelling process

2.1 Konzept / Concept / Concept

Die Grundidee des Modellierungsprozesses bestand darin, anhand von Bohrdaten, bestehenden 3D-Modellen und geologischen Karten ein erstes Modell der Felsoberfläche mit grösstmöglicher Abdeckung des Gebiets der Schweiz zu interpolieren. Dieser Prototyp wurde auf Extremwerte (Senken und Spitzen) untersucht und an jenen Extremstellen händisch angepasst. Im nächsten Arbeitsschritt wurde das Modell mit den Eingangsdaten (Bohrungen) verglichen und Abweichungen korrigiert.

Das Felsoberflächenmodell wurde rechnerisch vom Geländemodell DHM25 subtrahiert, um das Mächtigkeitsmodell des Lockergesteins zu erstellen.

2.2 Methodik / Méthodologie / Methodology

2.2.1 Erste Interpolation

Alle Eingangsdaten wurden zu einer ersten Felsoberfläche interpoliert. Dieses Vorgehen war notwendig, damit möglichst schnell ein Flächen-Datensatz über den möglichen Verlauf der Felsoberfläche entstand. Die Interpolation der Daten zur Felsoberfläche wurde mit dem ArcGIS Werkzeug «Topo to Raster» (Toolbox → Spatial Analyst → Interpolation → Topo to Raster) durchgeführt. Mit dem Werkzeug «Topo to Raster» gibt es die Möglichkeit, verschiedene Shapefiles (Punkte oder Linien) gleichzeitig zu interpolieren. Bei der Interpolation wurden folgende Eingangsdaten für die erste Oberflächenberechnung verwendet:

- Bohrdaten (x-, y-, z-Werte)
- topographische Höhenlinien der Gebiete mit aufgeschlossenem Fels oder Fels unter geringmächtiger Lockergesteinsbedeckung
- Felsisohypsen der bereits bestehenden Felsoberflächenmodelle

2.2.2 Anpassung an Eingangsdaten

Aus der berechneten Felsoberfläche wurden (Toolbox → Spatial Analyst → Surface → Contour) die Felskonturlinien berechnet (Äquidistanz = 10m). Stufenartige Konturlinien wurden mit dem Tool «Smooth Line» (Toolbox → Cartography Tools → Generalization → Smooth Line) geglättet.

Die berechneten Isohypsen wurden mit den Bohrdaten verglichen. Dazu wurden die Bohrdaten in Rasterpunkte umgewandelt (Toolbox → Conversion Tools → To Raster → Point to Raster) um sie von der interpolierten Felsoberfläche zu subtrahieren. Die Differenz diente als Entscheidungskriterium für die händische Anpassung und Korrektur der Felsisohypsen. Bei Abweichungen von mehr als 10 m zwischen der interpolierten Felsoberfläche und den Bohrdaten wurden Felsisohypsen so angepasst, dass die daraus resultierende Felsoberfläche mit den Bohrungen übereinstimmte (Toleranz = ± 10 m).

2.2.3 Finale Interpolation

Der letzte Schritt beinhaltete die endgültige Interpolation der angepassten Isohypsen zusammen mit den validierten Bohrdaten mit dem Werkzeug «Topo to Raster». Die berechnete Felsoberfläche wurde erneut mit den in Rasterpunkte umgewandelten Bohrdaten verglichen. Die Toleranz der Abweichung wurde auf ± 25 Metern festgelegt. Der Grund dafür ist, dass die Isohypsen nun eigentlich stimmen sollten und die Abweichungen nur aufgrund der Rasterzellengrösse von 25 Metern zustande kommen (zu viele Informationen pro Zelle, woraus bei der Interpolation ein Durchschnitt berechnet wird).

Die obigen Schritte wurden aus programmtechnischen Gründen pro Kanton ausgeführt (schnelleres Arbeiten in ArcGIS und kantonsweise Lieferung der Daten). Anschliessend wurden die Felsisohypsen aller Kantone zu einem Raster interpoliert (Toolbox → Spatial Analyst → Interpolation → Topo to Raster).



2.3 Parameter / Paramètres / Parameters

2.3.1 Interpolationsparameter

Die Daten wurden mit Hilfe des Werkzeugs «Topo to Raster» alle gleichzeitig interpoliert, indem der Datentyp als «PointElevation» (Bohrungen) oder «Contour» (Höhenlinien des aufgeschlossenen Fels und Felsisohypsen) festgelegt wurde. Die zu berechnende Rastergrösse war 25 Meter. «Topo to Raster» ist ein ANUDEM Interpolationsverfahren, bei welchem hydrologisch korrekte Oberflächen generiert werden können. Diese Funktion wurde bei der Berechnung der Felsoberfläche jedoch ausgeschaltet, da die Felsoberfläche keine hydrologisch korrekte Oberfläche darstellt.

Im Geologischen Atlas der Schweiz 1:25'000 und in GeoCover-Datensätzen werden Felsaufschlüsse, «Fels unter geringer Bedeckung» und Lockergestein ausgeschieden. In den Alpentälern wurde einfachheitshalber die geologische Karte der Schweiz 1:500'000 verwendet. Für Gebiete mit Felsaufschluss und solche mit geringmächtiger Lockergesteinsbedeckung wurde die Felsoberfläche der Geländeoberfläche gleichgesetzt, indem die Felsisohypsen durch die topographischen Höhenlinien aus der Landeskarte ersetzt wurden. In Gebieten mit mächtigerer Lockergesteinsbedeckung, wurden primär die Felskoten der Bohrungen übernommen, die den Fels erreicht hatten.

2.3.2 Parameter zur Morphologie

Es wurde beschlossen, für die Modellierung folgende morphologische Grundsätze anzuwenden: Fluvial entstandene Täler (V-Formen) wurden steil eingeschnitten gezeichnet, während die grossen Gletschertäler (U-Formen) durch runde Formen dargestellt wurden.

Auf das Einfügen von Talachsen wurde bewusst verzichtet. Einerseits ist dies bei glazialen Tälern aufgrund ihrer unregelmässigen Form nicht sinnvoll und andererseits kann die genaue Lage ohne vorhandene Daten nicht genau bestimmt werden.

Die Felsisohypsen bei Mündungen hängender Täler wurden angedeutet, jedoch weder abgeschnitten noch wurden die Täler komplett verbunden.

Grundsätzlich wurde so wenig wie möglich interpretiert und der Verlauf der Felsoberfläche vor allem auf vorhanden Daten abgestützt. Die Maximaltiefe von Tälern wurde nur anhand von Bohrungen und vorhandenen Modellen bestimmt und nicht anhand der Neigung der Felsflanke interpretiert.

2.4 Validierung / Validation / Validation

Die Bewertung der Qualität der Modelle und ihrer Produkte ist unerlässlich. Diese Qualitätsbewertung bietet die Möglichkeit das bestehende Verbesserungspotenzial bei den Daten zu erkennen und dadurch ihre Qualität zu erhöhen. Wo Verbesserungen nicht möglich sind, besteht zumindest die Möglichkeit die Unsicherheit der Modelle zu eruieren und zu visualisieren. Die Qualität der Modelle hängt nicht nur vom Modellierungsprozess selbst ab. Die Qualität der Eingangsdaten ist zumindest ebenso wichtig. Deshalb ist der gesamte Prozess von der Datenerfassung bis zur 3D-Modellierung zu berücksichtigen.

2.4.1 Validierung: Erste Interpolation

Nach der ersten Interpolation wurden auffällige Bohrdaten (ersichtlich als extreme Senken oder Gipfel in der Interpolationsoberfläche) wenn nötig korrigiert und der Interpolationsvorgang wurde mit den korrigierten Werten erneut durchgeführt.

Als zweite Validierung wurde das Modell durch eine Conditional-Funktion (Toolbox → Spatial Analyst → Map Algebra → Raster Calculator) mit der topographischen Oberfläche (DHM25, 2005) verglichen. Felsoberflächen, welche über der heutigen Topographie zu liegen kamen, konnten durch diese Funktion korrigiert werden.



2.4.2 Validierung: Anpassung an Eingangsdaten

Die Validierung der Anpassungen an die Eingangsdaten bestand darin, abzuwägen, ob die Abweichung zwischen der Interpolationsoberfläche und einer Bohrung aufgrund eines Fehlers in den Eingangsdaten bestand, oder ob sich der Verlauf der Felsoberfläche so abrupt ändert. Meistens wurde anhand umliegender Bohrungen und Aufschlüssen entschieden. War die Richtigkeit der Eingangsdaten (Bohrung) bestätigt, wurden die Felsisohypsen angepasst. Andernfalls wurde die Bohrung aus den benutzten Daten entfernt und in einem separaten Dokument abgelegt. Dieses kann bei der Qualitätsbestimmung hinzugenommen werden.

Als weiteres Hilfsmittel zur Qualitätssicherung wurden Profile des Geologischen Atlas (Geologischer Atlas der Schweiz 1:25'000 (GA25) verwendet.

2.4.3 Validierung: Finale Interpolation

Für die Kontrolle des Felsoberflächenmodells wurden zusätzlich zu den Eingangsdaten auch Bohrungen benutzt, die den Fels nicht erreicht haben und beim Interpolationsverfahren nicht miteinbezogen wurden. Das Felsmodell musste immer unterhalb der Endtiefe dieser Bohrungen zu liegen kommen.

Für die Darstellung der zu erwartenden Qualität wurden Gebiete mit manueller Anpassung unterschieden.

Zusätzlich wird eine Karte mit der Dichte der Eingabedaten generiert, welche Aufschluss über die Qualität gibt.

3 Unsicherheiten / Incertitudes / Uncertainties

Die Erstellung des Höhenmodells der Felsoberfläche basiert primär auf bestehenden Bohrdaten. Es weist aufgrund unterschiedlicher Datendichten unterschiedliche Qualitäten auf. Eine absolute Bestimmung der Qualität ist nicht möglich. Sie ist abhängig von der Qualität und Dichte der Grundlagedaten, dem Interpolationsverfahren und den geologischen Interpretationen durch die Autoren.

Die Bemerkungen zu den Unsicherheiten des Felsoberflächenmodells gelten sinngemäss auch für das Mächtigkeitsmodell des Lockergesteins, da beide Modelle über das Geländemodell (DHM25) durch eine Rechenoperation verknüpft sind.

Das Felsoberflächenmodell prognostiziert die Felsoberfläche dort am zuverlässigsten, wo die Aufschlussdichte mit erbohrten Felskoten am grössten ist. Aber selbst dort ist die Prognose wegen der zugrunde liegenden 25x25m grossen Rasterzellen, die mit einer rechnerischen Interpolation aus den Felsisohypsen mit 10 m Abstand gewonnen wurden, mit einer Unsicherheit behaftet.

Obwohl für die Modellierung der Felsoberfläche viele Daten (v.a. Bohrungen) vorhanden waren, bestehen aufgrund unterschiedlicher Bohrdichte und der zum Teil fehlerhaften geologischen Aufnahme oder Digitalisierung Ungewissheiten beim Verlauf der Felsoberfläche. Vor allem EWS-Bohrungen (grösster Anteil der Bohrdaten) weisen des Öfteren Fehler auf. Zusätzlich sind gerade bei den grossen Übertiefungen – und somit grosser Unbekanntheit über den Verlauf der Felsoberfläche - oft nur wenige Bohrungen vorhanden, die den Fels erreichen. Die Qualität des Modells ist somit stark abhängig von der Qualität und Dichte der Eingangsdaten, der Vorgehensweise bei der Modellierung und der händischen Arbeit. Eine genaue Qualifizierung der Resultate ist nicht möglich. Anhand der Bohrdichte und der Qualität der bereits bestehenden und integrierten Felsoberflächenkarten können jedoch Gebiete mit besserer und schlechterer Qualität ausgewiesen werden. Auf eine solche Beurteilung wird hier aber verzichtet. Zur Veranschaulichung der komplexen Qualitätsbestimmung sind mögliche Fehlerquellen untenstehend nochmals erläutert:

- Mängel bei den Eingangsdaten: Extrem falsche Werte in den Bohrdaten werden meistens bei der Interpolation erkannt und können danach analysiert und die Datengrundlage ggf. angepasst werden. Kleinere Fehler sind praktisch nicht zu erkennen. Gründe für Fehler oder Ungenauigkeiten gibt es viele: Mängel bei der Bohrprofilaufnahme, Fehler beim Herauslesen der Koordinaten oder Felskote aus dem Profil, Fehler bei der Übertragung in eine Datenbank



und Ungenauigkeiten durch die Generalisierung bei der Kartengestaltung des geologischen Atlas. Indem die Daten mit umliegenden Bohrinformationen verglichen werden, können diese kleineren Fehler in einigen Fällen behoben werden. Oft aber bleiben die Mängel unerkannt, bewegen sich aber in einer kleinen Abweichung und müssen demnach in Kauf genommen werden. Zusätzlich zu den Bohrungen können auch die bestehenden Felsisohypsenkarten, welche als Eingangsdaten verwendet wurden, Ungenauigkeiten aufweisen. Diese Modelle basieren wiederum auf Eingangsdaten und auf der Interpretation der Autoren und können somit unterschiedliche Qualitäten aufweisen.

- Programmbedingte Restriktionen: Bei der Interpolation mit «Topo to Raster» kann kein Einfluss auf die Interpolationsschritte vorgenommen werden. So werden Linien während des Prozesses zum Beispiel stärker gewichtet als Punkte.
- Die Zellengrösse des Rasters von 25x25m ist nicht überall eine akzeptable Grösse. Es bestehen viele Gebiete, wo pro Zelle keine Eingangsdaten vorhanden sind und andere, bei welchen für eine Zelle mehrere Eingangsdaten vorliegen. Die Rastergrösse müsste demnach entsprechend der Eingangsdatendichte variieren, was für die Weiterverarbeitung aber nicht sinnvoll ist. Hierbei handelt es sich also nicht um Fehler des Modells, sondern um ein Auflösungsproblem.
- Interpretationen: Die Konstruktion durch den Autor ist massgeblich für die Qualität der Resultate. Der Qualitätsunterschied zwischen automatischer Interpolation und Anpassung von Hand kann nicht direkt verglichen werden. Die Interpolation wird automatisch generiert und kann danach mit den Grundlagedaten verglichen werden. Ob diese entstandenen Strukturen aber geologisch Sinn machen, kann nicht beeinflusst werden. Aus diesem Grund wurde das Modell durch Anpassung von Hand verfeinert. Hier spielt für die Qualität das geologische Vorwissen eine grosse Rolle. Das Resultat dieser Anpassung kann nur durch Expertenwissen qualifiziert und beurteilt werden.

3.1 Schwierigkeiten / Difficultés / Difficulties

Die wichtigsten Schwierigkeiten für eine genaue Prognose sind:

- Das Zeichnen von Felsisohypsen auf Grund einiger Punktinformationen lässt viel Gestaltungsfreiheit offen (– wohingegen in der Natur nur eine Lösung richtig ist).
- Tiefgründig verwitterte Felsoberflächen erschweren die Grenzziehung Lockergestein/Fels.
- Bei destruktiven Bohrungen, wie sie bei Erdwärmesonden-Bohrungen Standard sind, kann das lithologische Profil nur aus Gesteinstrümmern in der Bohrspülung und aus Angaben der Bohrequipe ermittelt werden. Grenzziehungen sind unter solchen Umständen schwierig.
- Ungenaue Standortkoordinaten oder Terrainkoten sind bei Bohrungen vor 1970 verbreitet.
- Eng gescharte Felsisohypsen in steilem Relief können die Interpolationswerte für die Rasterzellen ungünstig beeinflussen.
- Falsche oder fehlende Datenbankeinträge verzerren das Felsrelief. Das allerdings ergibt eine willkommene positive Rückkopplung: Die Visualisierung der Datenbankeinträge macht die Felsreliefkarte zu einem Instrument der Qualitätssicherung.
- Bei Massenumbewegungen wie Rutschungen, Sackungen und Bergstürzen ist die Grenzziehung Lockergestein/Fels besonders unsicher. Es wurden in diesen Fällen auf die Abgrenzung der Sackungen vom festen Fels verzichtet und oberflächennahe Felskoten angenommen.



4 Anwendungsrichtlinien / Directives d'application / Application guidelines

Modelle sollen als Prognosen betrachtet werden und dürfen nicht als absolute Wahrheit angenommen werden. Auch weisen sie innerhalb ihrer Modellperimeter unterschiedliche Qualitäten und Unsicherheiten auf. In Gebieten mit hoher Informationsdichte sind die Modelle verlässlicher als in Gebieten mit tieferer Informationsdichte. Eine absolute Bestimmung der Qualität ist nicht möglich. Die Qualität ist abhängig von folgenden Faktoren:

- 1) Eingangsdaten (Art, Qualität, Dichte)
- 2) Modellierungsprozess und programmbedingte Kriterien
- 3) geologische Komplexität
- 4) geologisches Wissen (und dessen Interpretation) der Modellierer
- 5) Unsicherheiten

Das beste Resultat kann erreicht werden, wenn dieses Modell mit assoziierten Eingangsdaten verwendet wird. Jede Verwendung dieses Datensatzes bedarf einer Plausibilitätsprüfung.

Die Auflösung (z.B. Zellengrösse) ist eine Einteilung des Bereichs. Sie darf nicht mit der Genauigkeit verwechselt werden und widerspiegelt nicht die Datendichte. Die Auflösung steht in Zusammenhang mit dem Verwendungsmassstab (Zielmassstab).

Anwender sind deshalb aufgefordert, obengenannte Information zu Qualitätssicherung, Unsicherheiten und Prognosegenauigkeit zu beachten.

5 Rechtliches / Mentions légales / Legal matters

Quellen- / Grundlagenvermerk	Modellname © Bundesamt für Landestopografie swisstopo
Nutzungsbedingungen	Daten dürfen frei genutzt werden DE: https://www.swisstopo.admin.ch/ogd-konditionen FR: https://www.swisstopo.admin.ch/conditions-ogd IT: https://www.swisstopo.admin.ch/condizioni-ogd EN: https://www.swisstopo.admin.ch/ogd-conditions
Zugangsberechtigungen (SR 510.620 GeoIV)	Zugang Stufe A: öffentlich zugängliche Daten
Reproduktion	Der Datensatz darf frei genutzt und mit gut sichtbarem Quellen- / Grundlagenvermerk reproduziert werden.
Datenschutz	Der Datensatz enthält keine Personendaten, die dem Datenschutz unterliegen.
Fachtechnische Auskunft	Infogeol@swisstopo.ch

6 Haftungsausschluss / Avis juridique / Disclaimer

Der Nutzer anerkennt, dass die Autoren alle zumutbaren Aufwände unternommen haben, um die Informationen im geologischen 3D-Modell zu verifizieren. Es gibt keine Garantie, dass die angegebenen Daten an einem bestimmten Punkt im Untergrund korrekt sind. Der Herausgeber ist unter keinen Umständen für jegliche Verluste oder Schäden materieller oder immaterieller Art haftbar, welche aus dem Zugriff, der Nutzung oder Nichtnutzung der veröffentlichten Informationen oder durch Missbrauch oder technische Störungen entstehen.

Die zur Verfügung stehenden geologischen 3D-Modelle stellen Vereinfachungen der realen Geologie dar. Ein Modell basiert auf der Interpretation verschiedener Daten (Seismik, Bohrungen, Schnitte, Karten etc.) unterschiedlichen Alters, unterschiedlicher Qualität und unterschiedlichem Detaillierungsgrad. Weiterhin basieren 3D-Modelle auf einer grossen Anzahl von Datensätzen, die ursprünglich nicht auf einander abgestimmt waren und daher weitere Vereinfachung benötigen. Es sei auch darauf hinge-



wiesen, dass das Wissen der verschiedenen Autoren sowie der lokale geologische Kontext die Entwicklung des Modells beeinflusst haben. Und schließlich unterliegt die Qualität der Beobachtungen und Interpretationen Veränderungen, da neue Daten erfasst und die Interpretationsmethoden sowie die Modellierungssoftware verbessert werden.

7 Datenstruktur / Structure des données / Data structure

7.1 Datenmodell / Modèle de données / Data model

Wenn vorhanden Datenmodell: LINK to File (existierendes Datenmodell)

7.2 Attribute und Formate / Attributs et formats / Attributes and formats

Das Felsoberflächenmodell stellt die Felsoberfläche als Rasterdatensatz oder als xyz-Datei (textbasiertes Format) in regelmässigen Gittern mit der Zellengrösse von 25x25m dar. Jede Zelle des Rasters oder jeder Punkt der xyz-Datei enthält einen Höhenwert. Das verwendete Gitter orientiert sich am Schweizerischen Koordinatensystem CH1903+.

Literaturverzeichnis / Bibliographie / Bibliography

Baumberger, R., 2011. *3D-Geologie in der Landesgeologie; Qualitätssicherungskonzept*, s.l.: Bundesamt für Landestopografie swisstopo.

Bodmer, P., Gunzenhauser, B., Iseli, B.-F. & Manser, M., 1996. Quartärmächtigkeiten in den Haupttälern der Zentralschweiz. *Bull. angew. Geol.* 1, 37–54.

Dürst Stucki, M., 2013. *GeoMol – Geopotentiale des Schweizer Molassebeckens Richtlinien zur Qualitätskontrolle bei der Erstellung des Felsoberflächenmodells.*, Wabern: Bundesamt für Landestopografie swisstopo.

Dürst Stucki, M., 2015. *GeoMol – Geopotentiale des Schweizer Molassebeckens: Schlussbericht Modellierung Felsoberfläche.*, s.l.: Bundesamt für Landestopografie swisstopo.

Dürst, M., 2009. *Modellierung der Felsoberfläche in der Region Bern (Kartenblatt 1166, Bern 1:25'000)*, s.l.: Master, Univ. Bern.

Dürst-Stucki, M. & Schlunegger, F., 2013. *Identification of erosional mechanisms during past glaciations based on a bedrock surface model of the central European Alps.* s.l.:EPSL.

Fiore, J., 2007. Quaternary subglacial processes in Switzerland: Geomorphology of the plateau and seismic stratigraphy of western Lake Geneva. *Terre et Env.* 69.

Graf, H., 2007. Isohypsenkarte der plio-pleistozänen Rinnen und Becken im Gebiet von Atlasblatt Baden. *Geol. Atlas der Schweiz 1:25000, Erl. 120, Taf. 3.*

Graf, H. R., 2009. *Stratigraphie von Mittel- bis Spätpleistozän in der Nordschweiz.* s.l.:Beitr. geol. Karte, 168.

Graf, H. & Willenberg, H., 2011. Isohypsenkarte der pleistozänen Rinnen und Becken im Gebiet von Atlasblatt Aarau. *Geol. atlas der Schweiz 1:25000, Erl. 135, Taf. 3.*

Graf, H. & Willenberg, H., 2011. Isohypsenkarte der pleistozänen Rinnen und Becken im Gebiet von Atlasblatt Murgenthal. *Geol Atlas der Schweiz 1:25000, Erl. 113, Taf. 2.*

Graf, H. & Willenberg, H., 2012. Isohypsenkarte des Felsuntergrunds im Gebiet von Atlasblatt Schöftland. *Geol. Atlas der Schweiz 1:25000, Erl. 150, Taf. 3.*

Graf, H. & Willenberg, H., 2014. Isohypsenkarte der pleistozänen Rinnen und Becken im Gebiet von Atlasblatt Balsthal und Nordteil von Atlasblatt Solothurn. *Geol. Atlas der Schweiz 1:25000, Erl. 139, Taf. 3.*



Jordan, P., 2007. *Digitales Höhenmodell der Basis des Quartärs (DHM B_QU, Felsmodell)*, s.l.: NAGRA NAB 07-12.

Jordan, P., 2010. *Analysis of overdeepened valleys using the digital elevation model of the bedrock surface of northern Switzerland*, s.l.: Swiss J. Geosci. 103, 375–384.

Klingelé, E., 2012. *détermination des épaisseurs des remplissages quaternaires des vallées alpines et du Jura à l'aide de la gravimétrie – rapport final.* s.l.: Comm. Suisse Géophys. SGPK.

Kuhn, P., 2014. *Qualitätssicherung bei der Integration von Bohrdaten in eine Datenbank*, s.l.: Bundesamt für Landestopografie swisstopo.

Matter, A., Dessolin, D., Sturm, M. & Süssstrunk, A., 1973. Reflexionsseismische Untersuchungen des Brienzersees. *Eclogae geol. Helv.* 66/1, 71–82.

Pietsch, J. & Jordan, P., 2014. *Digitales Höhenmodell Basis Quartär der Nordschweiz – Version 2013 (SGTE2) und ausgewählte Auswertungen*, s.l.: NAGRA NAB 14-02.

Schälli, L., 2012. *The diffuence of the Rhine glacier at Sargans in connection to the solid rock surface model of the Rhine and Seez valley.*, s.l.: Master, Univ. Zürich.

Zaugg, A., Blass, A. & Wessels, M., 2008. Felsisohypsenkarte des Gebietes von Atlasblatt Romanshorn. *Geol Atlas Schweiz 1:25000, Erl. 125, Fig. 6.*

Weiterführende Literatur

Amt für Umweltschutz des Kantons Zug, 2007: Geologie und Grundwasservorkommen im Kanton Zug. Erläuterungen zur Grundwasserkarte 1:25'000. 156 Seiten, 108 Abb., 3 Planbeilagen (u.a. Geologische Karte der Felsoberfläche des Kantons Zug 1:50'000). Bearbeitung: Geologisches Büro Dr. Lorenz Wyssling AG, Pfaffhausen.

Benz, C., 2003: Der würmeiszeitliche Rheingletscher - Maximalstand, Digitale Rekonstruktion, Modellierung und Analyse mit einem Geographischen Informationssystem. Universität Zürich, Schweiz.

Bernasconi, R., 2011: Anpassungsvorschlag Grundwasserkarte St. Gallen - Raum Sargans, Appendix 1A - 2E.

Chazal, V., Grange, S., 2002. Le quaternaire dans le Bas Chablais: Les phases glaciaires dans le bassin lémanique aux cour du Würm. MSc thesis, Université de Savoie, France, pp. 85.

Dr. L. Wyssling AG, 1983: Karte der Felsoberfläche, Abschnitt Urdorf – Birmensdorf. In: Dr. L. Wyssling AG, 1983: Die Grundwasserverhältnisse im Gebiet Reppisch – Urdorf, Amt für Gewässerschutz und Wasserbau des Kantons Zürich.

Dr. L. Wyssling AG, 1996: Karte der Felsoberfläche 1:5'000. In Dr. L. Wyssling AG, 1996: Geologische Datensynthese Hausertal/AG zwischen Birrfeld und Brugg. Baudepartement des Kantons Aargau, Abteilung Tiefbau.

Dr. L. Wyssling AG, 2007: AWEL Kanton Zürich. Die Grundwasserverhältnisse im Raum Sihltal/Hirzel/Richterswil ZH: Erste Untersuchungsetappe: Grundwasserbohrung Schönenberg.

Dr. von Moos AG, 2012: Grundwasserstudie Bülach – Hochfelden: Auswertung der Bohrkampagne 2011 / 2012 (Bericht Nr. 9666_9667), Zürich: AWEL, Abt. Gewässerschutz.

Dupuy, D., 2006. Etude des sédiments quaternaires, de la Molasse et sa tectonique, dans le Grand Lac (Léman) à partir de données sismiques 2D et 3D. PhD thesis, Université de Lausanne, Switzerland, pp.239.

Dürst Stucki, M., Schlunegger, F., 2013: Identification of erosional mechanism during past glaciations based on a bedrock surface model of the central European Alps. EPSL.

Finckh, P., Kelts, K. and Lambert, A., 1984: Seismic stratigraphy and bedrock forms in perialpine lakes. Geological Society of America Bulletin, 95: 1118-1128.



Frank, S., 2005: Entsorgungsnachweis Quartär - Aquifere Zürcher Weinland - Beurteilung der geologisch-hydrogeologischen Verhältnisse. Bericht 7609 der Dr. von Moos AG für die HSK, NAHYD 55.

Frank, S., Freimoser, M., Wildberger, A., 2011: Felsisohypsenkarte des Gebietes von Atlasblatt Winterthur, Tafel 3. In: Wildberger, A., Rey, R., Frank, S., Freimoser, M., 2011: Blatt 1072 Winterthur. Geol. Atlas Schweiz 1:25'000, Erläut. 140.

Geologisches Institut der Universität Bern, 1996: Felsrelief der zentralen und südlichen Aargauer Täler. Unpublizierte Karte in Zusammenarbeit mit der Abteilung Umweltschutz des Kantons Aargau (Plot GIS-Datensätze).

Grünenfelder, T., 1989: Gravimetrische Bestimmung der Quartärmächtigkeit am Zusammenfluss von Rhein und Seuz. ETH Zürich., Schweiz.

Haldimann, P., Naef, H., Schmassmann, H., 1984: Fluviale Erosions- und Akkumulationsformen als Indizien jungpleistozäner und holozäner Bewegungen in der Nordschweiz und angrenzenden Gebieten, Nagra NTB 84-16.

Jordan, P., 2004: Felsisohypsenkarte am Jurasüdfuss zwischen Oberbuchsitzen SO und Lenzburg AG. Nagra NIB.

Jordan, P., 2007. Digitales Höhenmodell der Basis des Quartärs (DHM B_QU, „Felsmodell“). NAGRA Arbeitsbericht NAB 07-12.

Jordan, P., 2010. Analysis of overdeepened valleys using the digital elevation model of the bedrock surface of northern Switzerland. Swiss J. Geosci. 103, 375-384.

Keller, O., Krayss, E., 1999: Quartär und Landschaftsgeschichte. – Erläuterungen zur Geologischen Übersichtskarte des Kantons Thurgau. – Mitteilungen der Thurgauischen Naturforschenden Gesellschaft, 55:39–67.

Klingelé, E., 2009: Gravity Survey of the Rhine Valley Gravity Interpretation, final report. Amt für Umwelt, Vaduz, Liechtenstein.

Klingelé, E., 2012: Détermination des épaisseurs des remplissages quaternaires des vallées alpines et du Jura à l'aide de la gravimétrie – Rapport final. Commission Suisse de Géophysique SGPK.

LGRB, 1992: Hydrogeologische Karte von Baden-Württemberg 1:50 000 (aHGK) HGK Klettgau. Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau, Freiburg, Deutschland.

Liniger, M., Hänni, R., Nagelisen, J., Schnellmann, M., 2014: Ausgewählte Beobachtungen im Hinblick auf die geologische Langzeitentwicklung des Standortgebiets Wellenberg. NAGRA Arbeitsbericht NAB 13-71.

Matousek, F., Wanner, M., Baumann, A., Graf H. R., Nüesch, R., Bitterli, Th., 2000: Geologischer Atlas der Schweiz 1:25'000. Blatt 102 Zurzach. Mit Erläuterungen. Landesgeologie, Bundesamt für Landestopographie, Bern.

Meyer, M., 2000. Isohypses tu toit de la Molasse (unpublished), Service Géologique du canton de Genève.

Müller, B., 1995: Das Walensee-/Seetäl - eine Typusregion alpiner Talgenese, Vom Entstehen und Vergehen des grossen Rheintal-/Zürichsees. Dissertation Institut für Geologie Universität Bern.

Müller, E., 2010: Schotterssysteme zwischen dem Thurtal und Schaffhausen, Zürich. Bericht zuhanden des Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorates ENSI, Dr. von Moos AG Bericht Nr. 8600-3.

Naef, H., 2004: Revision der Felsisohypsen von Wildi (1984) im Hinblick auf die Überarbeitung der Beilage 2.6 zu Müller et al. 2002. Abgabe an Nagra datiert 8.3.2005.

Oberhauser, R., 1998: Geologisch Tektonische Übersichtskarte von Vorarlberg 1:200'000. Geologische Bundesanstalt, Wien, Österreich.



- Pasquier, F., 1986: Hydrodynamique de la nappe du Gäu (cantons de Soleure et Berne). Thèse Univ. Neuchâtel. 111p.
- Pfiffner, O.A., Lehner, P., Heitzmann, P., Mueller, St., and Steck, A., 1997: Deep Structure of the Swiss Alps: Results of NFP 20, Birkhäuser Verlag, Basel, Schweiz.
- Pietsch, J., Jordan, P., 2014: Digitales Höhenmodell Basis Quartär der Nordschweiz – Version 2013 (SGT E2) und ausgewählte Auswertungen. NAGRA Arbeitsbericht NAB 14-02.
- Pugin A., 1988. Carte des isohypses de la base des sédiments du Quarternaire en Suisse occidentale, avec quelques commentaires. Landeshydrologie und –geologie Bern. Geologische Berichte Nr. 3.
- Schälli, L., 2012. The diffuence of the Rhine glacier at Sargans in connection to the solid-rock surface model of the Rhine and Seez valley. Unpublished Master Thesis, University of Zürich, Switzerland.
- Schindler, C., 1982: Baugrundkarte Schaffhausen 1:10'000. Beiträge zur Geologie der Schweiz, geo-technische Serie, kleinere Mitteilungen, 73.
- Schindler, C., Haldimann, P., Freimoser, M., 2015: Felsisohypsenkarte des Gebietes von Atlasblatt Zürich, Tafel 5. In: 2015: Blatt 1091 Zürich. Geol. Atlas Schweiz 1:25'000, Erläuterungen. In prep.
- Wagner, U., Huggenberger, P., Schaub, D., Thater, M., 2001: Erkundung der Grundwasserleiter und Böden im Hochrheintal – Abschlussbericht zum INTERREG II-Projekt. Landratsamt Waldshut.
- Werner + Partner AG, Petraqua, 1975: Grundlagen für die siedlungswirtschaftliche Planung des Kantons Bern. Hydrogeologie Emmental, Teil I: Oberes Emmental.
- Werner + Partner AG, Petraqua, 1976: Grundlagen für die siedlungswirtschaftliche Planung des Kantons Bern. Hydrogeologie Emmental, Teil II: Mittleres Emmental.
- Wildi, W., 1984: Isohypsenkarte der quartären Felstäler in der Nord- und Ostschweiz mit kurzen Erläuterungen. - Eclogae geol. Helv. 77/3, 541-551.
- Wyssling, G., 2008: Felsisohypsenkarten des Gebietes von Atlasblatt Uster, Tafel 3. In: Wyssling, G., Gubler, T., Nagy, P., 2008: Blatt 128 Uster. Geol. Atlas Schweiz 1:25'000 Erläuterungen 128.
- Zaugg A., Vogel, G., 2005: EP-05 Fallstudien zur sedimentologischen und hydrogeologischen Charakterisierung der Oberen Süsswassermolasse zwischen Zürichsee und Bodensee. NAB 05-022.
- Zaugg, A., Blass, A., Wessels, M., 2008: Blatt 1055 Romanshorn. Geol. Atlas Schweiz 1:25'000, Erläuterungen 125.