



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Verteidigung,
Bevölkerungsschutz und Sport VBS

armasuisse
Bundesamt für Landestopografie swisstopo

GeoMol – Geopotentiale des Schweizer Molassebeckens

Schlussbericht Modellierung Felsoberfläche Version 1

Titel	GeoMol – Geopotentiale des Schweizer Molassebeckens
Projekt	P0181
Version	1.0
Erstelldatum	08.07.2014
Bearbeitungsdatum	31.10.2014
Autor	Mirjam Dürst Stucki
Status	In Bearbeitung
Klassifikation	
Verteiler	
Datei	Schlussbericht_Felsoberfläche_kanton.docx
Ablage	P:\GeoMol\03-Modellierung\01-Felsoberfläche\10-Schlussbericht
ARIWA-Nr.	

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	4
1 Einleitung.....	5
1.1 Ziel und Zweck des Berichts	5
1.2 Allgemeine Qualitätsziele für geologische 3D-Modelle	5
2 Daten: Art und Qualität	6
2.1 Grundlagedaten	6
2.2 Bohrdaten	6
2.3 Felsoberflächenkarten und -modelle	7
2.3.1 Modell Nagra/Jordan und darin verwendete Daten	8
2.3.2 Modell Dürst Stucki	10
2.3.3 Modell Fiore	11
2.3.4 Modell Schälli	11
2.3.5 Publikation Graf	11
2.3.6 Modell Nagra Wellenberg	11
2.3.7 Modell Bodmer	11
2.3.8 Modell Klingelé	11
2.3.9 Kantonale Modelle	12
2.3.10 Felsisohypsenkarten GA25	12
2.3.11 Sonstige Informationen über den Verlauf der Felsoberfläche	12
3 Methode und Vorgehen.....	13
3.1 Bereitstellen der Daten	13
3.2 Interpolation mit "Topo to Raster"	14
3.3 Isohypsen-Berechnung und Vergleich mit Input-Daten.....	14
3.4 Anpassung an Input-Daten	15
3.5 Finale Interpolation und Kontrolle.....	15
4 Resultate und Beschreibung des DHM Felsoberfläche	17
4.1 Beschreibung der Resultate	17
4.2 Qualität der Resultate	17
5 Haftungsausschluss	18
6 Weiterführende Dokumente.....	18
7 Liste und Beschreibung der digitalen abgegebenen Daten	19
8 Referenzverzeichnis.....	20
9 Anhang.....	22
9.1 Verwendete Daten pro Kanton	22
9.2 Felsoberfläche	24
9.3 Quartärmächtigkeit.....	24
9.4 Felsisohypsen	25
9.5 Bohrdaten	25
9.6 Bohrdichte.....	26
9.7 Abweichung der Bohrdaten zum Felsoberflächenmodell.....	26
9.8 Genauigkeit.....	27
9.9 Gebiete mit manueller Anpassung	27

Zusammenfassung

Im Rahmen von "GeoMol CH" wurde basierend auf Bohrdaten, geologischen Karten, geologischen Publikationen und bestehenden Felsisohypsenkarten ein flächendeckendes Modell der Felsoberfläche (bzw. Basis Quartär) im Molassebecken sowie in den grossen Alpentälern (Rhein, Rhône, Aare, Reuss, Linth und Ticino) erstellt. Dieses digitale Höhenmodell besteht aus einem Raster mit einer Maschenweite von 25 Metern. Die Mächtigkeit der quartären Sedimente stellt ein daraus abgeleitetes Produkt dar und ist ebenfalls als Raster mit einer Zellengrösse von 25 Metern vorhanden. Zusätzlich dazu besteht ein Felsisohypsen-Datensatz mit einer Äquidistanz von 10 Metern.

Die Felsoberfläche ist geprägt von glazialer und fluvialer Erosion. Die Übertiefungen in den grossen Alpentälern erreichen Werte die tiefer als der heutige Meeresspiegel liegen (Finckh et al., 1984). Im Mittelland befindet sich die Felsoberfläche etwas weniger tief, besitzt aber unzählige Rinnen und Becken in unterschiedlichen Grössen und Orientierungen.

Als Inputdaten wurden vor allem Bohrdaten und bereits bestehende Felsisohypsenkarten verwendet. Die Daten wurden in einem ersten Schritt in ArcGIS interpoliert und anschliessend manuell an die Bohrdaten und vorhandenen Felsmodellen angepasst.

Das Modell der Felsoberfläche weist innerhalb des Projektperimeters unterschiedliche Qualitäten auf. Dort wo viel Information über den Felsverlauf vorhanden ist, besitzt das Modell eine hohe Qualität. In Gebieten mit weniger dichter Felsinformation gestaltet sich die Modellierung des Felsverlaufs schwieriger, ist mit mehr Interpretation verbunden und somit von geringerer Qualität. Eine absolute Bestimmung der Qualität bei der Felsoberfläche ist nicht möglich. Die Qualität ist abhängig von folgenden Faktoren: 1) Qualität und Dichte der Grundlagedaten und sonstigen Informationen zum Verlauf der Felsoberfläche; 2) Interpolationsverfahren "Topo to Raster" und programmbedingte Gegebenheiten; 3) geologische Interpretation durch den Autor.

Für die Darstellung der zu erwartenden Qualität werden Gebiete, in welchen der Felsoberflächenverlauf ausschliesslich mit automatischer Interpolation berechnet wurde, visuell klar von Gebieten mit manueller Anpassung unterschieden. Zusätzlich wird eine Karte mit der Dichte der Eingabedaten generiert, welche zusätzlich Aufschluss über die Qualität gibt.

1 Einleitung

Das Modell der Felsoberfläche stellt im Projektperimeter Molassebecken des Projekts "Geo-Mol CH" den obersten Horizont dar. Zusätzlich zum Molassebecken wird das Felsoberflächenmodell durch die Modellierung der grossen Alpentäler (Rhein, Rhône, Aare, Reuss, Linth und Ticino) und in einzelnen Becken um Juragebirge ergänzt. Das Felsoberflächenmodell, welches zugleich auch die Basis Quartär abbildet, ist ein digitales Höhenmodell im Rasterformat mit einer Maschenweite von 25 Metern. Die flächendeckende Karte der Mächtigkeit der quartären Sedimente (ebenfalls ein Rastermodell mit einer Maschenweite von 25 m) für dasselbe Gebiet stellt ein abgeleitetes Produkt dar.

Die Erstellung des Felsoberflächenmodells basierte primär auf bestehenden Bohrdaten mit den darin enthaltenen Informationen über die Höhe (m.ü.M.) der Felsoberfläche. Zusätzlich dazu wurden geologische Karten, geologische Profile, gravimetrische Daten und bereits erstellte Felsoberflächenkarten von verschiedenen Autoren - mit unterschiedlichen Alter, Herkunft, Massstab und Qualität - zur Modellierung und Validierung verwendet. Das Höhenmodell der Felsoberfläche stellt somit im Prinzip eine Kompilation aus verschiedenen bereits bestehenden Felsisohypsenkarten dar, bei welcher die bestehenden, z.T. grossen Lücken gefüllt, vorhandene Daten ergänzt und überarbeitet und die Grenzen angepasst wurden.

1.1 Ziel und Zweck des Berichts

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. Denn das hier vorliegende Modell stellt eine "Version 1" dar und kann mit weiteren Daten und/oder Kenntnisse über den Verlauf der Felsoberfläche ergänzt, verfeinert und verbessert werden.

1.2 Allgemeine Qualitätsziele für geologische 3D-Modelle

Das Dokument [3D-Geologie in der Landesgeologie: Qualitätssicherungs-Konzept](#) definiert den Begriff Qualität in der 3D-Geologie ausführlich. Die Definition zur Qualität für geologische 3D-Modelle wird in diesem Dokument folgendermassen zusammengefasst:

Qualität im Sinne der geologischen 3D-Modelle wird so verstanden, dass sie auf einer geologisch, geometrisch und (wo möglich und sinnvoll) kinematisch korrekten und geologisch vollständigen (massstabsabhängig) Basis sowie einer einheitlichen Datengrundlage dem geplanten Verwendungszweck bei den Anwendern dienen können.

Da geologische 3D-Modelle Handarbeit darstellen, auf Interpretationen der modellierenden Geologen beruhen und deren Erstellung nicht automatisiert werden kann, können diese nie zu 100% richtig sein und stellen daher immer nur eine Annäherung an die Realität dar. Dementsprechend kann der Qualitätsbegriff nicht in allen Aspekten mit harten Definitionen und Fakten unterlegt oder auf automatischen Herstellungsverfahren beruhend begründet werden. Zusätzlich dazu beruhen die Modellierungen auf Daten Dritter mit unterschiedlicher Qualität und stehen somit in einer gewissen Abhängigkeit zu deren Genauigkeit und deren ursprünglichen Verwendungszweck.

Für die Felsoberfläche bedeutet dies konkret, dass das Resultat nur so akkurat ist wie es die Inputdaten zulassen und wie der Verlauf der Felsoberfläche während der Modellierung interpretiert wurde.

2 Daten: Art und Qualität

In diesem Kapitel werden die Qualität von verschiedenen Daten und Modelle beschrieben. Die Grundlagedaten werden hier nicht qualifiziert, als korrekt angenommen und in der Felsoberflächenmodellierung uneingeschränkt verwendet. Die Bohrdaten werden durch das [Qualitätssicherung bei der Integration von Bohrdaten in eine Datenbank: Journal](#) beschrieben. Die Qualität oder zumindest der Grad der Gewichtung der bereits bestehenden Felsisohypsenkarten wird in den folgenden Unterkapiteln wenn möglich kurz erläutert.

2.1 Grundlagedaten

Die in der Felsoberflächenmodellierung verwendeten Grundlagedaten beinhalten:

- Geologische Karten (Geologischer Atlas der Schweiz 1:25'000 (GA25) und darin enthaltene Profile oder GeoCover – Geologische Vektordaten),
- die geologische Karte 1:500'000 der Schweiz (GK500),
- digitale Höhenmodelle (DHM25 sowie das swissALTI3D) und
- topographische Landeskarten (1:25'000).

Die Qualität der Grundlagedaten wird hier nicht beurteilt und die Daten werden als korrekt angenommen und deshalb uneingeschränkt so verwendet, wie sie vorhanden sind.

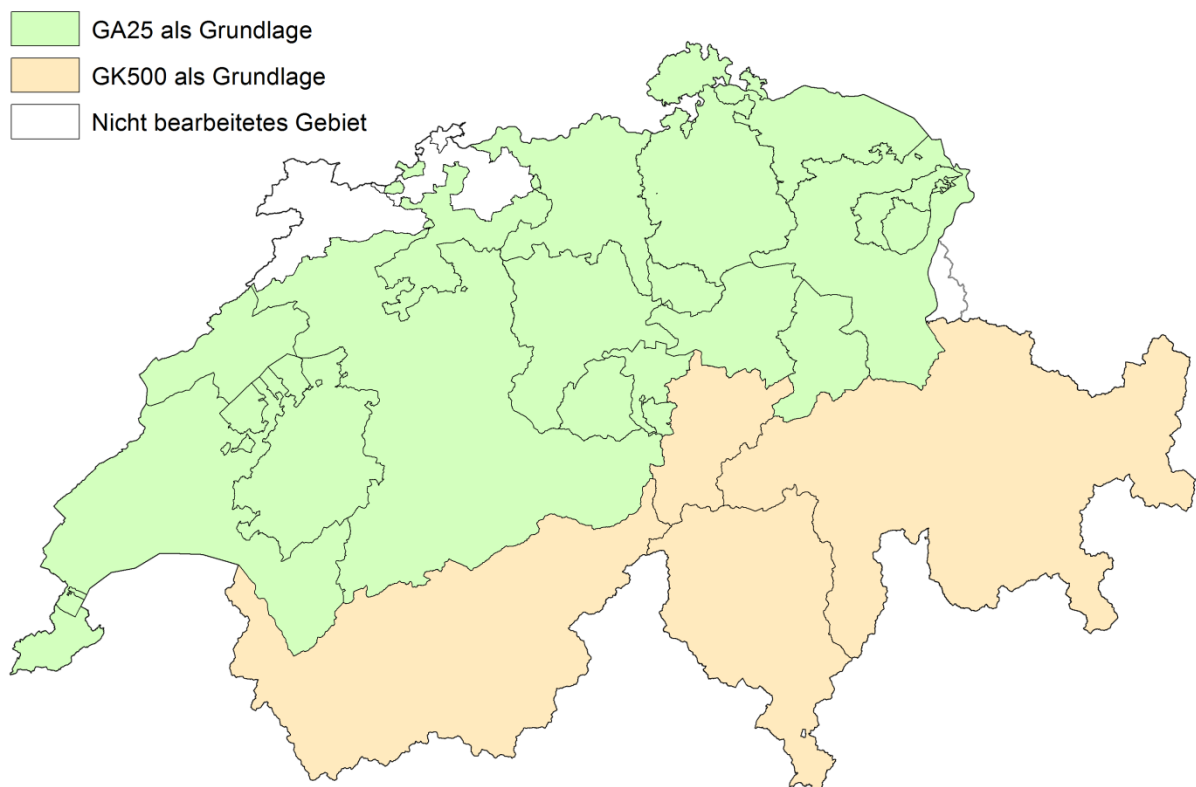


Abbildung 1: Karte der Kantone in welchen der Geologische Atlas 1:25'000 (grün) oder die Geologische Karte 500'000 (beige) verwendet wurde. In den Gebieten der Alpentäler wurde die Geologische Karte 1:500'000 als Grundlage genommen, da hier nur die grossen Täler modelliert wurden und nicht alle Gebiete mit quartärer Bedeckung.

2.2 Bohrdaten

Die Beurteilung der Qualität von Bohrdaten wird im Dokument [Qualitätssicherung bei der Integration von Bohrdaten in eine Datenbank: Journal](#) beschrieben. Mit Hilfe dieses Dokumentes kann pro Bohrung eine Qualitätszahl vergeben werden.

Die verwendeten Bohrungen stammen aus unterschiedlichen Quellen und weisen deshalb auch unterschiedliche Qualitäten auf. Die Bohrdaten wurden für das Projekt GeoMol erfasst und in der Datenbank "Wellbase" – eine Applikation der Anwendung "GeoGraphix", mit welcher die Kompatibilität mit der Seismik gewährleistet werden kann - abgelegt. Folgende, für die Modellierung der Felsoberfläche relevante Datensätze sind in der Bohrdatenbank von GeoMol integriert:

- Bohrungen Geologischer Atlas 1:25'000 (GA25): Ungefähr 13'500 Bohrungen konnten aus den Blättern des Geologischen Atlas übernommen werden. Diese Bohrdaten enthalten Informationen über die erreichte Felskote und der dabei angetroffenen Felslithologie. Zusätzlich dazu wurden etwa 600 Bohrungen aus den Erläuterungen der Geologischen Atlasblättern, welche nicht auf den Karten abgebildet sind, hinzugefügt.
- Tiefbohrungen aus dem Archiv der Geologischen Informationsstelle (LGI) von swisstopo: Aus dem Archiv der LGI von swisstopo konnten gut 1'500 Bohrungen aus diversen Untersuchungen und geologischen Berichten übernommen werden. Die meisten enthalten Informationen über die Tiefe der erreichten Felsoberfläche.
- Aufzeit-Bohrdaten der SEAG Aktiengesellschaft für Schweizerisches Erdöl: Bohrungen, welche im Rahmen von seismischen Kampagnen abgeteuft wurden. Ziel dieser Bohrungen ist es, die Seismiksignale in den obersten Lockergesteinsschichten (bis 200 Meter) kalibrieren zu können. Rund 700 dieser Bohrungen haben den Fels erreicht, bei 220 Bohrungen wurde der Fels nicht erreicht oder ist dessen Erreichen nicht eindeutig.
- Kantonale Bohrdaten: Die meisten Bohrungen (vor allem Erdwärmesonden und Bohrungen aus geotechnischen Untersuchungen) wurden von den Kantonen zur Verfügung gestellt. Die dort vorhandenen Archive und Datenbanken sind sehr unterschiedlich und reichen von reinen Papierarchiven bis hin zu Datenbanken mit verlinkten PDF's der Bohrungen. Je nach Art des Archivs oder der Datenbank mussten die Bohrprofile durch GeoMol eingescannt und/oder erfasst werden oder konnte der Datenbank-Export direkt übernommen werden.
- Zusätzlich zu den oben genannten Datensätze wurden Bohrungen der SBB, der armasuisse und des Bundesamt für Strassen (ASTRA) gesammelt, erfasst und in Wellbase abgelegt.

Von den ungefähr 100'000 vorhandenen Bohrungen wurden schlussendlich rund 50'000 für die Modellierung verwendet. Es gibt zwei Gründe für die eher kleine Zahl an verwendeten Bohrungen: Einerseits haben viele Bohrungen den Fels nicht erreicht und wurden somit bei der Modellierung nicht direkt verwendet. Andererseits sind aufgrund der Projektrelevanz nicht alle abgeteuften Bohrdaten in Bezug auf die Felskote erfasst worden und weisen somit keine Information über die erreichte Felstiefe auf.

Knapp 800 Bohrungen, welche Informationen über die Felstiefe besitzen, konnten nicht verwendet werden. Diese Bohrungen weichen stark vom Modell ab und besitzen unplausible Angaben. Viele dieser Bohrungen liegen laut GA25 und GeoCover in Gebieten mit aufgeschlossenen Fels, erreichen den Fels aber laut Bohrprotokoll erst nach einigen Zehner Metern. Andere Bohrungen besitzen zwar plausible Angaben, passen aber nicht ins Bild und weisen somit wahrscheinlich Fehler in den Attributen auf (falsche Koordinaten, ungenaue Angaben zur Kote des Bohransatzpunkte oder Zahlenfehler beim Übertragen). Schlussendlich weisen einige Bohrungen sonstige Ungenauigkeiten auf, wie zum Beispiel Unklarheiten bei der Bohrprofilaufnahme, welche nur schwer bewertet werden können. Gerade bei Erdwärmesonden (EWS), welche den grössten Teil der kantonalen Bohrdaten darstellen, ist dies gehäuft der Fall.

2.3 Felsoberflächenkarten und -modelle

Die von Dritten übernommenen Isohypsenkarten zur Felsoberfläche wurden bei der Modellierung direkt miteinbezogen und danach an die vorhanden Bohrdaten angepasst. Das hier vorhandene Felsoberflächenmodell stellt somit grundsätzlich eine Kompilation aus verschie-

denen bereits bestehenden Felsoberflächenmodellen dar. Die dabei noch vorhandenen Lücken wurden bei der Modellierung interpoliert und händisch angepasst.

Die Qualität der bereits bestehenden Felsoberflächenkarten in der Schweiz ist nicht bei allen Modellen gleich. Die einzelnen Karten unterscheiden sich in der Anzahl und dem Alter der verwendeten Daten, des verwendeten Massstabes, der Grösse des gewählten Untersuchungsperimeters und dem Verfahren bei der Modellierung.

Bestehende Felsmodelle

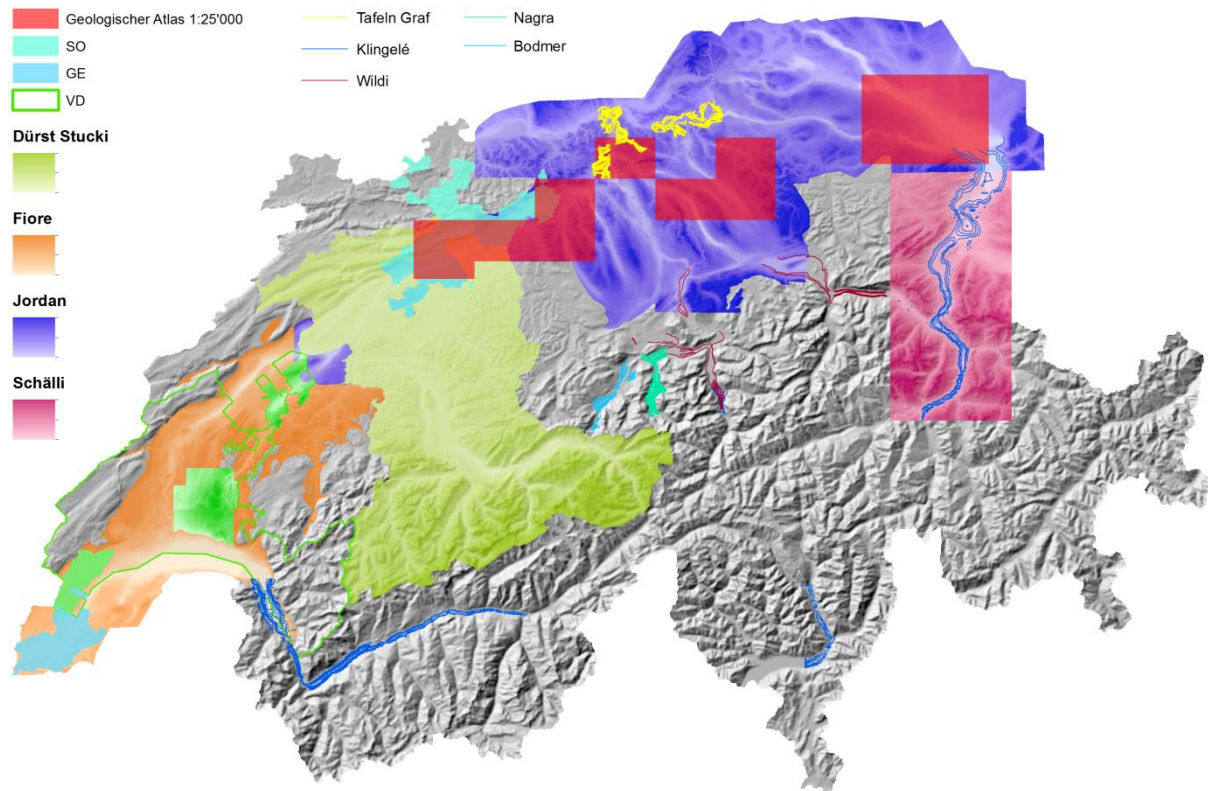


Abbildung 2: Bestehende Felsoberflächenmodelle in der Schweiz welche für die Modellierung und Validierung des Felsoberflächenmodells verwendet wurden.

Abbildung 2 zeigt die Felsoberflächenmodelle, welche für das Felsoberflächenmodell verwendet wurden. Zusätzlich zu den vier grossen Felsoberflächenkarten (Jordan (2007, 2010, 2014), Dürst Stucki (2013), Fiore (2007), Schälli (2012)) gibt es kantonale Modelle (Kantone: Genf, Waadt, Solothurn), Felsisohypsenkarten des geologischen Atlas 1:25'000 (Blätter: Aarau, Baden, Balsthal, Murgenthal, Romanshorn, Schöftland, Uster, Winterthur, Zürich), eine Publikation von Hans Rudolf Graf (2009) und Felsisohypsenkarten der grossen Alpentälern basierend auf Gravimetrie von Emile Klingelé (2012). Diese Felsoberflächenmodelle und Isohypsenkarten wurden beim Interpolationsschritt (*Kapitel 3.2*) während der Modellierung direkt miteinbezogen.

2.3.1 Modell Nagra/Jordan und darin verwendete Daten

Peter Jordan (Jordan 2008, 2010; Pietsch & Jordan 2014) deckt mit seinem Modell, welches für die Nagra erstellt wurde, das gesamte Gebiet der Nordostschweiz ab. Dieses Modell der "Basis Quartär" wurde im ArcGIS basierend auf bestehenden Karten, Bohrdaten (Bohrdatenbank der Nagra), Berichten und seismischen Untersuchungen von Hand digitalisiert und zu einem Raster mit einer Maschenweite von 25 Metern interpoliert. Das Modell entstand 2008 als erste Version und ein grosser Teil davon wurde 2013 überarbeitet und an die neuesten Daten und Untersuchungen angepasst. Das Nagra/Jordan-Modell ist sehr detailliert dargestellt, beinhaltet alle aktuell vorhandenen Felsisohypsenkarten und stellt aus diesem Grund eine hervorragende Grundlage für die Felsoberflächenmodellierung dar.

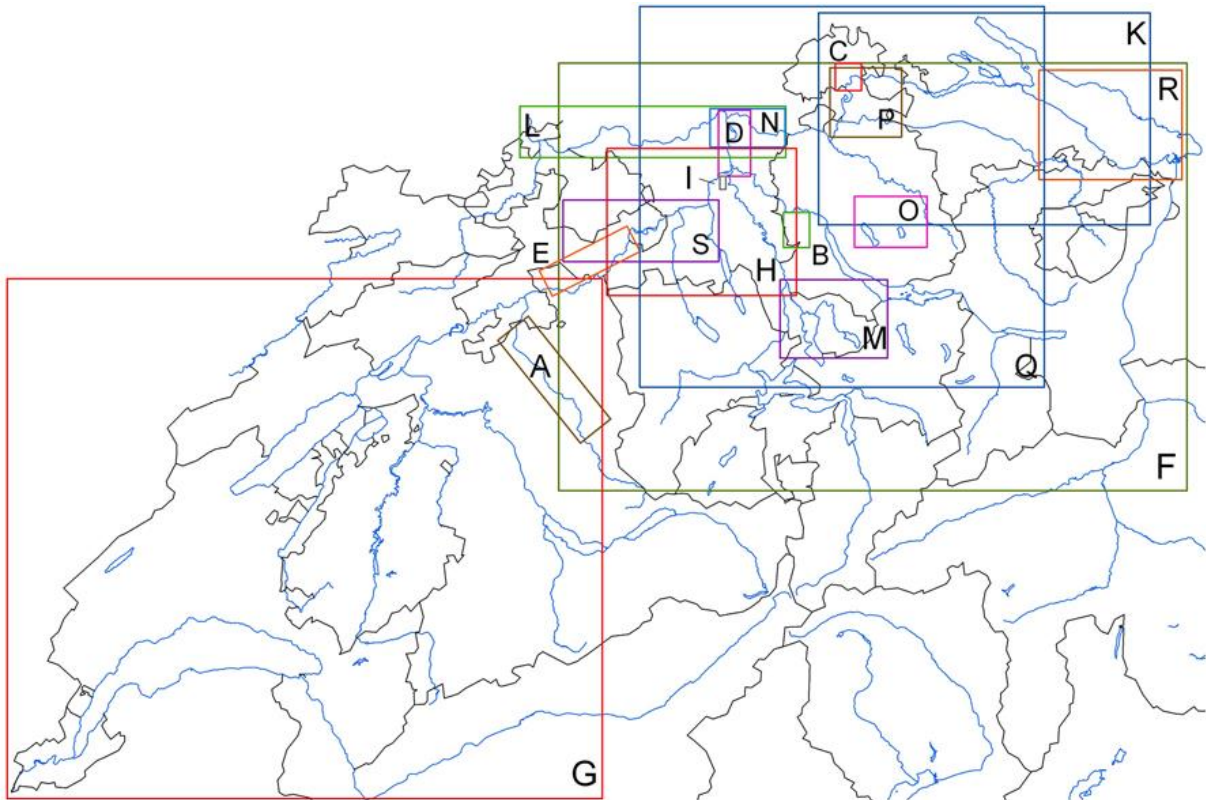


Abbildung 3. Übersicht über die konsultierten Felsisohypsenkarten durch Peter Jordan für das Basis Quartär Modell Version 2008. (Grafik aus Jordan (2007).

Folgende Felsisohypsenkarten wurden von Peter Jordan für die Erstellung des Basis Quartär Modells in 2008 konsultiert oder verwendet:

- A: Emmental: Werner + Partner AG & Petraqua (1975, 1976), Werner + Partner AG & Wanner (1981)
- B: Reppischtal – Urdorf: Wyssling (1983)
- C: Schaffhausen: Schindler (1982)
- D: Unteres Aaretal: Haldimann et al. (1984)
- E: Gäu: Pasquier (1986)
- F: Nordostschweiz: Wildi (1984)
- G: Westschweiz: Pugin (1988)
- H: Aargauer Täler: Geologisches Institut Universität Bern (1996)
- I: Hausen – Windisch: Wyssling AG (1996)
- K: Thurgau: Keller & Krayss (1999)
- L: Hochrhein: Wagner et al. (2001)
- M: Zug: AfU Zug (2007)
- N: Geologischer Atlas, Blatt 102 Zurzach (Matousek et al., 2000)
- O: Geologischer Atlas, Blatt 128 Uster (Wyssling, 2007)
- P: Weinland: Frank (2005)
- Q: Revision Nordostschweiz: Naef (2004)
- R: Südlicher Bodensee (Zaugg & Vogel, 2005)
- S: Östlicher Jurasüdfuss: Jordan (2004)

Aufgrund neu vorhandenen Daten (Bohrdaten, Publikationen und Untersuchungen) zur Felsoberfläche wurde eine Überarbeitung des Basis Quartär Modells 2008 notwendig. Aus diesem Grund wurde 2013 ein Teilgebiet des Modells im Detail angeschaut und an die neuesten Daten angepasst. Folgende neu vorhandenen Felsisohypsenkarten wurden dabei berücksichtigt:

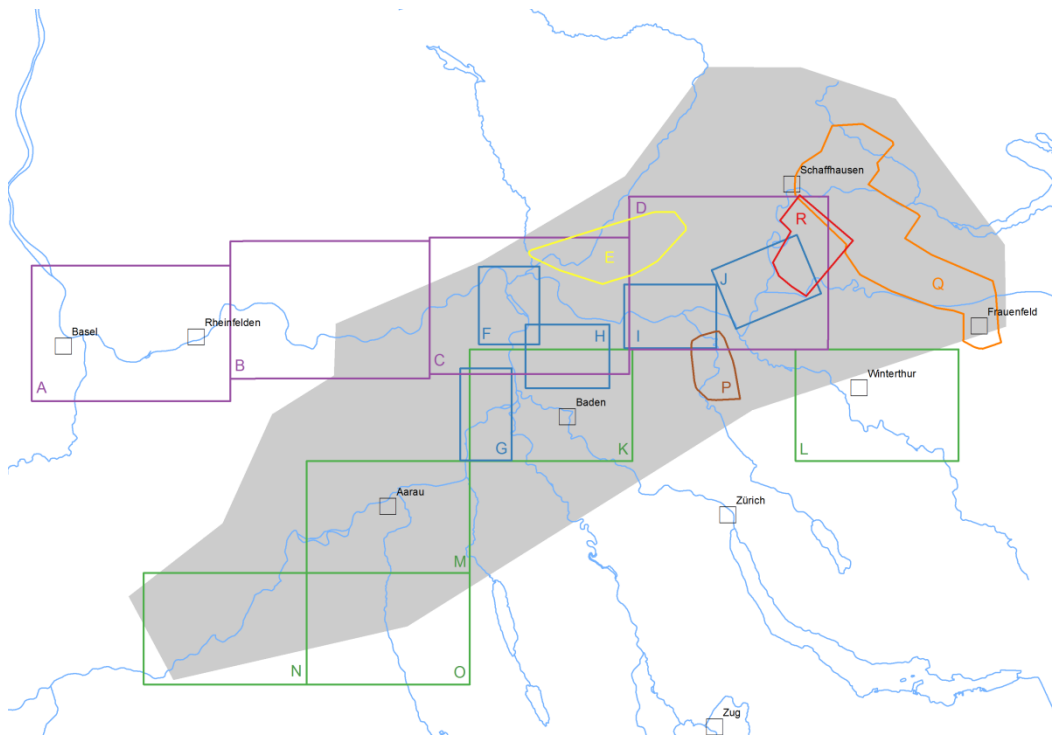


Abbildung 4: Übersicht der konsultierten und verwendeten Felsisohypsenkarten mit dem Untersuchungsperimeter von Jordan (2014) (Grafik aus Pietsch & Jordan (2014)).

Abbildung 4 zeigt die von Peter Jordan zusätzlichen verwendeten Felsisohypsenkarten bei der Revision im Jahre 2013, wobei der Untersuchungsperimeter der Überarbeitung flächig grau dargestellt ist.

A - D: Wagner et al. (2001)

E: Isohypsendatensatz aus LGRB (1992)

F - J: Tafeln 12, 8, 11, 6 & 3 aus Graf (2009)

K: Felsisohypsenkarte in Erläuterungen 120 Baden, Geologischer Atlas Schweiz 1:25'000 (Graf 2007)

L: Felsisohypsenkarte in Erläuterungen 140 Winterthur, Geologischer Atlas Schweiz 1:25'000 (Frank et al., 2011)

M: Felsisohypsenkarte in Erläuterungen 135 Aarau, Geologischer Atlas Schweiz 1:25'000 (Graf & Willenberg, 2011a)

N: Felsisohypsenkarte in Erläuterungen. 113 Murgenthal, Geologischer Atlas Schweiz 1:25'000 (Graf & Willenberg, 2011b)

O: Felsisohypsenkarte in Erläuterungen 150 Schöftland, Geologischer Atlas Schweiz 1:25'000 (Graf & Willenberg 2012)

P: Dr. von Moos AG (2012)

Q: Müller (2010)

R: unpublizierte Quartärkartierung basierend auf der 3D Seismik im Zürcher Weinland

2.3.2 Modell Dürst Stucki

Das Modell von Mirjam Dürst Stucki (Dürst Stucki & Schlunegger, 2013) deckt das Gebiet des gesamten Kantons Bern ab. Die Felsoberfläche wurde anhand von circa 40'000 Bohrungen durch eine Konstruktion von Hand im GIS erstellt und zu einem Raster mit einer Zellen-grösse von 25 Metern umgerechnet.

Die verwendete Bohr-Datenbank ist sehr aktuell und verfügt über viel Information über den Felsverlauf. Das Modell von Dürst Stucki konnte somit uneingeschränkt für der Modellierung der Felsoberfläche im Rahmen des Projekts GeoMol übernommen werden.

2.3.3 Modell Fiore

Das Modell von Julien Fiore (Fiore, 2007) ist eine Kombination aus mehreren Isohypsenkarten, seismischen Untersuchungen und Geoelektrik (Dupuy, 2005; Hole et al., 1993 in Chazal & Grange, 2002; Meyer, 2000 und Pugin, 1988). Das Felsoberflächenmodell von Fiore deckt die gesamte Westschweiz ab. Die Zellengrösse des Rasters beträgt 50 Meter. Die berechneten Felsisohypsen dieses Modells wurden bei der ersten Interpolation (*Kapitel 3.2*) direkt miteinbezogen.

2.3.4 Modell Schälli

Das Seeztal und das untere Rheintal werden durch das Modell von Livia Schälli (Schälli, 2012) dargestellt. Auch dieses Modell beinhaltet einige bereits 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 25 Meter. Dieses Modell diente ebenfalls als Grundlage.

2.3.5 Publikation Graf

Die Publikation "Stratigraphie von Mittel- und Spätpleistozän in der Nordschweiz" von Hans Rudolf Graf (2009) entstand im Auftrag der Landesgeologie. Ziel der Untersuchung war die Ausarbeitung von stratigraphischen Grundlagen zur Gliederung der mittel- und spätpleistozänen Ablagerungen für den Geologischen Atlas der Schweiz 1:25'000 (Graf, 2009). Im Rahmen dieser Arbeit entstanden 5 regionale Felsisohypsenkarten mit einer Äquidistanz von 10 Metern (Thurtal - Rafzerfeld, Rafzerfeld – Rheintal, Birrfeld – Habsburg – Rinikerfeld, Ruckfeld – Surbtal, Aaremündung). Da diese Karten, aufgrund der grossen regionalen und geologischen Kenntnisse des Autors, sehr hohe Qualität aufweisen wurden sie bei der Modellierung direkt miteinbezogen.

2.3.6 Modell Nagra Wellenberg

Das Modell der Nagra (Liniger et al., 2014) deckt das Gebiet um Buochs, Wolfenschiessen und Engelberg in Nidwalden ab. Als Inputdaten wurden Bohrungen, das 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) verwendet.

2.3.7 Modell Bodmer

Im Rahmen der Suche nach tiefen Gasvorkommen hat das Tiefengas Konsortium (TGK) gravimetrische und seismische Messungen in der Zentralschweiz durchgeführt. Basierend auf diesen Daten, weiteren Studien und Bohrungen erstellten Bodmer et al. (1996) eine Karte der Felsisohypsen in den Haupttälern von Obwalden, Nidwalden und Uri.

2.3.8 Modell Klingelé

Das Modell der Mächtigkeit der Quartären Lockergesteine von Emile 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.

Die Karte der Quartärmächtigkeit der gravimetrischen Untersuchungen dient in den grossen Alpentälern als Grundlage für die Modellierung, war wichtig für eine erste Idee zum Verlauf

der Felsoberfläche und wurde somit bei der ersten Interpolation (*Kapitel 3.2*) der Felsoberfläche direkt miteinbezogen.

2.3.9 Kantonale Modelle

In den Kantonen Genf, Waadt und Solothurn bestehen Modelle zur Felsoberfläche (Abb. 2). Im Kanton Genf wird der ganze Kanton durch eine Felsisohypsenkarte dargestellt. Im Kanton Waadt gibt es 7 regionale Modelle der Felsoberfläche, welche grosse Gebiete des Kantons Waadt bedecken. Der Kanton Solothurn besitzt eine Felsisohypsenkarte, welche den Teil des Kantons im Molassebecken abdeckt.

Die Qualität dieser kantonalen Felskarten wird als hoch eingestuft, da die Datengrundlage nicht stark von der GeoMol-Datenbank abweicht und die Autoren bestens mit der Region vertraut sind. Zusätzlich weisen diese Karten eine hohe Aktualität auf, da sie erst vor kurzem erstellt wurden. Aus diesen Gründen konnten auch diese Modelle direkt bei der ersten Interpolation in Schritt 3 des Vorgehens (*Kapitel 3.2*) verwendet werden.

2.3.10 Felsisohypsenkarten GA25

Von neun geologischen Atlasblättern 1:25'000 (GA25) gibt es Felsisohypsenkarten, welche als Tafeln in den Erläuterungen zu den jeweiligen Karten zu finden sind (Aarau, Baden, Balsthal, Murgenthal, Romanshorn, Schöftland, Uster, Winterthur und Zürich). Die Isohypsen der Felsoberfläche weisen einen Äquidistanz von 10 Metern auf.

Diese Karten werden von Experten erstellt, welche die jeweiligen Regionen und den Verlauf der Felsoberfläche bestens kennen. Diese Modelle wurden deshalb uneingeschränkt bei der ersten Interpolation übernommen.

- Aarau: Graf, H.R., Willenberg, H., 2011: Isohypsenkarte der pleistozänen Rinnen und Becken im Gebiet von Atlasblatt Aarau, Tafel 3.
- Baden: Graf, H.R., 2007: Isohypsenkarte der plio-pleistozänen Rinnen und Becken im Gebiet von Atlasblatt Baden, Tafel 2.
- Balsthal: Graf, H.R., Willenberg, H., 2014: Isohypsenkarte der pleistozänen Rinnen und Becken im Gebiet von Atlasblatt Balsthal und Nordteil von Atlasblatt Solothurn, Tafel 3.
- Murgenthal: Graf, H.R., Willenberg, H., 2011b: Isohypsenkarte der pleistozänen Rinnen und Becken im Gebiet von Atlasblatt Murgenthal, Tafel 2.
- Romanshorn:
- Schöftland: Graf, H.R., Willenberg, H., 2012: Isohypsenkarte des Felsuntergrunds im Gebiet von Atlasblatt Schöftland, Tafel 3.
- Uster: Wyssling, G., 2008: Felsisohypsenkarten des Gebietes von Atlasblatt Uster, Tafel 3.
- Winterthur: Frank, S., Freimoser, M., Wildberger, A., 2011: Felsisohypsenkarte des Gebietes von Atlasblatt Winterthur, Tafel 3.
- Zürich: Schindler, C., Haldimann, P., Freimoser, M., 2015: Felsisohypsenkarte des Gebietes von Atlasblatt Zürich, Tafel 5.

2.3.11 Sonstige Informationen über den Verlauf der Felsoberfläche

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 gute Hinweise auf den Verlauf der Felsoberfläche anhand von Profilen. Diese Daten wurden bei der Anpassung an die Input-Daten (*Kapitel 3.4*) zur Verifizierung des Modells verwendet.

3 Methode und Vorgehen

Das nachfolgende Diagramm (Abb. 5) zeigt den Ablauf und die Qualitätskontrolle für das Felsoberflächenmodell. Die Nummerierungen 1 bis 5 entsprechen den Unterkapiteln 3.1 bis 3.5 im untenstehenden Text.

Die Schritte 1 bis 5 wurden pro Kanton ausgeführt, da die Berechnungskapazität von Topo-To-Raster in ArcGIS beschränkt ist. Danach wurden die verschiedenen kantonalen Modelle aneinander angepasst und zur gesamtschweizerischen Felsoberflächenkarte zusammengefügt.

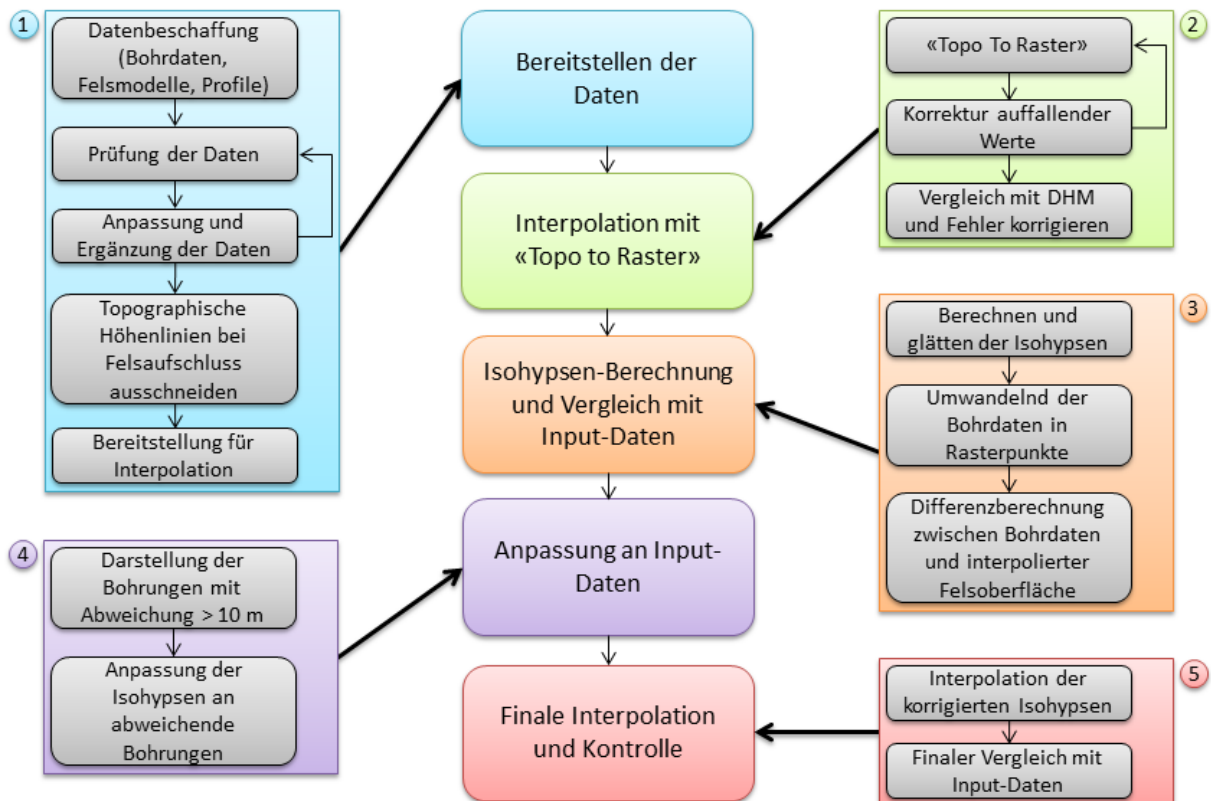


Abbildung 5: Ablauf und Qualitätskontrolle Felsoberflächenmodell. Die Nummerierung entspricht den Unterkapiteln 3.1 bis 3.5.

3.1 Bereitstellen der Daten

Der erste Schritt der Modellierung der Felsoberfläche beinhaltet die Beschaffung der Bohrdaten, deren Prüfung und die Bereitstellung für die Modellierung. Je nach Quelle der Bohrdaten (Kapitel 2.2) gestaltete sich dieser Prozess unterschiedlich. Die Bohrdaten der Kantone zum Beispiel sind je nach Ressourcen und Handhabung der kantonalen Ämtern unterschiedlich umfangreich vorhanden und in verschiedener Qualität abgelegt. Je nach Kanton sind die notwendigen Informationen bereits elektronisch als Tabelle oder Datenbank vorhanden oder mussten manuell aus den jeweiligen Bohrprofilen oder -protokolle (analog oder digital vorliegend) herausgesucht und erfasst werden.

Bei der Erfassung der Bohrinformationen für das Felsoberflächenmodell genügte es, wenn die Koordinaten der Bohrung und die Tiefe des erreichten Fels vorhanden sind. Hilfreich ist es, wenn die Daten zu einem Bohrprofil oder -protokoll verlinkt sind. So konnte bei Unstimmigkeiten schneller eine Lösung gefunden werden.

Der zweite Schritt beinhaltet die Beschaffung und Bereitstellung der weiteren Grundlagedaten gemäss Kapitel 2.1. Wie in Kapitel 2.1 erwähnt, wurden die Grundlagedaten als korrekt angenommen und bei der Felsmodellierung direkt so verwendet, wie sie vorhanden sind.

Für die Modellierung sehr wichtig ist die Unterscheidung zwischen Gebieten, wo der Fels aufgeschlossen oder unter geringmächtiger Quartärbedeckung liegt und Gebieten, wo der

Fels durch eine unbekannte Mächtigkeit Quartär bedeckt ist. Zur Unterscheidung dieser Gebiete wurde im Mittelland das Produkt GeoCover (harmonisierte Vektordateien des geologischen Atlas 1:25'000) hinzugezogen. In den Alpentälern wurde einfachheitshalber die geologische Karte der Schweiz 1:500'000 verwendet. Dieser Schritt war notwendig, damit die Gebiete mit aufgeschlossenem Fels oder Fels unter geringmächtiger Quartärbedeckung isoliert werden konnten und die topographischen Höhenlinien aus der Landeskarte ausgeschnitten werden konnten. Diese Höhenlinien wurden im nächsten Schritt (*Kapitel 3.2*) direkt bei der Interpolation miteinbezogen.

3.2 Interpolation mit "Topo to Raster"

In diesem Schritt wurden alle Input-Daten zu einer ersten Felsoberfläche interpoliert. Dieses Vorgehen war notwendig, damit möglichst schnell ein Linien-Datensatz über den möglichen Verlauf der Felsoberfläche mit einer Äquidistanz von 10 Metern flächendeckend über die ganze Schweiz entstand. Das Zeichnen der Isohypsen in einem 10 Meter Abstand von Hand in ArcGIS wäre für die gesamte Schweiz im Rahmen dieses Projektes zeitlich nicht möglich gewesen.

Die Interpolation der Daten zur Felsoberfläche wurde mit dem ArcGIS Werkzeug „Topo to Raster“ (Toolbox → Spatial Analyst → Interpolation → Topo to Raster) durchgeführt. "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. Mit dem Werkzeug "Topo to Raster" gibt es die Möglichkeit, verschiedene Shapefiles (egal ob Punkte oder Linien) gleichzeitig zu interpolieren.

Bei der Interpolation wurden folgende Input-Daten verwendet und für die erste Oberflächenberechnung direkt miteinbezogen:

- 1) Bohrdaten (mit Angabe über die Felskote);
- 2) topographische Höhenlinien der Gebiete, wo der Fels aufgeschlossen ist oder unter geringmächtiger Quartärbedeckung liegt; und
- 3) Felsisohypsen der bereits bestehenden Felsoberflächenmodelle (*Kapitel 2.3*).

Die Daten können mit Hilfe des Werkzeugs "Topo to Raster" alle gleichzeitig interpoliert werden. Der Typ der Daten kann entweder „PointElevation“ (Bohrungen) oder „Contour“ (Höhenlinien des aufgeschlossenen Fels und Felsisohypsen) sein. Die zu berechnende Rastergröße ist 25 Meter.

Gleich nach der ersten Interpolation wurden auffällige Bohrdaten (ersichtlich als extreme Senken oder Gipfel in der Interpolationsoberfläche) wenn nötig korrigiert. Der Interpolationsvorgang musste nach den vorgenommenen Korrekturen erneut durchgeführt werden. Danach wurde das Modell durch eine Konditional-Funktion (Toolbox → Spatial Analyst → Map Algebra → Raster Calculator) mit der heutigen topographischen Oberfläche verglichen. Gebiete, welche fälschlicherweise über der heutigen Topographie zu liegen kommen, konnten durch diese Funktion korrigiert werden.

3.3 Isohypsen-Berechnung und Vergleich mit Input-Daten

Aus der vorgängig berechneten Felsoberfläche wurden (Toolbox → Spatial Analyst → Surface → Contour) die Felskonturlinien berechnet. Die Äquidistanz dieser Linien wurde auf 10 Metern festgelegt. Da diese Linien anhand eines 25 Meter Raster entstanden sind und deshalb zum Teil stufenartige Formen aufwiesen, mussten sie geglättet werden. Dies konnte mit dem Tool "Smooth Line" (Toolbox → Cartography Tools → Generalization → Smooth Line) durchgeführt werden.

Damit die nun berechneten Isohypsen mit den Bohrdaten verglichen werden konnten, mussten die Bohrdaten zuerst in Rasterpunkte umgewandelt werden (Toolbox → Conversion Tools → To Raster → Point to Raster). Diese Rasterpunkte wurden danach von der interpolierten Felsoberfläche subtrahiert. Diese Differenz diente im nächsten Schritt (*Kapitel 3.4*) als Entscheidungsgrund für die händische Anpassung und Korrektur der Felsisohypsen.

Aus Gründen der Projektrelevanz wurden Abweichungen bis zu ± 10 Metern grundsätzlich toleriert. Das heisst, in Gebieten mit Abweichungen zwischen der interpolierten Felsoberfläche und den Bohrdaten welche grösser als 10 Meter sind, wurden lokal die Felsisohypsen angepasst. Dieses Vorgehen ist im nächsten Kapitel beschrieben.

3.4 Anpassung an Input-Daten

Die händische Anpassung an die Input-Daten beinhaltete den grössten und zeitintensivsten Teil der Modellierung der Felsoberfläche. Dort wo das interpolierte Felsmodell (Schritt 2) von den Bohrdaten um mehr als 10 Meter abweicht, müssen die berechneten Felsisohypsen von Hand in ArcGIS angepasst werden. Je nach Übereinstimmung der Daten und dem Erachten des Autors müssen die Konturlinien der Felsoberfläche unterschiedlich stark verändert werden. Gebiete, in welchen eine Anpassung vorgenommen wurde, werden für eine spätere Qualitätskontrolle visuell klar dokumentiert.

Die Felsisohypsen wurden so angepasst, dass sie den Vorstellungen zum geologischen Verlauf der Felsoberfläche entsprechen. Dies war, aufgrund oft fehlender Zusatzinformationen, nicht immer einfach. So wurden fluvial entstandene Täler eher steil eingeschnitten gezeichnet, während die grossen Gletschertäler eher runde Formen aufweisen. Eine genaues Abbild der tatsächlichen Form darzustellen ist aber, aufgrund fehlender Inputdaten, nicht möglich. Auf das Einfügen von Talachsen wurde bewusst verzichtet. Einerseits ist dies bei glazialen Tälern aufgrund ihrer undulierenden Form nicht sinnvoll und andererseits kann die genaue Lokalität ohne vorhandene Daten nicht genau bestimmt werden. Zusätzlich dazu können ohne Datierungen der Sedimente keine Rückschlüsse auf das Alter und somit die Chronologie der Entstehung der Täler gezogen werden. Die Felsisohypsen bei Mündungen hängender Täler wurden somit fein 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. So wurde die Maximaltiefe von Tälern zum Beispiel nur anhand von Bohrungen und vorhandenen Modelle bestimmt und nicht anhand der Neigung der Felsflanke interpretiert.

Die grosse Schwierigkeit bei der händischen Anpassung und Korrektur der Isohypsen war zu entscheiden, ob die Felsisohypsen angepasst werden müssen oder ob ein Fehler in den Bohrdaten vorhanden ist. So musste immer abgewogen werden, ob die Abweichung zwischen der Interpolationsoberfläche und der Bohrung aufgrund eines Fehlers in den Inputdaten war, oder ob sich der Verlauf der Felsoberfläche so abrupt ändert. Aufgrund nicht immer vorhandener Bohrprofile oder –protokolle war es schwierig zu entscheiden, ob die Angaben der Bohrung stimmen oder nicht. Meistens wurde dann anhand umliegenden Bohrungen und Aufschlüssen entschieden, ob die Bohrung ins Bild passt oder nicht. Wenn ja, wurden die Felsisohypsen rundherum angepasst. Wenn nicht, wurde die Bohrung gelöscht und in einem separaten Dokument abgelegt. Dieses kann bei der Qualitätsbestimmung hinzugenommen werden.

3.5 Finale Interpolation und Kontrolle

Der letzte Schritt beinhaltet die finale Interpolation der nun korrigierten und angepassten Isohypsen. Als Input-Daten für die Interpolation mit "Topo to Raster" dienten die finalen Felsisohypsen zusammen mit den Bohrdaten.

Die berechnete Oberfläche 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).

Eine gute Kontrolle zur korrekten Darstellung des Verlaufs der Felsoberfläche bieten auch jene Bohrungen, welche bei ihrer Endtiefe den Fels nicht erreicht haben. Falls solche Bohrungen vorhanden waren, wurden sie beim Interpolationsverfahren nicht miteinbezogen. Sie können somit bei der Kontrolle verwendet werden: Das Felsmodell muss immer unterhalb der Endtiefe dieser Bohrungen zu liegen kommen.

Wie oben erwähnt, wurden die obigen Schritte pro Kanton ausgeführt. Das Unterteilen der Modellierung in kleinere Gebiete war aus programmbedingtem Grund (schnelleres Arbeiten in ArcGIS und kantonsweise Lieferung der Daten) angebracht. Anschliessend wurden die Felsisohypsen aller Kantone zu einem Raster interpoliert (Toolbox → Spatial Analyst → Interpolation → Topo to Raster).

Schlussendlich wurde die Felsoberfläche in verschiedene Dateien (Raster: „DHM“ und „Hillshade“, Shapefile: Felsisohypsen) umgerechnet und visualisiert. Gebiete wurden unterschiedlich dargestellt, wo die Felsoberfläche durch die Interpolation berechnet wurde und wo eine Korrektur von Hand notwendig war (Abbildung 13). Zusätzlich dazu wurde eine Karte der Dichte der Eingabedaten, die Genauigkeit des Modells sowie eine Karte der Abweichungen der Bohrdaten generiert (Abbildungen 10, 11, 12).

4 Resultate und Beschreibung des DHM Felsoberfläche

4.1 Beschreibung der Resultate

Das DHM der Felsoberfläche besteht aus einem Raster mit einer Zellengrösse von 25 Metern. Das Raster der Quartärmächtigkeit ist ein abgeleitetes Produkt der Felsoberfläche (DHM minus Felsoberfläche) und besitzt ebenfalls eine Maschenweite von 25 Metern. Als Grundlage für die Berechnung der Rasteroberfläche wurden während der Modellierung Isohypsen berechnet (*Kapitel 3.2*), welche manuell an die Daten angepasst wurden. Diese Linien weisen eine Äquidistanz von 10 Metern auf und haben in der Regel eine höhere Genauigkeit als das Felsoberflächenraster.

Die meisten tief eingeschnittenen Rinnen, und die damit meistens assoziierten grossen Mächtigkeit der quartären Sedimente, liegen im Bereich der heutigen grossen Täler mit wichtigen Flussläufen und Seen. Diese Verteilung widerspiegelt die erhöhte Erosion während den verschiedenen Vorstössen der Rhone-, Aare-, Reuss-, Linth- und Rheingletscher im Pleistozän.

Die Tiefe der Felsoberfläche reicht in den grossen Alpentälern (Rhone, Aare, Reuss, Linth, Rhein) bis unter den heutigen Meeresspiegel. Im Mittelland sind die Übertiefungen etwas weniger stark ausgeprägt. Die Mächtigkeit der Quartärsedimente beträgt aber auch dort bis zu mehreren hundert Metern.

Die Karte der Mächtigkeit der Quartärsedimente muss jedoch unter Vorbehalt betrachtet werden. Denn in Gebieten wo heute Seen sind, ist die Mächtigkeit zu hoch. Der Grund dafür ist, dass das DHM25 der Schweiz von Swisstopo die Seeoberfläche als Höhe abbildet und nicht den Seegrund. Das heisst, die Wassertiefe müsste hier noch abgezogen werden, damit die Mächtigkeit der Sedimente auch wirklich stimmt.

4.2 Qualität der Resultate

Obwohl für die Modellierung der Felsoberfläche viele Daten (v.a. Bohrungen) vorhanden waren, besteht 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 dazu sind gerade bei den grossen Übertiefungen – und somit grosser Unbekanntheit über den Verlauf der Felsoberfläche - oft nur wenige Bohrungen vorhanden, die bei ihrer Endtiefe den Fels erreichen.

Die Qualität der Resultate ist somit stark abhängig von der Qualität und Dichte der Input-Daten, der Vorgehensweise bei der Modellierung und der händischen Arbeit des Autors. 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:

Die erste Fehlerquelle sind Mängel bei den Inputdaten. 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 Input verwendet wurden, Ungenauigkeiten aufweisen. Diese Modelle basieren wiederum auf Inputdaten und auf der Interpretation der Autoren und können somit unterschiedliche Qualitäten aufweisen.

Die zweite Fehlerquelle sind die programmbedingten Restriktionen. Einerseits kann bei der Interpolation mit "Topo to Raster" kein Einfluss auf die Interpolationsschritte vorgenommen

werden. So werden Linien während des Prozesses zum Beispiel stärker gewichtet als Punkte. Andererseits ist die Zellengrösse des Rasters von 25 Metern auch nicht überall eine akzeptable Grösse. So gibt es Gebiete wo pro Zelle keine Input-Information vorhanden ist und Regionen bei welchen in einer Zelle mehrere Daten liegen. Die Rastergrösse müsste demnach entsprechend der Inputdaten-Dichte variieren, was für die Weiterverarbeitung aber nicht sinnvoll ist. Hierbei handelt es sich also nicht um Fehler des Modells, sondern um ein Auflösungsproblem.

Schlussendlich ist die Konstruktion durch den Autor stark massgeblich für die Qualität der Resultate. Wie zu Beginn erwähnt (*Kapitel 1.2.*) stellen Modelle immer nur eine Annäherung an die Realität dar. Sie können als möglichen Verlauf betrachtet werden, dürfen aber nicht als absolute Wahrheit angenommen werden. Zusätzlich dazu kann der Qualitätsunterschied zwischen automatischer Interpolation und Anpassung von Hand 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 wird das Modell in Schritt 4 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.

5 Haftungsausschluss

Obwohl GeoMol das Felsoberflächenmodell unter Beachtung aller Sorgfalt auf die Richtigkeit erstellt hat, kann hinsichtlich der inhaltlichen Richtigkeit, Genauigkeit, Aktualität, Zuverlässigkeit und Vollständigkeit des Modells keine Gewährleistung übernommen werden. Die Haftung wird, soweit gesetzlich zulässig, ausgeschlossen.

6 Weiterführende Dokumente

- [3D-Geologie in der Landesgeologie: Qualitätssicherungs-Konzept](#)
- [Qualitätssicherung bei der Integration von Bohrdaten in eine Datenbank: Journal](#)

7 Liste und Beschreibung der digitalen abgegebenen Daten

Vorhandene Daten und deren Format pro Kanton oder schweizweit:

Datei	Name	Beschreibung	Format
Felsoberfläche DHM	fels_kanton.tif	Felsoberfläche in m.ü.M.	Raster, 25 Meter
Hillshade	hill_kanton.tif	Relief der Felsoberfläche	Raster, 25 Meter
Mächtigkeit der Lockergesteine	locker_kanton.tif	Mächtigkeit in m	Raster, 25 Meter
Felsisohypsen	isohyps_kanton	Felsisohypsen mit einer Äquidistanz von 10 m	Linien-Shapefile
Bohrdaten	bohrungen_kanton	Alle verwendeten Bohrdaten	Punkte-Shapefile
Aufgeschlossener Fels	aufgeschl_kanton	Gebiete wo der Fels aufgeschlossen ist	Polygon-Shapefile
Angepasste Bohrdaten	angepasst_kanton	Bohrungen, um welche die Isohypsen angepasst werden mussten	Punkte-Shapefile
Gebiete mit manueller Anpassung	angepasst_buffer_kanton	Gebiete, wo die Isohypsen angepasst werden mussten	Polygon-Shapefile
Gelöschte Bohrdaten	geloescht_kanton	Bohrdaten, welche nicht ins Bild passen	Excel-Tabelle

8 Referenzverzeichnis

- 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, Paffhausen.
- 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.
- Bodmer, Ph., Gunzenhauser, B., Iseli, B.-F., Manser, M., 1996: Quartärmächtigkeiten in den Haupttälern der Zentralschweiz. Bull. Angew. Geol.
- 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. von Moos AG, 2012: Grundwasserstudie Bülach – Hochfelden: Auswertung der Bohrkampagne 2011 / 2012 (Bericht Nr. 9666_9667), Zürich: AWEL, Abt. Gewässerschutz.
- 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.
- 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.
- Fiore, J., 2007. Quaternary Subglacial Processes in Switzerland: Geomorphology of the Plateau and Seismic Stratigraphy of Western Lake Geneva. In: Terre et Env. 69. Université de Genève, Switzerland, pp. 169.
- 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. Unpublizierter Karte in Zusammenarbeit mit der Abteilung Umweltschutz des Kantons Aargau (Plot GIS-Datensätze).
- Graf, H.R., 2007: Isohypsenkarte der plio-pleistozänen Rinnen und Becken im Gebiet von Atlasblatt Baden, Tafel 2. In: Bitterli-Dreher, P., Graf, H.R., Naef, H., Diebold, P., Matousek, F., Burger, H., Pauli-Gabi, T., 2007: Blatt 1070 Baden. Geol. Atlas Schweiz 1:25'000, Erläuterungen 120.
- Graf, H.R., 2009: Stratigraphie von mittel- und Spätpleistozän in der Nordschweiz. Beiträge zu Geologischen Karte der Schweiz, 168.
- Graf, H.R., Willenberg, H., 2011a: Isohypsenkarte der pleistozänen Rinnen und Becken im Gebiet von Atlasblatt Aarau, Tafel 3. In: Jordan, P., Graf, H.R., Eberhard, M., Jost, J., Kälin, D., Bitterli-Dreher, P.H., 2011: Blatt 1089 Aarau. Geol. Atlas Schweiz 1:25'000, Erläuterungen 135.
- Graf, H.R., Willenberg, H., 2011b: Isohypsenkarte der pleistozänen Rinnen und Becken im Gebiet von Atlasblatt Murgenthal, Tafel 2. In: Bitterli, T., Jordi, H.A., Gerber, M.E., Gnägi, C., Graf, H.R., 2011: Blatt 1108 Murgenthal. Geol. Atlas Schweiz 1:25'000, Erläuterungen 113.
- Graf, H.R., Willenberg, H., 2012: Isohypsenkarte des Felsuntergrunds im Gebiet von Atlasblatt Schöftland, Tafel 3. In: Graf, H.R., Jost, J., Eberhard, M., Krusse, H., Kempf, O., 2012: Blatt 1109 Schöftland. Geol. Atlas Schweiz 1:25'000, Erläuterungen 150.
- Graf, H.R., Willenberg, H., 2014: Isohypsenkarte der pleistozänen Rinnen und Becken im Gebiet von Atlasblatt Balsthal und Nordteil von Atlasblatt Solothurn, Tafel 3. In: Bläsi, H.R., Gygi, R., Gnägi, C., Graf H.R., Jordan, P., Laubscher H.P., Herold, T., Schlanke, S., Burkhalter R., Kälin D., 2014: Blatt 1107 Balsthal. Geol. Atlas Schweiz 1:25'000, Erläut. 139.
- Grünenfelder, T., 1989: Gravimetrische Bestimmung der Quartärmächtigkeit am Zusammenfluss von Rhein und Seez. 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 Zuzach. 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-/Seeztal - 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 Quaternaire 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: Baugrunderkarte Schaffhausen 1:10'000. Beiträge zur Geologie der Schweiz, geotechnische 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.

9 Anhang

9.1 Verwendete Daten pro Kanton

Kanton	Daten	Modelle
AG	Kantonale Bohrdaten GA25-Bohrdaten GeoMol Datenbank Aufzeit-Bohrungen	Jordan Graf Atlasblätter: Aarau, Baden, Murgenthal, Schöftland
AI	Kantonale Bohrdaten Aufzeit-Bohrungen	
AR	Kantonale Bohrdaten GA25-Bohrdaten GeoMol Datenbank Aufzeit-Bohrungen	
BE	Kantonale Bohrdaten	Kantonales Modell
FR	Kantonale Bohrdaten GA25-Bohrdaten GeoMol Datenbank	Fiore Jordan
GE	Kantonale Bohrdaten	Kantonales Modell Fiore
GL	Kantonale Bohrdaten	Wildi
GR	Kantonale Bohrdaten	Schälli Klingelé
LU	Kantonale Bohrdaten GA25-Bohrdaten GeoMol Datenbank Aufzeit-Bohrungen	Jordan Wildi
NE	Kantonale Bohrdaten GA25-Bohrdaten	Fiore
NW	Kantonale Bohrdaten GeoMol-Datenbank Aufzeit-Bohrungen	Nagra (Geotest) Klingelé
OW	Kantonale Bohrdaten Aufzeit-Bohrungen	Bodmer
SH	Kantonale Bohrdaten GeoMol-Datenbank	Jordan
SO	Kantonale Bohrdaten GA25-Bohrdaten GeoMol Datenbank Aufzeit-Bohrungen	Kantonales Modell Jordan Atlasblätter: Aarau, Balsthal, Murgenthal
SG	Kantonale Bohrdaten GA25-Bohrdaten GeoMol Datenbank Aufzeit-Bohrungen	Schälli Klingelé Wildi Atlasblatt: Romanshorn
TI	Kantonale Bohrdaten GeoMol Datenbank	Klingelé

TG	Kantonale Bohrdaten GA25-Bohrdaten GeoMol Datenbank Aufzeit-Bohrungen	Jordan Atlasblatt: Romanshorn
UR	Kantonale Bohrdaten GeoMol Datenbank Aufzeit-Bohrungen	Wildi Klingelé
VD	Kantonale Bohrdaten GA25-Bohrdaten	Kantonale Modelle
VS	Kantonale Bohrdaten GeoMol Datenbank	Klingelé
ZH	Kantonale Bohrdaten GA25-Bohrdaten GeoMol Datenbank Aufzeit-Bohrungen	Jordan Graf Atlasblätter: Uster, Winterthur, Zürich
ZG	Kantonale Bohrdaten GA25-Bohrdaten GeoMol Datenbank Aufzeit-Bohrungen	Wildi

Die obenstehende Tabelle zeigt die verwendeten Inputdaten für die Modellierung der Felsoberfläche. Viele der bereits vorhandenen Felsisohypsenkarten beinhalten ihrerseits diverse ältere Felsoberflächenkarten. Diese sind in dieser Tabelle jedoch nicht aufgelistet, werden aber im Kapitel 2.3 aufgezeigt.

Die Bohrdaten aus der "Datenbank GeoMol" beinhalten die Tiefbohrungen, Daten externen Lieferanten (siehe Kapitel 2.1) und zum Teil durch GeoMol erfasste kantonale Bohrdaten.

9.2 Felsoberfläche

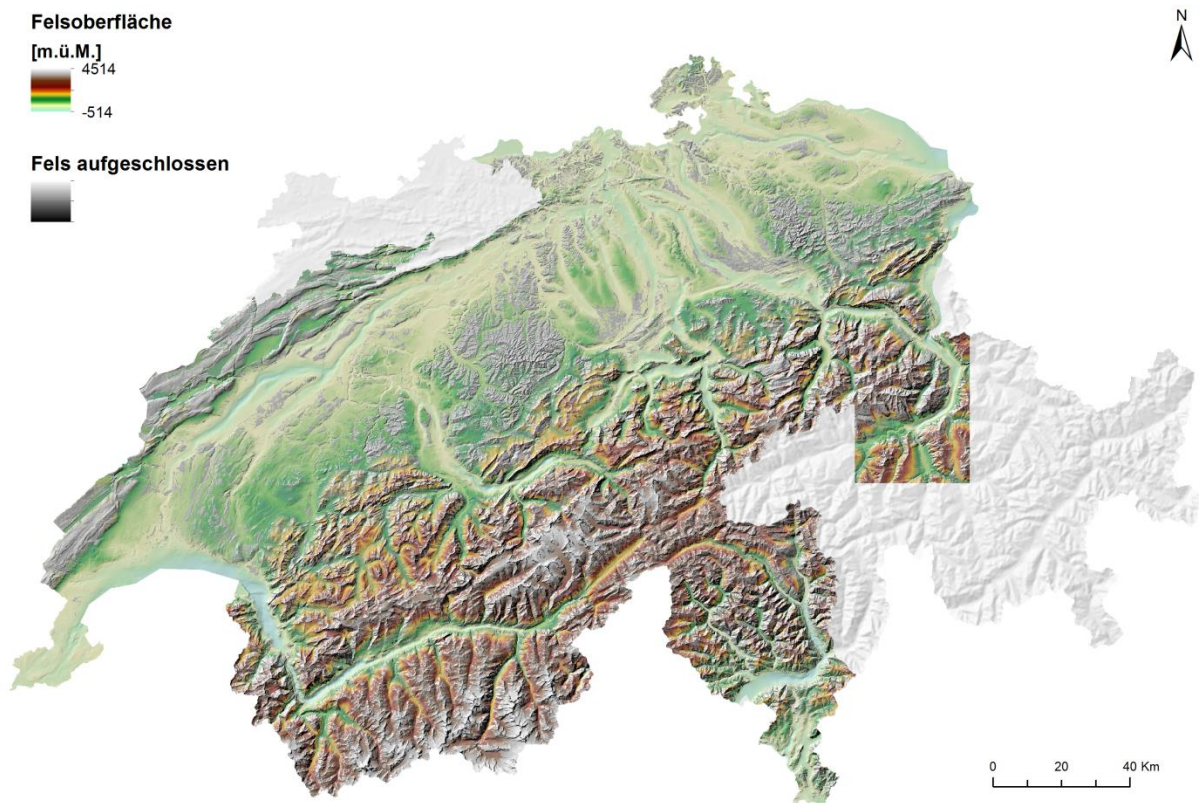


Abbildung 6: Felsoberfläche in m.ü.M. als Rasteroberfläche und Relief mit einer Maschenweite von 25 Metern.

9.3 Quartärmächtigkeit

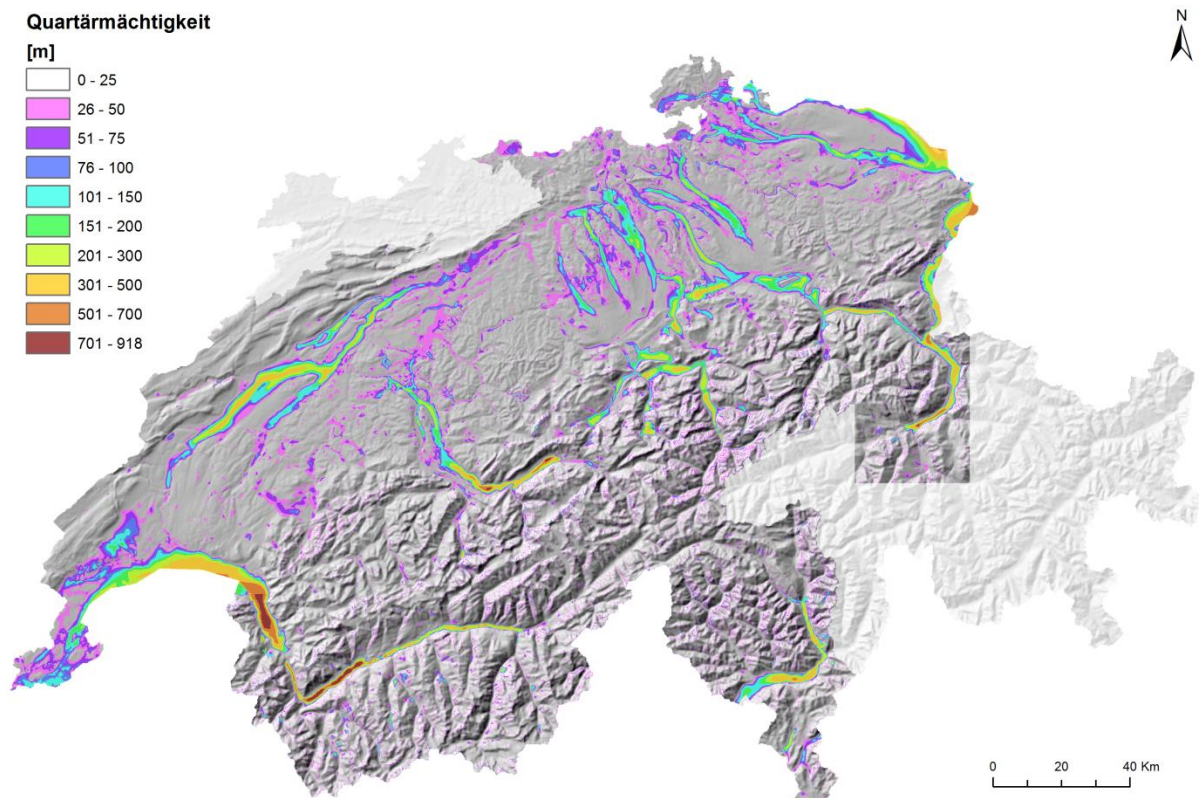


Abbildung 7: Mächtigkeit der quartären Sedimente in Meter. In Gebieten der Seen ist die Wassertiefe auch mitgerechnet (DHM25 der Swisstopo nur mit Seespiegel und nicht mit Seegrund vorhanden).

9.4 Felsisohypsen

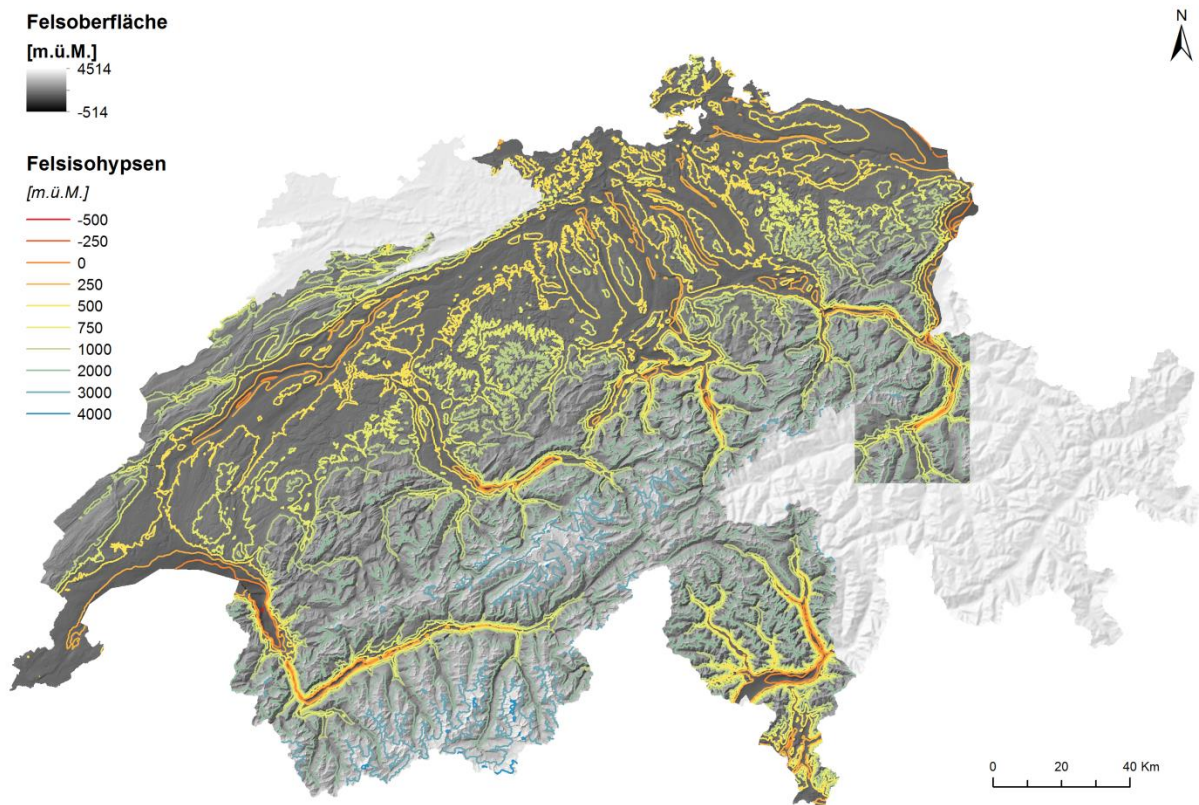


Abbildung 8: Karte der Felsisohypsen im Metern über Meer. Hier dargestellt ist eine Äquidistanz von bis zu 1000 Metern, der Abstand der Originaldaten beträgt 10 Meter.

9.5 Bohrdaten

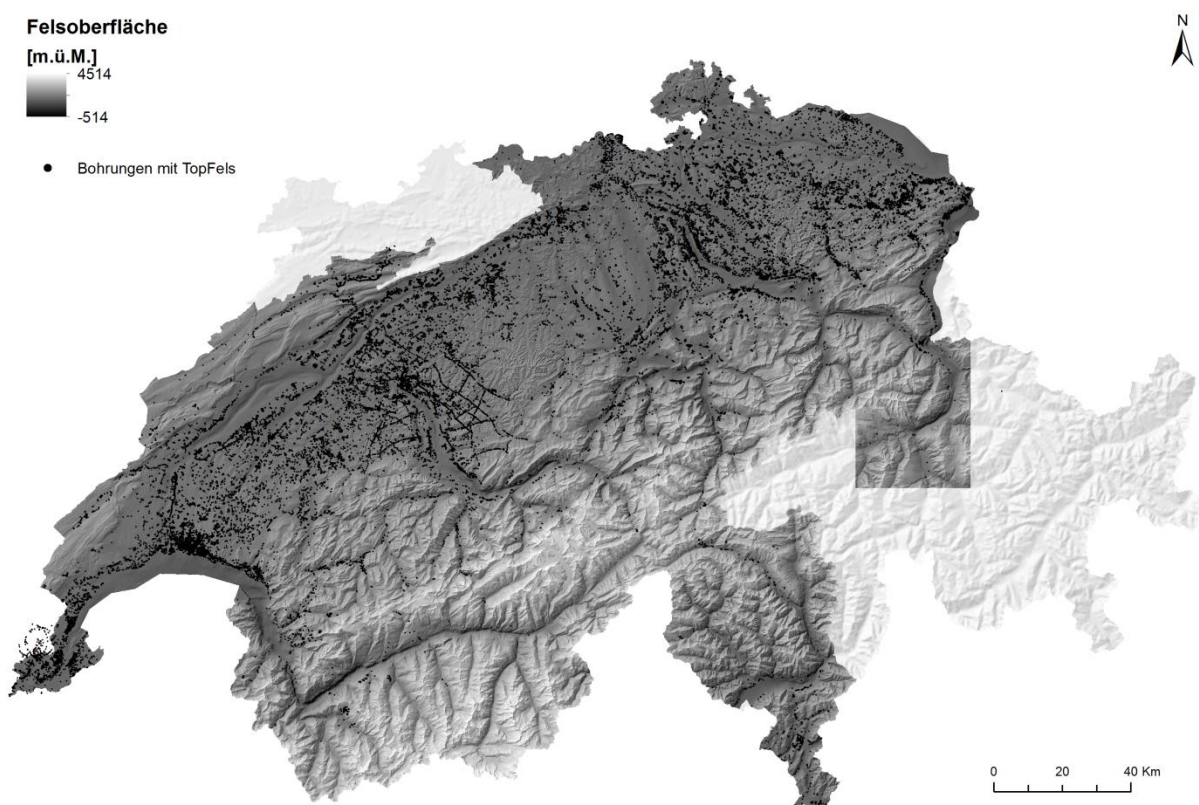


Abbildung 9: Karte der verfügbaren Bohrdaten (schwarz). Klar ersichtlich ist der Unterschied der Dichte der Inputdaten.

9.6 Bohrdichte

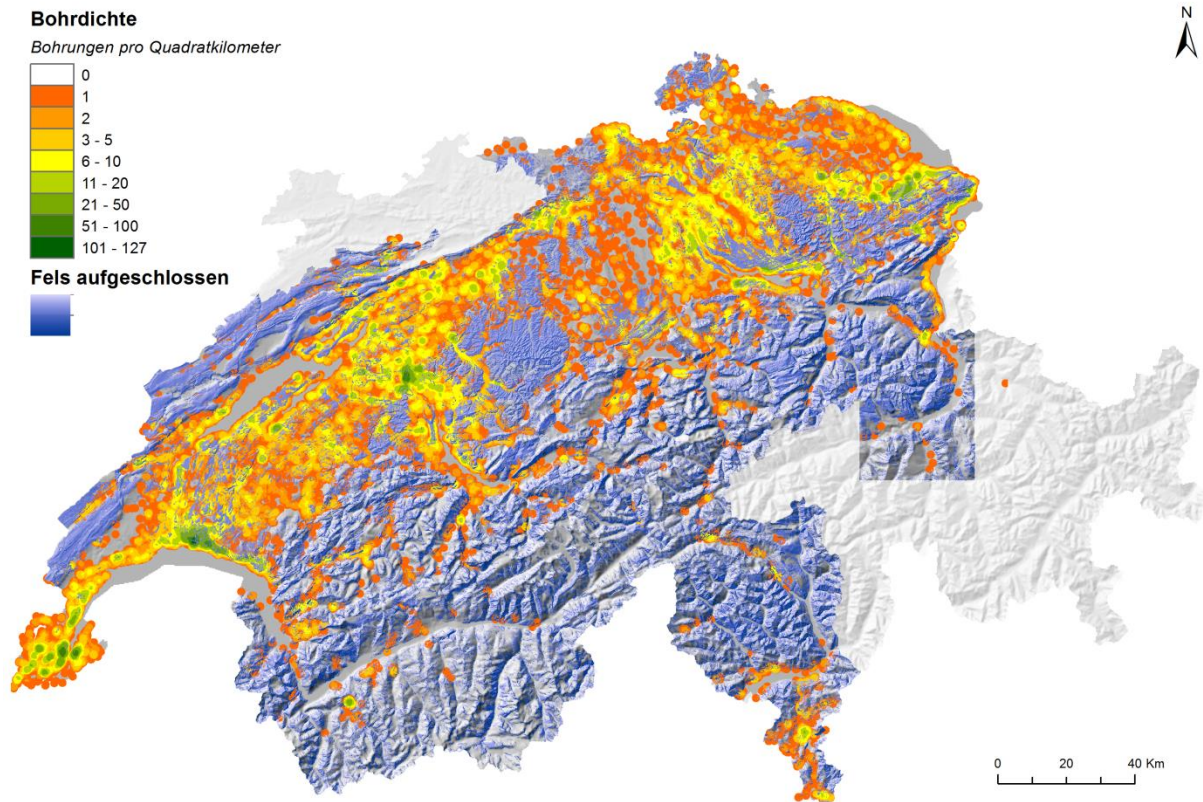


Abbildung 10: Karte der Bohrdichte (pro Quadratkilometer) mit Fels aufgeschlossen (blau).

9.7 Abweichung der Bohrdaten zum Felsoberflächenmodell

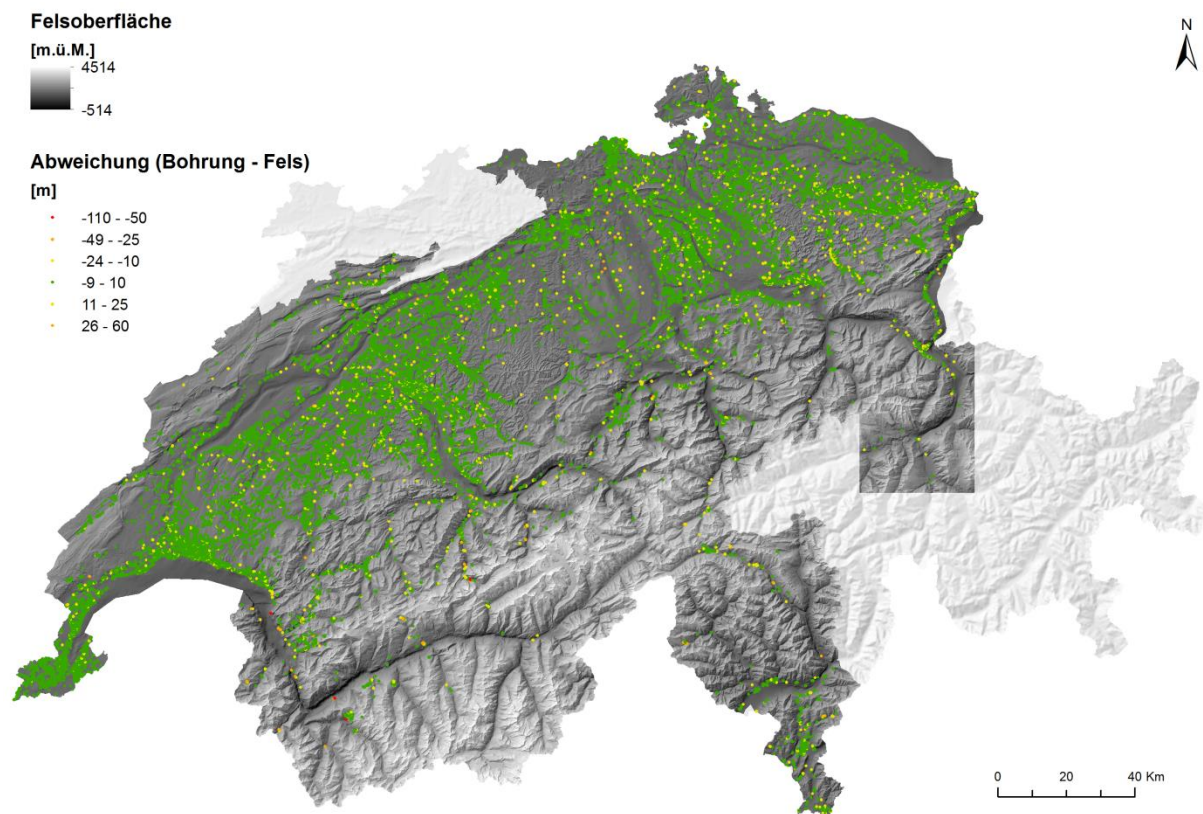


Abbildung 11: Finale Abweichung der Bohrdaten zum Felsoberflächenmodell. Die meisten Differenzen sind kleiner als 10 Meter (grün). Der Grund für die grösseren Abweichungen (orange und rot) ist die nicht immer optimale Rasterzellengrösse von 25 Metern (zu viele Informationen pro Zelle).

9.8 Genauigkeit

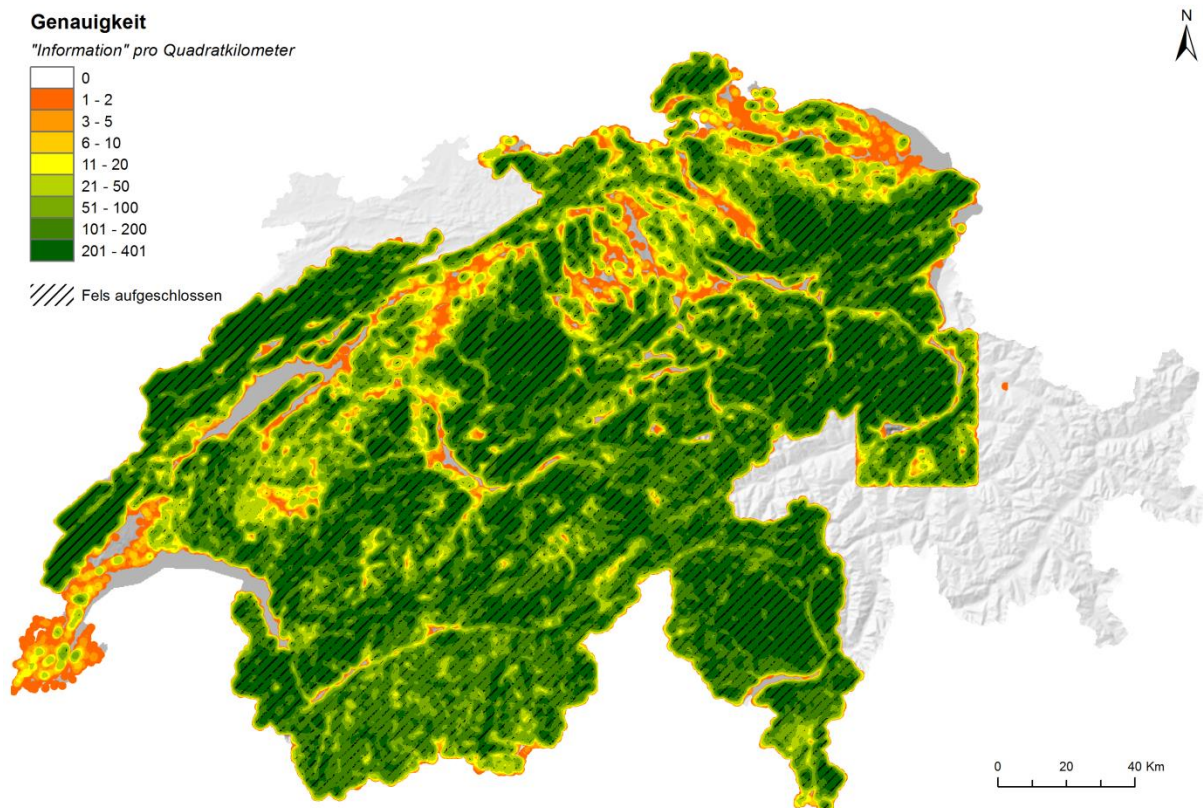


Abbildung 12: Genauigkeit des Modells: Anzahl Informationen pro Quadratkilometer aus Bohrdaten und Gebieten wo der Fels aufgeschlossen ist (eine Zelle mit Felsaufschluss entspricht einer Information).

9.9 Gebiete mit manueller Anpassung

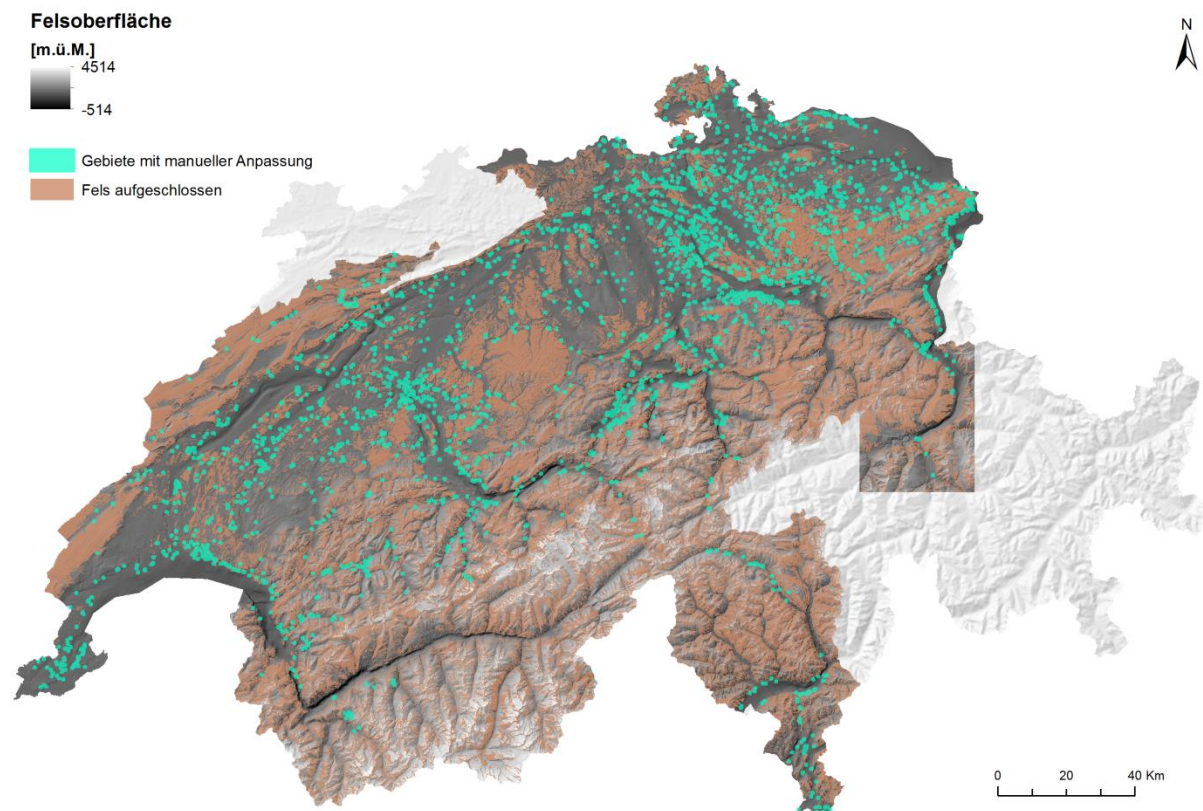


Abbildung 13: Gebiete mit manueller Anpassung der berechneten Isohypsens (grün) und aufgeschlossener Fels (braun).