

|                     |  |
|---------------------|--|
| <b>Zeitschrift:</b> | Swiss bulletin für angewandte Geologie = Swiss bulletin pour la géologie appliquée = Swiss bulletin per la geologia applicata = Swiss bulletin for applied geology |
| <b>Herausgeber:</b> | Schweizerische Vereinigung von Energie-Geowissenschaftern;<br>Schweizerische Fachgruppe für Ingenieurgeologie  |
| <b>Band:</b>        | 27 (2022)  |
| <b>Heft:</b>        | 1  |
| <b>Artikel:</b>     | St. Galler Rheintal - Datenaufbereitung des Untergrunds 3D : Rekapitulation des Vortrags anlässlich der SFIG-Tagung vom 24.9.2021 in Olten                         |
| <b>Autor:</b>       | Müller, Roger / Wehrens, Philip  |
| <b>DOI:</b>         | <a href="https://doi.org/10.5169/seals-1036130">https://doi.org/10.5169/seals-1036130</a>  |

### Nutzungsbedingungen

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

### Conditions d'utilisation

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

### Terms of use

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

**Download PDF:** 14.01.2026

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

# St. Galler Rheintal – Datenaufbereitung des Untergrunds 3D: Rekapitulation des Vortrags anlässlich der SFIG-Tagung vom 24.9.2021 in Olten

Roger Müller<sup>1</sup>, Philip Wehrens<sup>2</sup>

## Abstract

Post-glacial sedimentary deposits along major Alpine valleys host large groundwater aquifers and are often used as drinking water resources. In the Alpine Rhine Valley of the canton St. Gallen (Switzerland), comprised of populated areas and intense agricultural land use, the bulk of the drinking water is extracted from such recent unconsolidated deposits. A detailed understanding of the lithostratigraphical architecture of these deposits is considered a key prerequisite for future sustainable and efficient drinking water usage. Authorities, such as the canton's Amt für Wasser und Energie AWE, hold a detailed archive of borehole data which can be used as a basis for the visualization and 3D-modelling of unconsolidated deposits. Here, we present the digital acquisition of data from 3379 cantonal boreholes, 2912 of which contain geological profiles, distributed over a project area of 228.3 km<sup>2</sup>, reaching from the village of Buchs in the south to Lake Constance in the north. In addition to base information about the borehole, detailed sedimentary information in the form of 32 different attributes was also recorded for a total of 21603 individual sedimentary layers within these boreholes. A geological concept was developed, harmonized according to spatial relationships, integrated into the dataset and finally tested and improved by iterative 3D-modelling of the harmonized dataset. The original information from boreholes remains untouched and is stored as such, making it easily accessible. The resulting digital borehole dataset - intended to be developed further - serves as the basis for both local and regional geological and hydrogeological 3D-models. The feasibility of using this dataset for 3D-modelling is clearly demonstrated here by the creation of a first regional geological 3D-model for the project area.

## Zusammenfassung

In der mächtigen, weiten Trogfüllung des St. Gallischen Alpenrheintals wird inmitten intensiver landwirtschaftlicher Nutzungen und dicht-bewohnter Siedlungen der überwiegende Grossteil des Trink-

wassers im Lockergesteins-Grundwasserleiter rezenten Sedimentablagerungen gewonnen. Im Hinblick auf eine nachhaltige und effiziente Nutzung des Grundwasservorkommens ist ein fundiertes Verständnis der bestehenden Lockergesteinsarchitektur zentral. Das Amt für Wasser und Energie des Kantons St.Gallen (AWE) verwaltet einen reichhaltigen Bestand an Bohrdaten, welcher auch als Grundlage für Visualisierungen und 3D-Modellierungen der Lockergesteine zur Verfügung steht. Im Rahmen der hier präsentierten Arbeit wurde im Projektgebiet Buchs bis Bodensee auf einer Fläche von 228.3 km<sup>2</sup> der gesamte kantonale Datensatz an 3379 Bohrungen, deren 2912 mit Bohrprofil, erfasst. Dabei wurden neben Angaben zur Bohrung selbst, 21603 individuelle lithostratigraphische Schichten mit jeweils 32 Datenfeldern je Schicht sowie detaillierter Angaben zur jeweiligen Lagegenauigkeit im 3D-Raum digital erfasst. Im Rahmen der Datenerfassung wurde ein Geologisches Konzept entwickelt, der Datensatz nachträglich gemäss Konzept anhand räumlicher Betrachtungen harmonisiert und durch iterative 3D-Modellierung verbessert. Dabei verblieben die Originaldaten ab Bohrprofil gesichert. Die Digitalisierung und Erfassung der Bohrungen dient der Erarbeitung künftiger regionaler, geologischer und hydrogeologischer 3D-Datenmodelle und soll laufend weiterentwickelt werden. Die Machbarkeit entsprechender 3D-Modelle wird anhand eines ersten regionalen geologischen 3D-Basismodells für das Projektgebiet demonstriert.

## 1 Einleitung

Ein grosser Teil des oberflächennahen Untergrundes in der Schweiz besteht aus Lockergesteinsablagerungen. Eine Vielzahl unterirdischer Nutzungen finden in den überwiegend unverfestigten Gesteinsschichten statt (Fig. 1). Die Sedimente beherbergen mehr als die Hälfte der Trinkwasserressourcen der Schweiz und stellen bedeutende Rohstoffvorkommen (Kiese und Sande) dar. Sie spielen auch eine wichtige Rolle in der baulichen Umgebung

<sup>1</sup> Dr. Bernasconi AG, Ragazerstrasse 29, CH-7320 Sargans

<sup>2</sup> Bundesamt für Landestopografie swisstopo Seftigenstrasse 264, CH-3084 Wabern

(Siedlungen, Straßen und Tunnelprojekte). Dies trifft auch auf die mächtige, weite Trogfüllung im St. Gallischen Alpenrheintal zu, wo zwischen intensiven landwirtschaftlichen Nutzungen und dichtbewohnten Siedlungen der Grossteil des Trinkwassers im Lockergesteins-Grundwasserleiter rezenter Sedimentablagerungen gewonnen wird. Im Hinblick auf eine nachhaltige und effiziente Nutzung des Grundwasservorkommens ist ein fundiertes Verständnis der bestehenden Lockergesteinsarchitektur von zentraler Bedeutung.

Das Amt für Wasser und Energie des Kantons St.Gallen (AWE) hat zur systematischen Digitalisierung seines reichhaltigen Bestandes an Bohrlochdaten die Dr. Bernasconi AG, Sargans (DBAG) mit der Erfassung von 3379 Bohrungen im unteren Rheintal im Projektgebiet Buchs bis Bodensee beauftragt. Die Digitalisierung und Erfassung der Bohrungen dient der Erarbeitung regionaler, geolo-

gischer und hydrogeologischer 3D-Modelle und soll laufend weiterentwickelt werden. Die Machbarkeit entsprechender 3D-Modelle wird anhand eines ersten regionalen geologischen 3D-Basismodells für den Perimeter demonstriert.

Zur Beratung hat das AWE das Bundesamt für Landestopographie swisstopo beigezogen. Die swisstopo berät das AWE bei Umgang und Nutzung der kantonalen Daten und stellt das seitens der swisstopo entwickelte Datenmodell für u.a. Lockergesteine [3] [4], als Grundlage zur systematischen und schichtweisen Erfassung von Bohrungen bereit. Die Erarbeitung eines Geologischen Konzepts, die Anpassung des Datenmodells für Lockergesteinsabfolgen auf die lokale Geologie, die Digitalisierung der lithostratigraphischen Information und eine nachträgliche Harmonisierung, wurde in Zusammenarbeit mit der DBAG als lokale geologische Experten reali-

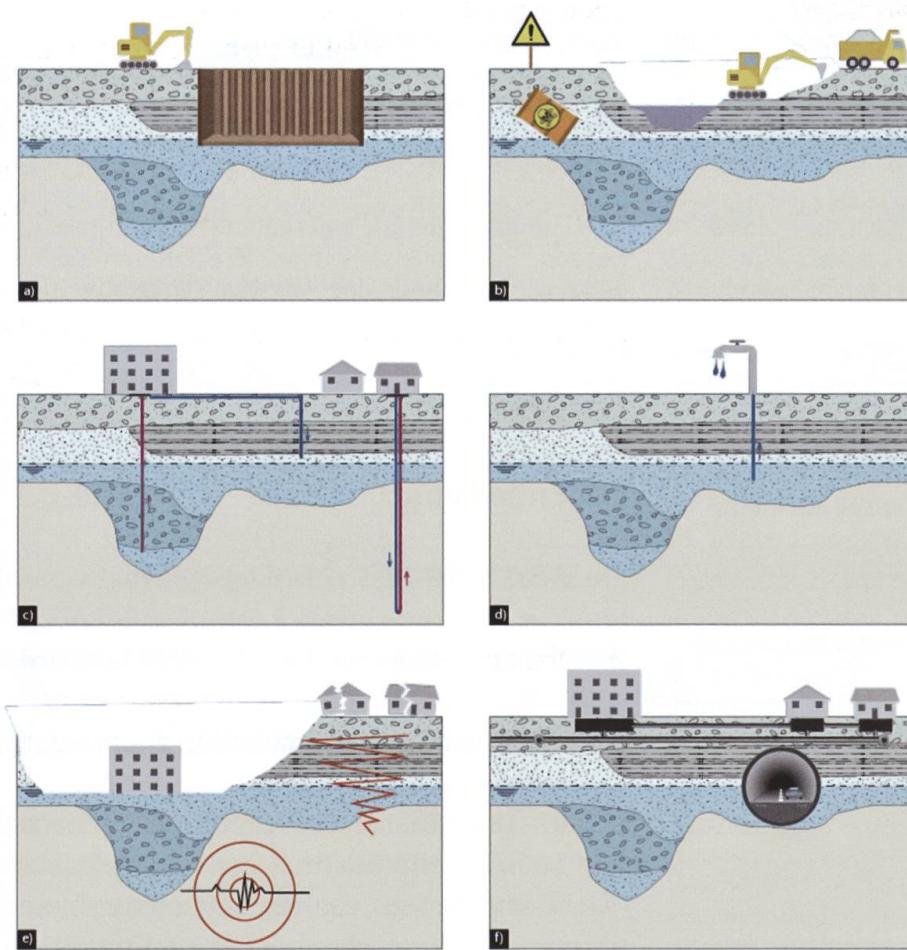


Fig 1: Verschiedene Nutzungen im Lockergestein, wobei die Eigenschaften der quartären Lockergesteine eine entscheidende Rolle spielen. a) Baugrund und Geotechnik, b) Materialbesitzwirtschaftung, c) tiefer Geothermie, d) Grundwassergewinnung, d.h. Trink- und Brauchwasser, e) Naturgefahrenprävention, f) «Building Information Modeling (BIM)» (Figur swisstopo).

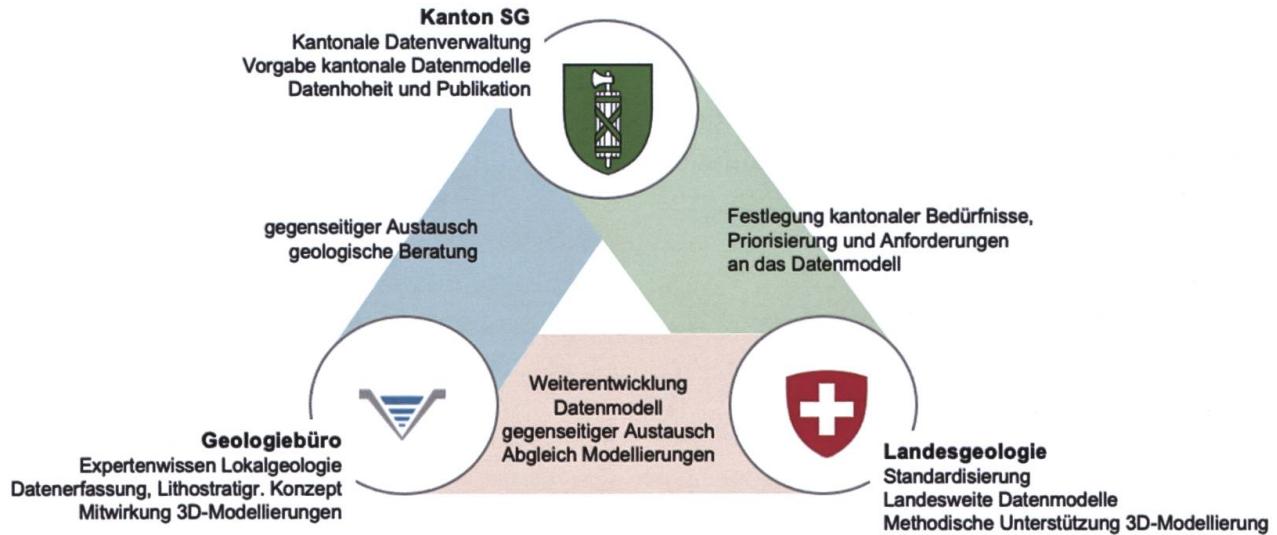


Fig. 2: Zusammenarbeit Landesgeologie, Kanton und Privatwirtschaft.

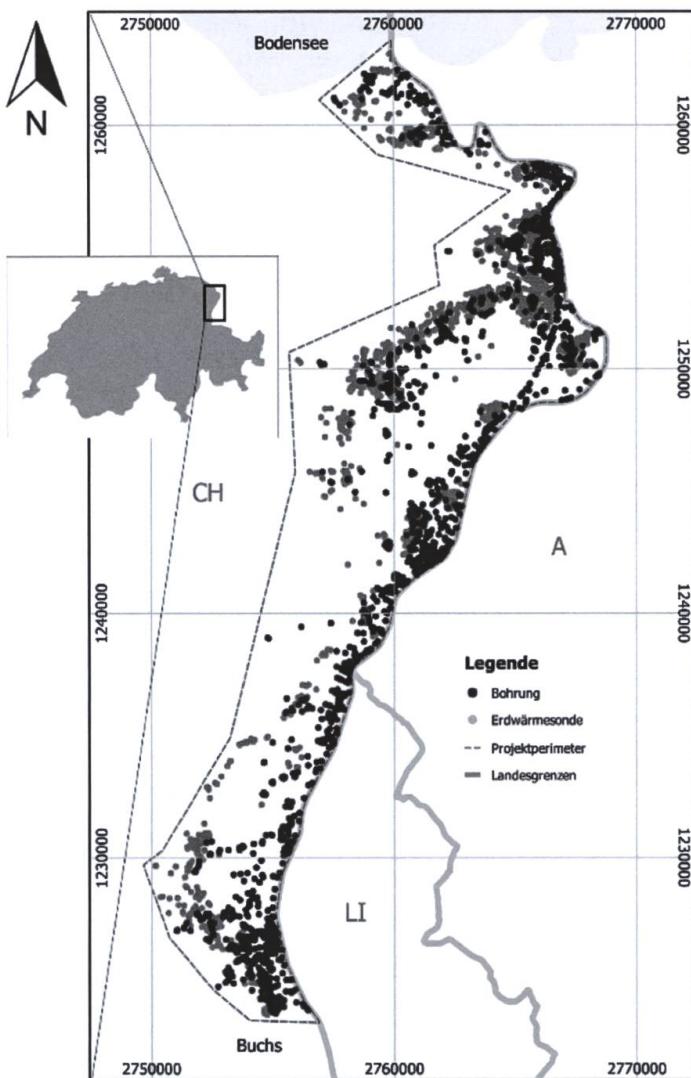


Fig. 3: Projektperimeter und Datensatz; Bohrungen (3479 Stück, 100.0%) und Erdwärmesonden (1685 Stück, 48.4%) im Projektperimeter mit den Landesgrenzen Schweiz (CH), Fürsten-tum Liechtenstein (FL) und Österreich (A).

siert. Die vom AWE geforderte Erweiterungen in Bezug auf die Hydrogeologie wurden von der DBAG und der swisstopo gemeinsam eingearbeitet und liefern einen Beitrag zum swisstopo-Datenmodell Bohrdaten – Modul Hydrogeologie [5]. Schliesslich unterstützt die swisstopo das AWE bei der Methodik der geologischen 3D-Modellierung mit seinem Workflow zur Erstellung von geologischen 3D-Modellen aus solchen Daten [6].

Das Resultat dieser engen Zusammenarbeit zwischen Bund, Kanton und der Privatwirtschaft (Fig. 2) ist ein reicher standardisierter und digital greifbarer Datensatz von über 3'000 Bohrlochstandorten und ein erstes regionales 3D lithostratigraphisches Basismodell für das untere Rheintal (Projektperimeter, vgl. Fig. 3).

## 2 Methoden

### 2.1 Workflow

In Figur 4 ist der Workflow ab Datenerfassung bis hin zur Erstellung erster 3D-Modellierungen mit den für die einzelnen Arbeitsschritte zuständigen Projektpartnern dargestellt. Der gesamte Workflow konzentriert sich in einem ersten Teil auf die Eingangsdaten:

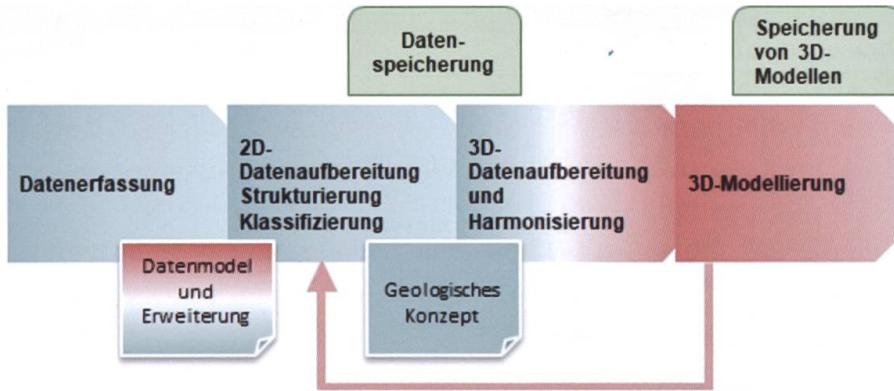


Fig. 4: Workflow mit Rollenverteilung im Projekt «St. Galler Rheintal – Datenaufbereitung des Untergrunds 3D». Dr. Bernasconi AG, Sargans (blau), Bundesamt für Landestopographie swisstopo, Wabern (rot) und Amt für Wasser und Energie des Kantons St.Gallen (grün).

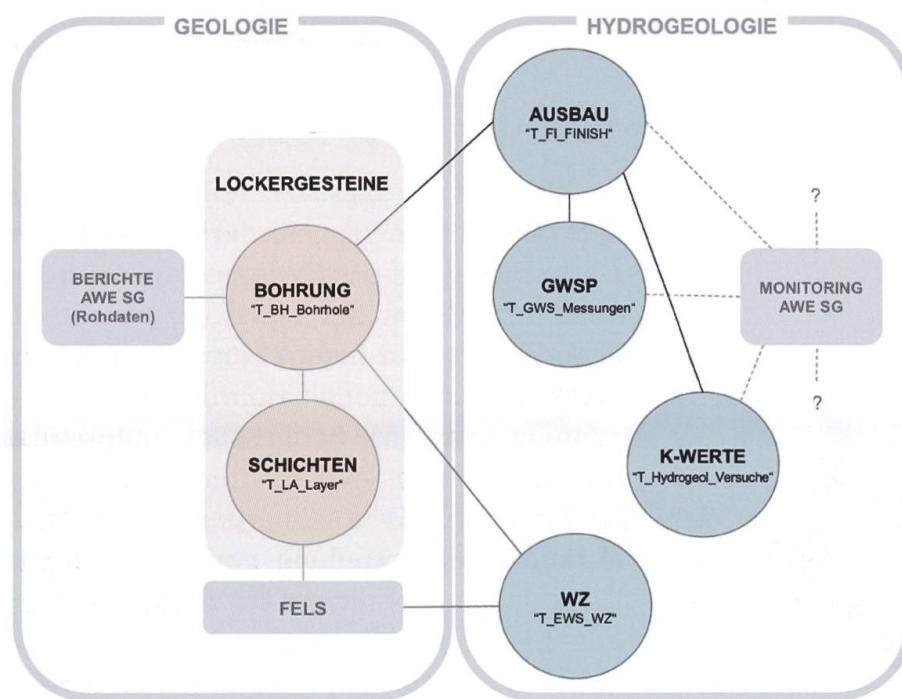


Fig. 5: Datenmodell Datenbank-Tabellen (Kreise) mit Originalnamen in Anführungszeichen für die Beschreibung der Lockergesteine (lachs): generelle Eckdaten zur Bohrung (BOHRUNG) und schichtweise Erfassung der Lockergesteins-Schichten (SCHICHTEN). Erweiterung Hydrogeologie (blau) mit Angaben zum Ausbau der Bohrung (AUSBAU), Grundwasserspiegel-Messungen (GWSP), Erfassung hydrogeologischer Versuche (K-WERTE) und Wasseraustritte bei Erdwärmesondenanlagen (WZ). – Nicht Teil der Datenbank (grau): Berichte AWE, Felsstrecke (FELS, mit Ausnahme der obersten Felsschicht) und Zeitreihen (Monitoring AWE).

- Erweiterung ursprüngliches Datenmodell swisstopo (vgl. Kapitel 2.2)
- Erarbeitung Geologisches Konzept (vgl. Kapitel 2.3)

Erst nach Abschluss dieser Schritte erfolgte die eigentliche Datenerfassung, die 2D-Datenaufbereitung (Strukturierung, Klassifizierung), eine Harmonisierung der Daten gemäss Geologischem Konzept und der 3D-Modellierungsprozess zur Generierung des 3D-Modells.

## 2.2 Datenmodell swisstopo und Erweiterung

Das swisstopo Datenmodell Bohrdaten – Module: Geology [4] ermöglicht neben der Beschreibung der Stammdaten des Bohrlochs die Beschreibung der Einzelschichten einer Bohrung anhand einer Vielzahl von Attributen. Die detaillierte Attributierung der erfassten Daten bildet die essentielle Datenbasis für die Erstellung von 3D-Modellen. Die Attribute beschreiben unter anderem die Schichtbegrenzung, die lithologische Originalbeschreibung, die lithogenetische

und lithostratigraphische Originalinterpretation, geotechnische Parameter (Plastizität, Kohäsion, Lagerungsdichte, Feuchte, etc.).

Einleitend wurde das ursprüngliche Datenmodell (Stand: 11.10.2018) [4] in enger Zusammenarbeit zwischen AWE, DBAG und der swisstopo im Hinblick auf die Erfassung hydrogeologischer Daten erweitert:

- Erfassung Ausbau der Bohrung (Filter, Piezometer, Abstichpunkte),
- Erfassung Grundwasserspiegel-Messungen und Hydrogeologische Versuche,
- Erfassung Wasserzutritte bei Erdwärmesondenanlagen,
- Erfassung einer Qualitätsbewertung für die Schichtbeschreibung.

Zur Entwicklung der Erweiterung des Datenmodells [4] wurde ein erster Testdatensatz mit 654 Bohrungen (SG0-SG653) erfasst. Anhand des Testdatensatzes wurde Form und Inhalt des erweiterten Datenmodells swisstopo abschliessend festgelegt. Mittels der Erweiterung des Datenmodells swisstopo [4] wurde insbesondere die Miterfassung hydrogeologischer Informationen in den Bohrprofilen und aus den Berichten ermöglicht. Bei der Erfassung der Bohrprofile wurde für sämtliche PDF-Dateien eine OCR-Texterkennung umgesetzt.

Eine Übersicht der Datenfelder und Datenbank-Tabellen samt deren gegenseitigen Beziehungen sind Tabelle 1 und Figur 5 zu entnehmen. Einzelne Datenfelder im ursprünglichen Datenmodell wurden gemäss der Vorgaben von swisstopo und AWE nicht erfasst (vgl. Tabelle 1). In Tabelle 2 sind die Definitionen für Datenfelder gemäss Erweiterung des Datenmodells swisstopo und für die einzelnen Datenbank-Tabellen aufgeführt.

Die Datenerfassung erfolgte grob in zwei Schritten: Einer Ersterfassung ohne Erfassung der Lithostratigraphie (inkl. Zusatzer-

fassung von 191 Bohrungen ab der Datenbank DBAG) und einer Zweiterfassung inkl. Erfassung der Lithostratigraphie. Das geologische Konzept der lithostratigraphischen Erfassung wurde schrittweise entwickelt (vgl. Kapitel 2.3).

Eine detaillierte Dokumentation des Datenmodells swisstopo gemäss Objektkatalog «Datenmodell Bohrdaten - Module: Geologie» [4] und «Datenmodell Bohrdaten - Module: Hydrogeologie» [5].

## 2.3 Geologisches Konzept

Im Untersuchungsgebiet bestand bisher keine einheitliche Systematik der quartären Lockergesteine. Entsprechend der bisher fehlenden Systematik wurden in den Originaldaten (Feld: ORIG\_GEOL) sehr vielfältige Beschreibungen der lithostratigraphischen Einheiten erwartet. Für die Erfassung und weitere Verwendung der Daten war daher eine Vereinheitlichung vorgesehen. Im Rahmen des Auftrags wurde ein lithostratigraphisches Modell entwickelt. Dieses basiert auf der Struktur des Datenmodells swisstopo [4]. Als Basis für die Arbeiten im Rheintal wurde dabei die geologische Arbeit von Markus Eberle (1987) [1] verwendet, welche die stratigraphischen Einheiten im Untersuchungsgebiet in einem regionalen Rahmen unterscheidet. Dabei wurde die in den Originaldaten sehr vielfältige lithostratigraphische Klassierung auf eine beschränkte Anzahl lithostratigraphischer Einheiten zusammengeführt (Feld: TYP\_SPEZ). Lokalformationen wurden anhand ihrer geographischen Lage mittels eines Zusatzfelds weiter differenziert (Feld: LOK\_FORM, hauptsächlich Bachschuttkegel nebst Rheinschottern und den Bergsturzablagerungen von Salz-Sennwald). Die gewählten lithostratigraphischen Einheiten und deren räumlich-stratigraphischen Beziehungen sind in Figur 6 (Skizze) und Figur 7 (schematisch) veranschaulicht. Bei diesem lithostratigraphi-

| ursprüngliches Datenmodell swisstopo (Stand: 11.10.2018)  |   | Erweiterung<br>Datenmodell swisstopo<br>(Definitionen gem. Tabelle 2)   |
|---|---|---|
| erfasste Felder   | nicht erfasste Felder   |   |
| Datenbank-Tabelle: Beschreibung der Bohrung (T_BH_Borehole)   |   |   |
| BH_GEOQUAT_ID, ID_ARCHIV,<br>ID_BOHRUNG, XCOORD, YCOORD,<br>ZCOORDB, PROJEKTNAM,<br>ORIGNAME, BOHRTYP, TIEFEMD,<br>BOHREDAT, BMETHOD,<br>BOHRZWECK, STATUSBOHR,<br>GROUNDWATE, INKLINAT, RICHTUNG,<br>ARTANSATZZ, BEMERKUNG, FEHLER   | ID_BURO, QCCOORDEN,<br>ADR_AUTHOR, ADR_BOHRFIRMA,<br>LAND, KANTON, GEMEINDE,<br>RESTRICTIO, RESTRICDAT,<br>BOHRGUT, TOPBEDROCK,<br>LITTOPBED, STRATOPDEB,<br>CHROTOPBED, EPSG, HRS,<br>LANDNUTZUNG, BEARBSTATU,<br>GEOLDATBED, ATTRIBEARB, AN-<br>ZSCHICHT, INTV, INTART, GRUND | QCCOORDEN_XY,<br>QCCOORDEN_Z  |
| Datenbank-Tabelle: Schichtweise Erfassung der Bohrung (T_LA_Layer)  |   |   |
| BH_GEOQUAT_ID, DEPTHFROM,<br>DEPTHTO, LAYERDESC, ORIG_GEOL,<br>USCSORIGIN, USCBEST, USCS1,<br>GRAINSIZE1, USCS2, GRAINSIZE2,<br>USCS3, BEDDING, LITHOLOGY,<br>LITHOSTRAT_FELS, L_TYP_SPEZ,<br>L_LOK_FORM, PLASTICITY, HUMIDITY,<br>CONSISTENC, COMPACTNES,<br>COHESION, KORNRUNDU, GRAINSHA-<br>PE, STRIAE, ORGANICOMP, GROBBES-<br>TAN, LITPETGROB, ALTERATION | INTV,<br>LITHOSTRAT,<br>CHRONOSTRAT,<br>BOHRENDTIE  | QBESCHR,<br>L_TYP_SPEZ,<br>L_LOK_FORM   |
| Datenbank-Tabelle: Ausbau der Bohrung (T_FL_Finish)   |   |   |
| BH_GEOQUAT_ID   | -   | ID_FINISH, FILTER, NAME,<br>ARTANSATZ_FINISH,<br>Z_FINISH, TOP_FILTER,<br>BASE_FILTER, DURCHMES-<br>SER_FINISH, BEMERK_FL |
| Datenbank-Tabelle: Grundwasserspiegel-Messungen (T_GWS-Messungen)   |   |   |
| BH_GEOQUAT_ID,<br>DATUM_GWS, BEMERK_GWS   | TIEFE_GWS (ab OKT)  | ID_FINISH, ID_GWS,<br>TIEFE_GWS,<br>Z_GWS   |
| Datenbank-Tabelle: Hydrogeologische Versuche (T_Hydrogeol_Versuche)   |   |   |
| BH_GEOQUAT_ID, VERSUCHSTYP,<br>K_WERT, K_METHODE<br>DATUM_VERSUCH,<br>BEMERKUNGEN   | TIEFE_von (ab OKT),<br>TIEFE_bis (ab OKT)   | ID_FINISH, ID_VERSUCHE,<br>VERSUCHSTYP,<br>TIEFE_VON, TIEFE_BIS   |
| Datenbank-Tabelle: Wasserzutritte bei Erdwärmesondenanlagen (T_EWS_WZ)  |   |   |
| BH_GEOQUAT_ID   | -   | ID_WZ, TIEFE_WZ_VON,<br>TIEFE_WZ_BIS, Z_WZ_VON,<br>DATUM_WZ, BEMERK_WZ,<br>KLASSE_WZ                                      |

Tab. 1: Datenfelder erweitertes Datenmodell swisstopo (vgl. Fig. 5).

### Erweiterung Datenbank-Tabelle: Beschreibung der Bohrung (T\_BH\_Borehole)

|                                       |   |
|---------------------------------------|---|
| QCCOORDEN_XY<br>[0, 1, 2, 3, 4 und 5] | XY-Koordinaten vorhanden, Qualität unbekannt [0], Lage unbekannt [1], Lage ungenau (+/- 100 m) [2], Lage nicht eingemessen (+/- 5-10 m) [3], Lage grob eingemessen (+/- 1-4 m) [4], Lage exakt eingemessen (<1 m) [5] |
| QCCOORDEN_Z<br>[0, 1, 2, 3, 4 und 5]  | Z-Koordinate vorhanden, Qualität unbekannt [0], Höhenlage unbekannt [1], ungenau (+/- 5-10 m) [2], nicht eingemessen (+/- 1 m) [3], grob eingemessen (+/- 10 cm) [4], Höhenlage exakt eingemessen (+/- 1 cm) [5]      |

Obenannte Datenfelder ersetzen das ursprüngliche Datenfeld QCCOORDEN [0, 1, 2, 3, 4 und 5] (lbor113)

### Erweiterung Datenbank-Tabelle: Schichtweise Erfassung der Bohrung (T\_LA\_Layer)

|                   |   |
|-------------------|---|
| QBESCHR [1-5]     | Qualität der Schichtbeschreibung  |
| L_TYP_SPEZ [Text] | Typ-Spezifikation gemäss Beschreibung Lithostratigraphie (vgl. Kapitel 2.3) |
| L_LOK_FORM [Text] | Lokale Formation gemäss Beschreibung Lithostratigraphie (vgl. Kapitel 2.3)  |

### Zusätzliche Datenbank-Tabelle: Ausbau der Bohrung (T\_FL\_Finish)

|                         |  |
|-------------------------|--|
| ID_FINISH [1, 2, 3, ]   | Eineindeutige Nummerierung des Ausbaus                         |
| FILTER [Text]           | Ausbautyp: Filter, Piezometer, ohne Ausbau                     |
| NAME [Text]             | P1, P2, oben, unten, etc.                                      |
| ARTANSATZ_FINISH [Text] | Art Ansatzpunkt: Rohr Oberkante (ROK), Oberkante Terrain (OKT) |
| Z_FINISH [m ü.M.]       | Höhenlage Ansatzpunkt (m ü.M.)                                 |
| TOP_FILTER [m]          | Tiefenlage Oberkante Filterstrecke ab Ansatzpunkt (m)          |
| BASE_FILTER [m]         | Tiefenlage Unterkante Filterstrecke ab Ansatzpunkt (m)         |
| DURCHMESSER_FINISH [mm] | Durchmesser Ausbau (mm)  |
| BEMERK_FL [Text]        | Bemerkungen zum Ausbau   |

### Erweiterung Datenbank-Tabelle: Grundwasserspiegel-Messungen (T\_GWS-Messungen)

|                          |   |
|--------------------------|---|
| ID_FINISH [1, 2, 3, .. ] | Anbindung an Datenbank-Tabelle T_FL_Finish                |
| ID_GWS [1, 2, 3, .. ]    | Eineindeutige Nummerierung der Grundwasser-Spiegelmessung |
| TIEFE_GWS [m]            | Tiefe Grundwasserspiegel ab Ansatzpunkt Z_FINISH (m)      |

### Erweiterung Datenbank-Tabelle: Hydrogeologische Versuche (T\_Hydrogeol\_Versuche)

|                          |   |
|--------------------------|---|
| ID_FINISH [1, 2, 3, .. ] | Anbindung an Datenbank-Tabelle T_FL_Finish  |
| ID_VERSUCHE [m]          | Eineindeutige Nummerierung des hydrogeologischen Versuchs   |
| VERSUCHSTYP [m]          | Pumpversuch (△ Absenkversuch), Kurzpumpversuch, Dauerpumpversuch, Aufstiegsversuch (△ slug-and-bale), Infiltrationsversuch (△ Auffüllversuch, Sickerversuch, Rückgabeversuch), Pumpversuch mit Flowmeter, Wasserdruckversuch (△ Abpressversuch, Packertest) |
| TIEFE_VON [m]            | Oberkante wirksamer Tiefenbereich ab Ansatzpunkt (m)  |
| TIEFE_BIS [m]            | Unterkante wirksamer Tiefenbereich ab Ansatzpunkt (m)   |

### Datenbank-Tabelle: Wasserzutritte bei Erdwärmesondenanlagen (T\_EWS\_WZ)

|                      |   |
|----------------------|---|
| ID_WZ [1, 2, 3, .. ] | Eineindeutige Nummerierung von Wasserzutritten bei Erdwärmesonden   |
| TIEFE_WZ_VON [m]     | Oberkante Bereich Wasserzutritt ab Oberkante Terrain (OKT)  |
| TIEFE_WZ_BIS [m]     | Unterkante Bereich Wasserzutritt ab Oberkante Terrain (OKT)   |
| Z_WZ_VON [m ü.M.]    | Höhenlage Oberkante Wasserzutritt (m ü.M.)  |
| DATUM_WZ [Datum]     | Datum der Beobachtung Wasserzutritt   |
| BEMERK_WZ [Text]     | Bemerkungen zu Wasserzutritt  |
| KLASSE_WZ [Text]     | viel / stark (>50 l/min.), mässig (5-50 l/min.), gering / leicht (<5 l/min.), Arteser, KA (keine Angaben)<br><br>Dabei wurden folgenden qualitativen Beschreibungen auf Bohrrapporten als mässige Wasserzutritte (5-50 l/min.) eingestuft: "Grundwasser ab ..", "deutlicher Wasserzutritt", "Wasserzufluss" und "Wassereinbruch". |

Tab. 2: Erweiterung Datenmodell swisstopo.

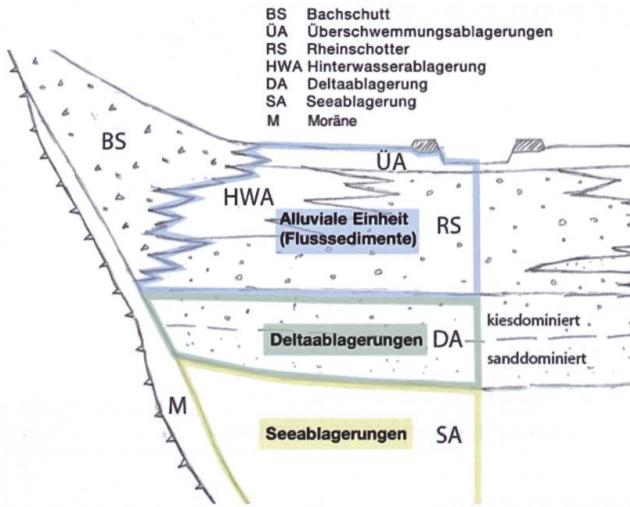


Fig. 6: Schemaschnitt Talfüllung mit den übergeordneten lithostratigraphischen Einheiten.

schen Konzept werden unter den alluvialen Ablagerungen u.a. Deltaablagerungen ausgeschieden, welche in älteren Untersuchungen und Bohraufnahmen häufig als Flussande interpretiert wurden.

Es zeigte sich, dass anhand der originalen Schichtbeschreibung (ORIG\_GEOL) und lithologischer Kriterien nicht in jedem Fall eine eindeutige Zuordnung zu einer lithostratigraphischen Einheit erfolgen konnte. Für eine weitere, zuverlässigere Zuordnung von älteren oder nach anderen Konzepten beschriebenen Bohrungen war eine detaillierte räumliche Interpretation und Harmonisierung des gesamten Bohrdatensatzes er-

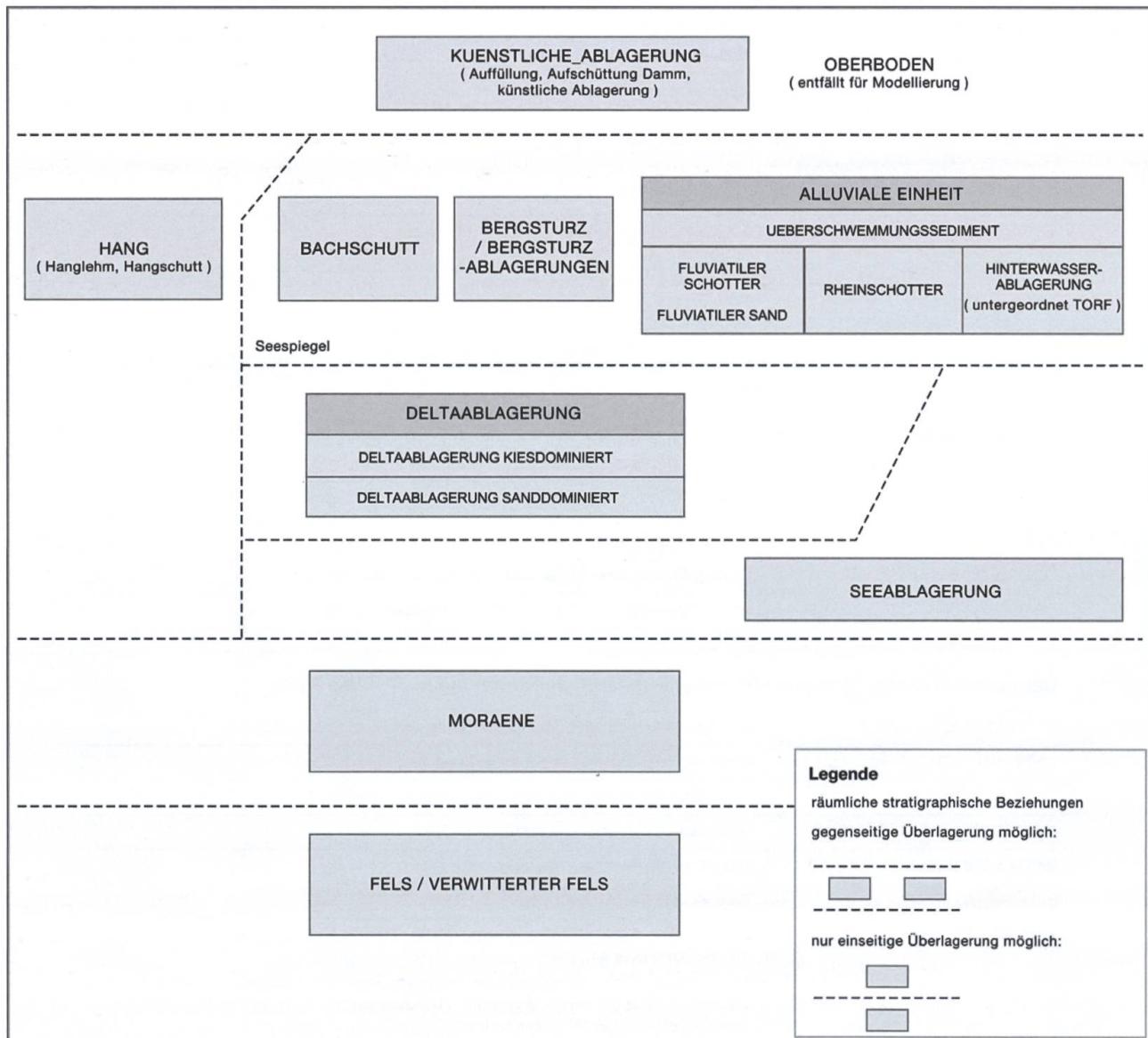


Fig. 7: Beziehungen der lithostratigraphischen Einheiten.

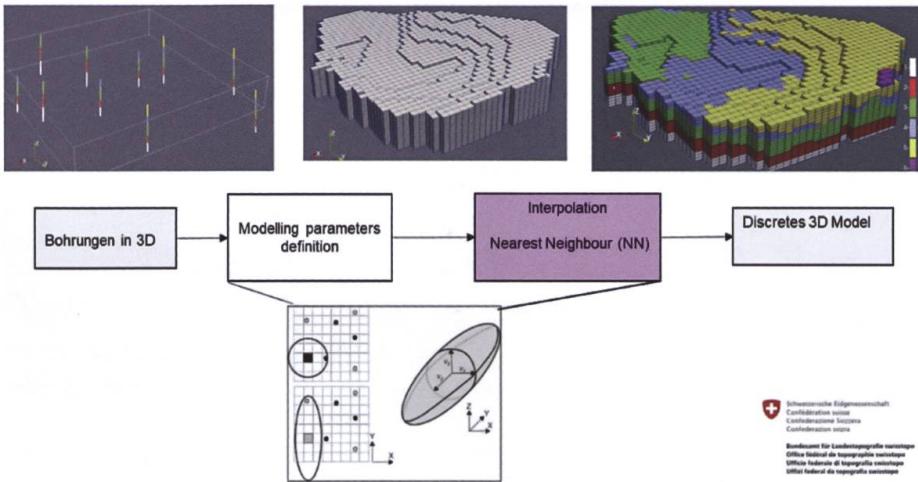


Fig. 8: Vereinfachtes Bild, das die Erstellung eines 3D-Modells zeigt; aus harmonisierten Bohrungen in 3D, der Erstellung eines leeren Voxelmodells, der Interpolation «nearest neighbour» mit einem Suchellipsoid und dem daraus resultierenden diskreten geologischen Modell.

forderlich. Diese wurde nach der Erfassung des gesamten Datensatzes und nach ersten 3D-Modellierungen, iterativ durch visuelle Inspektion der Bohrungen in 3D und räumlicher Analyse der interpolierten 3D-Modelle erarbeitet.

## 2.4 3D-Modellierungsmethodik

Ein lithostratigraphisches 3D-Modell hat zum Ziel die Grenzen beziehungsweise die Körper der einzelnen lithostratigraphischen Formationen im dreidimensionalen Raum abzubilden. Hierbei handelt es sich grundsätzlich um scharfe, diskrete Grenzen zwischen den Formationen. Ein Blockmodell (oder Voxelmodell) ist eine Art 3D-Raster, das durch Zellen definiert ist. Die Zellen haben die gleichen Abmessungen, xy-Werte und einen konstanten z-Wert. Durch die Anordnung von vielen Voxeln in allen drei Richtungen kann der zu modellierende Bereich gefüllt werden (vgl. Fig. 8).

Die Bohrungen mit ihren lithostratigraphischen Informationen, wie sie von den geologischen Experten der DBAG definiert wurden, dienen als Input für die 3D-Modellierung. Die Datenverteilung hat einen Einfluss auf die Zellgrösse. Die Datenverteilung ist im Gebiet sehr heterogen. Obwohl im Durchschnitt die Entfernung von einem Bohrloch zum nächstgelegenen ca. 50 m beträgt, gibt es Gebiete, in denen Bohrungen nur wenige Meter von-

einander entfernt sind. In anderen Gebieten beträgt der Abstand zwischen den beiden nächstgelegenen Bohrungen mehr als einen Kilometer (vgl. Fig. 9). Dies stellt eine Herausforderung für die Modellierung eines solchen Gebietes dar. Für das Gebiet wurde eine Zellgrösse von 50 x 50 x 2 m gewählt. Das leere Voxelmodell wird durch Interpolation zwischen den Bohrungen, mit dem Algorithmus nearest neighbour, für jede Voxelzelle gefüllt. Die Interpolation mit nearest neighbour ist ein einfacher Interpolations-/Schätzalgorithmus, bei dem jede leere Zelle in einem Blockmodell den Wert der nächstgelegenen Eingabedatenpunkts (d.h. lithostratigraphischer Wert des Bohrlochintervalls) erhält. Es werden keine Zwischenwerte erzeugt, was zu einem diskreten Modell führt. Es wurde ein Suchellipsoid definiert, um nach nächstgelegenen Datenproben in einer bevorzugten Ausrichtung (Anisotropie) zu suchen. Dieses Suchellipsoid (Definition der Nachbarschaft) ist mit der Verteilung der Eingabeproben in Bezug auf ihre geologischen Ablagerungsmerkmale verbunden. Für das 3D-Voxelmodell wurden drei separate Modellläufe mit eigenen Nachbarschaftsdefinitionen (Tab. 7) durchgeführt, um die wichtigsten Ablagerungsunterschiede zu berücksichtigen. Am Ende wurden diese in der Reihenfolge der Ablagerungsabfolgen gemäss dem geologischen Konzept hinzugefügt und ersetzt. Dadurch entsteht mit relativ geringem Aufwand ein geologisches 3D-Modell, das bereits die

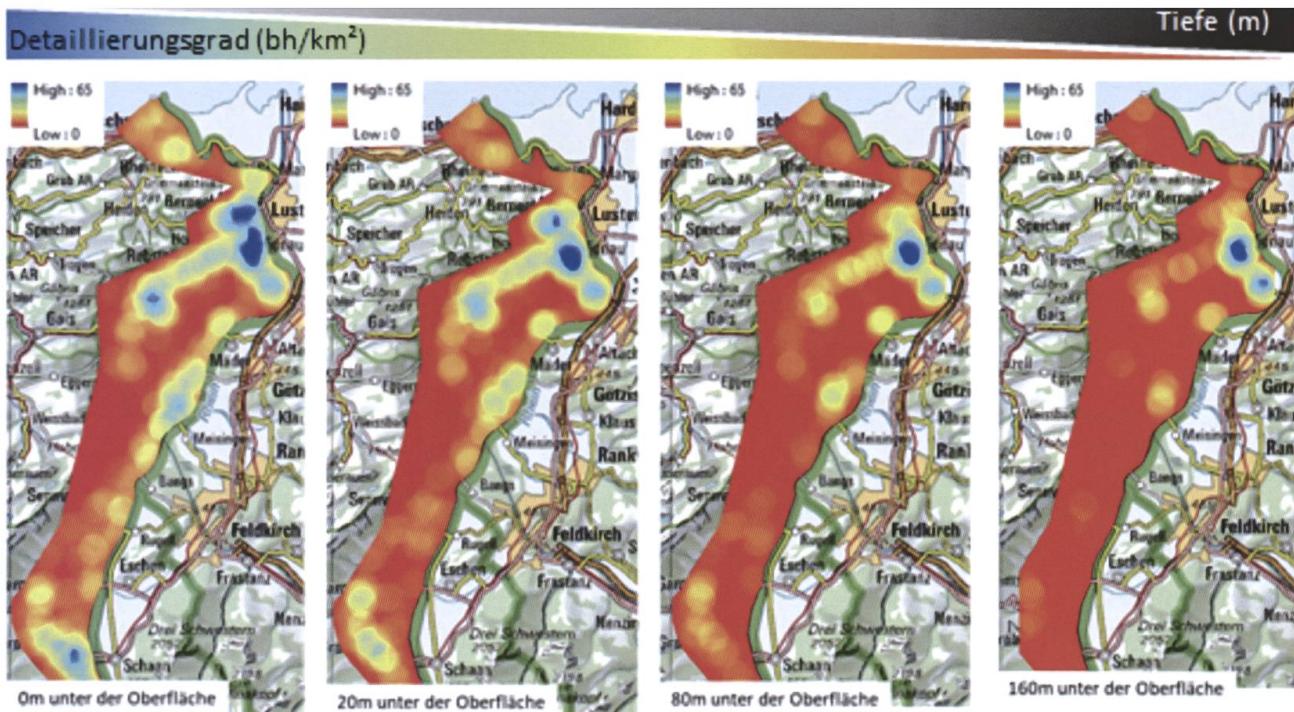


Fig. 9: Die vertikale und laterale Datenverteilung ist sehr heterogen. Im Schnitt sind die Bohrungen 50m auseinander. Die Datenverteilung hat Auswirkungen auf den Detailgrad des 3D-Modells. Abgesehen von der Abnahme der Daten mit der Tiefe sehen wir auch eine große Heterogenität in der lateralen Verteilung.

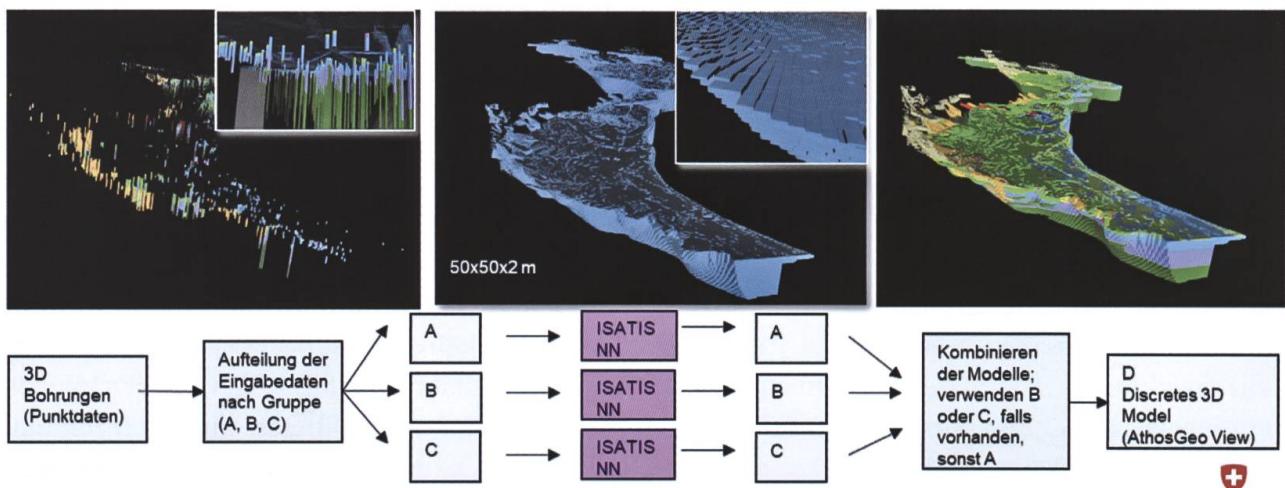


Fig. 10: Das eigentliche Modellierungsverfahren. Es werden drei Modellierungsgruppen mit jeweils eigenen Parametern definiert, um die sehr unterschiedlichen Ablegerungsprozess zu widerspiegeln.

Charakteristika verschiedener Ablagerungsprozesse berücksichtigt (vgl. Fig. 10).

Hierbei handelt es sich um einen iterativen Prozess, bei dem die Harmonisierungs- und Modellierungsergebnisse überprüft und bei Bedarf verbessert werden können. Entweder durch eine Neuzuordnung der lithostratigra-

phischen Einheiten im Bohrloch oder durch eine Anpassung des geologischen Konzepts.

– In diesem iterativen Prozess ist eine enge Zusammenarbeit zwischen den verschiedenen Partnern unerlässlich.

| Bohrzweck    |                              | COUNT       |
|--------------|------------------------------|-------------|
| F            | Forschung                    | -           |
| Gtec         | Geotechnik                   | 817         |
| Gthe         | Geothermie                   | 1866        |
| Hyd          | Hydrogeologie, Grundwasser   | 512         |
| KWS          | Kohlenwasserstoffe           | -           |
| Min          | Mineralwasser, Thermalwasser | -           |
| Nat          | Naturgefahren                | -           |
| Roh          | Mineralische Rohstoffe       | 7           |
| a            | anderes                      | 30          |
| belS         | belastete Standorte          | 41          |
| kA           | keine Angabe                 | 173         |
| B+T          | Brauch und Trinkwasser       | 33          |
| <b>SUMME</b> |                              | <b>3479</b> |

Tab. 3: Bohrzweck.

| Bohrmethode  |                      | COUNT       |
|--------------|----------------------|-------------|
| AIR          | Airliftbohrung       | 2           |
| BR           | Brunnenbohrung       | 3           |
| GR           | Greiferbohrung       | 37          |
| HA           | Handbohrung          | 2           |
| KB           | Kernbohrung          | 1172        |
| PFAHL        | Pfahlbohrung         | -           |
| RB           | Rotationsbohrung     | 1           |
| RKB          | Rotationskernbohrung | 285         |
| RKS          | Rammkernsondierung   | 15          |
| RS           | Rammsondierung       | 18          |
| SB           | Spülbohrung          | 516         |
| SCHL         | Schlagbohrung        | 3           |
| SCHN         | Schneckenbohrung     | 15          |
| SCHT         | Schachtbohrung       | -           |
| SKB          | Seilkernbohrung      | -           |
| SOND         | Sondierbohrung       | 14          |
| SS           | Sondierschlitz       | 31          |
| a            | anderes              | 17          |
| kA           | keine Angaben        | 179         |
| ILHA         | Imloch-Hammerbohrung | 1169        |
| <b>Summe</b> |                      | <b>3479</b> |

Tab. 4: Bohrmethode.

### 3 Resultate

#### 3.1 Digitalisierter Datensatz

Der erfasste Datensatz umfasst 3379 Bohrungen (SG0-SG3483, Stand 31.8.2021). Teil des Datensatzes sind 191 Bohrungen, welche zuvor noch nicht im kantonalen Archiv vorhanden waren (zusätzliche Erfassung ab Datenbank DBAG). Für 2912 Bohrungen konnte ein Bohrprofil erfasst und als PDF hinterlegt werden. Der Grossteil der im Datensatz erfassten Bohrungen wurde im Zusammenhang mit einer geothermischen Nutzung, geotechnischer Untersuchungen oder zwecks Hydrogeologie / Grundwasser durchgeführt (vgl. Tab. 3). Vorwiegende angewandte Bohrmethoden sind Kern- / Rotationskernbohrungen (KB / RKB) und Imloch-Hammerbohrungen (ILHA); wobei letztere insbesondere zur Erstellung von Erdwärmesondenanlagen und im Zusammenhang mit einer geothermischen Nutzung angewandt wurden (vgl. Tab. 4). Entsprechend gross sind die Qualitätsunterschiede der erfassten Bohrprofile, diese forderten eine Qualitätsbewertung im Hinblick auf die 3D-Modellierungen. Dabei wurde gemäss einem einfachen Wertungsschema u. A. die Qualität der Schichtbeschreibung (Werteskala: 1-5 Punkte) der zahlreichen ILHA-Bohrungen als Bohrungen maximal mittlerer Qualität (Wertung: 1-3 Punkte) gewertet; ca. 10-15% (Wertung: 1 Punkt, vorwiegend ILHA-Bohrungen) wurden als Bohrungen mit schlechter Qualität und ebenfalls ca. 10-15% (Wertung: 4-5 Punkte, Kernbohrungen) als Bohrungen mit tendenziell hoher Qualität identifiziert. Dieses einfache, semi-quantitative Wertungsschema wurde bei der 3D-Modellierung berücksichtigt.

Für sämtliche 2912 Bohrungen mit Bohrprofil konnte die schichtweise Erfassung gemäss Datenmodell samt technischer Materialbeschreibung (USCS) realisiert werden. Dabei wurden für 21603 Schichten 32 Datenfelder je Schicht berücksichtigt und erfasst (>500'000 Werte). Eine geologische Interpre-

tation (Feld: ORIG\_GEOLOG) der schichtweisen technischen Materialbeschreibung bestand in 2022 Bohrungen; dabei wurden im Originaldatensatz >800 verschiedene geologische Interpretationen gelesen. Diese wurden dem Geologischen Konzept zugeordnet, wobei gut die Hälfte der Schichten (10697 Schichten) lithostratigraphisch beschrieben werden konnte. Zusätzlich bestanden zahlreiche auch weit verbreitete Begrifflichkeiten, welche eine eindeutige Zuteilung der Schichten gemäss geologischem Konzept nicht zuließen. Beispiele sind kombinierte Begrifflichkeiten (Delta-/Seeablagerung, Fluss-/Deltaablagerung, Bachschutt/Rheinschotter, etc.) und rein materialtechnische Typ-Spezifikationen als „geologische“ Bezeichnung im Originaldatensatz (Schotter, Kiessand, etc.). In zahlreichen weiteren Fällen liess die geologische Beschreibung von Wechselabfolgen

in den Bohrprofilen eine eindeutige Zuordnung der lithostratigraphischen Einheiten im Rahmen der Ersterfassung ebenfalls nicht zu. Dieser erste Datensatz und die ersten Modell-Beispiele wurden am 16.6.2020 von der Landestopographie swisstopo im Rahmen einer gemeinsamen Besprechung vorgestellt. Die ersten Modellversuche zeigten, dass eine weiterführende Harmonisierung der lithostratigraphischen Zuordnung erforderlich war, um zu einem robusten lithostratigraphischen Modell im Rheintal zu gelangen.

| L_TYP_SPEZ                                 | COUNT | L_LOK_FORM                                 | COUNT |
|--|-------|--|-------|
| Auffüllung                                 | 326   | Auelibach-Bachschutt                       | 1     |
| Aufschüttung, Damm                         | 192   | Breitläubach-Bachschutt                    | 10    |
| Bachschutt                                 | 1729  | Chelenbach-Bachschutt                      | 15    |
|  |       | Dorfbach-Marbach-Bachschutt                | 22    |
|  |       | Dorfbach-Rebstein-Bachschutt               | 3     |
|  |       | Dürrenbach- und Auerbach-Bachschutt        | 63    |
|  |       | Freibach und Steinlibach-Bachschutt        | 171   |
|  |       | Gasenzenbach-Bachschutt                    | 143   |
|  |       | Glaserholzbach-Bachschutt                  | 1     |
|  |       | Grabserbach-Bachschutt                     | 318   |
|  |       | Hinterburgbach-Bachschutt                  | 12    |
|  |       | Kussbach-Bachschutt                        | 1     |
|  |       | Lienzerbach-Bachschutt                     | 29    |
|  |       | Littenbach und Lochbach-Bachschutt         | 144   |
|  |       | Moosbach-Bachschutt                        | 3     |
|  |       | Mülbach-Bachschutt                         | 9     |
|  |       | Rofisbach-Bachschutt                       | 4     |
|  |       | Simmi-Bachschutt                           | 119   |
|  |       | Stadtbach- und Chesselbach-Bachschutt      | 189   |
|  |       | Steinenbach-Bachschutt                     | 71    |
|  |       | Studnerbach-Bachschutt                     | 119   |
|  |       | Tobelbach-Rüthi-Bachschutt                 | 9     |
|  |       | Tobelbach-Bachschutt                       | 183   |
|  |       | Widenbach-Bachschutt                       | 35    |
|  |       | Wolfsbach-Bachschutt                       | 14    |
| Bergsturz / Bergsturzablagerung            | 93    | kA   |       |
|  |       | Bergsturz von Salez-Sennwald               | 81    |
| Deltaablagerung kiesdominiert              | 398   | kA   |       |
| Deltaablagerung sanddominiert              | 1466  | kA   |       |
| Fels / verwitterter Fels                   | 1069  | kA   |       |
| fluvialtiler Sand                          | 84    | kA   |       |
| fluvialtiler Schotter                      | 89    | kA   |       |
| fluvialtiler Schotter / fluvialtiler Sand  | 3595  | Rheinschotter                              | 3595  |
| Hanglehm                                   | 24    | kA   |       |
| Hangschutt                                 | 69    | kA   |       |
| Hinterwasserablagerung                     | 1277  | kA   |       |
| künstliche Ablagerung                      | 338   | kA   |       |
| Moräne                                     | 468   | kA   |       |
| Oberboden                                  | 535   | kA   |       |
| Seeablagerung                              | 2078  | kA   |       |
| Torf                                       | 281   | kA   |       |
| Überschwemmungs sediment                   | 1146  | kA   |       |
| Anzahl Schichten mit Angaben zu L_TYP_SPEZ | 15257 | Anzahl Schichten mit Angaben zu L_LOK_FORM | 5364  |
| KA (keine Angaben)                         | 6346  | KA (keine Angaben)                         | 16239 |
| Summe (Anzahl erfasste Schichten)          | 21603 | Summe (Anzahl erfasste Schichten)          | 21603 |

Tab 5: Schichtweise erfasste Lithostratigraphie im Datensatz SG0-SG3483 (Stand: 30.8.2021, nach Harmonisierung; generische lithostratigraphische Einheit (L\_TYP\_SPEZ) und lokale Formation (L\_LOK\_FORM)).

| DBAG V-H1                            | REGIO | UNIQUE | COUNT |
|--------------------------------------|-------|--------|-------|
| Künstliche Ablagerung *              | -     | 1      | 856   |
| Bachschutt undifferenziert           | -     | 2      | 41    |
| Auelbach-Bachschutt                  | 01    | 3      | 1     |
| Breitläubach-Bachschutt              | 01    | 4      | 10    |
| Chelenbach-Bachschutt                | 01    | 5      | 15    |
| Dorfbach-Marbach-Bachschutt          | 01    | 6      | 22    |
| Dorfbach-Rebstein-Bachschutt         | 01    | 7      | 3     |
| Dürrenbach- und Auerbach-Bachschutt  | 01    | 8      | 63    |
| Freibach und Steinlibach-Bachschutt  | 01    | 9      | 171   |
| Gasenzenbach-Bachschutt              | 01    | 10     | 143   |
| Glaserholzbach-Bachschutt            | 01    | 11     | 1     |
| Grabserbach-Bachschutt               | 01    | 12     | 318   |
| Hinterburgbach-Bachschutt            | 01    | 13     | 12    |
| Kussbach-Bachschutt                  | 01    | 14     | 1     |
| Lienzerbach-Bachschutt               | 01    | 15     | 29    |
| Littenbach und Lochbach-Bachschutt   | 01    | 16     | 144   |
| Moosbach-Bachschutt                  | 01    | 17     | 3     |
| Mülbach-Bachschutt                   | 01    | 18     | 9     |
| Rofisbach-Bachschutt                 | 01    | 19     | 4     |
| Simmi-Bachschutt                     | 01    | 20     | 119   |
| Stadtbach und Chesselbach-Bachschutt | 01    | 21     | 189   |
| Steinenbach-Bachschutt               | 01    | 22     | 71    |
| Studnerbach-Bachschutt               | 01    | 23     | 119   |
| Tobelbach-Rüthi-Bachschutt           | 01    | 24     | 9     |
| Tobelbach-Bachschutt                 | 01    | 25     | 183   |
| Widenbach-Bachschutt                 | 01    | 26     | 35    |
| Wolfsbach-Bachschutt                 | 01    | 27     | 14    |
| Bergsturz undifferenziert            | 02    | 28     | 12    |
| Bergsturz von Salez Sennwald         | 02    | 29     | 81    |
| Deltaablagerung kiesdominiert        | 04    | 31     | 398   |
| Deltaablagerung sanddominiert        | 05    | 32     | 1466  |
| Fels / verwitterter Fels             | 06    | 33     | 1069  |
| Fluviatiler Sand                     | 07    | 34     | 84    |
| Fluviatiler Schotter                 | 08    | 35     | 89    |
| Rheinschotter                        | 09    | 36     | 3595  |
| Hanglehm Hangschutt                  | 10    | 37     | 93    |
| Hinterwasserablagerung               | 11    | 38     | 1277  |
| Moräne                               | 12    | 39     | 468   |
| Oberboden                            | -     | 40     | 535   |
| Seeablagerung                        | 13    | 41     | 2078  |
| Torf                                 | 14    | 42     | 281   |
| Überschwemmungssediment              | 11    | 43     | 1146  |
| Anzahl Schichten definiert           |       |        | 15257 |
| Anzahl Schichten ohne Angaben (kA)   |       |        | 6346  |
| Summe (Anzahl erfasste Schichten)    |       |        | 21603 |

\* Künstliche Ablagerung; inkl. Auffüllung, Aufschüttung / Damm

Tab. 6: Als Grundlage für die 3D-Modellierung wurden die schichtweise erfassten Angaben zur Lithostratigraphie (L\_Typ\_Spez, L\_Lok\_Form, vgl. Tabelle 5) in modellierbare Einheiten ge-fasst (DBAG V-H1: UNIQUE). Deltaablagerungen kiesdominiert und sanddominiert (UNIQUE: 31-32), fluviatile Sande und fluviatile Schotter (UNIQUE: 34-35) ausserhalb bekannter Lokal-formationen (L\_Lok\_Form), wurden getrennt modelliert (UNIQUE: 31-32 und 34-35). Fluviatile Sande und Kiese der Rheinschotter wurden zusammengefasst (Unique: 36).

### 3.2 Harmonisierung

Ziel der Harmonisierung war die schichtweise lithostratigraphische Zuordnung der Boh-

rungen. Die lithostratigraphische Harmonisierung des Datensatzes wurde in einem iterativen Prozess und enger Zusammenarbeit mit der Landestopographie swisstopo

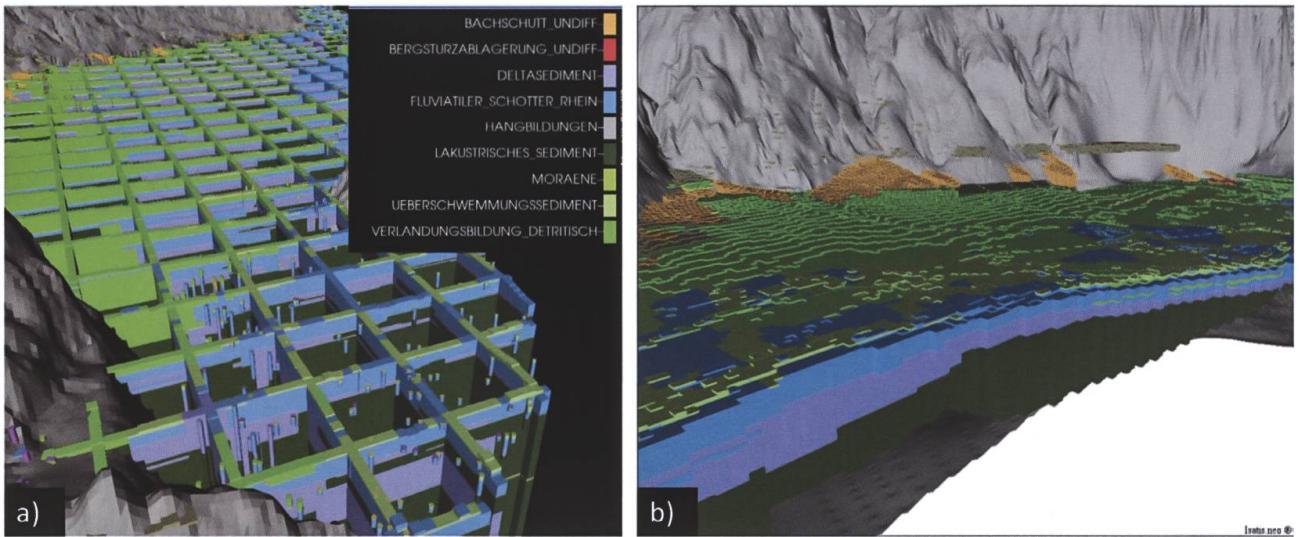


Fig. 11: Geologisches 3D-Modell. a) Visualisierung durch eine Reihe von N-S und E-W orientierten Schnitten durch das Modell in Kombination mit den Eingabebohrungen. b) ein Schnitt entlang des Rheins mit Blick nach Westen. Hier führt das Fehlen von Daten in der Tiefe dazu, dass das Modell in Richtung des oberen Teils des Grundgebirges leer ist.

| Isatis Neighborhood         | u<br>(m) | v<br>(m) | w<br>(m) | dip direction<br>(degree) | dip<br>(degree) | min. no.<br>samples | optimum no.<br>samples |
|-----------------------------|----------|----------|----------|---------------------------|-----------------|---------------------|------------------------|
| Bachschutt                  | 250      | 125      | 8        | 75                        | 4               | 1                   | 10                     |
| Hangbildungen und Bergsturz | 125      | 125      | 8        | 0                         | 0               | 1                   | 10                     |
| Haupttaffüllung             | 2500     | 1250     | 4        | 15                        | 0.2             | 1                   | 10                     |

Tab. 7: Ellipsoid-Definitionen (u, v, w), Azimut (Dip Direktion) und Fallen (Dip) für die Nachbarschaftssuche in den einzelnen Modellierungsgruppen (Isatis Neighborhood).

realisiert. Der Anteil der dem geologischen Modell eindeutig zugewiesenen Schichten konnte dabei von 49.5% auf 70.6% gehoben werden (10697 zu 15257 von 21603 Schichten, vgl. Tabelle 5). Zusätzlich konnten nicht eindeutige lithostratigraphische Schichtbezeichnungen im ursprünglichen Datensatz weitgehend ersetzt werden. Dabei bleiben die Rohdaten volumfänglich gesichert und können jederzeit digital abgefragt werden; sowohl im digitalen Datensatz direkt und gemäss Bohrprofil (PDFs mit OCR-Texterkennung). – Eine übersichtliche Zusammenstellung der im harmonisierten Datensatz verwendeten Werte der lithostratigraphischen Erfassung (Felder TYP\_SPEZ, LOK\_FORM) findet sich in Tabelle 5. Die oberste Felschicht wurde in ca. jeder dritten Bohrung

erreicht und miterfasst (Feld: Lithology). – In einem letzten Schritt wurde der lithostratigraphische Datensatz (vgl. Tab. 5) für die 3D-Modellierung in ein-eindeutige modellierbare Einheiten gefasst (DBAG V-H1: UNIQUE, vgl. Tab. 6).

### 3.3 Lithostratigraphisches Modell 3D

Der umfassende Datensatz von mehr als 2000 Bohrungen mit lithostratigraphischen Informationen hat zur Erstellung eines lithostratigraphischen 3D-Modells des unteren Rheintals mit einer Zellengröße von 50 x 50 x 2 m geführt. Damit ist es gelungen, die Möglichkeiten der Erstellung eines regionalen lithostratigraphischen 3D-Modells aus

harmonisierten Daten und einem regionalen lithostratigraphischen Konzept aufzuzeigen. Sowohl der Umfang als auch die Menge der Daten übertrafen frühere Pilotstudien der swisstopo. Das lithostratigraphische Modell 3D kann als regionales geologisches Basismodell dienen. Das Modell hat verschiedene Stellen, an denen es (wie jedes Modell) nicht korrekt oder unlogisch ist. Die Ursache für diese Probleme kann in vielen Fällen auf einen Mangel an Daten zurückgeführt werden. Dieses Modell sollte daher in Verbindung mit seinen Eingabedaten betrachtet werden (vgl. Fig. 11). – Das Modell wurde noch nicht umfassend validiert und ist als eine erste Iteration zu betrachten.

## 4 Diskussion und Ausblick

### 4.1 Mögliche Anwendungen der erschaffenen Datengrundlage

Als mögliche Anwendungen der erschaffenen Datengrundlage gelten verschiedene Nutzungen im Lockergestein; (a) Baugrund und Geotechnik, (b) Materialbewirtschaftung, (c) untiefe Geothermie, (d) Grundwassergewinnung, (e) Naturgefahrenprävention (vgl. Fig. 1). Das AWE zielt auf eine entsprechend

breite Einbindung der Daten in ihren Geodaten und die Erstellung eines Portals zur digitalen Erfassung künftiger Bohrungen mit passenden Werkzeugen wie das in Entwicklung befindende Tool Swissforage (<https://swissforages.ch>). Neben der Speisung des Datensatzes mit künftigen Bohrungen, und weiteren Grundlagen (Plangrundlagen, geologische Schnitte), bestehen beim AWE Ansätze den Datensatz auch räumlich zu erweitern: Anschluss angrenzender Regionen, interkantonale und internationale Zusammenarbeit. Im Projektteam kamen den einzelnen Partnern im Hinblick auf die möglichen künftigen Anwendungen Schlüsselfunktionen zu (vgl. Fig. 2):

Das AWE stellt als Datenherrin detaillierte Anforderungen an die Qualität und im Hinblick auf die künftige Nutzung, setzt Vorgaben für die kantonalen Datenmodelle und formuliert Bedürfnisse, auch im Hinblick auf die kantonale Raumentwicklung und Geoinformationen im Allgemeinen.

Die DBAG sichert die Erweiterung des Datenmodells swisstopo für künftige hydrogeologische Fragestellungen, sichert die Qualität der Datenerfassung und insbesondere auch in Bezug auf die Lokalgeologie, sowie eine offene, enge Zusammenarbeit mit der swisstopo.

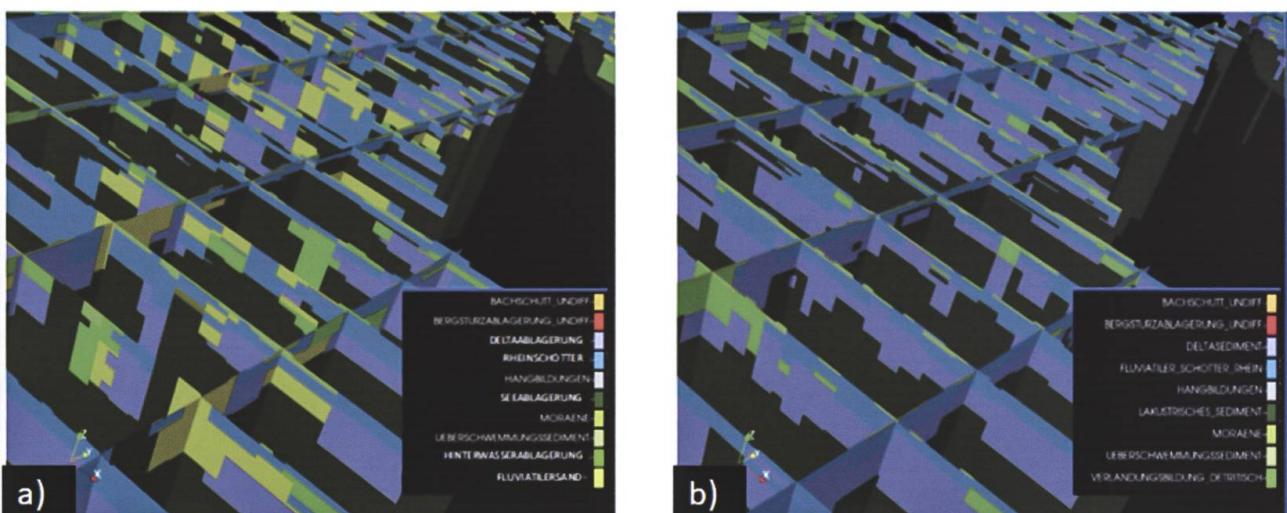


Fig. 12: Die Modellierung ist ein iterativer Prozess. a) Ergebnisse eines Modells vor der letzten Harmonisierungsrounde. b) nach der letzten Harmonisierungsrounde. Die Harmonisierung hat zu einem kontinuierlicheren Datensatz geführt, der besser zum regionalen Charakter des Modells passt.

Die swisstopo agiert aus nationaler Sicht als effizienter Vermittler für interkantonale und internationale Ansätze für geologische Informationen in den Bereichen Stratigraphie, Standardisierung, Harmonisierung, Datenmodelle, Modellierungsworkflows und regionaler geologischer Modelle.

Mit der laufenden Entwicklung ist anzunehmen, dass die Art und Form der Datenbank-Anwendungen in Zukunft stetig zunehmen. Dabei sollen die Werkzeuge und das Fachwissen, insbesondere auch im Bereich der 3D-Modellierungen, mitwachsen. Bei der Planung des vorliegenden Projekts wurde angenommen, dass ein gemäss sauber durchdachtem Datenmodell digital erfasster Datensatz über viele Jahre den bevorstehenden Entwicklungen gewachsen sein kann und soll. Ein zentraler Fokus der hier präsentierten Arbeit lag entsprechend bei der Erarbeitung der Erweiterung des Datenmodells gemäss den lokalen Bedürfnissen, der Erarbeitung des Geologischen Konzepts und der nachträglichen Harmonisierung der Daten. Das im Rahmen des Auftrags erarbeitete lithostratigraphische 3D Modell diente als konzeptioneller Beweis (proof-of-concept) der Funktionalität und Eignung des Datensatzes für die künftigen Anwendungen, sowie zur Sicherung der Datenqualität. Die 3D-Modellversuche entwickelten sich dabei im Laufe der 3D-Datenaufbereitung und Harmonisierung (Workflow mit Rollenverteilung, vgl. Fig. 4). Das aus den iterativen Testläufen entstandene erste lithostratigraphische 3D-Modell des Unteren St. Galler Rheintales soll sich auch in der Zukunft weiterentwickeln.

## 4.2 Verbesserung des lithostratigraphischen 3D-Modells

Ein 3D Modell ist nie «fertig». Neue und andere Daten können hinzugefügt werden, geologische Konzepte können verfeinert und Modellierungsmethoden verbessert wer-

den, detaillierte Abfragen können für ausgewählte geographische Teilbereiche und für unterschiedliche Nutzungen formuliert und weiterentwickelt werden. Durch die Visualisierung eines 3D-Modells können auch Probleme mit den genannten Faktoren (Daten, Konzept, Methode) aufgezeigt werden. Dabei handelt es sich um einen iterativen Prozess, bei dem die Harmonisierungs- und Modellierungsergebnisse überprüft und bei Bedarf verbessert werden können (vgl. Fig. 12).

Das lithostratigraphische 3D-Modell des Rheintals ist als eine erste Version zu verstehen. Wie in dieser Arbeit bereits gezeigt wurde, haben mehrere Iterationen stattgefunden, um die Qualität des Modells zu verbessern, vor allem durch die Bearbeitung der Eingangsdaten und des geologischen Konzepts. Zukünftige Arbeiten können in die Verbesserung des Modells investiert werden, indem:

- Neue Bohrlochdaten unter Verwendung der gleichen Standards und harmonisierte Konzepte hinzugefügt werden,
- neue Datentypen (wie Karten und Querprofile) miteinbezogen werden. Auch die Möglichkeit der Integration geophysikalischer Daten ist vielversprechend,
- Modellierungsparameter verfeinert werden und anhand komplexerer 3D-Modellierungsalgorithmen und -methoden zur besseren Beschreibung der geologischen Prozesse,
- Hinzufügen von Unsicherheitsabschätzungen zum 3D-Modell.

Das hier vorgestellte Material wurde ursprünglich an der Jahrestagung der Schweizer Vereinigung für Ingenieurgeologen (SFIG) am 24. September 2021 in Olten präsentiert.

## Danksagung

Wir bedanken uns bei allen Mitwirkenden im Projektteam, namentlich bei Alexander Bauer und Paul Pfenninger vom Amt für Wasser

und Energie des Kantons St.Gallen, sowie bei Stefan Volken und Andreas Möri der swisstopo, Kaspar Papritz, Artin Ali und Pius Bissig der DBAG. Wir bedanken uns bei Roger Heinz herzlich für die Einladung zur SFIG-Jahrestagung vom 24. September 2021 und Einladung zur Erarbeitung der vorliegenden Publikation.

## Referenzen

- [1] Eberle, M. 1987: Lockergesteinsfüllung des St. Galler und Liechtensteiner Rheintales, Eclogae geol. Helv., 80/1, S. 193-206.
- [2] Amt für Wasser und Energie, St. Gallen 2020: Datenaufbereitung des Untergrunds 3D, Bericht Dr. Bernasconi AG, Sargans, Nr. 2181-B01.
- [3] Brodhag, S. & Oesterling, N. 2014: Datenmodell Bohrdaten, Beschreibung des Kernmodells mit Objektkatalog und UML-Modell, Version 2.0. Bundesamt für Landestopografie swisstopo, Landesgeologie, [www.geologieportal.ch](http://www.geologieportal.ch).
- [4] Oesterling, N. & Brodhag, S. 2017: Datenmodell Bohrdaten – Module: Geology. Bundesamt für Landestopografie swisstopo, Landesgeologie, unpubliziert.
- [5] Strasser, C., Hubert, E. & Biaggi, D., Geotechnisches Institut 2020: Datenmodell Bohrdaten – Modul Hydrogeologie und Modul Ausbau (Teil Hydrogeologie). Bundesamt für Landestopografie swisstopo, Landesgeologie, unpubliziert.
- [6] Volken, S. & Preisig, G. & Gaehwiler, M. 2016: GeoQuat: Developing a system for the sustainable management, 3D modelling and application of Quaternary deposit data. Swiss Bulletin for Applied Geology, Vol. 21/1. S. 3-16.

