



Amt für Umwelt, Kanton Zug

Potenzialstudie Tiefengrundwasser Kanton Zug (Teil 1)

Hydrogeologische Neubeurteilung

09. Oktober 2023

PG0258.600

INHALTSVERZEICHNIS

1.	Ausgangslage und Zielsetzung	3
1.1.	Projektdaten	3
1.2.	Ausgangslage	3
1.3.	Zielsetzung	4
1.4.	Relevante Grundlagen	4
2.	Ausgeführte Untersuchungen	7
2.1.	Allgemeine Arbeitsschritte	7
2.2.	Durchgeführte Interpolationen	8
3.	Beurteilungsgrundsätze	9
4.	Allgemeine Geologie	10
4.1.	Geologische Situation und Schichtaufbau Lockergesteine	10
4.2.	Allgemeine Entstehungsgeschichte	14
4.3.	geologische Spezialfälle	17
5.	Resultate ausgeführter Untersuchungen	20
5.1.	Felsoberfläche und Beckenfüllung	20
5.2.	Tiefengrundwasser 5.2 sowie Übergänge zu Grundwasser 15. & 16.	20
5.3.	Höhere Grundwasservorkommen ausserhalb Talsohle (Grundwasser 4.2., 4.3., 10.2., 10.3., 10.4)	24
6.	Beschreibung relevanter Kenntnislücken sowie Vorschläge für allenfalls notwendiger ergänzender Grundlagenbeschaffung	28
7.	Auswirkungen der gewonnenen Resultate	29
7.1.	Auswirkungen auf die Grundwasserkarte	29
7.2.	Auswirkungen auf die Gewässerschutzkarte	29
7.3.	Auswirkungen auf die Erdwärmenutzungskarte	29
8.	Schlussbemerkung	30

VERZEICHNIS DER ANHÄNGE

Anhang A	Geologisches und hydrogeologisches Querprofil QP1: Städtlerwald-St.Verena
Anhang B	Geologisches und hydrogeologisches Querprofil QP2: Steinhausen-Inwil
Anhang C	Geologisches und hydrogeologisches Querprofil QP3: Städtlerwald-Baarburg
Anhang D	Geologisches und hydrogeologisches Querprofil QP4: Zugersee-Deibüel

VERZEICHNIS DER BEILAGEN

Beilage 1	Interpolierte Felsoberfläche
Beilage 2	Interpolierte Felsbedeckung
Beilage 3	Interpolierte Unterkante geringdurchlässige Deckschicht
Beilage 4	Interpolierte Mächtigkeit Tiefengrundwasser
Beilage 5	Interpolierter Durchlässigkeitsbeiwert Tiefengrundwasser
Beilage 6	Interpolierte Transmissivität Tiefengrundwasser
Beilage 7	Interpolierte Grundwasserdruckfläche Tiefengrundwasser
Beilage 8	Vorschlag revidierte Grundwasserkarte Tiefengrundwasser

1. Ausgangslage und Zielsetzung

1.1. Projektdaten

Auftraggeber	Kanton Zug Baudirektion Amt für Umwelt Abteilung Wasser Aabachstrasse 5 6300 Zug
Kontaktpersonen Auftraggeber	Volker Lützenkirchen
Auftragsdatum	02. Mai 2022
Projekt-Nr. pegeol ag	PG0258.600
Projektbezeichnung	Nutzungspotenzial Tiefengrundwasser Kanton Zug

Tabelle 1-1: Projektdaten

1.2. Ausgangslage

Die Versorgung mit Wärme, Kälte und Warmwasser durch den Einsatz erneuerbarer Energien soll in der Schweiz gemäss Energiestrategie 2050 stark gefördert werden.

Im Kanton Zug werden hierzu oberflächennahe Grundwasservorkommen bereits heute intensiv genutzt. Neben lokalen Nutzungen zu Trinkwasserzwecken werden die oberflächennahen Grundwasservorkommen vielfach für thermische Nutzungen erschlossen. Stellenweise ist das Nutzungspotenzial dieser Grundwasservorkommen allerdings, aufgrund gewässerschutzrechtlicher Vorgaben (Vorgaben betreffend maximal zulässige Abkühlung/Erwärmung), bereits nahezu ausgeschöpft.

Unter den vielseitig genutzten oberflächlichen Grundwasservorkommen finden sich stellenweise wenig genutzte tiefere Grundwasserstockwerke. So sind neben einem Tiefengrundwasser in Unterägeri [Ref 4] im Kanton Zug, insbesondere die Tiefengrundwasser im Baarerbecken, sowie deren seitlich anschliessenden Vorkommen in den Felsrinnen von Richterswil-Menzingen und Blickensdorf-Knonau-Maschwanden bekannt. Diese Grundwasservorkommen können teilweise sehr mächtig sein und werden heute vereinzelt im Bereich des Baarerbeckens mit 15 Anlagen thermisch genutzt. Zusätzlich existieren ausserhalb der Talsohle weitere überlagerte bzw. tiefere Grundwasservorkommen im Kanton Zug, welche ebenfalls für eine thermische Nutzung in Frage kommen könnten.

Über das Nutzungspotenzial der Tiefengrundwasser im Kanton Zug ist bislang nur wenig bekannt, da eine aktuelle Synthese der hydrogeologischen Grundlagen und eine Beurteilung der technischen Nutzungsmöglichkeiten fehlt. Aufgrund der Eigenschaften des Grundwasservorkommens erscheint neben einer konventionellen Nutzung mittels Brunnendoublette (direktionale Entnahme- und Rückgabeburten) auch eine solche als thermischer Aquiferspeicher (aquifer thermal energy storage; ATES) möglich.

Nach dem Studienkonzept des Kantons Zug [Ref 4] soll mittels zweistufiger Projektstudie bestmöglich geklärt werden können, wie hoch das thermische Nutzungspotenzial des

Tiefengrundwassers im Kanton Zug ist. Damit soll ein Beitrag zur Förderung der erneuerbaren Wärmeversorgung im Kanton geleistet werden.

1.3. Zielsetzung

Gemäss Studienkonzept des Amtes für Umwelt vom 28.02.2022 [Ref 4] soll das Nutzungspotenzial des im Kanton Zug vorhandenen Tiefengrundwassers ermittelt werden. In einer ersten Stufe soll dabei die Hydrogeologie der Tiefengrundwasservorkommen neu beurteilt werden (Geometrie, hydraulische Eigenschaften, Genese, Eignung für thermische Nutzungen etc.).

Der Schwerpunkt der Projektstudie liegt auf dem artesischen Tiefengrundwasser im Baarerbecken resp. im Bereich Baar-Zug-Steinhausen (Grundwasser 5.2.). Untergeordnet sollen zudem auch die Übergänge des Tiefengrundwassers in die Felsrinnen von Richterswil-Menzingen und Blickensdorf-Knonau-Maschwanden (Grundwasservorkommen 15. und 16.) sowie die höher gelegenen Tiefengrundwasser ausserhalb Talsohle hinsichtlich einer potenziellen thermischen Nutzung beurteilt werden (Grundwasservorkommen 4.2., 4.3., 7., 10.2., 10.3., 10.4, 15. & 16.).

Mit vorliegender hydrogeologische Neubeurteilung soll die 1. Stufe gemäss Studienkonzept dokumentiert werden. Die 2. Stufe (Abschätzung des thermischen Nutzungspotenzials mittels numerischer Modelle) ist nachgeschaltet zu erarbeiten.

1.4. Relevante Grundlagen

1.4.1. Allgemeine Grundlagen

- [Ref 1] Bundesgesetz über den Umweltschutz (USG) vom 07.10.1983, Stand 01.01.2022
- [Ref 2] Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer (Gewässerschutzgesetz, GSchG) vom 24.01.1991, Stand 01.02.2023
- [Ref 3] Gewässerschutzverordnung (GSchV) vom 28.10.1998, Stand 01.02.2023
- [Ref 4] Nutzungspotenzial Tiefengrundwasser Kanton Zug Konventionelle thermische Nutzung und als thermische Aquiferspeicher (ATES), Studienkonzept, Amt für Umwelt (AfU), 28.02.2022
- [Ref 5] (Hydro-) Geologische Profile und Berichte im Bereich der Grundwasserträger des Baarerbeckens, zur Verfügung gestellt durch Amt für Umwelt Kanton Zug
- [Ref 6] Nutzung Tiefengrundwasservorkommen im Baarerbecken für Heiz und Kühlzwecke, Merkblatt, Amt für Umwelt (AfU), 02.03.2017
- [Ref 7] Thermische Nutzung des Grundwassers, Besonderer Ablauf des Bewilligungsverfahrens im Bereich des Baarerbeckens, Amt für Umwelt (AfU), 30.03.2021
- [Ref 8] Bauen im Grundwasser, Erläuterungen zur Bewilligungspraxis im Kanton Zug, Amt für Umwelt Zug, 2020
- [Ref 9] Geologie und Grundwasservorkommen im Kanton Zug, Erläuterungen zur Grundwasserkarte 1:25'000, Amt für Umwelt Zug, 2007
- [Ref 10] Geologischer Atlas der Schweiz, Blatt 89 – Zug, Bundesamt für Landestopografie, 2011
- [Ref 11] Geologischer Atlas der Schweiz (inkl. Erläuterungen), Blatt 1111 - Albis, Bundesamt für Landestopografie, 2009

- [Ref 12] Geologischer Atlas der Schweiz (inkl. Erläuterungen), Blatt 1132 - Einsiedeln, Bundesamt für Landestopografie, 2009
- [Ref 13] SIA 384/7:2015, Grundwasserwärmenutzung, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (SIA), 01.04.2015
- [Ref 14] Erdwärmenutzungskarte Kanton Zug 1:25'000, Konzeptionelle Grundlagen, Geologisches Büro Dr. Lorenz Wyssling AG, 09.02.2016
- [Ref 15] Grundwasserkarte, Gewässerschutzkarte, Erdwärmenutzungskarte etc.: Geoportal des Kantons Zug, <https://www.zugmap.ch/>, Stand Juli 2023
- [Ref 16] Aktuelle Kartengrundlage, modellierte Felsoberfläche und digitales Höhenmodell (SwissALTI3D), <https://map.geo.admin.ch/>, Bundesamt für Landestopografie, Stand Juli 2023
- [Ref 17] Schweizer Norm 546 384/7, Grundwasserwärmenutzung, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (SIA), 2015
- [Ref 18] Hydrogeologie, Einführung in die allgemeine und angewandte Hydrogeologie, Bernhard Hölting & Wilhelm G. Coldewey (8. Auflage), 2013

1.4.2. Wichtige Publikationen

- [Ref 19] Eclogae Geologicae Helvetiae, Isohypsenkarte der quartären Felstäler in der Nord- und Ostschweiz, mit kurzen Erläuterungen, Wildi, 1984
- [Ref 20] NAGRA, Arbeitsbericht NAB 07-12, EP-05:p, Digitales Höhenmodell Basis Quartär, Böhlinger AG, 2007
- [Ref 21] Ur-Sihl und Richterswiler Gletschertal, Quellen und Grundwasservorkommen zwischen Sihltal und Zürichsee, AWEL, 2007
- [Ref 22] NAGRA, Arbeitsbericht NAB 10-33, Deep glacial erosion Review with focus on tunnel valleys in northern Europe, Stumm, 2010
- [Ref 23] Swiss Geological Society, Distribution, geometry, age and origin of overdeepened valleys and basins in the Alps and their foreland, Preusser, Reitner, Schlüchter, 2010
- [Ref 24] Swiss Geological Society, Subglacial tunnel valleys in the Alpine foreland: an example from Bern, Switzerland, Stucki, Reber, Schlunegger, 2010
- [Ref 25] Swiss Geological Society, A ~180,000 years sedimentation history of a perialpine overdeepened glacial trough (Wehntal, N-Switzerland), Anselmetti, Drscher-Schneider, Furrer, Graf, Lowick, Preusser, Riedi, 2010
- [Ref 26] Quaternary Science Journal, Mittel- und spätpleistozäne Stratigraphie und Morphogenese in Schlüsselregionen der Nordschweiz, Keller, Krayss, 2010
- [Ref 27] Quaternary Science Journal, Quaternary glaciation history of northern Switzerland, Preusser, Graf, Keller, Krayss, Schlüchter, 2011
- [Ref 28] Quaternary Science Reviews, Evolution of an overdeepened trough in the northern Alpine Foreland at Niederweningen, Switzerland, Dehnert, Lowick, Preusser, Anselmetti, Drscher-Schneider, Graf, Heller, Horstmeyer, Kemna, Nowaczyk, Züger, Furrer, 2012

- [Ref 29] Swiss Geological Society, Plio-Pleistocene landscape evolution in Northern Switzerland, Kuhlemann, Rahn, 2013
- [Ref 30] NAGRA, Arbeitsbericht NAB 14-25, Erosion und Landschaftsentwicklung Nordschweiz, Schnellmann, Fischer, Heuberger, Kober, 2014
- [Ref 31] Swiss Geological Society, Multiple Quaternary erosion and infill cycles in overdeepened basins of the northern Alpine foreland, Buechi, Graf, Haldimann, Lowick, Anselmetti, 2018
- [Ref 32] Ontario Geological Survey, Tunnel Valley Genesis and subglacial dynamics in South-Central Ontario, Mulligan, 2018
- [Ref 33] Geothermics, ATEs systems in aquifers with high ambient groundwater flow velocity, Bloemendal, Olsthoorn, 2018
- [Ref 34] Springer Nature Switzerland AG, The Quaternary Period in Switzerland, Schlüchter, Akçar, Ivy-Ochs, 2021
- [Ref 35] Geosciences, Age of the Most Extensive Glaciation in the Alps, Dielemann, Christl, Vockenhuber, Gautschi, Graf, Akçar, 2022
- [Ref 36] Quaternary Science Journal, Comparison of overdeepened structures in formerly glaciated areas of the northern Alpine foreland and northern central Europe, Gegg, Preusser, 2022
- [Ref 37] Scientific Drilling, Drilling Overdeepened Alpine Valleys (ICDP-DOVE): quantifying the age, extent, and environmental impact of Alpine glaciations, Anselmetti, Bavec, Crouzet, Fiebig, Gabriel, Preusser, Ravazzi, 2022
- [Ref 38] Quaternary Science Reviews, Tunnel valley formation beneath deglaciating mid-latitude ice sheets: Observations and modelling, Kirkham, Hogan, Larter, Arnold, Ely, Clark, Self, Games, Huuse, Stewart, Ottesen, Dowdeswell, 2022
- [Ref 39] Tunnelling through lake sediments of Middle Pleistocene age in the Northern Alpine foreland: results from geological, pollen and dating investigations from a site in Küsnacht, Switzerland, Zahno, Gander, Lüthold, Preusser, Knipping, noch nicht publiziert
- [Ref 40] Grundwasser - Zeitschrift der Fachsektion Hydrogeologie, Aquiferspeicher in Deutschland, Fleuchaus, Schüppler, Stemmler, Menberg, Blum, 2021
- [Ref 41] Renewable and Sustainable Energy Reviews, Environmental impacts of aquifer thermal energy storage (ATES), Stemmler, Blum, Schüppler, Fleuchaus, Limoges. Bayer, Menberg, 2021
- [Ref 42] Potentialanalyse von Aquiferspeichern als Beitrag zur Umsetzung der Wärmewende in Thüringen, Masterarbeit, Hopf, 2022
- [Ref 43] Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft Kanton Zürich, Saisonale Wärmespeicherung im Grundwasser, Geotest AG, Simultec AG, Gruenberg + Partner AG, 2022
- [Ref 44] Geothermie Schweiz, Bewertung des Potenzials für die geothermische Speicherung in der Schweiz, Interne Studie für ein Positionspapier des Verbands, 2022

2. Ausgeführte Untersuchungen

2.1. Allgemeine Arbeitsschritte

Für die Neubeurteilung der Grundwasserleiter wurden zuerst die bestehenden Grundlagen [Ref 9][Ref 10][Ref 11][Ref 12][Ref 15][Ref 16] eingesehen und strukturiert. Anschliessend wurden diese Grundlagen mit den zur Verfügung gestellten Sondierungen und geologischen Berichten [Ref 5] verglichen und neu ausgewertet. Zusammenfassend sind dabei folgende Arbeiten durchgeführt worden:

- Generelles Studium Grundlagen zu den Grundwasservorkommen 5.2., 15., 16. sowie 4.2., 4.3., 7., 10.2., 10.3., 10.4.
- Erstellung Schichtkonzept und Hypothese Genese
- Erstellung Datenbank-Gerüst und Abfüllen Datenbank mit harmonisierter Beurteilung zur Verfügung stehender Sondierungen (Auswertung von rund 560 Sondierungen)
- Interpolationen in ArcGIS, QGIS und SAGA:
 - Felsoberfläche im Bereich des Tiefengrundwassers 5.2. sowie Übergänge zu 15. & 16.
 - Mächtigkeit der Felsüberdeckung und einzelner Schichten im Bereich Grundwasser 5.2. sowie Übergänge zu 15. & 16.
 - Flurabstand Unterkante gering durchlässiger Deckschicht tieferer Grundwasserstockwerke 4.2., 4.3., 5.2., 15. & 16.
 - Mächtigkeit des Tiefengrundwassers 5.2. sowie Übergänge zu 15. & 16.
 - Durchlässigkeitsbeiwert und Transmissivität des Tiefengrundwassers 5.2. sowie Übergänge zu 15. & 16.
 - Grundwasserdruckfläche des Tiefengrundwassers 5.2. sowie Übergänge zu 15. & 16.
- Iterative Plausibilisierungen und Justierungen
- Digitalisierung Vorschlag neue Abgrenzungen des Tiefengrundwassers 5.2. sowie Übergänge zu 15. & 16.
- Interpretation und Digitalisierung von 4 neuen geologischen und hydrogeologischen Querprofilen
- Dokumentation und Erstellung Bericht mit hydrogeologischer Charakterisierung tieferliegender Grundwasservorkommen (Prioritär: 5.2.; Sekundär: 15. & 16.; Untergeordnet: 4.2., 4.3., 7., 10.2., 10.3., 10.4.), Erstbeurteilung Eignung thermische Nutzung, Aufzeigen Kenntnislücken inkl. Vorschläge für allenfalls notwendiger ergänzender Grundlagenbeschaffung, Beurteilung Auswirkungen auf Gewässerschutzkarte und Erdwärmenutzungskarte (vorliegender Bericht)

2.2. Durchgeführte Interpolationen

Für die Beurteilung der tieferen Grundwasserstockwerke wurden mehrere digitale Höhenmodelle (DHM) erstellt. Unter einem DHM wird ein Datensatz verstanden, der an jeder beliebigen Stelle (x, y) seines Gültigkeitsbereichs Auskunft über die Höhenlage (z) der Oberfläche gibt, die er repräsentiert [Ref 20]. Prinzipiell handelt es sich dabei um eine Schar höhenkotierter Punkte, aus welchen die Höhenlage eines dazwischen liegenden, beliebigen Punktes interpoliert werden kann. Im vorliegenden Fall sind es Höhenangaben aus den bekannten Sondierungen sowie Terrainhöhen geologischer Aufschlüsse.

Meist stehen die tatsächlichen Messwerte aber nicht in der gewünschten Dichte zur Verfügung. Wenn die direkte Interpolation zwischen zwei Punkten nicht zu einem plausiblen Resultat führt, müssen „willkürlich“ zusätzliche Punkte gesetzt werden [Ref 20]. Die zusätzlichen Punkte sind nach hypothetischer Genese sowie Grundlagen Dritter (z.B. gravimetrischer Grundlagen, Interpretationen anderer Gutachter etc.) zu setzen.

Je drei Mess- oder Zusatzpunkte spannen dabei ein Dreieck auf. Eine Oberfläche, welche durch Einzelpunkte repräsentiert wird, kann also auch als eine kontinuierliche Abfolge von Dreiecken verstanden werden. Wenn festgelegt wird, welche drei Punkte jeweils ein Dreieck bilden, wird von einer unregelmässigen Dreiecksvermaschung (Triangulated Irregular Network, TIN) gesprochen. Die Einrichtung von TIN ist vor allem dann zwingend, wenn der räumliche Bezug zwischen benachbarten Messpunkten nicht offensichtlich und somit nicht eindeutig ist. Dies ist bei geologischen Daten häufig der Fall. Entsprechend wurde vorliegend hauptsächlich diese Methode angewandt.

Neben den Bohrdaten wurden für die Konstruktion der gewünschten Oberflächen der Verlauf der Felsoberfläche in unmittelbar benachbarten, nicht von Lockergestein überdeckten Gebieten [Ref 10], die Endtiefe von Bohrungen, welche die Basis des Quartärs nicht erreicht haben [Ref 5], die harmonisierten Auswertungen der Sondierprofile sowie ältere regionale Erhebungen durch Drittautorenen [Ref 5][Ref 9][Ref 10][Ref 16] herangezogen. Für die Interpretation der Daten wurden zudem allgemeine hydraulische und glaziologische Konzepte konsultiert (vgl. Kap. 4.1).

Die Genauigkeit der ermittelten DHM ist vor allem von der jeweiligen geologischen Aufnahme, der Rasterweite und der Oberflächenrauigkeit abhängig. Vorliegend wurde mit Rasterweiten von 5 m gearbeitet. Mangels Datendichte und unterschiedlicher geologischer Ansprachen wird der globale Fehler vorliegend auf rund 10 bis 20 % geschätzt. Bei morphologisch steilen Konturen oder Bereichen ohne naheliegende Sondierungen können etwas höhere Ungenauigkeiten nicht ausgeschlossen werden. Es gibt damit keine Garantie, dass die angegebenen Daten an einem bestimmten Punkt im Untergrund korrekt sind.

Aufgrund unterschiedlicher Zeitpunkte der Grundwasserspiegelmessungen wurde für die Ermittlung der Grundwasserdruckfläche die cubic-Spline-Interpolationsmethode angewandt. Dabei werden die resultierenden Werte mithilfe einer mathematischen Funktion geschätzt, die die Oberflächenkrümmung minimiert und eine geglättete Oberfläche erzeugt.

Die Interpolation der verschiedenen Einheiten erfolgte in einem iterativen Verfahren, welches ständige Plausibilisierungen und Justierungen benötigte. Je nach Detailbetrachtung und Bedarf kann das Modell künftig verfeinert und mit weiteren Sondierungen ergänzt werden.

3. Beurteilungsgrundsätze

Für die Beurteilung der Nutzbarkeit des Grundwassers wurden die Grundsätze hinsichtlich Bauten im Grundwasser des Kantons Zug [Ref 8] herangezogen:

- Nutzbares Grundwasser: Förderbare Wassermenge ohne übermässige Absenkung des Grundwasserspiegels > 30 l/min. Falls unbekannt, Gebiet grösserer Grundwassermächtigkeit (> 2 m) oder mässiger bis erhöhte geohydraulische Parameter (Transmissivität (T-Wert) $= \geq 1 \times 10^{-3}$ m²/s resp. Durchlässigkeitsbeiwert (kf-Wert) $= \geq 5 \times 10^{-4}$ m/s)
- Nicht nutzbares Grundwasser: Förderbare Wassermenge ohne übermässige Absenkung des Grundwasserspiegels < 30 l/min. Falls unbekannt, Gebiet geringer Grundwassermächtigkeit (< 2 m) oder geringer geohydraulischer Parameter (Transmissivität (T-Wert) $= < 1 \times 10^{-3}$ m²/s resp. Durchlässigkeitsbeiwert (kf-Wert) $= < 5 \times 10^{-4}$ m/s)

Diese Beurteilung dient insbesondere der Einteilung von nutzbarem Grundwasser bei oberflächennahen Grundwasservorkommen. Ergänzend wurde hierzu für die Beurteilung des Tiefengrundwassers folgende Grundsätze verfolgt:

- In der Grundwasserkarte soll auch Tiefengrundwasser mit einem T-Wert $= \geq 1 \times 10^{-4}$ m²/s inkludiert werden
- In der Grundwasserkarte soll auch artesisch gespanntes Tiefengrundwasser inkludiert werden, welches nicht unbedingt die Kriterien für nutzbares Grundwasser erfüllt

Da bei älteren Sondierungen teilweise nur einfache Absenkungs- und Aufstiegsversuche durchgeführt wurden, können deren berechnete Durchlässigkeitsbeiwerte meist nicht als massgebend betrachtet werden für die Beurteilung der technischen Nutzbarkeit. Grundsätzlich können nur erhobene kf- und T-Werte aufgrund fachgerechter Pumpversuche nach erfolgter Entsandung gemäss SIA 384/7 [Ref 13] als repräsentativ betrachtet werden¹. Hinzu kommt der Umstand, dass viele Bohrungen das Tiefengrundwasser nur selten komplett durchstossen haben, womit deren ermittelte Werte nicht unbedingt repräsentativ für den gesamten Grundwasserträger sind. Entsprechend stellen häufig die geologische Ansprache der erschlossenen Schichten sowie ergänzende Interpolationen die massgebende Grundlage für die Beurteilung und Interpretation der Nutzbarkeit des Tiefengrundwassers dar.

¹ Steig- und Absenkversuchen im Bohrloch ergeben gegenüber einem fachgerechten Pumpversuch mit vorgängigem Entsanden oft 10- bis 100-fach zu geringe Durchlässigkeitsbeiwerte (kf-Werte)

4. Allgemeine Geologie

4.1. Geologische Situation und Schichtaufbau Lockergesteine

Der Felsuntergrund bildet im Untersuchungsperimeter ein bis über 200 m tiefes Becken mit seitlich anschliessenden Rinnen («subglacial tunnel valley»). Der anstehende Fels besteht dabei grösstenteils aus den tertiären Einheiten der flachliegenden, mittelländischen Molasse (Bunte Mergel und Mergelsandsteine mit dolomitreichen Sandsteinen der oberen Süsswassermolasse OSM, mittleres Miozän)[Ref 10]. Aufgrund der im Neogen aus dem Süden vorrückenden alpinen Decken wurden die zuvor sedimentierten Molassegesteine in dessen Vorlandbecken durch das Helvetikum überschoben, überprägt, steilgestellt und teilweise leicht verfaultet. So ergibt sich im südöstlichen Bereich des Projektperimeters (Bereich St. Verena) den Übergang von flachliegenden zu steilstehenden Molassegesteine (obere Meeresmolasse OMM), bis schliesslich im Bereich Berghof die frontale Überschiebung der subalpinen Molasse (Höhrnen-Aufschiebung, untere Süsswassermolasse USM) eine grössere Dislokation darstellt. Heute ist der Felsuntergrund nur noch am Rande des Beckens aufgeschlossen bzw. nur geringfügig überdeckt (vgl. Abbildung 4-1, olive Flächen oberhalb St. Verena und orange Flächen bei Himmelrich, unterhalb Baarburg, bei Unterdeibüel, Unterzimbel, Zürcherhof, Städtlerwald etc.).

Das Felsbecken von Baar-Zug-Steinhausen geht im Osten in die Felsrinne von Richterswil-Menzingen und im Nordwesten in die Rinne von Blickensdorf-Knonau-Maschwanden über. Im Süden folgt das übertiefte Becken des Zugersees (vgl. Abbildung 4-2).

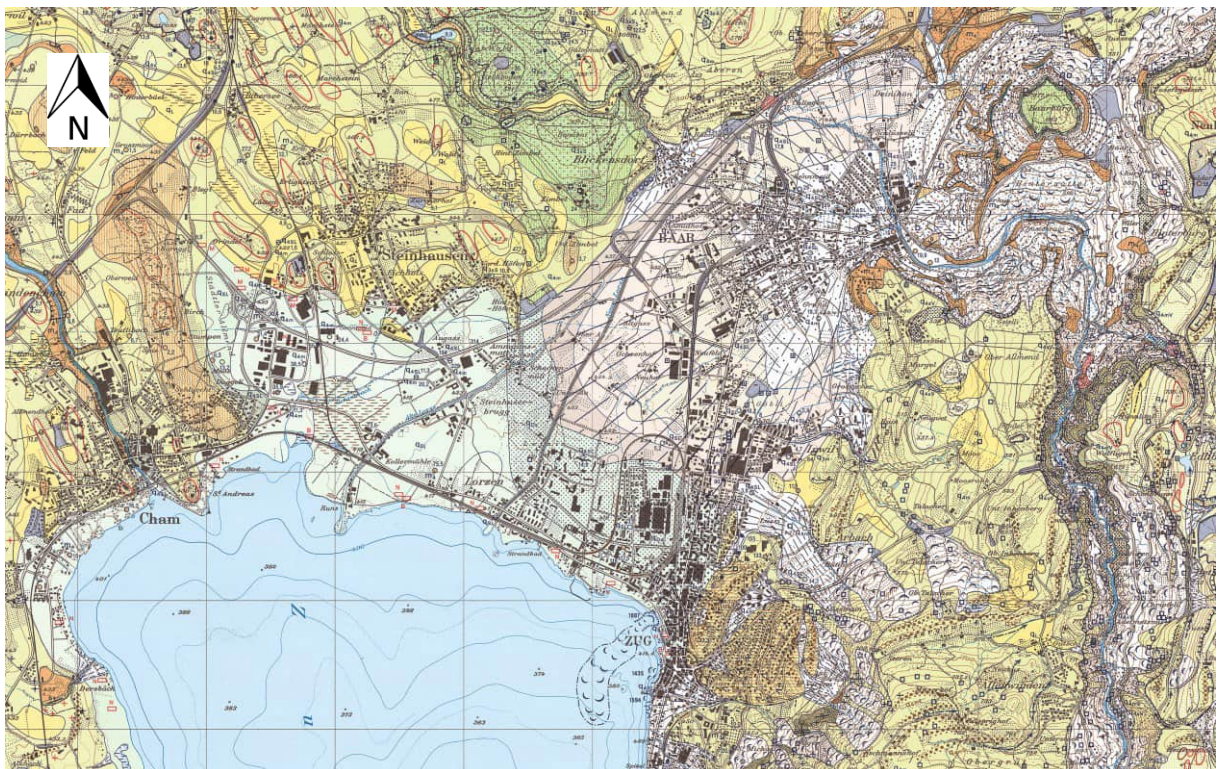


Abbildung 4-1: Ausschnitt geologischer Atlas 1:25'000, nicht massstäblich [Ref 10]

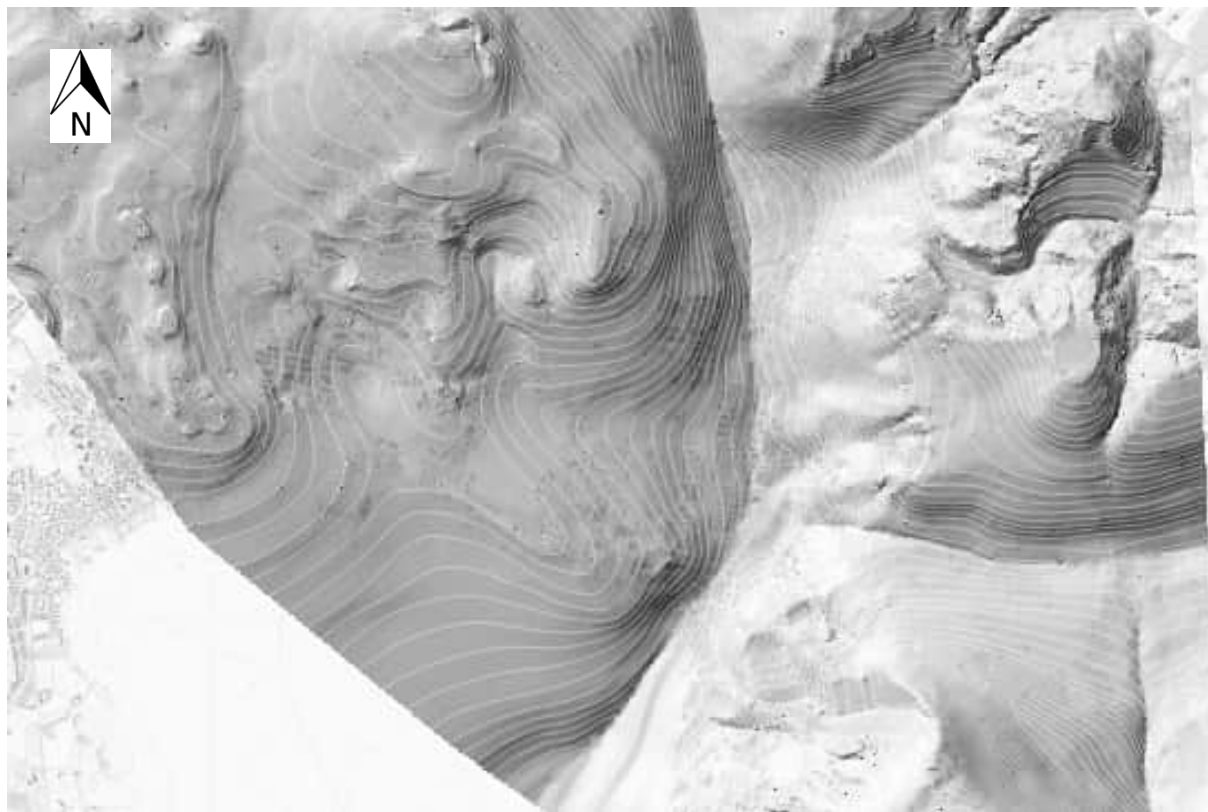


Abbildung 4-2: Ausschnitt interpolierte Felsoberfläche (vgl. Beilage 1)

Das Felsbecken von Baar-Zug-Steinhausen wurde nach dessen Erosion (vgl. Kap. 4.2) mit unterschiedlichen quartären Sedimenten aufgefüllt. Der aus den uns vorliegenden Untersuchungen harmonisierte Schichtaufbau im Talgrund von Choller-Neustadt bis Jöchler-Deinikon kann wie folgt zusammengefasst werden (vgl. dazu Anhang D):

Nr.	Bezeichnung	Andere Bezeichnungen	Ausprägung Bereich Choller-Neustadt	Ausprägung Bereich Jöchler-Deinikon
1	Überschwemmungs-, Verlandungs- und Sumpfsedimente	Hochflut-, Auen- und Altwasserablagerungen sowie Schwemmsedimente	i.d.R. Silte und Sande, mit variierendem Anteil an Ton und Kies sowie stellenweise mit vielen organischen Beimengungen und Torflagen	i.d.R. Silte und Sande, mit variierendem Anteil an Ton und Kies sowie wenigen organischen Beimengungen und Torflagen
2	Bachablagerungen	Alluviale Ablagerungen, Flussuferablagerungen, Mündungsfächer, Schwemmfächer- und Schwemmkegelablagerungen	i.d.R. saubere bis schwach siltige Kiese, stark sandig und geringem bis mittlerem Steinanteil	i.d.R. saubere bis schwach siltige Kiese, stark sandig und geringem bis mittlerem Stein- und Blockanteil
3	obere Deltaablagerungen	Deltaplattform-sedimente (topset-beds) und	i.d.R. siltige Sande ohne oder mit geringem Kiesanteil	i.d.R. siltige Sande und Kiese ohne oder mit geringem Steinanteil

Nr.	Bezeichnung	Andere Bezeichnungen	Ausprägung Bereich Choller-Neustadt	Ausprägung Bereich Jöchler-Deinikon
		Deltafrontsedi- mente (bottomset- beds)	Vermutlich schräggestellt und gegen unten teilweise mit Schichttyp 4 zwischengelagert	Vermutlich schräggestellt und teilweise mit Schichttyp 4 zwi- schengelagert
4	warmzeitliche bis periglaziale See- ablagerungen inkl. Seekreide und untere Del- taablagerungen	limnische (lakust- rine) Sedimente, Deltafuss sedi- mente (foreset- beds)	i.d.R. siltige Sande und tonige Silte mit stellenweise organi- schen Beimengungen, Muscheln und Schnecken Im Bereich Choller-Bahnhof Steinhausen oft mit Seekreide Gegen oben vermutlich schräg- gestellt und teilweise mit Schichttyp 3 zwischengelagert	i.d.R. siltige Sande und tonige Silte mit stellenweise organi- schen Beimengungen, Muscheln und Schnecken Gegen oben vermutlich schräg- gestellt teilweise mit Schichttyp 3 zwischengelagert
5	kaltzeitliche See- ablagerungen inkl. glazilakust- rine Diamikte und Dropstones	Beckenablagerun- gen, Eisstausee-Ab- lagerungen, glazi- limnische Ablage- rungen, Unterwas- sertill (waterlain till), Abtropfdiamik- ton, Gletscher- seemoräne etc.	i.d.R. Ton, Silt und Feinsand, teilweise schwach bis mässig kiesig, teilweise deutliche Schichtung und vereinzelte Steine und Blöcke	
6	Moränenablage- rungen	Moräne, Till, Aus- schmelztill (melt- out till), Traktions- till (traction till), Fliesstill (flow till), Grundmoräne (lodgment till), Ab- schmelztill	i.d.R. sand- bis kiesdominierende Diamikte mit mässigem Stein- und Blockanteil, oft auch feinkorndominierende Diamikte, schlecht sor- tiert	
7	glazilakustrine Beckenablage- rungen und glazi- ofluviale Ablage- rungen mit Ein- schaltungen von glazialen Diamik- ten	Schmelzwasserab- lagerungen, Eis- staubeckenablage- rungen, Stauschot- ter, Beckensand, glaziale Deltaabla- gerungen, ver- schwemmtes Morä- nenmaterial, Os, Esker, Kames, Mo- räne, Till etc.	i.d.R. Wechsellagerung aus gut sortierten sandigen Kiesen oder kie- sigen Sanden mit sandig-siltigen Zwischenlagen, oft mit hohem Feinsandanteil, variablem Ton und Steinanteil, teilweise verkittet und oft hart gelagert. Im Bereich der Felsrinne vermehrt saubere sandige Kiese und kie- sige Sande, resp. zu den Beckenrändern hin nach Steinhausen, St. Verena, Oberwil, Deinikon vermehrt siltig-sandige und/oder «morä- nenartige» Ablagerungen mit einzelnen Schotterrinnen. Im Bereich des Strassenverkehrsamt in Steinhausen kleinräumig ebenfalls oft mit sauberen sandigen Kiesen und kiesigen Sanden. Der Aufbau dieser Beckenfüllung ist sehr heterogen und anisotrop. Feinkörnige, schlecht durchlässige Lockergesteine wechseln sich re- gelmässig sowohl vertikal wie auch horizontal mit grobkörnigen, gut durchlässigen Schichten ab.	

Nr.	Bezeichnung	Andere Bezeichnungen	Ausprägung Bereich Choller-Neustadt	Ausprägung Bereich Jöchler-Deinikon
8	Moränenablagerungen	Moräne, Till, Ausschmelztill (melt-out till), Traktions- till (traction till), Fliesstill (flow till), Unterwassertill (waterlain till), Grundmoräne (lodgment till), Ab- schmelztill	i.d.R. sand- bis kiesdominierende Diamikte mit mässigem Stein- und Blockanteil, stellenweise feinkorndominierende Diamikte, schlecht sortiert	

Tabelle 4-3: harmonisierte Schichtaufbau im Talgrund von Choller-Neustadt bis Jöchler-Deinikon

In den östlichen sowie westlichen Talrändern kommen weitere Schichttypen hinzu. So kommen neben gravitativen Umlagerungen, insbesondere letztglaziale Moränenablagerungen, sowie stellenweise auch ältere glaziofluviale Schotter ausserhalb der Talsohle vor.

Das hangseitige Gebiet von Blickensdorf über Steinhauserwald-Zimbel nach Steinhausen weist einige weitere Lockergesteine auf. So liegen im Bereich der Felsrinne von Blickensdorf-Knonau-Maschwanden über der älteren Beckenfüllung (Schichten Nr. 5 – 8, vgl. Tabelle 4-3) weitere glaziofluviale und glazilakustrine Einheiten, die teilweise ebenfalls Grundwasser führen (vgl. dazu Kap. 4.3 und Anhang D). Dazwischen finden sich auch oft weitere glaziale Diamikte unterschiedlichen Alters. Im Westen des Felssporn von Zimbel überlagern dabei jüngere gut durchlässigen glazilakustrine Einheiten (vorwiegend sandig-kiesige Deltaablagerungen) direkt die ältere Beckenfüllung (Schichttyp Nr. 7), während im Osten des Felssporn im Bereich der Felsrinne kein direkter Kontakt dieser beider Einheiten vermutet wird (vgl. Anhang C).

In der bestehenden Literatur [Ref 9] wird der komplexe Aufbau mittelpleistozäner Ablagerungen im Hangbereich von Blickensdorf über Steinhauserwald-Zimbel nach Steinhausen meist als „Steinhauserwald-Komplex“ bezeichnet.

Im Osten des Felsbeckens kommen ähnlich wie bei Blickensdorf-Steinhauserwald-Zimbel weitere glaziofluviale und glazilakustrine Einheiten in der Felsrinne von Richterswil-Menzingen vor. Die Basis der dortigen Felsrinne wird im Bereich Inkenberg rund 180 m höher erwartet als die tiefsten Stellen im Becken von Baar-Zug-Steinhausen. Entsprechend ergibt sich ein starkes Gefälle. Ob die grobkörnigen, gut durchlässigen Lockergesteine im unteren Bereich der Rinnenfüllung mit der älteren Beckenfüllung von Baar-Zug-Steinhausen (Schichttyp Nr. 7) direkt zusammenhängt, konnte bisher nicht restlos geklärt werden. Da der glaziofluvialen und glazilakustrinen Füllung der Felsrinne von Richterswil-Menzingen ein ähnliches Alter zugewiesen wird wie der älteren Beckenfüllung (Schichttyp Nr. 7) von Baar-Zug-Steinhausen, wird eine diesbezügliche Verbindung vermutet.

In der bestehenden Literatur [Ref 9] wird der komplexe Aufbau mittelpleistozäner Ablagerungen im Bereich der Rinne von Richterswil-Menzingen oft als „Inwiler-Komplex“ bezeichnet. Zusammenfassend wird der komplexe Aufbau mittelpleistozäner Ablagerungen rund um das Felsbecken von Baar-Zug-Steinhausen als «Steinhauserwald-Inwiler-Komplex» bezeichnet.

Auf die jungpleistozänen bis holozänen Lockergesteine wird vorliegend nicht detaillierter eingegangen, da diese für die tieferen Grundwasserstockwerke von geringer Bedeutung sind.

4.2. Allgemeine Entstehungsgeschichte

Mit der vorliegenden Auswertung der vorhandenen Sondierungen und geologischen Berichte [Ref 5] und der Konsultation bestehender Publikationen (vgl. Kap. 1.4.2) kann die Entstehungsgeschichte des Baarerbeckens aktuell wie folgt angenommen werden:

- Nachdem im Neogen Flüsse und Bäche erste Hauptdrainagewege in Bruchzonen, stark zerklüfteten Fels sowie weichere Gesteinspartien einschnitten, wurde die heutige Geländemorphologie insbesondere während dem Pleistozän durch zahlreiche Gletschervorstösse und –rückzüge angelegt. Während des Jungpleistozäns und frühen Holozäns setzten mit zunehmend wärmeren Bedingungen überwiegend fluviale und gravitative Prozesse ein. Neben See-, Delta- und Bachablagerungen sowie Überschwemmungs-, Verlandungs- und Sumpfsedimente am Talgrund des Baarerbeckens, bildeten sich während des Holozäns an Hanglagen, und verzahnt mit den alluvialen Ablagerungen am Talgrund, Schuttkegel und Rutschungen.
- Die Tiefenerosion der übertieften Felsbecken von Baar-Zug-Steinhausen und des Zugersees sowie der Felsrinnen von Richterswil-Menzingen und Blickensdorf-Knonau-Maschwanden trat vermutlich mehrphasig während des frühen bis mittleren Pleistozäns ein und wurde durch die teils schräggestellte Wechselfolge, Trennflächen sowie weicheren Gesteinspartien der Felsuntergrundes begünstigt.
- Die übertieften Felsbecken und Felsrinnen sind, analog diverser anderer Beispiele im nordalpinen Vorland, nur mit Tiefenerosion durch subglaziale Schmelzwasser zu erklären [Ref 24][Ref 26][Ref 30]. Subglaziale Schmelzwässer schneiden die Becken und Rinnen durch direkte Erosion und durch das effiziente Abtransportieren von erodiertem Material in den Felsuntergrund ein. Dabei handelt es sich um ein Selbstförderungsprozess, wonach mit fortlaufender Tiefenerosion die Entwässerung von Wasser und Eis entlang des tiefer werdenden Tals zunimmt. Dieser Prozess wird zunehmend effizienter und die Erosion konzentriert sich vermehrt auf die Talachse, so dass ein tief eingeschnittenes Tal entsteht, wo das Gletschereis vergleichsweise schnell und unter lateraler Begrenzung fliesst. Die Übertiefungen entstehen beim Vorstoss temperierter grosser Eiskörper, wo viel Schmelzwasser sowie eine vergleichsweise hohe Neigung der Eisoberfläche bzw. wo ein hoher subglazialer, hydrostatischer Druck zum Eisrand hin vorliegt. Im Detail kommen mehrere Prozesse in Frage [Ref 22][Ref 30][Ref 36][Ref 38], wobei folgende Abbildung die wichtigsten Mechanismen zusammenfasst:

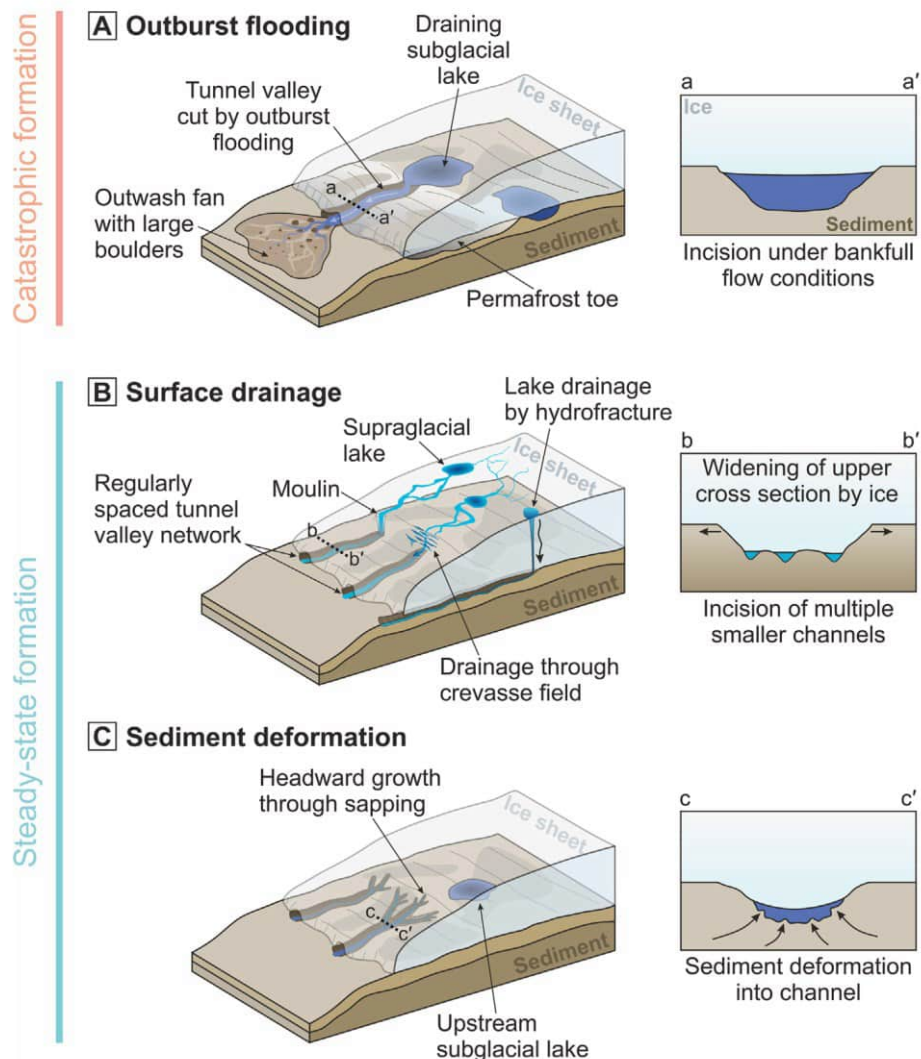


Abbildung 4-4: Mögliche Mechanismen für die Entstehung von glazial übertieften Becken und Felsrinnen [Ref 38]: A) Ausbruch von subglazialen Schmelzwässern, die zuvor durch zusammengefrorenem Gletscher und Permafrost aufgestaut war; B) Stetiger Abfluss von oberflächlichem Schmelzwasser, welches an der Basis zu wenigen konzentrierten oder mehreren kleineren Abflussrinnen führt; C) Allmähliche Aushöhlung Richtung eingeschlossener subglazialer See, wobei sich das Sediment in den subglazialen Kanälen aufgrund Druckreduktion deformiert und über Schmelzwasser abgeführt wird

- Es kann angenommen werden, dass der Zeitraum des jeweiligen erosiven Taleinschnitts in den Alpen mit jenen im nordalpinen Vorland [Ref 28][Ref 29] zeitlich korreliert. Im Allgemeinen wird hierbei ein Zeitraum der tiefgreifenden Rinnenerosion zwischen 400 bis 700 ka angenommen (MIS10 bis MIS16). Die Möhlin-Kaltzeit wird als die «grösste Vergletscherung» («Most Extensive Glaciation» resp. MEG) angesehen und trat vor rund 500 ± 100 ka ein [Ref 35]. Die MEG gilt sowohl im nordalpinen Vorland wie auch im ganzen nördlichen Europa als Gletschervorstoss, der grosse Übertiefungen von Tälern verursachte [Ref 27][Ref 35]. Analog der Übertiefung der Rinne von Richterswil [Ref 21][Ref 22][Ref 26] wird die letzte tiefgreifende erosive Phase des Felsbeckens von Baar-Zug-Steinhausen sowie die anschliessenden Rinnen von Blickensdorf-Knonau-Maschwanden und Zug-Zugersee der Möhlin-Kaltzeit zugeschrieben.

- Höchstwahrscheinlich während der Möhlin-Kaltzeit setzte schliesslich, analog diversen anderen übertieften Rinnen im nördlichen alpinen Vorland, die mehrphasige Sedimentation der Lockergesteine ein [Ref 21][Ref 22][Ref 26][Ref 27]. Die heterogene Sedimentation von Diamikten sowie glazilakustrinen und glaziofluvialen Ablagerungen (Schichttyp 7 & 8) werden demnach vorliegend der Möhlin-Kaltzeit und/oder der darauffolgenden Habsburg-Kaltzeit zugeschrieben (MIS8, MIS10, MIS12) [Ref 26][Ref 31]. Die damals angelegten Rinnen mit ersten Füllungen wurden höchstwahrscheinlich während mehrerer Gletschervorstössen wieder partiell ausgeräumt und/oder verbreitert bzw. vertieft, womit die komplexe Auffüllung entstehen konnte.
- Die über der heterogenen Sedimentation von Schichttyp 7 & 8 liegenden glazialen Diamikte (Schichttyp 6) sind vermutlich an der Basis des neu vorrückenden Reuss-/Muotagletschers abgelagert worden. Diese Ablagerungen sind ebenfalls entweder der Möhlin- oder der Habsburg-Kaltzeit (MIS8, MIS10, MIS12) zuzuordnen. Dazwischenliegende Inter-glaziale sind nicht dokumentiert. In Analogie zur Rinne von Richterswil ist eine Stellung in der Habsburg-Kaltzeit (MIS8) wahrscheinlich [Ref 26].
- Mit dem Abschmelzen der Gletscher bildet sich im Felsbecken von Baar-Zug-Steinhausen sowie den anschliessenden Rinnen ein bis auf rund 510 m ü. M. spiegelnder proglazialer See (Schichttyp 5). Als Stauer kommt neben der Albiskette im Norden die damals möglicherweise noch etwas höher liegende Felsschwelle sowie noch vorhandene Seiten-/Endmoränen im Bereich Rotenberg-Hünenberg-Rossau in Frage. Auch hier fehlt bisher eine klare zeitliche Stellung. Analog den mächtigen kaltzeitlichen Seeablagerungen der Rinne von Richterswil [Ref 12][Ref 26], oder den Seebodensedimente im Becken von Einsiedeln [Ref 12], ist eine Sedimentation im Spätglazial der Habsburg-Kaltzeit (MIS8) möglich. Pollen- und Lumineszenzuntersuchungen an ähnlichen Seeablagerungen in Küssnacht am Rigi [Ref 39] zeigen eine Stellung dieser Sedimente in der Habsburg-Kaltzeit (MIS8), aber auch wenige Pterocarya-Pollen, was dementsgegen ein Indiz für das Thalgut-/Holstein-Interglazial wäre (MIS9). Möglicherweise handelt es sich bei den nachgewiesenen Pterocarya-Pollen aber um aufgearbeitete und eingetragene Pollen aus älteren warmzeitlichen Ablagerungen, womit sich eine Stellung in kaltzeitlichen Ablagerungen (Identifizierung durch Vorhandensein von Dropstones und Warvenschichtung sowie Fehlen von organischen Bestandteilen) innerhalb der Habsburg-Kaltzeit (MIS8) plausibilisieren würde.
- Über den kaltzeitlichen Seeablagerungen entwickelt sich im Übergang zum Holozän eine warmzeitliche Seesedimentation. Dabei progradiert das Delta der Lorze in den damals noch grösseren bis auf rund 420 m ü. M. spiegelnden Zugersee (Schichttyp 3 und 4). Darüber entwickelt sich schliesslich der Schwemmfächer der Lorze (Schichttyp 2) bevor dieser von den jüngsten Deckschichten (Schichttyp 1) überlagert wird.

Aufgrund der mehrphasigen Vergletscherung des Baarerbeckens zwischen Möhlin-Kaltzeit und Holozän sind mehrere Schichtlücken vorhanden, wodurch insbesondere die zeitliche Stellung der heterogenen Einheit aus glazialen Diamikten sowie glazilakustrinen und glaziofluvialen Ablagerungen (Schichttyp 6 bis 8) und der darüberliegenden kaltzeitlichen Seeablagerungen (Schichttyp 5) ohne weitere Untersuchungen nicht eindeutig zugewiesen werden kann. Die Schichtlücke zwischen Schichttyp 5 (Annahme MIS8) und Schichttyp 4 (Annahme MIS1) ist sehr gross und noch ungeklärt. Während an den Talrändern des Baarerbeckens (z.B. bei Blickensdorf, Arbach etc.) mittel- bis jungpleistozäne Ablagerungen (MIS2 bis MIS7) bekannt sind, fehlen diese im Talgrund des Baarerbeckens.

4.3. geologische Spezialfälle

■ St. Verena – Rägeten

Im Bereich der Kantonsschule über Loreto nach Schlosshof, Lüssirain und St. Verena befindet sich gemäss geologischem Atlas [Ref 10] eine alte Felssackung unter der letzteiszeitlichen Moräne. Die vorliegenden Auswertungen lassen vermuten, dass es sich weniger um eine Sackung (langsame und progressive Bewegung), sondern um eine Felsrutschung (plötzliche und schnelle Bewegung) handelt.

Abgerutscht ist dabei das steilstehende Felspaket aus Sandsteinen und Mergeln der Oberen Meeres- und Süsswassermolasse. Sondierungen und die geologisch-morphologische Verhältnisse lassen zudem entgegen bisheriger Literatur erwarten, dass auch im Bereich zwischen Bohlbach und Männibach eine Felsrutschung stattgefunden haben muss. Dementsprechend wird von einer mehrphasigen Rutschung aus Molassegesteine im Bereich Kantonsschule über Loreto nach Frauensteinmatt, Männibach, Rägeten, St. Verena und Lüssirain ausgegangen.

Aufgrund zahlreicher Sondierungen (überwiegend anlässlich Erdwärmesondenbohrungen) wurden zwei Rutschbereiche identifiziert, wovon der nördliche Teil teilweise das artesisch gespannte Tiefengrundwasser 5.2. bis zu rund 250 m überfahren hat (vgl. Beilagen). Die eine basale Gleitfläche bzw. Überschiebung auf die Beckenablagerungen (Schicht Nr. 7, vgl. Tabelle 4-3) wird auf ca. 360 bis 370 m ü. M. erwartet (vgl. Anhang A). Beim südlichen Rutschkörper wird keine Überfahrung der Beckenfüllung erwartet.

Aufgrund der zerrütteten Rutschkörper und dem steil stehendem Felsuntergrund ergibt sich ein komplexes Trennflächengefüge, wobei die Unterscheidung zwischen verrutschten und anstehenden Felspartien nicht immer eindeutig ist. Dementsprechend treten teilweise lokal artesisch gespannte Bergwasserzutritte auf, währenddem sich in unmittelbarer Umgebung trockene Bedingungen einstellen können. Die aktuellen Erkenntnisse sind in den beiden Querprofilen in Anhang A zusammengefasst.

Das Alter der Rutschungen wird aufgrund geologisch-morphologischer Verhältnisse sowie dem erwarteten Schichtaufbau rund um den Akkumulationsbereich auf späteiszeitliches Alter (Ende Birrfeld-Kaltzeit [Ref 26]) geschätzt. So zeigen beispielsweise die Moränenwälle von Sterenhof-Winzrüti (Rückzugsstadium Zürich und Bremgarten) und Aarbach (Rückzugsstadium Rotkreuz-Honau) auf dem Rutschkörper eine Dislokation auf tieferer Höhenlage.

■ Steinhausen – Zimbel

Wie die bestehende Literatur [Ref 9] und frühere Gutachten [Ref 5] postuliert haben, wird auch gemäss vorliegenden Untersuchung davon ausgegangen, dass im Bereich Höfen-Zimbelwald-Vogelrain eine direkte hydraulische Verbindung der jüngeren glazilakustrine Einheiten (vorwiegend sandig-kiesige Deltaablagerungen) im Hangenden mit der älteren Beckenfüllung (Schichttyp Nr. 7) im Liegenden vorliegt. Dazwischen finden sich teilweise reliktsche glaziale Diamikte (Schichttyp Nr. 6) und/oder kaltzeitliche Seeablagerungen (Schichttyp Nr. 5). Das Gebiet der Überlappung beschränkt sich im Westen des Felssporns von Zimbel auf knapp 1 km² (vgl. Beilagen). Das Verhältnis nimmt Richtung Felssporn zugunsten der jüngeren gut durchlässigen glazilakustrine Einheiten zu, bis die ältere Beckenfüllung komplett auskeilt (vgl. Anhang C).

Auf der östlichen Seite des Felssporns von Zimbel sind keine Indizien für eine direkte hydraulische Verbindung vorhanden resp. sind die beiden Einheiten im Bereich der Felsrinne von Blickensdorf-Knonau-Maschwanden voneinander hydraulisch entkoppelt [Ref 9].

Das Grundwasser der Deltaablagerungen im Hangenden (Grundwasser 4.3., vgl. Kap. 5.3) mischt sich im Bereich Steinhausen – Zimbel mit dem sauerstoffarmen Tiefengrundwasser der Beckenfüllung (Schichttyp Nr. 7) im Liegenden (Grundwasser 5.2., vgl. Kap. 5.25.3). Das Grundwasser dieser Überlappung fliesst Richtung Südwesten, wo zwischen Vogelrain und Höfen ein Druckausgleich stattfindet.

■ Blickensdorf – Schmalholz – Schönbühlwald

Das Gebiet Schmalholz – Schönbühlwald ist gekennzeichnet durch eine glazial überprägte Hügellandschaft mit Drumlins und dazwischenliegenden verschwemmten Mulden sowie Schotterterrassen und Flusstälern alter Schmelzwasserabflüsse (heutige Lage Sampftli-bach und Bachtalenbach).

Diese glaziale Hügellandschaft zwischen Lorze und Reuss wurde massgebend durch ihre Stellung im Einzugsgebiet des Gletschersystems des Muota-Reuss-Gletschers, der Nähe zum Rhein-Linth-Gletschersystem und der Albiskette im Nordosten geprägt. Wie die ältesten auf dem Albisgrat erhalten gebliebenen eiszeitlichen Sedimente zeigen, verlief die Grenze zwischen dem Reuss- und Linth-Rhein-System bereits im frühen Pleistozän im Gebiet der Albiskette, also zwischen den heutigen Haupttälern der Reuss und des Zürichsees. Die zwischenzeitliche Entwässerung des Linth-Rhein-System über die Rinne von Richterswil-Menzingen führte im mittleren Pleistozän zu einer komplexen Sedimentabfolge im Bereich von Blickensdorf – Schmalholz – Schönbühlwald.

Die Entwässerung des Reuss- und Linth-Rhein-System über die Rinne von Blickensdorf-Knonau-Maschwanden wurde nach Ablagerung der gut durchlässigen glazilakustrine Einheiten (vorwiegend sandig-kiesige Deltaablagerungen) inaktiv [Ref 11]. Diese Schotter, oft auch als Blickensdorfer-Schotter bezeichnet, wurden eisrandnah und in diesem Bereich von Süd nach Nord in eine Rinne aus Seeablagerungen (Schichttyp Nr. 6) im Liegenden geschüttet.

Nach Inaktivierung der Entwässerung des überregionalen Einzugsgebietes des Reuss- und Linth-Rhein-System über die Rinne von Blickensdorf-Knonau-Maschwanden wurde das Gebiet massgebend über glaziale Ablagerungen des Reuss-System und Ablagerungen bzw. erosive Tätigkeit der ehemaligen Lorze geprägt. Auf die rinnenförmig angelegten Deltaablagerungen folgen demnach mehrere Generationen von glazilakustrinen Beckenablagerungen, glaziofluviale Schotter sowie glaziale Diamikte (vgl. Anhang D).

■ Kollermühle – Neustadt

Bislang wurde gemäss Erdwärmenutzungskarte im Bereich Kollermühle – Neustadt bzw. entlang der Chamerstrasse eine Tiefenbeschränkung für Erdwärmesonden von 50 m verlangt [Ref 15]. Dabei wurde davon ausgegangen, dass in diesem Bereich unter undurchlässigem Moränenmaterial und kaltzeitlichen Seeablagerungen (Schichttypen Nr. 5 und 6) ab einer Tiefe von rund 60 m ab OKT artesisch gespanntes Tiefengrundwasser vorhanden ist [Ref 14].

Auch die vorliegende Auswertung zeigt, dass grundsätzlich im Bereich Kollermühle – Neustadt mit artesischem Tiefengrundwasser 5.2. zu rechnen ist. Die Überdeckung des Tiefengrundwassers wird entlang der Chamerstrasse mit rund 60 bis 80 m angenommen (vgl.

Beilage 3), die Mächtigkeit der wasserführenden Schichten < 10 m angenommen, während deren Mächtigkeit ab Neustadt schnell zunimmt (vgl. Anhang A, Anhang B und Beilage 4). Westlich Kollermühle bzw. westlich der alten Lorze und südlich der Chamerstrasse wird zurzeit kein Tiefengrundwasser nach definierter Beurteilungsgrundsätze (vgl. Kap. 3) erwartet.

■ Geissbüel

Im Umfeld des Geissbüel-Tunnels finden sich mehrere Sondierungen, die teilweise Grundwasser in sandig-kiesigen Einheiten unter Moränenablagerungen angetroffen haben. Einzelne Gutachter interpretierten diese Einheiten als Teil des „Inwiler-Komplexes“ [Ref 5]. Das Grundwasser liegt ungespannt bis subartesisch gespannt vor (vgl. Beilage 7).

Ob eine direkte hydraulische Verbindung mit dem Tiefengrundwasser 5.2. besteht, kann aktuell nicht abschliessend beurteilt werden. Mangels anderweitiger Indizien und deutlich höherem Grundwasserdruckniveau als im naheliegenden Tiefengrundwasser in der Talebene, wird dieses Grundwasservorkommen vorderhand als lokales Grundwasser ohne direkte hydraulische Verbindung zum Tiefengrundwasser betrachtet.

Es ist aber durchaus denkbar, dass es sich dabei tatsächlich um glaziofluviale oder glazilakustrine Ablagerungen, ähnlich wie die mittelpleistozänen Ablagerungen des «Steinhauserwald-Inwiler-Komplex», handelt. Diese liegen möglicherweise im Bereich Geissbüel nur noch reliktsch bzw. lokal isoliert vor.

5. Resultate ausgeführter Untersuchungen

Neben den bereits ausgeführten geologischen Erkenntnissen in Kap. 4 sollen in der Folge insbesondere die Resultate der Interpolationen und Modellierungen dokumentiert werden.

5.1. Felsoberfläche und Beckenfüllung

Die neuen Modellierungen zeigen ähnlich wie Wildi [Ref 19], NAGRA [Ref 20] und das Bundesamt für Landestopografie swisstopo [Ref 16] ein grosses Felsbecken im Bereich Baar-Zug-Steinhausen. Dieses wird erschlossen durch drei Felsrinnen («subglacial tunnel valley's»):

- Eine Rinne führt durch den Felsriegel entlang der Chamerstrasse vom Zugersee in das Becken Baar-Zug-Steinhausen (Einzugsgebiet Ur-Reuss-Muota-System).
- Eine Rinne führt vom heutigen Zürichsee über Richterswil nach Menzingen in das Becken Baar-Zug-Steinhausen (Einzugsgebiet Ur-Linth-Rhein-System)
- Eine Rinne führt vom Becken Baar-Zug-Steinhausen über Blickensdorf-Knonau-Maschwanden in das heutige Reusstal

Das neu modellierte Felsbecken ist in Abbildung 4-2 sowie Beilage 1 dargestellt. Die aktuelle Modellierung präzisiert die bisherigen Modelle der Felsoberfläche, welche bisher nur im Massstab von $\geq 1:25'000$ erhoben wurden.

Neben den glazial übertieften Bereichen konnte mit der vorliegenden Modellierung der Felssporn von Zimbel, das Felsrelief bei Steinhausen, der Felsriegel entlang der Chamerstrasse sowie die Beckenränder präzisiert werden. Ebenfalls wurde erstmals versucht, anhand einer Neuinterpretation vorhandener Sondierungen die Gleitfläche der Rutschungen bei St. Verena-Rägeten zu modellieren.

Die tiefsten Punkte im Felsbecken von Baar-Zug-Steinhausen werden im Bereich Guthirt und Neugasse-Blickensdorf auf rund 200 bis 220 m ü. M. erwartet. Die Schwelle der Rinne vom Zugersee in das Felsbecken wird analog dem Übergang des Beckens in die Rinne von Blickensdorf-Knonau-Maschwanden auf einer Höhe von rund 240 bis 250 m ü. M. vermutet. Der Übergang der Rinne Richterswil-Menzingen wird an seiner höchsten Stelle im Bereich der heutigen Lorze auf rund 390 bis 410 m ü. M. erwartet.

Die neu interpolierte Felsbedeckung zeigt im Bereich der Felsrinnen die grössten Mächtigkeiten (vgl. Beilage 2). Hinzu kommt die generell grosse Mächtigkeit glazialer Lockergesteine im Raum Allenwinden-Menzingen. Die maximale Mächtigkeit ist im vorliegenden Untersuchungsperimeter mit rund 320 m im Bereich Hilten-Islisberg bzw. im Bereich der überschütteten Felsrinne von Blickensdorf-Knonau-Maschwanden zu erwarten.

5.2. Tiefengrundwasser 5.2 sowie Übergänge zu Grundwasser 15. & 16.

5.2.1. hydrogeologische Charakterisierung

Die Ausdehnung des Tiefengrundwasser 5.2 wird einerseits durch das modellierte Felsbecken vorgegeben. Andererseits ist dessen seitliche Begrenzung durch die Beurteilungsgrundsätze gemäss Kap. 3 zu justieren. Hierzu wurden die Grundwassermächtigkeit, der Durchlässigkeitsbeiwert (kf-Wert) und die Transmissivität (T-Wert) sowie auch der Grundwasserspiegel interpoliert (vgl. Beilagen 4 bis 7).

Für die Beurteilung der Mächtigkeit standen einige Sondierungen zur Verfügung. Hierzu wurde versucht, kaum durchlässige Schichten innerhalb des relevanten Schichttyps (Schichttyp Nr. 7, vgl. Tabelle 4-3) nicht zu berücksichtigen resp. nur potenziell wasserführende Schichten zu interpolieren. Da die geologische Aufnahme bzw. das Aufschlussverfahren nicht bei allen Sondierungen die gleiche Qualität hat, oftmals der Stauer nicht erreicht wurde und die Verteilung der Sondierungen sehr lückenhaft ist, musste vereinzelt viel interpretiert werden.

Anhand der vorliegenden Modellierungen zeigt sich, dass sich entlang der Übertiefung vom Zugersee über Baar nach Blickensdorf eine theoretisch nutzbare Grundwassermächtigkeit von bis zu 120 m ergibt. Unter Berücksichtigung weiterer Einschränkungen (z.B. grosser Feinsandanteil in einzelnen Schichten, starke Wechsellagerung o.ä.) wird in diesen Bereichen eine massgebende Grundwassermächtigkeit von rund 60 bis 80 m als realistisch betrachtet.

Erhebungen zu den Durchlässigkeitsbeiwerten sind deutlich rarer als Angaben zur Grundwassermächtigkeit. Hinzu kommt, dass viele Sondierungen den Stauer an der Basis nicht erreicht haben und der ermittelte kf-Wert entsprechend nicht repräsentativ für den ganzen Aquifer sein muss. Neben den wenigen zur Verfügung stehenden Angaben (ermittelte Profil-k-Werte) wurde anhand der Beschreibung der geologischen Einheiten versucht, eine möglichst plausible Verteilung der Durchlässigkeiten zu interpolieren.

Analog der Grundwassermächtigkeit zeigt sich so, dass der zentrale Bereich der Übertiefung vom Zugersee über Baar nach Blickensdorf die höchsten Durchlässigkeiten aufweist. In diesem Bereich werden je nach technischer Ausführung eines potenziellen Brunnens Durchlässigkeiten von bis zu rund $1 \cdot 10^{-4}$ bis $6 \cdot 10^{-4}$ m/s erzielt werden können. Gleiches gilt für einen kleinräumigen Bereich rund um das Strassenverkehrsamt und das Pumpwerk Höfe in Steinhausen. Die Randbereiche des Felsbeckens und der Bereich rund um den Felsriegel entlang der Chamerstrasse bis ins Zentrum von Steinhausen sind indes geprägt durch kf-Werte von $\leq 5 \cdot 10^{-5}$ m/s. In den restlichen Bereichen sind grösstenteils kf-Werte von rund $5 \cdot 10^{-5}$ bis $1 \cdot 10^{-4}$ m/s zu erwarten. In der Rinne von Richterswil-Menzingen fehlen Erhebungen der kf-Werte weitestgehend und auch geologische Bohrprofile bis in die wasserführenden Einheiten sind selten. Die Interpretation ist entsprechend vage. Es ist jedoch anzunehmen, dass im Übergang der Rinne von Richterswil-Menzingen ins Becken von Baar-Zug-Steinhausen die Durchlässigkeit im Bereich von rund $5 \cdot 10^{-5}$ bis $1 \cdot 10^{-4}$ m/s etwas tiefer ist als in der Rinne selbst.

Die interpolierte Transmissivität (T-Wert) ist das Produkt aus Grundwassermächtigkeit und Durchlässigkeitsbeiwert. Die höchsten T-Werte sind entsprechend analog dazu entlang der Übertiefung vom Zugersee über Baar nach Blickensdorf, sowie im Bereich des Strassenverkehrsamts und das Pumpwerk Höfe in Steinhausen und der Rinne Richterswil-Menzingen anzunehmen. Es wird mit maximalen T-Werten von bis zu ca. $5 \cdot 10^{-3}$ bis zu $2 \cdot 10^{-2}$ m²/s gerechnet. Bei einem Grossteil des Tiefengrundwasservorkommens 5.2. inkl. Übergänge zu 15. und 16. wird allerdings ein tieferer T-Wert von ca. $1 \cdot 10^{-4}$ bis zu $5 \cdot 10^{-3}$ m²/s erwartet. Im Bereich geringer Grundwassermächtigkeiten von < 10 m rund um den Felsriegel entlang der Chamerstrasse bis ins Zentrum von Steinhausen sind in Kombination mit tiefen Durchlässigkeiten T-Werte von $< 1 \cdot 10^{-4}$ m²/s zu erwarten.

Insgesamt zeigt die Verteilung der kf- und T-Werte nach Beilage 5 und 6 ein vereinfachtes und generalisiertes Bild nach Möglichkeit der vorhandenen Daten. Dies darf nicht darüber hinwegtäuschen, dass das Tiefengrundwasservorkommen 5.2. inklusive deren randliche Fortsetzungen 15. und 16. im Grundsatz als sehr heterogen und anisotrop bezeichnet werden muss.

Für die interpolierte Grundwasserdruckfläche nach Beilage 7 wurden die jeweils bekannten Grundwasserstände herangezogen. Erschwerend dabei ist, dass es sich zuallermeist um einmalige Messungen zu bestimmten hydrologischen Bedingungen handelt, welche eine direkte Vergleichbarkeit erschweren. Stichtagsmessungen, welche eine harmonisierte Beurteilung erlauben würden, fehlen. Die gewählte Interpolationsmethode (vgl. Kap. 2.2) erlaubt trotzdem eine plausible Abschätzung der Grundwasserdruckfläche des Tiefengrundwassers 5.2. inkl. randlicher Fortsetzung in 15. und 16. Entgegen der bisherigen Grundwasserkarte ergibt sich damit, dass ein Grossteil des Tiefengrundwassers im Bereich Baar als nicht artesisch gespannt anzunehmen ist. Bei der in Beilage 7 dargestellten Grundwassersdruckfläche im Bereich Höfen-Zimbelwald-Vogelrain ist ferner zu beachten, dass hier nur die Grundwasserverhältnisse von 5.2. interpoliert wurden bzw. die überlagernde Grundwasserverhältnisse von 4.3. in die Auswertung nicht inkludiert wurden.

Das Grundwassergefälle beträgt in der Talebene im Allgemeinen ca. 0.1 bis 0.5 %, wobei sich eine Abstufung im Bereich Unterdorf-Altgasse mit einem Gefälle von rund 1 bis 3 % befindet. Im Übergang zu 16. bzw. zur Felsrinne Blickensdorf-Knonau-Maschwanden findet sich ebenfalls eine steilere Grundwasserstufe mit einem Gefälle von rund 1 bis 5 %, bevor sich im Bereich Schmalholz-Blickensdorfer Allmig wieder ein abgeflachtes Gefälle von ca. 0.1 bis 1.0 % einstellt. Am steilsten zeigt sich das Grundwassergefälle im Übergang von 15. zu 5.2. bzw. von der Rinne Richterswil-Menzingen zum Felsbecken Baar-Zug-Steinhausen. Sofern hier tatsächlich eine direkte hydraulische Verbindung besteht (vgl. dazu Kap. 4.1), ist von einem maximalen Gefälle von bis zu 17 % auszugehen.

Aus den so ermittelten Grundwasserdruckverhältnisse können die Grundwasserfliessrichtungen des Tiefengrundwassers ermittelt werden. Entsprechend kann abgeleitet werden, dass der Bereich Blickensdorf, Baar und Zug sowie die Rinnen mit Grundwasser 15. und 16. höchstwahrscheinlich zu Grossteilen über die Felsrinne zwischen St. Verena und Felsriegel bei der Chamestrasse Richtung Zugersee entwässert. Ein zweites Abflussregime ergibt sich über den Bereich Höfe und Strassenverkehrsamt nach Kollermühle und schliesslich ebenfalls Richtung Zugersee.

Die Grundwasserchemie kann über die wichtigsten technischen Parameter wie folgt zusammengefasst werden:

Parameter		Werte Tiefengrundwasser 5.2 inkl. Übergänge zu 15. & 16. [Ref 5][Ref 9]	Mindestanforderung nach SIA [Ref 17]
Wassertemperatur	°C	10.9 – 16.5	-
pH-Wert	-	7.2 – 8.0	7 – 9.5
Gesamthärte	°fH	17.4 – 37.5	6 – 27
el. Leitfähigkeit	µS/cm	316 – 677	< 1000
Sauerstoff (O ₂)	mg/l	< 0.1 – 5.4	-
Freie Kohlensäure (CO ₂)	mg/l	10 – 40	< 20
Chlorid (Cl ⁻)	mg/l	< 0.5 – 21	< 200
Sulfat (SO ₄ ²⁻)	mg/l	7 – 39	< 100
Eisen (Fe ²⁺)	mg/l	< 0.01 – 1.8	< 0.2
Mangan (Mn ²⁺)	mg/l	< 0.05 – 0.1	< 0.1

Tabelle 5-1: Zusammenfassende Grundwasserchemie des Tiefengrundwassers 5.2. inkl. Übergänge zu 15. & 16.

5.2.2. Erstbeurteilung Eignung thermische Nutzung

Für die Nutzung des Tiefengrundwassers kommt sowohl eine Nutzung mittels konventioneller Grundwassernutzung wie auch durch eine saisonale Grundwasserspeicherung in Frage. Während bei der konventionellen Nutzung immer aus dem gleichen Brunnen Grundwasser entnommen bzw. immer dem gleichen Brunnen Grundwasser zurückgeführt wird (direktionaler Betrieb), werden bei der saisonalen Grundwasserspeicherung die Brunnen sowohl als Entnahme- wie auch als Rückgabeburten benützt (bidirektionaler Betrieb). Im Tiefengrundwasser ist dabei insbesondere ein Niedrigtemperatur-Aquiferspeicher (NT-ATES [Ref 40][Ref 41]) von Interesse.

Im Kanton Zug wird das Tiefengrundwasser zurzeit mit über 15 Anlagen thermisch genutzt. Dabei werden teilweise Entnahmemengen von über 1'000 l/min erzielt [Ref 5][Ref 9]. Die meisten Nutzungen liegen heute im Bereich der Felsrinne bei Neustadt – Göbli – Oberallmend. Weitere drei Anlagen befinden sich im Bereich rund um das Strassenverkehrsamt in Steinhausen und nochmals zwei Anlagen in Baar. Mit Ausnahme einer Anlage der V-Zug bei Göbli – Oberallmend werden nach aktuellem Kenntnisstand alle Anlagen konventionell betrieben, sprich die Brunnen sind explizit als Entnahme- oder Rückgabeburten definiert. Die Anlage der V-Zug sollte noch 2023 als erste NT-ATES-Anlage im Kanton Zug in Betrieb gehen.

Aufgrund der unterschiedlichen Nutzungsprinzipien der beiden Systeme werden auch unterschiedliche hydrogeologische Bedingungen für den effizienten Betrieb der Grundwasserwärmepumpe vorausgesetzt. Für die optimale Kontrolle eines Aquiferspeichers ist dabei eine geringe Fließgeschwindigkeit zwischen den Brunnen bzw. ein flaches Grundwassergefälle von < 0.2 % und Durchlässigkeitsbeiwerte von < $1 \cdot 10^{-3}$ m/s [Ref 43] ideal. Gefälle von rund 0.2 bis 0.5 % können ebenfalls noch geeignet sein für einen saisonalen Grundwasserspeicher, während ein höheres Grundwassergefälle und/oder höhere Durchlässigkeitsbeiwerte für einen Aquiferspeicher meist als ungeeignet bezeichnet werden müssen. Gemäss vorliegender Modellierungen könnten demnach über weite Teile der Talebene zwischen Baar – Zug – Steinhausen eine saisonale Speicherung im Tiefengrundwasser 5.2. in Frage kommen (vgl. dazu Kap. 5.2.1). Bei höheren Grundwassergefälle und/oder höhere Durchlässigkeitsbeiwerte ist tendenziell eine konventionelle Nutzung (direktionaler Betrieb) zu favorisieren.

Unabhängig ob direktonaler Betrieb mit konventioneller Nutzung oder bidirektionalem Betrieb mit saisonaler Speicherung, massgebend für die Bewilligungsfähigkeit sind stets die Vorgaben gemäss Anhang 1, Ziffer 2, Absatz 2 und Anhang 2, Ziffer 21, Absatz 3 der Gewässerschutzverordnung (GSchV [Ref 3]).

Basierend der vorliegend erzielten Resultaten und modellierten hydrogeologischer Parameter wurde anhand einem vereinfachten Berechnungsansatz gemäss folgender Formel versucht das thermische Nutzungspotenzial im Tiefengrundwasser 5.2. inkl. Übergänge zu 15. und 16. abzuschätzen.

$$E = Q \cdot B_h \cdot E_{pot}$$

E: Theoretische Entzugsenergie [kWh/m²*a]

Q: spezifisches Wärmepotential [kW/m²]

B_h: Betriebsstunden [h]

E_{pot}: Entnahmepotential [%]

Bei der Annahme von gemittelten 2'000 Betriebsstunden pro Jahr und einem Entnahmepotential von rund 2 - 5% wird daraus ein generelles **Nutzungspotenzial von 20 - 40 GWh/a** aus dem Tiefengrundwasser 5.2. inkl. Übergänge in 15. und 16. als realistisch eingeschätzt.

Anlagespezifisch kann das theoretische Nutzungspotenzial des Tiefengrundwassers örtlich aber durch folgende Herausforderungen eingeschränkt sein:

- hoher Sandanteil (insb. Feinsand) im Bereich des Tiefenaquifers (Einschränkungen des Wärmepumpenbetriebs bei falscher Wahl des Brunnenfilters, falscher Lage des Filters, mangelnde Entsandung und mangelnde Hinterfüllung möglich)
- aufwendige Erschliessung (grosse Bohrtiefen notwendig, grosse und teilweise ziemlich lockere Überdeckung, artesischer bis subartesischer Druckspiegel, teilweise mehrere Grundwasserstockwerke)
- lokal schlecht durchlässige Schichten (Grundwasserdargebot kann dadurch eingeschränkt sein bzw. kann allenfalls die geplante Entnahmemenge nicht realisiert werden)
- Grundwasserchemie (örtlich sauerstoffarme und reduzierende Verhältnisse mit relevanten Eisengehalten)
- gewässerschutzrechtlicher Aspekte (hydraulische Verbindung verschiedener Grundwasserstockwerke muss verhindert werden, Grundwassertemperatur darf nur ≤ 100 m Abstrom um ≥ 3 °C verändert werden, bestehende Anlagen dürfen nicht nachteilig beeinträchtigt werden)

Diesen Herausforderungen ist im Einzelfall durch eine fachgerechte Planung, nach den anerkannten Regeln des Brunnenbaus und der Grundwasser-Wärmenutzung, frühzeitig entgegenzuwirken. Sofern in der direkten Nachbarschaft nicht bereits Erfahrungswerte anlässlich ähnlicher Vorhaben gewonnen werden konnten, ist eine anlagespezifische Voruntersuchung inkl. Sondierungen in der Regel angezeigt.

5.3. Höhere Grundwasservorkommen ausserhalb Talsohle (Grundwasser 4.2., 4.3., 10.2., 10.3., 10.4)

Über dem Tiefengrundwasser 5.2., 15. und 16. liegende tiefere Grundwasserstockwerke ausserhalb der Talsohle (Grundwasser 4.2., 4.3., 10.2., 10.3. und 10.4.) haben eine eher untergeordnete Bedeutung für die thermische Nutzung. Einerseits sind diese Aquifere grösstenteils kleinräumiger und weniger mächtig als das Tiefengrundwasser. Des Weiteren weisen diese oft höhere Fliessgefälle bzw. höhere Fliessgeschwindigkeiten auf und sind meist weniger ergiebig als das Tiefengrundwasser. Der Aufbau des jeweiligen Aquifers ist indes oft ähnlich heterogen und anisotrop wie der Aquifer des Tiefengrundwassers. Hinzu kommt, dass diese tieferen Grundwasserstockwerke ausserhalb der Talsohle oftmals auch zu Trinkwasserzwecken genutzt werden.

Zusammenfassend können die tiefere Grundwasserstockwerke ausserhalb der Talsohle 4.2., 4.3., 10.2., 10.3. und 10.4. wie folgt charakterisiert werden:

Grundwasser 4.2.	
Ausdehnung [Ref 15]	ca. 2.1 km ²
Mächtigkeit	lokal bis ca. 15 m
Fliessgefälle	ca. 0.5 bis 6 %
Durchlässigkeiten	ca. 1*10 ⁻⁴ bis 1*10 ⁻² m/s
Bestehende Nutzungen	2 Nutzungen zu öffentlich-rechtlichen Trinkwasserzwecken (GWF Uerzlikon, Quelle Aberen), diverse Nutzungen zu privaten Trinkwasserzwecken
Grundwasserdargebot	mässig (Feldergiebigkeit i.d.R. 100 bis 200 l/min, lokal potenziell bis ca. 500 l/min möglich)
Grundwasserchemie	hohe Sauerstoffgehalte, Spuren von Eisen
Stockwerkbau	GW 4.2. überlagert GW 4.3. & 16. Im Bereich Schönbühlwald, ohne direkte hydraulische Verbindung; GW 4.2. wird im Südosten durch GW 4.1.c. und 4.1.d überlagert, ohne direkte hydraulische Verbindung
Einschätzung Eignung thermische Nutzung	wenig bis mässig geeignet

Tabelle 5-2: Zusammenfassende Charakterisierung Grundwasser 4.2.

Grundwasser 4.3.	
Ausdehnung [Ref 15]	ca. 3.4 km ²
Mächtigkeit	lokal bis ca. 40 m
Fliessgefälle	ca. 1 bis 10 %
Durchlässigkeiten	ca. 1*10 ⁻⁶ bis 5*10 ⁻⁴ m/s
Bestehende Nutzungen	5 Nutzungen zu öffentlich-rechtlichen Trinkwasserzwecken (GWF Schmalholz, GWF Bannäbni, GWF Höfe & Zimbel ² , Notquelle Jöchler), diverse Nutzungen zu privaten Trinkwasserzwecken
Grundwasserdargebot	mässig (Feldergiebigkeit i.d.R. 50 bis 150 l/min, lokal potenziell bis ca. 500 l/min möglich)
Grundwasserchemie	mittlere bis hohe Sauerstoffgehalte, Spuren von Eisen
Stockwerkbau	GW 4.3. überlagert GW 5.2. westlich des Felsspornes von Zimbel, wo auch eine direkte hydraulische Verbindung angenommen wird; GW 4.3. überlagert GW 5.2. & 16. Östlich des Felsspornes von Zimbel, ohne direkte hydraulische Verbindung; GW 4.3. wird im Osten durch GW 4.2. sowie GW 4.1.c. und 4.1.d sowie im Norden durch GW 4.1.a überlagert, ohne direkte hydraulische Verbindung
Einschätzung Eignung thermische Nutzung	wenig bis mässig geeignet

Tabelle 5-3: Zusammenfassende Charakterisierung Grundwasser 4.3.

² Entnahme aus Bereich Überlagerung 5.2. und 4.3. (vgl. Anhang C)

Grundwasser 10.2. (10.2.a. & 10.2.b.)	
Ausdehnung [Ref 15]	ca. 4.2 km ²
Mächtigkeit	lokal bis ca. 25 m
Fliessgefälle	ca. 2 bis 15 ‰
Durchlässigkeiten	ca. 5*10 ⁻⁵ bis 1*10 ⁻² m/s
Bestehende Nutzungen	Zahlreiche Nutzungen zu öffentlich-rechtlichen Trinkwasserzwecken (Quellen Bethlehem, Fürholz, Schönbrunn), diverse Nutzungen zu privaten Trinkwasserzwecken
Grundwasserdargebot	klein bis mässig (Feldergiebigkeit i.d.R. 10 bis 100 l/min, lokal potenziell bis ca. 200 l/min möglich)
Grundwasserchemie	mittlere bis hohe Sauerstoffgehalte
Stockwerkbau	GW 10.2. (10.2.a und 10.2.b.) überlagert GW 10.4.a, 10.3.c und 15., ohne direkte hydraulische Verbindung; GW 10.2.a und 10.2.b. überlappen sich teilweise und sind stellenweise direkt hydraulisch verbunden; GW 10.2. (10.2.a und 10.2.b.) wird stellenweise durch GW 10.1.k. und 10.1.o. und überlagert, ohne direkte hydraulische Verbindung
Einschätzung Eignung thermische Nutzung	kaum bis wenig geeignet

Tabelle 5-4: Zusammenfassende Charakterisierung Grundwasser 10.2.

Grundwasser 10.3. (10.3.a., 10.3.b. & 10.3.c.)	
Ausdehnung [Ref 15]	ca. 6.9 km ²
Mächtigkeit	lokal bis ca. 20 m
Fliessgefälle	ca. 2 bis 8 ‰
Durchlässigkeiten	ca. 1*10 ⁻⁴ bis 1*10 ⁻² m/s
Bestehende Nutzungen	Zahlreiche Nutzungen zu öffentlich-rechtlichen Trinkwasserzwecken (Quellen Lorzetobel, Schmidewald, Höllbach WVZ, Wilen-Eu), diverse Nutzungen zu privaten Trinkwasserzwecken
Grundwasserdargebot	klein bis gross (Feldergiebigkeit i.d.R. 10 bis 150 l/min, lokal potenziell bis ca. 1'000 l/min möglich)
Grundwasserchemie	mittlere bis hohe Sauerstoffgehalte
Stockwerkbau	GW 10.3. (10.3.a., 10.3.b. & 10.3.c.) überlagert GW 10.4.a, 10.4.b. und 15., ohne direkte hydraulische Verbindung; GW 10.3.a und 10.3.c. überlappen sich teilweise und sind stellenweise direkt hydraulisch verbunden; GW 10.3. (10.3.a., 10.3.b. & 10.3.c.) wird stellenweise durch GW 10.2.a, 10.2.b, 10.1.g., 10.1.i., 10.1.j., 10.1.k. und 10.1.m. überlagert, ohne direkte hydraulische Verbindung
Einschätzung Eignung thermische Nutzung	wenig geeignet

Tabelle 5-5: Zusammenfassende Charakterisierung Grundwasser 10.3.

Grundwasser 10.4. (10.4.a. & 10.4.b.)	
Ausdehnung [Ref 15]	ca. 12.8 km ²
Mächtigkeit	lokal bis ca. 15 m
Fliessgefälle	ca. 0.2 bis 17 ‰
Durchlässigkeiten	ca. 1*10 ⁻⁶ bis 1*10 ⁻³ m/s
Bestehende Nutzungen	Zahlreiche Nutzungen zu öffentlich-rechtlichen Trinkwasserzwecken (Quellen Risi, Lorzentobel, Höllbach, Laubau, Hofrisi, Hinterberg, Unterschwelli), diverse Nutzungen zu privaten Trinkwasserzwecken
Grundwasserdargebot	mässig bis gross (Feldergiebigkeit i.d.R. 50 bis 200 l/min, lokal potenziell bis ca. 1'000 l/min möglich)
Grundwasserchemie	mittlere Sauerstoffgehalte
Stockwerkbau	GW 10.4. (10.4.a. & 10.4.b.) überlagert GW 15., ohne direkte hydraulische Verbindung; GW 10.4.a und 10.4.b. sind nicht miteinander verbunden; GW 10.4. (10.4.a. & 10.4.b.) wird stellenweise durch GW 10.3.a., 10.3.c., 10.2.a, 10.2.b, 10.1.d., 10.1.e., 10.1.f., 10.1.g., 10.1.h., 10.1.i., 10.1.j., 10.1.k., 10.1.m., 10.1.n. und 10.1.o. überlagert, ohne direkte hydraulische Verbindung
Einschätzung Eignung thermische Nutzung	wenig bis mässig geeignet

Tabelle 5-6: Zusammenfassende Charakterisierung Grundwasser 10.3.

Die tatsächlichen hydrogeologischen Eigenschaften des lokalen Grundwasservorkommens sind im Detail anlagespezifisch zu überprüfen. Der effektiven Eignung des Grundwasservorkommens stehen ähnliche Herausforderungen wie beim Tiefengrundwasser entgegen (vgl. Kap. 5.2.2):

- aufwendige Erschliessung (grosse Bohrtiefen notwendig, grosse und teilweise ziemlich lockere Überdeckung, subartesische Druckspiegel, teilweise mehrere Grundwasserstockwerke)
- lokal schlechter durchlässige Schichten oder gänzlich fehlendes Grundwasser (Grundwasserdargebot kann dadurch eingeschränkt sein bzw. kann allenfalls die geplante Entnahmemenge nicht realisiert werden)
- gewässerschutzrechtlicher Aspekte (hydraulische Verbindung verschiedener Grundwasserstockwerke muss verhindert werden, Grundwassertemperatur darf nur ≤ 100 m Abstrom um ≥ 3 °C verändert werden, bestehende Anlagen insbesondere öffentlich-rechtliche Trinkwassernutzungen dürfen nicht nachteilig beeinträchtigt werden)

Die Realisierbarkeit und entsprechende Eignung ist im Einzelfall durch eine fachgerechte Planung, nach den anerkannten Regeln des Brunnenbaus und der Grundwasser-Wärmenutzung, frühzeitig zu prüfen. Eine anlagespezifische Voruntersuchung inkl. Sondierungen ist in der Regel angezeigt.

6. Beschreibung relevanter Kenntnislücken sowie Vorschläge für allenfalls notwendiger ergänzender Grundlagenbeschaffung

Aufgrund zufälliger, unsystematischer Verteilung der geologischen Sondierungen ist die Datenqualität geologischer und hydrogeologischer Informationen lokal sehr unterschiedlich. Mangels Aufschlüsse liegen die grössten Kenntnislücken im Perimeter Unterdorf-Dorf-Oberdorf-Mühlegasse-Neugasse (Baar), Schmalholz-Bannäbni-Blickensdorf-Schönbühlwald (Baar), Neufeld-Guthirt-Feldhof-Unterochsenhof-Schochenmüli (Zug-Baar), Talacher-Inkenberg (Baar), Loreto-Altstadt-Frauensteinmatt (Zug), Grindel-Lätten-Bibersee (Steinhausen-Cham), Zugersee.

Da die geologische Aufnahme und/oder das Aufschlussverfahren bei den bekannten Sondierungen nicht überall die gleiche Qualität hat und oftmals der Stauer nicht erreicht wurde, liegen bezüglich geologischen Aufbaus, Grundwassermächtigkeit, Durchlässigkeiten und Grundwasserstände teilweise Kenntnislücken auch im Bereich von besser erschlossenen Gebieten vor.

Speziell betreffend modellierten Grundwasserdruckverhältnisse bestehen aber auch relevante Kenntnislücken mangels harmonisierter Stichtagerhebungen. So ist unklar, ob die jeweils angegebenen Grundwasserstände bei erhöhten oder eher tiefen Grundwasserständen erhoben wurden. Dies kann unter Umständen einen relevanten Einfluss auf die interpolierte Grundwasserdruckfläche haben.

Entsprechend wären für präzisere Beurteilung von artesischen Bereichen und Grundwasserflussrichtung Stichtagmessungen an bestehenden Brunnen empfehlenswert. Sinnvollerweise würden diese Erhebungen mit einzelnen Pegelmesssonden und die kontinuierliche Messung der Druckspiegel über mindestens 1 Jahr ergänzt.

Ergänzende Untersuchungen (Sondierungen, geoelektrischen Messungen etc.) für die Schliessung wesentlicher Kenntnislücken wären in Bereichen angezeigt, wo raumplanerische Entwicklungsschwerpunkte bestehen und die Nutzung von oberflächennahem Grundwasser nicht möglich ist. Im Vordergrund stehen dabei insbesondere Gebiete wie Neufeld-Guthirt-Feldhof-St. Johannes (Zug-Baar) und Loreto-Altstadt-Frauensteinmatt (Zug).

Ebenfalls wäre in Gebieten, wo das Nutzungspotenzial oberflächennahem Grundwasser bereits nahezu erschöpft ist, zu prüfen, ob hier eine Nutzung von Tiefengrundwasser zulässig wäre. So wurden im Bereich des nutzbaren Grundwasserträgers 5.1.a. bereits zwei Anlagen erfolgreich realisiert und betrieben (Kantonsspital, Waldmannshalle). Ergänzende Untersuchungen (Sondierungen, geoelektrischen Messungen etc.) für die Schliessung wesentlicher Kenntnislücken wären hierzu insbesondere im Gebiet Unterdorf-Dorf-Oberdorf-Mühlegasse-Neugasse (Baar) sinnvoll.

7. Auswirkungen der gewonnenen Resultate

7.1. Auswirkungen auf die Grundwasserkarte

Aufgrund der vorliegenden Auswertung empfehlen wir die Grundwasserträger des Tiefengrundwassers 5.2. sowie dessen Übergänge in die Grundwasservorkommen 15. und 16. gemäss Beilage 8 in die Grundwasserkarte des Kantons Zug zu übernehmen.

7.2. Auswirkungen auf die Gewässerschutzkarte

Aus einer Revision der Grundwasserkarte gemäss Beilage 8 drängt sich auch die Anpassung der Berandung des Gewässerschutzbereichs $A_{U\text{ tief}}$ auf. Es wird empfohlen, diesen Bereich für das gesamte Tiefengrundwasser 5.2. sowie die angrenzenden Rinnenvorkommen 15. und 16. auszuscheiden.

7.3. Auswirkungen auf die Erdwärmenutzungskarte

Analog der Anpassung der Grund- und Gewässerschutzkarte drängt sich auch die Anpassung der Berandung der Zulässigkeitsbereiche neuer Erdwärmesondenanlagen (EWS) auf.

Aufgrund der teilweise vorhandenen Unsicherheiten betreffend Abgrenzung des artesischen Grundwasservorkommens, wäre es insbesondere entlang der Berandung des Grundwasservorkommens gemäss Beilage 8 ratsam, dass EWS-Bohrungen nur unter spezifischen Auflagen zulässig wären (u.a. Begleitung durch ortskundiges geologisches Büro, Massnahmen bei Antreffen von wasserführenden Schichten etc.). Damit könnten neben der Sicherstellung der Umsetzung gewässerschutztechnischer Massnahmen wichtige hydrogeologische Erkenntnisse gesammelt werden. Von Relevanz wären dabei speziell die Gebiete bei Inwil-Geissbüel-Himmelrich (Baar) sowie Donauweid-Grindel (Cham-Steinhausen), bei welchen heute EWS noch mit Standardauflagen zulässig sind.

Im Bereich grosser Überdeckung sowie für die Trinkwasser- oder Wärmegewinnung nicht nutzbaren überlagernden Grundwasserstockwerke könnten ergänzende EWS-Tiefenbeschränkungen definiert bzw. bestehende Gebiete erweitert werden. Der bestehende Bereich mit einer Tiefenbeschränkung von 50 m entlang der Chamerstrasse könnte hierzu Richtung Steihuserbrugg erweitert werden.

Im Bereich des St. Verena-Rutschkörpers treten regelmässig artesisch gespannte Bergwasserzutritte auf, währenddem sich in unmittelbarer Umgebung trockene Bedingungen ergeben können. Ähnliches ist auch im südlich angrenzenden Rutschkörper bei Rägeten zu erwarten, womit sich auch hier die sinngemässen spezifischen Auflagen aufdrängen.

8. Schlussbemerkung

Aus der vorliegenden Neubeurteilung des Tiefengrundwassers im Baarerbecken ergibt sich eine präzisierte hydrogeologische Grundlage für die Beurteilung künftiger Nutzungsabsichten. Die vorliegend erhobenen hydrogeologischen Daten bilden die Grundlage für den 2. Teil des Studienkonzepts des Kantons Zug (Abschätzung des thermischen Nutzungspotenzials mittels numerischer Modelle [Ref 4]).

Aus den vorliegenden Daten ergibt sich zudem ein Anpassungsbedarf des Vollzugs betreffend Nutzung der Erdwärme mittels Erdwärmesondenanlagen. Analog dazu ergibt sich auch einen Anpassungsbedarf der Grund- und Gewässerschutzkarte.

Da die durchgeführten Interpolationen in einem Geoinformationssystem durchgeführt wurden und als Raster- und Shape-Dateien vorliegen, können künftige Erkenntnisse im Rahmen neuer Sondierungen einfach eingebunden werden und das Modell so laufend präzisiert werden. Dies sollte künftige Interpretationen und Anpassungen erleichtern.

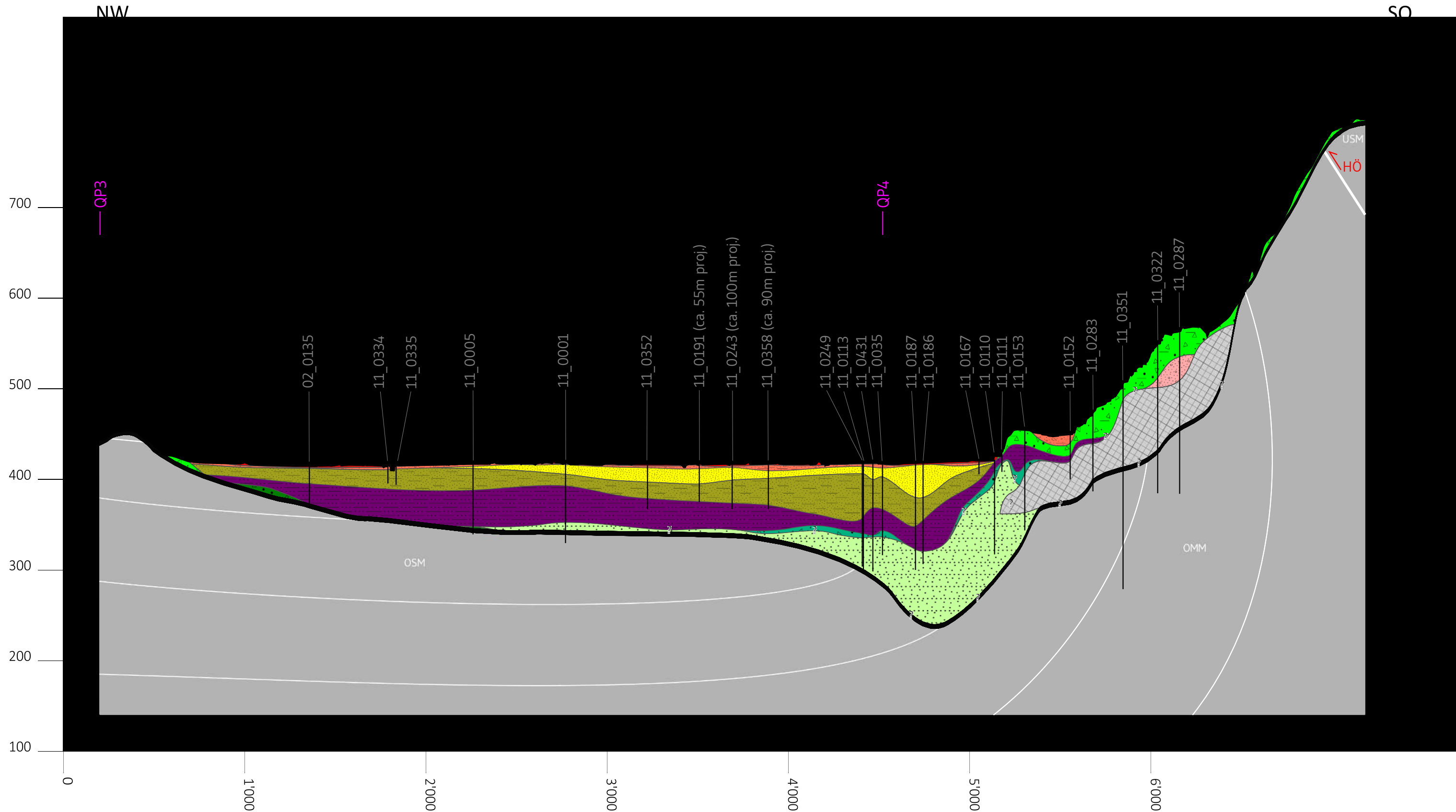


Für die pegeol ag:

Aron Lüthold

Baar, den 09. Oktober 2023

ANHANG A GEOLOGISCHES UND HYDROGEOLOGISCHES QUERPROFIL QP1: STÄDTLERWALD-ST.VERENA



Legende

Geologie		Alter
	Künstliche Auffüllungen und Umlagerungen	Holozän
	Bachablagerungen, Überschwemmungs-, Verlandungs- und Sumpfsedimente	
	obere Deltaablagerungen	Übergang Jungpleistozän zu Holozän
	Seeablagerungen, inkl. Seekreide und untere Deltaablagerungen (periglazial bis warmzeitlich)	
	St. Verena Rutschkörper aus Mergel und Sandsteinen (zerrüttete Sackungsmasse)	Jungpleistozän
	junge Moränenablagerungen (Till allg.)	
	glaziofluviale Schotter, teilweise mit Einschaltungen von glazialen Diamikten	Mittelpleistozän
	Seeablagerungen (kaltzeitlich), inkl. glazilakustrine Diamikte und Dropstones (vermutlich mehrphasig)	
	ältere Moränenablagerungen (Till allg.)	
	glazilakustrine Beckenablagerungen und glaziofluviale Ablagerungen, teilweise mit Einschaltungen von glazialen Diamikten	
	älteste Moränenablagerungen (Till allg.)	Tertiär
	Felsuntergrund (mit Schichteinfallen) - Bereich Berghof, oberhalb Überschiebung: USM - Bereich St. Verena: OMM - Bereich Loreto - Städtlerwald: OSM	
HÖ: Höhrnen-Aufschiebung (frontale Überschiebung der subalpinen Molasse)		

Potenzialstudie Tiefengrundwasser Kanton Zug: Hydrogeologische Neubeurteilung (Stufe 1)

Projekt

Geologisches Profil: Städtlerwald - St. Verena (QP1)

Planbezeichnung

PG0258.600

Projekt-Nr.

1.6

Version

11.07.2023

Datum

A.1

Anhang

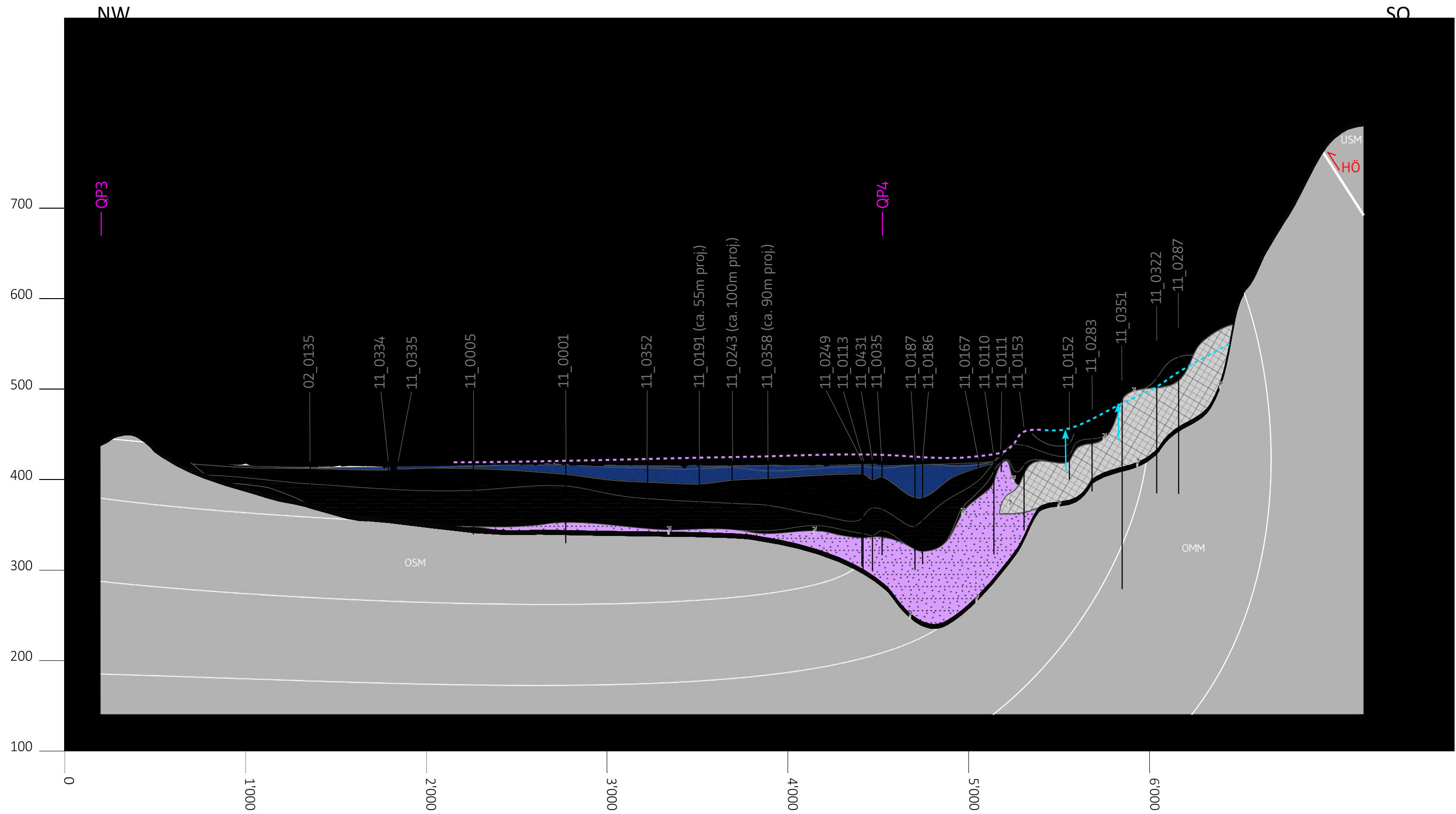
1:20'000 / 4'000

Massstab

210 x 594 mm

Format





Potenzialstudie Tiefengrundwasser Kanton Zug: Hydrogeologische Neubeurteilung (Stufe 1)	PG0258.600	1.6	1:20'000 / 4'000	 pegeol ag
Projekt	Projekt-Nr.	Version	Massstab	
Hydrogeologisches Profil: Städtlerwald - St. Verena (QP1)	11.07.2023	A.2	210 x 711 mm	
Planbezeichnung	Datum	Anhang	Format	

Legende

Geologie

- Künstliche Auffüllungen und Umlagerungen
- Bachablagerungen, Überschwemmungs-, Verlandungs- und Sumpfsedimente
- obere Deltaablagerungen
- Seeablagerungen, inkl. Seekreide und untere Deltaablagerungen (periglazial bis warmzeitlich)
- St. Verena Rutschkörper aus Mergel und Sandsteinen (zerrüttete Sackungsmasse)
- junge Moränenablagerungen (Till allg.)
- glaziofluviale Schotter, teilweise mit Einschaltungen von glazialen Diamikten
- Seeablagerungen (kaltzeitlich), inkl. glazilakustrine Diamikte und Dropstones (vermutlich mehrphasig)
- ältere Moränenablagerungen (Till allg.)
- glazilakustrine Beckenablagerungen und glaziofluviale Ablagerungen, teilweise mit Einschaltungen von glazialen Diamikten
- > Steinhauserwald-Inwiler-Komplex mit sauerstoffarmen Tiefengrundwasser
- älteste Moränenablagerungen (Till allg.)
- Felsuntergrund (mit Schichteinfallen)
 - Bereich Berghof, oberhalb Überschiebung: USM
 - Bereich St. Verena: OMM
 - Bereich Loreto - Städtlerwald: OSM
- HÖ: Höhrnen-Aufschiebung (frontale Überschiebung der subalpinen Molasse)

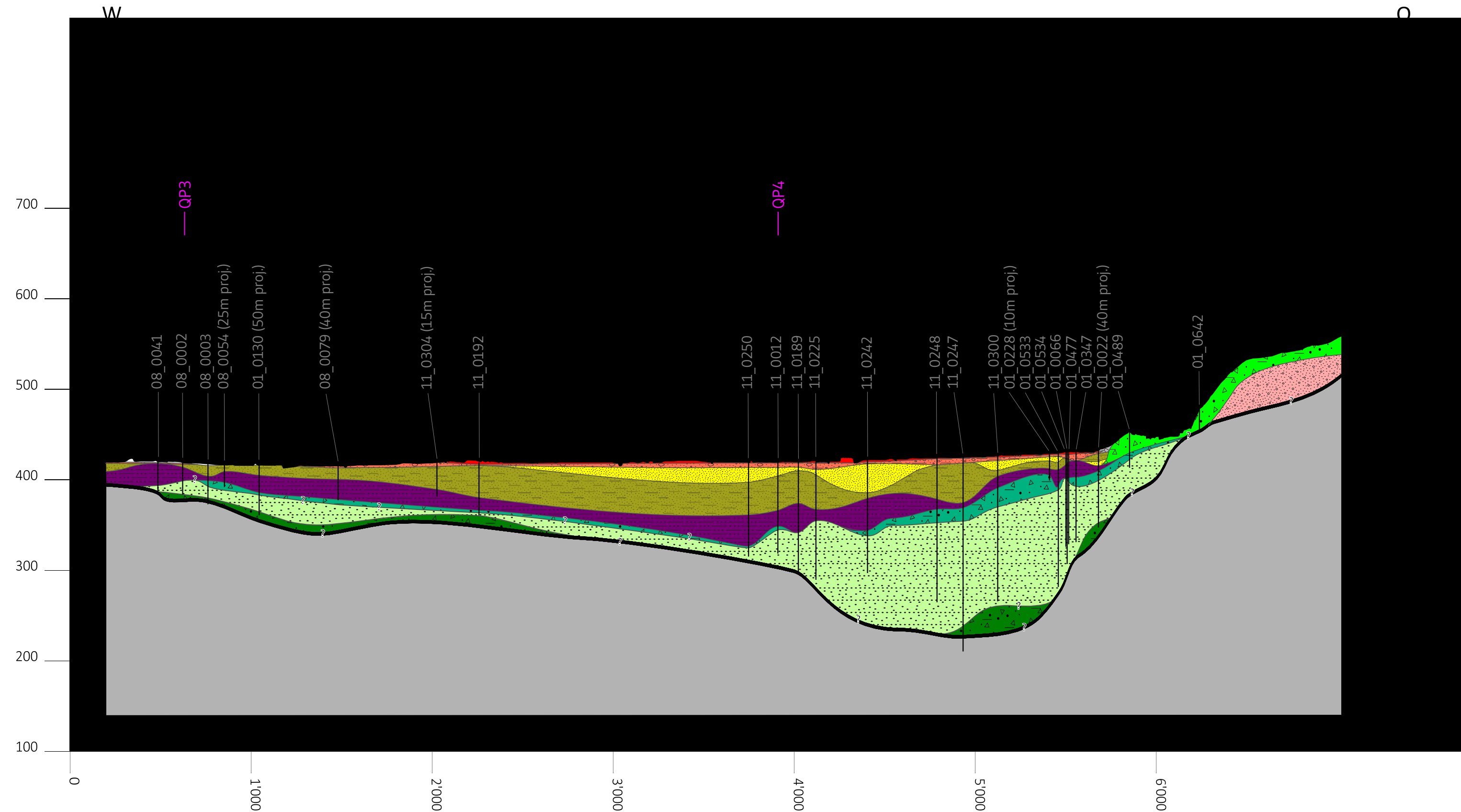
Alter

- Holozän
- Übergang Jungpleistozän zu Holozän
- Jungpleistozän
- Mittelpleistozän
- Teritär

Hydrogeologie

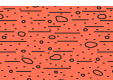
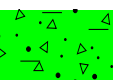
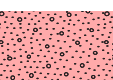
- Druckniveau Tiefengrundwasser 5.2.
- potenziell nutzbares Tiefengrundwasser 5.2. subartesisch bis artesisch gespannt
- Druckniveau Bergwasser
- Bergwasserzutritte (Wasser aus Trennflächen) subartesisch bis artesisch gespannt; Wasser aus Klüftung, Schichtung, Schieferung, Störungen
- Oberflächennahe Grundwasservorkommen ungespannt bis subartesisch gespannt

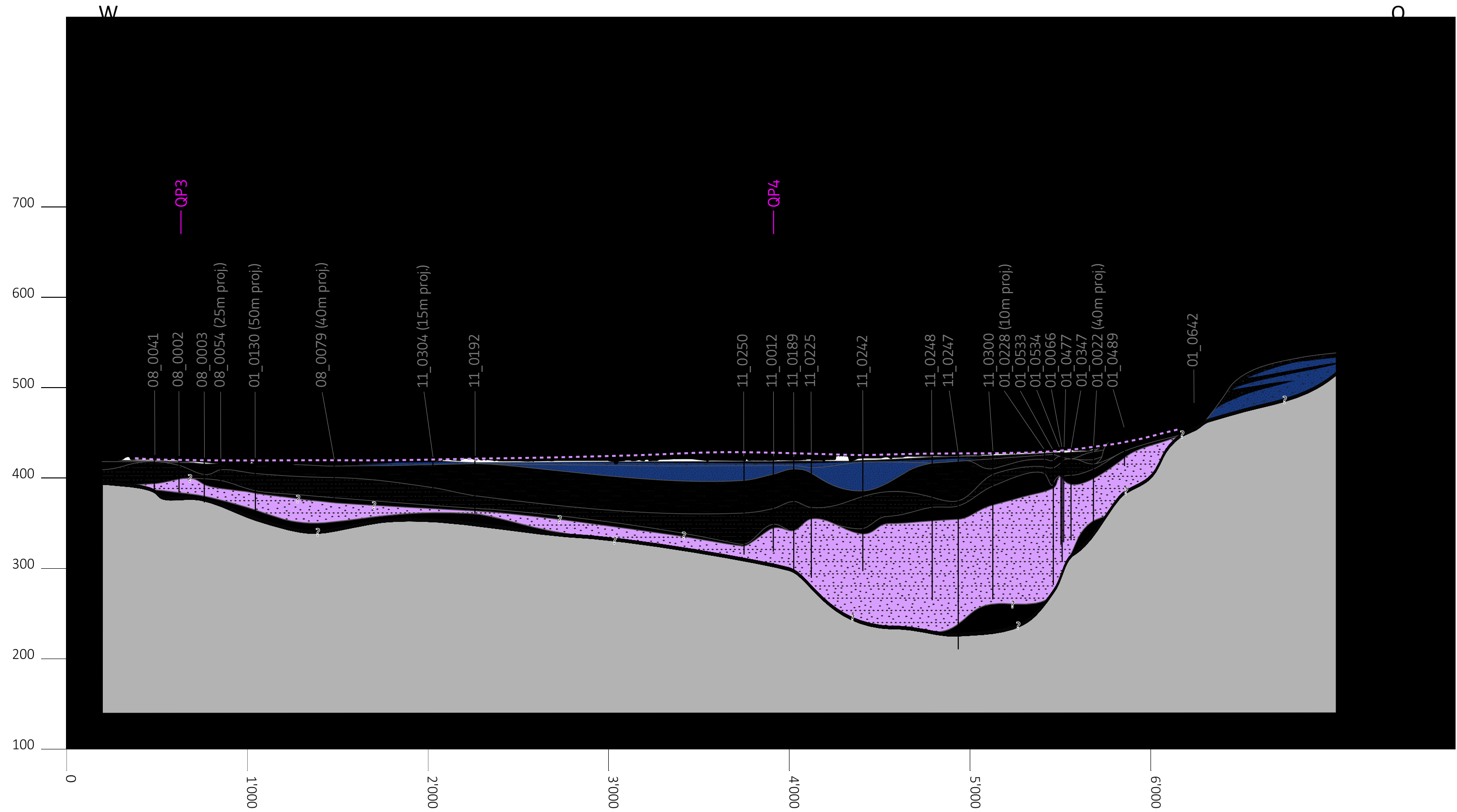
ANHANG B GEOLOGISCHES UND HYDROGEOLOGISCHES QUERPROFIL QP2: STEINHAUSEN-INWIL



Potenzialstudie Tiefengrundwasser Kanton Zug: Hydrogeologische Neubeurteilung (Stufe 1)	PG0258.600	1.6	1:20'000 / 4'000	 
Projekt	Projekt-Nr.	Version	Massstab	
Geologisches Profil: Steinhausen - Inwil (QP2)	11.07.2023	B.1	210 x 594 mm	
Planbezeichnung	Datum	Anhang	Format	

Legende

Geologie	Alter
 Künstliche Auffüllungen und Umlagerungen	Holozän
 Hangschutt und Hanglehm	
 Bachablagerungen, Überschwemmungs-, Verlandungs- und Sumpfsedimente	
 obere Deltaablagerungen	Übergang Jungpleistozän zu Holozän
 Seeablagerungen, inkl. Seekreide und untere Deltaablagerungen (periglazial bis warmzeitlich)	Jung-pleistozän
 junge Moränenablagerungen (Till allg.)	
 glaziofluviale Schotter, teilweise mit Einschaltungen von glazialen Diamikten	
 Seeablagerungen (kaltzeitlich), inkl. glazilakustrine Diamikte und Dropstones (vermutlich mehrphasig)	Mittelpleistozän
 ältere Moränenablagerungen (Till allg.)	
 glazilakustrine Beckenablagerungen und glaziofluviale Ablagerungen, teilweise mit Einschaltungen von glazialen Diamikten	
 älteste Moränenablagerungen (Till allg.)	Tertiär
 Felsuntergrund (Obere Süsswassermolasse)	



Potenzialstudie Tiefengrundwasser Kanton Zug: Hydrogeologische Neubeurteilung (Stufe 1)	PG0258.600	1.6	1:20'000 / 4'000	 pegeol ag
Projekt	Projekt-Nr.	Version	Massstab	
Hydrogeologisches Profil: Steinhausen - Inwil (QP2)	11.07.2023	B.2	210 x 711 mm	
Planbezeichnung	Datum	Anhang	Format	

Legende

Geologie

- Künstliche Auffüllungen und Umlagerungen
- Hangschutt und Hanglehm
- Bachablagerungen, Überschwemmungs-, Verlandungs- und Sumpfsedimente
- obere Deltaablagerungen
- Seeablagerungen, inkl. Seekreide und untere Deltaablagerungen (periglazial bis warmzeitlich)
- junge Moränenablagerungen (Till allg.)
- glaziofluviale Schotter, teilweise mit Einschaltungen von glazialen Diamikten
-> Schotter mit Grundwasser ausserhalb Talsohle
- Seeablagerungen (kaltzeitlich), inkl. glazilakustrine Diamikte und Dropstones (vermutlich mehrphasig)
- ältere Moränenablagerungen (Till allg.)
- glazilakustrine Beckenablagerungen und glaziofluviale Ablagerungen, teilweise mit Einschaltungen von glazialen Diamikten
-> Steinhauserwald-Inwiler-Komplex mit sauerstoffarmen Tiefengrundwasser
- älteste Moränenablagerungen (Till allg.)
- Felsuntergrund (Obere Süswassermolasse)

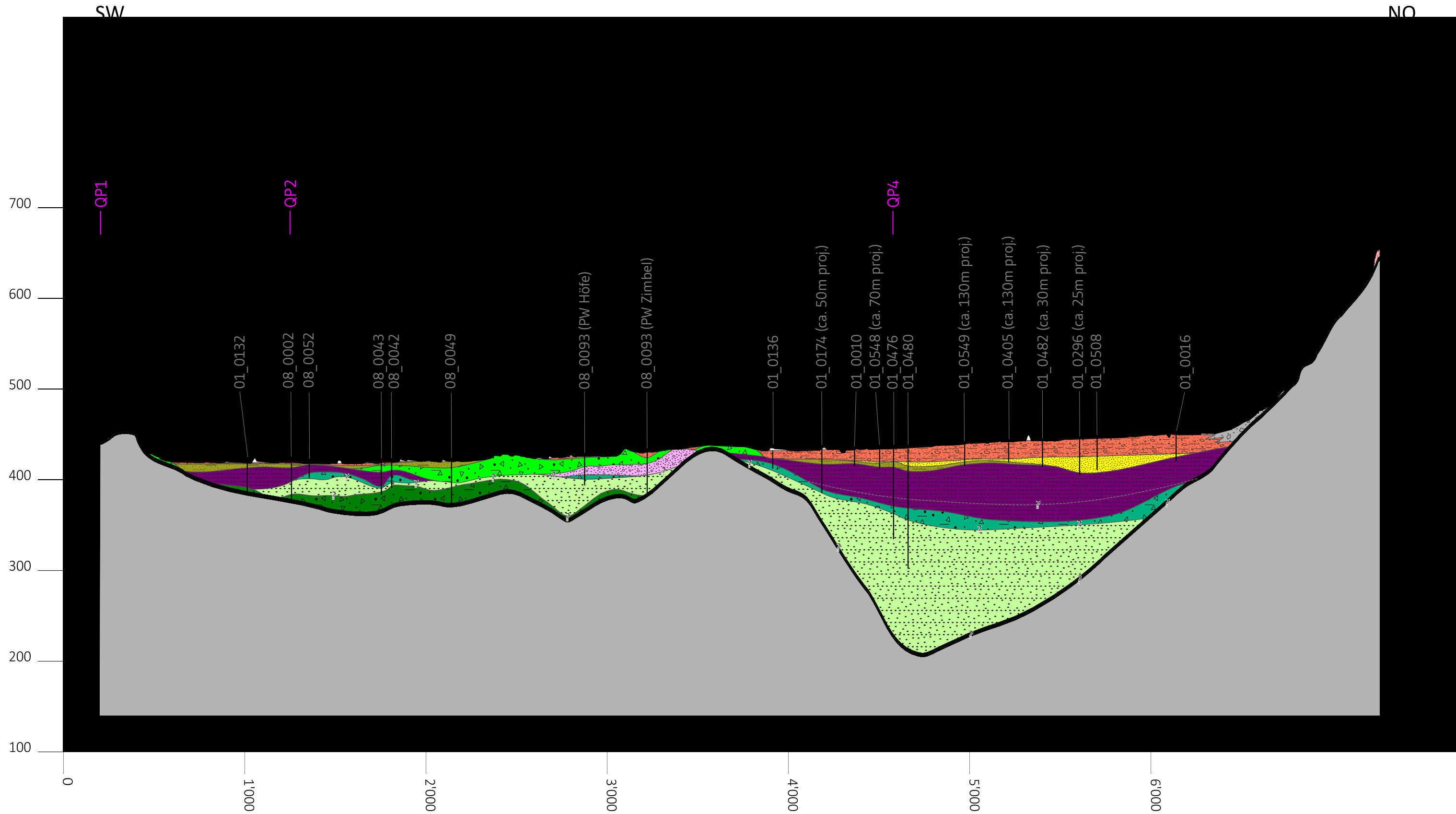
Alter

- Holozän
- Übergang Jungpleistozän zu Holozän
- Jungpleistozän
- Mittelpleistozän
- Tertiär

Hydrogeologie

- Druckniveau Tiefengrundwasser 5.2.
- potenziell nutzbares Tiefengrundwasser 5.2.
subartesisch bis artesisch gespannt
- Oberflächennahe Grundwasservorkommen
ungespannt bis subartesisch gespannt

ANHANG C GEOLOGISCHES UND HYDROGEOLOGISCHES QUERPROFIL QP3: STÄDTLERWALD-BAARBURG



Legende

Geologie

Künstliche Auffüllungen und Umlagerungen

Hangschutt und Hanglehm

Bachablagerungen, Überschwemmungs-,
Verlandungs- und Sumpfsedimente

obere Deltaablagerungen

Seeablagerungen, inkl. Seekreide und untere
Deltaablagerungen (periglazial bis warmzeitlich)

junge Moränenablagerungen (Till allg.)

glaziofluviale Schotter, teilweise mit Einschäl-
tungen von glazialen Diamikten

glazilakustrine Beckenablagerungen und glazio-
fluviale Ablagerungen (vorwiegend sandig-kiesige
Deltaablagerungen)

Seeablagerungen (kaltzeitlich), inkl. glazilakustrine
Diamikte und Dropstones (vermutlich mehrphasig)

ältere Moränenablagerungen (Till allg.)

glazilakustrine Beckenablagerungen und glazio-
fluviale Ablagerungen, teilweise mit Einschäl-
tungen von glazialen Diamikten

älteste Moränenablagerungen (Till allg.)

Felsuntergrund (Obere Süsswassermolasse)

Alter

Holozän

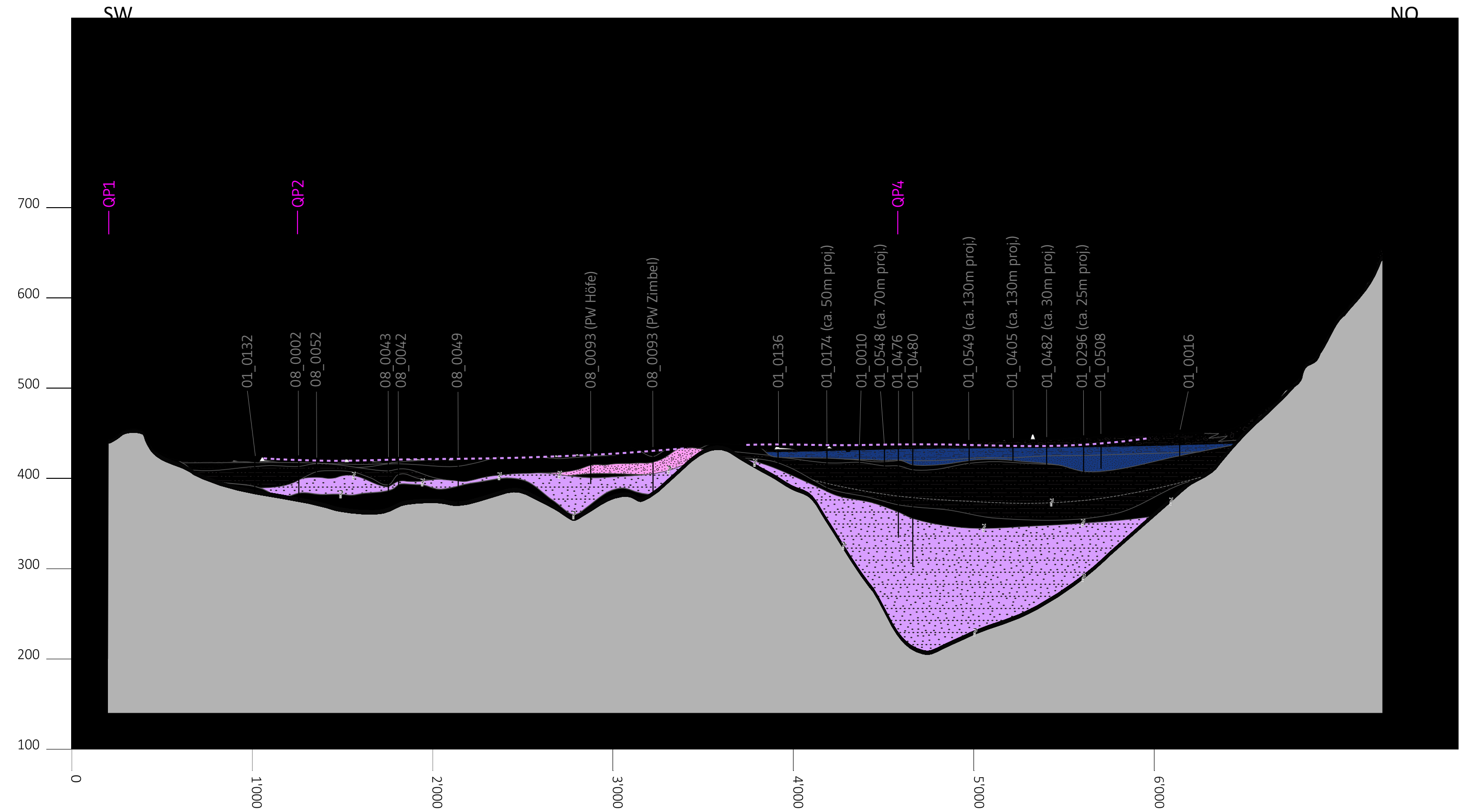
Übergang
Jungpleistozän
zu Holozän

Jung-
pleistozän

Mittelpleistozän

Tertiär

Potenzialstudie Tiefengrundwasser Kanton Zug: Hydrogeologische Neubeurteilung (Stufe 1)	PG0258.600	1.5	1:20'000 / 4'000	 
Projekt	Projekt-Nr.	Version	Massstab	
Geologisches Profil: Städtlerwald - Baarburg (QP3)	11.07.2023	C.1	210 x 594 mm	
Planbezeichnung	Datum	Anhang	Format	



Potenzialstudie Tiefengrundwasser Kanton Zug: Hydrogeologische Neubeurteilung (Stufe 1)	PG0258.600	1.5	1:20'000 / 4'000	 pegeol ag
Projekt	Projekt-Nr.	Version	Massstab	
Hydrogeologisches Profil: Städtlerwald - Baarburg (QP3)	11.07.2023	C.2	210 x 711 mm	
Planbezeichnung	Datum	Anhang	Format	

Legende

Geologie

- Künstliche Auffüllungen und Umlagerungen
- Hangschutt und Hanglehm
- Bachablagerungen, Überschwemmungs-, Verlandungs- und Sumpfsedimente
- obere Deltaablagerungen
- Seeablagerungen, inkl. Seekreide und untere Deltaablagerungen (periglazial bis warmzeitlich)
- junge Moränenablagerungen (Till allg.)
- glaziofluviale Schotter, teilweise mit Einschaltungen von glazialen Diamikten
- glazilakustrine Beckenablagerungen und glaziofluviale Ablagerungen (vorwiegend sandig-kiesige Deltaablagerungen)
-> Blickensdorf-Schotter mit Grundwasser ausserhalb Talsohle
- Seeablagerungen (kaltzeitlich), inkl. glazilakustrine Diamikte und Dropstones (vermutlich mehrphasig)
- ältere Moränenablagerungen (Till allg.)
- glazilakustrine Beckenablagerungen und glaziofluviale Ablagerungen, teilweise mit Einschaltungen von glazialen Diamikten
-> Steinhauserwald-Inwiler-Komplex mit sauerstoffarmen Tiefengrundwasser
- älteste Moränenablagerungen (Till allg.)
- Felsuntergrund (Obere Süsswassermolasse)

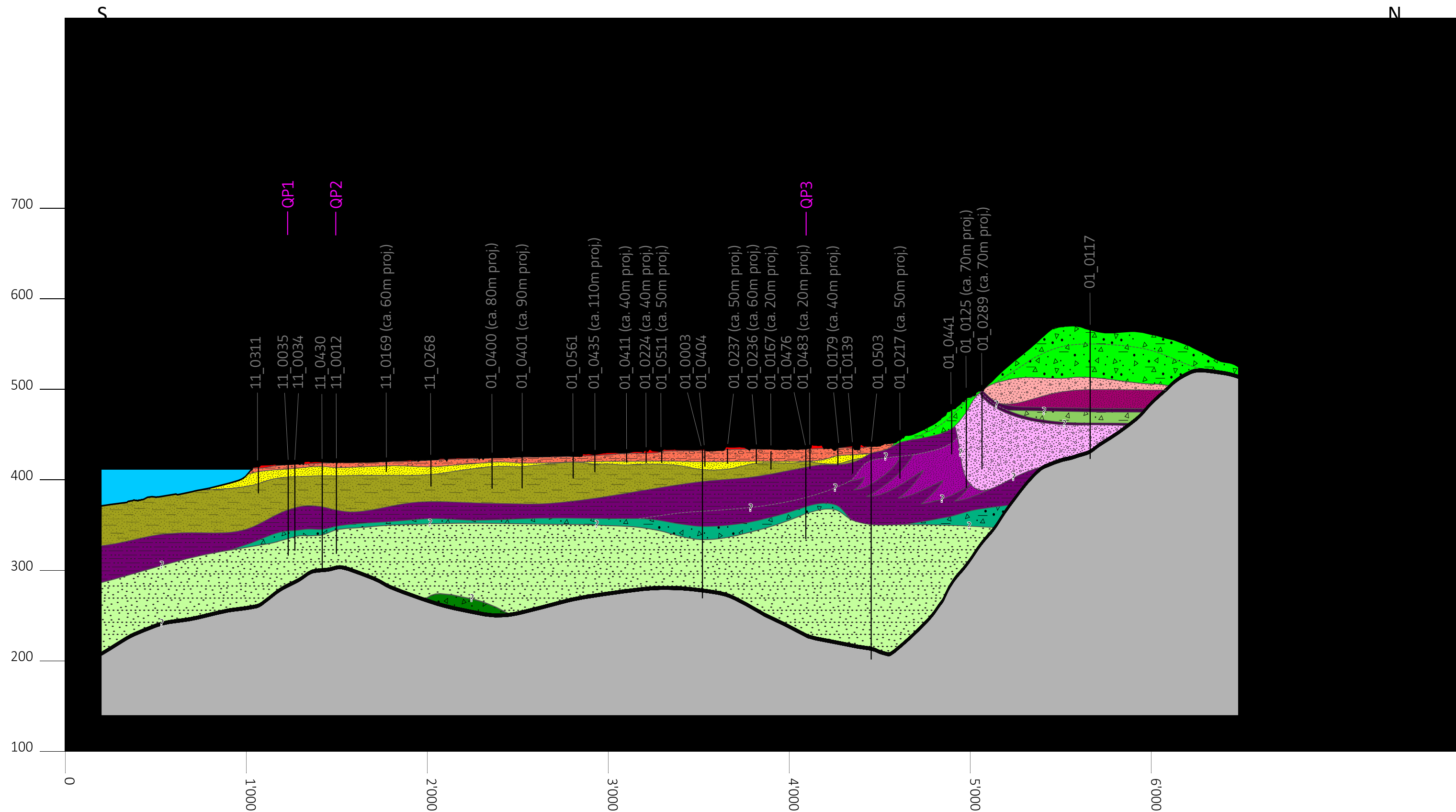
Alter

- Holozän
- Übergang Jungpleistozän zu Holozän
- Jungpleistozän
- Mittelpleistozän
- Tertiär

Hydrogeologie

- Druckniveau Tiefengrundwasser 5.2.
- potenziell nutzbares Tiefengrundwasser 5.2. subartesisch bis artesisch gespannt
- Grundwasservorkommen 4.3. subartesisch bis artesisch gespannt
- Oberflächennahe Grundwasservorkommen ungespannt bis subartesisch gespannt

ANHANG D GEOLOGISCHES UND HYDROGEOLOGISCHES QUERPROFIL QP4: ZUGERSEE-DEIBÜEL



Potenzialstudie Tiefengrundwasser Kanton Zug: Hydrogeologische Neubeurteilung (Stufe 1)

Projekt

Geologisches Profil: Zugersee - Deibüel (QP4)

Planbezeichnung

PG0258.600

Projekt-Nr.

11.07.2023

Datum

1.2

Version

D.1

Anhang

1:20'000 / 4'000

Massstab

210 x 594 mm

Format



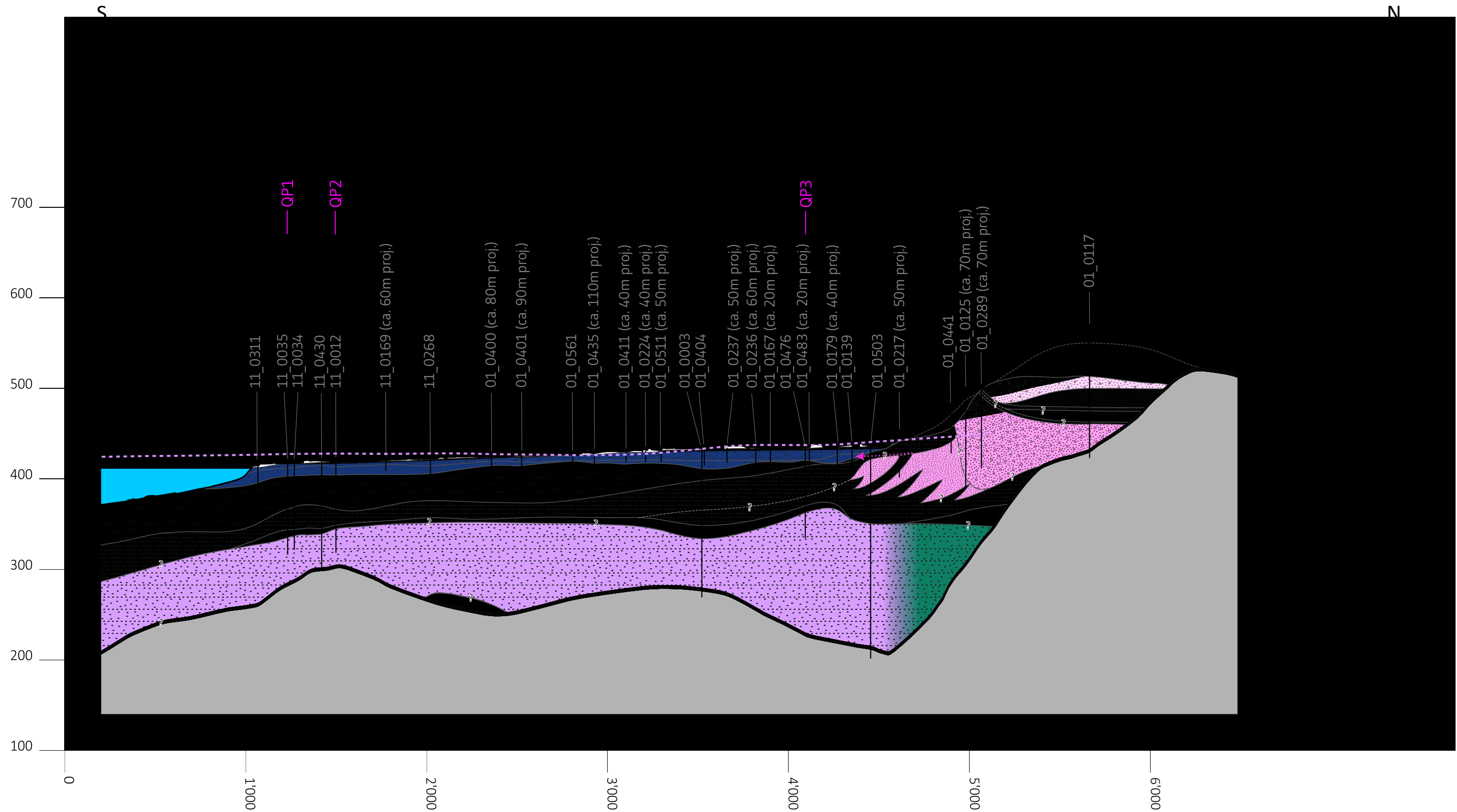
Legende

Geologie

- Künstliche Auffüllungen und Umlagerungen
- Strand- und Bachablagerungen, Überschwemmungs-, Verlandungs- und Sumpfsedimente
- obere Deltaablagerungen
- Seeablagerungen, inkl. Seekreide und untere Deltaablagerungen (periglazial bis warmzeitlich)
- junge Moränenablagerungen (Till allg.), teilweise unterschiedlichem Alters und dazwischen liegendem warmzeitlichem Verwitterungskorizont
- glaziofluviale Schotter, teilweise mit Einschaltungen von glazialen Diamikten
- jüngere glazilakustrine Beckenablagerungen (sandige Deltaablagerungen)
- ältere Moränenablagerungen (Till allg.)
- Seeablagerungen (kaltzeitlich), inkl. glazilakustrine Diamikte, vermutlich mehrphasig
- glazilakustrine Beckenablagerungen und glaziofluviale Ablagerungen (vorwiegend sandig-kiesige Deltaablagerungen)
- Seeablagerungen (kaltzeitlich), inkl. glazilakustrine Diamikte, Dropstones und sandige Deltaablagerungen (vermutlich mehrphasig)
- ältere Moränenablagerungen (Till allg.)
- glazilakustrine Beckenablagerungen und glaziofluviale Ablagerungen, teilweise mit Einschaltungen von glazialen Diamikten
- älteste Moränenablagerungen (Till allg.)
- Felsuntergrund (Obere Süsswassermolasse)

Zeit

- Holozän
- Übergang Jungpleistozän zu Holozän
- Jungpleistozän
- Mittelpleistozän
- Tertiär



Potenzialstudie Tiefengrundwasser Kanton Zug: Hydrogeologische Neubeurteilung (Stufe 1)	PG0258.600	1.2	1:20'000 / 4'000	 
Projekt	Projekt-Nr.	Version	Massstab	
Hydrogeologisches Profil: Zugersee - Deibüel (QP4)	11.07.2023	D.2	210 x 711 mm	
Planbezeichnung	Datum	Anhang	Format	

Legende

Geologie

- Künstliche Auffüllungen und Umlagerungen
- Strand- und Bachablagerungen, Überschwemmungs-, Verlandungs- und Sumpfsedimente
- obere Deltaablagerungen
- Seeablagerungen, inkl. Seekreide und untere Deltaablagerungen (periglazial bis warmzeitlich)
- junge Moränenablagerungen (Till allg.), teilweise unterschiedlichem Alters und dazwischen liegendem warmzeitlichem Verwitterungskorizont
- glaziofluviale Schotter, teilweise mit Einschaltungen von glazialen Diamikten
- jüngere glazilakustrine Beckenablagerungen (sandige Deltaablagerungen)
- ältere Moränenablagerungen (Till allg.)
- Seeablagerungen (kaltzeitlich), inkl. glazilakustrine Diamikte, vermutlich mehrphasig
- glazilakustrine Beckenablagerungen und glaziofluviale Ablagerungen (vorwiegend sandig-kiesige Deltaablagerungen)
- Seeablagerungen (kaltzeitlich), inkl. glazilakustrine Diamikte, Dropstones und sandige Deltaablagerungen (vermutlich mehrphasig)
- ältere Moränenablagerungen (Till allg.)
- glazilakustrine Beckenablagerungen und glaziofluviale Ablagerungen, teilweise mit Einschaltungen von glazialen Diamikten
- älteste Moränenablagerungen (Till allg.)
- Felsuntergrund (Obere Süsswassermolasse)

Zeit

- Holozän
- Übergang Jungpleistozän zu Holozän
- Jungpleistozän
- Mittelpleistozän
- Tertiär

Hydrogeologie

- Druckniveau Tiefengrundwasser 5.2.
- potenziell nutzbares Tiefengrundwasser 5.2. & 16. subartesisch bis artesisch gespannt
- Grundwasservorkommen 4.3. subartesisch bis artesisch gespannt
- Grundwasserübertritt von 4.3. in 5.1.a. indirekte Anbindung
- Grundwasservorkommen 4.2. ungespannt bis subartesisch gespannt
- Oberflächennahe Grundwasservorkommen ungespannt bis subartesisch gespannt
- Zugersee