

*STANDORTEVALUATION LUKS SURSEE
FÜR STANDORT SCHWYZERMATT IN SCHENKON*

GEOLOGISCH-GEOTECHNISCHER VORBERICHT
(STUFE VORSTUDIE)

**Baugrundverhältnisse, Baugrubenabschluss und
Fundation**

Objekt	Standortevaluation LUKS Sursee für Standort Schwyzermatt in Schenkon		
Auftraggeber	Kanton Luzern, Dienststelle Immobilien, Stadthofstrasse 4, 6002 Luzern		
Projektleitung	Wertlabor GmbH, Stockerstrasse 60, 8002 Zürich		
Koordinaten	2'651'130 / 1'226'060	Auftragsnummer	22 6362.B
Ort, Datum	Luzern, 29. Dezember 2022 /ES/IS/ME/BK/es		

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Auftrag	1
2	Grundlagen	2
3	Geologische Verhältnisse	3
3.1	Überblick	3
3.2	Lockergesteine	3
4	Erste Hinweise zur Belastungssituation	4
5	Hydrogeologische Verhältnisse	5
5.1	Lokale Grundwasserverhältnisse	5
5.2	Gewässerschutz	6
5.3	Bautechnisch relevante Folgerungen	7
5.3.1	Bauzustand	7
5.3.2	Nutzungszustand	8
6	Naturgefahren	8
6.1	Wasserprozesse	8
6.2	Oberflächenabfluss	10
6.3	Erdbeben	11
7	Archäologische Fundstellen	11
8	Baugrundmodell mit geotechnischen Eigenschaften der Lockergesteine	12
9	Geotechnische Folgerungen	13
9.1	Allgemeine geotechnische Erschwernisse	13
9.2	Foundation	14
9.2.1	Grundsätzliches	14
9.2.2	Flachfundation	15
9.2.3	Betontatzen	16
9.2.4	Baugrundverbessernde Massnahmen mittels Kiessäulen / Rüttelstopf- oder Rütteldruckverdichtung	16
9.2.5	Bohrpfähle	16
9.3	Ausbildung von Baugruben	18
10	Meteorwasserversickerung	20
11	Generelle Hinweise zu geothermischer Wärmenutzung	21

12 Kenntnisstand und Empfehlungen für objektspezifische Baugrundsondierungen	23
13 Überwachung Umgebung während Tiefbauarbeiten	24

Anhang

Anhang 1	Übersicht mit Projektperimeter und Lage der Profillinie, Situation 1:2'000.
Anhang 2	Geologisches Profil – Standort Schwyzermatt in Schenkon, 1:1'000 / 500.

Hinweise zum Urheberrecht:

Das Urheberrecht des vorliegenden Gutachtens ist gemäss SIA 118 Art. 24 geschützt. Der vorliegende Bericht darf vom Empfänger nur im Rahmen des Vertrages verwendet werden; er darf diesen weder für eigene Zwecke weiter verwenden noch an unberechtigte Dritte zur Verwendung weitergeben; auch hat er dafür zu sorgen, dass die Unterlagen Dritten nicht zugänglich sind. Ohne unsere schriftliche Zustimmung sind Veröffentlichungen im Internet untersagt, auch von Auszügen, einzelnen Figuren oder Profilen.

1 EINLEITUNG UND AUFTRAG

Um den wachsenden Raumbedarf langfristig zu decken und die medizinisch gute Versorgung des Luzerner Kantonsspital Sursee (LUKS Sursee) zu gewährleisten sind das LUKS Sursee sowie in der Folge auch das Pflegeheim Seeblick jeweils durch einen Neubau an geeigneter Stelle zu ersetzen. Dazu stehen folgende 3 Standorte zur Auswahl:

- Standort Spital Sursee
- Standort Münchrüti
- Standort Schwyzermatt in Schenkon – *vorliegender Bericht*

Der vorliegende Bericht behandelt den potentiellen Standort Schwyzermatt in Schenkon (vgl. Projektperimeter im Anhang 1). Detaillierte Angaben über das Bauprojekt (Grundrisse, Bauwerkskoten, Anzahl Stockwerke, Lastverteilung, Einbindetiefe, etc.) und die Umgebungsgestaltung liegen uns derzeit nicht vor. Die aktuelle Geländeoberkante befindet sich zwischen ca. 496 m ü.M. und 500½ m ü.M.

Die Dienststelle Immobilien des Kantons Luzern (Finanzdepartement) erteilte unserer Firma den Auftrag für eine stufengerechte Beschreibung der geologisch-hydrogeologischen und geotechnischen Verhältnisse. Dabei stützen wir uns auf unser Archiv mit bestehenden Sondierungen und Gutachten im Projektperimeter selbst sowie aus der unmittelbaren Umgebung. Die Ziele des vorliegenden geologisch-geotechnischen Vorberichts (Stufe Vorstudie) sind:

- Beschrieb der geologisch-hydrogeologischen Verhältnisse.
- Erste Angaben über allfällige Belastung des Standorts.
- Angaben zu Naturgefahren (Wasserprozesse, Baugrundklasse für Erdbebenbemessung).
- Angaben zu archäologischen Fundstellen.
- Baugrundmodell mit Abschätzung der geotechnischen Kennwerte.
- Aufzeigen geotechnischer Risiken.
- Beurteilung der gewässerschutzrechtlichen Machbarkeit von Untergeschossen.
- Angaben zur Bemessung der Fundationsmassnahmen.
- Hinweise über die Ausbildung der Baugrube und zur Wasserhaltung.
- Angaben über Versickerungsmöglichkeiten oder Retention.
- Aufzeigen Möglichkeiten einer geothermischen Wärmenutzung.
- Beurteilung des Kenntnisstands und Empfehlungen für objektspezifische Baugrundsondierungen.
- Empfehlungen für die Überwachung der Umgebung während der Tiefbauarbeiten.

2 GRUNDLAGEN

Pläne / Grundlagen

FSP ARCHITEKTEN AG (2022): Neubau LUKS Sursee: Standortevaluation, Stand 25.11.2022.

Dienststelle Immobilien (2022): Standortevaluation Spital Sursee (LUKS): Pflichtenheft Geologie, datiert 12.12.2022.

Geologie / Hydrogeologie

Kanton Luzern, RAWI (2022): Archäologisches Fundstellenkataster, Erdwärmenutzung, Grundbuchplan, Gewässerschutzkarte, Gefahrenkarte, Oberflächenabfluss, Kataster der belasteten Standorte, Oberflächenabflusskarte. <https://geoportal.lu.ch/karten>, Zugriff November 2022.

Keller+Lorenz AG: Diverse Sondierungen, Grundwasserspiegel-Messungen und Gutachten aus dem Archiv.

Normen / Richtlinien / Publikationen:

Bundesamt für Wasser und Geologie: Massgebende, aktuelle Richtlinien und Wegleitungen des BWG.

Bundesamt für Umwelt, BAFU (2009): Wärmenutzung aus Boden und Untergrund, Vollzugshilfe für Behörden und Fachleute im Bereich Erdwärmenutzung, datiert 10.07.2009.

EGLI (2005): Wegleitung Objektschutz gegen gravitative Naturgefahren. Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen (Hrsg.), Bern, 2005

EGLI (2007): Wegleitung Objektschutz gegen meteorologische Naturgefahren. Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen (Hrsg.), Bern, 2007.

Gewässerschutzgesetz vom 1. Januar 1991 (GSchG, SR814.20).

Gewässerschutzverordnung vom 28. Oktober 1998 (GSchV, SR814.201).

Zentralschweizer Umweltfachstellen (2020): Bauten im Grundwasser, Berechnungsgrundlagen. Merkblatt (Ausgabe Oktober 2020).

Kanton Luzern, UWE (2020): Merkblatt Versickerung - Versickerung von Regenwasser im Liegenschaftsbereich, datiert Juni 2020.

Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein: Massgebende, aktuelle SIA-Normen.

Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute, VSA (2019): Abwasserbewirtschaftung bei Regenwetter – Gesamtpaket, Richtlinie.

Verordnung über die Sicherheit und den Gesundheitsschutz der Arbeitnehmerinnen und Arbeiter bei Bauarbeiten (2022): Bauarbeitenverordnung, BauAV, Nr. 832.311.141, datiert 01.01.2022.

3 GEOLOGISCHE VERHÄLTNISSE

3.1 ÜBERBLICK

Der Projektperimeter befindet sich im Talboden des Suhretals, wo Gletscherschmelzwasserbäche sandig-kiesige Deltaablagerungen in einen hier ursprünglich gelegenen See abgelagerten. Innerhalb des ehemaligen Sees gehen die Deltasedimente mit zunehmender Tiefe in feinkörnigere, siltig-sandige Seesedimente über. An der Oberfläche dominieren heute Überschwemmungsablagerungen mit Verlandungsbildungen sowie vom östlichen Talrand her stammende Bachschwemmfächerablagerungen und Bachablagerungen des Chommlibachs.

3.2 LOCKERGESTEINE

Die geologischen Verhältnisse im Bereich der Bauparzelle lassen sich aufgrund früherer Sondierungen sowie unserer allgemeinen geologischen Kenntnisse beschreiben:

- An der Oberfläche befinden sich insbesondere randlich im Bereich bestehender Strassen oder Werkleitungsgräben heterogen gelagerte **künstliche Auffüllungen**. Diese setzen sich in der Regel aus unterschiedlich tonig-siltigen Kies-Sand-Gemischen mit variablem Anteil an Steinen, Blöcken, tw. organischen Beimengungen zusammen. In den künstlichen Auffüllungen sind eingelagerte Fremdstoffe wahrscheinlich. *Für den Projektperimeter liegt kein Eintrag im Kataster der belasteten Standorte (KbS) vor (Kap. 4).*
- Unterhalb der ursprünglichen Geländeoberkante oder der künstlichen Auffüllungen stehen bis zu ca. 3 m mächtige sehr weiche bis mittelsteife, untergeordnet steife oder sehr locker bis mitteldicht gelagerte, **setzungsempfindliche Überschwemmungsablagerungen und Verlandungsbildungen** an. Sie bestehen aus einer heterolithischen Wechsellagerung aus tonigem bis tonig-sandigem Silt mit dünnen, unterschiedlich siltigen Sandschichten und teils wenig Kies sowie organischen Beimengungen (zuweilen ganz Baumstämme) und strukturempfindlichen Torfschichten.
- Unterlagert werden die Überschwemmungsablagerungen von geschichteten, mitteldicht bis dicht, schichtweise locker oder sehr dicht gelagerten **Bach- und Bachschwemmfächerablagerungen** (Chommlibach), die sich am Fusse des Endmoränenwalls aus Osten in das Surental vorgebaut haben. Sie setzen sich zusammen aus unterschiedlich siltigem bis fast sauberem Kies mit variablem Anteil an Sand und Steinen sowie Zwischenschichten aus sehr locker bis locker gelagertem unterschiedlich siltigem Sand und weichem bis mittelsteifem tonigem Silt, tw. heterolithisch geschichtet oder laminiert.
- Darunter folgen dicht bis sehr dicht, untergeordnet locker oder mitteldicht gelagerte **Delta-Dachsichten**. Sie bestehen aus sauberem bis mässig siltigem Kies mit

variablen Anteil an Sand und Steinen sowie Blocklagen und einzelnen Sand-Zwischenschichten. Ihre unregelmässige Oberfläche weist erfahrungsgemäss eine mögliche Reliefamplitude von ca. ± 2 m auf.

- Unter den Delta-Dachschichten folgen in einer Tiefe von ca. 8 m bis >10 m unter der bestehenden Geländeoberkante mitteldicht, schichtweise locker oder dicht bis sehr dicht gelagerte **sandige Deltaablagerungen**. Diese bestehen aus Wechschichtungen aus unterschiedlich siltigem Sand (vermutlich dominierend) mit variablem Anteil an Kies und unterschiedlich siltigem Kies mit variablem Anteil an Sand und Steinen sowie gelegentlich mit dünnen, sehr dicht gelagerten Diamiktiten¹. Diese Deltaablagerungen sind generell grossmassstäblich schräggeschichtet.
- Darunter stehen in noch unbekannter Tiefe **späteiszeitliche Gletschensee-Ablagerungen mit Eisdriftgeschieben** an. Diese Schichtabfolge besteht aus mittelsteifem bis steifem, siltigem Ton bis tonigem Silt, tw. laminiert (warvenartig) mit locker bis mitteldicht gelagerten Zwischenschichten aus tw. sauberem Feinsand (heterolithisch laminiert), dicken Laminae (bis 3 cm) aus siltigem Ton und möglichen Eisdriftgeschieben. Mit der Tiefe nimmt auch die Konsistenz auf bis hart zu.
- In grösserer und für das vorliegende Bauobjekt nicht mehr relevanter Tiefe folgen **Moränenablagerungen** und der **Molassefelsen**.
- Für gesicherte Angaben über den Lockergesteinsaufbau empfehlen wir, objektspezifische Baugrundsondierungen abzuführen (Kap. 12).

4 ERSTE HINWEISE ZUR BELASTUNGSSITUATION

Die Bauparzelle weist keinen Eintrag im Kataster der belasteten Standorte (KbS) des Kantons Luzern (KANTON LUZERN, RAWI, 2022) auf und wird als Landwirtschaftsfläche genutzt. Trotzdem sind folgende Hinweise und gesetzlichen Vorgaben zu beachten:

- Unterhalb der bestehenden Geländeoberkante sind im Bereich von Strassen und Werkleitungen unterschiedlich mächtige künstliche Auffüllungen vorhanden, die Fremdstoffen enthalten können. Zudem ist entlang der Surental- und der Krumbacherstrasse der Prüfperimeter für Bodenverschiebungen mit den ausgewiesenen Leitstoffen für Strassenverkehr zu berücksichtigen.
- Erfahrungsgemäss können gewisse Kubaturen innerhalb der künstlichen Auffüllungen aufgrund ihres Fremdstoffanteils als schwach verschmutzter (VVEA Typ Bv; mineralische Fremdstoffanteile bis maximal 5 %) bis wenig verschmutzter Aushub (VVEA Typ B) anfallen. Höher belastete Bereiche (z.B. VVEA Typ E) mit chemischen Belastungen sind wegen der bisherigen Nutzung als Ackerland nicht zu erwarten.

¹ Diamiktit: Unsortiertes oder schlecht sortiertes Korngemisch Kies-Sand-Silt/Ton, meist als Kies in einer Schlammatrix aus stark tonig/siltigem Sand.

- Unabhängig eines KbS-Eintrags wird gemäss aktueller Vollzugspraxis der Dienststelle Umwelt und Energie (uwe) ab Kubaturen von 100 m³ belastetem Aushub eine Aushubbegleitung verlangt. Ab Kubaturen von 300 m³ belastetem Aushub wird zusätzlich zu einer Aushubbegleitung ein Aushub- und Entsorgungskonzept gefordert.
- Verschmutztes Aushubmaterial ist nach AHR² und VVEA³ zu entsorgen. Wenn organoleptisch⁴ auffälliges Material vorgefunden wird, empfehlen wir, dieses durch einen Altlastenspezialisten chemisch analysieren zu lassen.
- Für Bauvorhaben mit Bodenrekultivierungen ist ab 5'000 m² eine bodenkundliche Baubegleitung (BBB) erforderlich.

5 HYDROGEOLOGISCHE VERHÄLTNISSE

5.1 LOKALE GRUNDWASSERVERHÄLTNISSE

- Der Projektperimeter befindet sich über dem ausgedehnten Grundwasservorkommen des Surentals. Die Delta-Dachschichten und sandigen Deltaablagerungen sowie im oberen Bereich die Bach- und Bachschwemmfächerablagerungen bilden den in der Umgebung genutzten Hauptgrundwasserleiter. Dabei findet der Grundwasserfluss vor allem in den Delta-Dachschichten statt.
- Aufgrund der Gewässerschutzkarte (Kanton Luzern, rawi, 2022) kann im Projektperimeter eine mittlere Grundwasseroberfläche zwischen ca. 493.3 und 493.6 m ü.M. abgeschätzt werden, was einem Flurabstand von ca. 3 m im SW bis ca. 7 m im NE entspricht. Bei Hochwasser ist basierend auf Grundwasserspiegel-Messdaten des PW Hofstetterfeld ein Anstieg um bis ca. 2½ m möglich und bei Niederwasser basierend auf grossräumig durchgeführten Grundwassermessungen im Rahmen der Hydrothermie Surental (1988) ein Absinken von ca. 1 m.
- Diese Angaben sind zur stufengerechten Erkundung mit Grundwassermessungen insbesondere bei Extremständen in neu zu erstellenden Piezometern zu verifizieren (Kap. 12).
- Die Grundwasserfliessrichtung auf der Bauparzelle ist gemäss der Gewässerschutzkarte nach WNW bis W gerichtet und weist ein Gefälle von bis zu ca. 2 ‰ auf (Kanton Luzern, rawi, 2022).
- Zusätzlich sind im Projektperimeter, insbesondere nach starken oder anhaltenden Niederschlägen lokale, schichtweise gespannte Grundwasservorkommen zu erwarten, die in besser durchlässigen Zwischenschichten der Überschwemmungsablagerungen oder

² AHR: Aushubrichtlinie.

³ VVEA: Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen.

⁴ organoleptisch: Hilfsmittelfreie Bewertung von Geruch und Aussehen.

den Bachschwemmfächerablagerungen sowie auch künstlichen Auffüllungen ihren Leiter finden.

- Im Extremfall (Hochwasser) ist aufgrund des heutigen Kenntnisstandes auf der ganzen Bauparzelle mit einer Grundwasseroberfläche oder einer Porenwassersättigung bis in den Bereich der heutigen Geländeoberkante zu rechnen (Kap. 6.1 und 6.2).

5.2 GEWÄSSERSCHUTZ

Das Bauvorhaben befindet sich gemäss der Gewässerschutzkarte des Kantons Luzern vollständig innerhalb des **Gewässerschutzbereichs Au**, eines als nutzbar eingestuften Grundwasservorkommens (Abb. 1).

Bauten, die in das Grundwasservorkommen hineinreichen (ZENTRALSCHWEIZER UMWELTFACHSTELLEN, 2020), z.B. Untergeschosse oder Pfähle, bedürfen einer gewässerschutzrechtlichen Bewilligung der kantonalen Dienststelle Umwelt und Energie (uwe). Für Bauten, die unter die Deckfläche bzw. die mittlere Grundwasseroberfläche des Grundwasservorkommens reichen oder dieses beeinflussen ist ein hydrogeologischer, rechnerischer Unbedenklichkeitsnachweis über den Einfluss des Bauwerks auf die Durchflusskapazität (inkl. Interessensabwägung) zu erbringen, welcher als separater Bericht dem Baugesuch beigelegt werden muss (ZENTRALSCHWEIZER UMWELTFACHSTELLEN, 2020).

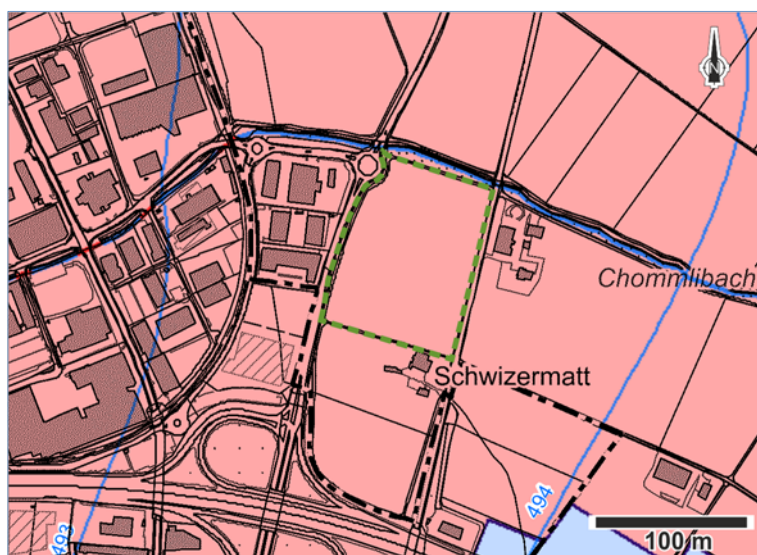


Abb. 1 Ausschnitt aus der aktuellen Gewässerschutzkarte © KANTON LUZERN, RAWI (2022). Massstab 1:10'000. Grün gestrichelt umrandet: Lage des Projektperimeters.

- Aus gewässerschutzrechtlicher Sicht sind somit Untergeschosse bis zur Grundwasseroberfläche bei Mittelwasserstand bewilligungsfähig. Für tiefere Einbauten inkl. Fundation ist der Nachweis zum Erhalt des Durchflussquerschnitts (10 %-Regel) zu erbringen.
- Die Anordnung allfälliger Pfähle ist hinsichtlich einer möglichst geringen Durchfluss-Querschnittseinengung des Grundwasserleiters optimal abzustimmen.

- Allgemein sind bei den Bautätigkeiten die gebotene Sorgfalt zu wahren und das Verunreinigungsverbot und die Bestimmungen zur quantitativen Erhaltung des Grundwasservorkommens zu beachten (Art. 3, 6, 43 GSchG).
- Wir empfehlen, die genauen Randbedingungen zur Erzielung einer gewässerschutzrechtlichen Bewilligungsfähigkeit rechtzeitig mit der zuständigen Behörde zu klären.

5.3 BAUTECHNISCH RELEVANTE FOLGERUNGEN

5.3.1 Bauzustand

- Tiefe Baugruben kommen unter die Grundwasseroberfläche zu liegen.
- Eine Absenkung der Grundwasseroberfläche ausserhalb des Bauvorhabens unter den natürlichen Niederwasserstand sowohl während der Bauphase als auch im Nutzungszustand wäre **mit Risiken von unzulässigen Setzungen oder Beeinflussung bestehender Grundwassernutzungen verbunden**. Eine dauerhafte Grundwasserabsenkung unter den natürlichen Niederwasserstand ist daher grundsätzlich zu unterlassen.
- Insbesondere während starker oder langanhaltender Niederschläge sind in Folge von schichtweiser Wassersättigung episodisch erhöhte Porenwasserdrücke und entfestigte, wassergesättigte, sandig-siltige Schichten zu erwarten (Kap. 5.1). Die daraus folgenden Erschwernisse sind vor allem in der **Stabilitätsverminderung bei freien Baugrubenböschungen oder Zusatzbelastungen** zu suchen. Grundsätzlich sind Baugrubensicherungen oder Planum für Schüttungen zu dränieren und vorgängig zu entwässern, um destabilisierende Porenwasser Spannungen abzubauen.
- Wasseraustritte oder eine schichtweise mögliche Wassersättigung in freien Böschungen führen rasch zu Ausschwemmungen oder Bodenverflüssigungen der sandig-siltigen Lockergesteine, so dass diese gerne abrutschen. Diesem Problem kann durch Fassung allfälliger Wasseraustritte und durch Sickerbetonverstärkungen begegnet werden.
- Im Weiteren muss das anfallende Oberflächenwasser oberhalb der Baugrubenböschungen durch Ableitungen in Sickergräben unbedingt von den wasserempfindlichen Lockergesteinsböschungen ferngehalten werden.
- Alle sandigen Ablagerungen unterhalb der Grundwasseroberfläche sind als **grundbruchempfindlich** einzustufen. Dies gilt sowohl für Aushubarbeiten in Baugruben und Werkleitungsgräben als auch für allfällige Tiefenfundationen (Bohrpfähle).
- Die Lockergesteine müssen allgemein als **wasserempfindlich** eingestuft werden und können nur bei hinreichender Entwässerung und trockener Witterung ohne Zuschläge transportiert und deponiert werden. Entsprechende Mehraufwendungen / -kosten beim Ausheben, Transportieren und Deponieren des Aushubmaterials müssen deshalb vorgesehen werden – die Kosten lassen sich vor allem durch eine gute Vorentwässerung

des Aushubs reduzieren. Der Endaushub ist bei trockener Witterung und entwässerter Aushubsohle auszuführen.

- Die unterschiedlich siltigen Sande besitzen meist eine **trügerische Scheinkohäsion**, die insbesondere bei Durchnässung entfällt und rasch zu einer Entfestigung und Verschlammung führt. Diese Eigenschaft wäre – nebst freien Böschungen (vgl. oben) – auch im Zusammenhang mit der erschwerten Befahrbarkeit der Aushubsohlen zu beachten.
- Das in offener Baugrube oberhalb der Grundwasseroberfläche anfallende Niederschlags- oder Baugrubenabwasser (Kap. 5.2) lässt sich mit genügend **Entwässerungsgräben** und **Pumpensümpfen** / ev. Wellpoint abpumpen und ableiten. Die gefassten Wassermengen der Wasserhaltungsmassnahmen sind über ein genügend leistungsfähiges Absetzbecken / Neutralisationsanlage zu führen. Eine Einleitung der Pumpwassermengen in die Kanalisation oder in einen Vorfluter ist vorgängig mit den entsprechenden Behörden abzuklären (Achtung Verschlammung). Bei allfälligen Aushüben unter die Grundwasseroberfläche wäre je nach Dichtigkeit des Baugrubenabschlusses und Grösse der Baugrube mit erheblichen Pumpwassermengen aus Filterbrunnen von bis mehreren 1'000 l/min. zu rechnen.
- Die gefassten Wassermengen der Wasserhaltungsmassnahmen sind zu messen und in Anlehnung an die Vorgaben der SIA431 über ein genügend leistungsfähiges Absetzbecken / Neutralisationsanlage zu führen. Eine Einleitung der Pumpwassermengen in die Kanalisation ist vorgängig mit den entsprechenden Behörden abzuklären (Achtung Verschlammung). Die Einleitbedingungen in Meteor- oder Abwasserleitungen gemäss der Gewässerschutzverordnung (GSchV) sind einzuhalten.

5.3.2 Nutzungszustand

- Wir empfehlen, sämtliche erdberührten Untergeschosse bis an die heutige Geländeoberkante als **dichte Wanne** auszubilden und für einen noch festzulegenden Bemessungshochwasserstand gegenüber **Auftrieb** zu dimensionieren. Die baulichen Konsequenzen – insbesondere bei einem hohen Grundwasserstand – sind vom Ingenieur in Bezug auf die Wasserdichtigkeit und für eine genügende Steifigkeit und die Tragsicherheit der Bodenplatte (evtl. Zugpfähle bei dichten Wannen) darzulegen.

6 NATURGEFAHREN

6.1 WASSERPROZESSE

Da der Projektperimeter fast komplett ausserhalb des Siedlungsgebiets (Gefahrenkartenperimeter) liegt, bestehen gemäss der aktuell geltenden Gefahrenkarte des Kantons Luzern

(KANTON LUZERN, RAWI, 2022) lediglich Gefahrenhinweise für **Überschwemmung / Übersarung**.

Randlich, entlang der Surentalstrasse, innerhalb des Gefahrenkartenperimeters, besteht eine Gefährdung durch **fließendes Hochwasser**. Diese Gefährdung ist gemäss der aktuell geltenden Gefahrenkarte des Kantons Luzern (KANTON LUZERN, RAWI, 2022) mit folgenden Szenarien entsprechend festgehalten (Abb. 2):

- Bereits bei seltenen⁵ sowie sehr seltenen⁶ Ereignissen ist im Projektperimeter mit fließendem Hochwasser mit schwacher bis mittlerer Intensität zu rechnen. Die Intensitäten richten sich dabei nach der Geländeform und sind im Bereich Senke östlich entlang der Surentalstrasse am grössten.
- Die charakteristischen Parameter der Intensitätsstufen für Hochwasser sind in Tab. 1 zusammengestellt.
- Aufgrund der zugehörigen Intensitätskarten besteht im Perimeter mit vertiefter Gefahrenbeurteilung generell eine **geringe bis mittlere Gefährdung** (gelbe bis blaue Gefahrenstufe) durch fließendes Hochwasser.

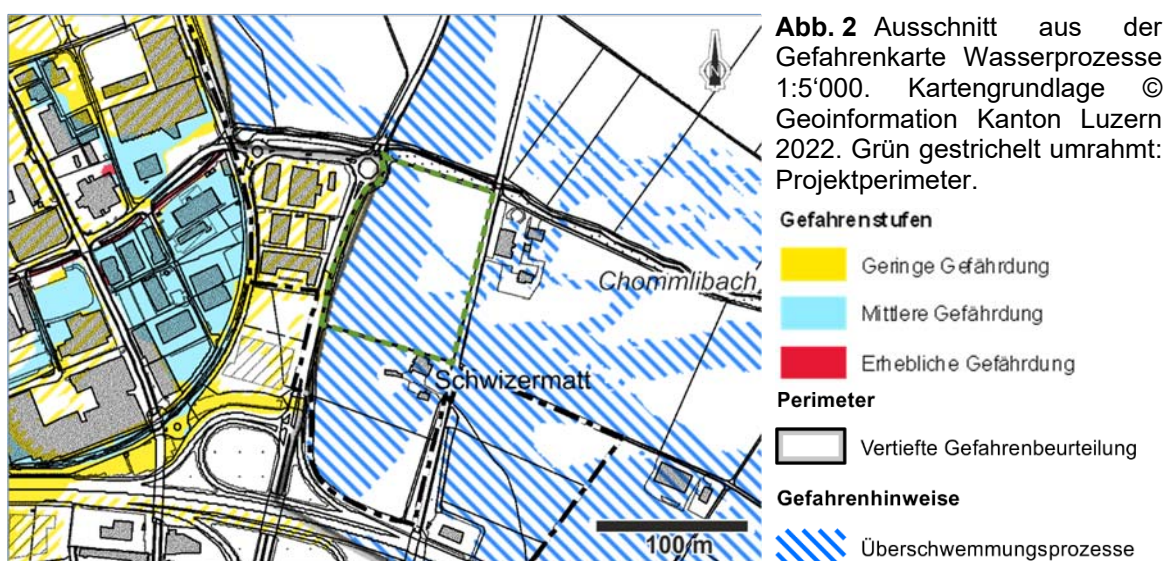


Abb. 2 Ausschnitt aus der Gefahrenkarte Wasserprozesse 1:5'000. Kartengrundlage © Geoinformation Kanton Luzern 2022. Grün gestrichelt umrahmt: Projektperimeter.

schwache Intensität	mittlere Intensität	starke Intensität
$h < 0.5 \text{ m}$ oder $v \cdot h < 0.5 \text{ m}^2/\text{s}$	$0.5 \text{ m} < h < 2 \text{ m}$ oder $0.5 < v \cdot h < 2 \text{ m}^2/\text{s}$	$h > 2 \text{ m}$ oder $v \cdot h > 2 \text{ m}^2/\text{s}$

Tab. 1 Intensitätsstufen für Hochwasser.
h = Fließhöhe
v = Fließgeschwindigkeit

⁵ Selten = Eintrittswahrscheinlichkeit $1/30$ bis $1/100$ pro Jahr

⁶ Sehr selten = Eintrittswahrscheinlichkeit $1/100$ bis $1/300$ pro Jahr.

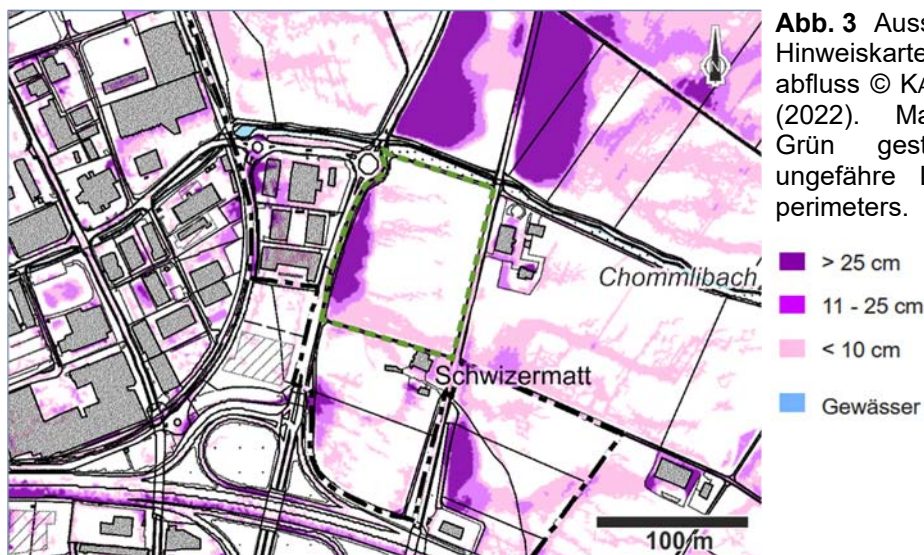
Es kann davon ausgegangen werden, dass die Lockergesteine in Senkenbereichen während Überschwemmungen vollständig gesättigt sind (vgl. auch Kap. 6.2), weshalb der hydrostatische Druck auf Bauwerke **auftriebswirksam** wirkt.

Mit angemessenen Objektschutzmassnahmen können allfällige Schäden verhindert werden (Kap. 6.2).

6.2 OBERFLÄCHENABFLUSS

Auf der Hinweiskarte Oberflächenabfluss (nicht versickerndes Niederschlagswasser, welches dem nächsten Gewässer zuströmt) sind im Baubereich einzelne Zonen mit **potentieller Überflutung** (Fliesstiefen > 25 cm; Abb. 3) ausgeschieden.

Weiter sind Überlasten aus der Kanalisation sowie der Strassenentwässerung zu beachten.



Mit angemessenen Objektschutzmassnahmen können Schäden i.d.R. vermindert werden. Da sich Starkniederschläge nur kurzfristig vorhersagen lassen und die Abflussbildung im Ereignisfall äusserst rasch erfolgt, ist die Vorwarnzeit entsprechend kurz (EGLI 2005, 2007). Dies bedeutet, dass ausschliesslich **permanente Objektschutzmassnahmen** gegen Oberflächenabfluss vorzusehen sind (SIA 261/1). Dazu bieten sich u.a. an:

- Geeignete Anordnung der Koten von Erdgeschoss. Erhöhung von Eingängen, Kellerfenstern, Lichtschächten oder ähnlichen Gebäudeöffnungen über die massgebende Schutzhöhe. Es dürfen keine ungeschützten Fensteröffnungen / Eingänge vorhanden sein, in die das zuströmende Oberflächenwasser eindringen kann.
- Terraingestaltung, z.B. mittels Anpassung der Geländekoten in der Umgebung. Für einen geordneten Abfluss kommt durchdachten, durchgängigen und hindernisfreien

Leitwerken (Stellplatten, Überstände, Vertiefungen in Fallrichtung u.dgl.) eine grosse Bedeutung zu. Zu beachten sind auch allfällige Ein- / Rückstaumöglichkeiten, z.B. umschlossene Terrassen mit ungenügend dimensionierten oder leicht verstopfenden Abflüssen. Die Abflussskorridore sind im Umgebungsplan darzustellen.

- Berücksichtigung der Auftriebssicherheit und der Wasserdichtigkeit erdberührter Bauteile.

6.3 ERDBEBEN

Der **Erdbebensicherheit** ist je nach Gefährdungsbild eine angemessene Priorität zuzuordnen. Nach SIA 261:2020 und BWG (2004) können für einen ersten Nachweis der ausserordentlichen Einwirkung von Erdbeben folgende Zuordnungen verwendet werden:

- Für das Bauwerk sind die Bauwerksklassen gemäss SIA 261:2020 festzulegen.
- Hinsichtlich der **Erdbebengefährdungszonen** wird das Gebiet nach der aktuellen SIA 261:2020 der Zone 1a mit Beschleunigungswerten 0.6 m/s^2 zugeschlagen.
- Gemäss aktueller Baugrundkarte des Kantons Luzern wird der Baugrund der Baugrundklasse D (Ablagerungen von nicht konsolidiertem Feinsand, Silt oder Ton mit einer Mächtigkeit über 50 m) zugewiesen. Aufgrund unserer Erfahrungen ist mit normal konsolidierten Lockergesteinen in vorwiegend mitteldichter Lagerung bis über 20 m Tiefe sehen wir aber eine Einstufung in die **Baugrundklasse C**. Wir weisen aber darauf hin, dass bei locker gelagerten Zwischenschichten unter den vorliegenden Grundwasser- verhältnissen im Erdbebenfall das erkannte Risiko einer Bodenverflüssigung angemessen zu berücksichtigen bleibt.

7 ARCHÄOLOGISCHE FUNDSTELLEN

Gemäss dem aktuellen archäologischen Fundstellenkataster des Kantons Luzern sind im Bereich des Bauvorhabens **keine archäologischen Fundstellen** vorhanden. Deshalb wird für Eingriffe in den Untergrund **keine Bewilligung** durch die Denkmalpflege und Archäologie (da) in Luzern benötigt.

8 BAUGRUNDMODELL MIT GEOTECHNISCHEN EIGENSCHAFTEN DER LOCKERGESTEINE

An Hand unserer Erfahrungen wurde für den Projektperimeter ein stufengerechtes Baugrundmodell erstellt, das als Grundlage für die stufengerechte Projektierung dienen soll.

Einheit	Beschreibung	Feuchtraumgewicht γ_e [kN/m ³]	Raumgewicht unter Auftrieb γ' [kN/m ³]	effektiver Winkel der inneren Reibung ϕ' [°]	effektive Kohäsion c [kN/m ²]	Durchlässigkeit k [m/s]	M _E -Wert (M _E '-Wert) [MN/m ²]
<i>Künstliche Auffüllungen</i>	Unterschiedlich siltige Kies-Sand-Gemische mit variablem Anteil an Steinen und Blöcken sowie tw. organischen Beimengungen und evtl. Fremdstoffen. Heterogen.	19.5 ± 1.0	10.0 ± 1.0	32 ± 3	0 *)	$x \cdot 10^{-4}$ ÷ $x \cdot 10^{-7}$	heterogen
<i>Überschwemmungsablagerungen, Verlandungsbildungen</i>	Heterolithische Wechsellagerung aus tonigem bis tonig-sandigem Silt mit dünnen, unterschiedlich siltigen Sandschichten und teils wenig Kies sowie organischen Beimengungen (zuweilen ganze Baumstämme). Sehr weich bis mittelsteif, untergeordnet steif oder sehr locker bis mitteldicht gelagert	18.0 ± 1.0	8.5 ± 1.0	26 ± 2	0 *)	$x \cdot 10^{-5}$ ÷ $x \cdot 10^{-7}$ $k_v \neq k_h$	1 ÷ 8 (3 ÷ 24)
	Torf-Schichten	11.5 ± 0.5	2.0 ± 0.5	16 ± 1	0	$x \cdot 10^{-4}$ ÷ $x \cdot 10^{-7}$	0.1 ÷ 1 (< 3)
<i>Bach- und Bachschwemmflächenablagerungen</i>	Unterschiedlich siltiger bis sauberer Kies mit Sand und Steinen, Zwischenschichten aus unterschiedlich siltigem Sand bis tonigem Silt, tw. heterolithisch laminiert. Mitteldicht bis dicht, schichtweise locker oder sehr dicht gelagert bzw. weich bis mittelsteif.	19.0 ± 0.5	9.5 ± 0.5	28 ± 2	0 *)	$x \cdot 10^{-3}$ ÷ $x \cdot 10^{-6}$	4 ÷ 15 (12 ÷ 45)
<i>Delta-Dachschichten</i>	Sauberer bis mässig siltiger Kies mit variablem Anteil an Sand und schichtweise Steinen sowie mit Blocklagen und einzelnen Sand-Zwischenschichten. Dicht bis sehr dicht, tw. locker bis mitteldicht gelagert.	20.5 ± 0.5	11.0 ± 0.5	32 ± 2	0 *)	$x \cdot 10^{-3}$ ÷ $x \cdot 10^{-4}$	20 ÷ 40 (> 50)
<i>Sandige Deltaablagerungen</i>	Wechselschichtungen aus unterschiedlich siltigem Sand mit variablem Anteil an Kies und unterschiedlich siltigem Kies mit variablem Anteil an Sand und Steinen sowie gelegentlich mit dünnen, sehr dicht gelagerten Diamiktiten, mitteldicht, schichtweise locker oder dicht bis sehr dicht gelagert.	21.0 ± 0.5	11.5 ± 0.5	33 ± 2	0 *)	$x \cdot 10^{-3}$ ÷ $x \cdot 10^{-7}$ $k_v \neq k_h$	6 ÷ 40 (24 ÷ >60)

Einheit	Beschreibung	Feuchtraumgewicht γ_e [kN/m ³]	Raumgewicht unter Auftrieb γ [kN/m ³]	effektiver Winkel der inneren Reibung ϕ' [°]	effektive Kohäsion c [kN/m ²]	Durchlässigkeit k [m/s]	M _E -Wert (M _E '-Wert) [MN/m ²]
<i>Späteiszeitliche Gletschersee-Ablagerungen mit Eisdrittgesschieben</i>	Siltiger Ton bis toniger Silt, meist laminiert (warvenartig), Zwischenschichten aus tw. sauberem Feinsand (heterolitisch laminiert), dicke Laminae (bis 3 cm) aus siltigem Ton, Eisdrittgesschiebe. Mittelsteif bis steif. Zwischenschichten locker gelagert. Mit der Tiefe zunehmend steif bis hart.	19.0 ± 0.5	9.5 ± 0.5	27 ± 2	0 *)	x·10 ⁻⁷ ÷ x·10 ⁻⁹	15 ÷ 30 (>50)

Tab. 2 Tabellarische Zusammenstellung der geotechnischen Kennwerte der verschiedenen geologischen Einheiten. *) Scheinkohäsion vorhanden. **) Bei Entfestigung infolge Durchnässung.

- Die zugehörigen charakteristischen Bodenkennziffern (X_k) beruhen auf Abschätzungen. Wir empfehlen, diese durch aufgabenspezifische Baugrundsondierungen und Laboruntersuchungen zu verifizieren. Die angegebenen Werte gelten als vorsichtige Erfahrungswerte und können je nach Bemessungssituation mit der angegebenen Bandbreite variieren (vgl. SIA 267, Ziffer 4.2.1.4).
- Die für die Berechnungen einzusetzenden Bemessungswerte sind gemäss der SIA-Norm 267 vom Ingenieur aus den charakteristischen Kennwerten (X_k) unter Berücksichtigung der, je nach Art der Einwirkungen (Grenzzustände) festzulegenden Partialfaktoren, abzuleiten und spezifisch für den jeweiligen geotechnischen Nachweis festzulegen (vgl. SIA 267, Ziffer 4.2).
- Der M_E'-Wert gilt für Belastungen, welche kleiner oder gleich gross wie die Aushubentlastung sind (Wiederbelastung), der M_E-Wert für Belastungen, welche darüber hinausgehen (Erstbelastung).

9 GEOTECHNISCHE FOLGERUNGEN

9.1 ALLGEMEINE GEOTECHNISCHE ERSCHWERNISSE

- Die bautechnisch relevanten Folgerungen bezüglich der Geologie (Kap. 3), der hydrogeologischen Verhältnisse (Kap. 5), der Naturgefahren (Kap. 6) sowie der geotechnischen Eigenschaften (Kap. 8) sind bei der Planung der Tiefbauarbeiten zu beachten.
- Mit **Erschwernissen** wie mit Fremdstoffen oder chemischen Belastungen verschmutzte künstliche Auffüllungen (Kap. 4) und Bohr- und Rammhindernissen durch schicht- / nestweise sehr harten Blöcke mit ($\emptyset > 1$ m) oder bisweilen ganzen Baumstämmen oder

Torf muss gerechnet werden. Weiter ist die schlechte Dränierbarkeit insbesondere der wasserempfindlichen Überschwemmungsablagerungen und Verlandungsbildungen zu beachten. Entsprechende Erschwernisse sind einzurechnen.

- Die Neubauten kommen unmittelbar an bestehende Strassen oder Werkleitungen etc. zu liegen. **Sowohl im Bau- als auch im Endzustand** ist zu beachten, dass **je nach Vulnerabilität keine Deformationen akzeptabel** sind. Wir empfehlen, die Empfindlichkeit dieser Bauten frühzeitig abzuklären, um allenfalls schadensvorbeugende Massnahmen, wie vorgängige Fundationsverstärkungen, Werkleitungsumlegungen, erschütterungsarme Tiefbauarbeiten in die Projektierung einfliessen lassen zu können.

9.2 FUNDATION

9.2.1 Grundsätzliches

- Je nach Einbindetiefe kommen die Fundationen der Neubauten in unterschiedliche Lockergesteinsschichten zu liegen. Wegen des sedimentologisch heterogenen Baugrunds sowie im Falle eines unterschiedlichen Erstbelastungsanteils muss bei Flachfundationen bei einer relevanten Mehrbelastung des Baugrunds mit kurzfristigen (während des Baus) und langfristigen (infolge Verdichtung des Baugrunds durch Bauten und Neubauten in unmittelbarer Umgebung) Setzungen und Setzungsdifferenzen gerechnet werden. Insbesondere im Falle von Geländeschüttungen z.B. entlang der Surentalstrasse ist das Setzungsverhalten der Überschwemmungsablagerungen und Verlandungsbildungen und der Einfluss von Setzungsmulden zu beachten.
- Die erdberührten Bauteile sind möglichst steif auszubilden, damit Spannungsspitzen unterhalb von Lastkonzentrationen (Gebrauchslasten) auf ein zulässiges Mass verteilt werden können.
- Zu beachten ist, dass je nach Variante des Baugrubenabschlusses mit einer Auflockerung des randlichen Fundationsuntergrunds insbesondere bei einer Flachfundation zu rechnen ist. Die grössten Setzungsrisiken entstehen beim Rückzug von allfälligen Spundbohlen.
- Wie bereits im Kap. 3.2 erwähnt, ist dem unruhigen Kleinrelief der Oberfläche der Delta-Dachsichten unbedingt durch eine flexible Gestaltung des Fundationskonzepts und durch objektspezifische, ergänzende Baugrundsondierungen (Kap. 12) Rechnung zu tragen.
- Zu beachten sind für alle Fundationsmassnahmen die Erschwernisse gemäss Beschrieb in Kap. 9.1.
- Bedingt durch die unregelmässige Oberfläche der Bach- und Bachschwemmfächerablagerungen bzw. der Delta-Dachsichten und dem variablen Fundationshorizont

empfehlen wir, ein **möglichst flexibles Fundationskonzept** vorzusehen. Folgende Varianten stehen dabei im Vordergrund:

- 1) Flachfundation mit lokalem Materialersatz.
 - 2) Betontatzen.
 - 3) Kiessäulen / Rüttelstopf- oder Rütteldruckverdichtung.
 - 4) Bohrpfähle.
- Die erdberührten Untergeschosse und die Bodenplatten sind möglichst steif auszubilden, damit die vorhandenen Unterschiede im Tragverhalten des Baugrundes überbrückt werden können. Zudem sind im Bereich von Lastkonzentrationen Bodenplattenverstärkungen vorzusehen.
 - Die günstigste Fundationsvariante ist unter Berücksichtigung der Einbindetiefe und den Einwirkungen aus dem Neubau durch Kostenvergleiche zu ermitteln.

9.2.2 Flachfundation

Eine Flachfundation steht für leichtere Neubauten mit einer genügenden Einbindetiefe unter die heutige Geländeoberkante zur Diskussion.

- Die Bodenpressungen sind für den Gebrauchstauglichkeitsnachweis und für die Bemessung für Streifenfundamente mit Breiten ≤ 1 m oder Einzelfundamente bis ca. 2 m x 2 m auf Werte gemäss Tab. 3 zu beschränken.

Fundationshorizont	Zulässige Bodenpressungen unter 1.0-facher Belastung:	Zulässige Bodenpressungen (Design-Niveau):
Bach- und Bachschwemmfächerablagerungen	ca. 120 ÷ 200 kN/m ²	ca. 170 ÷ 280 kN/m ²
Delta-Dachsichten	ca. 220 ÷ 250 kN/m ²	ca. 310 ÷ 350 kN/m ²

Tab. 3 Zulässige Bodenpressungen bei Flachfundationen oder Betontatzen.

- Falls auf der Baugrubensohle aufgeweichte und durchnässte Lockergesteine bzw. Überschwemmungsablagerungen und Verlandungsbildungen anstehen, sind diese zur Verbesserung der Tragfähigkeit bis auf die tragfähigen Bach- und Bachschwemmfächerablagerungen oder Delta-Dachsichten auszupacken und durch gut verdichtbare Kies-Sand-Gemische zu ersetzen. Bei zu grosser Mächtigkeit des erforderlichen Materialersatzes sind die Betontatzen (Kap. 9.2.3), Kiessäulen / Rüttelstopf- oder Rütteldruckverdichtung (Kap. 9.2.43) oder eine Tiefenfundation (Kap. 9.2.5) zu prüfen.
- Bei einer durchgehenden Fundierung innerhalb der Bach- oder Bachschwemmfächerablagerungen bzw. Delta-Dachsichten sind absolute oder differentielle Setzungen von bis ca. 1 bis 2 cm zu erwarten. Entsprechende Beanspruchungen der Konstruktion sind bei

der Bemessung der Tragkonstruktion zu berücksichtigen. *Das genaue Setzungsmass ist durch den projektierenden Bauingenieur zu verifizieren.*

- Der anstehende Baugrund im Bereich der Aushub- oder Fundamentsohlen ist bei zweifelhaften Verhältnissen bezüglich der zulässigen Bodenpressungen und der erforderlichen Aufwendungen für den Materialersatz durch den Ingenieur und/oder Geotechniker zu beurteilen.

9.2.3 Betontatzen

- Der Baugrund mit seinen schein kohäsiven Lockergesteinen kann lediglich bei trockenen Verhältnissen oberhalb der Grundwasseroberfläche kurzfristig als standfest bezeichnet werden. Für tiefere Gruben sind Grubenspriesse und ein Mehrverbrauch gegenüber dem theoretischen Verbrauch infolge nachbrechender Schlitzwände einzurechnen.
- Für einwandfrei erstellte Betontatzen können die zulässigen Bodenpressungen gemäss Tab. 3 vorgesehen werden.

9.2.4 Baugrundverbessernde Massnahmen mittels Kiessäulen / Rüttelstopf- oder Rütteldruckverdichtung

- Für eine Verbesserung des Setzungsverhaltens des Baugrunds oder zur Erzielung höherer zulässiger Bodenpressungen gegenüber den Bemessungsgrundlagen in Tab. 3 dürfte eine Ausführung von Kiessäulen und einer Rüttelstopf- oder eine Rütteldruckverdichtung grundsätzlich eine valable Fundationsmethode sein. Die Kiessäulen bei einer Rütteldruckverdichtung sollten dabei genügend tief in die Delta-Dachschichten reichen. Bezüglich der Ausführungsmöglichkeiten wäre eine entsprechende Spezialtiefbauunternehmung zu kontaktieren (Risiken von Bodenverflüssigung und Grundbrüchen bei Vibrationen etc.), und die Machbarkeit empfehlen wir durch Insitu-Versuche abzuklären.
- Für die Dimensionierung einer Rüttelstopfverdichtung mit Kiessäulen wird nach dem Verfahren von Priebe ein Verbesserungsfaktor für den Baugrund bestimmt. Dieser ist vom Säulenraster und vom Ausführungsverfahren abhängig und soll daher mit der ausführenden Unternehmung abgesprochen werden.

9.2.5 Bohrpfähle

- Eine hinsichtlich der heterogenen Baugrundverhältnisse besonders flexible und risikoärmere Fundationsmethode stellt eine Tiefenfundation mit Pfählen dar. Diese können zudem hinsichtlich der Auftriebsproblematik bei Hochwasser (Kap 5.3.1 und 6.2) oder für die Erdbebensicherheit als Zugpfähle ausgebildet werden. Zudem würde eine

Tiefenfundation keine weiteren aufwendigen Aushubarbeiten für einen Materialersatz bei Flachfundationen (Kap. 9.2.2) erfordern.

- Aufgrund der schichtweise dicht bis sehr dicht gelagerten Delta-Dachschichten mit Blöcken bestehen Risiken, dass bei Anwendung von Ramppfählen oder Verdrängungsbohrpfählen die erforderliche Tiefe mit einer genügenden Einbindung in die tragfähigen Horizonte nicht erreicht würde. Aus diesem Grunde steht ohne weitere Sondierungen oder Versuchspfählen die Ausführung von konventionellen Bohrpfählen im Vordergrund.
- Es ist mit Bohr- und Rammhindernissen gemäss Kap. 9.1 zu rechnen. Im Weiteren sind Zuschläge für Unterwasserbeton einzurechnen.
- Bei den setzungsempfindlicheren Überschwemmungsablagerungen und Verlandungsbildungen muss bereits bei geringmächtigen Aufschüttungen mit grösseren Setzungen gerechnet werden, die zu **negativer Mantelreibung** und dadurch zu einer Mehrbelastung der Pfähle führen. Dieser Umstand wäre bei Geländeanpassungen zu berücksichtigen und die zulässigen äusseren Pfahltragwiderstände sind bei den betroffenen Randpfählen allenfalls um ca. 15 % bis 20 % zu reduzieren.
- Ein Mehrverbrauch des Betons von über 20 % gegenüber dem theoretischen Verbrauch infolge seitlichem Verlaufen während des Rückzugs der Verrohrung bei Ortsbetonpfählen in besser durchlässigen Zwischenschichten oder Verflüssigung (Grundbrüche) sind nicht auszuschliessen.
- Bei einer allfälligen Kombinierten Pfahl-Plattengründungen (KPP) wären genauere Betrachtungen der Gebrauchstauglichkeit mit den Einwirkungen auf die Gründungsbau- teile durchzuführen.
- Für die Erstellung einer Tiefenfundation ist ein tragfähiges Arbeitsplanum zu gewährleisten, dessen Mächtigkeit von den eingesetzten Maschinen abhängig ist und deshalb vorgängig mit dem ausführenden Unternehmer abgeklärt werden sollte.
- Die in Tab. 4 angegebenen zulässigen Pfahltragwiderstandswerte sind durch zusätzliche Pfahltragfähigkeits- und Setzungsberechnungen sowie durch vorgängig ausgeführte Probepfählungen zu verifizieren. Besondere Bedeutung verdienen die prognostizierten Spitzenwiderstandswerte, die nur bei sorgfältiger Pfahlherstellung erzielt werden.
- Bei der Anwendung der prognostizierten Pfahltragwiderstandswerte sind im Lockergestein Pfahlsetzungen von bis ca. 1 bis 2 cm möglich. Entsprechende Beanspruchungen der Konstruktion sind bei der Bemessung der Tragkonstruktion zu berücksichtigen. Unsere Angaben sind durch den projektierenden Ingenieur zu verifizieren.
- Die untere Bandbreite der zulässigen Mantel- und Spitzenwiderstandswerte ist massgebend für grosskalibrige (≥ 90 cm), die obere Bandbreite für kleinkalibrige Bohrpfähle. Für Mikrobohrpfähle, deren Schaft unter hohem Druck ausinjiziert werden, können die

Mantelreibungskräfte im Lockergestein gemäss Tab. 4 ungefähr um 50 % vergrössert werden.

- Sandig-siltige Lockergesteine müssen unterhalb der Grundwasseroberfläche als grundbruchempfindlich eingestuft werden (Kap. 5.3.1), was vor allem bei den Bohrarbeiten berücksichtigt werden muss (dauerndes Nachfüllen der Bohrröhre mit Wasser, genügend tiefes Vorpressen / Vorbohren der Verrohrung, keine Vakuumbildung während dem Rückzug des Bohreimers oder der Bohrschnecke, Betonieren nur mit Schüttrohr, Unterwasserbeton usw.).

Dimensionierungsgrösse	Tiefenbereich ab Geländeoberkante	Gebrauchslasten unter 1.0-facher Sicherheit [kN/m ²]	Charakteristischer, äusserer Tragwiderstand $R_{a,k}$ *) [kN/m ²]
Mantelreibung	Künstliche Auffüllungen / Überschwemmungsablagerungen und Verlandungsbildungen	ca. 0	ca. 0
	Bach- und Bachschwemmfächerablagerungen / Delta-Dachschichten	ca. 20 ÷ 30	ca. 50 ÷ 80
	Sandige Deltaablagerungen	ca. 30 ÷ 50	ca. 80 ÷ 130
Spitzenwiderstand	Sandige Deltaablagerungen	ca. 2'000 ÷ 2'500	ca. 5'200 ÷ 6'500

*) Der Bemessungswert $R_{a,d}$ des äusseren Tragwiderstands eines Pfahles berechnet sich nach SIA 267, Art. 9.5.2.1 wie folgt: $R_{a,d} = \eta_a \cdot R_{a,k} / \gamma_{M,a}$. Ohne Erfahrungswerte vergleichbarer Pfahlfundationen in der näheren Umgebung sowie aus Pfahlbelastungsversuchen ist von einem Umrechnungsfaktor $\eta_a \leq 0.7$ auszugehen.

Tab. 4 Zulässige Mantelreibungs- und Spitzenwiderstandswerte für Bohrpfähle.

9.3 AUSBILDUNG VON BAUGRUBEN

- Genauere Angaben über die Baugrubentiefen liegen nicht vor. Es ist davon auszugehen, dass sich die Baugrubensohlen örtlich bis über 4 m unterhalb der heutigen (Strasendammbereich Surentalstrasse) Geländeoberkante befinden und somit in den Grundwasserkörper zu liegen kommen (Kap. 5.3.1).
- Infolge der erfahrungsgemäss oft beengten Platzverhältnisse in Baugruben gebührt der Arbeitssicherheit angemessene Bedeutung. Gemäss VERORDNUNG ÜBER DIE SICHERHEIT UND DEN GESUNDHEITSSCHUTZ DER ARBEITNEHMERINNEN UND ARBEITER BEI BAUARBEITEN (2022) ist *bei Böschungshöhen von mehr als 4 m ein Sicherheitsnachweis zu erbringen*.

- In Tab. 5 sind die wichtigsten Punkte zu den Möglichkeiten für das Baugrubenkonzept tabellarisch zusammengefasst und die Risiken qualitativ umschrieben.

<i>System</i>	<i>Vorteil</i>	<i>Nachteil</i>	<i>Risiken</i>
Freie Böschungen mit Sickerbeton	<ul style="list-style-type: none"> • Erschütterungsarm. • Kostengünstig. 	<ul style="list-style-type: none"> • Nur für niedrige Böschungen oder Voraushübe möglich. • Grössere Aufwendungen für Wasserhaltungs- und Druckentspannungsmassnahmen. • Erschwernisse infolge Wassereintritte (kleine Aushubetappen). • Kein dichter Baugrubenabschluss. • Mehraushub / Rückverfüllung. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ausschwemmungen / Verflüssigung von Lockergestein während der Aushubetappen. • Setzungen bei Absenkung der Grundwasseroberfläche unter den Niederwasserstand.
Rückverankerte oder abgESPRESSTE und Vorgebohrte, temporäre Spundwand	<ul style="list-style-type: none"> • Spundbohlen können nach Bauende entfernt werden. • Dichter Baugrubenabschluss mit kleineren Aufwendungen für Wasserhaltungsmassnahmen. • Kaum Mehraushub. 	<ul style="list-style-type: none"> • Erschütterungen / Vibrationen beim Einbringen und Entfernen der Spundbohlen / Lärm. • Kostenintensiv (Vorböhrn wegen Steinen und Blöcken). • Geringe Ankerkräfte. 	<ul style="list-style-type: none"> • Setzungen im Nahbereich der Spundwände. Problematisch bei nahe gelegenen Werkleitungen, Strassen und Gebäuden. • Setzungen in der Umgebung infolge von Deformationen des Baugrubenabschlusses.
Rückverankerte oder abgESPRESSTE und vorgebohrte Rühlwand	<ul style="list-style-type: none"> • Erschütterungsarm. • Kostengünstig. • Kein Mehraushub / Rückverfüllung. 	<ul style="list-style-type: none"> • Grössere Aufwendungen für Wasserhaltungs- und Druckentspannungsmassnahmen. • Erschwernisse infolge Wassereintritte (kleine Aushubetappen). • Kein dichter Baugrubenabschluss (bei Aushüben unterhalb der Grundwasseroberfläche). • Geringe Ankerkräfte. 	<ul style="list-style-type: none"> • Setzungen in der Umgebung infolge von Deformationen des Baugrubenabschlusses oder bei Absenkung der Grundwasseroberfläche unter den Niederwasserstand. • Ausschwemmungen / Verflüssigung von Lockergestein während der Aushubetappen.
Rückverankerte oder abgESPRESSTE, überschneitene Bohrpfahlwand	<ul style="list-style-type: none"> • Erschütterungsarm. • Verformungsarm. • Kleinere Aufwendungen für Wasserhaltungsmassnahmen. • Pfahlmaschine kann für Fundationsmassnahmen verwendet werden. • Baugrubenabschluss als Aussenwand verwendbar. • Kein Mehraushub / Rückverfüllung. 	<ul style="list-style-type: none"> • Permanenter Eingriff in das Grundwasservorkommen. • Erfordert Kompensationsmassnahmen im Hinterfüllungsbereich. • Kosten- und bautensiv. • Geringe Ankerkräfte. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aufstau der Grundwasseroberfläche, falls ungenügende Kompensationsmassnahmen umgesetzt sind. • Gewässerschutzrechtliche Bewilligungsfähigkeit.

Tab. 5 Variantenvergleich mit Aufzeigen der Risiken der möglichen Baugrubensicherungen.

- Weiter kommen tiefe Baugruben in den Grundwasserkörper zu liegen und insbesondere bei nasser Witterung ist mit porenwassergesättigten Lockergesteinen bis an die Terrainoberfläche (Kap. 5.1 und 5.3.1) zu rechnen. Für die Trockenlegung tiefer Baugruben

werden ein dichter Baugrubenabschluss und entsprechende Wasserhaltungsmassnahmen erforderlich. Im Vordergrund steht eine Wasserhaltung mit Pumpensümpfen, Entwässerungsgräben, ev. Wellpoint und bei tiefen Baugruben zusätzliche Filterbrunnen für die Druckflächenentspannung.

- Der Baugrubenabschluss ist entsprechend den erdbaumechanischen Erfordernissen und der geforderten Steifigkeit des Systems auszubilden.
- Im Bereich der Baugrubenoberkante ist bei vertikalen Baugrubenabschlüssen wenn möglich eine Kopfentlastung mittels Voraushub zu prüfen. Allfällige Zusatzlasten (z.B. Verkehrslast, Materiallager, Kranfundation, usw.) entlang des Baugrubenabschlusses sind nicht zulässig oder in einem genügenden Abstand von der Oberkante anzuordnen. Anderenfalls sind zusätzliche Sicherungsmassnahmen umzusetzen.
- Das günstigste Baugrubensystem kann auch aus Kombinationen der Varianten in Tab. 5 bestehen und ist auf Grund weiterführender Sondierungen (Kap. 12) sowie durch Kostenvergleiche zu ermitteln. Wir empfehlen, das Konzept des Baugrubenabschlusses in Diskussion mit dem Ingenieur, allenfalls unter Beizug des Geotechnikers und nach Aufzeigen der Risiken von Setzungen oder unerwünschter Beeinflussung der bestehenden Infrastrukturanlagen in der Umgebung zu bestimmen. Das genaue Ausmass der Sicherungsmassnahmen ist durch zusätzliche Stabilitätsnachweise und Berechnungen durch den Ingenieur zu bestimmen.
- Die bautechnischen Folgerungen und geotechnischen Risiken gemäss Kap. 9.1 sind bei der Planung / Ausführung der Baugrube angemessen zu berücksichtigen und einzurechnen. In Bereichen mit sehr dicht gelagerten Zwischenschichten oder Blöcken sind Vorbohrungen für das Einbringen der Spundbohlen und Rühlwandträger einzurechnen. Eine Auflockerung und Störung der Baugrubensohle auch z.B. bei einem allfälligen Rückzug von Spundwänden wäre bei Flachfundationen wegen des massgeblichen Einflusses auf die Primärsetzungen zu verhindern.

10 METEORWASSERVERSICKERUNG

- Gemäss Gewässerschutzgesetz muss anfallendes Meteorwasser nach Möglichkeit in den Untergrund versickert werden. Dabei sollten in erster Linie oberflächliche humusierte Versickerungsmulden (Typ H) zur Anwendung kommen. Für saubere Dachwässer kommen auch unterirdische Versickerungsanlagen (Typ K) in Frage.
- Bei der Dimensionierung von Versickerungsmulden muss die relativ geringe Versickerungsleistung der Filterschicht aus Ober-/ Unterboden von ca. 1 bis 2 l/min · m² eingesetzt werden. Unterhalb der Sohle von Versickerungsanlagen ist ggf. mit einem geringmächtigen, lokalen Materialersatz aus gut durchlässigem Kiessand (Kiessäulen) zu rechnen, damit das durch die Filterschicht gesickerte Wasser sicher in die tieferen besser durchlässigen Lockergesteinsschichten gelangen kann.

- Die Sohle einer Versickerungsanlage muss **mindestens 1 m über dem massgebenden 5 bis 10-jährlichen Grundwasserhochstand** liegen (Kap. 5.1).
- Die Bach- und Bachschwemmfächerablagerungen und insbesondere die Delta-Dachschichten weisen eine schichtweise gute Durchlässigkeit auf, weshalb dort eine **Versickerung prinzipiell möglich ist**. Wir empfehlen, die lokale spezifische Versickerungsleistung durch Versickerungsversuche zu prüfen (Kap. 12).
- Als Alternative zu einer Meteorwasserversickerung kann das Ableiten der anfallenden Regenwassermengen in einen Vorfluter (Chommlibach) oder in das Kanalisationssystem geprüft werden. In diesem Fall sollte jedoch ein ausreichendes Speichervolumen geschaffen werden, damit das Meteorwasser verzögert, d.h. erst nach einem Regenereignis in den Vorfluter bzw. in die Kanalisation eingeleitet wird. Ein solcher Zwischenspeicher wird in Form einer Kiespackung (Kieskörper), mit Kunststoffbauteilen, als Teich mit Biotop oder als Speicherleitung möglich sein. Detaillierte Angaben sind der Richtlinie Abwasserbewirtschaftung bei Regenwetter (VERBAND SCHWEIZER ABWASSER- UND GEWÄSSERSCHUTZFACHLEUTE, 2019) zu entnehmen.

11 GENERELLE HINWEISE ZU GEOTHERMISCHER WÄRMENUTZUNG

Eine Nutzung von geothermischer Energie durch Erdwärmesonden ist im Projektperimeter nicht zugelassen, da es sich um genutztes Grundwasser handelt (KANTON LUZERN, RAWI, 2022, vgl. Abb. 4). Entsprechend bestehen für die Neubauten im vorliegenden geologischen Umfeld folgende Optionen zur Diskussion:

- a) Grundwassernutzung
- b) Energiepfähle

Grundwassernutzung

- Als Leiter für relevante Grundwasser-Fördermengen kommen lediglich die **Delta-Dachschichten sowie Bach- und Bachschwemmfächerablagerungen** in Frage. Daraus lässt sich bei günstigen Verhältnissen temperiertes Grundwasser fördern, über eine Wärmepumpe nutzen und wieder in den Untergrund zurückgeben. Die thermische Grundwassernutzung ist sehr kosteneffizient und kann durchaus mit konventionellen Anlagen verglichen werden.
- Grundwasser mit relevanten Mengen an gelöstem Eisen und Mangan kann in Kombination mit verfügbarem Sauerstoff zu Ausfällungen und deshalb langfristig zu Verstopfungen von Filterbrunnen führen, die beim Betrieb von Grundwasserwärmepumpen Probleme verursachen können. Solche kritischen Verhältnisse sind vom Projektgebiet nicht bekannt, mehrere bestehende Nutzungen im Abströmbereich zeugen von

technisch beherrschbaren Verhältnissen. Anlässlich weiterführender Untersuchungen wäre auch der Wasserchemismus eingehend zu prüfen.

- In der Vollzugshilfe *Wärmenutzung aus Boden und Untergrund* des BAFU (2009) wird die gesetzliche Grundlage in der Gewässerschutzverordnung (GSchV) konkretisiert, dass die Grundwassertemperatur durch die thermische Nutzung gegenüber dem natürlichen Zustand bei 100 m im Abstrom des Rückgabebauwerks um maximal 3 K verändert werden darf. Dafür sind entsprechende Nachweise zu erbringen. Zudem dürfen durch eine neue Grundwasserwärmenutzung bestehende Nutzungen lediglich im zulässigen Ausmass beeinflusst werden. Auch dazu wären entsprechende Nachweise zu führen.

Aus der Sicht der Hydrogeologie und der technischen Möglichkeiten beim Brunnenbau beurteilen wir die **thermische Grundwassernutzung** gemäss heutigem Kenntnisstand als möglich. Aufgrund der beschränkten gesättigten Mächtigkeit und bei den geplanten Bauvolumen dürfte jedoch kaum der erforderliche Volumenstrom bzw. Energiefluss erreicht werden, um das Bauvorhaben monovalent durch Grundwasser zu versorgen. Dies auch weil die bestehenden thermischen Grundwassernutzungen im Abstrom den Grundwasserleiter bereits stark beanspruchen.

Zur weiteren Machbarkeitsabklärung wäre ein stufenweises Vorgehen vorzusehen:

1. Theoretische Machbarkeitsbeurteilung mittels hydraulisch-thermischer Modellierung basierend auf bestehenden Kenntnissen der hydrogeologischen Verhältnisse sowie bestehenden Anlagen im relevanten Umkreis. Dazu müssten eine Grundwasser-Bedarfschätzung bzw. ein monatliches Lastprofil vorliegen.
2. Erst nach positiven Resultaten empfehlen wir die in-situ-Machbarkeit mit Sondierungen, welche mit PVC-Filterrohren zu Versuchsfilterbrunnen ausgebaut werden, anhand von Pumpversuchen und Laboranalysen zu prüfen (Kap. 12). Bei positiven Resultaten können die Versuchsfilterbrunnen als definitive Entnahme- und Rückgabebrunnen verwendet werden.

Energiepfähle

- Falls die Bauwerke auf Pfahlfundationen gegründet würden, liessen sich die Pfähle mit HDPE-Rohren quasi als Erdwärmesonden bestücken und unter relativ geringem Mehraufwand realisieren. Energiepfähle wurden beispielsweise für die Überbauung Mattenhof/Sternmatt in Kriens erfolgreich realisiert. Die Ausführung von Energiepfählen im Gewässerschutzbereich A_u ist grundsätzlich zulässig. Es ist eine Bewilligung nach Artikel 32 GSchV erforderlich.
- Für die thermische Beeinflussung des Grundwasservorkommens müssten ebenfalls entsprechende Nachweise zur Einhaltung der gesetzlichen Rahmenbedingungen erbracht werden. Eine Energiepfahlnutzung würde zu einer weiteren Reduktion des Potentials an thermisch nutzbarem Grundwasser führen.

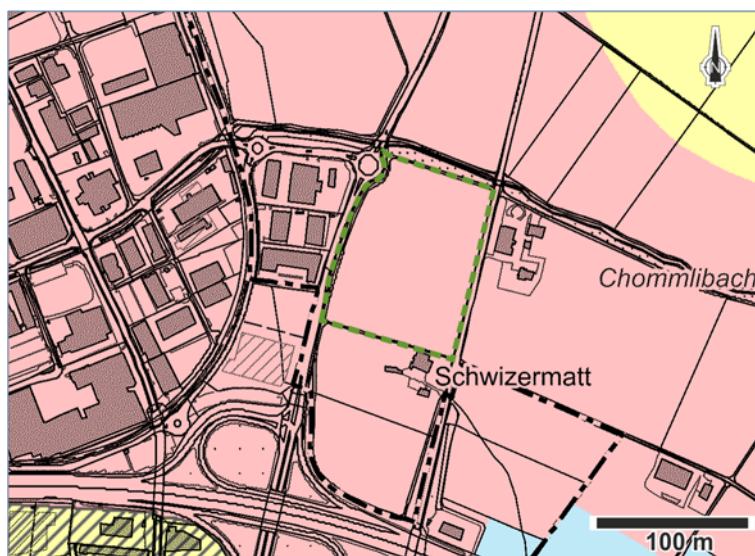


Abb. 4 Ausschnitt aus der Erdwärmenutzungskarte © KANTON LUZERN, RAWI (2022). Massstab: 1:10'000. Grün gestrichelt umrandet: Projektperimeter.

EWS zulässig, mit Auflagen
 Kluftwasser möglich
 bedingt nutzbares Grundwasser
 EWS nicht zulässig
 Grundwasserschutzzonen und -areale
 genutztes Grundwasser

Empfehlung

Werden Energiekonzepte mit erneuerbaren Energien aus dem Untergrund als wünschenswert erachtet, was bei derartigen Investitionen längerfristig sinnvoll ist, so empfehlen wir aufgrund unserer breiten Erfahrung auch mit wegweisenden Grossprojekten, die nötigen Abklärungen - auch mit Behörden - rechtzeitig vorzunehmen und einen mit solchen Systemen vertrauten HLK-Planer beizuziehen.

12 KENNTNISSTAND UND EMPFEHLUNGEN FÜR OBJEKTSPEZIFISCHE BAUGRUNDSONDIERUNGEN

Der vorliegende Vorbericht stützt sich auf frühere Sondierungen und Baustellenerfahrungen auf der Bauparzelle selbst sowie in der Umgebung. Objektspezifische Baugrundsondierungen und Hangwasserspiegelmessungen sind in Absprache mit dem Bauingenieur nach Abwägen der möglichen Risiken bei den Bauverfahren sowie des Kosten / Nutzen-Verhältnisses anzuordnen.

- Im Vordergrund einer Erkundung stehen **schwere Rammsondierungen, elektrischen Drucksondierungen** und **Sondierbohrungen** (Verifikation der Mächtigkeit und der Durchlässigkeitseigenschaften der unterschiedlichen Lockergesteine auch hinsichtlich einer Klärung der Machbarkeit einer thermischen Grundwassernutzung und der Baugrundklasse, Prognose Pfahllängen, direkter Aufschluss der heterogenen Lockergesteine im Bereich der projektierten Foundationen etc.).
- Für die genauere Bestimmung der lokalen Grundwasserverhältnisse empfehlen wir, in neuen **Piezometern** die Grundwasserdruckspiegel **kontinuierlich aufzuzeichnen**.

- Zur Abklärung der Möglichkeiten einer Meteorwasserversickerung empfehlen wir **Baggersondierungen mit Versickerungsversuchen** durchzuführen (Kap. 10).
- Für die Abklärung hinsichtlich einer thermischen Grundwassernutzung (Wärmepumpe) werden Sondierbohrungen mit Filterausbau in den Delta-Dachschichten sowie Bach- und Bachschwemmfächerablagerungen und anschliessendem Pumpversuch vorgeschlagen. In Kap. 11 ist dazu das genauere Vorgehen beschrieben.

13 ÜBERWACHUNG UMGEBUNG WÄHREND TIEFBAUARBEITEN

- Um mögliche Auswirkungen der Tiefbauarbeiten auf nahe gelegene Bauwerke festhalten zu können, empfehlen wir, in einem Perimeter von mind. 25 m um das Baugelände vorgängige **vorsorgliche Beweisaufnahmen** (Rissprotokolle, Fotos und Kanalfernsehaufnahmen). Für direkt angrenzende und vulnerable Bauten oder Werkleitungen empfehlen wir bereits in einer frühen Projektphase eine saubere vorsorgliche Beweisaufnahme. Falls dabei Risse oder Anzeichen auf Mängel festgestellt werden, sind diese bei der Planung (z.B. deformationsarmer Baugrubenabschluss, genügend Zeitbedarf für Geländeschüttungen) unbedingt angemessen zu berücksichtigen.
- Vor Baubeginn ist ein Netz aus **geodätischen Messpunkten** einzurichten, um so mögliche Geländebewegungen frühzeitig und sicher erkennen zu können. Dieses Netz ist mindestens einmal vor und während kritischer Bauphasen einzumessen.
- Damit Auswirkungen bei allfälligen geplanten erschütterungserzeugenden Bauverfahren möglichst frühzeitig erkannt und allfällige Massnahmen ergriffen werden können, sind diese Arbeiten mittels **Erschütterungsmessungen** zu überwachen.
- Je nach Eingriff der Tiefbauarbeiten unter die Grundwasseroberfläche sind die Grundwasserspiegel in Piezometern – in Anlehnung an die hydrogeologische Unbedenklichkeitsprüfung – mittels einer angepassten **Grundwasserüberwachung in der Umgebung** zu kontrollieren. Die Piezometer sind rechtzeitig vor Baubeginn zu erstellen, zu messen und während der Tiefbauarbeiten regelmässig zu kontrollieren. Für eine lückenlose und zweckmässige Dokumentation der Grundwasserganglinien hat sich das Versetzen von Drucksonden bestens bewährt.

Keller+Lorenz AG

Geotechnik Geologie Hydrogeologie
Naturgefahren Altlasten



Elias Strassmann



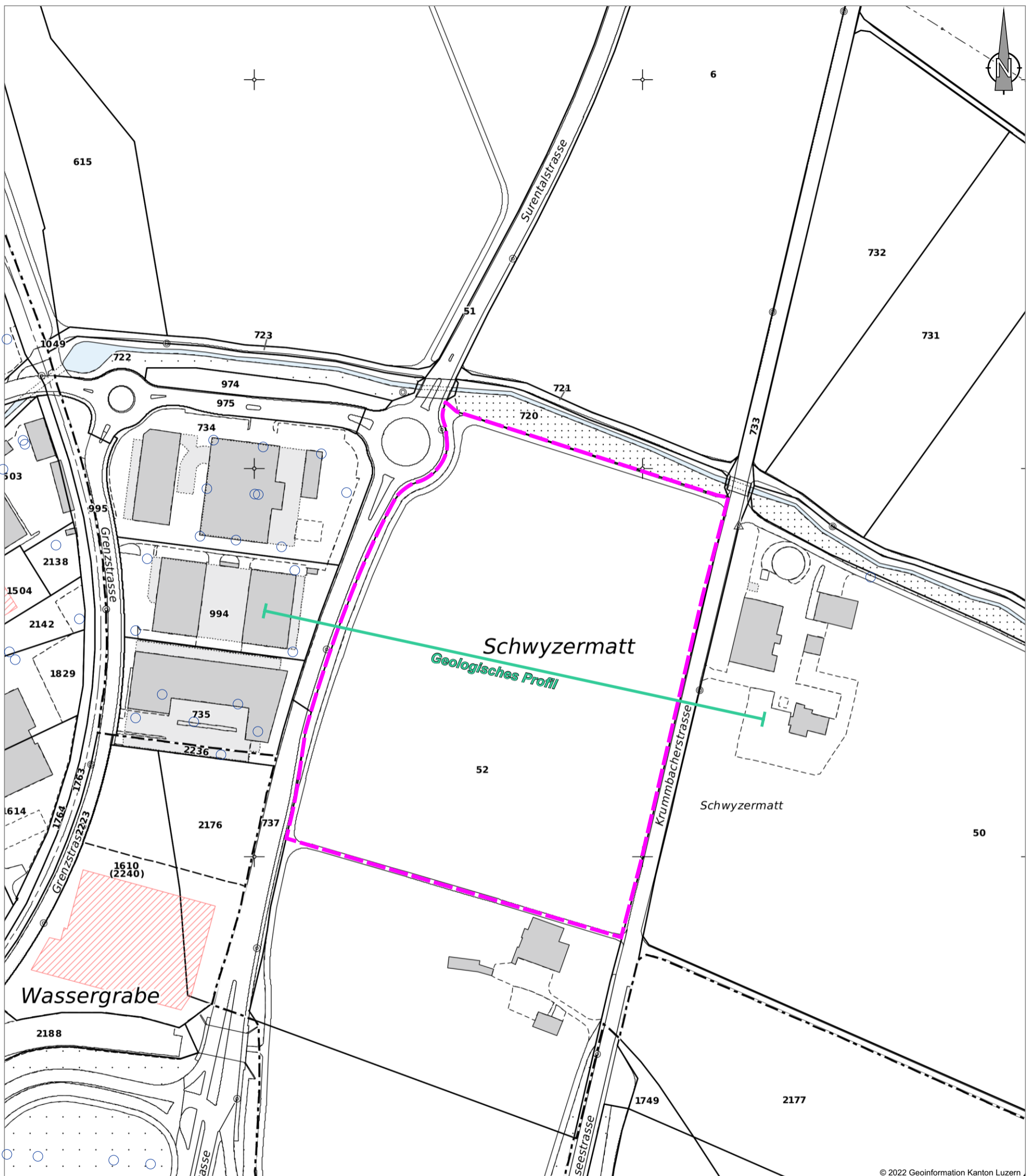
Markus Ehrler

Sachbearbeitung:

Geologie: E. Strassmann
Hydrogeologie / Naturgefahren:..... E. Strassmann, I. Schwenk
Geotechnik:..... M. Ehrler
Review / Qualitätssicherung:Dr. B. Keller

Übersicht mit Projektperimeter und Lage der Profillinie

1 : 2'000



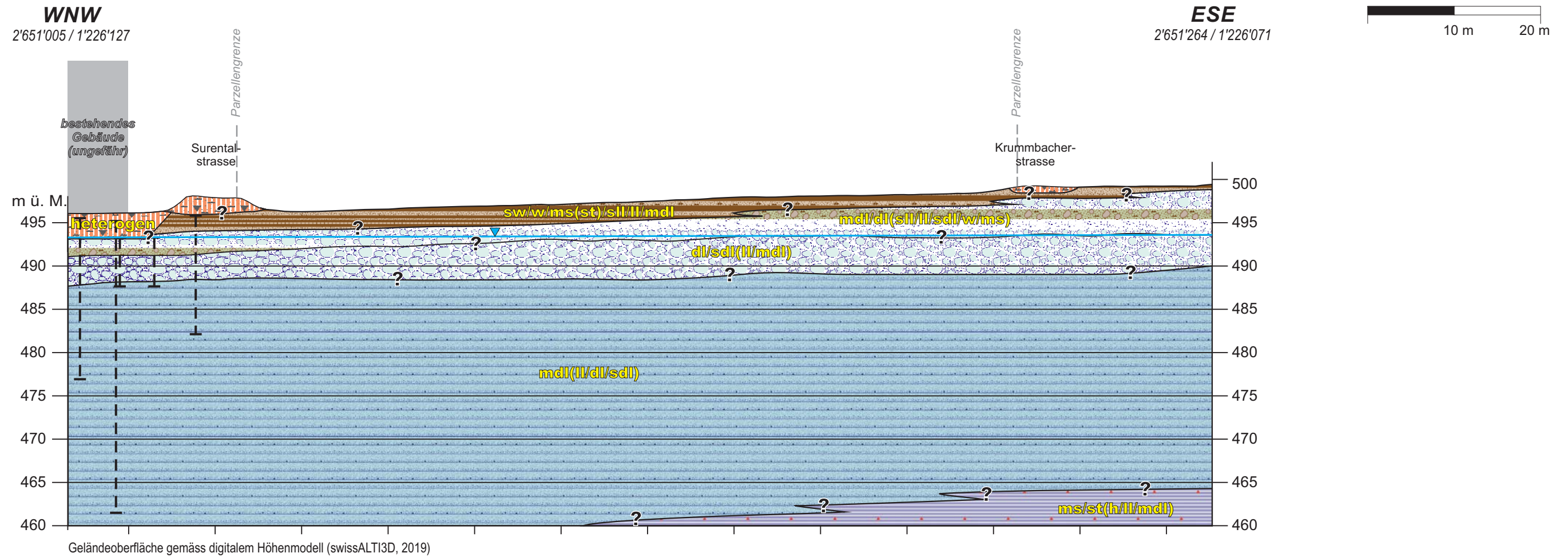
© 2022 Geoinformation Kanton Luzern

Legende:


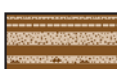
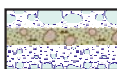
- Bestehende Sondierung
- |— Profillinie
- Projektperimeter


Geologisches Profil - Standort Schwyzermatt in Schenkon

1 : 1'000 / 500




Lockergestein

- 
Künstliche Auffüllungen
 Unterschiedlich siltige Kies-Sand-Gemische mit variablem Anteil an Steinen und Blöcken sowie tw. organischen Beimengungen und Fremdstoffen, heterogen gelagert.
- 
Überschwemmungsablagerungen und Verlandungsbildungen
 Heterolithische Wechsellagerung aus tonigem bis tonig-sandigem Silt mit dünnen, unterschiedlich siltigen Sandschichten und teils wenig Kies sowie organischen Beimengungen (zuweilen ganze Baumstämme) und häufig strukturempfindlichen **Torf-Schichten**. Sehr weich bis mittelsteif, untergeordnet steif oder sehr locker bis mitteldicht gelagert.
- 
Bach- und Bachschwemmfächerablagerungen
 Unterschiedlich siltiger bis fast sauberer Kies mit variablem Anteil an Sand, Steinen, Zwischenschichten aus unterschiedlich siltigem Sand und tonigem Silt, tw. heterolithisch geschichtet / laminiert. Mitteldicht bis dicht, schichtweise sehr locker bis locker oder sehr dicht gelagert bzw. weich bis mittelsteif.

- 
Delta-Dachschichten
 Sauberer bis mässig siltiger Kies mit variablem Anteil an Sand, Steinen sowie mit Blocklagen und einzelnen Sand-Zwischenschichten. Dicht bis sehr dicht, tw. locker bis mitteldicht gelagert.
- 
Sandige Deltaablagerungen
 Wechsellagerung aus unterschiedlich siltigem Sand mit variablem Anteil an Kies und unterschiedlich siltigem Kies mit variablem Anteil an Sand und Steinen sowie gelegentlich mit dünnen sehr dicht gelagerten Diamiktiten, grossmassstäblich schräggeschichtet. Mitteldicht, schichtweise locker oder dicht bis sehr dicht gelagert.
- 
Späteiszeitliche Gletschersee-Ablagerungen mit Eisdriftgeschieben
 Siltiger Ton bis toniger Silt, meist laminiert (warvenartig), Zwischenschichten aus tw. sauberem Feinsand (heterolithisch laminiert), dicke Laminiae (bis 3 cm) aus siltigem Ton, Eisdriftgeschiebe. Mittelsteife bis steife Konsistenz. Zwischenschichten locker bis mitteldicht gelagert. Mit der Tiefe zunehmend bis harte Konsistenz.

Hydrogeologie

- 
 Grundwasseroberfläche (Mittelwasserstand)
- ? Unsichere Prognose, bei Bedarf situativ sondieren.
- T I L Verwendete Sondierungen

Lagerungsdichte

- sll sehr lockere Lagerung
- ll lockere Lagerung
- mdl mitteldichte Lagerung
- dl dichte Lagerung
- sdl sehr dichte Lagerung

Konsistenz

- sw sehr weich
- w/ms weich / mittelsteif
- st steif
- h hart
- sh sehr hart