

AREALENTWICKLUNG BAHNHOF NORD IN SURSEE

GEOLOGISCH-GEOTECHNISCHER VORBERICHT
(STUFE VORPROJEKT)

**Baugrundverhältnisse, Baugrubenabschluss und
Foundation**

Objekt	Arealentwicklung Bahnhof Nord in Sursee		
Auftraggeber	Bahnhof Nord Immobilien AG, c/o Truvag Treuhand AG, Leopoldstrasse 6, 6210 Sursee		
Architekten	DEON AG, Pfistergasse 23, 6003 Luzern Leuenberger Architekten AG, Centralstrasse 43, 6210 Sursee		
Koordinaten	2'649'830 / 1'224'760	Auftragsnummer	20 6016
Ort, Datum	Luzern, 20. März 2020 ES/ME/IS/BK/es/me		

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Auftrag	1
2	Grundlagen	2
3	Durchgeführte Arbeiten	3
4	Geologische Verhältnisse	3
5	Erste Hinweise zur Belastungssituation	4
6	Hydrogeologie	6
6.1	Lokale Grundwasserverhältnisse	6
6.2	Gewässerschutz.....	6
6.3	Bautechnisch relevante Folgerungen.....	7
6.3.1	Bauzustand	7
6.3.2	Nutzungszustand	8
7	Naturgefahren	9
7.1	Wasser- und Rutschprozesse	9
7.2	Oberflächenabfluss	9
7.3	Erdbeben.....	10
8	Archäologie	10
9	Geotechnische Eigenschaften der Lockergesteine	11
10	Geotechnische Folgerungen	12
10.1	Geotechnische Risiken	12
10.2	Foundation der Neubauten	13
10.2.1	Allgemeine Hinweise.....	13
10.2.2	Flachfundation mit Materialersatz	13
10.2.3	Tiefenfundation	14
10.3	Baugruben	17
10.3.1	Allgemeine Hinweise.....	17
10.3.2	Freie Böschungen mit Sickerbeton	19
10.3.3	Rühlwand / Bohrpfahlwand	20
10.3.4	Spundwände	20
10.3.5	Abspriessungen / Anker	21
10.3.6	Wasserhaltung	22
10.4	Allgemeine Hinweise zu Erdarbeiten	22

11 Geothermische Wärmegegewinnung	23
12 Aufzeigen des Kenntnisstands und Empfehlungen für objektspezifische Baugrundsondierungen	26
13 Überwachung Umgebung während Tiefbauarbeiten	26

Anhang

- Anhang 1 Übersicht Bauvorhaben, Situation 1:1'000.
Anhang 2 Schematisches geologisches Profil, 1:500 / 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.

1 EINLEITUNG UND AUFTRAG

Auf der zurzeit tw. bebauten Parzelle 468 (GB Sursee) plant die Bahnhof Nord Immobilien AG (Sursee) den Neubau eines ca. 50 m hohen Gebäudes (Turm) und einer Einstellhalle (ESH). Gemäss den uns zugestellten Plangrundlagen besitzen die Neubauten insgesamt Grundrissabmessungen von ca. 35 m x 69 m, wobei zwei Trakte (Turm und ESH) mit unterschiedlicher Anzahl Geschosse angedacht sind. Der Turm entlang der Bahnanlage besitzt ein Untergeschoss, ein Erdgeschoss, zwei Zwischengeschosse sowie 12 Obergeschosse. Die südwestlich direkt angrenzende ESH besitzt drei Untergeschosse (bis ca. 13 m unter die heutige Geländeoberkante), ein Erdgeschoss, zwei Zwischengeschosse sowie zwei Obergeschosse. Nähere Angaben über die Erschliessung und Umgebungsgestaltung liegen uns derzeit nicht vor.

Bauteil	Kote [m ü. M.]
Aktuelle Geländeoberkante	ca. 505.0 bis 511.5
UK Bodenplatte Turm	ca. 501.1
UK Bodenplatte ESH	ca. 495.3
Maximale Aushubvertiefung Testplanung	ca. 493.5

Tab. 1 Wichtige Projektkoten (DEON AG & LEUENBERGER ARCHITEKTEN AG).

Die DEON AG (Luzern) erteilte uns im Namen der Bauherrschaft den Auftrag, die örtlichen geologisch-geotechnischen Verhältnisse an Hand unserer breiten Gutachtertätigkeit sowie basierend auf unserem exklusiven Archiv zu beschreiben. Die Ziele des vorliegenden Vorberichts (Stufe Vorprojekt) sind:

- Beschrieb der geologisch-hydrogeologischen Verhältnisse.
- Erste Angaben über allfällige Belastung des Standorts.
- Angaben über Naturgefahren (Baugrundklasse für Erdbebensicherheit, Wasserprozesse).
- Baugrundmodell mit geotechnischen Kennwerten.
- Geotechnische Folgerungen für Foundation, Baugrube mit Wasserhaltung.
- Angaben über Meteorwasserversickerung oder Retention.
- Aufzeigen Möglichkeiten für geothermische Wärmenutzung.
- Aufzeigen des Kenntnisstands und Vorschlag für objektspezifische Baugrundsondierungen.
- Empfehlungen für Überwachung der Tiefbauarbeiten.

2 GRUNDLAGEN

Pläne / Grundlagen

DEON AG & LEUENBERGER ARCHITEKTEN AG (2020): Vorprojekt Bahnhof-Nord, Sursee, Situationsplan 1:2000, diverse Grundrisse und Schnitte 1:300, datiert 29.01.2020.

Geologie / Hydrogeologie

KANTON LUZERN, RAWI (2020): Baugrundkarte, Gewässerschutzkarte, Gefahrenkarte, Kataster der belasteten Standorte, Oberflächenabflusskarte. <https://geoportal.lu.ch/karten>, Zugriff Februar 2020.

LOUIS INGENIEURGEOLOGIE GMBH (2008): Untersuchungsbericht, technische Standortabklärung, Otto Bättig AG, Sursee, datiert 16.12.2008.

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.

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

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

MERKBLATT DER INNERSCHWEIZER UMWELTSCHUTZDIREKTIONEN: Bauen im Grundwassergebiet (Ausgabe Februar 2001).

BEILAGE ZUM MERKBLATT DER INNERSCHWEIZER UMWELTSCHUTZDIREKTIONEN: Berechnung des Einflusses von Bauten im Grundwasser (Ausgabe Februar 2001).

NATIONALE PLATTFORM NATURGEFAHREN PLANAT: Massgebende, aktuelle Publikationen.

SCHWEIZERISCHER INGENIEUR UND ARCHITEKTENVEREIN: Massgebende, aktuelle SIA-Normen.

SCHWEIZERISCHER VERBAND DER STRASSEN- UND VERKEHRSFACHLEUTE: Massgebende, aktuelle VSS-Normen.

SUVA (2011): Bauarbeitenverordnung BauAV Nr. 832.311.141, datiert 01.11.2011.

VERBAND SCHWEIZER ABWASSER- UND GEWÄSSERSCHUTZFACHLEUTE VSA: Massgebende, aktuelle Publikationen.

3 DURCHGEFÜHRTE ARBEITEN

Für den vorliegenden Vorbericht wurden die geologisch-geotechnischen Grundlagen in folgenden Arbeitsschritten erarbeitet:

Vorbereitende Arbeiten / Data-Mining	<ul style="list-style-type: none"> • Grundlagenstudium, Archivarbeiten und Aktenstudium. • Zusammenstellung und Erfassung relevanter Unterlagen, Sondierungen und Grundwasserspiegelmessungen.
Auswertung	<ul style="list-style-type: none"> • Auswertung vorhandener Unterlagen. • Darstellung der Ergebnisse an Hand eines konzeptionellen geologischen Profils.
Berichtverfassung	<ul style="list-style-type: none"> • Erstellen eines geologisch-geotechnischen Vorberichts (Stufe Vorprojekt).

Tab. 2 Ausgeführte Arbeiten.

4 GEOLOGISCHE VERHÄLTNISSE

Das Baugelände befindet sich im Übergangsbereich einer Seitenmoräne im W hin zum Talboden mit späteiszeitlichen, fluvioglazialen Ablagerungen im E. Aufgrund der heterogenen Lockergesteinsablagerungen mit einer buckligen Oberfläche der Moränenablagerungen resultiert im Baubereich ein wechselhafter geologischer Aufbau, der sich in einem heterogenen und vor allem in W-E Richtung asymmetrischen Baugrund niederschlägt. *Der als Risikofaktor erkannten Heterogenität ist durch künftig, objektspezifische Baugrundsondierungen Sondierungen (Kap. 13) aber auch eine angemessene Flexibilität bei der Planung und der Realisation der Foundation sowie des Baugrubenabschlusses Rechnung zu tragen.*

Die Baugrundverhältnisse im Projektperimeter lassen sich auf Grund der allgemeinen Geologie sowie früherer Sondierungen in der Umgebung wie folgt beschreiben (vgl. geologisches Profil im Anhang 2):

- In den obersten Zonen des Baugrunds stehen örtlich unterschiedlich mächtige, heterogen gelagerte **künstliche Auffüllungen** (Kofferung, Geländeschüttungen und -anpassungen) an, die im Zusammenhang mit der Urbanisierung / Hinterfüllung bestehender Gebäude, Strassen und dazugehörigen Werkleitungen bzw. der *ehemaligen Tankstelle* bei der Bahnhofgarage AG eingebracht wurden. Diese bestehen erfahrungsgemäss aus unterschiedlich siltigen Kies-Sand-Gemischen mit variablem Anteil an Steinen, Blöcken, teilweise organischen Beimengungen und teils Fremdstoffen. *Ein Eintrag im Kataster der belasteten Standorte (KbS) liegt für den Baubereich nicht vor (Kap. 5).*

- Unterhalb der künstlichen Auffüllungen folgen **Hangsedimente**, bei denen es sich um umgelagerte Moränenablagerungen des ursprünglich viel höheren, hangseitigen Seitenmoränenwalls handelt, und in denen Murgang- und Schwemmfächer- sowie talwärts auch Teichablagerungen möglich sind. Es handelt sich um eine im Detail nicht bekannte Wechselschichtung. Die Matrix besteht aus unterschiedlich siltigem Sand mit variablem Anteil an Kies und tw. organischen Beimengungen. Darin befinden sich zufällig verteilte Zwischenschichten aus fast sauberen bis unterschiedlich siltigen Kies-Sand-Gemischen mit variablem Anteil an Steinen und Blöcken (Murgang- und Schwemmfächerablagerungen). Ausserdem kommen v.a. talwärts Zwischenschichten aus unterschiedlich tonigem Silt und unterschiedlich siltigem Sand, tw. laminiert, vor (Teichablagerungen). Die Sedimente sind im oberen Bereich sehr locker bis locker, schichtweise mitteldicht gelagert oder weich bis steif. Mit zunehmender Tiefe nimmt die Lagerungsdichte auf vorwiegend mitteldicht bis dicht zu.
- Ab ca. 8 bis 15 m Tiefe unterhalb der bestehenden Geländeoberkante folgen dicht bis sehr dicht gelagerte **Moränenablagerungen** (basal überkonsolidiert, vorbelastet) aus unterschiedlich siltigem Sand mit variablem Anteil an Kies, Steinen und Blöcken (Findlinge, tw. nestweise angehäuft), meist als Diamiktite¹. Darin sind erfahrungsgemäss wenige mitteldicht gelagerte Zwischenschichten aus fast sauberem bis leicht siltigem Sand mit variablem Anteil an Kies und Steinen eingelagert (sogenannte Esker-Ablagerungen). Die Oberfläche dieser geotechnisch bedeutsamen Schichteinheit weist erfahrungsgemäss eine bedeutsame Reliefamplitude von ca. ± 2 m auf; ebenso weisen die obersten Meter eine weniger dichte Lagerung auf. Die unterschiedlich siltig-sandig-kiesigen Zwischenschichten besitzen eine gewisse hydraulische Durchlässigkeit (meist $k_h \gg k_v$) und sind ggf. wasserführend mit gespannten Druckverhältnissen.
- Der **Felsen der Oberen Süsswassermolasse** (Sand-, Silt- oder Schlammsteine) steht erst in grösserer Tiefe an. Aufgrund weiter entfernter Sondierbohrungen aus unserem Archiv schätzen wir die Felsoberfläche im Projektperimeter in einer Tiefe zwischen ca. 30 bis 40 m unter der heutigen Geländeoberkante. Generell ist von einer nach E zum Talboden hin abfallenden Felsoberfläche und einer ausgeprägten Verwitterungszone des Felsen auszugehen. Für gesicherte Angaben über die Felsoberfläche und über die Verwitterungszone des Felsen auch im Hinblick auf eine Bohrpfahlfundation empfehlen wir, Sondierbohrungen auszuführen (Kap. 11).

5 ERSTE HINWEISE ZUR BELASTUNGSSITUATION

- Für die Bauparzelle liegt kein Eintrag im Kataster der belasteten Standorte (KbS) vor (KANTON LUZERN, RAWI, Zugriff 27.02.2020).

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

- Unterhalb der bestehenden Geländeoberkante und in den Hinterfüllungsbereichen der bestehenden Bauten ist mit künstlichen Auffüllungen zu rechnen, die Fremdstoffe enthalten können.
- Im Projektperimeter befand sich früher eine Tankstelle der Bahnhofgarage AG mit zwei Benzintanks (18'000 und 8'000 l) sowie je einem Heizöl- und Dieseltank (je 6'000 l) mit Baujahr 1959. Diese wurden in den Jahren 1978, 1982 und 1985 schrittweise ausser Betrieb genommen. Nach aktuellen Kenntnissen ist davon auszugehen, dass sich diese Tanks immer noch im Untergrund befinden, deren (Korrosions-) Zustand ist jedoch nicht bekannt. Bei altlastenrechtlichen Untersuchungen im Jahre 2008 im Umfeld der alten Tanks (LOUIS INGENIEURGEOLOGIE GMBH, 2008) wurden bei Porenluftanalysen sowie bei organoleptischen Beurteilungen von Rammkernsondierungen keine Belastungen des Untergrundes durch aromatische und aliphatische Kohlenwasserstoffe (KW) nachgewiesen. Deshalb wurde ein Austrag aus dem Kataster für Altlasten-Verdachtsfällen beantragt und nach aktuellem Kenntnisstand in der Folge durch die Dienststelle für Umwelt und Energie (uwe) trotz Verbleib der Tanks gewährt.
- Im Bereich der früheren Tankstelle können neben eingelagerten Tanks erfahrungsgemäss höher belastete Bereiche (VVEA Material Typ E und >E) mit Öl, Hydrauliköl (inkl. PCB² und BTEX³), Benzin und Dieselöl (KW) nicht ausgeschlossen werden. Deshalb sind in diesem Bereich trotz früherem Katasteraustrag allfällige Mehrkosten bei Aushub und Entsorgung einzurechnen. Nach Stilllegung der Tanks sind diese meist mit Sand oder Kies verfüllt worden. Diese Tankfüllung ist ebenfalls auf allfällige Belastungen hin zu analysieren und VVEA-konform abzuführen.
- Im Übrigen ist davon auszugehen, dass beim Aushub im Bereich bestehender Bauten und Werkleitungen gewisse Kubaturen an schwach verschmutztem (VVEA Typ Bv; mineralische Fremdstoffanteile bis max. 5%) bis Inertstoffmaterial (VVEA Typ B) anfallen werden.
- Unabhängig von einem Eintrag in den Kataster der belasteten Standorte (KbS) wird gemäss aktueller Vollzugspraxis der Dienststelle für Umwelt und Energie (uwe) ab Kubaturen von ca. 100 m³ belastetem Aushub eine Aushubbegleitung verlangt. Ab ca. 300 m³ belastetem Aushub wird nebst der Aushubbegleitung auch ein Aushub- und Entsorgungskonzept (AEK) gefordert.
- Mit Fremdstoffen belastetes Material ist nach AHR⁴ und VVEA⁵ zu entsorgen. Wenn organoleptisch⁶ auffälliges Material vorgefunden wird, ist dieses durch einen Altlastenspezialisten chemisch analysieren zu lassen.

² PCB: Polychlorierte Biphenyle.

³ BTEX: Benzol, Toluol, Ethylbenzol, Xylol.

⁴ AHR: Aushubrichtlinie.

⁵ VVEA: Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen.

⁶ organoleptisch: Hilfsmittelfreie Bewertung von Geruch und Aussehen.

- Um Verzögerungen in der Bauphase möglichst vermeiden zu können, empfehlen wir eine rechtzeitige Ausführung objektspezifischer Baugrunduntersuchungen inklusive Feststoffanalytik im Rahmen des Aushub- und Entsorgungskonzepts.

6 HYDROGEOLOGIE

6.1 LOKALE GRUNDWASSERVERHÄLTNISSE

- Der Projektperimeter liegt wahrscheinlich ausserhalb des zusammenhängenden Grundwasservorkommens im Talboden von Sursee, grenzt jedoch im NE an dessen hangwärtigen Randbereich. Basierend auf den prognostizierenden Lockergesteinsverhältnissen und Erfahrungen aus der Umgebung handelt es sich im Projektperimeter in den unterschiedlichen Lockergesteinen mehrheitlich um schwebende Hangwasservorkommen, die in besser durchlässigen Zwischenschichten der Hangsedimente und Moränenablagerungen gegen E bis NE dem Grundwasservorkommen zuströmen und von dort weiter gegen N hin zirkulieren (Kap. 6.2).
- Anlässlich von Sondierungen auf dem Areal der Möbel Ulrich AG waren in den Sondierungen Hangwasserspiegel in ca. 2 m Tiefe festgestellt worden. Zumindest auf der Westseite ist ebenfalls von einem kleinen Flurabstand auszugehen (Anhang 2).
- Aufgrund der Heterogenität der Lockergesteine ist von ebenso wechselhaften hydrogeologischen Verhältnissen mit stark variabler hydraulischer Durchlässigkeit auszugehen. Nach langandauernden oder starken Niederschlägen ist auf Grund des heutigen Kenntnisstandes vor allem gegen den Talboden hin mit einer Porenwassersättigung bis in den Bereich der heutigen Geländeoberkante zu rechnen.
- Wie Erfahrungen aus umliegenden Baustellen zeigen, ist auch in grösseren Tiefen in besser durchlässigen Zwischenschichten der Moränenablagerungen oder in der Verwitterungszone des Felsen mit einem gespannten (tw. bis artesisch gespannten) Hang- oder Kluftwasservorkommen von grösserer Ausdehnung zu rechnen.
- Das Vorhandensein des Talgrundwasserleiters und generell die Untersuchung der hydrogeologischen Verhältnisse ist durch objektspezifische Sondierungen vorzusehen (Kap. 13).

6.2 GEWÄSSERSCHUTZ

- Gemäss der Gewässerschutzkarte des Kantons Luzern liegt das geplante Bebauungsareal mehrheitlich im Randbereich des **Gewässerschutzbereichs A_u**, jedoch ausserhalb des zusammenhängenden Grundwasservorkommens des Talbodens (Abb. 1).

- Bauten, die unter die höchste Grundwasseroberfläche hineinreichen (Innerschweizer Umweltschutzdirektionen, 2001), z.B. Foundationen, Pfähle oder Baugrubenabschlüsse bedürfen einer **gewässerschutzrechtlichen Bewilligung** der kantonalen Dienststelle Umwelt und Energie (uwe). Um für Bauten unter der mittleren Grundwasseroberfläche eine Bewilligung erlangen zu können, ist prinzipiell ein **hydrogeologischer, rechnerischer Unbedenklichkeitsnachweis** über den Einfluss des Bauwerks auf die Durchflusskapazität zu erbringen, welcher als separater Bericht dem Baugesuch beigelegt werden muss. Ob ein solcher Nachweis auch im vorliegenden Fall ausserhalb des nutzbaren Vorkommens erforderlich ist, soll frühzeitig mit objektspezifischen Baugrundsondierungen / Piezometer-Messungen und mit der zuständigen Dienststelle abgeklärt werden (Kap. 11).



Abb. 1 Ausschnitt aus der Gewässerschutzkarte des Kantons Luzern, Massstab 1:5'000. Kartengrundlage © Geoinformation Kanton Luzern 2020. Rötliche Signatur: Gewässerschutzbereich Au. Blaue seitliche Linien: Grundwasserberandung bei Mittelwasserstand. Blauer Pfeil: ungefähre Grundwasserfliessrichtung. Grün gestrichelt: Ungefäher Projektperimeter.

6.3 BAUTECHNISCH RELEVANTE FOLGERUNGEN

6.3.1 Bauzustand

- Erschwernisse infolge zu erwartenden, episodisch hohen Hangwasserdruckflächen sind vor allem in der Stabilitätsverminderung bei freien Baugrubenböschungen oder Zusatzbelastungen zu suchen. Bedeutsam sind die sich bei Starkniederschlägen rasch aufbauenden Porenwasserdrücke. Deshalb sind Baugrubensicherungen oder Planum für Schüttungen zu dränieren und vorgängig zu entwässern, um destabilisierende Porenwasserdrücke abzubauen. Wasseraustritte aus freien Böschungen sind zu fassen und kontrolliert abzuleiten.
- Wasseraustritte aus ungesicherten Böschungen führen überdies rasch zu Ausschwemmungen oder **Bodenverflüssigungen** der sandig-siltigen, mehrheitlich schein kohäsiven Lockergesteine, so dass diese gerne abrutschen. Diesem Problem

kann durch Fassung der Wasseraustritte und durch massive Sickerbetonverstärkungen begegnet werden. Im Weiteren muss das anfallende Oberflächenwasser oberhalb der Baugrubenböschungen durch Ableitungen in Sickergräben unbedingt von den wasserempfindlichen Lockergesteinsböschungen ferngehalten werden. Ebenso neigen die besonders **wasserempfindlichen Lockergesteine** bei ungenügender Entwässerung / Wasserhaltung zu **Verschlammung**.

- Spezielle hydrogeologische Risiken werden vor allem durch die komplizierten hydrogeologischen Verhältnisse mit schichtweise sehr unterschiedlichen Durchlässigkeiten in vertikaler und horizontaler Richtung verursacht. Bedeutsam ist, dass unter den vorliegenden geologischen Verhältnissen insbesondere in tieferen Bereichen von gespannten Hang- oder im Felsen von Kluftwasservorkommen auszugehen ist (Kap. 6.1). Aus den gespannten Druckverhältnissen resultiert eine erhebliche **Grundbruchgefährdung**, die es für das vorliegende Projekt auch bei Tiefenfundationen zu beherrschen gilt. Bei Bohrpfählen sind entsprechende bauliche Massnahmen zur Beherrschung der erkannten Baugrundrisiken sowohl in der Planung als auch während der Realisierung umzusetzen (Kap. 10.2).
- Grundsätzlich ist – auch kurzfristig – eine Absenkung der Hangwasserdruckfläche während der Bauphase unter den Niedrigwasserstand zu vermeiden, um die Risiken von Setzungsschäden in der Umgebung zu minimieren. Aus diesem Grunde sind bei tiefen Baugruben möglichst dichte Baugrubenabschlüsse, wie vorgebohrte Spundwände, Rühlwände mit dichten Ausfachungen oder überschnittene Bohrpfahlwände zu prüfen (Kap. 10.3).

6.3.2 Nutzungszustand

- Wir empfehlen, sämtliche erdberührten Untergeschosse bis an die heutige Geländeoberkante oder bis auf Höhe einer allfälligen Spitzendränage (Objektschutzleitung) als **dichte Wanne** auszubilden und für einen noch festzulegenden Bemessungshochwasserspiegel gegenüber Auftrieb zu dimensionieren. Die Bewilligungsfähigkeit einer Einleitung des gefassten Hangwassers in die Kanalisation ist rechtzeitig abzuklären, da eine Versickerung nicht möglich ist (Kap. 11). Die baulichen Konsequenzen - insbesondere bei einem hohen Wasserstand - sind vom Ingenieur in Bezug auf die Wasserdichtigkeit und für eine genügende Steifigkeit und die Tragsicherheit der Bodenplatte (ev. Zugpfähle bei dichten Wannen) darzulegen.
- Bei vollflächigen, tiefen Einbauten oder permanent dichten Baugrubenabschlüssen sind zur Gewährleistung des Hangwasserflusses (Verhinderung eines unzulässigen Hangwasseraufstaus) entsprechende hydraulische Massnahmen zu prüfen. Dabei sind nebst allfälliger gewässerschutzrechtlicher Bestimmungen (Kap. 6.2) auch privatrechtliche Randbedingungen angemessen Rechnung zu tragen. Für die geplanten tiefen Einbauten ist demnach mit Kompensationsmassnahmen zur Erhaltung der Durchflussverhältnisse zu rechnen.

7 NATURGEFAHREN

7.1 WASSER- UND RUTSCHPROZESSE

Gemäss der Gefahrenkarte des Kantons Luzern ist das Baugelände weder von Wasser- noch von Rutschprozessen betroffen.

Insbesondere die scheinkohäsiven Hangsedimente verhalten sich *kriechempfindlich* und neigen bei unbedachten Hanganschnitten oder übersteilen Baugrubenböschungen bei starker Durchnässung und erhöhtem Porenwasserdrücken oder bei einer Zusatzbelastung zu *flachgründigen Spontanrutschungen*.

7.2 OBERFLÄCHENABFLUSS

Aus der Gefährdungskarte Oberflächenabfluss (nicht versickerndes Niederschlagswasser, welches dem nächsten Gewässer zuströmt) sind auf der Projektparzelle des Bauvorhabens Zonen mit potentieller Überflutung (Fliesstiefen <10 cm; vgl. Abb. 2) ausgeschieden, was bautechnisch (z.B. Wasserdichtigkeit) und bei Gebäudeöffnungen angemessen zu berücksichtigen ist.

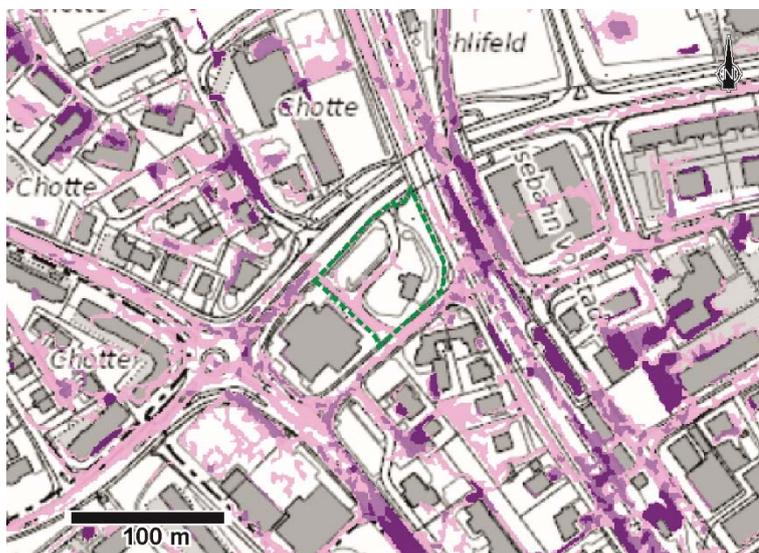


Abb. 2 Ausschnitt aus der Gefährdungskarte Oberflächenabfluss, Massstab 1:5'000. Kartengrundlage © Geoinformation Kanton Luzern 2020. Hellviolett: Fliesstiefen <10 cm, Violett: Fliesstiefen 11 bis 25 cm, Dunkelviolett: Fliesstiefen >25 cm. Grün gestrichelt ungefährer Projektperimeter.

Mit angemessenen **Objektschutzmassnahmen** sollen Schäden verhindert werden. Dazu bieten sich u.a. an:

- Terraingestaltung, z.B. mittels Erhöhung der Geländekoten in der Umgebung.
- Keine ungeschützten Fensteröffnungen / Eingängen zu bauen, in die das zuströmende Oberflächenwasser eindringen kann. Dies kann mit einfachen Mitteln bewerkstelligt werden.

- Ein geordneter Abfluss mit durchdachten, durchgängigen und hindernisfreien Leitwerken (Stellplatten, Überstände, Vertiefungen in Fallrichtung u.dgl.). Zu beachten sind auch allfällige Ein- / Rückstaumöglichkeiten, z.B. umschlossene Bereiche (z.B. Einfahrten) mit ungenügend dimensionierten oder leicht verstopfenden Abflüssen.
- Erstellung eines Notfallkonzeptes.
- Berücksichtigung der Auftriebssicherheit und Wasserdichtigkeit (Kap. 6.3.2).

7.3 ERDBEBEN

Der **Erdbebensicherheit** ist je nach Gefährdungsbild eine angemessene Priorität zuzuordnen. Nach SIA 261 (Ausgabe 2014) 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 (Ausgabe 2014) festzulegen.
- Hinsichtlich der **Erdbebengefährdungszonen** wird Sursee nach der Karte SIA 261 (2014) der Zone 1 mit Beschleunigungswerten von 0.6 m/s^2 zugeschlagen.
- Gemäss der Karte der Baugrundklassen wird das Projektgebiet als **Baugrundklasse C** eingestuft (normal konsolidierte Lockergesteinsbedeckung über der Felsoberfläche oder glazial vorbelasteten Grundmoränenablagerungen grösser als 20 m). Auf Grund bestehender Sondierungen aus der Umgebung ist es jedoch möglich, dass sehr dicht gelagerte Grundmoränenablagerungen oder der Felsen höher anstehen, so dass je nach Tiefe der Foundation in diesem Falle die **Baugrundklasse E** (Oberflächliche Schicht von Lockergestein mit v_s -Werten nach C oder D und veränderlicher Dicke zwischen 5 m und 20 m über steiferem Bodenmaterial mit $v_s > 800 \text{ m/s}$, vgl. SIA 261 Tab. 24) massgebend wird. Für gesicherte Angaben über die Baugrundklasse empfehlen wir, Sondierbohrungen bis in den Felsen abzuteufen (Kap. 11).

8 ARCHÄOLOGIE

Gemäss dem aktuellen archäologischen Fundstellenkataster des Kantons Luzern ist das Gebiet nicht als archäologische Fundstelle eingezont. Der Projektperimeter befindet sich jedoch westlich neben der grossen Fundstelle von Sursee (Fundstelle Nr. 521), weshalb archäologische Funde möglich bzw. nicht ungewöhnlich sind.

9 GEOTECHNISCHE EIGENSCHAFTEN DER LOCKERGESTEINE

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

Einheit	Beschreibung	Feucht- raum- gewicht	Raum- gewicht unter Auftrieb	effektiver Winkel der inneren Reibung	effektive Kohäsion	Durch- lässigkeit	M _E -Wert (M _E '-Wert)
		γ_e [kN/m ³]	γ [kN/m ³]	ϕ' [°]	c [kN/m ²]	k ¹⁾ [m/s]	[MN/m ²]
<i>Künstliche Auffüllungen</i>	Unterschiedlich siltige Kies-Sand-Gemische mit variablem Anteil an Steinen, Blöcken, tw. organischen Beimengungen sowie Fremdstoffen, heterogen gelagert.	19.5 ± 1.0	10.0 ± 1.0	32 ± 3	0 ¹⁾	x·10 ⁻⁴ ÷ x·10 ⁻⁷	heterogen
	Unterschiedlich siltiger Sand mit variablem Anteil an Kies und tw. organischen Beimengungen, sehr locker bis locker, untergeordnet mitteldicht gelagert.	19.0 ± 0.5	10.5 ± 0.5	28 ± 2	0 ¹⁾	x·10 ⁻⁵ ÷ x·10 ⁻⁷	2 ÷ 6 (6 ÷ 18)
<i>Hangsedimente</i>	Zwischenschichten aus fast sauberen bis unterschiedlich siltigen Kies-Sand-Gemischen mit variablem Anteil an Steinen und Blöcken (Murgang- und Schwemmfächerablagerungen), mitteldicht bis schichtweise dicht gelagert.	20.5 ± 0.5	11.0 ± 0.5	32 ± 2 (28 ± 2 ¹⁾)	0 ¹⁾	x·10 ⁻³ ÷ x·10 ⁻⁶	20 ÷ 40 (>50)
	Zwischenschichten aus unterschiedlich tonigem Silt und unterschiedlich siltigem Sand, tw. laminiert (Teichablagerungen), weich bis steif oder locker bis mitteldicht gelagert.	18.5 ± 0.5	9.0 ± 0.5	28 ± 2	0 ¹⁾	x·10 ⁻⁴ ÷ x·10 ⁻⁷	8 ÷ 20 (24 ÷ 60)
<i>Moränenablagerungen</i>	Unterschiedlich siltiger Sand mit variablem Anteil an Kies, Steinen und Blöcken (Findlinge), meist Diamiktite, dicht bis sehr dicht gelagert.	21.5 ± 0.5	12.0 ± 0.5	35 ± 2 (28 ± 2 ¹⁾)	0 ¹⁾	x·10 ⁻⁶ ÷ x·10 ⁻⁸	40 ÷ >60 (>60) (10 ÷ 40 ¹⁾)
	Zwischenschichten (sogenannte Eskerablagerungen) aus fast sauberen bis leicht siltigen Sanden mit Kies und Steinen, vorwiegend mitteldicht gelagert.	19.5 ± 1.0	10.0 ± 1.0	31 ± 2	0 ¹⁾	x·10 ⁻⁴ ÷ x·10 ⁻⁷	20 ÷ 30 (>50)

Tab. 3 Tabellarische Zusammenstellung der geotechnischen Kennwerte der verschiedenen geologischen Einheiten. ¹⁾ Scheinkohäsion vorhanden. ²⁾ 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 Partial-

faktoren, 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).

10 GEOTECHNISCHE FOLGERUNGEN

10.1 GEOTECHNISCHE RISIKEN

- Der Neubau grenzt an das SBB-Trasse, Strassen, Vorplätze mit jeweils Werkleitungen und befindet sich im Nahbereich von Gebäuden (z.B. Möbel Ulrich AG). **Sowohl im Bau- als auch im Endzustand** ist zu beachten, dass **je nach Vulnerabilität keine Deformationen akzeptabel** sind. Wir empfehlen, die Empfindlichkeit dieser Bauten und genauen Foundationen frühzeitig abzuklären, um allenfalls schadensvorbeugende Massnahmen, wie vorgängige Foundationsverstärkungen, Werkleitungsumlegungen usw. in die Projektierung einfliessen lassen zu können (Kap. 14) und insbesondere bei der Wahl des Baugrubenabschlusses (Kap. 10.3) zu berücksichtigen.
- Die bautechnisch relevanten Folgerungen bezüglich der geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse (Kap. 4 und 6), der Belastung (Kap. 5), der Naturgefahren (Kap. 7) sowie der geotechnischen Eigenschaften (Kap. 9) sind bei der Planung der Foundation (Kap. 10.2), der Baugrube (Kap. 10.3) und der Aushubarbeiten (Kap. 10.4) zu beachten.
- Mit **Bohr- und Rammhindernissen**, wie sehr dicht gelagerten Moränenablagerungen, Blöcken, tw. nestweise angehäuft, organisch reichen Zwischenschichten sowie lokalen Fremdstoffen innerhalb künstlicher Auffüllungen muss gerechnet werden. Zu beachten ist, dass in den Moränenablagerungen schicht- oder nestartig sehr harte Blöcke auftreten können, die zu erheblichen Erschwernissen bei Bohrpfählen oder allfälligen Rammarbeiten führen können.
- Die schichtweise schlechte Dränierbarkeit und damit hohe Wassersättigung der wasserempfindlichen Hangsedimente und Moränenablagerungen, insbesondere während nasser Witterung, ist beim Aushub und bei der Deponierung (Kap. 6.3.1, 10.4) zu berücksichtigen.
- Die Baugrubensohle in den Hangsedimenten ist als gering tragfähig zu betrachten und wird deshalb nur mit leichten Maschinen und nur bei guter Entwässerung befahrbar sein.
- An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass die verbreiteten unterschiedlichen siltigen Sande eine deutliche **trägerische Scheinkohäsion** besitzen, die insbesondere

bei Durchnässung entfällt oder rasch zu einer Entfestigung mit Bodenverflüssigung und Verschlammung der Aushubsohle führt (Kap. 6.3.1).

10.2 FUNDATION DER NEUBAUTEN

10.2.1 Allgemeine Hinweise

- Die Neubauten binden unterschiedlich zwischen ca. 3 m und ca. 13 m unter die bestehende Geländeoberkante ein (Tab. 1). Je nach Tiefenlage kommen die Bodenplatten in unterschiedliche Lockergesteinsschichten zu liegen (dicht bis sehr dicht gelagerte Moränenablagerungen oder bis sehr locker oder weiche Hangsedimente). Wegen des sedimentologisch heterogenen und v.a. in W-E-Richtung asymmetrischen Baugrunds sowie dem unterschiedlichen Erstbelastungsanteil muss bei Flachfundationen - vor allem bei einer Mehrbelastung des Baugrunds - grundsätzlich mit kurzfristigen (während des Baus) und zukünftigen (infolge Verdichtung des Baugrunds durch Bauten und Neubauten in unmittelbarer Umgebung) **Setzungen und Setzungsdifferenzen** gerechnet werden, die ein zulässiges Mass übersteigen könnten und entsprechend risikoreich sind.
- Mit zunehmender Einbindetiefe nehmen einerseits die zulässigen Bodenpressungen und andererseits die **Aufwändungen für die Trockenhaltung der Baugrubensohle** zu. Bei hohen Punktlasten wird bei Überschreitung der zulässigen Bodenpressungen (Kap. 10.2.2) eine kombinierte Pfahl-Platten-Gründung (KPP) oder Tiefenfundation (Kap. 10.2.3) erforderlich.

10.2.2 Flachfundation mit Materialersatz

- Bei einer Flachfundation wird es in erster Linie darum gehen, ein möglichst gleichmässiges Setzungsbild zu erzielen, damit Setzungsdifferenzen innerhalb zulässiger Grenzen gehalten werden können und so keine Zwängungen zwischen Bauten mit unterschiedlichem Erstbelastungsanteil infolge Setzungsdifferenzen entstehen.
- Die erdberührten Bauteile sind möglichst **steif auszubilden**, damit Spannungsspitzen unterhalb von Lastkonzentrationen (Gebrauchslasten) auf ein zulässiges Mass verteilt werden können.
- Um differentielle Setzungen infolge verschiedener Bodenpressungen zu verhindern, sind allfällige feinkörnige Lockergesteinsschichten auf der Baugrubensohle durch gut verdichtbare Kies-Sand-Gemische (allenfalls in Kombination mit einem gewässerrechtlich erforderlichen Filterteppich) zu ersetzen. Im Weiteren ist zu empfehlen, unterhalb des Materialersatzes direkt auf die Baugrubensohle ein Vlies (Trenn- und Filterfunktion) zu verlegen. Grundsätzlich sollten durch den Materialersatz gleichmäs-

sigen Verhältnisse geschaffen werden. Als Kontrolle für eine genügende Verdichtung eignen sich Lastplatten-Versuche, um einen zu empfehlenden M_E -Wert von min. 40 kN/m² zu kontrollieren.

- Ein *Materialersatz* wird jedoch lediglich bis auf eine Schichtstärke von ca. 0.8 m wirtschaftlich sein, so dass entsprechende Unsicherheiten über die genaue Zusammensetzung und Lagerungsdichte der prognostizierten sehr locker gelagerten oder weichen Zwischenschichten verbleiben. Ein Nachteil eines Materialersatzes ist, dass er zu grösseren Aufwändungen bei der Wasserhaltung führt.
- Im Bereich von Lastkonzentrationen, bzw. für Einzel-/ Streifenfundamente mit Breiten ≤ 2 m und ≤ 1 m kann von **zulässigen Bodenpressungen** gemäss Tab. 4 ausgegangen werden.

<i>Einheit</i>	<i>Zulässige Bodenpressungen unter 1.0-facher Belastung:</i>	<i>Zulässige Bodenpressungen (Design-Niveau):</i>
Mind. mitteldicht gelagerte Hangsedimente (mind. 4 m unterhalb heutiger Geländeoberkante).	ca. 180 ÷ 220 kN/m ²	ca. 250 ÷ 300 kN/m ²
Mind. dicht gelagerte Moränenablagerungen	ca. 250 ÷ 350 kN/m ²	ca. 350 ÷ 490 kN/m ²
Mind. sehr dicht gelagerte Moränenablagerungen	ca. 350 ÷ 450 kN/m ²	ca. 490 ÷ 630 kN/m ²

Tab. 4 Zulässige Bodenpressungen für Einzel-/ Streifenfundamente.

- Trotz der oben angegebenen Massnahmen sind im Falle einer Foundation innerhalb der beim Aushub zwangsläufig gestörten Lockergesteine absolute und / oder differentielle Setzungen von ca. 1 bis 3 cm zu erwarten. Entsprechende Beanspruchungen der Konstruktion sind bei der Bemessung des Neubaus zu berücksichtigen. *Das genaue Setzungsmass, ist durch den Ingenieur zu verifizieren.*
- *Zu beachten ist, dass je nach Variante des Baugrubenabschlusses mit einer Auflockerung des randlichen Fundationsuntergrunds zu rechnen ist. Die grössten Setzungsrisiken entstehen beim Rückzug von Spundbohlen.*

10.2.3 Tiefenfundation

10.2.3.1 Allgemeine Hinweise

- Ein zweckmässiges Foundationssystem stellt gegebenenfalls auch eine Tiefenfundation mittels Pfählen dar. Die Pfähle könnten auch als Zugpfähle bei einer Auftriebsproblematik bei Hochwasser oder für die Erdbebensicherheit ausgebildet werden. Zudem würde eine Tiefenfundation keine weiteren Aushubarbeiten für einen Materialersatz

bei Flachfundationen (Kap. 10.2.2) erfordern, die zu grösseren Aufwändungen bei der Wasserhaltung führen können.

- Aufgrund der schichtweise dicht gelagerten Lockergesteine oder tw. nestweise angehäuften Blöcken innerhalb der Moränenablagerungen bestehen Risiken, dass bei Anwendung von Ramppfählen oder Verdrängungsbohrpfählen die erforderliche Tiefe mit eine genügende Einbindung in die tragfähigen Horizonte nicht erreicht würde. Aus diesem Grunde steht die Ausführung von konventionellen Bohrpfählen im Vordergrund.
- Wie bereits im Kap. 4 erwähnt, ist dem sehr unruhigen, im Meterbereich nicht mehr prognostizierbaren Kleinrelief der Moränenablagerungen, der unbekanntes Felsoberfläche unbedingt durch eine **flexible Gestaltung des Fundationskonzepts** (z.B. Pfahllängen) und durch objektspezifischen, ergänzenden Baugrundsondierungen (Kap. 11) Rechnung zu tragen. Zudem empfehlen wir, den Traghorizont, resp. die Einbindetiefe bei der Realisation durch den Ingenieur oder den Geotechniker laufend verifizieren zu lassen und Pfahlprüfungen durchzuführen.
- Bei den setzungsempfindlicheren Hangsedimenten 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.
- Es ist mit Bohr- und Rammhindernissen gemäss Kap. 10.1 zu rechnen. Im Weiteren sind Zuschläge für Unterwasserbeton einzurechnen.
- 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 verflüssigten (Grundbrüche) sind nicht auszuschliessen.
- Bei einer allfälligen kombinierten Pfahl-Platten-Gründungen (KPP) wären genauere Betrachtungen der Gebrauchstauglichkeit mit den Einwirkungen auf die Gründungsbauteile 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. Zudem ist ein Abteufen der Pfähle von oberhalb der Hangwasser Oberfläche vorzusehen, da bei den gespannten Hang- oder Kluftwasserverhältnissen mit einer erhöhten Grundbruchgefahr im Pfahlrohr und mit der Gefahr des Auswaschens von Pfahlbeton gerechnet werden muss.
- Die im Kap. 10.2.3.2 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 und bei einer genügenden Einbindung in die Moränenablagerungen oder dem Felsen 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.

10.2.3.2 Bohrpfähle

- Für die Kraftübertragung zwischen Bohrpfahl und Baugrund können die Mantelreibungskräfte und Spitzenwiderstände gemäss Tab. 5 angenommen werden.

Dimensionierungsgrösse	Tiefenbereich ab Geländeoberkante	Gebrauchslasten unter 1.0-facher Sicherheit [kN/m ²]	Charakteristischer, äusserer Tragwiderstand $R_{a,k}$ *) [kN/m ²]
Mantelreibung	Sehr locker bis locker gelagerte Hangsedimente	ca. 0 bis 5	ca. 0 bis 15
	Mitteldicht gelagerte Hangsedimente	ca. 10 bis 20	ca. 25 bis 50
	Dicht bis sehr dicht gelagerte Moränenablagerungen	ca. 30 bis 50	ca. 80 bis 130
	Stark bis mässig entfestigter Felsen	ca. 50 bis 70	ca. 130 bis 180
	Mässig bis angewitterter Felsen	ca. 70 bis 80	ca. 180 bis 210
Spitzenwiderstand	Dicht bis sehr dicht gelagerte Moränenablagerungen und stark bis mässig verwitterter Felsen	ca. 2'500 bis 3'000	ca. 6'500 bis 7'800
	Angewitterter Felsen	ca. 4'000 bis 5'000**)	ca. 10'400 bis 13'000

*) 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.

***) Im frischen Sandsteinfelsen sind Spitzenwiderstandswerte von bis ca. 10'000 kN/m² möglich.

Tab. 5 Zulässige Mantelreibungs- und Spitzenwiderstandswerte für Bohrpfähle.

- 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. 5 ungefähr um 50% vergrössert werden.

- Sandige Schichten oder saubere Silte müssen wegen der lokalen gespannten Grundwasserverhältnisse als grundbruchempfindlich eingestuft werden (Kap. 6.3.1), 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.).

10.3 BAUGRUBEN

10.3.1 Allgemeine Hinweise

- Infolge der erfahrungsgemäss oft beengten Platzverhältnisse in Baugruben gebührt der Arbeitssicherheit angemessene Bedeutung. Für die Baugrubenstabilität von Bedeutung sind wasserführende Schichten, bzw. die Lage der Hangwasseroberfläche. Wasseraustritte aus freien Böschungen führen schnell zu Ausschwemmungen und dadurch zu Böschungsbrüchen (Kap. 6.3.1). Gemäss der Bauarbeitenverordnung (BauAv 2011), 5. Kapitel (Gräben, Schächten, Baugruben) von der SUVA, ist *bei Böschungshöhen von mehr als 4 m ein Sicherheitsnachweis zu erbringen*.
- Die Baugrubensohle befindet sich zwischen ca. 3 bis 13 m unterhalb der heutigen Geländeoberkante. Freie Böschungen mit Sickerbetonverstärkungen (Kap. 10.3.2) können lediglich für niedrige Seitenböschungen / Voraushübe vorgesehen werden. Auf Grund der örtlichen Begebenheiten werden jedoch hauptsächlich vertikale Baugrubenabschlüsse erforderlich.
- Weiter befinden sich die Aushubsohlen unterhalb der Hangwasseroberfläche (Kap. 6.1). Für die Trockenlegung der Baugrube werden entsprechende Wasserhaltungsmassnahmen erforderlich. Im Vordergrund steht eine Wasserhaltung mit Pumpensümpfen, Entwässerungsgräben und zusätzlichen Filterbrunnen / Wellpoint für die Druckspiegelentspannung (örtlich Grundbruchrisiken). Hinsichtlich der Risiken von unerwünschten Grundwasserabsenkungen in der Umgebung (Kap. 6.3.1) ist insbesondere talseitig die Ausführung eines möglichst dichten Baugrubenabschlusses zu prüfen. Mit diesen Massnahmen lassen sich die Wasserhaltungsmassnahmen und die daraus resultierenden Risiken deutlich reduzieren.
- 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.

- In Tab. 6 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 Wassereintritten (kleine Aushubetappen). • Kein dichter Baugrubenabschluss. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ausschwemmungen / Verflüssigung von Lockergestein während der Aushubetappen. • Setzungen bei Absenkung der Hangwasser Oberfläche unter den Niederwasserstand.
Rückverankerte und vorgebohrte Rühlwand	<ul style="list-style-type: none"> • Erschütterungsarm. • Kostengünstig. 	<ul style="list-style-type: none"> • Grössere Aufwendungen für Wasserhaltungs- und Druckentspannungsmassnahmen. • Erschwernisse infolge Wassereintritten (kleine Aushubetappen). • Kein dichter Baugrubenabschluss. 	<ul style="list-style-type: none"> • Setzungen in der Umgebung infolge von Deformationen des Baugrubenabschlusses. • Ausschwemmungen / Verflüssigung von Lockergestein während der Aushubetappen. • Setzungen bei Absenkung der Grundwasser Oberfläche unter den Niederwasserstand.
Rückverankerte und vorgebohrte Spundwand	<ul style="list-style-type: none"> • Spundbohlen können nach Bauende entfernt werden. • Dichter Baugrubenabschluss mit kleineren Aufwendungen für Wasserhaltungsmassnahmen. 	<ul style="list-style-type: none"> • Erschütterungen / Vibrationen beim Einbringen und Entfernen der Spundbohlen / Lärm. • Kostenintensiv (Vorbohren). 	<ul style="list-style-type: none"> • Setzungen im Nahbereich der Spundwände. Problematisch bei nahe gelegenen Werkleitungen und (flachfundierten) Gebäuden. • Setzungen in der Umgebung infolge von Deformationen des Baugrubenabschlusses.
Rückverankerte, überschnittene Bohrpfahlwand	<ul style="list-style-type: none"> • Erschütterungsarm. • Verformungsarm. • Kleinere Aufwendungen für Wasserhaltungsmassnahmen. • Pfahlmaschine kann für Fundationsmassnahmen verwendet werden. • Baugrubenabschluss als Aussenwand verwendbar. 	<ul style="list-style-type: none"> • Permanenter Eingriff in das Hangwasservorkommen. • Erfordert Kompensationsmassnahmen im Hinterfüllungsbereich. • Kosten- und bautintensiv. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aufstau der Hangwasser Oberfläche, falls ungenügende Kompensationsmassnahmen umgesetzt sind.

Tab. 6 Variantenvergleich mit Aufzeigen der Risiken der möglichen Baugrubensicherungen.

- Die bautechnischen Folgerungen und geotechnischen Risiken sowie die Erschwernisse bei Bohr- und Rammarbeiten gemäss Kap. 10.1 und 10.2.3.1 sind bei der Planung / Ausführung der Baugrube angemessen zu berücksichtigen und einzurechnen. In Be-

reichen 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 ist bei Flachfundationen (Kap. 10.2.2) wegen des massgeblichen Einflusses auf die Primärsetzungen zu verhindern.

- Bei der Wahl des Baugrubenabschlusses und der Wasserhaltung sind insbesondere die Stabilitäts- und Fundationsverhältnisse von umliegenden angrenzenden Gebäuden und Stützkonstruktionen genauer abzuklären (z.B. talseitige Fundamente des Gebäudes Möbel Ulrich). Weiter ist nebst der Baugrubenhöhe die Baugrundasymmetrie zu berücksichtigen, so dass hangseits u.U. andere Baugrubenabschlüsse zu bevorzugen sind als talseits.
- Das günstigste Baugrubensystem ist auf Grund weiterführender Sondierungen (Kap. 13) 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 unter Berücksichtigung der Bauarbeitenverordnung (BauAv) durch den Ingenieur zu bestimmen. Für die Verifizierung der geologischen Verhältnisse sind Bohrarbeiten durch den Bohrunternehmer fortlaufend im Bohrprotokoll zu dokumentieren.

10.3.2 Freie Böschungen mit Sickerbeton

Lediglich für niedrige Seitenböschungen oder Voraushübe und in Kenntnis der zusätzlichen Aufwendungen für die Wasserhaltung ist eine offene Baugrube mit freien Böschungen und Sickerbeton-Verstärkungen zu prüfen.

- Die Neigung der Lockergesteinsböschungen über der Hangwasseroberfläche sind nicht steiler als 1:1 auszubilden. Mindestens den Böschungsfuss empfehlen wir mit Sickerbeton vor Ausschwemmungen zu sichern und mit Drainagegräben / Pumpensümpfen für die Wasserhaltung anzuschliessen.
- Zeichnen sich im Lockergestein **wasserführende Schichten** ab, sind diese Zonen umgehend mit dem Bagger auszupacken und mit einem massiven **Sickerbetonriegel** zu ersetzen, der ggf. unter die Baugrubensohle einzubinden ist. Dadurch lassen sich Ausschwemmungen verhindern, die schnell zu Böschungsbrüchen führen. Das zufließende Wasser ist unmittelbar im Bereich der Austrittsstelle zu fassen und abzuleiten.
- Bei Böschungshöhen von mehr als 4 m ist zur Entlastung eine **mind. 1 m breite Berme** auszuheben.

- Bei durchgehender Sicherung mit Sickerbeton können auch steilere Neigungen ausgeführt werden. Die Wirkungsweise einer **Sickerbetonmauer** entspricht derjenigen einer *Schwergewichtsmauer*, womit für deren Bemessung die entsprechenden Kriterien (Kippen, Gleiten, globale Sicherheit) zu berücksichtigen sind. Zudem ist die Sickerbetonmauer *mindestens 0.5 m unter die Baugrubensohle einzubinden*, damit ein basales Abscheren verhindert wird. Die Sickerbetonmauer ist in horizontalen, ev. alternierenden Etappen von max. 5 m auszuführen. Die Etappenlänge ist je nach Standfestigkeit der anstehenden Lockergesteine sowie entsprechend den hydrogeologischen Verhältnisse anzupassen (im Bereich von Wassereintritten kürzere Etappen von < 2 m). Die Aushübe sind gleichentags mit Sickerbeton wieder zu sichern.

10.3.3 Rühlwand / Bohrpfahlwand

In Bereichen mit beengten Platzverhältnissen stellen eine Rühlwand, eine aufgelöste oder überschnittene Bohrpfahlwand zweckmässige Varianten dar.

- Die vertikale Aushubetappe zwischen Rühlwandträgern für die Erstellung der **Ausfachung** richtet sich nach dem Trägerabstand und der Standfestigkeit der Lockergesteine (Grundwasservorkommen führen rasch zu Ausschwemmungen!). Unter der Voraussetzung eines Trägerabstandes von max. 2 bis 2½ m und trockenen Verhältnissen erachten wir vertikale Etappen von ca. 1.5 bis 2.0 m als möglich. Bei Wasserzutritten sind die vertikalen Abstände unter Umständen zu verringern. Bei der Ausfachung zwischen den Trägern wird eine Lösung mit Ortsbeton oder Sickerbeton sowie Bentonitmatten als abdichtende Massnahme im Vordergrund stehen. Die Ausfachung ist bis unter die Baugrubensohle zu erstellen, um ein Untersickern der Wand zu verringern, die zu Ausschwemmungen und unerwünschten Hohlraumbildungen führen könnte.
- Eine dichte überschnittene Bohrpfahlwand oder dichte Ausfachung bei der Rühlwand würde eine bleibende Beeinträchtigung der Grundwasserverhältnisse verursachen, so dass mit aufwendigeren **Kompensationsmassnahmen** mit (z.B. tiefe Gräben mit Sickerkies, Perforation Bohrpfahlwand mit Spundwandfenstern, Unterdükerung, Sickerkiespfählen, usw.) zu rechnen wäre. In jedem Fall empfehlen wir, die gewässerschutzrechtliche Bewilligungsfähigkeit rechtzeitig abzuklären (Kap. 6.2 und 6.3.2).

10.3.4 Spundwände

- Bei einem dichten Baugrubenabschluss mittels einer **Spundwand** müsste ein durchgehendes Einbinden der Spundbohlen in gering durchlässige Moränenablagerungen gewährleistet sein, was tw. lediglich mittels Vorbohrungen möglich ist. Um die nicht auszuschliessenden Umläufigkeiten im Bereich des Spundwandfusses zu verhindern, ist die Ausführung von bereichsweisen Fussinjektionen einzurechnen.

- Das Einbringen der Spundbohlen ist mit Lärm- und Erschütterungsimmissionen verbunden, dabei sind - *insbesondere beim Ziehen der Spundbohlen* - im Nahbereich des Baugrubenabschlusses (mindestens eine Spundwandlänge!) Setzungen von bis zu mehreren Zentimetern nicht auszuschliessen, die zu erhöhten Risiken von Schäden an bestehenden oder eigenen, flachfundierten Infrastrukturbauten führen, die bei der Planung gebührend zu berücksichtigen sind. Gegebenenfalls ist das Projekt bezüglich dieser Fragestellung detaillierter durch die Fachleute zu beurteilen.
- Um mögliche Setzungen zu minimieren, sind die Intensität und Dauer der Erschütterungen beim Einbringen und vor allem beim Rückzug der Spundbohlen möglichst gering zu halten. Eine *Reduktion der Risiken* der zu erwartenden Setzungen liesse sich durch örtlich verloren eingebrachte Spundwände oder durch eine überschnittene Bohrpfahlwand (Kap. 10.3.3) erreichen.
- Der Vorteil einer temporären Spundwand besteht darin, dass sie nach Abschluss der Tiefbauarbeiten rückgezogen wird und sie so selbst kein permanentes hydrogeologisches und damit auch kein bewilligungstechnisches Hindernis mehr darstellt (hydrogeologische Bewilligungsfähigkeit).

10.3.5 Abspriessungen / Anker

- Abspriessungen der Baugrubenabschlüsse richten sich nach den zu akzeptierenden Deformationen der Umgebung (Kap. 10.1).
- Bei der Anwendung von allfälligen temporären, vorgespannten Ankern empfehlen wir, die Ankerkräfte durch vorgängige Versuchsanker zu bestimmen. Für eine Vordimensionierung der vorgespannten Ankern ist innerhalb der Hangsedimente von ca. $R_{a,k} = 200$ bis 400 kN und in den Moränenablagerungen von ca. $R_{a,k} = 300$ bis 700 kN je nach Tiefe des Verankerungskörpers unter der Geländeoberkante sowie der Zusammensetzung der Lockergesteinen und einer Verankerungslänge von mind. 8 m ausgegangen werden.
- Zur Überwachung der Ankerkräfte während der Nutzungsdauer ist eine genügende Anzahl Kontrollanker einzubauen.
- Verankerungen unter bestehenden Gebäuden weisen erhöhte Risiken von Setzungen oder Hebungen auf, so dass die Verankerungskörper genügend tief unter der bestehenden Geländeoberkante vorgesehen werden sollten. *Eine risikoärmere Methode stellt eine gespriesste Lösung dar.*
- Die Anker werden bis in benachbarte Parzellen hineinreichen, wofür eine Bewilligung der Grundstücksnachbarn für das Versetzen der Anker in ihrem Grundstück erforderlich wäre. Gemäss aktueller Rechtsprechung muss ein Grundstücksnachbar die für die Baugrubensicherheit notwendigen Anker zumindest temporär auf seinem Grundstück dulden.

- Erschwernisse gemäss Kap. 10.1 sind einzurechnen.

10.3.6 Wasserhaltung

- Die Wasserhaltung richtet sich je nach Ausführung des Baugrubenabschlusses sowie der Grösse allfälliger Teil-Baugruben und wird mittels Pumpensämpfen und unterstützendem Wellpoint / Filterbrunnen (Druckentspannung) möglich sein. Bei Hangwasserabsenkungen muss bei einer offenen Baugrube mit Pumpwassermengen je nach örtlichen Hangwasserverhältnissen von wenigen 10 bis mehreren 100 bis 1'000 l/min gerechnet werden. Wie unsere Erfahrungen in der näheren Umgebung zeigen, sind bei Felsanschnitten (z.B. hangseits) Kluftwasservorkommen möglich, die auch relevante Schüttmengen aufweisen. Das Ausmass der Wasserhaltung ist entsprechend des Baugrubenabschlusses, der Baugrubentiefe und Etappierung durch die Planer zu projektieren und festzulegen.
- Um die Auswirkungen der Wasserhaltung sowie der Einbauten auf das Hangwasservorkommen in der Umgebung des Bauvorhabens zu überwachen, sind die Hangwasserspiegel in neu zu erstellenden Piezometern zu messen und aufzuzeichnen (Kap. 14).
- Sofern die Hangwasseroberfläche lokal oder weiträumig unter einen auf Grund längerer Messreihen noch festzulegenden Meldewert absinkt (Kap. 11), ist ausserhalb der Baugrube eine Wiederversickerung von Hangwasser in Rückgabeburgen oder Versickerungsmulden vorzusehen.
- Die gefassten Wassermengen der Wasserhaltungsmassnahmen sind über ein genügend leistungsfähiges Absetzbecken zu führen. Eine Einleitung der Pumpwassermengen in die Kanalisation oder in einen Vorfluter ist vorgängig mit den entsprechenden Behörden abzuklären (Achtung Verschlammung). Weiter verweisen wir auf die beiden Merkblätter der Umweltschutzdirektionen der Zentralschweizer Kantone „*Bauen im Grundwassergebiet*“ (2001) und „*Entwässerung von Baustellen*“ (2001) sowie auf die Schweizer Norm SIA 431 „*Entwässerung von Baustellen*“ (1997).

10.4 ALLGEMEINE HINWEISE ZU ERDARBEITEN

- Der natürliche Baugrund kann bis auf die vorgesehene Aushubtiefe als mehrheitlich gut baggerfähig bezeichnet werden. Erschwernisse gemäss Kap. 10.1 sind einzurechnen, was zu entsprechenden Mehrkosten beim Aushub führen kann.
- Bei gesättigten Lockergesteinen unter der Hangwasseroberfläche ist zudem eine ausreichende Entwässerungsdauer (mehrere Wochen) vorzusehen, um unerwünschte Zuschläge für Aushub und Deponierung infolge durchnässter Lockergesteine zu vermeiden. Ohne eine ausreichende Entwässerung empfiehlt es sich, das Aushubmaterial als wassergesättigt einzurechnen.

- Mit den im Baugrubenbereich vorhandenen künstlichen Auffüllungen ist gemäss den Angaben in Kap. 5 zu verfahren.
- Wir empfehlen, die Eignung vorhandener oder zugeführter Lockergesteine für die Hinterfüllung je nach *Anforderungen an die Verdichtung und Durchlässigkeit* (im Zusammenhang mit Kompensationsmassnahmen) durch die Bauleitung vorgängig zu prüfen und freizugeben. Für die zu erwartenden Kompensationsmassnahmen für die Gewährleistung des Hangwasserdurchflusses sind entsprechende durchlässige Kies-Sand-Gemische der Baustelle zu zuführen.
- Der Endaushub sollte bei möglichst trockener Witterung und bei **trocken gehaltener Baugrube** erfolgen, um eine Durchnässung und Aufweichung der Baugrubensohle zu vermeiden. Nach dem Erreichen der Aushubtiefe ist die trocken gehaltene Sohle der Baugrube mit einer Sauberkeitsschicht aus Magerbeton abzudecken.

11 METEORWASSERVERSICKERUNG

- Gemäss Gewässerschutzgesetz muss anfallendes Meteorwasser nach Möglichkeit in den Untergrund versickert werden. Wie die in Kap. 4 beschriebenen Baugrundverhältnisse zeigen, setzen sich die obersten Zonen des Baugrundes aus fein- und mittelkörnigen Lockergesteinsschichten zusammen, die nur eine geringe Sickerfähigkeit (Versickerungsleistung $< 1 \text{ l/min}\cdot\text{m}^2$) besitzen. Darunter folgen kaum durchlässige Moränenablagerungen und der Molassefelsen.
- **Eine Versickerung des anfallenden Meteorwassers ist somit unter den oben beschriebenen Verhältnissen nicht möglich.**
- Als Alternative zu einer Meteorwasserversickerung muss das Ableiten der anfallenden Regenwassermengen in einen nahe gelegenen Vorfluter oder in das Meteor- / Kanalisationssystem überprüft 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 Regenwasserentsorgung (Richtlinie zur Versickerung, Retention und Ableitung von Niederschlagswasser in Siedlungsgebieten, VSA 2002, Update 2008) zu entnehmen.

12 GEOTHERMISCHE WÄRMEGEWINNUNG

Hinsichtlich der Nutzung geothermischer Energien bestehen für die Neubauten im vorliegenden geologischen Umfeld verschiedene Optionen:

- a) Grundwassernutzung
- b) Erdwärmesonden
- c) Energiepfähle



Abb. 3 Ausschnitt aus der Erdwärmekarte, Massstab 1:5'000. Kartengrundlage © Geo-information Kanton Luzern 2020. Grün: EWS zulässig. Hellgrün: EWS zulässig (Randgebiete Gewässerschutzbereich Au). Gelb: EWS zulässig mit Auflagen (bedingt nutzbares Grundwasser). Violett schraffiert: Kluftwasser möglich. Grün gestrichelt: Ungefäher Projektperimeter.

Grundwassernutzung

Das Projektgebiet befindet sich ausserhalb des nutzbaren Grundwasservorkommens (Kap. 6.2). Das vorhandene Hangwasservorkommen weist aufgrund dessen Heterogenität und bescheidener hydraulischer Durchlässigkeit keine relevante nutzbare Ergiebigkeit > 50 l/min auf, weshalb keine Chancen zur Realisierung einer thermischen Grundwassernutzung bestehen.

Erdwärmesonden

Gemäss der Erdwärmekarte des Kantons Luzern (Abb. 3) sind Erdwärmesonden im Projektgebiet zulässig und bewilligungspflichtig. Wenn auch diese Karte für den Bauperimeter nicht auf Kluftwasser hinweist, erachten wir wasserführende Kluftsysteme mit gespannten, im ungünstigen Fall artesisch gespannten Druckverhältnissen im Felsen durchaus als möglich (Kap. 6.1).

Aus unserer breiten Erfahrung können wir für die Dimensionierung charakteristische geothermische Werte (Wärmekapazität und -leitfähigkeit, geothermischer Gradient) sowie eine bohrtechnische Prognose des tieferen Felsuntergrundes bereitstellen. Die Verhinderung eines hydraulischen Kurzschlusses ist durch Einbringen von permanenten Verrohrungen, Packern oder Druckzementationen zu gewährleisten. Bei einer Ausschreibung ist auf den hohen Quarzgehalt der harten Sandsteine sowie auf mögliche artesisch Kluftwasser-Druckverhältnisse hinzuweisen. Es ist auch mit einzelnen, meist geringmächtigen, tektonisierten Zonen mit reduzierter Bohrlochstabilität zu rechnen. Die daraus resultieren-

den Risiken und Erschwernisse sind bei der Ausschreibung der Arbeiten zu berücksichtigen und bei der Wahl einer entsprechend qualifizierter Bohrunternehmung durchaus beherrschbar.

Energiepfähle

Falls die Gebäude auf Pfahlfundationen gegründet werden müssen, lassen sich die Pfähle mit HDPE-Rohren quasi als Erdwärmesonden bestücken und unter relativ geringen Mehraufwand realisieren. Energiepfähle wurden vielenorts erfolgreich realisiert. Die Ausführung von Energiepfählen im Gewässerschutzbereich A_u ist grundsätzlich zulässig. Es ist jedoch eine Bewilligung nach Artikel 32 GSchV erforderlich, d.h. dafür müssen entsprechende Nachweise zur Einhaltung der gesetzlichen Rahmenbedingungen erbracht werden.

Bivalente Nutzung

Falls sowohl Kühl- als auch Wärmeleistung gefragt ist, sollte unbedingt auch eine bivalente geothermische Nutzung überprüft werden. Dabei wird die Abwärme aus Kühlleistungen in den Untergrund gespeichert und bei Bedarf als Wärme wieder gefördert. Der Untergrund wirkt dabei als Wärme/Kältespeicher. Solche Systeme sind zwar kostenintensiver, längerfristig aber sehr effizient. Geothermische Diffusionsspeicher lassen sich auch im Lockergestein mit Energiepfählen realisieren (vgl. oben). Die Kühl- und Wärmeleistungen sind tendenziell höher als bei einfachen Energiepfählen. Ist die sommerliche Kühlleistung deutlich geringer als die winterliche Wärmeleistung, so lassen sich die Wärmedefizite sehr einfach durch Sonnenkollektoren – allenfalls kombiniert mit wassergekühlter Elektrovoltaik – decken.

Empfehlung

Werden Energiekonzepte mit erneuerbaren Energien angestrebt, was bei derartigen Investitionen längerfristig sinnvoll ist, so empfehlen wir auf Grund unserer breiten Erfahrung auch mit wegweisenden Grossprojekten, die nötigen Abklärungen – auch mit Behörden – rechtzeitig vorzunehmen und einen mit solchen Systemen vertrauten HLK-Planer beizuziehen. Für die Belange des zu nutzenden geologischen Untergrundes können wir unser breites Fachwissen aus unseren zahlreichen Projekten mit Wärmepumpen (Grundwasser und Erdwärmesonden) oder anderen Projekten wie D4 Root (grösster geothermischer Diffusionsspeicher⁷), Geothermiebohrung Weggis (mit 2.3 km tiefste Erdwärmesonde der Schweiz) einbringen. Auf Wunsch stellen wir gerne unsere Referenzen, Forschungsarbeiten für den Bund sowie Publikationen zusammen.

⁷ http://www.geothermie.de/geothermie_ch/nr31/unternehmens.htm
http://www.angewandte-geologie.ch/Dokumente/Archiv/Vol12_1/121_5Keller.pdf

13 KENNTNISSTAND UND EMPFEHLUNGEN FÜR OBJEKTSPEZIFISCHE BAUGRUNDSONDIERUNGEN

Der vorliegende Vorbericht stützt sich auf bestehende Aufschlüsse und Baustellenerfahrungen in der Umgebung der Bauparzellen. Um die Baugrundrisiken sowie die erkannte Asymmetrie (Kap. 4) besser zu beherrschen und um die notwendigen Bemessungsgrundlagen für Baugruben und Foundation zu bestimmen, werden für zukünftige Projektstufen objektspezifische Baugrundsondierungen erforderlich sein.

- Im Vordergrund einer Erkundung stehen **Sondierbohrungen mit Piezometern** bis in den Felsen (Verifikation der Mächtigkeit und der Durchlässigkeitseigenschaften der unterschiedlichen Lockergesteine und der Baugrundklasse, Prognose Pfahllängen, direkter Aufschluss der heterogenen Lockergesteine im Bereich der projektierten Foundationen etc.).
- Für die Verifikation der lokalen Hangwasserverhältnisse empfehlen wir, in neuen **Piezometern** innerhalb und ausserhalb des Bauvorhabens (Vorinvestition für Grundwasserüberwachung) den **Hangwasserspiegel kontinuierlich aufzuzeichnen**.
- Aufgrund aushub- und entsorgungsrechtlicher Aspekte (Kap. 5) empfehlen wir, zu Beginn der Aushubarbeiten die Ausführung von Vorsondagen (**Baggersondierungen, ev. Rammkernsondierungen**) inkl. Beprobung und Feststoffanalytik.

14 ÜBERWACHUNG UMGEBUNG WÄHREND TIEFBAUARBEITEN

- Um mögliche Auswirkungen der Tiefbauarbeiten auf nahe gelegene Bauwerke festhalten zu können, empfehlen wir, in einem Perimeter von min. 25 m um das Baugelände vorgängige **vorsorgliche Beweisaufnahmen** (Rissprotokolle, Fotos und Kanalferschaufnahmen). Insbesondere für direkt angrenzende und vulnerable Kunstbauten, Gebäude 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 unbedingt zu berücksichtigen.
- Vor Baubeginn ist bei allfälligen empfindlichen Bauten und am eigenen Bau ein Netz von **Höhenmesspunkten** einzurichten, um so mögliche Gelände- und Gebäudebewegungen frühzeitig und sicher erkennen zu können. Dieses Netz ist mindestens einmal vor und während kritischer Bauphasen einzumessen.
- Im Zusammenhang mit Lastwagentransporten und bei Spundwandarbeiten sind Erschütterungen zu erwarten. Bei nachbarschaftlich empfindlichen Verhältnissen ist die Überwachung mit **Erschütterungsmessungen** zu empfehlen.
- Eine langanhaltende Absenkung der Hangwasseroberfläche ausserhalb der Baugrube unter den Tiefstand ist zur Vermeidung von Setzungen an umliegenden, empfindlichen

Gebäuden, Vorplätze und Werkleitungen zu verhindern (Kap. 6.3.1). Um allfällige Absenkungen im Einflussbereich der Baugrube möglichst frühzeitig zu erkennen, sollten bei den geplanten tiefen Einbauten unter dem Niederwasserstand die Grund- oder Hangwasserspiegel in der näheren Umgebung des Bauvorhabens vor und während den Bauarbeiten überwacht werden (**Grundwasserüberwachung**).

Keller + Lorenz AG

Geotechnik Geologie Hydrogeologie
Naturgefahren Altlasten



Markus Ehrler



Dr. Beat Keller

Sachbearbeitung:

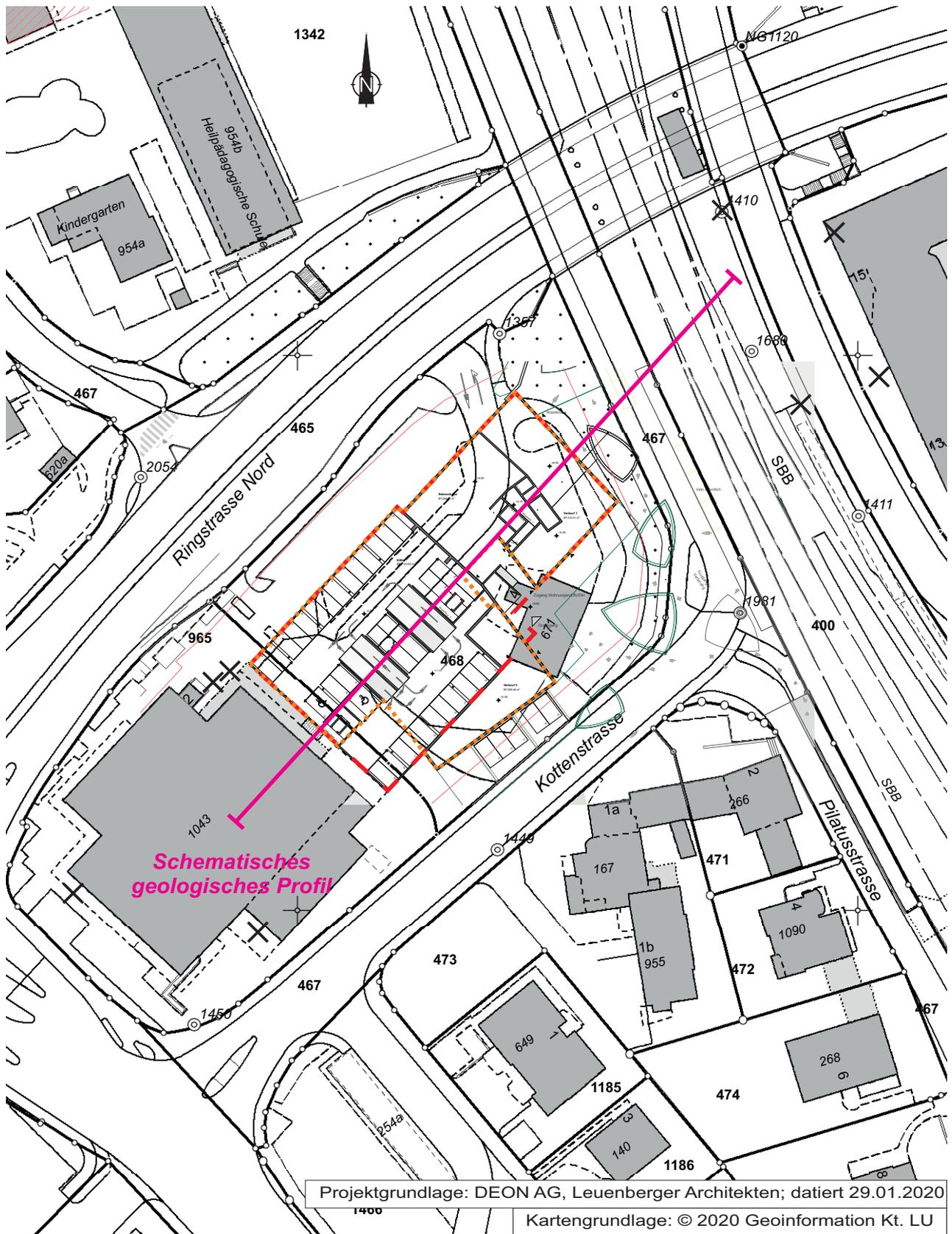
Geologie: E. Strassmann, Dr. B. Keller

Hydrogeologie / Naturgefahren: E. Strassmann, I. Schwenk

Geotechnik: M. Ehrler

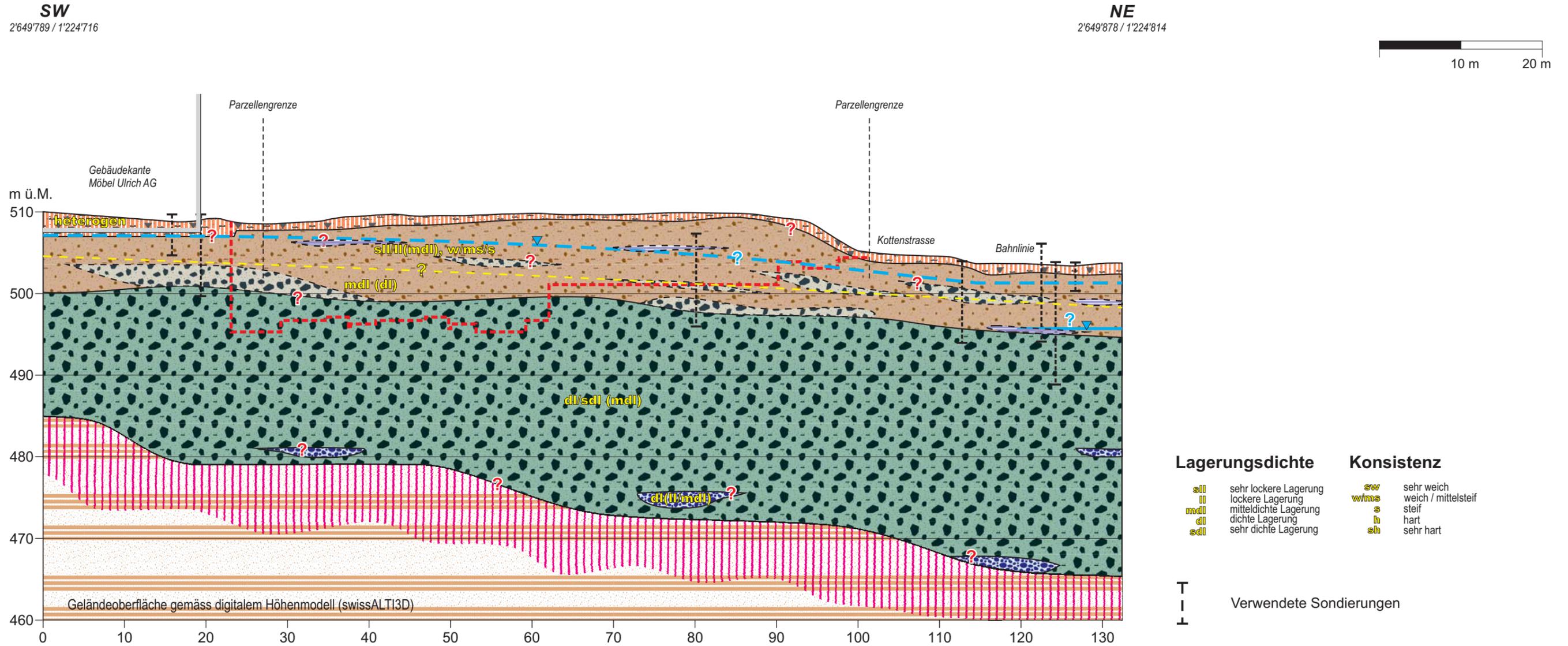
Grafische Auswertungen: E. Strassmann

Review / Qualitätssicherung: Dr. B. Keller



Schematisches geologisches Profil

1 : 500 / 500



Legende

Künstliche Auffüllungen
 Unterschiedlich siltige Kies-Sand-Gemische mit variablem Anteil an Steinen, Blöcken und tw. organischen Beimengungen sowie Fremdstoffen. Heterogene Lagerung.

Hangsedimente (umgelagerte Moränenablagerungen mit Murgang- und Schwemmfächerablagerungen sowie mit Teichablagerungen)
 Komplexe, im Detail nicht bekannte Wechselschichtung (schematisch dargestellt). Die Matrix besteht aus unterschiedlich siltigem Sand mit variablem Anteil an Kies und tw. organischen Beimengungen. Darin befinden sich zufällig verteilte Zwischenschichten aus fast sauberen bis unterschiedlich siltigen Kies-Sand-Gemischen mit variablem Anteil an Steinen und möglichen Blöcken. Ausserdem kommen Zwischenschichten aus unterschiedlich tonigem Silt und unterschiedlich siltigem Sand, tw. laminiert, vor. Sehr locker bis locker, schichtweise mitteldicht gelagert, oder weiche bis steife Konsistenz, unterhalb der gelb gestrichelten Linie vorwiegend mitteldicht, schichtweise dicht gelagert.

Moränenablagerungen
 Unterschiedlich siltiger Sand mit variablem Anteil an Kies (matrixgestützt), Steinen und Blöcken (Findlinge, tw. nestartig angehäuft), meist Diamiktite, dicht bis sehr dicht gelagert (basal überkonsolidiert, vorbelastet). Zwischenschichten (sog. **Eskerablagerungen***) aus fast sauberem bis leicht siltigem Sand mit variablem Anteil an Kies und Steinen, mitteldicht gelagert.

Felsen der Oberen Süsswassermolasse
 Wechsellagerung aus mehrere Meter mächtigen Sandsteinbänken einerseits sowie bankigen Wechselschichtungen aus Silt- und Schlammsteinen sowie dünneren Sandsteinbänken andererseits. Oberflächennahe Verwitterungszone (rot schraffiert, schematisch). Effektives Schichtfallen ca. 3 bis 6° nach SE.

Grundwasservorkommen

Hangwasseroberfläche (schematisch)
 Insbesondere nach starken und/oder langanhaltenden Niederschlägen ist mit einer Porenwassersättigung bis in den Bereich der bestehende Geländeoberkante zu rechnen.

Grundwasseroberfläche des Talgrundwasserleiters (schematisch)
 (vgl. Text im Gutachten)

Ausgehend von der dargestellten, lediglich abgeschätzten mittleren Lage der Felsoberfläche ist mit einer kleinräumigen, kaum prognostizierbaren Reliefamplitude von ca. ± 2 bis 4 m zu rechnen.

Ungefähre Lage Gebäudeunterkante

Unsichere Prognose:
 Durch Sondierungen zu verifizieren!

