

UMSETZUNG MASTERPLAN LUZERN NORD: REUSSBÜHL OST
GEOLOGISCH-GEOTECHNISCHER VORBERICHT
(STUFE MACHBARKEITSSTUDIE)

**Baugrundverhältnisse, Baugrubenabschluss
und Foundation**

Objekt	Umsetzung Masterplan Luzern Nord: Reussbühl Ost		
Auftraggeber	Stadt Luzern, Stadtentwicklung, Hirschengraben 17, 6002 Luzern		
Koordinaten	664'000 / 213'190	Auftragsnummer	14 5365
Ort, Datum	Luzern, 14. November 2014 VB/EL/BK/vb/el		

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Auftrag	2
2	Grundlagen	2
3	Durchgeführte Arbeiten	3
4	Geologische Verhältnisse	3
	4.1 Übersicht	3
	4.2 Lockergesteine	3
	4.3 Felsen der Oberen Süsswassermolasse	4
5	Hydrogeologische Verhältnisse	5
	5.1 Lokale Grundwasserverhältnisse	5
	5.2 Gewässerschutz	6
6	Naturgefahren	7
	6.1 Hochwassergefährdung	7
	6.2 Erdbebengefährdung	8
7	Geotechnische Grundlagen und Risiken	9
	7.1 Geotechnische Eigenschaften der Locker- und Festgesteinen	9
	7.2 Bautechnische Folgerungen / geotechnische Risiken	11
8	Erste geotechnische Folgerungen	12
	8.1 Foundationen	12
	8.2 Baugruben.....	12
	8.3 Allgemeine Hinweise zu Erdarbeiten	13
9	Geothermische Wärmegewinnung	13
10	Meteorwasserversickerung	16
11	Objektspezifische Baugrundsondierungen	17

Anhang

Anhang 1	Situation mit Projektperimeter und Lage der geologischen Profile, Situation 1:1'500.
Anhang 2	Schematische geologische Profile 1:1'000 / 1'000.
Anhang 3	Variantenvergleich mit Aufzeigen der Risiken der möglichen, dichten Baugrubensicherungen.

1 EINLEITUNG UND AUFTRAG

Als Grundlage für die Phase Bebauungspläne sollen auf *Stufe Machbarkeitsstudie* die örtlichen geologischen-hydrogeologischen Verhältnisse sowie erste geotechnische Folgerungen für den Projektperimeter Reussbühl Ost untersucht und ausgewertet werden.

Unser Büro wurde von der Stadt Luzern, Stadtentwicklung beauftragt, die **lokalen geologischen, hydrogeologischen und geotechnischen Verhältnisse** an Hand bestehender Baugrundsondierungen, unserer Erfahrungen sowie allgemeinen Kenntnisse der geologischen Verhältnisse im Bereich Reussbühl Ost zu beschreiben. Für spätere Projektphasen (Vor- / Bauprojekt) sind je nach Fragestellungen und Ansprüchen der Fachplaner stufengerechte objektspezifische Baugrundsondierungen im Bereich der Bauvorhaben vorzusehen (vgl. Kap. 11). Die Ziele des vorliegenden Vorberichts auf *Stufe Machbarkeitsstudie* sind:

- Beschreibung der geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse.
- Erste Angaben über allfällige Belastung des Standorts.
- Angaben zu Naturgefahren (Erdbebensicherheit, Hochwasser).
- Erste Angaben der geotechnischen Kennwerten und Risiken.
- Erste generelle Angaben über geotechnische Folgerungen bezüglich Foundationen, Baugrubenausbildungen, tiefe Einbauten und Aushubarbeiten.
- Angaben über Möglichkeit der Meteorwasserversickerung sowie der geothermischen Wärmegegewinnung.
- Empfehlungen für ergänzende, objektspezifische Baugrundsondierungen.

2 GRUNDLAGEN

Die Ausarbeitung der vorliegenden geotechnischen Beurteilung basiert auf folgenden Grundlagen:

Geologie / Hydrogeologie / Baugrund

- AMT FÜR UMWELTSCHUTZ (1998): Gewässerschutzkarte des Kantons Luzern 1 : 25'000. Blatt 1150 Luzern.
- MENGIS+LORENZ AG, LUZERN (2006): Gefahrenkarte Littau.
- MENGIS+LORENZ AG, LUZERN (2007): K 13 Knoten Emmen/Littau (Seetalplatz), geologisch-geotechnischer Vorbericht Nr. 07.4275 vom 27. April 2007.
- KANTON LUZERN, DIENSTSTELLE LANDWIRTSCHAFT UND WALD LAWAL (2008): Richtlinien zur Erstellung digitaler Gefahrenkarten, Version 2.1.
- KELLER+LORENZ AG, LUZERN: Diverse Aufschlüsse und Sondierungen aus unserem Archiv.

3 DURCHGEFÜHRTE ARBEITEN

Für die erste Phase wurden für den vorliegenden Bericht die geologisch-geotechnischen Grundlagen in folgenden Arbeitsschritten erarbeitet:

<i>vorbereitende Arbeiten / Data-Mining</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Grundlagenstudium. • Archivarbeiten und Aktenstudium. • Zusammenstellung und Erfassung relevanter Unterlagen, Sondierungen und Aufschlüsse.
<i>Auswertungen / Erstellung von zwei geologischen Profilen</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Auswertung vorhandener Unterlagen. • Darstellung der Ergebnisse in einem geologischen Baugrundmodell an zwei geologischer Profile.
<i>Berichtverfassung</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Generelle Erläuterungen der geologisch-geotechnischen Verhältnisse. • Erläuterung bautechnisch kritischer Bereiche. • Aufzeigen relevanter Kenntnislücken. • Vorschläge für weiterführende Untersuchungen.

Aus den verschiedenen Archiven wurden sämtliche bekannten, wesentlichen Gutachten zusammengetragen und daraus die Sondierungen und Aufschlüsse extrahiert. Die so erhaltenen Kenntnisse der geologischen Verhältnisse wurden in das geologische Prognoseprofil integriert. Anschliessend wurden die Daten unter Berücksichtigung der Originalgutachten interpretiert und als geologisch-geotechnisches Modell dargestellt.

4 GEOLOGISCHE VERHÄLTNISSE

4.1 ÜBERSICHT

Nördlich der Hauptstrasse liegt im Strömungsschatten von Reuss und Kl. Emme ein Gebiet, in dem feinkörnige Schwemmsedimente mit Tümpel- und mächtigeren Torfablagerungen sedimentiert wurden. Diese grenzen N und NE der Hauptstrasse an grobkörnige Schotter der zentralen Talfüllung der Kl. Emme und der Reuss.

Die generellen Baugrundverhältnisse lassen sich im Bereich des Projektperimeters aufgrund der allgemeinen Geologie sowie unserer breiten Erfahrungen aus umliegenden Objekten beschreiben (vgl. Anhang 2).

4.2 LOCKERGESTEINE

- In den obersten Zonen des Baugrunds stehen teils mächtigere **künstliche Aufschüttungen** (Kofferung, Geländeschüttungen und -anpassungen) an, die in Zusammenhang mit der Urbanisierung eingebracht wurden. Die sehr heterogenen künstlichen Auffüllungen setzen sich generell aus heterogen gelagerten, fast sauberen Kies-Sand-

Gemischen mit Steinen, sowie aus siltigen bis tonigen Sanden mit wenig bis reichlich Kies und Steinen (matrixgestützt), Blöcken und lokal mit organischen Beimengungen sowie Fremdstoffen zusammen. Es ist möglich, dass die Unterkante diese künstlichen Auffüllungen in Folge von Grundbrüchen sehr variabel mit erheblichem Relief ist. *Ein Eintrag im Kataster der belasteten Standorte (KbS) liegt nicht vor.*

- Darunter folgen setzungsempfindliche, sehr locker bis locker gelagerte oder weiche **Überschwemmungs-** und Teichablagerungen. Diese bestehen aus tonigem Silt, siltigem Feinsand und Sand, z.T. mit wenig Kies und vielen organischen Beimengungen (ev. Baumstämme). Örtlich sind *dezimeter- bis metermächtige Einlagerungen aus Torf* vorhanden. Diese sind insbesondere im SW-Bereich (im Bereich der Hauptstrasse) des Projektgebiets in den der Reuss abgewandten Bereichen ausgeprägt. Die Mächtigkeit der Überschwemmungs- und Teichablagerungen ist lokal sehr variabel und beträgt zwischen ca. 1 m bis 10 m.
- Gegen NW zum Reusszopfweg hin verzahnen diese Überschwemmungs- und Teichablagerungen mit den **Flussschottern** der Reuss und der Kleinen Emme oder werden von diesen erosiv angeschnitten. Diese Flussschotter bestehen überwiegend aus dicht bis sehr dicht gelagertem, unterschiedlich siltigem Kies mit unterschiedlichen Sandanteilen und lageweise gerundeten Steinen und Blöcken (Emmenbollen) sowie locker bis lokal dicht gelagerten siltigen Sanden mit Kies. Die Flussschotter stehen ab ca. 2 m bis 4 m unter der bestehenden Geländeoberkante an und besitzen eine unregelmässige Oberfläche mit Senken und Mulden.
- Die Flussschotter und die Schwemmsedimente werden meist unterlagert von **Moränenablagerungen**, die insbesondere basal aus vorbelasteten, dicht bis sehr dicht gelagerte tonig-siltigem Sand mit variablem Anteil an Kies, Steinen und Blöcken bestehen (Grundmoränen). Die Moränenablagerungen reichen bis auf die Felsoberfläche und weisen sehr variable Mächtigkeiten zwischen ca. 0.5 m bis 5 m.
- Der an Silt- und Schlammsteinen reiche **Felsen** der Oberen Süsswassermolasse steht je nach Örtlichkeit in Tiefen zwischen ca. 5 m bis 15 m unter der bestehenden Geländeoberfläche an.

4.3 FELSEN DER OBEREN SÜSSWASSERMOLASSE

- Der an den Talflanken teilweise an der Oberfläche aufgeschossene Felsuntergrund wird im Gebiet von Reussbühl-Emmenbrücke der **Oberen Süsswassermolasse** zugerechnet. Aus tektonischer Sicht gehört die Obere Süsswassermolasse im Gebiet von Emmenbrücke zur Übergangszone zwischen aufgerichteter subalpiner und flachliegender Mittelländischer Molasse. Das Schichtfallen beträgt beim Reusszopf etwa 12° und bei den Brücken Seetalplatz etwa 5° gegen NNW.
- Während im südlichen anschliessenden Hügelgebiet noch Sandsteine und Konglomerate (Nagelfluh) dominieren, stehen im Untergrund des Tals der Kleinen Emme und im

Emmener Reusstal vorwiegend **Silt- und Schlammsteine mit einzelnen Sandstein-Bänken** an.

- Der Fels ist in den obersten 2 m bis 10 m der Verwitterungszone des Felsen generell stark verwittert und entfestigt und hat oberflächennah teilweise lockergesteinsähnliche Eigenschaften. Die Felsoberfläche ist gewellt und weist ein lebhaftes, kleinräumiges Relief von ca. ± 2 m auf.
- Die **Silt- und Schlammsteine sind meist tiefgründig verwittert**, was sich in bedeutender Entfestigung und Verlehmung äussert. Die Verwitterungszone des Felsen greift darin besonders entlang wasserführender Klüfte bis mehrere Meter, im Extremfall bis einige Dekameter unter die Felsoberfläche hinab, so dass im Bereich der Verwitterungszone des Felsen mit unterschiedlich stark verwitterten und entfestigten Gesteinen zu rechnen ist.
- Wegen der Kluft- und Verwitterungsporosität ist die Verwitterungszone des Felsen meist kluftwasserführend, wobei sich das Kluftwasser vor allem in den offenen Klüften von Sandsteinen ausbreitet.

5 HYDROGEOLOGISCHE VERHÄLTNISSE

5.1 LOKALE GRUNDWASSERVERHÄLTNISSE

Im Überblick können die verschiedenen geologischen Einheiten im Bereich des Bauareals hydrogeologisch wie folgt charakterisiert werden:

- Der **Felsuntergrund** verhält sich gegenüber dem Lockermaterial als **Grundwasserstauer**.
- Die „**Moränenablagerungen**“ wirken generell als **Grundwasserhemmer bis –stauer**.
- Die **Schotter** der Reuss und der Kleinen Emme bilden den eigentlichen **Grundwasserleiter** hoher bis sehr hoher Durchlässigkeit.
- Die **Überschwemmungs- und Teichablagerungen** besitzen eine schwache Durchlässigkeit und wirken als **Grundwasserhemmer**.

Bei Wasseransammlungen innerhalb der künstlichen Auffüllungen handelt es sich um lokal begrenzte, meist **schwebende Grundwasservorkommen**. Insbesondere nach bedeutenden Niederschlägen sind im Projektperimeter begrenzte Wasserzirkulationen innerhalb dieser schwebenden Grundwasservorkommen möglich.

Vom NW her strömt das Grundwasser vom Talgrundwasserleiter der Kleinen Emme dem Projektperimeter zu. Dazu gesellt sich Hangwasser, das von den südlichen und südwestlichen Flanken der Geländekammer her zuströmt. Auf Grund der vorwiegend schwachen

Durchlässigkeit der Überschwemmungs- und Teichablagerungen ist das Gebiet im Bereich der Hauptstrasse und Pfisternweg einem **Grundwassergeringleiter** zuzuordnen.

Aufgrund von aktuellen Grundwasserspiegelmessungen aus benachbarten Messstellen lässt sich der **Schwankungsbereich des Grundwasserspiegels innerhalb des Grundwassergebiets** als erste Abschätzung gemäss Tab. 1 angeben.

	Grundwasserstand NW [m ü.M.]	Grundwasserstand NE [m ü.M.]	Grundwasserstand SE [m ü.M.]
Hochwasserstand	ca. 432.0 – 432.6	ca. 431.6 – 432.1	ca. 431.6 – 433.3
Mittelwasserstand	ca. 431.0 – 432.0	ca. 430.3 – 430.8	ca. 430.2 – 432.0
Niedrigwasserstand	ca. 430.5 – 431.5	ca. 429.5 – 430.2	ca. 429.5 – 430.8

Tab. 1 Abschätzter Schwankungsbereich des Grundwasserspiegels.

Der Flurabstand des Mittelwasserstandes beträgt im nordwestlichen Randbereich (Zollhus / Pfisternweg) somit zwischen ca. 3 bis 4 m, im nordöstlichen sowie südöstlichen Randbereich ca. 2 bis 3 m. Die in Tab. 1 als erste Abschätzung angegebenen Knoten sind mit einer kontinuierlichen Aufzeichnung der Druckspiegel in bestehenden und neu zu erstellenden Piezometern über einen möglichst langen Zeitraum zu verifizieren. Bei extremen Niederschlägen, bzw. bei Hochwasserereignissen ist mit einer Wassersättigung der Lockergesteine bis zur heutigen Geländeoberkante (vgl. Kap. 6.1) zu rechnen.

5.2 GEWÄSSERSCHUTZ

Gemäss der Gewässerschutzkarte des Kantons Luzern, Blatt 1150 Luzern (Ausgabe 1.4.2003) liegt das Bauvorhaben im **Gewässerschutzbereich A_u**.

Bauten und Bauteile (z.B. Pfähle, Baugrubenabschluss), die in dieser Zone bis in das Grundwasser reichen, bedürfen einer **gewässerschutzrechtlichen Bewilligung der kantonalen Dienststelle für Umwelt und Energie** (uwe), für die ein separater hydrogeologischer Unbedenklichkeitsbericht dem Baugesuch beigelegt werden muss. Für den Bereich Hauptstrasse und Pfisternweg ist speziell zu beachten, dass es sich beim Gewässerschutzbereich A_u (kantonale Zuständigkeit) gemäss der von uns revidierten Grundwasserkarte (2013) um einen Grundwassergeringleiter handelt, der *als nicht nutzbar einzustufen ist*.

Grundsätzlich ist sicherzustellen, dass durch den Eingriff eines Bauvorhabens in die Grundwasservorkommen **keine negative quantitative und qualitative Beeinflussung** der Grundwasserverhältnisse erfolgt. Dies ist insbesondere bei grossflächigen Einbauten wie z.B. Untergeschosse oder verbleibende Baugrubenabschlüsse unterhalb des Grundwasserspiegels durch bauliche Massnahmen (z.B. Umströmung / -sickerung mittels

durchlässigen Kies-Sand-Materials im Hinterfüllungsbereich und unter der Bodenplatte) und eine zweckmässige Grundwasserüberwachung durch die Planer sicherzustellen.

6 NATURGEFAHREN

6.1 HOCHWASSERGEFÄHRDUNG

Gemäss der Gefahrenkarte Littau ist der Grossteil des Projektgebiets **heute** von einer **geringen bis erheblichen Gefährdung durch Wasserprozesse** (gelbe/rote Gefahrenstufe) betroffen (vgl. Abb. 1).

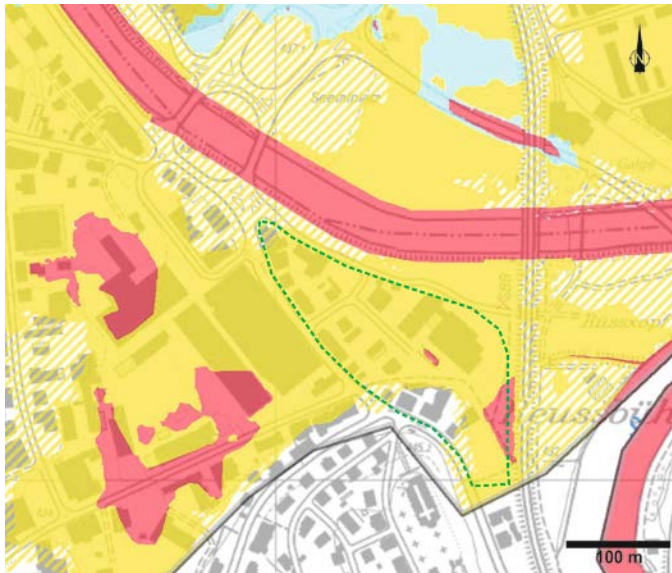


Abb. 1 Ausschnitt aus der Gefahrenkarte Wasser. Kartengrundlage © Geoinformation und Vermessung Kanton Luzern 2014. Die gelbe Signatur steht für eine geringe Gefährdung durch Wasserprozesse, rote Flächen für eine erhebliche Gefährdung und gelb schraffierte Flächen für eine Restgefährdung. Grün gestrichelt markiert ungefähre Lage des Projektperimeters.

Aufgrund der zugehörigen Intensitätskarten sind sehr seltene (Wiederkehrperiode 100 bis 300 Jahre) Ereignisse mit mittlerer (Zone Gelb) bis starker Intensität (Zone Rot) zu erwarten. Die mittlere Intensitätsstufe ist durch Fliesshöhen h von 0.5 m bis 2.0 m oder das Produkt von Fliessgeschwindigkeit v und der Fliesshöhe h von $0.5 \text{ m}^2/\text{s}$ bis $2.0 \text{ m}^2/\text{s}$ festgelegt. Bei der starken Intensität steigen diese Obergrenzen definitionsgemäss über 2 m bzw. $2 \text{ m}^2/\text{s}$ an.

Aus diesen Intensitäts-Häufigkeitskombinationen resultiert die **geringe** bis lokal in Geländemulden (z.B. hinter SBB-Bahndamm) **erhebliche Gefährdung**, weshalb sich das Projektgebiet teilweise in einem **Gefahren-Verbotsbereich (Zone Rot)** befindet. Dort besteht grundsätzlich ein Bauverbot. Neueinzonungen sind nicht möglich. Bei geringer Gefährdung (Zone Gelb) werden im Bau- & Zonenreglement entsprechende minimal abgestimmte Objektschutzmassnahmen empfohlen (Gefahren-Hinweisbereich).

Das relevante Gefährdungsbild besteht hauptsächlich durch die **dynamische Überschwemmung**, jedoch mit geringen Fliessgeschwindigkeiten. Dabei ist unbedingt der hydrostatische Druck auf die wasserdichte Gebäudehülle zu berücksichtigen. Es kann davon ausgegangen werden, dass sich der Bodenkörper während der Überschwemmung vollständig sättigt, weshalb der hydrostatische Druck auf die Bodenplatte **auftriebswirksam** ist.

Bei der Gebäudebemessung ist der durch aus der Überflutungshöhe resultierende **Auftriebsdruck** zu berücksichtigen, wobei genauere Angaben über die massgebende Überflutungshöhe sowie allfällige Änderungen durch die Umgestaltung des Seetalplatzes beim Verfasser der Prozessgefahrenkarte Wasser einzuholen sind.

Grundsätzlich sind die zu erwartenden Schäden an Bausubstanzen selber gering und Personen sind kaum gefährdet. Durch Überschwemmungen können jedoch auch bei geringer Intensität ganze Kellergeschosse oder Tiefgaragen unter Wasser gesetzt werden, woraus **erhebliche Sachschäden** und gegebenenfalls auch Personenschäden entstehen können.

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

- Geeignete Anordnung von Koten von Erdgeschoss.
- Erhöhung von Eingängen, Kellerfenstern, Lichtschächten oder ähnlichen Gebäudeöffnungen (Leitungseinführungen).
- Dammschüttungen, Stellplatten oder Gegensteigungen bei Tiefgaragen-Einfahrten.
- Erstellung eines Notfallkonzeptes.

Diesbezüglich sei festgehalten, dass sich die beschriebene Gefährdungssituation nach Realisation der Hochwasserschutzmassnahmen der Kl. Emme ändern wird, was bei der künftigen Planung zu berücksichtigen ist.

6.2 ERDBEBENGEFÄHRDUNG

Der **Erdbebensicherheit** ist je nach Gefährdungsbild eine angemessene Priorität zuzuordnen. Nach SIA 261 (Ausgabe 2003) 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 2003) festzulegen.
- Hinsichtlich der **Erdbebengefährdungszonen** wird das Gebiet Seetalplatz nach Karte SIA261 (2003) der Zone 1 mit Beschleunigungswerten 0.6 m/s^2 zugeschlagen.
- Gemäss der Karte der Baugrundklassen wird das Projektgebiet **Baugrundklasse E** eingestuft, da die Beckenfüllung grundsätzlich aus Ablagerungen der Klassen C/D in einer Gesamtmächtigkeit von zwischen etwa 5 m bis 20 m besteht.

7 GEOTECHNISCHE GRUNDLAGEN UND RISIKEN

7.1 GEOTECHNISCHE EIGENSCHAFTEN DER LOCKER- UND FESTGESTEINEN

Auf Grund der Aufschlüsse durch die vorhandenen Sondierungen sowie unserer Erfahrungen wurde den für Abschnitt Reussbühl West ein erstes Baugrundmodell erstellt, das als Grundlage für die Vordimensionierung sowie für die Konzipierung des Baugruben- und Fundationskonzepts dienen soll.

Einheit	Beschreibung	Feucht- raum- gewicht	Raumge- wicht unter Auftrieb	Winkel der inne- ren Rei- bung	Kohäsion	Durch- lässig- keit	M _E -Wert (M _E '-Wert)
		γ_e [kN/m ³]	γ [kN/m ³]	ϕ' [°]	c [kN/m ²]	k [m/s]	[MN/m ²]
<i>Künstliche Auffüllungen</i>	Fast saubere Kies-Sand-Gemischen mit Steinen, sowie siltige bis tonige Sande mit wenig bis reichlich Kies und Steinen (matrixgestützt), Blöcken und lokal mit organischen Beimengungen sowie Fremdstoffen. Heterogene Lagerung	19.0 ± 1.0	-	32 ± 2	0*)	x·10 ⁻³ ÷ x·10 ⁻⁶	8 ÷ 30 (24 bis 60)
<i>Überschwe- mmungs- und Teich- ablagerun- gen</i>	Toniger Silt bis siltiger Feinsand und Sand, z.T. mit wenig Kies und vielen organischen Beimengungen. Sehr locker bis locker gelagert oder weiche Konsistenz.	18.5 ± 1.0	9.0 ± 1.0	28 ± 2	0*)	x·10 ⁻⁵ ÷ x·10 ⁻⁷	3 ÷ 8 (9 bis 24)
	Torf	11.5 ± 0.5	2.0 ± 0.5	16 ± 1	0	x·10 ⁻⁴ ÷ x·10 ⁻⁷	0.1 ÷ 1 (0.3 bis 3)
<i>Flussschot- ter</i>	Unterschiedlich siltiger Kies mit unterschiedlichen Sandanteilen und lageweise gerundeten Steinen und Blöcken (Emmenbollen). Dicht bis sehr dicht gelagert.	21.5 ± 0.5	11.5 ± 0.5	35 ± 2	0	x·10 ⁻² ÷ x·10 ⁻⁴	25 ÷ 60 (>60)
	Zwischenschichten aus siltigem Sand mit Kies. Locker bis lokal dicht gelagert.	19.5 ± 0.5	10.0 ± 0.5	30 ± 2	0	x·10 ⁻³ ÷ x·10 ⁻⁵	10 ÷ 30 (30 ÷ 60)
<i>Moränenab- lagerungen / Moräne</i>	Unterschiedlich tonig-siltige Sand- bis Kies-Sand-Gemische mit variablem Anteil an Kies, Steinen und Blöcken. Dicht bis sehr dicht gelagert.	20.5 ± 0.5	-	34 ± 2	0*)	x·10 ⁻⁵ ÷ x·10 ⁻⁸	30 ÷ 80 (> 60)

Einheit	Beschreibung	Feucht- raum- gewicht	Raumge- wicht unter Auftrieb	Winkel der inne- ren Rei- bung	Kohäsion	Durch- lässig- keit	M _E -Wert (M _E '-Wert)
		γ_e [kN/m ³]	γ [kN/m ³]	ϕ' [°]	c [kN/m ²]	k [m/s]	[MN/m ²]
Verwitterter Fels der Oberen Süsswas- sermolasse	Entfestigte Sandsteine.	23 ± 1.0	-	32 ± 1 Schichtfu- gen tw. <25°	50 ± 30 Trennflä- chen tw. 0	x·10 ⁻⁴ ÷ x·10 ⁻⁵	> 100.
	Entfestigte Silt- und Schlammsteine.	22 ± 1.0	-	23 ± 2 Schichtfu- gen tw. <20°	30 ± 25 Trennflä- chen tw. 0	x·10 ⁻⁶ ÷ x·10 ⁻⁷	50 ÷ 100

*) Scheinkohäsion.

Tab. 2 Tabellarische Zusammenstellung der geotechnischen Kennwerte der verschiedenen geologischen Einheiten.

- Die zugehörigen charakteristischen Bodenkennziffern (X_k) beruhen lediglich auf Abschätzungen und müssen durch ergänzende Baugrunduntersuchungen (vgl. Kapitel 11) und gegebenenfalls durch zusätzliche aufgabenspezifische Laboruntersuchungen ergänzt werden. Der angegebene Wert gilt als vorsichtiger Erfahrungswert und kann 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) festzulegende 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).
- Wichtig ist, dass der Schichtstapel schichtweise eine höhere horizontale Durchlässigkeit als die vertikale aufweist, woraus im Grundwasserkörper im Bereich der Überschwemmungs- und Teichablagerungen auch **schichtweise gespannte Druckverhältnisse** resultieren.
- An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass die verbreiteten unterschiedlichen siltigen Sande eine deutliche **trägerische Scheinkohäsion** besitzen, die insbesondere bei Durchnässung entfällt und rasch zu einer Entfestigung und Verschlämmung führt.

7.2 BAUTECHNISCHE FOLGERUNGEN / GEOTECHNISCHE RISIKEN

- Eine Absenkung des Grundwasserspiegels ausserhalb von Baugruben unter den natürlichen Niedrigwasserstand sowohl während der Bauphase als auch im Nutzungszustand ist insbesondere im Bereich der setzungsempfindlichen Überschwemmungs- und Teichablagerungen mit vorhandenen Torfschichten **mit hohen Risiken von unzulässigen Setzungen verbunden**. Dies kann zu Setzungsschäden ausserhalb der Bauvorhaben an bestehenden, insbesondere flachfundierten Bauten (SBB, Werkleitungen, Strasse, Gebäude, Vorplätze, Aufschüttungen) führen, die nicht bis auf die Moränenablagerungen oder den Felsen reichen. Eine dauerhafte Grundwasserabsenkung unter den natürlichen Niedrigwasserstand ist daher grundsätzlich zu unterlassen.
- Bautechnisch bedeutsam ist der im Bereich der Überschwemmungs- und Teichablagerungen **setzungsempfindliche Baugrund**. Relevant sind die kurz- und längerfristigen **Setzungsverhalten** sowohl primärer als auch längerfristiger sekundärer Natur sowie das langfristige Kriechverhalten (Zersetzung von Torf). Die daraus vorhersehbaren differenziellen Setzungen bei flachfundierten Bauten oder zwischen tieffundierten Gebäuden und flachfundierten Infrastrukturanlagen verdienen eine hohe Beachtung. Schadensvorbeugende Massnahmen bei bestehenden Bauten wie z.B. Verstärkungsmassnahmen / Unterfangungen sind je nach Wahl der Bauverfahren sowie der Fundation und Zustand der bestehenden Bauten zu prüfen. Bei zu hohen punktförmigen Belastungen bestehen örtlich überdies erhebliche **Grundbruchrisiken**.
- Alle sandigen Ablagerungen (sauberer bis siltiger Feinsand) sind bei den schichtweise gespannten Druckverhältnissen im Bereich der Schwemmsedimente als **grundbruchempfindlich** einzustufen (vgl. Kap. 7.1). Dies gilt sowohl für Baugruben und tieferen Werkleitungsgräben als auch für Tiefenfundationen (Bohrpfähle). Mit **Bohr- und Rammhindernissen** (sehr dicht gelagerte Moränenablagerungen, Blöcke, ev. Baumstämme) und organischreichen Zwischenschichten (dezimetermächtige Torfschichten) muss gerechnet werden. Entsprechende Erschwernisse sind bei den Aushub- und Bohr- und Rammarbeiten einzurechnen.
- Die erdberührten Geschosse empfehlen wir als **dichte Wanne** auszubilden. Die Bauteile sind in diesem Falle bezüglich **Auftrieb** entsprechend zu dimensionieren, wobei für den massgebenden Druckspiegel mindestens die heutige Geländeoberkante angenommen werden sollte (vgl. Kap. 5.1 und 6.1). Bei vollflächigen Einbauten unter dem Grundwasserspiegel wie z.B. Untergeschosse oder dichten Baugrubenabschlüssen sind zur Gewährleistung des Grund- / Hangwasserflusses und zur Verhinderung eines Grundwasseraufstaus entsprechende hydraulische Massnahmen zu planen (vgl. Kap. 5.2). Dabei sind die gewässerschutzrechtlichen Bestimmungen (Kap. 5.2) rechtzeitig zu klären und zu beachten.

8 ERSTE GEOTECHNISCHE FOLGERUNGEN

8.1 FOUNDATIONEN

- Je nach Einbindetiefe und Lage der Bauwerke auf dem grossen Baugebiet kommen die Fundamente / Bodenplatten in **unterschiedlich tragfähigen, t.w. keilförmig asymmetrischen Baugrund** zu liegen. Von einer Flachfundation sowie Geländeaufschüttungen innerhalb der Schwemmsedimente mit Tümpelablagerungen wird abgeraten, da diese bereits bei geringen Belastungen zu **Setzungserscheinungen und unzulässigen differentiellen Setzungen** neigen.
- Zur Minimierung der Risiken von unzulässigen absoluten und differentiellen Setzungen empfehlen wir, sämtliche Traglasten bis in den tragfähigen Molassefelsen oder mindestens in die tragfähigeren Fluss- (z.B. im Bereich Reusszopfweg) oder Moränenablagerungen einzubinden, so dass je nach Tiefenlage der Bauwerke eine **Tiefenfundation** erforderlich wird. Im Vordergrund stehen dabei Bohrpfähle, die genügend tief in den Fels einbinden und die auch hinsichtlich der Auftriebssicherheit genutzt werden können.

8.2 BAUGRUBEN

- Bei Grundwasserabsenkungen im Bereich des Reusszopfweges mit gut durchlässigen Flussschottern muss ohne abdichtende Massnahmen grundsätzlich mit beträchtlichen Pumpwassermengen und entsprechenden Aufwändungen für die Wasserhaltung gerechnet werden. Ansonsten ist der Wasseranfall im Geringleiter (vgl. Kap. 5.1) eher mässig bis gering.
- Bei Baugrubensohlen, die sich unter dem Niederwasserstand befinden, wird eine **Wasserhaltung innerhalb eines dichten Baugrubenabschlusses** erforderlich, um die Risiken einer unzulässigen Absenkung des Grundwasserspiegels ausserhalb der Baugrube zu minimieren. Dabei sind auch mögliche Grundwasser-Hochstände speziell zu beachten.
- Im Vordergrund steht dabei eine Spundwand mit Fussinjektionen oder eine überschnittene Bohrpfahlwand, die genügend tief in die Moränenablagerungen bzw. in den Felsen einbindet. Die Wasserhaltung erfolgt mittels Pumpensämpfen, Filterbrunnen und/oder Wellpoint.
- Die setzungsempfindlichen Überschwemmungs- und Teichablagerungen und Torf stellen insbesondere bei flachfundierten oder sensiblen Bauten hohe Anforderungen an eine erschütterungsarme und setzungsvorbeugende Baumethode. Insbesondere bei den kostengünstigeren, aber risikoreicheren Spundwänden bestehen im Nahbereich der Baugrube vor allem beim Ziehen der Spundbohlen **erhöhte Risiken von**

Setzungen mit entsprechenden Schäden, die bei der Planung gebührend zu berücksichtigen sind.

- Eine überschnittene Bohrpfahlwand oder verlorene Spundwände verursachen aber eine bleibende Beeinträchtigung der Grundwasserverhältnisse, so dass aufwändigere **Kompensationsmassnahmen** (z.B. tiefe Gräben mit Sickerkies, Perforation Bohrpfahlwand mit Spundwandfenstern, Unterdükerung, usw.) erforderlich werden, die in einem hydrogeologischen Unbedenklichkeitsbericht darzulegen sind (vgl. Kap. 5.2).
- In Anhang 3 sind die wichtigsten Punkte zu den Möglichkeiten eines dichten Baugrubenabschlusses tabellarisch zusammengefasst und die Risiken qualitativ umschrieben.

8.3 ALLGEMEINE HINWEISE ZU ERDARBEITEN

- Der natürliche Baugrund kann allgemein als gut baggerfähig bezeichnet werden. In den künstlichen Auffüllungen oder in Fluss- und Moränenablagerungen können grössere Blöcke vorhanden sein.
- In den Überschwemmungs- und Teichablagerungen ist schichtweise mit einem hohen Anteil an *organischen Beimengungen* (Holz, Torf, ev. ganze Baumstämme) zu rechnen. Entsprechende Erschwernisse und Zuschläge für den Aushub und die Deponierung sind einzurechnen. Bei den gesättigten Überschwemmungs- und Teichablagerungen unter dem Grundwasser ist zudem eine hinreichende Entwässerungsdauer (mehrere Wochen) vorzusehen, um unerwünschte Zuschläge für Aushub und Deponierung infolge durchnässter Lockergesteinen zu vermeiden. Die feinkörnigen Überschwemmungs- und Teichablagerungen sind für Hinterfüllungen sowie Geländeaufschüttungen nicht geeignet.
- Die im Baugrubenbereich vorhandenen künstlichen Auffüllungen mit mehr als 5% Fremdstoffen sind auszuräumen, zu sortieren und entsprechend zu entsorgen (Mischabbruch, Inertstoffe).
- Bei umfangreicheren Aushubarbeiten sind die Kosten für die Untersuchung und die Entsorgungen - Aushub ist grundsätzlich Abfall, der TVA-gerecht zu entsorgen ist – möglichst rechtzeitig und profund abzuklären. Generell kann die Entsorgung von Aushubmaterial kostenrelevant sein und ist rechtzeitig durch ein **Aushub- und Entsorgungskonzept nach der Aushubrichtlinie (AHR)** zu ergründen.

9 GEOTHERMISCHE WÄRMEGEWINNUNG

Hinsichtlich der Nutzung geothermischer Energien stehen für den Projektperimeter im vorliegenden geologischen Umfeld folgende Optionen zur Diskussion:

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

Grundwassernutzung

Als Grundwasserleiter zur geothermischen Wärmegegewinnung kommt nur der im NE angrenzende Hauptgrundwasserleiter, der in den nacheiszeitlichen Flussschotter der Reuss und der Kleinen Emme zirkuliert, in Frage. Inwieweit dieser im Projektperimeter in für eine Nutzung in ausreichendem Masse vorkommt, wäre in eine Machbarkeitsstudie zur geothermischen Grundwassernutzung gesondert in Anhängigkeit der benötigten Leistung und des vorgesehenen Standorts zu prüfen. Prinzipiell ist mit zunehmender Entfernung von der Reuss und der kleinen Emme mit einer raschen Verringerung grundwasserleitenden Schichten (vgl. Kap. 4.1) zu rechnen. In den feinkörnigen Überschwemmungs- und Teichablagerungen ist kein nutzbares Grundwasservorkommen vorhanden.

Zur weiteren Machbarkeitsabklärung empfehlen wir ein stufenweises Vorgehen:

1. Als nächster Schritt würden die Ergiebigkeit und der Chemismus des Grundwasserleiters im nordöstlichen Bereich des Bauareals eruiert. Dazu müsste eine Sondierbohrung mit Filterausbau und anschliessendem Pumpversuch ausgeführt werden. Dieser Entnahme-Filterbrunnen könnte im positiven Fall für die definitive Nutzung verwendet werden.
2. Bei positiven Resultaten am Entnahmestandort (Ergiebigkeit und Chemismus) müsste auch die **Versickerungsfähigkeit** im nordöstlichen Teil der Bauparzelle mittels Sondierbohrung und Filterausbau sowie längerem Pump- und Rückgaberversuch ermittelt werden.

Erst nach Abschluss der 2. Untersuchungsphase kann definitiv über die Machbarkeit mit den angestrebten Fördermengen entschieden werden.

Energiepfähle

Da die Gebäude auf Pfahlfundationen gegründet werden müssen, lassen sich die Pfähle mit HDPE-Rohren quasi als Erdwärmesonden bestücken und unter relativ geringen Mehraufwand realisieren. Es sind jedoch Abklärungen über die Fliessgeschwindigkeiten nötig. Energiepfähle wurden beispielsweise in Kloten im neuen Dock Midfield ¹erfolgreich realisiert. Die Ausführung von Energiepfählen im Gewässerschutzbereich A_u ist grundsätzlich machbar. Es ist jedoch eine Bewilligung nach Artikel 32 GSchV erforderlich.

¹ <http://www.geothermal-energy.ch/downloads/fiches/Notiz3.pdf>
<http://www.geothermie.de/gte/gte45/dock-midfield.htm>

Erdwärmesonden

Gemäss Übersichtskarte des Kantons Luzern befindet sich die Bauparzelle in einem Gebiet, das eine Erdwärmenutzung nicht zulässt (vgl. Abb. 2).



Abb. 2 Ausschnitt aus der Übersichtskarte für Erdwärmenutzung. Kartengrundlage © Geoinformation und Vermessung Kanton Luzern 2014. Massstab: 1 : 5'000. EWS-Sonden nicht zulässig (rote Signatur). Grün gestrichelt markiert ungefähre Lage des Projektperimeters.

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 (Sommerhalbjahr) in den Untergrund gespeichert und bei Bedarf als Wärme (Winterhalbjahr) wieder gefördert. Der Untergrund wirkt dabei als Wärme-/Kältespeicher. Solche Systeme sind zwar kostenintensiver, längerfristig aber sehr effizient. Geothermische Diffusionsspeicher liessen sich auch mit Energiepfählen im Lockergestein realisieren wozu aber Abklärungen über die Fliessgeschwindigkeiten nötig wären. Die Kühl- die 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 Elektroltaik – decken.

Empfehlung

Werden Energiekonzepte mit erneuerbaren Energien als wünschenswert erachtet, was bei derartigen Investitionen längerfristig durchaus 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 z.B. aus den Projekten D4 Root (grösster

geothermischer Diffusionsspeicher²), Geothermiebohrung Weggis (mit 2.3 km tiefste Erdwärmesonde der Schweiz) oder unseren zahlreichen Grundwasserprojekten mit Wärmepumpen einbringen. Auf Wunsch stellen wir gerne unsere Referenzen, Forschungsarbeiten für den Bund sowie Publikationen zusammen.

10 METEORWASSERVERSICKERUNG

- Gemäss Gewässerschutz muss anfallendes Meteorwasser nach Möglichkeit in den Untergrund versickert werden. Dabei sollten in erster Linie oberflächliche humusierete Versickerungsmulden zur Anwendung kommen.
- Bei der Dimensionierung von Versickerungsmulden muss die relativ geringe Versickerungsleistung des Humusfilters von ca. 2 l/min·m² eingesetzt werden. Unterhalb der Sohle von Versickerungsanlagen ist mit einem lokalen Materialersatz aus gut durchlässigem Kiessand (Kiessäulen) zu rechnen, damit das durch den Humus gesickerte Wasser sicher in die tieferen besser durchlässigen Lockergesteinsschichten (fluvioglaziale Kies-Sand-Gemische) gelangen kann.
- Die Sohle einer Versickerungsanlage muss mindestens 1 m über dem massgebenden 5 bis 10-jährlichen Grundwasserhochstand liegen.
- Sind die besser durchlässigen Kiessand-Schichten linsenartig und von schlecht durchlässigem Lockergestein umgeben, so ist das Aufnahmevermögen begrenzt. *Um diesbezüglich genaue Angaben erhalten zu können, wäre ein länger andauernder Versickerungsversuch im Bereich eines geplanten Versickerungsstandortes erforderlich.*
- In den schlecht durchlässigen Schwemmsedimente mit Tümpelablagerungen (Versickerungsleistung von ca. < 1 l/min·m²) wird eine Versickerung des Meteorwassers kaum möglich sein.
- In den S Bereichen (Hauptstrasse / Pfisternweg) des Projektperimeters steht deshalb eine Ableitung des anfallenden Meteorwassers in einen Vorfluter bzw. in die Meteorwasserleitung / Kanalisation im Vordergrund. Eine verzögerte Einleitung, d.h. ein Zwischenspeichern des Meteorwassers (Retention) mit Hilfe eines Rückhaltebeckens und eine gedrosselte Abgabe nach dem Regenereignis, sollte dabei vorgesehen werden. Ein solcher Zwischenspeicher wird in Form einer Kiespackung (Kieskörper), als Teich mit Biotop oder als Speicherleitung möglich sein. Detaillierte Angaben sind in der Richtlinie Regenwasserentsorgung (*Richtlinie zur Versickerung, Retention und Ableitung von Niederschlagswasser in Siedlungsgebieten, VSA 2002*) zu entnehmen.

² http://www.geothermie.de/geothermie_ch/nr31/unternehmens.htm
http://www.angewandte-geologie.ch/Dokumente/Archiv/Vol12_1/121_5Keller.pdf

11 OBJEKTSPEZIFISCHE BAUGRUNDSONDIERUNGEN

Um die Risiken besser zu beherrschen und eine Optimierung der Bemessung sowohl für den Baugrubenabschluss als auch für die Tiefenfundation zu ermöglichen, werden für die weitere Projektierung auf Stufe Vorprojekt oder vor einer TU- / GU-Ausschreibung in Absprache mit dem projektierenden Ingenieur zusätzliche Sondierungen (Sondierbohrungen, Rammsondierungen und Piezometer) erforderlich sein.

Die Erfahrungen mit den komplexen Untergrundverhältnissen und deren lokalen Variabilitäten lehren, dass sich die Risiken des Baugrundes vor allem durch angemessene Sondierungen reduzieren lassen. Im Detail müssen unter anderem durch die Sondierungen folgende Kenntnisse beigebracht werden:


- Erfassung des mittleren Grundwasserspiegels sowie des Schwankungsbereiches.
- Tiefenlage der tragfähigen Lockergesteine und des Felsen, Angaben über die Verwitterungszone des Felsen.
- Sondierung der Lagerungsdichten und der räumlichen Inhomogenitäten der verschiedenen Schichten.
- Erkundung des lokalen Schichtaufbaus und Zuordnung der geotechnischen Kennwerte (Verifikation Baugrundmodell).

Ergänzende, objektspezifische Baugrundsondierungen sind in Absprache mit dem Bauingenieur unter Berücksichtigung der möglichen Risiken bei den Bauverfahren sowie des Kosten / Nutzen-Verhältnisses anzuordnen.

Keller + Lorenz AG

Geotechnik Geologie Hydrogeologie


Erik Luntzer


Dr. Beat Keller

Sachbearbeitung:

Projektleitung, Geologie Dr. B. Keller, V. Bodien
Naturgefahren: V. Bodien
Hydrogeologie: V. Bodien, E. Wick, E. Luntzer
Geotechnik: E. Luntzer

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 ihn 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.

Situation mit Projektperimeter

1:1'500



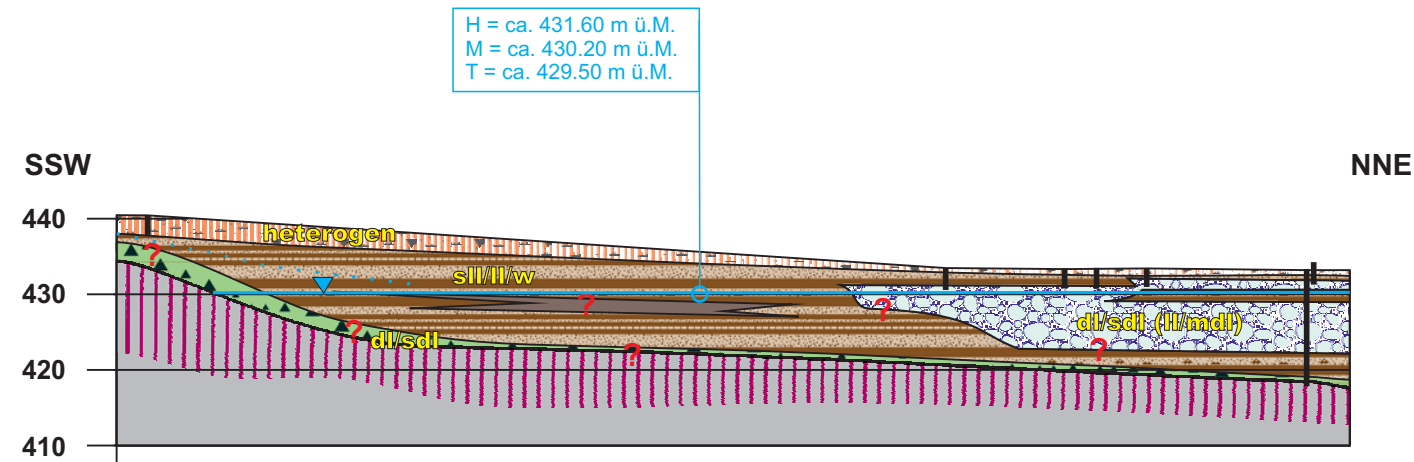
Legende

- Profilinie
- ▭ Projektperimeter

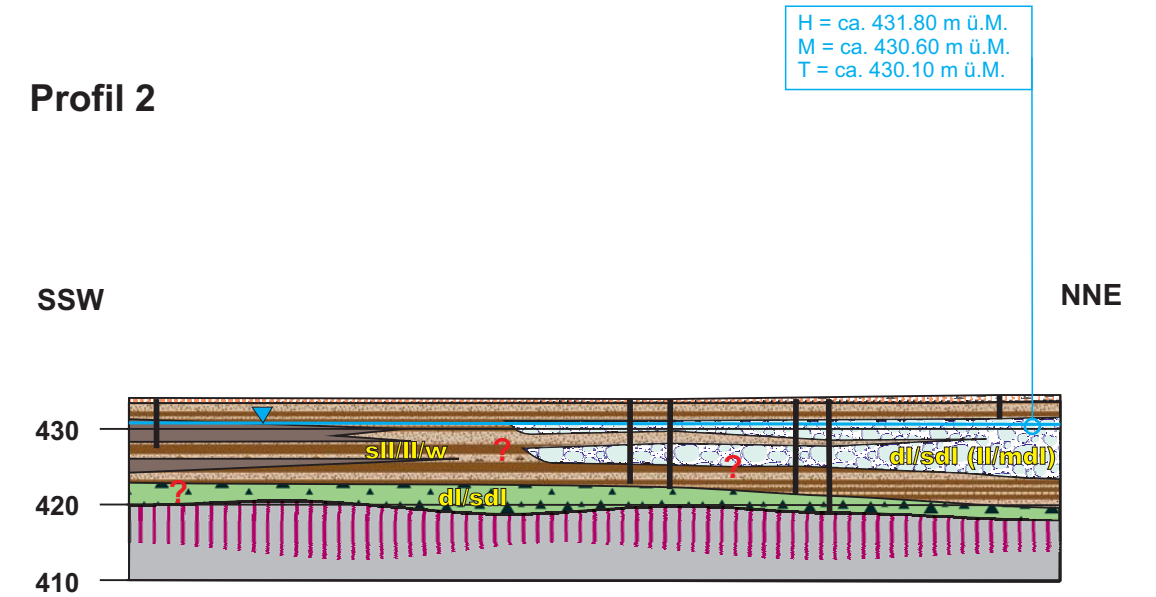
Geologische Profile Reussbühl Ost

1 : 1'000 / 1'000

Profil 1



Profil 2



Legende

- Künstliche Auffüllungen**
Fast saubere Kies-Sand-Gemische mit Steinen sowie siltigen bis tonigen Sanden mit wenig bis reichlich Kies und Steinen (matrixgestützt), Blöcken und lokal mit organischen Beimengungen sowie Fremdstoffen. Heterogen gelagert.
- Überschwemmungs- und Teichablagerungen**
Toniger Silt bis siltiger Feinsand und Sand, z.T. mit wenig Kies und vielen organischen Beimengungen; örtlich mit dezimeter- bis metermächtige Einlagerungen aus Torf. Sehr locker bis locker gelagert oder weiche Konsistenz.
- Torf**

- Flussschotter**
Unterschiedlich siltiger Kies mit unterschiedlichen Sandanteilen und lageweise Steinen und Blöcken (Emmenbollen), dicht bis sehr dicht gelagert sowie Zwischenschichten aus siltigem Sand mit Kies, locker bis lokal dicht gelagert.
- Basale Moräne, tw. Grundmoräne**
Tonig-siltigem Sand mit variablem Anteil an Kies, Steinen und Blöcken, dicht bis sehr dicht gelagert.
- Felsen der Oberen Süsswassermolasse**
Graue Feinsandsteine, Silt- und Schlammsteine, Verwitterungszone des Felsens mit entfestigten Gesteinen. (Verwitterungszone (R0 bis R2) des Felsens schematisch rot schraffiert).

Ausgehend von der dargestellten mittleren Lage der Felsoberfläche ist üblicherweise mit einer kleinräumigen Reliefamplitude von bis zu ca. +/- 1 bis 2 m zu rechnen.

? Unsichere Prognose: falls bautechnisch relevant, ggf. durch Sondierungen ergänzen!

Lagerung

- 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
- s** steif
- h** hart
- sh** sehr hart

Grundwasser

Oberes und mittleres Grundwasserstockwerk (GWSP-Mittelstand)

Hangwasser

Verwendete Sondierungen

Variantenvergleich mit Aufzeigen der Risiken der möglichen, dichten Baugrubensicherungen

Massnahme	Vorteile	Nachteile	Risiken
Spundwand mit Einbindung bis in den Stauer	<ul style="list-style-type: none"> + Spundbohlen können nach Bauende entfernt werden. + Geringer Aufwand für Wasserhaltung. + Keine Absenkung des Grundwasserdruckspiegels unter den Niederwasserstand ausserhalb Baugrube. 	<ul style="list-style-type: none"> – Erschütterungen / Vibrationen beim Einbringen und Entfernen der Spundbohlen. – Vorbohrungen für die Einbindung im Fels / Moränenablagerungen mit Fussinjektionen erforderlich. – Rammbarkeit sehr dicht gelagerte Fluss- und Moränenablagerungen. – Nachgiebiges System. – Kostenintensiv. 	<ul style="list-style-type: none"> • Setzungen im Nahbereich der Spundwände. Problematisch bei nahe gelegenen, flachfundierten Bauten (z.B. SBB). • Setzungen infolge von Wanddeformationen.
Überschnittene Bohrpfahlwand mit Einbindung bis in den Stauer	<ul style="list-style-type: none"> + Erschütterungsarm. + Verformungsarm. + Geringer Aufwand für Wasserhaltung. + Keine Absenkung des Grundwasserdruckspiegels unter den Niederwasserstand ausserhalb Baugrube. + Pfahlmaschine kann für Fundationsmassnahmen verwendet werden. 	<ul style="list-style-type: none"> – Permanenter Eingriff in das Grundwasservorkommen (aufwändigere Kompensationsmassnahmen). – Kosten- und bauintensiv. – Erschwerte Kontrollierbarkeit Dichtigkeit unterhalb Aushubsohle. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aufstau des Grundwasserpiegels mit Folgekosten, falls ungenügende Kompensationsmassnahmen. • Dichtigkeit unterhalb Aushubsohle.