KELLER+LORENZ AG

Geotechnik - Hydrogeologie - Geologie - Naturgefahren - Altlasten

NEUBAU DREIFACHTURNHALLE HUBELMATT IN LUZERN

GEOTECHNISCHES GUTACHTEN (STUFE ARCHITEKTURWETTBEWERB)

Baugrundverhältnisse, geotechnische Folgerungen

Objekt	Neubau Dreifachturnhalle Hubelmatt in Luzern		
Auftraggeber	Stadt Luzern, Immobilien, Industriestrasse 6, 6005 Luzern		
Architekt	alp architektur lischer partner ag, Himmelrichstrasse 6, 6003 Luzern		
Bauingenieur	Schubiger AG Bauingenieure, Hirschengraben 33a, Postfach, 6000 Luzern 7		
Koordinaten	2'665'906 / 1'209'778	**Auftragsnummer**	22 6366.A
Ort, Datum	Luzern, 03. März 2025 FB/EW/ME/BK/fb/me		

Tribschenstrasse 61 / CH-6005 Luzern T 041 310 51 02 F 041 312 50 76 buero@keller-lorenz.ch

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung ... 1

2 Grundlagen ... 2

3 Durchgeführte Baugrundsondierungen ... 3

3.1 Sondierbohrungen ... 3

3.2 Rammsondierung ... 4

3.3 Piezometer ... 5

3.4 Pumpversuch ... 5

4 Geologische Verhältnisse ... 5

4.1 Übersicht ... 5

4.2 Lockergesteine ... 6

4.3 Felsuntergrund ... 7

4.3.1 Geologischer Kurzbeschrieb der Festgesteine ... 7

4.3.2 Felsoberfläche ... 7

4.3.3 Verwitterungszone des Felsen ... 8

5 Erste Hinweise zur Belastungssituation ... 8

6 Hydrogeologische Verhältnisse ... 10

6.1 Lokale Grundwasserverhältnisse ... 10

6.1.1 Schwankungsbereich der Grundwasserdruckflächen ... 11

6.1.2 Pumpversuch ... 13

6.2 Gewässerschutz ... 14

6.3 Bautechnisch relevante Folgerungen ... 15

6.3.1 Bauzustand ... 15

6.3.2 Endzustand ... 17

7 Naturgefahren ... 17

7.1 Oberflächenabfluss / Wasserprozesse ... 17

7.2 Erdbebengefährdung ... 19

8 Archäologische Fundstellen ... 20

9 Baugrundmodell mit geotechnischen Kennwerten ... 21

10 Geotechnische Folgerungen ... 23

10.1 Generelle Erschwernisse ... 23

10.2 Fundation ... 24

10.2.1 Allgemeines ... 24

10.2.2 Bohrpfähle 26
10.3 Baugrube 27
10.4 Wasserhaltung 29
10.5 Allgemeine Hinweise zu den Erdarbeiten 30

11 Meteorwasserversickerung 30

12 Kenntnisstand und Empfehlungen für ergänzende, objektspezifische Baugrundsondierungen 31

13 Empfehlungen für Überwachung der Tiefbauarbeiten 32

Anhang

Anhang 1 Situation mit Sondierstandorten und Piezometern, 1 : 2'000.
Anhang 2 Profile der Sondierbohrungen, 1:40/1:50.
Anhang 3 Profil der Rammsondierung RS24-Pu4.
Anhang 4 Geologische Profile, 1:500 / 500.
Anhang 5 Grundwasserüberwachung vom 30.11.2022 bis 09.12.2024.
Anhang 6 Pumpversuch aus LU871 (SB24-2) vom 11.07.2024.

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

1 EINLEITUNG

Im NE-Bereich der Parzelle 1411 (GB Luzern – linkes Ufer) plant die Stadt Luzern den Neubau einer Dreifachturnhalle. Der Neubau weisst Grundrissabmessungen von ca. 90 m x 40 m auf und umfasst voraussichtlich ein Untergeschoss sowie zwei Obergeschosse. Betreffend Standort der Dreifachturnhalle stehen vier Varianten zur Diskussion (Nord, Mitte 1, Mitte 2, Süd; relevante Koten vgl. Tab. 1). Neben der Dreifachturnhalle sind ein Natur- und Kunstrasen vorgesehen. Nähere Angaben über die Gebäudelasten und die Umgebungsgestaltung liegen uns derzeit nicht vor.

Bauteil	Projektkoten
Bestehende Geländeoberkante	ca. 452 ÷ 460 m ü.M.
UK Bodenplatte Variante Nord	ca. 450.0 m ü.M.
UK Bodenplatte Varianten Mitte 1 und 2	ca. 449.5 m ü.M.
UK Bodenplatte Variante Süd	ca. 449.0 m ü.M.

Tab. 1 Wichtige Projektkoten (ALP ARCHITEKTUR LISCHER PARTNER AG, 2023).

Von der Stadt Luzern (Immobilien) erhielten wir den Auftrag, den Baugrund mittels ergänzender objektspezifischer Baugrundsondierungen und Piezometer zu erkunden. Für die Auswertungen und den Beschrieb der geologisch-hydrogeologischen und geotechnischen Verhältnisse stützen wir uns zusätzlich auf unser Archiv mit bestehenden Sondierungen, Grundwasser-Messstellen und Gutachten in der unmittelbaren Umgebung. Die Ziele des vorliegenden geotechnischen Gutachtens (Stufe Architekturwettbewerb) sind:

- Beschreibung Geologie und Hydrogeologie.
- Angaben über Belastungen des Standorts.
- Angaben über Naturgefahren (Wasserprozesse, Baugrundklasse für Erdbebenbemessung).
- Baugrundmodell mit Abschätzung der geotechnischen Kennwerte.
- Aufzeigen geotechnischer Risiken.
- Angaben zur Fundation und zur Ausbildung der Baugrube mit Wasserhaltung.
- Hinweise zur Meteorwasserversickerung oder zur Ausbildung einer Retentions-Anlage.
- Beurteilung des Kenntnisstands und Vorschlag für ergänzende, objektspezifische Baugrundsondierungen.
- Angaben über Überwachung der Tiefbauarbeiten.

2 GRUNDLAGEN

Für die Ausarbeitung des vorliegenden geotechnischen Gutachtens (Stufe Architekturwettbewerb) wurden folgende Unterlagen beigezogen:

Plangrundlagen

ALP ARCHITEKTUR LISCHER PARTNER AG (2023): Machbarkeitsstudie Sportfeld Allmend Nord, Situation 1:1'000 und Schnitte 1:1’000, datiert 14.11.2023.

Geologie / Hydrogeologie.

KANTON LUZERN, RAWI (2025): Grundbuchplan, Gewässerschutzkarte, Gefahrenkarte, Oberflächenabfluss, Kataster der belasteten Standorte, Wassernutzungen. https://geoportal.lu.ch/karten; Zugriff Januar 2025.

RÉSONANCE INGÉNIEURS-CONSEILS SA UND KELLER+LORENZ AG (2012): Spektrale Mikrozonierung Luzern für ausgewählte Untersuchungsgebiete, technischer Bericht im Auftrag des Kantons Luzern, Verkehr und Infrastruktur, datiert 21.06.2012.

KELLER+LORENZ AG (2023): Neubau Dreifachturnhalle Hubelmatt in Luzern. Geotechnisches Gutachten (Stufe Vorprojekt), datiert 18.09.2023.

KELLER+LORENZ AG: Diverse Gutachten und Sondierungen aus dem Archiv.

Normen / Richtlinien / Publikationen:

BUNDESAMT FÜR WASSER UND GEOLOGIE: Massgebende, aktuelle Richtlinien und Wegleitungen des BWG.

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

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

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

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

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

SCHWEIZERISCHER INGENIEUR UND ARCHITEKTENVEREIN: Massgebende, aktuelle SIA-Normen (u.a. 260, 261, 261/1, 267, 318, 431).

VERBAND SCHWEIZER ABWASSER- UND GEWÄSSERSCHUTZFACHLEUTE, VSA (2019): Abwasserbewirtschaftung bei Regenwetter.

VERBAND SCHWEIZER ABWASSER- UND GEWÄSSERSCHUTZFACHLEUTE, VSA (2024): Gewässerschutz in Industrie und Gewerbe, Baustellen, Interkantonales Merkblatt für den Vollzug, Stand August 2024.

VERORDNUNG ÜBER DIE SICHERHEIT UND DEN GESUNDHEITSSCHUTZ DER ARBEITNEHMERINNEN UND ARBEITER BEI BAUARBEITEN (Bauarbeitenverordnung, BauAV, Nr. 832.311.141, datiert 01.01.2022).

UMWELT ZENTRALSCHWEIZ (2024): Bauten im Grundwasser, Berechnungsgrundlagen. Merkblatt (Ausgabe Januar 2024).

3 DURCHGEFÜHRTE BAUGRUNDSONDIERUNGEN

3.1 SONDIERBOHRUNGEN

Die Firma Gebr. Mengis AG (Luzern) teufte vom 19.06.2024 bis 03.07.2024 in beschränkt zugänglichen Bereichen **2 Sondierbohrungen** (SB24-1 und SB24-2) auf je ca. 30 m unter die bestehende Geländeoberkante ab. Die Sondierbohrungen ermöglichen gesicherte Aufschlüsse über den Lockergesteinsaufbau. In den vertikal ausgeführten Sondierbohrungen wurden zur Bestimmung der Lagerungsdichte innerhalb der Lockergesteine *SPT-Versuche* durchgeführt (Tab. 2).

Sondierung	Rechtswert	Hochwert	OKT m ü.M.	Teufe m	Teufe m ü.M.	SPT N30	Lagerung	Code
SB24-1	2665924.6	1209680.0	451.5	2.15	449.35	4	W	FS
				4.15	447.35	9	LL	P
				6.15	445.35	10	LL	P
				8.15	443.35	16	MDL	P
				10.15	441.35	16	H	FSo
				12.15	439.35	20	MDL	cGc
				14.15	437.35	56	SDL	GSs
				16.15	435.35	24	MDL	GS
				18.15	433.35	40	DL	Dm
				20	431.5	98	SDL	Dm
				22	429.5	100	SDL	Dm
				24.15	427.35	85	SDL	Dm
				26	425.5	100	SDL	Dm
				28	423.5	100	SDL	Dm
SB24-2	2665912.3	1209619.6	451.09	2.15	448.94	0	SLL	Dm
				4.15	446.94	8	LL	P
				6.15	444.94	7	MS	Fmo
				8.15	442.94	11	MDL	P
				10.15	440.94	11	ST	Fmo
				12.15	438.94	26	MDL	Sm
				14.15	436.94	12	MDL	Sb
				16.15	434.94	14	MDL	GS
				18.15	432.94	16	MDL	gGc
				20.15	430.94	18	MDL	gGc
				21.7	429.39	100	SDL	GS
				24.15	426.94	35	DL	Dm
				26	425.09	70	SDL	Dm
				28	423.09	100	SDL	Dm

Tab. 2 Tabellarische Zusammenstellung der ausgeführten SPT-Versuche mit Interpretation der Lagerungsdichte sowie der Lockergesteinseinheiten. Abkürzungen für die Lagerung und Konsistenz vgl. Tab. 3; Codes vgl. Anhang 4.

Die Lagerungsdichte auf Grund der Schlagzahlen der Standard Penetration Tests (SPT) können im nicht-bindigen und bindigen Lockergestein anhand Tab. 3 interpretiert werden.

Lagerungsdichte (nicht bindig)	*sehr locker SL*	*locker LL*	*mitteldicht MDL*	*dicht DL*	*sehr dicht SDL*
Anzahl Schläge für 30 cm Eindringung (N_{SPT30})	0 ÷ 4	4 ÷ 10	10 ÷ 30	30 ÷ 50	> 50

Konsistenz (bindig)	*sehr weich SW*	*weich W*	*mittelsteif MS*	*steif ST*	*hart H*	*sehr hart SH*
Anzahl Schläge für 30 cm Eindringung (N_{SPT30})	< 2	2 ÷ 4	4 ÷ 8	8 ÷ 15	15 ÷ 30	> 30

Tab. 3 Lagerungsdichte für Standard Penetration Test (SPT) Ø 50 mm im nicht bindigen und bindigen Lockergestein.

Die Sondierarbeiten wurden durch unser Büro begleitet und die aufgeschlossenen Lockergesteins- und Festgesteinsschichten protokolliert. Die Standorte der ausgeführten Sondierbohrungen sind in Anhang 1 ersichtlich. Die Sondierprofile sind in Anhang 2 dargestellt.

3.2 RAMMSONDIERUNG

Die Firma Gebr. Mengis AG (Luzern) führte am 09.07.2024 **1 Rammsondierung** (RS24-Pu4) aus. Diese wurde mit der schweren Rammsonde (Rammbär 60 kg, Gestänge-Durchmesser 38 mm, Spitzenquerschnitt 3'000 mm^2) bis auf eine Tiefe von ca. 18.2 m unter die heutige Geländeoberkante ausgeführt. Die Rammsondierung ist in Anhang 3 visualisiert; der Standort ist in Anhang 1 eingetragen.

Die Grösse und die Charakteristik des Rammwiderstandes geben Aufschluss über die Lagerungsdichte sowie Anhaltspunkte über die Kornzusammensetzung von nicht bindigen Lockergesteinen. Ohne ergänzende direkte Baugrundaufschlüsse (Sondierbohrungen, Baggersondierschlitze usw.) aber lassen Rammsondierungen als indirekte Aufschlussmethode keine sicheren Rückschlüsse auf weitere geotechnische Eigenschaften oder die Lockergesteinszusammensetzung des Baugrundes zu.

Bei grösseren Tiefen geben Rammsondierungen wegen der Gestängereibung zu hohe Werte an. Im bindigen Material werden die Rammwiderstände durch die Gestängereibung und weitere Einflüsse so stark beeinflusst, dass eine Tabelle über die Lagerungsdichte nicht zuverlässig genau erstellt werden kann.

Die in Tab. 4 abgeschätzten Lagerungsdichten und Rammwiderstände in Abhängigkeit der Anzahl Schläge pro 10 cm Eindringung gelten nur für ungleichförmige, nicht bindige Lockergesteine im Grundwasser. Für gleichförmige oder bindige Lockergesteine oder für Lockergesteine über dem Grundwasser sind effektiv höhere Lagerungsdichten bei vergleichbaren Anzahl Schlägen pro 10 cm Eindringung vorhanden.

Lagerungsdichte	sehr locker	locker	mitteldicht	dicht	sehr dicht
Rammwiderstand in MN/m²	0 ÷ 6	6 ÷ 12	12 ÷ 20	20 ÷ 40	> 40

Tab. 4 Rammwiderstände der Rammsonde ø 30 mm für weitgestufte, nicht bindige Lockergesteine im Grundwasser.

3.3 PIEZOMETER

Zur Abklärung der örtlichen hydrogeologischen Verhältnisse wurden an den Stellen der zuvor abgeteuften Sondierbohrungen und der Rammsondierung je 1 bis 2 Piezometer eingebaut bzw. nachgerammt (Anhang 2 und Anhang 3) und mit Drucksonden zur kontinuierlichen Grundwasserspiegelaufzeichnung bestückt (Kap. 6.1). Die Filterstellungen sind in Tab. 5 zusammengefasst.

Piezometer	OK Terrain [m ü.M.]	OK Rohr [m ü.M.]	Durchmesser Ø ["]	Filterstellung Tiefe ab OK Terrain [m]	Grundwasser-Stockwerk
LU1195 (SB24-2)	451.09	450.87	2	8.3 ÷ 10.3	oberes / mittleres
LU1196 (SB24-1)	451.50	451.27	2	1.1 ÷ 3.1	oberes / mittleres
LU871 (SB24-2)	451.09	450.87	4.5	16.1 ÷ 20.1	unteres
LU872 (SB24-3)	451.50	451.26	4.5	11.0 ÷ 16.0	unteres
LU873 (RS24-Pu4)	451.27	451.20	2	14.1 ÷ 18.1	oberes

Tab. 5 Zusammenstellung der Filterstellungen der neu versetzten Piezometer.

3.4 PUMPVERSUCH

Zur Bestimmung der Durchlässigkeit des mit Piezometern erschlossenen unteren Grundwasser-Stockwerks sowie zur Erkundung allfälliger hydraulischer Verbindungen zum oberen / mittleren Grundwasser-Stockwerk wurde am 11.07.2024 ein Pumpversuch aus dem Piezometer LU871 (SB24-2) durchgeführt (Anhang 6; Kap. 6.1.2).

4 GEOLOGISCHE VERHÄLTNISSE

4.1 ÜBERSICHT

Der Projektperimeter liegt in der nordöstlichen Geländekammer der Ebene der Allmend, die gegen E zum Zihlmattweg hin durch die Hügelflanke der Horüti sowie gegen N durch die Hubelmatt abgeschlossen wird. Der Untergrund der Ebene der Allmend besteht aus

feinkörnigen und an organischem Material (Torf) reichen Verlandungsbildungen mit untiefen Seeablagerungen, die mit zunehmendem Abstand zum Talrand durch grundwasserführende Sanderablagerungen unterlagert sind. Demgegenüber steht am nördlichen und östlichen Talrand unterhalb von geringmächtigen Hangsedimenten der örtlich durch Moränenablagerungen bedeckte Felsen der Unteren Süsswassermolasse an. Durch diese Randlage der Geländekammer Allmend im Übergang hin zur Hügelzone Horüti mit gegen S bis W abtauchender Felsoberfläche sind die Baugrundverhältnisse deutlich asymmetrisch.

4.2 LOCKERGESTEINE

Die lokalen Baugrundverhältnisse können auf Grund bestehender und der neu ausgeführten Baugrundsondierungen sowie unserer Kenntnisse wie folgt prognostiziert werden (vgl. geologische Profile in Anhang 4):

- An der Oberfläche befinden im Bereich der bestehenden Sportfelder und im Hinterfüllungsbereich von Werkleitungsgräben, unterhalb von Strassen und Plätzen heterogen gelagerte **künstliche Auffüllungen**. Diese setzen sich in der Regel aus unterschiedlich tonig-siltigen Kies-Sand-Gemischen mit variablem Anteil an Steinen, Blöcken und tw. organischen Beimengungen zusammen. In den künstlichen Auffüllungen sind eingelagerte Fremdstoffe möglich. Ein Eintrag im Kataster der belasteten Standorte (KbS) liegt im Baubereich nicht vor (Kap. 5).
- Unterhalb der ursprünglichen Geländeoberkante oder der künstlichen Auffüllungen stehen in der Ebene *setzungsempfindliche,* sehr weiche bis mittelsteife oder sehr locker bis locker gelagerte nacheiszeitliche **Verlandungsbildungen mit untiefen Seeablagerungen** an. Diese setzen sich aus unterschiedlich tonigem Silt mit dünnen Sandschichten bis stark siltigem Feinsand mit meist vielen organischen Beimengungen (Holzreste, zuweilen bis ganze Baumstämme) und häufigen, Dezimeter bis tw. mehrere Meter *mächtigen Torfschichten* einstiger Verlandungsmoore zusammen. Diese Abfolgen zeigen meist deutliche heterolithische Wechselschichtungen der verschiedenen Sedimente.
- Die nacheiszeitlichen Verlandungsbildungen mit untiefen Seeablagerungen verzahnen gegen die Hügelflanken hin mit sehr locker bis mitteldicht gelagerten, setzungsempfindlichen, scheinkohäsiven **Hangsedimenten**. Diese Lockergesteine neigen in steiler Hanglage durch unbedachte Geländeschüttungen oder unter hohen Porenwasserdrücken zu Rutsch- / Kriechbewegungen. Die Hangsedimente bestehen aus unterschiedlich siltigem Sand mit variablem Anteil an Kies, Steinen und Blöcken sowie organischen Beimengungen.
- In der Ebene folgen ab ca. 10 ÷ 13 m Tiefe unter der bestehenden Geländeoberkante vorwiegend mitteldicht bis dicht, schichtweise locker oder sehr dicht gelagerte, späteiszeitliche **Sanderablagerungen**, die zumeist durch randglaziale Schmelzwässer als Schwemmfächer abgelagert wurden. Diese bestehen aus unterschiedlich siltigem Kies mit viel Sand und Steinen sowie sauberem bis unterschiedlich siltigem Sand mit

schichtweise vereinzelt bis wenig Kies. Letztere können zuweilen als Diamiktite[1] ausgebildet sein. Es ist von einer unregelmässigen Oberfläche der Sanderablagerungen mit einem Relief von ca. ± 2 m auszugehen. Die teilweise kohäsionslosen, sandigen Abfolgen sind *grundbruchempfindlich*.

- Unterhalb der in Hanglage befindlichen Hangsedimente sowie der Verlandungsbildungen mit untiefen Seeablagerungen im Übergangsbereich zur Ebene hin als auch im südwestlichen Projektperimeter unterhalb der Sanderablagerungen folgen über der Felsoberfläche bis zu mehrere Meter mächtige, dicht bis sehr dicht, untergeordnet mitteldicht gelagerte **Moränenablagerungen**. Diese bestehen aus unterschiedlich tonigsiltigem Sand mit variablem Anteil an Kies, Steinen und tw. sehr harten Findlingsblöcken (Ø >1 m), zuweilen nestweise angehäuft. Hierbei handelt es sich komplex aufgebaute, meist matrixgestützte Diamiktite. Erfahrungsgemäss befinden sich darin Zwischenschichten aus locker bis mitteldicht gelagerten, fast sauberem bis unterschiedlich siltigem Sand mit variablen Anteilen an Kies und Steinen, die durch Gletscherschmelzwässer aufbereitet wurden und eine gewisse Durchlässigkeit (meist $k_h >> k_v$) besitzen. Die Moränenablagerungen haben naturgemäss eine unregelmässiges Oberfläche mit einer kleinräumigen Reliefamplitude von mindestens ca. ± 2 m auf.
- Bedeutsam ist, dass die basalen Hangsedimente oder Moränenablagerungen oberhalb der kluftwasserführenden, verwitterten Felsoberflläche häufig stark verwittert, aufgeweicht sowie verlehmt sind und potentielle Gleitflächen bei allfälligen freien Böschungen in Talrandlage darstellen.
- Unterlagert werden die Lockergesteine vom **Felsen** der **Unteren Süsswassermolasse** (Kap. 4.3).

4.3 FELSUNTERGRUND

4.3.1 Geologischer Kurzbeschrieb der Festgesteine

Der Felsuntergrund im Projektperimeter wird durch die Ablagerungen der Unteren Süsswassermolasse gebildet. Diese bestehen aus Wechsellagerungen von mächtigen Sandsteinbänken teils mit Konglomeraten („Nagelfluhbänke“) einerseits sowie Silt- und Schlammsteinen mit dünnen Sandsteinbänken andererseits. Die Schichten fallen mit ca. 20°± 5° nach SSE hin ein.

4.3.2 Felsoberfläche

- Die Felsoberfläche befindet sich entlang der Hügelflanken wenige Meter unterhalb der bestehenden Geländeoberkante und taucht gegen die Ebene im südlichen Projektperimeter auf über 30 m Tiefe ab (vgl. neu abgeteufte Sondierbohrungen).

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

- Durch die Erosionstätigkeit im glazialen Umfeld wurde ein sehr lebhaftes Felsrelief geschaffen, mit kleinräumigen, schwer prognostizierbaren Reliefamplituden von bis ± 2 m.
- Diesem Umstand einer unregelmässigen Felsoberfläche ist bei der Planung von Baugrubenabschlüssen in Talrandlage und allfälligen Bohrpfählen bis in den Felsen angemessen Rechnung zu tragen.
- Genauere Angaben über die Tiefenlage der Felsoberfläche liegen uns über weite Bereiche des Projektperimeters nicht vor und müssten bei Bedarf durch zusätzliche tiefereichende, direkte Sondierbohrungen, allenfalls in Kombination mit Hybridseismik abgeklärt werden (Kap. 12).

4.3.3 Verwitterungszone des Felsen

Die Verwitterungszone des Felsen reicht in Abhängigkeit des Gesteinstyps zwischen ca. 2 bis 10 m unter die Felsoberfläche. Die Verwitterungszone greift lokal entlang von Störungen oder Schichtwechseln amöbenartig in die Tiefe (> 10 m) hinab. Sie ist generell gekennzeichnet durch:

- Oberflächennaher Bereich des Felsen mit einer **Verringerung der Gesteinsfestigkeit** in Folge von Zementlösung und Verwitterung der Mineralbestandteile.
- Verwitterung der geröllführenden Sandsteine, so dass diese mürbe und porös sind. Im frischen Zustand unterhalb der Verwitterungszone des Felsen sind die quarzreichen Sandsteine gut zementiert, sehr hart. Es treten extrem gut zementierte Sandsteinbänke auf. Bei glazial abgeschliffener Felsoberfläche kann die Verwitterungszone im Sandstein lediglich wenige Dezimeter mächtig sein.
- Meist gut ausgeprägte **Verwitterungs- und die Entlastungsklüftung**, die insbesondere in den spröd deformierbaren Gesteinen – vor allem in Sandsteinen – zu engständigen, oberflächenparallelen Trennflächengefügen (Lagerklüfte) mit geringen Kohäsionen führt. In Nachbarschaft zu tonig-siltigen Gesteinen sind die Klüfte meist mit Kluftlehm verfüllt, wodurch zusätzlich die Scherfestigkeit herabgesetzt wird. Offene Klüfte dagegen verleihen der Verwitterungszone in Sandsteinen oft lockergesteinsähnliche Durchlässigkeiten.
- Wegen der Kluft- und Verwitterungsporosität ist die Verwitterungszone des Felsen meist kluftwasserführend, wobei sich das Kluftwasser vor allem in den offenen Klüften im Sandstein bewegt.

5 ERSTE HINWEISE ZUR BELASTUNGSSITUATION

Für den Projektperimeter selbst liegt kein Eintrag im Kataster der belasteten Standorte (KbS) vor (KANTON LUZERN, RAWI, 2025). Südwestlich des Projektperimeters und teilweise auf der Projektparzelle ist der Ablagerungsstandort "Festhalle Allmend" unter der Altlasten-ID 1061A0091 erfasst (Abb. 1).

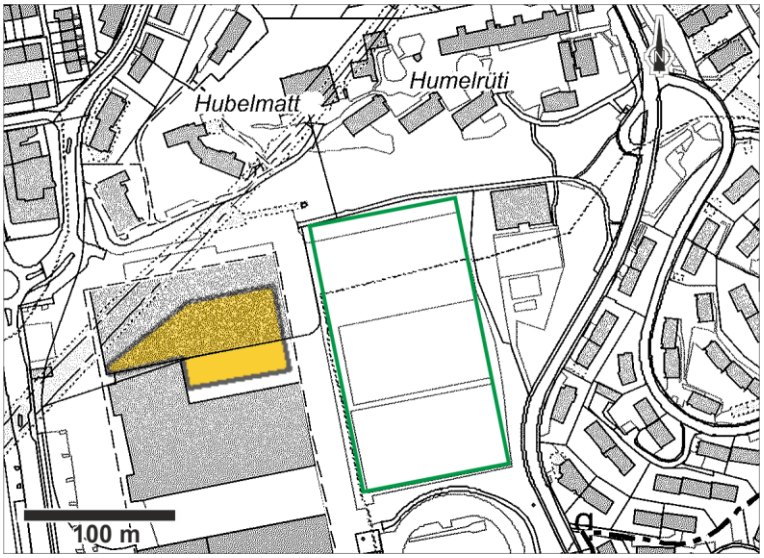


Abb. 1 Ausschnitt aus dem Kataster der belasteten Standorte mit dem angrenzenden Ablagerungsstandort " Festhalle Allmend " in hellorange, klassiert als *"belastet, weder überwachungs- noch sanierungsbedürftig"*. Kartengrundlage © KANTON LUZERN, RAWI, 2025. Massstab: 1:5'000. Grün umrahmt Projektperimeter.

Folgende Hinweise und gesetzlichen Vorgaben müssen beachtet werden, insbesondere auch des Umstands wegen, dass im Zuge baulicher Tätigkeiten Geländeumgestaltungen stattfanden und das Projekt in der Nähe eines Ablagerungsstandorts liegt:

- Unterhalb der bestehenden Geländeoberkante ist im Bereich bestehender Plätze, Bauten und Werkleitungen mit unterschiedlich mächtigen künstlichen Auffüllungen zu rechnen, die teilweise Fremdstoffe enthalten können.
- Erfahrungsgemäss können gewisse Kubaturen innerhalb der künstlichen Auffüllungen aufgrund ihres Fremdstoffanteils als schwach verschmutzter (VVEA Typ Bv; mineralische Fremdstoffanteile bis maximal 5 %) bis wenig verschmutzter Aushub (VVEA Typ B) anfallen. Höher belastete Bereiche (Reaktormaterial, Sonderabfall) mit chemischen Belastungen sind eher unwahrscheinlich, können aber nie gänzlich ausgeschlossen werden.
- Unabhängig eines KbS-Eintrags wird gemäss aktueller Vollzugspraxis der Dienststelle Umwelt und Energie (uwe) ab Kubaturen von 100 m^3 belastetem Aushub eine Aushubbegleitung verlangt. Ab Kubaturen von 300 m^3 belastetem Aushub wird zusätzlich zu einer Aushubbegleitung ein Aushub- und Entsorgungskonzept gefordert.
- Verschmutztes Aushubmaterial ist nach VVEA[2] zu entsorgen. Wenn organoleptisch[3] auffälliges Material vorgefunden wird, empfehlen wir, dieses durch einen Altlastenspezialisten chemisch analysieren zu lassen.
- Um Verzögerungen in der Bauphase möglichst vermeiden zu können, empfehlen wir eine rechtzeitige Ausführung direkter, objektspezifischer Baugrunduntersuchungen inklusive Feststoffanalytik im Rahmen des Aushub- und Entsorgungskonzepts (Kap. 12).
- Es ist aufgrund des Torfs und anderen organischen Beimengungen in den Verlandungsbildungen und untiefen Seeablagerungen mit geogenen Gasen (Kohlenstoffdioxid CO_2

[2] VVEA: Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen.
[3] organoleptisch: Hilfsmittelfreie Bewertung von Geruch und Aussehen.

und Methan CH_4; beim Bau der Haltestelle Allmend beobachtet) zu rechnen, die sowohl im Bau- als auch im Nutzungszustand angemessen zu beachten sind (Kap. 10.1).

6 HYDROGEOLOGISCHE VERHÄLTNISSE

6.1 LOKALE GRUNDWASSERVERHÄLTNISSE

Der von W in der Talebene Obernau - Kriens herkommende Grundwasserstrom teilt sich im Gebiet Grosshof in zwei Arme auf: Der eine fliesst in nordöstlicher Richtung aus dem Gebiet Eichhof der Stadt Luzern zu, der andere in Richtung SSE der Horwer Seebucht zu. Auf dem Bauareal herrschen komplizierte Grundwasserverhältnisse mit freien und unterschiedlich gespannten Grundwasser-Stockwerken (vgl. Anhang 4):

- Das Grundwasser im **oberen Grundwasser-Stockwerk** zirkuliert in den künstlichen Auffüllungen und oberen durchlässigeren Zwischenschichten (z. B. Torf, Sand) der Verlandungsbildungen mit untiefen Seeablagerungen. Dieses wenig ergiebige Grundwasservorkommen besitzt eine freie Grundwasseroberfläche. Weiter ist es vor allem durch Werkleitungen, bestehende Untergeschosse in der Umgebung und die Platzentwässerung stark beeinflusst oder drainiert.
- In den durchlässigeren Zwischenschichten in den Verlandungsbildungen mit untiefen Seeablagerungen bilden jeweils eigenständige, nicht oder nur undeutlich miteinander kommunizierende, örtlich im Hochwasserfall **bis subartesisch gespannte Grundwasserleiter** mit begrenzter räumlicher Ausdehnung. Diese können als *heterogenes* **mittleres gespanntes Grundwasser-Stockwerk** zusammengefasst werden.
- In den tiefer gelegenen Sanderablagerungen bzw. grossräumig in Delta- / Schwemmfächerablagerungen (ausserhalb des Projektperimeters) zirkuliert das Grundwasser eines **unteren gespannten Grundwasser-Stockwerks** von grosser lateraler Ausdehnung über weite Bereiche der Talebene Luzern-Kriens-Horw, das am Projektstandort in Richtung S abströmt. Seine Grundwasserdruckfläche ist **bei Mittel- bis Hochwasserstand deutlich artesisch gespannt** (Kap. 6.1.1.2). Schwach durchlässige Verlandungsbildungen mit untiefen Seeablagerungen formen auf dem Projektperimeter nach oben den abdichtenden Stauer dieses als nutzbar eingestuften Grundwasservorkommens. An dieser Stelle sei vermerkt, dass gelegentlich hydraulische Verbindungen zwischen dem unteren Grundwasser-Stockwerk und einzelnen, durchlässigeren Zwischenschichten des mittleren Grundwasser-Stockwerks möglich sind (Kap. 6.1.1.2, Kap. 6.3; vgl. blau gestrichelte Pfeile in den geologischen Profilen in Anhang 4).
- Im Projektperimeter ist insbesondere nach starken und / oder langanhaltenden Niederschlägen mit einer Porenwassersättigung und in Talrandlage zusätzlich mit einem lokalen **Hang- und Kluftwasservorkommen** zu rechnen. Die Wasserzirkulation findet in besser durchlässigen Lockergesteinsschichten (künstliche Auffüllungen,

Hangsedimente) sowie entlang zufällig verteilter, präferentieller Fliesspfaden in der Verwitterungszone des Felsen statt und ist dort überwiegend an die Kluftsysteme, v.a. der Sandsteine und Konglomerate gebunden. Dem Kluftwasserleiter können dem Schichtstreichen folgend geringe Mengen an Kluftwasser zuströmen, so dass der Wasseranfall auch bei Trockenzeiten teilweise nie ganz versiegt. In Mulden über abdichtenden Hangsedimenten können sich lokale Wasseransammlungen bilden.

- Der Projektperimeter befindet sich im Randbereich des oberen / mittleren und unteren Grundwasser-Stockwerks. Die Resultate des durchgeführten Pumpversuchs (Kap. 6.1.2) sowie die Messungen der Grundwasserdruckspiegel in den neu erstellten und bestehenden Piezometern (Anhang 5) zeigen, dass sich der grösste Teil des Projektperimeters entgegen der aktuell gültigen Gewässerschutzkarte (KANTON LUZERN, RAWI, 2025) über dem unteren Grundwasser-Stockwerk befindet (vgl. blau gestrichelte Berandung des unteren Grundwasser-Stockwerks in Anhang 1). Dies ist insbesondere hinsichtlich gewässerschutzrechtlicher Bewilligungsfähigkeit des Bauprojekts von Bedeutung (Kap. 6.2).

6.1.1 Schwankungsbereich der Grundwasserdruckflächen

6.1.1.1 *Oberes / mittleres Grundwasser-Stockwerk*

- Gemäss der zwischen dem 30.11.2022 und 09.12.2024 durchgeführten Messungen in den neu erstellten und bestehenden Piezometern inner- und ausserhalb des Projektperimeters (Anhang 5) kann der Schwankungsbereich der Grundwasserdruckflächen im oberen / mittleren Grundwasser-Stockwerk gemäss Tab. 6 abgeschätzt werden. Genauere Angaben über den Schwankungsbereich sind bei Bedarf mit periodischen Grundwassermessungen zu verifizieren (Kap. 12).

	Grundwasserdruckfläche N ÷ S [m ü.M.]	**Flurabstand mit Geländeoberkante N ÷ S** (ca. 453 ÷ 451 m ü.M.) [m]
Hochwasserstand HW (10J)	ca. 452.5 ÷ 450.5	ca. 0.5
Mittelwasserstand MW	ca. 452.0 ÷ 450.0	ca. 1.0
Niederwasserstand NW	ca. 451.5 ÷ 449.5	ca. 1.5

Tab. 6 Abgeschätzter Schwankungsbereich der Grundwasserdruckfläche im oberen / mittleren Grundwasser-Stockwerk im Projektperimeter.

- Durch die stark heterolithische Schichtabfolge innerhalb der Verlandungsbildungen mit untiefen Seeablagerungen besitzt die Abfolge in horizontaler Richtung generell eine grössere Durchlässigkeit als in vertikaler Richtung ($k_h > k_v$).

- Bei extremen Niederschlägen oder bei Hochwasserereignissen ist mit einer Wassersättigung der Lockergesteine bis zur heutigen Geländeoberkante (Kap. 7.1) zu rechnen.
- Die Grundwasserfliessrichtung im oberen / mittleren Grundwasser-Stockwerk verläuft am Projektstandort unter Einfluss des östlich zuströmenden Hang- und Kluftwassers ungefähr von NNE nach SSW. Dabei ist das hydraulische Gefälle im nördlichen Projektperimeter mit ca. 5 % grösser als im südlichen Projektperimeter (ca. 5 ‰).

6.1.1.2 *Unteres Grundwasser-Stockwerk*

- Gemäss langjähriger Messreihen aus der erweiterten Projektumgebung (LUPU1) und aus dem Vergleich mit den in den neu erstellten Piezometern erhobenen Messdaten ist ein Schwankungsbereich der Grundwasserdruckfläche im unteren, bis erheblich artesisch gespannten Grundwasser-Stockwerk im Projektbereich nach Tab. 7 zu erwarten. Genauere Angaben über den Schwankungsbereich sind bei Bedarf mit periodischen Grundwassermessungen zu verifizieren (Kap. 12).

	Grundwasserdruckfläche [m ü.M.]	**Flurabstand mit Geländeoberkante N ÷ S** (ca. 453 ÷ 451 m ü.M.) [m]
Hochwasserstand HW (10J)	ca. 453.4	ca. -0.4 ÷ -2.4
Mittelwasserstand MW	ca. 451.45	ca. 1.55 ÷ -0.45
Niederwasserstand NW	ca. 447.8	ca. 5.2 ÷ 3.2

Tab. 7 Prognostizierter Schwankungsbereich der Grundwasserdruckfläche des unteren Grundwasser-Stockwerks im Projektperimeter. Der angegebene Niederwasserstand berücksichtigt frühere Daten mit entsprechenden (künstlichen) Tiefständen (Pumpwerk Mattenhof). Der jährliche, natürliche Niederwasserstand seit 2005 liegt ca. 2½ m höher. Bei seltenen, kurzzeitig auftretenden Höchsthochwasserständen kann der angegebene Hochwasserstand überschritten werden. Negative Werte des Flurabstands bedeuten artesisch gespannte Druckflächen.

- Aufgrund der erhobenen Messungen des Grundwasserdruckspiegels in den für das vorliegende Projekt neu erstellten Messstellen LU867, LU871, LU872 und LU873 (vgl. Anhang 1 und Anhang 5) ist davon auszugehen, dass sich die Berandung des unteren Grundwasser-Stockwerks weiter Richtung Talrand als in der aktuellen Gewässerschutzkarte (KANTON LUZERN, RAWI, 2025) und damit im Bereich des geplanten Bauvorhabens befindet (vgl. vermutete Berandung in Anhang 1).
- Durch die heterolithische Schichtabfolge innerhalb der Sanderablagerungen besitzt die Abfolge in horizontaler Richtung generell eine grössere Durchlässigkeit als in vertikaler Richtung ($k_h > k_v$).
- Das Gefälle der Grundwasserdruckfläche im unteren Grundwasser-Stockwerk ist sehr flach (< 1 ‰), so dass eine präzise Bestimmung der Grundwasserfliessrichtung aufgrund der geodätischen Messgenauigkeit (OK Piezometerrohr) nicht möglich ist. Bei

Mittelwasserstand ist grundsätzlich von einer Grundwasserfliessrichtung im unteren Grundwasser-Stockwerk ungefähr von NW nach SE im nördlichen Projektperimeter bzw. von N nach S im südlichen Projektperimeter, d.h. ungefähr parallel zur mutmasslichen Berandung des unteren Grundwasser-Stockwerks auszugehen.

- Die Schwankungen der Grundwasserdruckfläche im unteren Grundwasser-Stockwerk sind deutlich grösser als jene im oberen / mittleren Grundwasser-Stockwerk. Zudem ist das untere Grundwasser-Stockwerk deutlich stärker gespannt als das obere / mittlere Grundwasser-Stockwerk, woraus sich im Projektgebiet auf einen aufwärts gerichteten Grundwasserdruckgradienten schliessen lässt. Örtlich bestehen zudem bautechnisch relevante hydraulische Verbindungen zwischen dem unteren und mittleren Grundwasser-Stockwerk (z.B. LU313; vgl. Kap. 6.1.2).
- Für gesicherte Aussagen zur lateralen Ausdehnung des unteren Grundwasser-Stockwerks im Projektbereich und der damit verbundenen geotechnischen Risiken bzw. gewässerschutzrechtlichen Konsequenzen ist bei Bedarf die Ausführung weiterer Baugrundsondierungen (Sondierbohrungen mit Piezometerausbau) näher am Talrand zu empfehlen (Kap. 12).

6.1.2 Pumpversuch

- Beim Pumpversuch aus LU871 (SB24-2), der am 11.07.2024 während ca. 7 Std. gefahren wurde, sind in den überwachten Piezometern die in Tab. 8 zusammengefassten Veränderungen der Grundwasserdruckspiegel festgestellt worden (graphische Darstellung in Anhang 6).
- Während der Versuchsdauer konnten in LU871 annähernd stabile Absenkungen erreicht werden. In Abhängigkeit der Förderrate und unter Annahme einer Mächtigkeit des unteren Grundwasser-Stockwerks von ca. 5 ÷ 10 m wurde nach Dupuit-Thiem (Annahme stabile Absenkung) für das untere Grundwasser-Stockwerk ein Profil- sowie ein Gebiets-k-Wert ermittelt. Beide Berechnungsmethoden ergeben einen **k-Wert von ca. $2 \cdot 10^{-4}$ ÷ $5 \cdot 10^{-4}$ m/s** für das untere Grundwasser-Stockwerk im Projektperimeter.
- In den übrigen Piezometern mit Filterstellungen im **unteren Grundwasser-Stockwerk** (LU867, LU872, LU873, LUPU1) waren zumeist **deutliche Reaktionen der Grundwasserdruckspiegel** mit Absenkungen von bis zu ca. 0.85 m feststellbar (Anhang 6.2). Selbst im ca. > 550 m entfernten Piezometer LUPU1 war bei einer Pumprate von 310 l/min eine Absenkung des Grundwasserdruckspiegels um ca. 11 cm erkennbar, die die über grosse Distanzen lateral vorhandenen hydraulischen Verbindungen im unteren Grundwasser-Stockwerk verdeutlichen. Erfahrungsgemäss nehmen die beobachteten Absenkungen im Allgemeinen mit zunehmender Distanz zu LU871 ab.
- In den Piezometern mit Filterstellungen im **oberen / mittleren Grundwasser-Stockwerk** (Anhang 6.1) war lediglich im Piezometer LU313 (mittleres Grundwasser-Stockwerk) eine kleine Absenkung des Grundwasserdruckspiegels von bis zu ca. 0.05 m bei einer Pumprate von 310 l/min feststellbar. Dementsprechend ist **lokal von natürlichen**

oder künstlichen hydraulischen Verbindungen zwischen dem unteren und dem mittleren Grundwasser-Stockwerk auszugehen.

Pumpmenge	Maximale Absenkung [m]					
LU871	**LU871** (SB24-2) un GWSt	**LUPU1** un GWSt	**LU867** un GWSt	**LU873** (RS24-Pu4) un GWSt	**LU872** (SB24-1) un GWSt	**LU313** mi GWSt
50 l/min	-0.24*	-	-	-0.05**	-0.09**	-
153 l/min	-0.95*	-	-0.22**	-0.27*	-0.39*	-
310 l/min	-2.10*	-0.11**	-0.54**	-0.58*	-0.85*	-0.05

Tab. 8 Veränderung der Grundwasserdruckspiegel in den neu erstellten sowie bestehenden Piezometern anlässlich des Pumpversuchs vom 11.07.2024 aus LU871 (SB24-2) mit Ableitung des Pumpwassers in die Kanalisation. In den restlichen Piezometern des oberen / mittleren Grundwasser-Stockwerks (LU375, LU376, LU1157, LU1158, LU1159, LU1195, LU1196) waren keine Absenkungen feststellbar. Dauer Pumpversuch ca. 7 Stunden. Absenkung: * Annähernd stabil; ** Nicht stabil; - keine Absenkung feststellbar. Grundwasser-Stockwerke (GWSt): mi (mittleres), un (unteres).

6.2 GEWÄSSERSCHUTZ

Gemäss der Gewässerschutzkarte des Kantons Luzern liegt der Projektperimeter vollumfänglich im **Gewässerschutzbereich A_u**. (vgl. Abb. 2), jedoch im Bereich der Berandung des im Prinzip nutzbaren, gewässerschutzrechtlich relevanten unteren Grundwasser-Stockwerks. Der Gewässerschutzbereich A_u gilt grösstenteils auch für das obere / mittlere Grundwasser-Stockwerk.

Die neuen Untersuchungen haben gezeigt, dass sich der Projektperimeter entgegen der aktuellen Gewässerschutzkarte (KANTON LUZERN, RAWI, 2025) grösstenteils noch über dem unteren Grundwasser-Stockwerk befindet (Kap. 6.1 und Anhang 1). Die in Abb. 2 dargestellte Berandung des unteren Grundwasser-Stockwerks entspricht daher nicht dem aktuellen Kenntnisstand gemäss des vorliegenden Gutachtens.

Somit bedürfen Bauten, die in die unterschiedlichen Grundwasser-Stockwerke hineinreichen (UMWELT ZENTRALSCHWEIZ, 2024), z.B. Untergeschosse, Pfähle oder tiefe Baugrubenabschlüsse einer gewässerschutzrechtlichen Bewilligung der kantonalen Dienststelle Umwelt und Energie (uwe). Um für Bauten unter der mittleren Grundwasserdruckfläche, bzw. -deckfläche eine Bewilligung erlangen zu können, ist ein hydrogeologischer, rechnerischer **Unbedenklichkeitsnachweis** über den Einfluss des Bauwerks auf die Durchflusskapazität sowohl im oberen / mittleren als auch im unteren Grundwasser-Stockwerk zu erbringen, welcher als separater Bericht dem Baugesuch beigelegt werden muss.

Wir empfehlen, die gewässerschutzrechtliche Bewilligungsfähigkeit des Bauprojekts unter Berücksichtigung der neu gewonnenen hydrogeologischen Kenntnisse rechtzeitig mit dem uwe vorabzuklären.

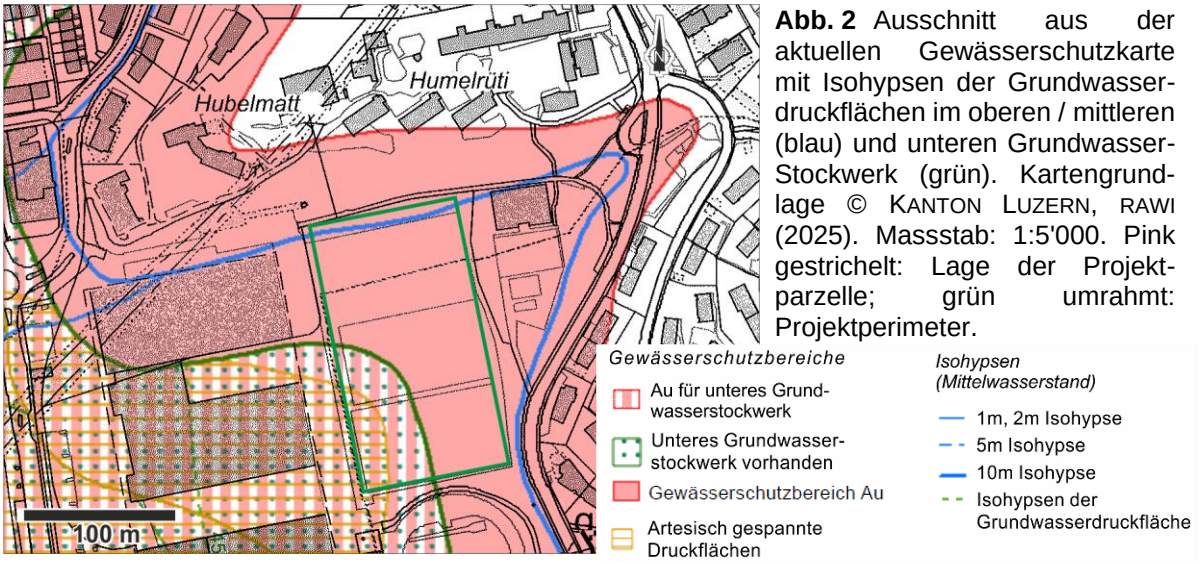


Abb. 2 Ausschnitt aus der aktuellen Gewässerschutzkarte mit Isohypsen der Grundwasserdruckflächen im oberen / mittleren (blau) und unteren Grundwasser-Stockwerk (grün). Kartengrundlage © KANTON LUZERN, RAWI (2025). Massstab: 1:5'000. Pink gestrichelt: Lage der Projektparzelle; grün umrahmt: Projektperimeter.

Im Hinblick auf das Bauvorhaben (insbesondere Rückzug Spundwände, Pfählung) ist Artikel 43 GSchG von Bedeutung, welcher für die Erhaltung von Grundwasservorkommen als Grundsätze u.a. festlegt, dass diese nicht dauernd miteinander verbunden werden dürfen, wenn dadurch die Menge oder – im vorliegenden Fall weniger problematisch – die Qualität des Grundwassers beeinträchtigt werden können.

6.3 BAUTECHNISCH RELEVANTE FOLGERUNGEN

6.3.1 Bauzustand

- Spezielle hydrogeologische Risiken werden vor allem durch den hydraulischen Stockwerkbau und die damit verbundenen **bis erheblich artesisch gespannten Grundwasserdruckverhältnisse** verursacht.
- Weitere Risiken resultieren aus bestehenden natürlichen oder künstlichen hydraulischen Verbindungen zwischen dem unteren und dem mittleren Grundwasser-Stockwerk (Kap. 6.1), so dass sich Absenkungen im unteren Grundwasser-Stockwerk auch in den darüberliegenden Grundwasser-Stockwerken ausbreiten können und umgekehrt. Ebenso können daraus lokale Grundbrüche resultieren.
- Die Druckgradienten sind nach oben hin gerichtet. Daher ist unbedingt zu verhindern, dass bei Durchdringungen **keine Verbindungen vom oberen / mittleren zum unteren Grundwasser-Stockwerk** entstehen (z. B. Rückzug Spundwände), die einen unzulässigen Druckabfall der Druckfläche im unteren Grundwasser-Stockwerk und damit einhergehend Risiken von weiträumigen Setzungen verursachen können.
- Für die Tiefbauarbeiten ist der Umstand bedeutsam, dass die vertikalen Durchlässigkeiten innerhalb der Verlandungsbildungen mit untiefen Seeablagerungen sowie der

tiefer gelegenen Sanderablagerungen geringer sind als die horizontalen. Dadurch entstehen gespannte Druckverhältnisse und folglich eine **Grundbruchgefährdung** (speziell alle sandigen Ablagerungen) sowohl bei *tieferen* Baugruben (z. B. Untergeschoss) als auch in **Tiefenfundationen** (z. B. Bohrpfähle). Bei Letzteren bestehen zudem bei einem grösseren Erdbeben Risiken von Bodenverflüssigung, die zu einer Reduktion der effektiven Mantelreibungswerte führen könnte (Kap. 7.2).

- Für den Bauzustand ist für *tiefreichende* Aushubsohlen des geplanten Untergeschosses ein Sicherheitsnachweis gegen hydraulischen Grundbruch und Sohlaufbruch zu führen. Dabei sind mögliche hydraulische Verbindungen zwischen basalen besser durchlässigen Lockergesteinsschichten des mittleren Grundwasser-Stockwerks und dem unteren Grundwasser-Stockwerk besonders zu beachten (vgl. blaue Pfeile in den geologischen Profilen).
- Erschwerend ist zudem, dass das untere Grundwasser-Stockwerk bei Mittel- bis Hochwasserstand bis erheblich artesisch gespannt ist, wodurch die Risiken von hydraulischem Grundbruch und Sohlaufbruch für diese Zustände zu beachten sind.
- Die Wirkweite allfälliger, ungünstiger Beeinflussungen der Grundwasserverhältnisse im unteren Grundwasser-Stockwerk sowohl im Bau- als auch im Endzustand (z. B. Setzungen infolge Absenkungen der Grundwasserdruckfläche) beträgt mindestens mehrere hundert Meter (Kap. 6.1.2) und erfahrungsgemäss sogar > 1 km.
- Ausserhalb der Baugrube ist somit eine Absenkung der Grundwasserdruckflächen in allen Grundwasser-Stockwerken während der Bauphase unter den Niederwasserstand grundsätzlich mit hohen Risiken von unzulässigen Setzungen verbunden, die durch die organischreichen Ablagerungen mit Torf akzentuiert werden. Dies kann zu Setzungsschäden ausserhalb der Baugrube an bestehenden, insbesondere flachfundierten Bauten führen. Eine allfällige Grundwasserabsenkung oder Druckspiegelentspannung unterhalb des Niederwasserstandes sind deshalb – auch kurzfristig während der Bauphase – zu verhindern. Um die Risiken einer unzulässigen Grundwasserdruckflächen-Entspannung ausserhalb der Baugrube und die Aufwendungen für die Wasserhaltung zu minimieren, steht für Untergeschosse die Ausführung eines dichten Baugrubenabschlusses (Kap. 10.3) im Vordergrund.
- Bei allfälligen freien Baugrubenböschungen im Randbereich (Hanglage) können schichtgebundene Wasseraustritte und die damit verbundenen, hohen Porenwasserdrücke (bedeutende Höhenunterschiede) zu Stabilitätsproblemen sowohl in der Bauphase als auch in der Nutzungsphase bei ungenügend dimensionierten Bauteilen führen (vgl. auch Kap. 4.2).
- Zu beachten sind **die schichtweise schlechte Dränierbarkeit und die Wasserempfindlichkeit** der Lockergesteine vor allem im Aushubbereich. Daher ist eine rechtzeitige Entwässerung des Aushubmaterials vorzusehen. Während nasser Witterung lassen sich die Überschwemmungsablagerungen und Verlandungsbildungen praktisch nicht entwässern, was beim Auflad, Transport und der Deponierung zu entsprechenden Mehrkosten führen kann. Im Weiteren ist zu beachten, dass wassergesättigter Sand

besonders erschütterungsempfindlich ist und z. B. durch Vibrationen bei Spundwandarbeiten zu Verflüssigung neigt.

- Die gefassten Wassermengen der Wasserhaltungsmassnahmen sind in Anlehnung an die Vorgaben der SIA431 über ein genügend leistungsfähiges Absetzbecken / Neutralisationsanlage zu führen. Eine Einleitung der Pumpwassermengen in die Kanalisation ist vorgängig mit den entsprechenden Behörden abzuklären (Achtung Verschlammung). Allgemein ist dabei zu bemerken, dass das anfallende Grundwasser einen geringen Anteil an gelöstem Eisen und evtl. Mangan aufweist, die beim Kontakt mit Sauerstoff der Atmosphäre ausfällen und so zu Ablagerungen im Entwässerungsnetz führen können. Deshalb empfehlen wir eine Einleitung in das Absetzbecken über belüfte Kaskaden, damit das Eisen und das Mangan soweit als möglich ausfällen können. Die Einleitbedingungen in Meteor- oder Abwasserleitungen gemäss der Gewässerschutzverordnung (GSchV) sind einzuhalten.

6.3.2 Endzustand

- Die baulichen Konsequenzen in Bezug auf die Wasserdichtigkeit und für eine genügende Steifigkeit und Tragsicherheit der erdberührten Bauteile (z.B. Auftrieb, evtl. Zugpfähle) sind vom Ingenieur darzulegen. Für die massgebende Druckfläche im Hochwasserfall infolge Überschwemmung ist ungefähr die heutige Geländeoberkante anzunehmen (Kap. 7.1). Weiter sind die bis erheblich artesisch gespannten Druckflächen im unteren Grundwasser-Stockwerk zu berücksichtigen.
- Für Bauten, die unter die Grundwasserdruck bzw. -deckfläche hineinreichen, z.B. Untergeschosse, Pfähle oder Baugrubenabschlüsse, ist für die gewässerschutzrechtliche Bewilligung der hydrogeologische Unbedenklichkeitsnachweis zu erbringen (Kap. 6.2).

7 NATURGEFAHREN

7.1 OBERFLÄCHENABFLUSS / WASSERPROZESSE

Auf der Hinweiskarte Oberflächenabfluss (nicht versickerndes Niederschlagswasser, welches dem nächsten Gewässer zuströmt) des Kantons Luzern (KANTON LUZERN, RAWI, 2025) sind im Baubereich einzelne Zonen mit **potentieller Überflutung** (Abb. 3) ausgeschieden. Im Projektperimeter ist zumeist mit Fliesstiefen <10 cm zu rechnen, die in Richtung SW zunehmen und >25 cm erreichen können. Weiter sind Überlasten aus der Kanalisation sowie der Strassenentwässerung zu beachten.

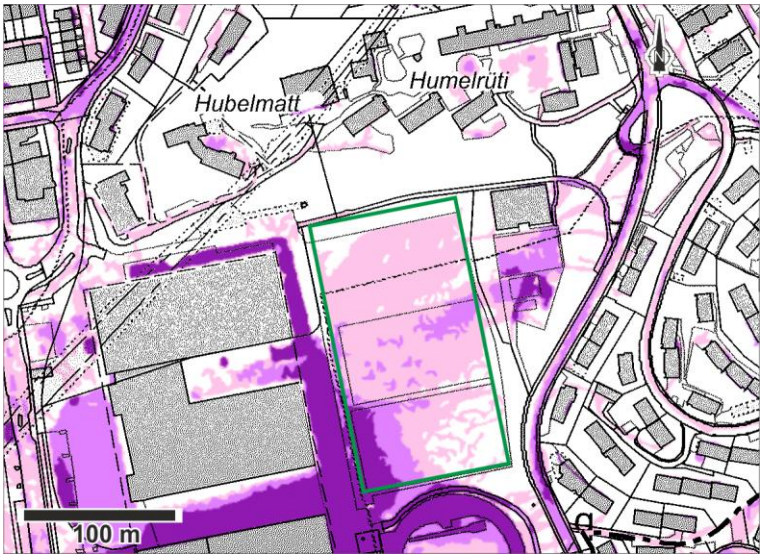


Abb. 3 Ausschnitt aus der Hinweiskarte Oberflächenabfluss © KANTON LUZERN, RAWI (2025). Massstab: 1:5‘000. Grün umrahmt: Projektperimeter.

> 25 cm
11 - 25 cm
< 10 cm
Gewässer

Gemäss der aktuellen Gefahrenkarte (KANTON LUZERN, RAWI, 2025) besteht für den südwestlichen Bereich des Projektperimeters eine Restgefährdung durch **Hochwasser fliessend** (Abb. 4).

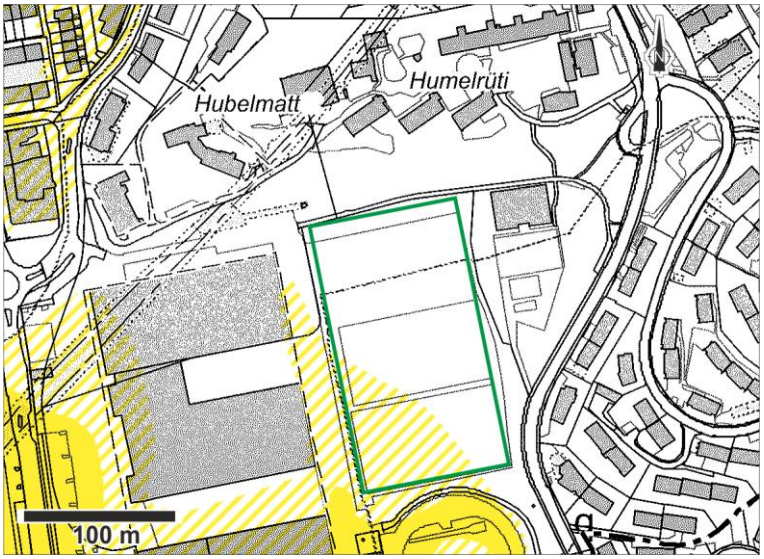


Abb. 4 Ausschnitt aus der Gefahrenkarte Wasserprozesse © KANTON LUZERN, RAWI (2025). Massstab: 1:5‘000. Grün umrahmt: Projektperimeter.

Geringe Gefährdung
Restgefährdung

Grundsätzlich sind die zu erwartenden Schäden an der Bausubstanz selber gering und Personen über Terrain sind kaum gefährdet. Durch das Eindringen von Wasser durch Gebäudeöffnungen können hingegen auch bei geringer Fliesstiefe ganze Untergeschosse, Einstellhallen oder Erdgeschosse unter Wasser gesetzt werden, woraus **erhebliche Sachschäden** (Schäden am Innenausbau und der Einrichtung sowie durch Verschmutzung / Vernässung und Geruchsbelästigung) und gegebenenfalls auch **Personenschäden** (bei Aufenthalt im Untergeschoss) entstehen können.

Mit angemessenen Objektschutzmassnahmen können Schäden i.d.R. vermindert werden. Da sich Starkniederschläge nur kurzfristig vorhersagen lassen und die Abflussbildung im Ereignisfall äusserst rasch erfolgt, ist die Vorwarnzeit bei Oberflächenabfluss entsprechend

kurz (EGLI 2005, 2007). Wo möglich sind permanente Objektschutzmassnahmen gegen Oberflächenabfluss und Hochwasser fliessend vorzusehen (SIA 261/1). Nach SIA 261/1 werden für die Bauwerksklasse I das sehr seltene Szenario («Wiederkehrperiode von 300 Jahre») als Bemessungsereignis vorgeschlagen. Für Objektschutzmassnahmen bieten sich u.a. an:

- Geeignete Anordnung der Koten von Erdgeschossen. Erhöhung von Eingängen, Kellerfenstern, Lichtschächten oder ähnlichen Gebäudeöffnungen über die massgebende Schutzhöhe. Es dürfen keine ungeschützten Fensteröffnungen / Eingänge vorhanden sein, in die das zuströmende Wasser eindringen kann.
- Terraingestaltung, z.B. mittels Anpassung der Geländekoten in der Umgebung. Für einen geordneten Abfluss kommt insbesondere in Talrandlage durchdachten, durchgängigen und hindernisfreien Leitwerken (Stellplatten, Überstände, Vertiefungen in Fallrichtung u.dgl.) eine grosse Bedeutung zu. Zu beachten sind auch allfällige Ein- / Rückstaumöglichkeiten, z.B. umschlossene Terrassen mit ungenügend dimensionierten oder leicht verstopfenden Abflüssen. Die Abflusskorridore sind im Umgebungsplan darzustellen.
- Alternativ sind ungeschützte Gebäudeöffnungen durch automatische Fluttore oder bei ausreichender Vorwarnzeit durch teilmobile Schutzelemente (hochziehbare Konstruktionen, dichte Fensterklappen, Dammbalken, o. ä.) angemessen zu schützen.
- Berücksichtigung der Auftriebssicherheit und der Wasserdichtigkeit erdberührter Bauteile.

Es ist sicherzustellen, dass infolge des Projekts keine neuen, oberirdischen Fliesswege entstehen, die zu Schäden an umliegenden Grundstücken und Gebäuden führen könnten.

7.2 ERDBEBENGEFÄHRDUNG

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

- Für die Bauten sind die Bauwerksklassen gemäss SIA 261:2020 festzulegen.
- Hinsichtlich der **Erdbebengefährdung** wird das Baugebiet nach Karte SIA 261:2020 der Zone 1b mit Beschleunigungswerten 0.8 m/s^2 zugeschlagen.
- Bezüglich der anzuwendenden Baugrundklasse wird je nach Tiefenlage der Felsoberfläche voraussichtlich eine Einstufung in die **Baugrundklasse E** in Talrandlage bzw. **Baugrundklasse D** in der Ebene massgebend sein. Für **flachfundierte Bauwerke** wäre die **Baugrundklasse F** anzuwenden (strukturempfindliche, organische und sehr weiche Ablagerungen in Mächtigkeiten über 10 m). Für gesicherte Angaben über die Baugrundklasse empfehlen wir, objektspezifische Baugrundsondierungen bis in den Felsen abzuteufen (Kap. 12).

- Das Bauvorhaben liegt am Rand eines relativ tiefen Felstrogs mit einem ungünstigen Längen (L)-Tiefen (H)-Verhältnis (L/2H < 10), so dass eine **Verstärkung der Erdbebenwirkung (Amplifikation)** um bis zu einem Faktor 1.5 bis 2.5 in Betracht zu ziehen ist. Die Verstärkung ist generell umso grösser, je näher die Erdbebenfrequenz an der Fundamentalfrequenz der Talfüllung liegt.
- Wie Untersuchungen für die spektrale Mikrozonierung in der Umgebung des Bauvorhabens zeigen (vgl. RÉSONANCE INGÉNIEURS-CONSEILS SA UND KELLER+LORENZ AG, 2012), können bei einem Erdbeben entlang des Pfahlschaftes infolge Verflüssigung bei wassergesättigten feinkörnigen und kohäsionslosen Lockergesteinen die Korn-zu-Korn-Kontaktkräfte aufgehoben werden, so dass ein Tragfähigkeitsverlust eintritt. Somit können bei einer seismischen Anregung unter den vorliegenden gespannten Grundwasserverhältnissen bei einem Erdbeben schichtweise *Bodenverflüssigung* auftreten und destabilisierende vertikale Sickerströmungen entlang von Fundationen nicht ausgeschlossen werden. Es ist davon auszugehen, dass das Antwortspektrum gegenüber der SIA-Norm abweicht und wir empfehlen, diese offene Frage rechtzeitig durch einen Spezialisten abzuklären.

8 ARCHÄOLOGISCHE FUNDSTELLEN

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

Wir weisen aber darauf hin, dass beim Bau der Zentralbahn aus diesen Ablagerungen auch fossile Säugetierreste geborgen worden sind.

9 BAUGRUNDMODELL MIT GEOTECHNISCHEN KENNWERTEN

An Hand unserer Erfahrungen und der durchgeführten Baugrundsondierungen wurde ein Baugrundmodell erstellt, das als Grundlage für die weitere Projektierung dienen soll.

Einheit	Beschreibung	Feucht-raum-gewicht γ_e [kN/m³]	Raumgewicht unter Auftrieb γ' [kN/m³]	effektiver Winkel der Inneren Reibung ϕ' [°]	effektive Kohäsion (undränierte Scherfestigkeit s_u) c [kN/m²]	Durchlässigkeit k-Wert [m/s]	M_E-Wert (M_E'-Wert) [MN/m²]
Künstliche Auffüllungen	Unterschiedlich tonig-siltige Kies-Sand-Gemische mit variablem Anteil an Steinen und Blöcken sowie tw. organischen Beimengungen und Fremdstoffen, heterogen gelagert.	19.0 ± 2.0	9.5 ± 2.0	32 ± 2	0 *)	sehr variabel $x \cdot 10^{-3} \div x \cdot 10^{-7}$	heterogen
Hangsedimente	Unterschiedlich siltiger Sand mit variablem Anteil an Kies, Steinen, Blöcken und organischen Beimengungen, sehr locker bis mitteldicht gelagert.	19.0 ± 1.0	9.5 ± 1.0	28 ± 2	0 *)	$x \cdot 10^{-5} \div x \cdot 10^{-6}$	3 ÷ 10 (9 ÷ 30)
Verlandungsbildungen mit untiefen Seeablagerungen	Unterschiedlich toniger Silt mit dünnen Sandschichten bis stark siltiger Feinsand mit meist vielen organischen Beimengungen (Holzreste bis zuweilen ganzen Baumstämme; Torfschichten), sehr weich bis mittelsteif bzw. sehr locker bis locker gelagert.	18.0 ± 1.0	8.5 ± 1.0	26 ± 2	0 *) (10 ± 5)	$x \cdot 10^{-5} \div x \cdot 10^{-7}$ $k_v \neq k_h$	1 ÷ 8 (3 ÷ 24)
	Torf	11.5 ± 0.5	2.0 ± 0.5	16 ± 1	0	$x \cdot 10^{-4} \div x \cdot 10^{-7}$	0.1 ÷ 1 (<3)
Sanderablagerungen	Unterschiedlich siltiger Kies mit viel Sand und Steinen sowie sauberer bis unterschiedlich siltiger Sand mit schichtweise vereinzelt bis wenig Kies (tw. Diamiktite), mitteldicht bis dicht, schichtweise locker oder sehr dicht gelagert.	20.0 ± 0.5	10.5 ± 0.5	34 ± 2	0 *)	$k_v \neq k_h$ k_v $x \cdot 10^{-6} \div x \cdot 10^{-8}$ k_h $x \cdot 10^{-4} \div x \cdot 10^{-5}$	8 ÷ 20 (24 ÷ >60)
Moränenablagerungen	Unterschiedlich tonig-siltiger Sand mit variablem Anteil an Kies, Steinen und tw. sehr harten Findlingsblöcken (Ø > 1 m), dicht bis sehr dicht, untergeordnet mitteldicht gelagert.	20.5 ± 1	11.0 ± 1	34 ± 2	0 *)	$x \cdot 10^{-4} \div x \cdot 10^{-7}$	20 ÷ 60 (> 60)
	Zwischenschichten aus fast sauberem bis unterschiedlich siltigem Sand mit var. Anteilen an Kies und Steinen. Locker bis mitteldicht gelagert.	20.0 ± 0.5	11.5 ± 0.5	32 ± 2	0 *)	$x \cdot 10^{-3} \div x \cdot 10^{-5}$	10 ÷20 (30 ÷>50)

Einheit	Beschreibung	Feucht-raum-gewicht γ_e [kN/m³]	Raumgewicht unter Auftrieb γ' [kN/m³]	effektiver Winkel der Inneren Reibung ϕ' [°]	effektive Kohäsion (undränierte Scherfestigkeit s_u) c [kN/m²]	Durchlässigkeit k-Wert [m/s]	M_E-Wert (M_E'-Wert) [MN/m²]
Verwitterter Felsen	Entfestigter bis zersetzter Silt- und Schlammstein.	22.5 ± 0.5		22 ± 2 Schichtfugen tw. <25°	25 ± 15 Trennflächen tw. 0	$x \cdot 10^{-6}$ ÷ $x \cdot 10^{-9}$	50 ÷ 100
	Sandstein.	24.0 ± 1.0		32 ± 2 Schichtfugen tw. <25°	60 ± 40 Trennflächen tw. 0	$x \cdot 10^{-4}$ ÷ $x \cdot 10^{-6}$	> 100
"Frischer Felsen"	Silt- und Schlammstein.	22.5 ± 0.5		30 ± 5 Schichtfugen tw. <25°	> 500 Trennflächen tw. 0	< $x \cdot 10^{-9}$	> 4'000
	Sandstein.	24.5 ± 0.5		45 ± 5 Schichtfugen tw. <25°	> 1'000 Trennflächen tw. 0	$x \cdot 10^{-7}$	> 5'000

*) Scheinkohäsion vorhanden.

Tab. 9 Baugrundmodell mit geotechnischen Kennwerten.

- Die zugehörigen charakteristischen Bodenkennziffern (X_k) beruhen auf Abschätzungen. Wir empfehlen, diese allenfalls durch zusätzliche aufgabenspezifische Baugrundsondierungen oder Laboruntersuchungen zu verifizieren. Der angegebene Wert gilt als vorsichtiger Erfahrungswert und kann je nach Bemessungssituation mit der angegebenen Bandbreite variieren (SIA 267, Ziffer 4.2.1.4).
- Gemäss SIA 267, Ziffer 7.3.5 ist «für Standfestigkeitsuntersuchungen für feinkörnige Böden immer auch die undrainierte Scherfestigkeit c_u zu bestimmen». Weiter sind u.a auch SIA 267, Ziffer 7.4.2.2, 7.5.3.2, 8.5.1.5 und 8.5.1.6 zu berücksichtigen.
- Die für die Berechnungen einzusetzenden Bemessungswerte sind gemäss der SIA-Norm 267 vom Ingenieur aus den charakteristischen Kennwerten (X_k) unter Berücksichtigung der, je nach Art der Einwirkungen (Grenzzustände) festzulegenden Partialfaktoren, abzuleiten und spezifisch für den jeweiligen geotechnischen Nachweis festzulegen (SIA 267, Ziffer 4.2).
- Die Charakteristika des „frischen" Felsen beziehen sich auf den oberflächennahen Felsverband. Im kleineren Massstab sind Klüfte mit sehr geringen Scherfestigkeiten (kohäsionslose offene Klüfte, verlehmte Klüfte mit geringen Winkeln der inneren Reibung) möglich, die zu Ausbrüchen unterschiedlichster Grösse führen können.
- 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 GENERELLE ERSCHWERNISSE

- Bezüglich der durch die hydrogeologischen Verhältnisse bedingten, bautechnisch relevanten Folgerungen verweisen wir auf Kap. 6.3.
- Die Auswertungen verdeutlichen, dass der Baugrund deutlich heterogen und keilförmig asymmetrisch ausgebildet ist, was seine Abbildung in unterschiedlichem Setzungs- und Tragverhalten findet.
- Der Projektperimeter befindet sich im Nahbereich von Nachbargebäuden, setzungsempfindlichen Sportplätzen und Strassen mit Werkleitungen. Sowohl im Bau- als auch im Endzustand ist zu beachten, dass je nach Vulnerabilität der bestehenden Bauten keine Deformationen akzeptabel sind. Wir empfehlen, die Empfindlichkeit dieser Bauten und Fundationen frühzeitig abzuklären, um allenfalls schadensvorbeugende Massnahmen wie vorgängige Fundationsverstärkungen, Werkleitungsumlegungen, erschütterungsarme Baumethoden usw. in die Projektierung einfliessen zu lassen.
- Mit **Bohr- oder Rammhindernissen**, wie z. B. künstliche Auffüllungen, Torf, Baumstämme, sehr dicht gelagerte Moränenablagerungen mit zuweilen sehr harten Findlingsblöcken, muss gerechnet werden; ebenso sind die verbreiteten Sande sehr grundbruchempfindlich. Entsprechende Erschwernisse bei Fundationen (Kap. 10.2) und Baugrubenabschlüssen (Kap. 10.3) sind einzurechnen.
- Bautechnisch sehr bedeutsam ist der örtlich **sehr setzungsempfindliche Baugrund**. Relevant sind die kurz- und längerfristigen **Setzungsverhalten** sowohl primärer als auch längerfristiger sekundärer Natur sowie das langfristige Kriechverhalten. Im Gebiet Allmend ist generell mit bedeutenden Sekundärsetzungen (Kriechen) infolge natürlichen Zersetzungsprozesses der Torflagen von mehreren mm/Jahr zu rechnen. Die daraus vorhersehbaren differenziellen Setzungen gegenüber bestehenden Gebäuden und Infrastrukturanlagen verdienen eine hohe Beachtung. So sind z. B. flexible Anschlüsse von Werkleitungen an starr fundierte Gebäude zu konzipieren. Zudem ist die Setzungsempfindlichkeit der verbreiteten Torfschichten und feinkörnigen Lockergesteine insbesondere bei Vibrationen z. B. bei Spundwandarbeiten oder Grundwasserabsenkungen zu berücksichtigen.
- An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass die verbreiteten unterschiedlichen siltigen Sande eine deutliche **trügerische Scheinkohäsion** besitzen, die insbesondere bei Durchnässung entfällt und rasch zu einer Entfestigung und Verschlammung führt.
- Für die Erstellung der Pfahlfundation (Kap. 10.2) oder von Baugrubenabschlüssen (Kap. 10.3) ist ein tragfähiges Ramm- oder Bohrplanum zu gewährleisten, dessen Mächtigkeit von den eingesetzten Maschinen abhängig ist und im vorliegenden, setzungs- und grundbruchempfindlichen Baugrund unbedingt vorgängig mit dem ausführenden Unternehmer abgeklärt werden sollte. Die Pfähle sind ab einem Arbeitsplanum

über der Grundwasserdruckfläche auszuführen, *da anderenfalls bei den bis artesisch gespannten Grundwasserverhältnissen mit einer erhöhten Grundbruchgefahr im Pfahlrohr und mit der Gefahr des Auswaschens von Pfahlbeton gerechnet werden muss.*

- Bei derzeitigem Kenntnisstand bestehen Hinweise, dass die Aushubarbeiten und Bauarbeiten gegebenenfalls zu verstärkten Ausgasungen von Kohlendioxid und Methan führen können (z. B. Entfernung von Versiegelung und Deckschichten). Daher ist eine einfache Gasüberwachung z. B. mittels tragbarem Gaswarngerät während der Bauphase vorzusehen. Für die Nutzungsphase besteht die Möglichkeit einer zukünftigen Entgasung von Kohlendioxid aus der unterhalb und seitlich der geplanten Bodenplatte des Neubaus allfällig verbleibender Torfschichten oder organisch reicher Zwischenschichten. Eine vollständige Versiegelung der Torfschicht durch die Bodenplatte ist nicht gegeben. Insbesondere bei hohen Grundwasserdruckflächen besteht die Möglichkeit, dass Kohlendioxid und Methan seitlich des Gebäudes ausgasen und ohne spezielle Vorkehrungen potentiell in das Untergeschoss ebenerdig (Fensteröffnungen, Einfahrten etc.) oder über Gaswegsamkeiten eindringen könnten. In gut ventilierten Einstellhallen und Kellerräumen ist das Risiko jedoch als klein einzuschätzen (Kap. 13).
- Wir empfehlen, die Gefährdungsbilder und akzeptierten Baugrundrisiken sowie Massnahmen zur Risikominderung in der Nutzungsvereinbarung / Projektbasis festzuhalten (Kap. 12).

10.2 FUNDATION

10.2.1 Allgemeines

- Es sind die in Kap. 6.3 beschriebenen bautechnisch relevanten Folgerungen der Hydrogeologie sowie die Kap. 10.1 beschriebenen generellen Erschwernisse zu beachten.
- Alle Varianten des geplanten Neubaus werden gemäss den uns vorliegenden Plangrundlagen (ALP ARCHITEKTUR LISCHER PARTNER AG, 2023) grundsätzlich in die sehr weichen bis mittelsteifen oder sehr locker bis locker gelagerten, d.h. besonders *setzungsempfindlichen* und wenig tragfähigen Verlandungsbildungen mit untiefen Seeablagerungen und mächtigen Torfschichten einbinden. Diese können lediglich zur Aufnahme beschränkter Bauwerkslasten genutzt werden.
- Insbesondere bei der Variante Nord in Hangnähe ist der Einfluss der stark asymmetrischen Baugrundverhältnisse zu beachten. Die Fundationskote dieser Variante kommt je nach Einbindetiefe voraussichtlich in die Verlandungsbildungen mit untiefen Seeablagerungen, Hangsedimente, Moränenablagerungen und / oder in den verwitterten Felsen zu liegen.
- Infolge der **Heterogenität und Asymmetrie** des Baugrundes ist bei Flachfundationen grundsätzlich mit hohen Risiken von kurzfristigen (während des Baus) und längerfristigen (infolge Bauten und Neubauten in unmittelbarer Umgebung, dynamische

Beanspruchungen durch Verkehr, etc.) **Setzungen und Setzungsdifferenzen** zu rechnen, die rasch ein zulässiges Mass übersteigen können. Durch die Konsolidation feinkörniger Sedimente und Torfschichten (differentielle Kriechsetzungen) bestehen erhöhte Risiken, dass bei einer Flachfundation und einer kombinierten Pfahlplatten-Gründung die zulässigen Setzungen überschritten werden und bei Pfählen mit einer *negativen Mantelreibung* zu rechnen ist.

- Das Flachfundieren von Neubauten weist unter diesen Randbedingungen sehr hohe Risiken von unzulässigen absoluten oder differentiellen (Asymmetrie und Heterogenität des Baugrunds) Setzungen auf, insbesondere bei einer Zusatzbelastung des Untergrundes.
- Dem sehr unruhigen, im Meterbereich nicht prognostizierbaren Kleinrelief der Oberfläche der geotechnisch bedeutsamen Schichtgrenzen (tragfähige Moränenablagerungen und Felsoberfläche; Kap. 4) ist je nach Fundationsart unbedingt durch eine **flexible Gestaltung des Fundationskonzepts** Rechnung zu tragen.
- Ein zweckmässiges Fundationssystem für alle Standortvarianten stellt eine **Tiefenfundation mittels Bohrpfählen** (Kap. 10.2.2) in die besser tragfähigen Moränenablagerungen (alle Varianten) oder in den Felsen (Variante Nord) dar. Die Pfähle der Tiefenfundation könnten bei Bedarf auch als allfällige Zugpfähle bei einer Auftriebsproblematik bei Hochwasser, insbesondere für lediglich erdüberdeckte Bauteile, oder für die Erdbebensicherheit ausgebildet werden.
- Aufgrund der dicht bis sehr dicht gelagerten Moränenablagerungen mit eingelagerten Blöcken oder infolge möglicher Baumstämme in den Verlandungsbildungen mit untiefen Seeablagerungen bestehen hohe Risiken, dass bei Anwendung von Rammpfählen oder Verdrängungsbohrpfählen die erforderliche Pfahllänge nicht erreicht würde. Unter der Berücksichtigung einer ausreichenden Einbindung in die tragfähigen Schichten sowie der Lärm- und Erschütterungsimmissionen steht somit insbesondere bei grösseren Lasten die Anwendung von Bohrpfählen im Vordergrund.
- Bei der Variante Nord kämen als Alternative zu einer Tiefenfundation mit Bohrpfählen zudem je nach Anzahl Untergeschossen und Tiefenlage der tragfähigen Moränenablagerungen und der Felsoberfläche eine **Flachfundation mit baugrundverbessernden Massnahmen** (Beton-Tatzen / -riegel oder Materialersatz) in Frage. Diesbezüglich wären genauere Betrachtungen der Gebrauchstauglichkeit mit den Einwirkungen auf die Gründungsbauteile durchzuführen, um die erkannten Risiken von unzulässigen absoluten und differentiellen Setzungen sowie möglicher Liquefaktion im Erdbebenfall zu minimieren. Zudem ist bei dieser Option zu beachten, dass je nach Art des Baugrubenabschlusses mit einer Auflockerung des randlichen Fundationsuntergrunds zu rechnen ist. Die grössten Setzungsrisiken entstehen beim Rückzug von Spundbohlen.
- Die oberflächennah **wenig tragfähigen, setzungs- und grundbruchempfindlichen Lockergesteine** sind auch **bei sämtlichen temporären Kranfundamenten, Betonsilos usw. zu berücksichtigen**, und die Fundamente sind entsprechend zu dimensionieren (Pfahlfundation).

10.2.2 Bohrpfähle

- Geotechnische Erschwernisse (z. B. Bohrhindernisse) gemäss Kap. 10.1 sind einzurechnen. Im Weiteren sind Zuschläge für Unterwasserbeton einzurechnen. Zudem ist 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 (ev. auch Torf) nicht auszuschliessen.
- An dieser Stelle sei wiederholt, dass alle sandigen Ablagerungen (sauberer bis siltiger Feinsand) bei den bis erheblich artesisch gespannten Druckverhältnissen als grundbruchempfindlich einzustufen (Kap. 6.3.1) sind. Diesem Umstand ist bei den Bohrarbeiten gebührend Rechnung zu tragen (dauerndes Nachfüllen der Bohrrohre mit Wasser oder Bentonit-Suspension, genügend tiefes Vorpressen der Verrohrung, keine Vakuumbildung während dem Rückzug des Bohreimers oder der Bohrschnecke usw.). *Ein Abteufen der Bohrpfähle ist von einem tragfähigen Arbeitsplanum oberhalb der Grundwasserdruckfläche vorzusehen, da bei den bis erheblich artesisch gespannten gespannten Grundwasserverhältnissen mit einer erhöhten Grundbruchgefahr im Pfahlrohr und mit der Gefahr des Auswaschens von Pfahlbeton gerechnet werden muss.*

Dimensionierungsgrösse	**Tiefenbereich ab Geländeoberkante **)**	**Gebrauchslasten unter 1.0-facher Sicherheit** [kN/m²]	**Charakteristischer, äusserer Tragwiderstand $R_{a,k}$ *)** [kN/m²]
Mantelreibung	Künstliche Auffüllungen, Verlandungsbildungen mit untiefen Seeablagerungen, Hangsedimente	0	0
	Sanderablagerungen	ca. 20 bis 25	ca. 50 bis 65
	Dicht bis sehr dicht gelagerte Moränenablagerungen oder stark bis mässig verwitterter Felsen	ca. 50 bis 80	ca. 130 bis 210
Spitzenwiderstand	Dicht bis sehr dicht gelagerte Moränenablagerungen oder stark bis mässig verwitterter Felsen	ca. 2'800 bis 3'200	ca. 7'300 bis 8'300
	Angewitterter Felsen (R3)	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: $R_{a,d} = \eta_a * R_{a,k} / \gamma_{M,a}$. Ohne Erfahrungswerte vergleichbarer Pfahlfundationen in der näheren Umgebung sowie aus Pfahlbelastungsversuchen ist ein Umrechnungsfaktor von $\eta_a \leq 0.7$ auszugehen.

**) Die abgeschätzten Tiefenangaben sind während der Bohrarbeiten fortlaufend zu verifizieren und durch ein flexibles Konzept Rechnung zu tragen.

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

Tab. 10 Zulässige Mantelreibungs- und Spitzenwiderstandswerte für die Abschätzung der äusseren Pfahltragwiderstände.

- Für eine erste Abschätzung der Bohrpfahlfundation können die Mantelreibungs- und Spitzenwiderstandswerte aus Tab. 10 verwendet werden (ohne Berücksichtigung der Gruppenwirkung). Die 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.
- Die in Tab. 10 angegebene untere Bandbreite der zulässigen Mantel- und Spitzenwiderstandswerte ist massgebend für grosskalibrige (≥ 90 cm), die obere Bandbreite für kleinkalibrige Bohrpfähle.
- Bei den setzungsempfindlichen Verlandungsbildungen mit untiefen Seeablagerungen muss bereits bei geringmächtigen Aufschüttungen mit grösseren Setzungen gerechnet werden, die zu **negativer Mantelreibung** und dadurch zu einer Mehrbelastung der Pfähle führen. Dieser Umstand ist bei Geländeanpassungen zu berücksichtigen, und die zulässigen äusseren Pfahltragwiderstände sind bei den betroffenen Randpfählen allenfalls um ca. 15% bis 20% zu reduzieren.
- Bei der Anwendung der prognostizierten Pfahltragwiderstandswerte sind im Lockergestein Pfahlsetzungen von bis ca. 1 bis 2 cm, im Felsen von lediglich wenigen Milimetern möglich. Entsprechende Beanspruchungen der Konstruktion sind bei der Bemessung der Tragkonstruktion zu berücksichtigen. *Unsere Angaben sind durch den projektierenden Ingenieur zu verifizieren.*

10.3 BAUGRUBE

- Es sind die in Kap. 6.3 beschriebenen bautechnisch relevanten Folgerungen der Hydrogeologie sowie die Kap. 10.1 beschriebenen generellen Erschwernisse zu beachten.
- Bereits bei einem Untergeschoss (Tab. 1) taucht der Neubau unter den natürlichen Niederwasserstand des oberen / mittleren Grundwasser-Stockwerks ein, so dass eine **Wasserhaltung innerhalb einer dichten Baugrube** notwendig wird. Zusätzlich werden insbesondere bei den Standortvarianten Mitte und Süd kontrollierte Druckentspannungsmassnahmen im unteren und ggf. mittleren Grundwasser-Stockwerk notwendig (Kap. 10.4), wobei eine Entspannung unter deren natürlichen Niederwasserstand nicht zulässig ist (Kap. 6.3).
- Bei der vorgesehenen Baugrube ist u.a. der Nachweis der Sicherheit gegenüber hydraulischem Grundbruch und Sohlaufbruch zu führen.
- Das notwendige Absenken der Grundwasserdruckfläche bis unter die Baugrubensohle wird bei den allgemein setzungsempfindlichen Baugrundverhältnissen nur innerhalb einer dicht umschlossenen Baugrube möglich sein. Im Vordergrund steht dabei eine

Lösung mittels **Spundwänden** mit gut dichtenden Schlössern und einer Einbindung bis in die stauenden Moränenablagerungen oder oberste Verwitterungszone des Felsen.

- Im Weiteren stellen **überschnittene Bohrpfahlwände** risikoärmere, aber kostenintensivere Methoden dar (rechtzeitige Abklärung der hydrogeologischen Unbedenklichkeit, Kap. 6.2).
- Bei der Standortvariante Nord ist ggf. hangseits die Ausbildung von freien Böschungen mit Sickerbeton-Verstärkungen möglich.
- Die sehr setzungsempfindlichen Baugrundverhältnisse stellen insbesondere bei sensiblen Bauten (z. B. Werkleitungen, Sportplätze) im unmittelbaren Nahbereich des Bauvorhabens hohe Anforderungen an eine erschütterungsarme und setzungsmindernde Baumethode. Im Nahbereich der Spundwände bestehen vor allem beim Ziehen erhöhte Risiken von Setzungen, die bei der Planung gebührend zu berücksichtigen sind. Eine starke Reduktion der zu erwartenden Setzungen liesse sich durch verloren eingebrachte Spundwände erreichen (rechtzeitige Abklärung der hydrogeologischen Unbedenklichkeit, Kap. 6.2).
- Bedingt durch den Eingriff in verschiedene, bis artesisch gespannte Grundwasser-Stockwerke bestehen Risiken, dass beim Ziehen der Spundwände **hydraulische Verbindungen** zwischen den verschiedenen Grundwasser-Stockwerken hergestellt wird (Kap. 6.3.1), die sich in einer von Setzungen begleiteten **Druckentspannung** und durch **unzulässige Grundwasseraufstösse** niederschlagen könnte. Als risikomindernde Massnahme ist ein kontrolliertes Ausinjizieren der an den Spundbohlen angebrachten Röhrchen während dem Rückzug der Spundwandbohlen umzusetzen. Die Umsetzung inkl. Festlegung der Anforderungen an das Injektionsgut sind eng durch die Fachbauleitung unter Beizug des Hydrogeologen / Geotechnikers zu begleiten. Ebenso sind die Spundwandarbeiten mit einer kontinuierlichen Überwachung der Grundwasserdruckverhältnisse vorzugsweise mit automatischer Alarmierung zu begleiten. Zeichnen sich während des Spundwandrückzuges allfällige lokale Anpassungen der Druckniveaus unter den Grundwasser-Stockwerken ab, so wären umgehend z. B. zusätzliche Druckinjektionen mit oder ohne temporärer Grundwasseranreicherung vorzusehen. Solche Massnahmen sind bei der Planung genau zu definieren (Ausführungsart), mittels Versuchen auszutesten sowie bei Bedarf die umgehende Ausführung zu gewährleisten.
- Bereits bei einem Untergeschoss wird voraussichtlich eine mehrfach abgestützte Baugrube erforderlich.
- Von einer Abstützung der Baugrubenabschlüsse mit Ankern raten wir ab, da in den weichen, feinkörnigen Baugrund nur geringe Ankerkräfte abgetragen können. Zudem bestehen erkanntermassen Risiken von unzulässigen Druckentspannungen in den unterschiedlich gespannten Grundwasser-Stockwerken.
- Im Bereich der Baugrubenoberkante sind Zusatzlasten (z. B. Verkehrslast, Materiallager, usw.) nicht zulässig oder in einem genügenden Abstand je nach Baugrubenhöhe

von der Oberkante anzuordnen. Anderenfalls sind zusätzliche Verstärkungsmassnahmen umzusetzen.

- Das genaue Ausmass des Baugrubenkonzepts sollte nach Vorliegen konkreter Projektpläne (u.a. Aushubsohle) und von projektspezifischen Baugrundsondierungen in Zusammenarbeit mit dem Geotechniker / Geologen und Ingenieur bestimmt und durch Stabilitätsberechnungen überprüft werden.

10.4 WASSERHALTUNG

- Es sind die in Kap. 6.3 beschriebenen bautechnisch relevanten Folgerungen der Hydrogeologie sowie die Kap. 10.1 beschriebenen generellen Erschwernisse zu beachten.
- Bei den hydrogeologischen Verhältnissen im Bereich des Bauareals kommt der Wasserhaltung eine besondere Bedeutung zu. Es muss unterhalb der Baugrubensohle mit besser durchlässigen Lockergesteinen (z. B. Torfschichten und Sanderablagerungen im mittleren und unteren Grundwasser-Stockwerk) gerechnet werden. **Bei ungenügender Druckentspannung** dieser durchlässigen Lockergesteinsschichten besteht je nach erzielter Dichtigkeit des Baugrubenabschlusses Risiken, dass die Baugrubensohle aufbricht (**Sohlaufbruch**) oder lokale **Grundbrucherscheinungen** auftreten (Kap. 6.3). Dementsprechend umfasst die Wasserhaltung einerseits die Trockenlegung der Baugrube, andererseits die kontrollierte Druckentspannung der unterschiedlich gespannten Grundwasser-Stockwerke (mittleres und unteres Grundwasser-Stockwerk).
- Für die Trockenlegung der Baugrube sind **Pumpensümpfe mit genügend Entwässerungsgräben** und ergänzend durch **Wellpoint oder Kleinfilterbrunnen** vorzusehen, die genügend tief unter die Baugrubensohle reichen sollten. Die erforderliche Pumpmenge wird stark abhängig sein von der Grundwasserdruckspiegellage und der Dichtigkeit des Baugrubenabschlusses. Es ist je nach Vorhandensein durchlässiger Zwischenschichten mit Pumpwassermengen von mehreren 10 l/min bis wenigen 100 l/min zu rechnen. Nach Erreichen des Absenkziels und in Abhängigkeit der Niederschläge wird sich die Pumpwassermenge auf < x·10 l/min. reduzieren.
- Für die kontrollierte **Druckentspannung im unteren und ggf. mittleren Grundwasser-Stockwerk** sind **Wellpoint oder Filterbrunnen** vorzusehen. Je nach Sicherheitsnachweis des Sohlaufbruchs sowie der Lage des Grundwasserdruckspiegels ist mit Pumpwassermengen von bis mehreren 1‘000 l/min zu rechnen.
- Bei der Erstellung von z. B. Filterbrunnen ist zu beachten, dass keine unzulässigen Verbindungen zwischen den unterschiedlich gespannten Grundwasser-Stockwerken entstehen, besonders auch nach dem Rückbau dieser Anlagen.
- Wir empfehlen, zur Kontrolle der Grundwasserdruckspiegel (auch als Basis für den Auftriebs-Nachweis) im mittleren und unteren Grundwasser-Stockwerk genügend Piezometer oder Filterbrunnen innerhalb der Baugrube zu erstellen.

- Bei der Erstellung von Piezometer und Filterbrunnen ist zu beachten, dass keine unzulässigen Verbindungen zwischen den unterschiedlich gespannten Grundwasser-Stockwerken entstehen. Sämtliche Piezometer oder Filterbrunnen sind grundsätzlich so auszubilden, dass ein **einwandfreies Abdichten** nach Einstellung der Wasserhaltung (Rückbau, inkl. Abdichtung Bohrloch-Ringraum) möglich wird.
- Um eine unzulässige Absenkung der Grundwasserdruckfläche ausserhalb der Baugrube zu verhindern, resp. rechtzeitig erkennen zu können, ist eine **angemessene weiträumige Grundwasserüberwachung** erforderlich (Kap. 13) Dies auch zur Abgrenzung gegenüber möglichen anderen Tiefbauarbeiten.
- Sofern die Grundwasserdruckflächen unter einen noch festzulegenden Meldewert absinkt, ist eine Wiederversickerung von Grundwasser vorzusehen (z.B. **Rückgabebrunnen** in verschiedenen Grundwasser-Stockwerken). Um die Funktionstüchtigkeit solcher Rückversickerungen zu gewährleisten (keine Eisenausscheidung, usw.), ist für die Wiederanreicherung sauberes und sauerstoffreiches Wasser zu verwenden (vgl. Kap. 6.3).

10.5 ALLGEMEINE HINWEISE ZU DEN ERDARBEITEN

- Es sind die in Kap. 6.3 beschriebenen bautechnisch relevanten Folgerungen der Hydrogeologie sowie die Kap. 10.1 beschriebenen generellen Erschwernisse zu beachten.
- Der Baugrund kann allgemein als gut baggerfähig bezeichnet werden. Innerhalb der künstlichen Auffüllungen sind Fremdstoffe, wie Bauschutt, Blöcke und stärker belasteter Aushub usw. zu erwarten (Kap. 5, Kap. 10.1). In den Verlandungsbildungen mit untiefen Seeablagerungen ist schichtweise mit einem hohen Anteil organischer Beimengungen (Torf, ev. ganze Baumstämme) und in den Moränenablagerungen mit Blöcken zu rechnen. Zudem ist die schichtweise schlechte Dränierbarkeit sowie die Wasserempfindlichkeit der Lockergesteine zu beachten (Kap. 6.3.1).
- Als Planum für weitere Bauarbeiten sowie als Schutz vor Witterungseinflüssen ist die Baugrubensohle mit einer Sauberkeitsschicht aus Kiessand und Magerbeton abzudecken. Die wenig tragfähige Baugrubensohle wird nur mit leichten Maschinen (ev. Moorraupe) und nur bei guter Entwässerung befahrbar sein, insbesondere bei torfigen Schichten.

11 METEORWASSERVERSICKERUNG

- Gemäss Gewässerschutzgesetz muss anfallendes Meteorwasser nach Möglichkeit in den Untergrund versickert werden. Dabei sollten in erster Linie oberflächliche humusierte Versickerungsmulden (Typ H) zur Anwendung kommen.
- Wie die in Kap. 4 beschriebenen Baugrundverhältnisse zeigen, setzen sich die oberflächennahen natürlichen Lockergesteine örtlich v.a. aus fein- und mittelkörnigen Locker-

gesteinsschichten oder, bei der Standortvariante Nord, den Moränenablagerungen / Felsen (Versickerungsleistung von < 2 l/min·m²) zusammen. Weiter verhindern die tw. artesischen Grundwasserdruckverhältnisse eine Versickerung weitgehend.

- **Eine Versickerung des anfallenden Meteorwassers ist somit unter den oben beschriebenen Verhältnissen nicht möglich.**
- Als Alternative zu einer Meteorwasserversickerung muss deshalb das Ableiten der anfallenden Regenwassermengen in einen Vorfluter oder in das Kanalisationssystem überprüft werden. Eine verzögerte Einleitung, d. h. nebst Retention auf den beregneten Flächen ein Zwischenspeichern des Dachwassers mit Hilfe eines **Retentionssystems** und eine gedrosselte Abgabe nach dem Regenereignis, muss dabei vorgesehen werden. Ein solcher Zwischenspeicher wird in Muldengeometrie, in Form einer Kiespackung (Kieskörper), als Teich mit Biotop, Speicherleitung oder anderen unterirdischen Volumina (z. B. Kunststoffprodukte) möglich sein. Detaillierte Angaben sind in der Richtlinie Regenwasserentsorgung (VERBAND SCHWEIZER ABWASSER- UND GEWÄSSERSCHUTZFACHLEUTE, VSA 2019) zu entnehmen.

12 KENNTNISSTAND UND EMPFEHLUNGEN FÜR ERGÄNZENDE, OBJEKTSPEZIFISCHE BAUGRUNDSONDIERUNGEN

Um die erkannten Risiken besser zu beherrschen und um eine optimale Bemessung sowohl für den Baugrubenabschluss als auch für die Fundation zu ermöglichen, werden für die zukünftigen Projektstufen in Absprache mit dem projektierenden Ingenieur zusätzlich innerhalb des zu konkretisierenden Projektperimeters (Variantenentscheid) objektspezifische Baugrundsondierungen und die Erstellung eines stufengerechten Gutachtens erforderlich sein.

- Insbesondere für die Verifizierung der Tiefenlage der Oberfläche tragfähiger Moränenablagerungen und allenfalls des Felsen (auch zur Festlegung der massgebenden Baugrundklasse; Kap. 7.2) sowie der Grundwasserverhältnisse (Berandung unteres Grundwasser-Stockwerk) steht die Ausführung von ergänzenden **Sondierbohrungen mit Piezometerausbau** zur Diskussion. Für verbesserte 2D- / 3D-Prognosen liessen sich diese mit Hybridseismik kombinieren.
- Für die bessere **Abschätzung der Schwankungsbereichs der unterschiedlichen Grundwasserdruckflächen** sind die bestehenden Piezometer über einen möglichst langen Zeitraum und insbesondere nach extremen Witterungsverhältnissen zu messen. Für eine genauere Bestimmung der Grundwasserfliessrichtungen im oberen / mittleren und unteren Grundwasser-Stockwerk (Hydrogeologische Unbedenklichkeitsprüfung; Kap. 6.2) wären zusätzliche Piezometer im östlichen Bereich des Projektperimeters erforderlich. Für die Grundwasserüberwachung sind je nach Grösse des Bauvorhabens zusätzliche **Piezometer** in der Umgebung zu erstellen (Kap. 13).

- Für Informationen zur genaueren **Zusammensetzung der künstlichen Auffüllungen** empfiehlt sich die Durchführung ergänzender Rammkernsondierungen oder Baggersondierschlitze. Daraus sind Materialproben zur organoleptischen Prüfung und für Laboranalysen zu entnehmen.
- Bedeutungsvoll sind zudem die kurz- und längerfristigen Setzungsverhalten sowohl primärer als auch längerfristiger sekundärer Natur sowie das langfristige Kriechverhalten. Zur Beurteilung und Berücksichtigung der Setzungsproblematik sind Kenntnisse über absolute Setzungen und die räumliche Verteilung der Setzungen unabdingbar; diese sollten durch geodätische Vermessungen beigebracht werden.
- Mit einer **Risikoanalyse** sollen sämtliche bekannten Risiken erfasst und identifiziert werden. Aus der Bewertung der Grundrisiken sind risikomindernde Massnahmen zu bestimmen und daraus die verbleibenden Risiken zu errechnen. Nach unserer Erfahrung ist nach Vorliegen dieser Erkenntnis die Abklärung sehr bedeutsam, wer die durch die zu erbringende Risikoanalyse erkannten Risiken übernehmen soll.

13 EMPFEHLUNGEN FÜR ÜBERWACHUNG DER 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 Kanalfernsehaufnahmen). Für direkt angrenzende und vulnerable Bauten oder Werkleitungen empfehlen wir, bereits in einer frühen Projektphase eine saubere vorsorgliche Beweisaufnahme. Falls dabei Risse oder Anzeichen auf Mängel festgestellt werden, sind diese bei der Planung (z.B. deformationsarmer Baugrubenabschluss) unbedingt angemessen zu berücksichtigen.
- Die an die Baugrube angrenzenden Strassen, Gebäude inkl. Vorplätze sowie das Gelände sind periodisch sowie nach starken Niederschlägen auf Geländeverschiebungen (**visuelle Geländekontrolle**) zu inspizieren.
- Vor Baubeginn ist ein Netz aus **geodätischen Messpunkten** einzurichten, um so mögliche Geländebewegungen frühzeitig und sicher erkennen zu können. Dieses Netz ist mindestens einmal vor und während kritischer Bauphasen einzumessen.
- Damit Auswirkungen bei allfälligen geplanten erschütterungserzeugenden Bauverfahren möglichst frühzeitig erkannt und allfällige Massnahmen ergriffen werden können, sind diese Arbeiten mittels **Erschütterungsmessungen** zu überwachen.
- Auf Grund der Einbauten im Gewässerschutzbereich A_u sind die Grundwasserverhältnisse mittels einer **Grundwasserüberwachung** in der Umgebung zu kontrollieren. Dazu empfehlen wir, kontinuierliche Grundwassermessungen in genügend **Piezometern** im Umkreis zur Baugrube, um ungerechtfertigte Schadensforderungen abweisen

zu können. Die Piezometer sind rechtzeitig vor Baubeginn zu erstellen und während der Tiefbauarbeiten regelmässig zu kontrollieren. Der genaue Umfang wird in der hydrogeologischen Unbedenklichkeitsprüfung bestimmt.

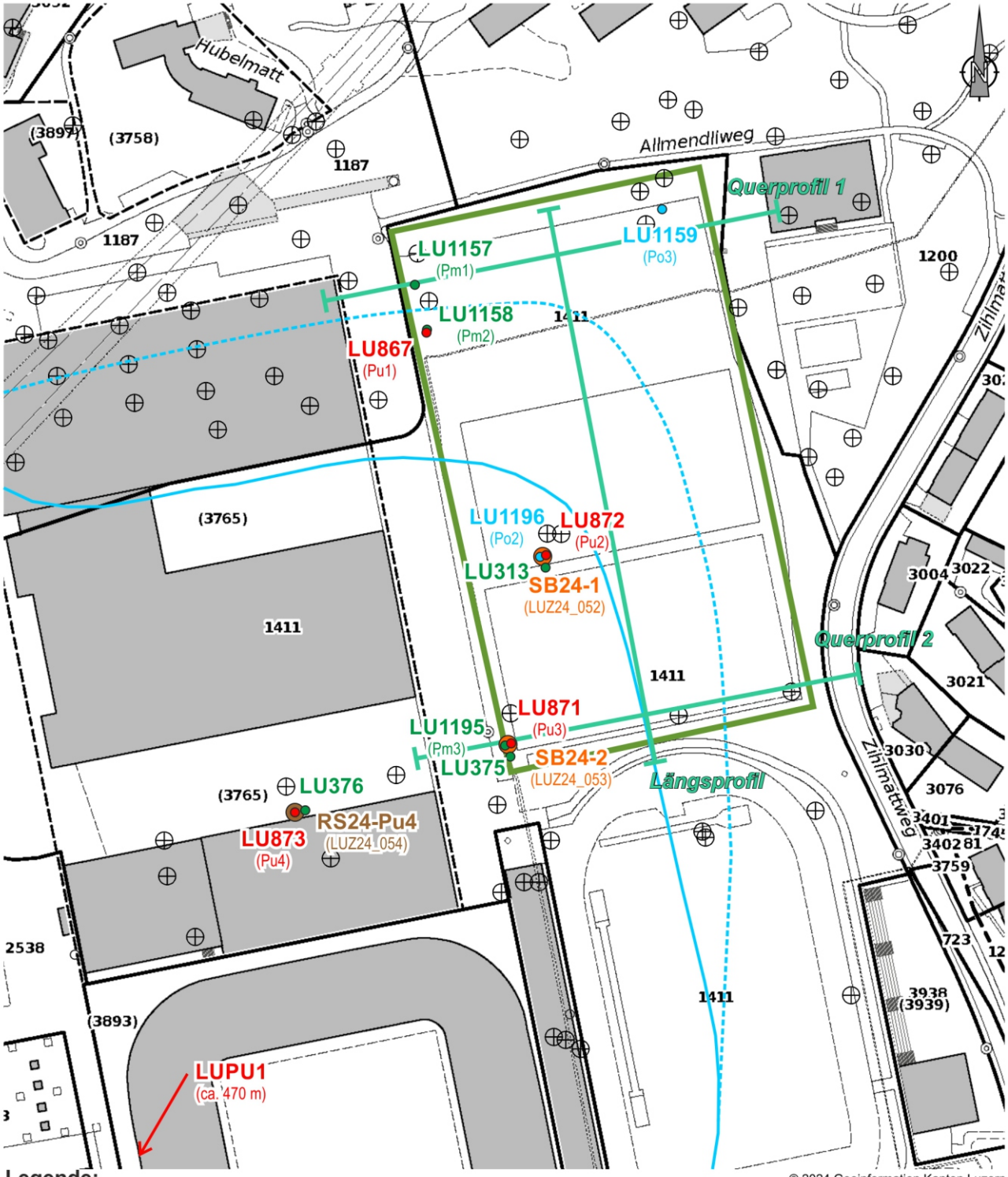
- In einem **Gasschutzkonzept** sollen die nötigen Massnahmen für den Bau- und Nutzungszustand dargelegt werden (Kap. 5).

Keller+Lorenz AG
Geotechnik Geologie Hydrogeologie
Naturgefahren Altlasten

E. Wick M. Ehrler

Sachbearbeitung:
Geologie / Naturgefahren: ..... Dr. F. Bissig
Hydrogeologie: ..... Dr. F. Bissig, E. Wick
Geotechnik: ..... M. Ehrler
Review / Qualitätssicherung: .....Dr. B. Keller

Situation mit Sondierstandorten und Piezometern 1 : 2'000



© 2024 Geoinformation Kanton Luzern

Legende:

- SB24-1 (LUZ24_052) — Sondierbohrung
- RS24-Pu4 (LUZ24_054) — Rammsondierung
- LU1159 — Piezometer im oberen Grundwasser-Stockwerk
- LU376 — Piezometer im mittleren Grundwasser-Stockwerk
- LU873 — Piezometer im unteren Grundwasser-Stockwerk
- Bestehende Sondierbohrung
- Projektperimeter
- Berandung unteres Grundwasser-Stockwerk gemäss Gewässerschutzkarte / aktueller Kenntnisstand
- Profillinie

KELLER+LORENZ AG
Geotechnik - Hydrogeologie - Geologie - Naturgefahren - Altlasten

Luzern, 03. März 2025 FB/EW/ME/ri/ss/fb
I:\2022\...\6366A_Sit2000

Anhang 1

Neubau Dreifach Turnhalle Hubelmatt, Luzern

Sondierbohrung SB24-1

Massstab: **1 : 50**

Anhang 2.1

Bauherr: Stadt Luzern, TBA
Ingenieur: Schubiger AG, Luzern
Bohrfirma: Gebr. Mengis AG, Luzern
Dossier: **22 6366.A** File 6366A_SB24-1.dat

Koordinaten: 2'665'924.62 / 1'209'680.00
Terrainhöhe: 451.50 m ü.M.
Profilaufnahme: FB
Aufnahmedatum: 27.06.2024

KELLER + LORENZ AG
Geotechnik
Hydrogeologie
Geologie
Naturgefahren
Altlasten
Tribschenstrasse 61
6005 Luzern
041 310 51 02
buero@keller-lorenz.ch

Bohrung Ø [mm]	Versuche Beobachtungen	Teufe [m] ab GOK	Signatur	Beschreibung des Bohrguts nach USCS Feldmethode (Lagerung vorwiegend gemäss Bohrprotokoll)	USCS	Geologie	Ausbau der Bohrung
HM ø 252 mm	+0.20 m PVC 2" 03.07.2024	0.00		Brauner, mässig siltiger Sand mit Kies und wenigen organischen Beimengungen.		*Künstliche Auffüllung*	Überstand +2.00
		0.10		Brauner, mässig siltiger Sand mit viel Kies.			+1.00
	0.93 m PVC 4.5" 03.07.2024	0.90		Dunkelbrauner, mässig siltiger Sand mit reichlich Kies und vereinzelten organischen Beimengungen.		*Verlandungs-bildungen mit untiefen See-ablagerungen*	0.00 Vollrohr PVC 4.5" & 2"
		1.80		Brauner, stark siltiger Sand mit wenig Kies und organischen Beimengungen.			1.00 Filterrohr PVC 2" Filterkies 4/8 mm
		3.30		Wechselschichtung aus dunkelbraunem Torf und grauem, tonigem Silt.			3.00
							4.00 Tondichtung
		10.20		Grauer, stark siltiger Sand mit reichlich Kies und Steinen.		*Sander-ablagerungen*	10.50
		11.10		Grauer, mässig siltiger Kies mit viel Sand und Steinen .			11.00
		12.90		Grauer, leicht siltiger Sand mit reichlich Kies.			Filterrohr PVC 4.5"
		14.20		Grauer, leicht siltiger Kies mit viel Sand und Steinen.			
		16.00		Grauer, leicht siltiger Sand mit reichlich Kies und Steinen.			16.00 Vollrohr PVC 4.5"
HM ø 178 mm		16.60		Graubeiger, stark siltiger Sand mit wenig Kies und Steinen.		*Moränen-ablagerungen*	17.00
							Filterkies 4/8 mm
							30.00

Legende:
- Standard-Penetrationstest (Anzahl Schläge pro 15cm / Teufe)
- ungestörte Bodenprobe (Teufe der Probennahme)
- gestörte Bodenprobe (Teufe der Probennahme)
- Grundbruch
- Grundwasserspiegel (Datum und Abstich [m])
- Wassereintritt

Durchlässigkeitsbeiwert [m/s] aus:
- Absenkversuch
- Einfüllversuch
- Steigversuch
- Pumpversuch

Grundwasserspiegel (m):
Teufe Abstich

Neubau Dreifach Turnhalle Hubelmatt, Luzern | **Sondierbohrung SB24-2** | Massstab: **1 : 50** | **Anhang 2.2**

Bauherr: Stadt Luzern, TBA
Ingenieur: Schubiger AG, Luzern
Bohrfirma: Gebr. Mengis AG, Luzern
Dossier: **22 6366.A** File 6366A_SB24-2.dat

Koordinaten: 2'665'912.27 / 1'209'619.58
Terrainhöhe: 451.09 m ü.M.
Profilaufnahme: FB
Aufnahmedatum: 27.06.2024

KELLER+LORENZ AG
Geotechnik
Hydrogeologie
Geologie
Naturgefahren
Altlasten
Tribschenstrasse 61
6005 Luzern
041 310 51 02
buero@keller-lorenz.ch

Bohrung Ø [mm]	Versuche Beobachtungen	Teufe [m] ab GOK	Signatur	Beschreibung des Bohrguts nach USCS Feldmethode (Lagerung vorwiegend gemäss Bohrprotokoll)	USCS	Geologie	Ausbau der Bohrung
HM ø 252 mm	PVC 4.5", 1.33 m 28.06.2024	+2.15					Überstand +2.15
							+0.70
							+0.27
	PVC 2", 0.20 m 28.06.2024	0.30		Brauner, mässig siltiger Sand mit vereinzelt Kies und wenigen organischen Beimengungen.		Künstliche Auffüllung	0.00
				Brauner, mässig siltiger Sand mit viel Kies.			
		1.10		Braun-ocker gefleckter, stark siltiger Sand mit vereinzelt Kies und Fremdstoffen.			Vollrohr PVC 4.5" & 2"
		1.40		Beigegrauer, stark siltiger Sand mit wenigen organischen Beimengungen.		Verlandungs-bildungen mit untiefen See-ablagerungen	
		2.40		Wechselschichtung aus dunkelbraun-schwarzem Torf und grauem, tonigem Silt.			Injektion
		12.00		Grauer, mässig siltiger Sand mit vereinzelt Kies.		Sander-ablagerungen	7.00 Sand 7.50
							8.30
							Filterrohr PVC 2"
							10.30
							Tondichtung
		16.00		Grauer, fast sauberer Sand mit reichlich Kies und Steinen.			15.00 Sand 15.50
		17.00		Grauer, leicht siltiger Kies mit viel Sand und Steinen.			16.00
							Filterrohr PVC 4.5"
							Filterkies 4/8 mm
		20.80		Beiger, stark siltiger Sand mit vereinzelt Kies.			20.00
		21.70		Grauer, zerbohrter Block.			Vollrohr PVC 4.5" 21.00
HM ø 178 mm		22		Dunkelgrauer-beiger, stark siltiger Sand mit wenig Kies und Steinen.		Moränen-ablagerungen	
							Filterkies 4/8 mm
		30.00					30.00

Legende:
- Standard-Penetrationstest (Anzahl Schläge pro 15cm / Teufe)
- ungestörte Bodenprobe (Teufe der Probennahme)
- gestörte Bodenprobe (Teufe der Probennahme)
- Grundbruch
- Grundwasserspiegel (Datum und Abstich [m])
- Wassereintritt

Durchlässigkeitsbeiwert [m/s] aus:
- Absenkversuch
- Einfüllversuch
- Steigversuch
- Pumpversuch

Grundwasserspiegel (m): Teufe Abstich

BAUHERR: Stadt Luzern, 6002 Luzern

OBJEKT: Dreifachturnhalle Hubelmatt, 6005 Luzern

Rammprofil Nr. Pu4

MASSSTAB: 1:100 RP-ID: 7625 Rammmeister:: DEM

MENGIS Bohrunternehmung

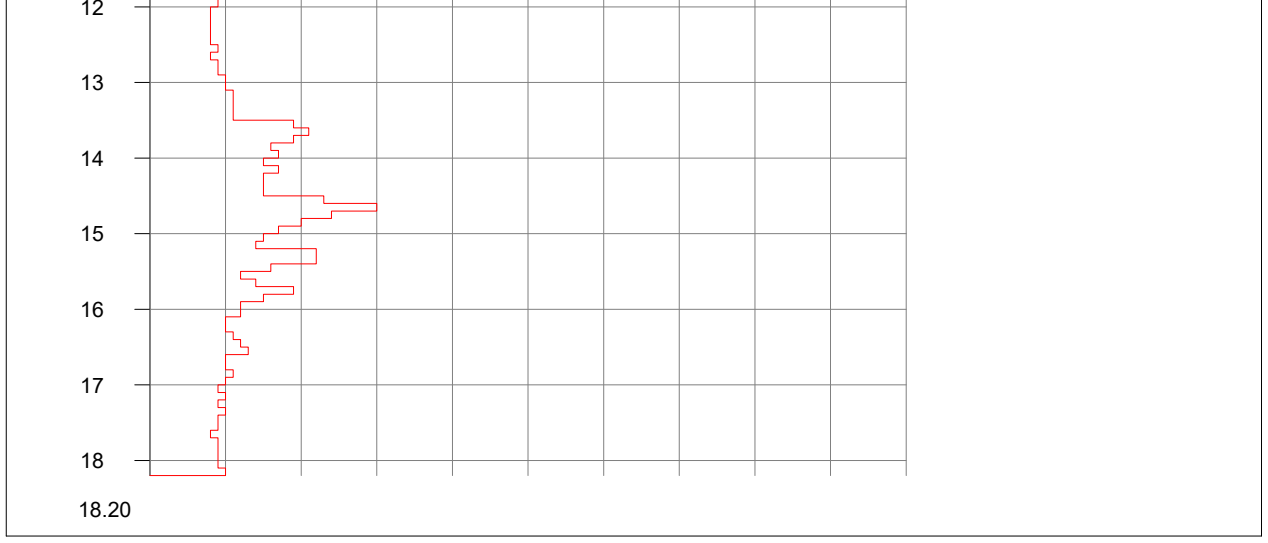
Gestänge Ø [mm]:	38	Höhe OK-T [müM]:	
Spitzenquerschnitt [mm2]:	3000	Ausführungs-Datum:	09.07.2024
Rammbär [kg]:	60	Koord.	/
Fallhöhe [m]:	0.5	Dossier/Auftr.Nr:	A2408921/507339
Gezeichnet:	18.07.24	Luzern, den	18.07.2024

LEGENDE

GW-Spiegel [m]

Rammwiderstd [MN/m2]

GW-Spiegel [m]:	Messdatum:	Rammloch offen [m]:	2.3
Letzte Eindringung auf 100 Schläge [cm]:		Über 40 Schläge / 20 cm [m]:	0.7



Gebr. Mengis AG
Schlossstrasse 3, CH-6005 Luzern
Tel: +41 41 203 23 23
EMail: info@mengis.com

BAUHERR: Stadt Luzern, 6002 Luzern

OBJEKT: Dreifachturnhalle Hubelmatt, 6005 Luzern

Piezometer Nr. Pu4

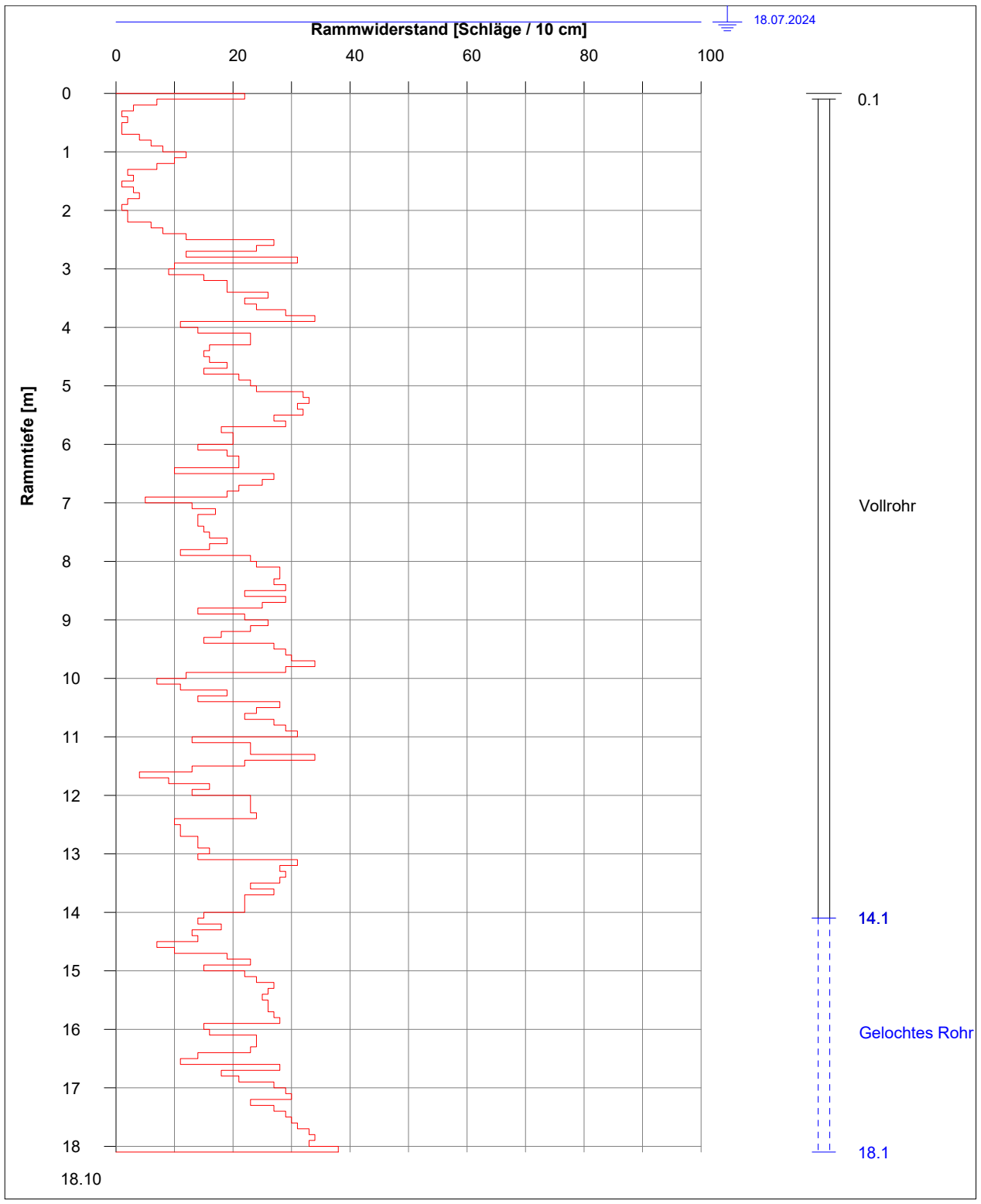
MASSSTAB: 1:100 RP-ID: 7626 Rammmeister:: DEM

MENGIS Bohrunternehmung

Gestänge Ø [mm]:	50	Höhe OK-T [müM]:	
Spitzenquerschnitt [mm2]:	3450	Ausführungs-Datum:	09.07.2024
Rammbär [kg]:	60	Koord.	/
Fallhöhe [m]:	0.5	Dossier/Auftr.Nr:	A2408921/507339
Gezeichnet:	18.07.24	Luzern, den	18.07.2024

LEGENDE
- GW-Spiegel [m]
- Rammwiderstd [MN/m2]

GW-Spiegel [m]:	-1.22 Messdatum: 18.07.2024	Rammloch offen [m]:	
Letzte Eindringung auf 100 Schläge [cm]:		Über 40 Schläge / 20 cm [m]:	8.6

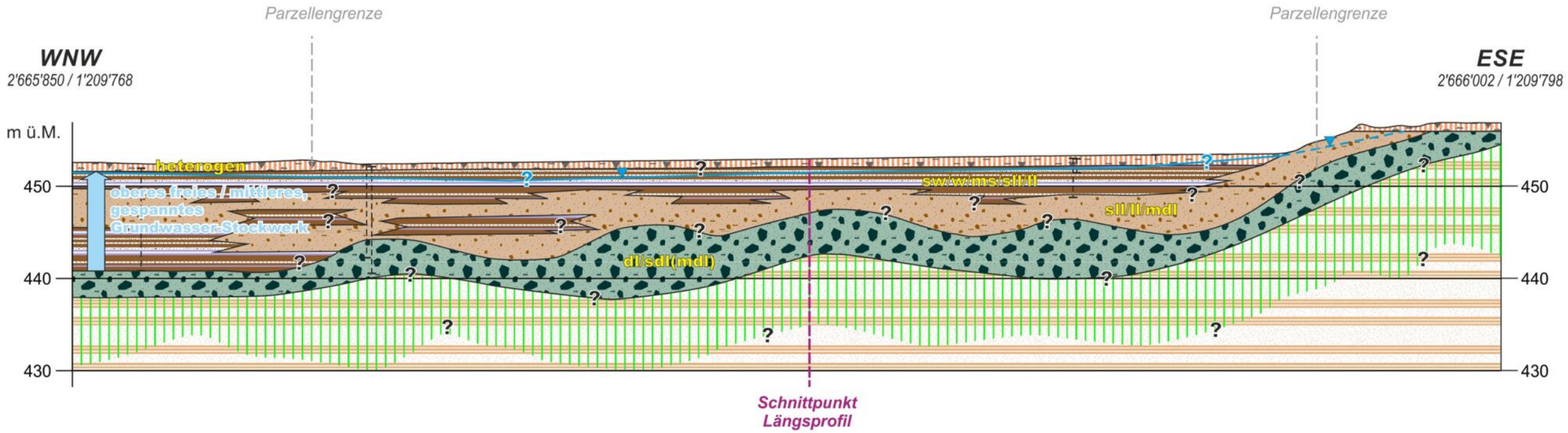


Gebr. Mengis AG
Schlossstrasse 3, CH-6005 Luzern
Tel: +41 41 203 23 23
EMail: info@mengis.com

Geologisches Querprofil 1

1 : 500 / 500

10 m 20 m



Geländeoberfläche gemäss digitalem Höhenmodell (swissALTI3D, 2019)
Projekt © Alp Architektur Lischer Partner AG (2022)

Lockergestein

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

Hangsedimente
Unterschiedlich siltiger Sand mit variablem Anteil an Kies, Steinen, Blöcken und organischen Beimengungen, sehr locker bis mitteldicht gelagert.

Verlandungsbildungen mit untiefen Seeablagerungen
Unterschiedlich toniger Silt mit dünnen Sandschichten bis stark siltiger Feinsand mit meist vielen organischen Beimengungen (Holzreste bis zuweilen ganzen Baumstämme) und **Torfschichten** (dm bis m), sehr weich bis mittelsteif bzw. sehr locker bis locker gelagert.

Sanderablagerungen
Unterschiedlich siltiger Kies mit viel Sand und Steinen sowie sauberer bis unterschiedlich siltiger Sand mit schichtweise vereinzelt bis wenig Kies (tw. Diamiktite), mitteldicht bis dicht, schichtweise locker oder sehr dicht gelagert.

Moränenablagerungen
Unterschiedlich tonig-siltiger Sand mit variablem Anteil an Kies, Steinen und tw. sehr harten Findlingsblöcken (Ø > 1 m), meist matrixgestützt, dicht bis sehr dicht, untergeordnet mitteldicht gelagert. Zwischenschichten (schematisch dargestellt) aus fast sauberem bis unterschiedlich siltigem Sand mit var. Anteilen an Kies und Steinen, locker bis mitteldicht gelagert.

Felsen

Felsen der Unteren Süsswassermolasse (USM)
Wechselfolge Sandstein- und tw. Konglomeratbänken einerseits sowie Wechsellagerungen Silt- und Schlammsteinen mit dünnen Sandsteinbänken andererseits. Effektives Schichtfallen ca. 20°± 5° nach SSE.

Verwitterungszone des Felsen (schematisch)

Ausgehend von der dargestellten mittleren Lage der Oberflächen der Sander-, Moränenablagerungen sowie des Felsen ist grundsätzlich mit einer kleinräumigen, kaum prognostizierbaren Reliefamplitude von ca. ± 2 m zu rechnen.

? Unsichere Prognose, bei Bedarf situativ sondieren.

T I Verwendete Sondierungen

Hydrogeologie

Oberes / Mittleres Grundwasser-Stockwerk
(Grundwasserdruckfläche bei Mittelstand)

Unteres Grundwasser-Stockwerk
(Grundwasserdruckfläche bei Mittelstand)

Hang- / Kluftwasserdruckfläche (schematisch)
Insbesondere nach starken und/oder langanhaltenden Niederschlägen ist mit einer Porenwassersättigung oder Druckfläche bis in den Bereich der heutigen Geländeoberkante zu rechnen.

Lagerungsdichte

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

Konsistenz

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

•3 SPT N30

Gemessener Druckspiegel in Filterrohr (09.12.2024)

Filterrohrstrecke in Piezometer

Übergangsbereich unteres - mittleres Grundwasser-Stockwerk mit vermutetem Ausgleich der Druckspiegel-Niveaus

Übergangsbereich unteres - mittleres Grundwasser-Stockwerk mit nachgewiesenem Ausgleich der Druckspiegel-Niveaus

Legende Lockergesteine

SIGNATUR	KURZBESCHREIBUNG
grob	
	gGc: korngestützter, gerundeter Kies
	gGm: matrixgestützter, gerundeter Kies
	gSCc: korngestützter Schutt
	GS: Kies-Sand
	Dm: matrixgestützter Diamiktit
	Dc: korngestützter Diamiktit
	S: Sand
	Hl: laminierte Wechselschichtung Silt/Feinsand
	Hb: Wechselschichtung Silt/Feinsand
	Fm: massives Feinsediment (toniger Silt, Silt)
	Fl: laminiertes Feinsediment
	P: Torf
	B: Boden
	C: Seekreide (in Bohrungen nicht vorhanden)
	BET: Beton
	ASP: Asphalt-Belag
	KAUF: Künstliche Auffüllung

KELLER+LORENZ AG
Geotechnik - Hydrogeologie - Geologie - Naturgefahren - Altlasten

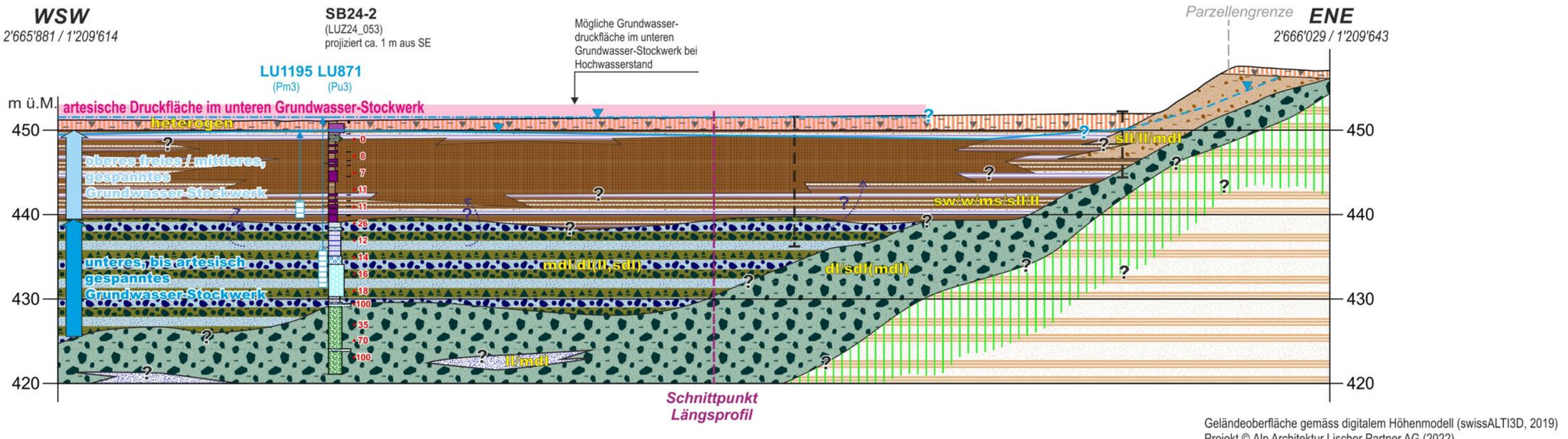
Luzern, 03. März 2025 FB/EW/ME/BK/ss/fb
I:\2022\6366_Neubau_Dreifach_Turnhalle_Hubelmatt_Parz1411_Luzern\6366A_UB\6366A_GeolProfil_500

Anhang 4.1

Geologisches Querprofil 2

1 : 500 / 500

10 m 20 m



Geländeoberfläche gemäss digitalem Höhenmodell (swissALTI3D, 2019)
Projekt © Alp Architektur Lischer Partner AG (2022)

Lockergestein

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

Hangsedimente
Unterschiedlich siltiger Sand mit variablem Anteil an Kies, Steinen, Blöcken und organischen Beimengungen, sehr locker bis mitteldicht gelagert.

Verlandungsbildungen mit untiefen Seeablagerungen
Unterschiedlich toniger Silt mit dünnen Sandschichten bis stark siltiger Feinsand mit meist vielen organischen Beimengungen (Holzreste bis zuweilen ganzen Baumstämme) und **Torfschichten** (dm bis m), sehr weich bis mittelsteif bzw. sehr locker bis locker gelagert.

Sanderablagerungen
Unterschiedlich siltiger Kies mit viel Sand und Steinen sowie sauberer bis unterschiedlich siltiger Sand mit schichtweise vereinzelt bis wenig Kies (tw. Diamiktite), mitteldicht bis dicht, schichtweise locker oder sehr dicht gelagert.

Moränenablagerungen
Unterschiedlich tonig-siltiger Sand mit variablem Anteil an Kies, Steinen und tw. sehr harten Findlingsblöcken (Ø > 1 m), meist matrixgestützt, dicht bis sehr dicht, untergeordnet mitteldicht gelagert. Zwischenschichten (schematisch dargestellt) aus fast sauberem bis unterschiedlich siltigem Sand mit var. Anteilen an Kies und Steinen, locker bis mitteldicht gelagert.

Felsen

Felsen der Unteren Süsswassermolasse (USM)
Wechselfolge Sandstein- und tw. Konglomeratbänken einerseits sowie Wechsellagerungen Silt- und Schlammsteinen mit dünnen Sandsteinbänken andererseits. Effektives Schichtfallen ca. 20°± 5° nach SSE.

Verwitterungszone des Felsen (schematisch)

Ausgehend von der dargestellten mittleren Lage der Oberflächen der Sander-, Moränenablagerungen sowie des Felsen ist grundsätzlich mit einer kleinräumigen, kaum prognostizierbaren Reliefamplitude von ca. ± 2 m zu rechnen.

? Unsichere Prognose, bei Bedarf situativ sondieren.

Verwendete Sondierungen

Hydrogeologie

Oberes / Mittleres Grundwasser-Stockwerk
(Grundwasserdruckfläche bei Mittelstand)

Unteres Grundwasser-Stockwerk
(Grundwasserdruckfläche bei Mittelstand)

Hang- / Kluftwasserdruckfläche (schematisch)
Insbesondere nach starken und/oder langanhaltenden Niederschlägen ist mit einer Porenwassersättigung oder Druckfläche bis in den Bereich der heutigen Geländeoberkante zu rechnen.

Lagerungsdichte

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

Konsistenz

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

*3 SPT N30

Gemessener Druckspiegel in Filterrohr (09.12.2024)

Filterrohrstrecke in Piezometer

? Übergangsbereich unteres - mittleres Grundwasser-Stockwerk mit vermutetem Ausgleich der Druckspiegel-Niveaus

Übergangsbereich unteres - mittleres Grundwasser-Stockwerk mit nachgewiesenem Ausgleich der Druckspiegel-Niveaus

Legende Lockergesteine

SIGNATUR	KURZBESCHREIBUNG
→ grob	
	gGc: korngestützter, gerundeter Kies
	gGm: matrixgestützter, gerundeter Kies
	gSCc: korngestützter Schutt
	GS: Kies-Sand
	Dm: matrixgestützter Diamiktit
	Dc: korngestützter Diamiktit
	S: Sand
	Hl: laminierte Wechselschichtung Silt/Feinsand
	Hb: Wechselschichtung Silt/Feinsand
	Fm: massives Feinsediment (toniger Silt, Silt)
	Fl: laminiertes Feinsediment
	P: Torf
	B: Boden
	C: Seekreide (in Bohrungen nicht vorhanden)
	BET: Beton
	ASP: Asphalt-Belag
	KAUF: Künstliche Auffüllung

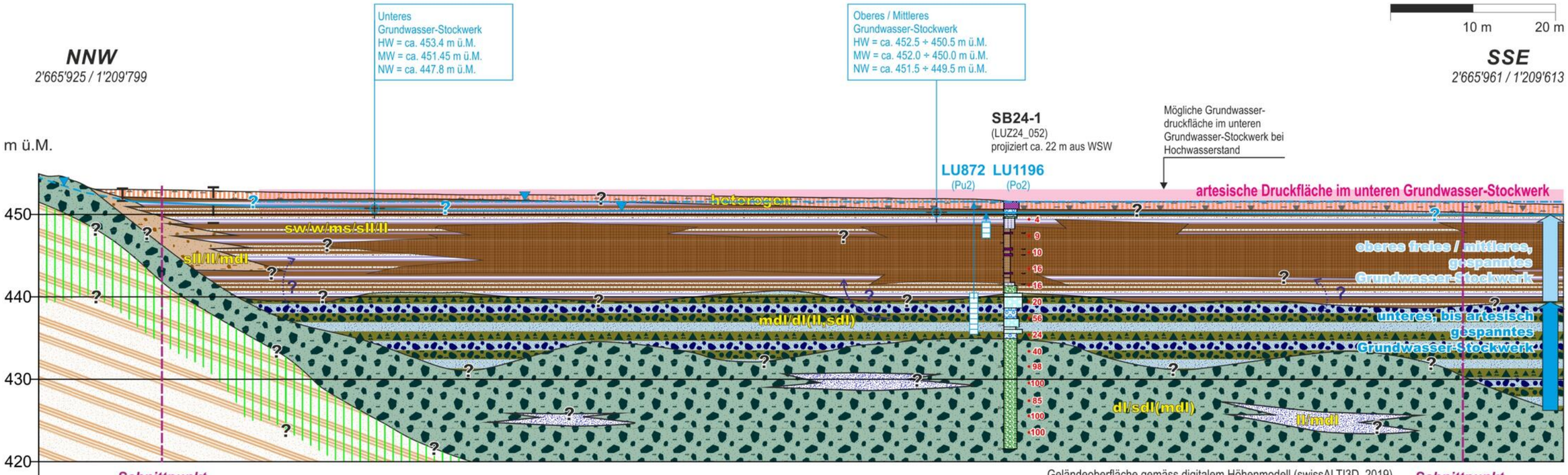
KELLER+LORENZ AG
Geotechnik - Hydrogeologie - Geologie - Naturgefahren - Altlasten

Luzern, 03. März 2025 FB/EW/ME/BK/ss/fb
I:\2022\6366_Neubau_Dreifach_Turnhalle_Hubelmatt_Parz1411_Luzern\6366A_UB\6366A_GeolProfil_500

Anhang 4.2

Geologisches Längsprofil

1 : 500 / 500



Geländeoberfläche gemäss digitalem Höhenmodell (swissALTI3D, 2019)
Projekt © Alp Architektur Lischer Partner AG (2022)

Lockergestein

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

Hangsedimente
Unterschiedlich siltiger Sand mit variablem Anteil an Kies, Steinen, Blöcken und organischen Beimengungen, sehr locker bis mitteldicht gelagert.

Verlandungsbildungen mit untiefen Seeablagerungen
Unterschiedlich toniger Silt mit dünnen Sandschichten bis stark siltiger Feinsand mit meist vielen organischen Beimengungen (Holzreste bis zuweilen ganzen Baumstämme) und **Torfschichten** (dm bis m), sehr weich bis mittelsteif bzw. sehr locker bis locker gelagert.

Sanderablagerungen
Unterschiedlich siltiger Kies mit viel Sand und Steinen sowie sauberer bis unterschiedlich siltiger Sand mit schichtweise vereinzelt bis wenig Kies (tw. Diamiktite), mitteldicht bis dicht, schichtweise locker oder sehr dicht gelagert.

Moränenablagerungen
Unterschiedlich tonig-siltiger Sand mit variablem Anteil an Kies, Steinen und tw. sehr harten Findlingsblöcken (Ø > 1 m), meist matrixgestützt, dicht bis sehr dicht, untergeordnet mitteldicht gelagert. Zwischenschichten (schematisch dargestellt) aus fast sauberem bis unterschiedlich siltigem Sand mit var. Anteilen an Kies und Steinen, locker bis mitteldicht gelagert.

Felsen

Felsen der Unteren Süsswassermolasse (USM)
Wechselfolge Sandstein- und tw. Konglomeratbänken einerseits sowie Wechsellagerungen Silt- und Schlammsteinen mit dünnen Sandsteinbänken andererseits. Effektives Schichtfallen ca. 20°± 5° nach SSE.

Verwitterungszone des Felsen (schematisch)

Ausgehend von der dargestellten mittleren Lage der Oberflächen der Sander-, Moränenablagerungen sowie des Felsen ist grundsätzlich mit einer kleinräumigen, kaum prognostizierbaren Reliefamplitude von ca. ± 2 m zu rechnen.

? Unsichere Prognose, bei Bedarf situativ sondieren.

Verwendete Sondierungen

Hydrogeologie

Oberes / Mittleres Grundwasser-Stockwerk
(Grundwasserdruckfläche bei Mittelstand)

Unteres Grundwasser-Stockwerk
(Grundwasserdruckfläche bei Mittelstand)

Hang- / Kluftwasserdruckfläche (schematisch)
Insbesondere nach starken und/oder langanhaltenden Niederschlägen ist mit einer Porenwassersättigung oder Druckfläche bis in den Bereich der heutigen Geländeoberkante zu rechnen.

Lagerungsdichte

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

Konsistenz

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

*3 SPT N30

Gemessener Druckspiegel in Filterrohr (09.12.2024)

Filterrohrstrecke in Piezometer

? Übergangsbereich unteres - mittleres Grundwasser-Stockwerk mit vermutetem Ausgleich der Druckspiegel-Niveaus

Übergangsbereich unteres - mittleres Grundwasser-Stockwerk mit nachgewiesenem Ausgleich der Druckspiegel-Niveaus

Legende Lockergesteine

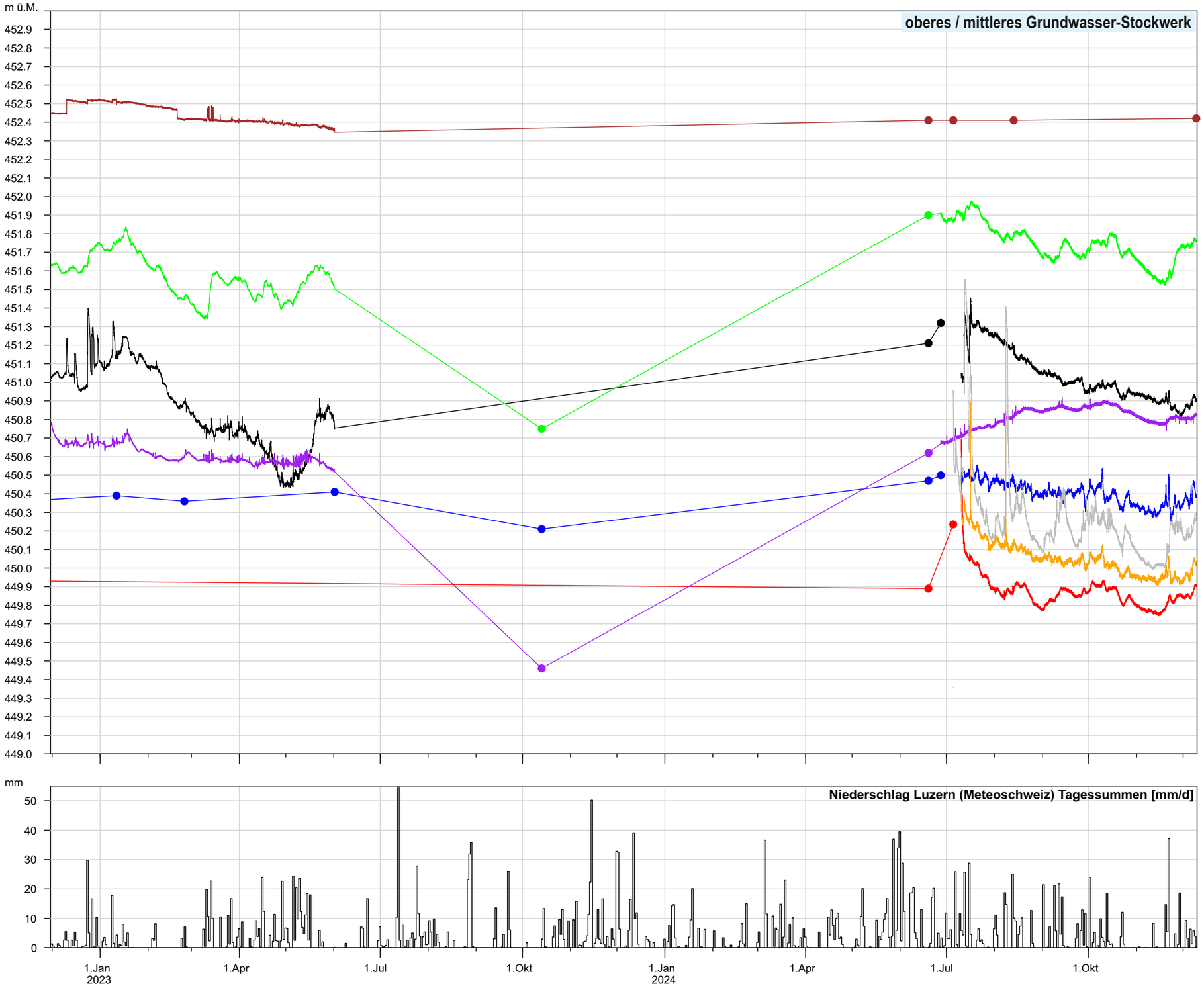
SIGNATUR	KURZBESCHREIBUNG
→ grob	
	gGc: korngestützter, gerundeter Kies
	gGm: matrixgestützter, gerundeter Kies
	gSCc: korngestützter Schutt
	GS: Kies-Sand
	Dm: matrixgestützter Diamiktit
	Dc: korngestützter Diamiktit
	S: Sand
	Hl: laminierte Wechselschichtung Silt/Feinsand
	Hb: Wechselschichtung Silt/Feinsand
	Fm: massives Feinsediment (toniger Silt, Silt)
	Fl: laminiertes Feinsediment
	P: Torf
	B: Boden
	C: Seekreide (in Bohrungen nicht vorhanden)
	BET: Beton
	ASP: Asphalt-Belag
	KAUF: Künstliche Auffüllung

KELLER+LORENZ AG
Geotechnik - Hydrogeologie - Geologie - Naturgefahren - Altlasten

Luzern, 03. März 2025 FB/EW/ME/BK/ss/fb
I:\2022\6366_Neubau_Dreifach_Turnhalle_Hubelmatt_Parz1411_Luzern\6366A_UB\6366A_GeolProfil_500

Anhang 4.3

Grundwasserüberwachung vom 30.11.2022 bis 09.12.2024



Ganglinien des Grundwasserdruckspiegels [m ü.M.]

Piezometer	Filterstrecke
LU1159	0.2 ÷ 1.2 m
LU1157	3.1 ÷ 6.1 m
LU313	4.4 ÷ 10.4 m
LU1158	3.2 ÷ 6.2 m
LU376	? ÷ ca. 6.0 m
LU1196	1.1 ÷ 3.1 m
LU1195	8.3 ÷ 10.3 m
LU375	4.3 ÷ 10.3 m

Handmessungen

KELLER+LORENZ AG
Geotechnik - Hydrogeologie - Geologie - Naturgefahren - Altlasten

Luzern, 18. Dezember 2024 FB/EW/ME/ri
I:\2022\...\6366A_GWU_20241209.cdr

Anhang 5.1

Grundwasserüberwachung vom 30.11.2022 bis 09.12.2024



Ganglinien des Grundwasserdruckspiegels [m ü.M.]

Piezometer	Filterstrecke
LUPU1	? ÷ 24.4 m
LU867	9.2 ÷ 11.2 m
LU873	14.1 ÷ 18.1 m
LU872	11.0 ÷ 16.0 m
LU871	16.1 ÷ 20.1 m

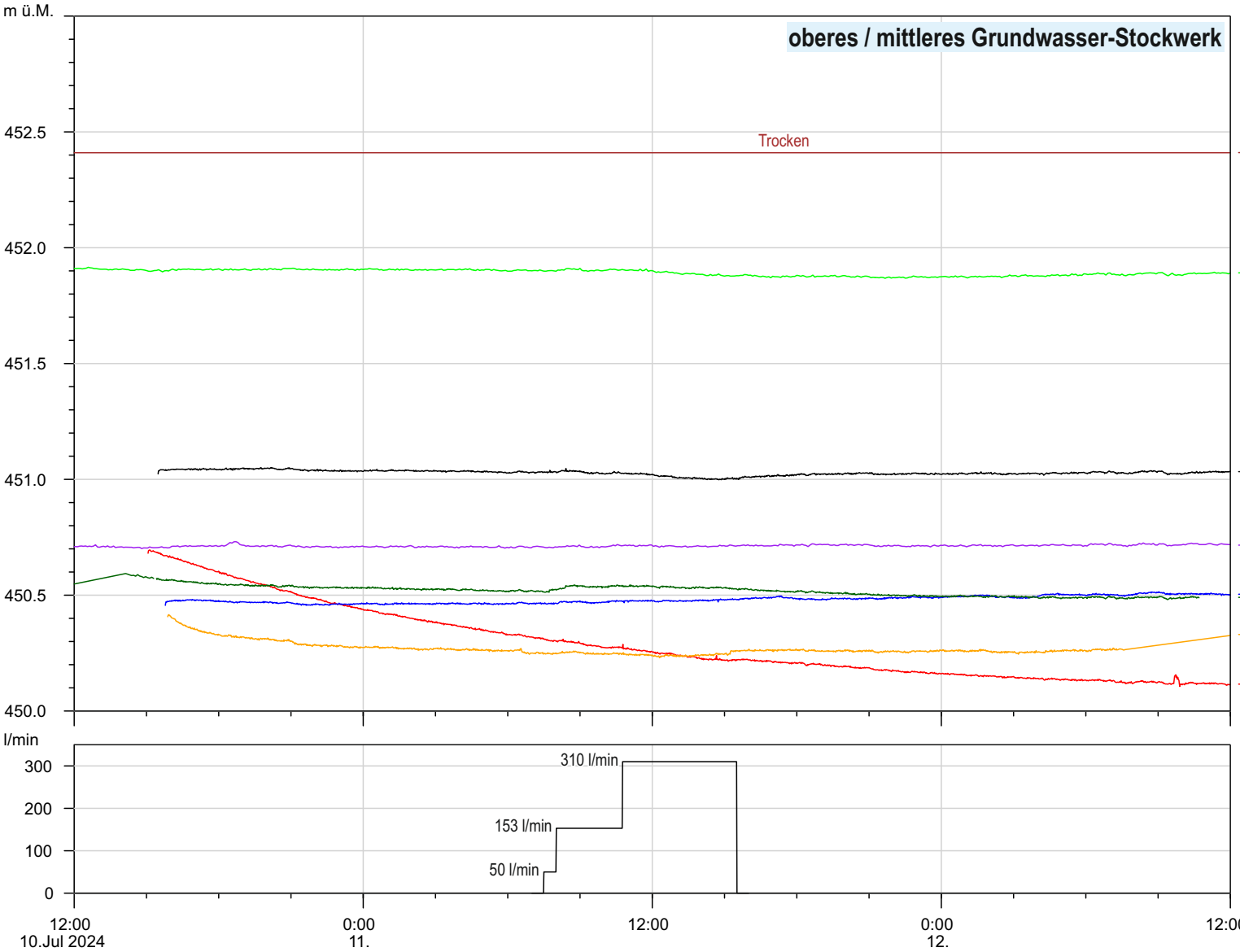
Handmessungen

KELLER+LORENZ AG
Geotechnik - Hydrogeologie - Geologie - Naturgefahren - Altlasten

Luzern, 18. Dezember 2024 FB/EW/ME/ri
I:\2022\...\6366A_GWU_20241209.cdr

Anhang 5.2

Pumpversuch aus LU871 (SB24-2) vom 11.07.2024



Ganglinien des Grundwasser-druckspiegels [m ü.M.]

Piezometer	Filterstrecke
LU1159	0.2 ÷ 1.2 m
LU1157	3.1 ÷ 6.1 m
LU313	4.4 ÷ 10.4 m
LU1158	3.2 ÷ 6.2 m
LU376	? ÷ ca. 6.0 m
LU1196	1.1 ÷ 3.1 m
LU1195	8.3 ÷ 10.3 m
LU375	4.3 ÷ 10.3 m

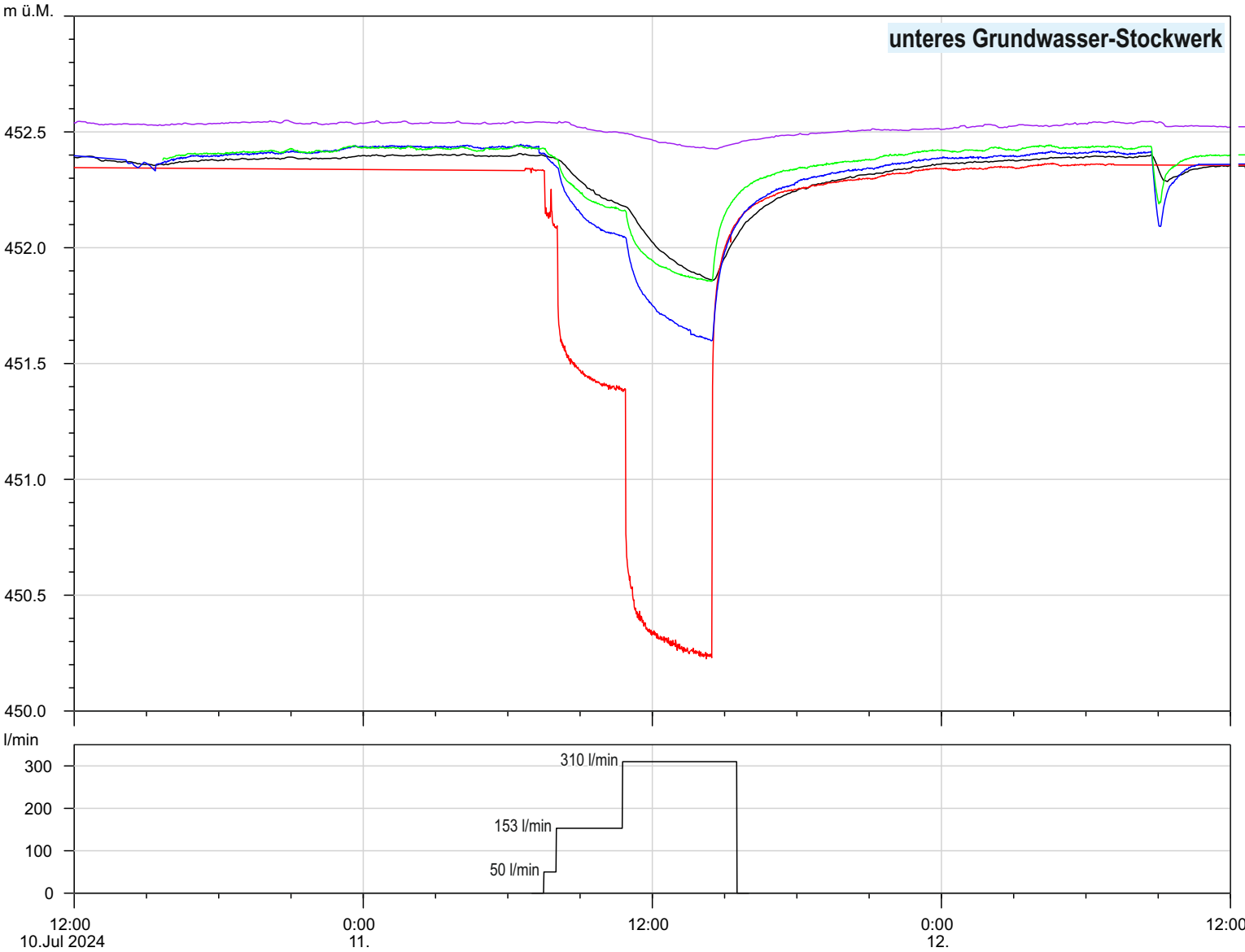
Pumprate aus LU871 [l/min]

KELLER+LORENZ AG
Geotechnik - Hydrogeologie - Geologie - Naturgefahren - Altlasten

27.08.2024 FB/EW/ME/ri
I:\2022\...\6366A_A05_Pumpversuch

Anhang 6.1

Pumpversuch aus LU871 (SB24-2) vom 11.07.2024



Ganglinien des Grundwasser-druckspiegels [m ü.M.]

Piezometer	Filterstrecke
LUPU1	? ÷ ca. 24.4 m
LU873	14.1 ÷ 18.1 m
LU872	11.0 ÷ 16.0 m
LU871	16.1 ÷ 20.1 m
LU867	9.2 ÷ 11.2 m

Pumprate aus LU871 [l/min]

KELLER+LORENZ AG
Geotechnik - Hydrogeologie - Geologie - Naturgefahren - Altlasten

27.08.2024 FB/EW/ME/ri
I:\2022\...\6366A_A05_Pumpversuch

Anhang 6.2