

BEBAUUNGSPLAN MEIERHÖFLI METTI IN EMMENBRÜCKE

**GEOTECHNISCHES GUTACHTEN
(STUFE BEBAUUNGSPSLAN)**

**Baugrundverhältnisse, Foundation und
Baugrubenabschluss**

Objekt	Bebauungsplan Meierhöfli Metti in Emmenbrücke		
Auftraggeber	moyreal immobilien ag, Kernserstrasse 15, 6056 Kägiswil und Wohnbaugenossenschaft Emmen WBGE, Heubachliring 8, 6002 Emmenbrücke 2		
Koordination	Zeitraum Planungen AG, Hirschmattstrasse 25, 6003 Luzern		
Koordinaten	2'664'634 / 1'213'857	Auftragsnummer	21 6239.B
Ort, Datum	Luzern, 7. März 2024 EH/EW/ME/BK/eh/me aktualisiert 26. März 2024		

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Auftrag	1
2	Verwendete Unterlagen	2
3	Durchgeführte Baugrundsondierungen.....	3
3.1	Allgemeines.....	3
3.2	Sondierbohrungen.....	3
3.3	Piezometer	5
4	Geologische Verhältnisse	6
4.1	Übersicht.....	6
4.2	Lockergesteine	6
4.3	Felsen	7
4.3.1	Obere Süsswassermolasse	7
4.3.2	Felsoberfläche	8
4.3.3	Verwitterungszone	8
4.3.4	RQD	9
5	Angaben zur Belastungssituation des Standortes	10
6	Hydrogeologische Verhältnisse	12
6.1	Lokale Grundwasserverhältnisse	12
6.2	Gewässerschutz.....	14
6.3	Identifikation bautechnisch relevanter Folgerungen.....	15
6.3.1	Bauzustand	15
6.3.2	Nutzungszustand	16
7	Naturgefahren	16
7.1	Wasserprozesse	16
7.2	Oberflächenabfluss	17
7.3	Erdbebensicherheit	19
8	Archäologische Fundstellen	19
9	Baugrundmodell mit geotechnischen Eigenschaften der Locker- und Festgesteine	20
10	Geotechnische Folgerungen.....	21
10.1	Geotechnische Erschwernisse / Risiken.....	21
10.2	Foundation der Neubauten	22

10.2.1 Allgemeine Hinweise.....	22
10.2.2 Flachfundationen mit örtlichem Materialersatz	23
10.2.3 Baugrundverbessernde Massnahmen mittels Rüttelstopfverdichtung	24
10.2.4 Tiefenfundation	25
10.3 Baugrubenabschluss	27
10.3.1 Allgemeine Hinweise.....	27
10.3.2 Freie Böschungen mit tw. Sickerbetonverstärkungen.....	27
10.3.3 Spundwand	28
10.3.4 Rühlwand / Bohrpfahlwand	29
10.3.5 Abspriessungen / Anker	29
10.3.6 Wasserhaltung	30
10.4 Allgemeine Hinweise zu den Erdarbeiten	31
11 Meteorwasserversickerung.....	31
12 Empfehlungen für allfällige ergänzende, objektspezifische Baugrundsondierungen	32
13 Empfehlungen für Überwachung der Umgebung während der Tiefbauarbeiten	33

Anhang

Anhang 1	Standorte der Baugrundsondierungen mit Profillinien und Projektumriss, 1:1'000.
Anhang 2	Geologische Längs- und Querprofile, 1:500 / 500.
Anhang 3	Profile der Sondierbohrungen SB23-1 bis SB23-4, 1:50.
Anhang 4	Grundwasserüberwachung vom 18.04.2023 bis 10.01.2024.

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 UND AUFTRAG

Auf den derzeit vorwiegend bebauten Parz. 4542, 1839, 1594, 3775, 1681, 1680, 1678, 2321, 1682, 4361 und 2268 (GB Emmen) mit Grundrissabmessungen von insgesamt ca. 150 m x 250 m sollen neue Wohnüberbauungen realisiert werden. Als Grundlage für die weitere Projektierung sollen die relevanten geologisch-hydrogeologischen Verhältnisse stufengerecht beschrieben werden. Im Vordergrund steht die Klärung einer möglichen maximalen Einbindetiefe von Untergeschossen unter die heutige Geländeoberkante, um ein gewässerschutzrechtlich bewilligungsfähiges Projekt entwickeln zu können. Dazu gehören auch Aussagen zu möglichen Foundationen (Flachfoundation oder Tiefenfoundation). Die wichtigsten Projekt-Koten sind in Tab. 1 zusammengestellt. Weitere Angaben über die Umgebungsgestaltung liegen uns derzeit nicht vor.

Bauteil	Höhenkote [m ü.M.]
Bestehende Geländeoberkante	ca. 429.0 bis 433.0
UK Bodenplatte 1. UG Matthys moyreal	ca. 428.5
UK Bodenplatte 2. UG Mathys moyareal	ca. 425.7
UK Bodenplatte 1. UG WE-E	ca. 428.5
UK Pfählung Punkthaus Nord WE-E	ca. 400

Tab. 1 Wichtige Projektkoten gemäss dem DTM der Stadt Luzern (STADT LUZERN, 2009). Projektkoten gemäss Plangrundlagen Kap. 2.

Von der Ettinger Partner AG (Zürich) erhielten wir im Namen der beiden Bauherrschaften den Auftrag, die örtlichen Baugrundverhältnisse innerhalb des Projektperimeters mit Sondierbohrungen und Grundwasserspiegelmessungen zu erkunden und die lokalen geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse anhand bestehender sowie der neuen Aufschlüsse, Grundwasserspiegelmessungen und unserer Erfahrungen zu beschreiben.

Die Ziele des vorliegenden geotechnischen Gutachtens (Stufe Bebauungsplan) sind:

- Beschreibung Geologie und Hydrogeologie.
- Angaben zu Naturgefahren (Wasserprozesse, Baugrundklasse Erdbebenbemessung).
- Erste Angaben über Arealbelastung.
- Baugrundmodell mit Abschätzung der geotechnischen Kennwerte.
- Aufzeigen geotechnischer Risiken.
- Beurteilung der gewässerschutzrechtlichen Machbarkeit von Untergeschossen.
- Angaben zur Foundation (Flachfoundation oder Pfählung).
- Empfehlungen 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 zur Überwachung der Tiefbauarbeiten.

2 VERWENDETE UNTERLAGEN

Für die Ausarbeitung des vorliegenden Gutachtens konnten folgende Unterlagen beigezogen werden:

Plangrundlagen:

DUPLEX ARCHITEKTEN AG (2023): Plangrundlagen Bebauungsplan, datiert 31.03.2023.

MEYER GADIENT ARCHITEKTEN UND VETSCHPARTNER LANDSCHAFTSARCHITEKTEN (2023): Plangrundlagen Projektwettbewerb, erhalten per 05.09.2023.

SLONGO RÖTHLIN PARTNER AG (2024): Bebauungsplan Meierhöfli Metti Emmenbrücke, Wohnbaugenossenschaft Emmen: Übersicht Fundationskonzept, zugestellt am 21.03.2024 per E-Mail.

Geologie / Hydrogeologie:

BUNDESAMT FÜR LANDESTOPOGRAPHIE, SWISSTOPO (2023): Karten der Schweiz – Luftbilder swisstopo. <https://map.geo.admin.ch>. Zugriff April 2023.

KANTON LUZERN, RAWI (2024): Grundbuchplan, Gewässerschutzkarte, Gefahrenkarte, Oberflächenabfluss, Baugrundklassen, Kataster der belasteten Standorte, Wassernutzungen. <https://geoportal.lu.ch/karten>; Zugriff Februar 2024.

KELLER+LORENZ AG (2022a): Entwicklung Meierhöfli Metti in Emmen: Geologisch-geotechnischer Vorbericht (Stufe Vorstudie), datiert 14.01.2022.

KELLER+LORENZ AG (2022b): Entwicklung Meierhöfli Metti in Emmen: Memorandum Nr. 1, datiert 20.05.2022.

KELLER+LORENZ AG (2023a): Seetalstrasse, Emmenbrücke: Stand der Abklärungen bezüglich Grundwasser. E-Mail vom 07.08.2023.

KELLER+LORENZ AG (2023b): Einstellhalle Meierhöflistrasse 17 Emmen: Permanente Grundwasserabsenkung. Kurzmitteilung, datiert 01.12.2023.

KELLER+LORENZ AG (LUZERN): Diverse Unterlagen aus unserem Archiv.

Normen / Richtlinien / Publikationen:

BROWN E.T. (1981): Rock characterisation, testing and monitoring. – ISRM suggested Methods. - Pergamon. Oxford, 171-183.

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

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

DEERE, D.U. (1963): Felsmechanik und Ingenieurgeologie, Vol. 1, No 1, pp. 16-22, Technical description of rock cores for engineering purposes.

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

- EGLI (2007): Wegleitung Objektschutz gegen meteorologische Naturgefahren. Vereinigung Kantonalen 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.
- PRINZ, H. (2006): Abriss der Ingenieurgeologie. – Enke Verlag, Stuttgart, 4. Auflage.
- SCHWEIZERISCHER INGENIEUR- UND ARCHITEKTENVEREIN: Massgebende, aktuelle SIA-Normen (u.a. 260, 261, 261/1, 267, 318, 431).
- SCHWEIZERISCHER VERBAND DER STRASSEN- UND VERKEHRSFACHLEUTE: Massgebende, aktuelle VSS-Normen.
- VERBAND SCHWEIZER ABWASSER- UND GEWÄSSERSCHUTZFACHLEUTE, VSA (2019): Abwasserbewirtschaftung bei Regenwetter – Gesamtpaket, Richtlinie.
- VERORDNUNG ÜBER DIE SICHERHEIT UND DEN GESUNDHEITSSCHUTZ DER ARBEITNEHMERINNEN UND ARBEITER BEI BAUARBEITEN (2022): Bauarbeitenverordnung, BauAV, Nr. 832.311.141, datiert 01.01.2022.
- ZENTRALSCHWEIZER UMWELTFACHSTELLEN (2023): Bauten im Grundwasser, Berechnungsgrundlagen. Merkblatt (Ausgabe September 2023).

3 DURCHGEFÜHRTE BAUGRUNDSONDIERUNGEN

3.1 ALLGEMEINES

Zur Nutzung von Synergien wurden aus unserem Archiv die bisher vorhandenen Baugrunduntersuchungen auf der Bauparzelle selbst sowie aus der unmittelbaren Umgebung mit einbezogen und ausgewertet. Darauf basierend und in Absprache mit dem Projektverantwortlichen wurden zur Schliessung bereits erkannter, relevanter Kenntnislücken objektspezifische Baugrundsondierungen gemäss Kap. 3.2 bis 3.3 ausgeführt.

3.2 SONDIERBOHRUNGEN

Zwischen dem 28. Februar 2023 und 4. April 2023 teufte die Johann Bohrtch AG (Rotkreuz) **4 Sondierbohrungen** auf Tiefen zwischen ca. 30.0 m (SB23-1, SB23-3 und SB23-4) und 30.4 m (SB23-2) unter die bestehende Geländeoberkante ab.

Die Sondierbohrungen ermöglichen direkte Aufschlüsse der künstlichen Auffüllungen sowie der natürlichen, heterogenen Lockergesteine und die Erkundung der verwitterten Felsoberfläche. In den vertikal ausgeführten Sondierbohrungen wurden zur Bestimmung der Lagerungsdichte der Lockergesteine insgesamt 43 *SPT-Versuche* durchgeführt (Tab. 2).

Sondierung	Rechtswert	Hochwert	OKT m ü.M.	Teufe m	Teufe m ü.M.	SPT N30	Lagerung	Code
EMM23_005 (SB23-1)	2664610.7	1213958.9	432.03	2.15	429.88	74	SDL	gGc
				4.15	427.88	13	MDL	gGc
				6.15	425.88	42	DL	cGc
				8.15	423.88	51	SDL	cGc
				10.15	421.88	48	DL	cGc
				12.15	419.88	52	SDL	cGc
				14.15	417.88	52	SDL	Dm
				16.15	415.88	55	SDL	gDc
EMM23_006 (SB23-2)	2664527.5	1213904.5	432.83	2.15	430.68	37	DL	cDc
				4.15	428.68	11	MDL/ST	HI
				6.15	426.68	32	DL	cGc
				8.15	424.68	28	MDL	cGc
				10.15	422.68	28	MDL	cGc
				12.15	420.68	31	DL	cGc
				14.15	418.68	40	DL	cGc
				16.15	416.68	18	MDL	Dm
				18.15	414.68	33	DL	Dm
				20.15	412.68	23	MDL	Dm
				22.15	410.68	36	DL	Dm
				24.15	408.68	28	MDL	vDm
				26.15	406.68	64	SDL/SH	Hd
				28	404.83	100	SDL	vDm
EMM23_007 (SB23-3)	2664616.4	1213865.7	432.25	2.15	430.1	30	MDL/H	HI
				4.15	428.1	10	LL/ST	HI
				6.15	426.1	27	MDL	GS
				8.15	424.1	33	DL	gGc
				10.15	422.1	23	MDL	cGc
				12.15	420.1	36	DL	cGc
				14.15	418.1	33	DL	cGc
				16.15	416.1	30	MDL	cGc
				18.15	414.1	33	DL	gGc
				20	412.25	100	SDL	vDm
EMM23_008 (SB23-4)	2664691.3	1213755.1	431.73	2.15	429.58	56	SDL	cGc
				4.3	427.43	100	SDL	cGc
				6.15	425.58	59	SDL	cGc
				8.15	423.58	40	DL	gGc
				10.15	421.58	28	MDL	gGc
				12.15	419.58	51	SDL	cGc
				14	417.73	100	SDL	gGc
				16	415.73	100	SDL	Dm

Tab. 2 Tabellarische Zusammenstellung der Resultate der SPT-Versuche. Abkürzungen Lagerung gemäss Tab. 3. Lithofazies-Codes vgl. Legende Anhang 2.

Die Lagerungsdichte / Konsistenz auf Grund der Schlagzahlen der Standard Penetration Tests (SPT) können im Lockergestein anhand Tab. 3 interpretiert werden.

<i>Lagerungsdichte (nicht bindig)</i>	<i>sehr locker SL</i>	<i>locker LL</i>	<i>mitteldicht MDL</i>	<i>dicht DL</i>	<i>sehr dicht SDL</i>
Anzahl Schläge für 30 cm Eindringung (N_{SPT30})	0 ÷ 4	4 ÷ 10	10 ÷ 30	30 ÷ 50	über 50
<i>Konsistenz (bindig)</i>	<i>sehr weich SW</i>	<i>weich W</i>	<i>mittelsteif MS</i>	<i>steif ST</i>	<i>hart H</i>
Anzahl Schläge für 30 cm Eindringung (N_{SPT30})	< 2	2 ÷ 4	4 ÷ 8	8 ÷ 15	15 ÷ 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 Locker- und Felsgesteinsschichten protokolliert. Die Standorte der ausgeführten Sondierbohrungen sind in Anhang 1 dargestellt. Die Sondierprofile mit den ausgebauten Piezometern sind in Anhang 3 beschrieben und dargestellt (Kap. 3.3).

3.3 PIEZOMETER

Zur Abklärung der örtlichen hydrogeologischen Verhältnisse wurden die 4 Sondierbohrungen mit je einem 2"-Piezometer ausgebaut (Anhang 3) und zur kontinuierlichen Grundwasserspiegelaufzeichnung mit Drucksonden bestückt (Kap. 6.1). Die Filterstellungen sind in Tab. 4 zusammengefasst.

Piezometer	Sondierbohrung	OK Terrain [m ü.M.]	OK Rohr [m ü.M.]	Durchmesser Ø ["]	Filterstellung Tiefe ab OK Terrain [m]
EMM099 (Pz1)	SB23-1	432.03	431.97	2	6.0 ÷ 12.0
EMM100 (Pz2)	SB23-2	432.83	432.67	2	6.0 ÷ 12.0
EMM101 (Pz3)	SB23-3	432.25	432.14	2	7.0 ÷ 12.0
EMM102 (Pz4)	SB23-4	432.79	432.58	2	6.0 ÷ 11.0

Tab. 4 Zusammenstellung der Filterstellungen der neu versetzten Piezometer.

4 GEOLOGISCHE VERHÄLTNISSE

4.1 ÜBERSICHT

Im Projektgebiet ist der Untergrund dominiert von den Ablagerungen der nacheiszeitlichen Schotterflur, bestehend aus Kies mit Steinen sowie variablem Anteil an Sand. Diese Ablagerungen haben eine unregelmässige Oberfläche mit Senken und Mulden aufgegebener Flussrinnen („Flusstotarme“), die meist mit unterschiedlich siltigem Sand mit variablen Anteilen an Kies und gelegentlichen Silt-Zwischenschichten verfüllt sind. Unterlagert werden die Flussablagerungen von mächtigen Moränenablagerungen und dem tiefgründig verwitterten Felsen der Oberen Süsswassermolasse.

4.2 LOCKERGESTEINE

Die geologischen Verhältnisse im Bereich des Projektperimeters lassen sich auf Grund bestehender und der neu ausgeführten Sondierungen sowie unserer Erfahrungen wie folgt beschreiben (vgl. geologische Profile in Anhang 2):

- An der Oberfläche befinden sich verbreitet im Hinterfüllungsbereich bestehender Bauten, 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 ev. organischen Beimengungen zusammen. In den künstlichen Auffüllungen ist grundsätzlich mit eingelagerten Fremdstoffen zu rechnen. Ein Eintrag im Kataster der belasteten Standorte (KbS) liegt nicht vor (Kap. 5).
- Unterhalb der ursprünglichen Geländeoberkante oder der künstlichen Auffüllungen stehen setzungsempfindliche, vorwiegend sehr locker bis locker gelagerte oder weiche bis mittelsteife **Überschwemmungsablagerungen** an. Diese bestehen aus unterschiedlich siltigem Sand bis tonigem Silt mit variablem Anteil an Sand, Kies und organischen Beimengungen (v.a. Schwemmholz).
- Innerhalb der Matrix der Überschwemmungsablagerungen finden sich zufällig verteilte mitteldicht bis dicht, untergeordnet sehr dicht gelagerte **Ablagerungen von Bachrinnen**. Diese bestehen aus sauberem bis unterschiedlich siltigem Sand mit variablem Anteil an Kies sowie fast sauberem bis leicht siltigem Kies mit Sand und Steinen. Diese Bachrinnen sind wenige Dezimeter bis ca. 2 m mächtig und haben im Querschnitt typischerweise eine begrenzte, laterale Ausdehnung, weshalb sie im Profil als in die Matrix eingestreut erscheinen. In der Längsachse sind sie aber über mehrere Dekameter verfolgbar und teilweise miteinander verbunden.
- Vergesellschaftet mit den Überschwemmungsablagerungen finden sich oberhalb der Flussablagerungen mitteldicht gelagerte oder mittelsteife **Teichablagerungen** aus

einer oft laminierten Wechsellagerung aus unterschiedlich siltigem Feinsand und leicht tonigem Silt. Die Teichablagerungen fehlen im südsüdöstlichen, Reuss-nahen Teil des Projektperimeters. Die Vergesellschaftung mit den Überschwemmungsablagerungen und einzelnen Flussrinnen deutet auf eine Ablagerung innerhalb von Flusstotarmen oder seichten kleinen Seen hin.

- Ab ca. 3½ bis 6 m unterhalb der bestehenden Geländeoberkante werden die Überschwemmungsablagerungen oder Teichablagerungen von mitteldicht bis dicht, nach unten zunehmend sehr dicht gelagerten **Flussablagerungen ("Reusschotter")** unterlagert. Diese bestehen aus fast sauberem bis leicht siltigem Kies mit variablem Anteil an Sand und Steinen, tw. lagenweise als Sohlenpflaster mit hohen Nutzporositäten und Durchlässigkeiten. Darin finden sich zufällig verteilte locker bis mitteldicht gelagerte Zwischenschichten aus fast sauberem bis mässig siltigem Sand mit wenig Kies sowie zuweilen ganzen Baumstämmen. Die Flussablagerungen weisen grundsätzlich ein lebhaftes Oberflächenrelief (ca. ± 2 m) mit Senken und Mulden aufgegebener Flussrinnen ("Flusstotarme"), die oft mit siltig-sandigen Teichablagerungen verfüllt sind (vgl. vorangehenden Spiegelpunkt).
- Als nächste Schicht folgen mehrheitlich dicht bis sehr dicht, untergeordnet mitteldicht gelagerten **Moränenablagerungen**. Diese bestehen aus unterschiedlich tonig-siltigem Sand mit variablem Anteil an Kies, Steinen und tw. sehr harten Findlingsblöcken ($\varnothing > 1$ m), zuweilen nestweise angehäuft. Hierbei handelt es sich komplex aufgebaute, meist matrixgestützte Diamiktite. Darin finden sich insbesondere im oberen Bereich mitteldicht bis dicht gelagerte, umgelagerte Moränenablagerungen aus unterschiedlich siltigem Sand mit variablem Anteil an Kies, Steinen und Blöcken. Die Oberfläche dieser geotechnisch bedeutsamen Einheit ist gewellt und weist grundsätzlich eine kleinräumige, kaum prognostizierbare Reliefamplitude von ca. ± 2 m auf.
- Unterhalb der Moränenablagerungen oder als Zwischenschichten können steife bis harte **späteiszeitliche Seeablagerungen** vorkommen. Die laminierten Feinsedimente bestehen aus einer Wechsellagerung aus unterschiedlich tonigem Silt mit variablem Anteil an Feinsand und unterschiedlich siltigem Feinsand mit vereinzelt kantengerundetem Kies und Steinen (Dropstones) zusammen.
- Darunter folgt der Felsen der **Oberen Süsswassermolasse** (Kap. 4.3).

4.3 FELSEN

4.3.1 Obere Süsswassermolasse

Der Felsenuntergrund besteht im Projektperimeter aus den Ablagerungen der Oberen Süsswassermolasse. Der Felsen ist in diesem Abschnitt generell subhorizontal gelagert und fällt mit ca. $5 \div 10^\circ$ Einfallsrichtung nach NW hin ein.

Der Felsen besteht überwiegend aus grauen Silt- und Schlammsteinen mit dünnen Sandsteinbänken. In den Sondierbohrungen SB23-3 und SB23-4 wurden mächtige, zersetzte bis stark entfestigte Schlammsteinschichten erbohrt. Bei den übrigen Sondierbohrungen wurden der Felsen bis auf 30 m unterhalb der Geländeoberkante nicht erbohrt.

4.3.2 Felsoberfläche

Die Tiefe der erbohrten Felsoberfläche im Projektperimeter liegt zwischen ca. 23½ m (SB23-4) und tiefer als 30.4 m (SB23-2). In Folge der subglazialen Schmelzwassererosion in der Wechsellagerung härterer Sandsteine und weicher Silt- und Schlammsteine ein kleinräumiges Relief mit Amplituden von ca. ± 2 m aufweisen. Das heisst, dass besonders verwitterungsanfällige schlamm- und siltsteinreiche Abfolgen herausgerodiert sind und sich gegenüber den aufragenden Härtlingen der Sandsteine in der Felsoberfläche als seichte Tal-furchen und Senken abbilden.

4.3.3 Verwitterungszone

Je nach Gesteinszusammensetzung ist die Verwitterungszone des Felsen mehrere Meter bis über ca. 10 m mächtig. In den Profilen der Sondierbohrungen (Anhang 3) ist ersichtlich, dass der Felsen im oberen Bereich (>4 m) generell zersetzt und stark verwittert ist und lockergesteinsähnliche Eigenschaften hat (Verwitterungsgrad $R_0 \div R_1$; vgl. Tab. 5). Bei einer allfälligen Bohrpfahlfundation bis in den Felsen wäre diese unterschiedlich ausgeprägte Verwitterungszone des Felsen durch eine flexible Planung der Pfahllängen zu berücksichtigen (Kap. 10.2.4).

Die Verwitterungszone ist generell gekennzeichnet durch:

- Verwitterungs- und Entlastungsklüftung, Kluftabstand cm- bis dm-Bereich, oberflächen-nah meist bis ca. 2 bis 5 m, stellenweise bis über 10 m unter Terrain gut ausgebildet, Klüfte mehrheitlich parallel zur Geländeoberfläche. Die Klüfte sind häufig verlehmt und gleitfähig, teilweise aber auch offen und kluftwasserführend (Porenwasserspannungen!).
- Verwitterung poröser Sandsteine, so dass diese mürbe und entfestigt sind.
- Verlehmung der Schlammsteine – in diesen Gesteinen reicht die Verwitterungszone des Felsens insbesondere entlang durchlässigerer Gesteine zuweilen bis über 10 m unter die Felsoberfläche. Insbesondere die Tonmineralien der Silt- und Schlammsteine sind verwitterungsanfällig, so dass diese mit der Lösung der eher schwachen Zementation bei Wasserzutritten rasch lockergesteinsähnlich zerfallen.
- Offene Klüfte in Sandsteinen verleihen der Verwitterungszone oft lockergesteinsähnlich hohe Durchlässigkeiten.

Grad	Term	Einaxiale Druckfestigkeit [MPa / MN/m ²]	Beschreibung Erscheinungsbild	Merkmale	Feldversuche Hammerschlag / Rückprallhammer
R4 bis R6	unverwittert	> 50	keine sichtbare Verwitterung, schwache Verfärbung an Trennflächen	frischer Eindruck, unverändert, gesund – fest, hart - sehr hart	heller Klang bei Hammerschlag, hinterlässt keinen Eindruck, mehrere Hammerschläge erforderlich, ritzbar mit Schwierigkeiten; Rm = 30 +/-10
R3	angewittert	25-50	Gestein fest - gering entfestigt, Verfärbung der Kluftwandungen und der angrenzenden Gesteinsbereiche, Variante: Gestein verfärbt aber fest	frisch, aber evtl. leichte Entfestigung, (Indexvers.) merkbar, enge Kornbindung, mässig hart	weniger heller Klang, evtl. leichte Einkerbung, mit einem festen Schlag brechbar, nicht bis schwach ritzbar; Rm = 20 +/-10
R2	mässig entfestigt	5-25	Gestein ist entfestigt (spürbar verändert) aber noch nicht mürbe, Verfärbung der Kluftwandungen und des Gesteins	spürbar verändertes Gestein, z. T. geöffnete Kornbindung, schwach absandend	dumpfer Klang, stärkere Einkerbung bei festem Schlag, mit Hammer leicht in kleinere Stücke - aber grössere Stücke mit Hand nicht zerbrechbar; Rm < 10-15
R1	stark entfestigt	1-5	Gestein ist deutlich bis stark entfestigt, starke Verfärbung der Kluftwandungen und des Gesteins	Gestein ist brüchig mürbe, absandend, sehr weich	brüchig bei Hammerschlag, Hammer gute Einkerbung, grössere Stücke mit Hand zerbrechbar, gut ritzbar; Rm = 0
R0	zersetzt	0.25 - 1	Gestein ist völlig entfestigt oder zersetzt, Gesteinsgefüge jedoch erkennbar	Verhalten wie bindiger oder nichtbindiger Boden; extrem weich	kann von Hand gelöst werden, Teil der Minerale von Hand zu zerreiben, in Wasser zu plastifizieren

Tab. 5 Klassifikation der Verwitterungsgrade (BROWN 1981, PRINZ 2006). Die angegebenen einaxialen Druckfestigkeiten entsprechen einer generellen Schätzung der Autoren.

4.3.4 RQD

Um weitere Angaben über die Qualität des Felsmaterials zu erlangen, wurde in den ausgeführten Sondierbohrungen die Rock-Quality-Designation-Zahlen (RQD) erfasst. Dabei gilt folgendes:

RQD [%]	Gebirgsqualität
0 – 25	sehr schlecht
25 – 50	schlecht
50 – 75	mässig / mittel
75 – 90	gut
90 – 100	sehr gut

Tab. 6 Einteilung der RQD-Werte in 5 Klassen nach DEERE (1963).

Bezüglich des RQD ist festzuhalten, dass dieser auch erheblich durch das Bohrverfahren beeinflusst wird: So ist die mechanische Beanspruchung in den obersten, trocken gebohrten Bohrabschnitten erheblich, so dass daraus (zu) tiefe RQD resultieren. Umgekehrt kann

der RQD in schonungsvoll mit Diamantkrone gebohrten Abschnitten als relativ hoch erscheinen.

Bezogen auf die Sondierbohrungen lässt sich folgendes schliessen:

- In den Sondierbohrungen ist bis ca. 6½ m unter die Felsoberfläche ein sehr tiefer RQD von 0 bis 25 % vorhanden, da diese Aufschlüsse nach Erreichen der Felsoberfläche noch mit dem Einfachkernrohr zerbohrt wurden und der Verwitterungsgrad von R0 bis R1 sehr fortgeschritten ist (sehr schlechte Gebirgsqualität).
- Allfällig darunter folgende, höhere RQD-Werte wurden nicht erbohrt.

5 ANGABEN ZUR BELASTUNGSSITUATION DES STANDORTES

Die Parzelle 1594 (GB Emmen) ist gemäss dem aktuellen Kataster der belasteten Standorte (KbS) des Kantons Luzern als „Belastet, keine schädlichen oder lästigen Einwirkungen zu erwarten“ eingestuft und unter der Kataster-ID 1024B0013 als Betriebsstandort erfasst (Abb. 1). Für die restlichen Parzellen 4542, 1839, 3775, 1681, 1680, 1678, 2321, 1682, 4361 und 2268 (GB Emmen) liegen keine Eintragungen vor.

Die derzeit bekannte Belastungssituation auf der Projektparzelle lässt sich wie folgt zusammenfassen:

- Die auf den Parzellen 4542 und 2268 angetroffenen künstlichen Auffüllungen sind zwischen ca. ½ m und 1 m mächtig und organoleptisch unauffällig. Es handelt sich dabei um sauberes Hinterfüllungs- bzw. Kofferungsmaterial ohne Fremdstoffe, wobei diese für die gesamte Fläche nicht ausgeschlossen werden können.
- Die auf den Parzellen 1680 und 2268 angetroffenen künstlichen Auffüllungen haben stark variierende Anteile zwischen <1% und 20% an Fremdstoffen wie Ziegel- Belags- oder Betonbruch, sind dabei aber geruchlich unauffällig (vgl. Kap. 4.2). Auf Grund der organoleptischen Befunde wurde auf chemische Analysen der künstlichen Auffüllungen verzichtet.

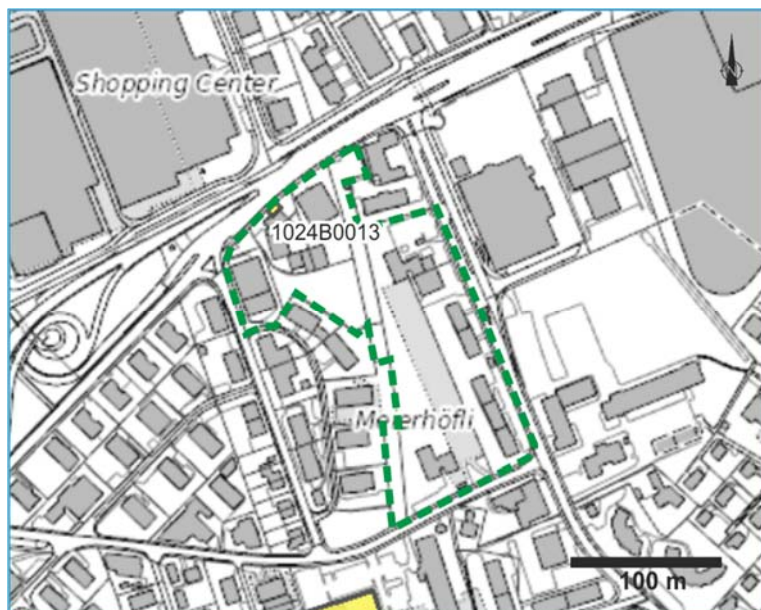


Abb. 1 Ausschnitt aus dem Kataster der belasteten Standorte. Kartengrundlage © Geoinformation und Vermessung Kanton Luzern 2023. Massstab: 1:5'000. Der Projektperimeter ist grün gestrichelt.

Status nach Altlastenverordnung
 Belastet, keine schädlichen oder lästigen Einwirkungen zu erwarten

- Der Kataster der belasteten Standorte-Eintrag mit dem Namen "Bühlmann Alois AG" (Kataster-ID 1024B0013) auf Parzelle 1594 besetzt auf Grund einer Werkstatt für Automobile und Maschinen. Gemäss den verfügbaren Luftbildern (SWISSTOPO, 2023) ist der Bereich ab ca. 1948 als solcher genutzt und scheint von Anfang an von einer versiegelten umgeben zu sein. Basierend auf den bekannten Fakten muss mit Belastungen durch Kohlenwasserstoffe (Benzin, Diesel), Zuschlagsstoffen zu den Treibstoffen wie MTBE¹ und BTEX², PCB³ (Hydrauliköl) und untergeordnet CKW⁴, falls Lackierarbeiten ausgeführt wurden möglicherweise auch Farben und Schwermetallen in unbekannter Qualität gerechnet werden. Auf Grund der Versiegelung kann aber von einer schwachen bis geringen Verschmutzung des Untergrunds ausgegangen werden, wobei grössere Belastungen z.B. aus Havarien oder Handlungsverlusten nicht völlig ausgeschlossen werden können.
- Mit Fremdstoffen und/oder chemisch belastetes Material ist nach AHR⁵ und VVEA⁶ zu entsorgen. Wenn unerwartet organoleptisch⁷ auffälliges Material vorgefunden wird, ist dieses von einem Altlastenspezialisten untersuchen zu lassen.
- Unabhängig von einem Eintrag in den Kataster der belasteten Standorte (KbS) wird gemäss aktueller Vollzugspraxis der Dienststelle Umwelt und Energie (uwe) ab Kubaturen von ca. 100 m³ belastetem Aushub eine *Aushubbegleitung* durch ein Fachbüro

¹ MTBE:

Methyl-tert-butylether.

² BTEX:

Benzol, Toluol, Ethylbenzol und Xylol.

³ PCB:

Polychlorierte Bi-Phenyle.

⁴ CKW

Chlorierte Kohlenwasserstoffe.

⁵ AHR:

Aushubrichtlinie.

⁶ VVEA:

Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen.

⁷ organoleptisch:

Hilfsmittelfreie Bewertung von Geruch und Aussehen.

verlangt. Ab Kubaturen von ca. 300 m³ belastetem Aushub wird zusätzlich zu einer Aushubbegleitung ein Aushub- und Entsorgungskonzept gefordert.

6 HYDROGEOLOGISCHE VERHÄLTNISSE

6.1 LOKALE GRUNDWASSERVERHÄLTNISSE

- Die nacheiszeitlichen Flussablagerungen bilden einen bedeutenden Grundwasserleiter, der in diversen Fassungen für öffentliche und private Grundwassernutzungen zu Trink- und Brauchwasserzwecken genutzt wird.
- Die seit ungefähr dem Jahr 2005 beobachteten, gegenüber früher erhöhten Grundwasserstände (Mittel- und Niederwasserstand) im Grundwassergebiet des obersten Reusstals sind auf die verstärkte Infiltration von Flusswasser (reduzierte Kolmation durch Hochwasserereignisse 1999, 2002, 2005 und 2007) zurückzuführen. Diese erhöhten Grundwasserstände sind in der aktuellen Gewässerschutzkarte mit den Isohypsen der Grundwasserdruckfläche bei Mittelwasserstand berücksichtigt (KANTON LUZERN, RAWI, 2024).
- Die Schwankungen der Grundwasserspiegel werden ab Mitte April 2023 in den neu erstellten und umliegenden, bestehenden Piezometern EM689 und EMM099 ÷ EMM102 (Anhang 1) mittels automatischer Drucksonden erhoben. Im August 2023 wurde die Drucksonde der Messstelle EMM099 in den Entnahmebrunnen der thermischen Grundwassernutzung Eschenring 3 eingebaut. Weiter wurde im Rahmen der hydrogeologischen Abklärungen für die permanente Grundwasserabsenkung bei der Einstellhalle Meierhöflistrasse 17 (KELLER+LORENZ AG, 2023b) eine Drucksonde im Pumpschacht EMM103 ebenfalls eingebaut. Die Messungen sind in Anhang 4 dargestellt und werden bis mindestens Mitte April 2024 weitergeführt. Damit kann der Schwankungsbereich der Grundwasserdruckfläche auch während ggf. extremer Witterungsverhältnisse erfasst werden (Kap. 12).
- Auf Grund der neu erhobenen und langjährigen Grundwasserspiegelmessungen aus benachbarten Messstellen sowie auf der Projektparzelle lässt sich der **Schwankungsbereich** der Grundwasserdruckfläche gemäss Tab. 7 angeben.
- Die Grundwasserfliessrichtung im nordwestlichen Projektperimeter (Mattys moyreal) ist ungefähr nach ENE orientiert, und das Gefälle der Grundwasserdruckfläche beträgt gemäss heutigem Kenntnisstand zwischen ca. 3 und 4 ‰.
- Im südöstlichen Projektperimeter (WE-E) ist die Grundwasserfliessrichtung aufgrund der höheren Lage der gemessenen Grundwasserdruckspiegel in den Messstellen EMM102, EMM103 und EMM104 nach NNW bis N orientiert, was mit den zu erwartenden, natürlichen Grundwasserverhältnissen nicht plausibel erklärbar ist. Eine solche

Grundwasserfliessrichtung wäre weiter südöstlich im Nahbereich des Reussufers möglich, da dort das Flusswasser in das Grundwasservorkommen exfiltriert (KANTON LUZERN, RAWI, 2024).

- Mit der temporären Ausserbetriebnahme des Pumpbetriebs für die Einstellhalle Meierhöflistrasse 17 (KELLER+LORENZ AG, 2023b) konnten keine Reaktionen der gemessenen Grundwasserdruckspiegel in der Umgebung erkannt werden. Somit sind diese Grundwasserverhältnisse wahrscheinlich auf externe, grosse Pumpbetriebe zurückzuführen.

Grundwasserstand	SW (EMM102)		NE (EMM099)		NW (EMM100)	
	Grundwasserstand [m ü.M.]	Flurabstand [m] OK Terrain ca. 432.1 m ü.M.	Grundwasserstand [m ü.M.]	Flurabstand [m] OK Terrain ca. 432.2 m ü.M.	Grundwasserstand [m ü.M.]	Flurabstand [m] OK Terrain ca. 432.9m ü.M.
Hochwasserstand HW (J10)	ca. 429.7	ca. 2.4	ca. 428.4	ca. 3.8	ca. 428.8	ca. 4.1
Mittelwasserstand MW	ca. 427.7	ca. 4.4	ca. 426.4	ca. 5.8	ca. 426.8	ca. 6.1
Niederwasserstand NW	ca. 426.8	ca. 5.3	ca. 425.5	ca. 6.7	ca. 425.9	ca. 7.0

Tab. 7 Schwankungsbereich der Grundwasserdruckfläche (erhöhte Grundwasserstände seit 2005) aufgrund der zwischen 2006 und 2024 erhobenen Messdaten der benachbarten Messstellen. Basierend auf die Messdaten 1977 – 2023 der kantonalen Messstelle EM210 lag der Niederwasserstand im Gebiet Seetalplatz vor dem Hochwasser von 2005 bis ca. 1 m tiefer als der angegebene. Eine Grundwasserabsenkung unter den natürlichen Niederwasserstand vor 2005 (bis ca. 1 m tiefer als in Tab. 7) ist daher grundsätzlich zu vermeiden.

- Bereits bei mittleren Grundwasserständen befindet sich die Grundwasserdruckfläche örtlich innerhalb der gering durchlässigen Überschwemmungssedimente sowie den Teichablagerungen, so dass mit gespannten Verhältnissen zu rechnen ist. Innerhalb besser durchlässiger Bachrinnen sind zudem lokale **schwebende Grundwasservorkommen** zu erwarten.
- Bei extremen Niederschlägen oder bei Hochwasserereignissen ist mit einer Wassersättigung der Lockergesteine bis zur heutigen Geländeoberkante (Kap. 7.1) zu rechnen.
- Für genauere Information bezüglich der Grundwasserdruckfläche bei Mittelwasserstand für den südlichen Projektperimeter ist die Ausführung weiterer Messstellen z.B. entlang der Fichtenstrasse zu prüfen (Kap. 12).

6.2 GEWÄSSERSCHUTZ

- Gemäss der Gewässerschutzkarte des Kantons Luzern liegt der Projektperimeter vollumfänglich im **Gewässerschutzbereich A_u** eines nutzbaren Grundwasservorkommens (Abb. 1).
- Bauten, die in das Grundwasservorkommen hineinreichen (ZENTRALSCHWEIZER UMWELTFACHSTELLEN, 2023), z.B. tiefe Untergeschosse, Pfähle oder Baugrubenabschlüsse bedürfen einer gewässerschutzrechtlichen Bewilligung der kantonalen Dienststelle Umwelt und Energie (uwe). Um für Bauten unter die mittlere Grundwasseroberfläche, bzw. Grundwasserdeckfläche eine Bewilligung erlangen zu können, ist ein **hydrogeologischer, rechnerischer Unbedenklichkeitsnachweis** über den Einfluss des Bauwerks auf die Durchflusskapazität zu erbringen, welcher als separater Bericht dem Baugesuch beigelegt werden muss.
- Im Gewässerschutzbereich A_u dürfen grundsätzlich keine Anlagen erstellt werden, die unter der mittleren Grundwasseroberfläche, bzw. Grundwasserdeckfläche liegen. Die Behörde kann Ausnahmen bewilligen, soweit die **Durchflusskapazität des Grundwassers** gegenüber dem unbeeinflussten Zustand um **höchstens 10 % vermindert** wird (GSchV). Die Zulässigkeit von Ersatzmassnahmen bei Verringerung der Durchflusskapazität ist kantonal geregelt.



Abb. 1 Ausschnitt aus der Gewässerschutzkarte. Kartengrundlage © KANTON LUZERN, RAWI (2024). Massstab: 1:5'000. Grün umrandet: Ungefähre Lage des Projektperimeters.



- Bei einer Eindringung unterhalb der mittleren Grundwasseroberfläche, bzw. Grundwasserdeckfläche (z.B. Pfähle, temporäre Baugrubenabschlüsse oder örtliche Vertiefung) ist ein hydrogeologischer Unbedenklichkeitsnachweis erforderlich, wofür die bestehenden Bauten zu berücksichtigen sind. Wir empfehlen, bereits in einer frühen Phase die

Dienststelle Umwelt und Energie einzubeziehen, um Planungssicherheit zu gewinnen (KELLER+LORENZ AG, 2023a).

6.3 IDENTIFIKATION BAUTECHNISCH RELEVANTER FOLGERUNGEN

6.3.1 Bauzustand

- Eine Absenkung der Grundwasserdruckfläche ausserhalb des Bauvorhabens unter den natürlichen Niederwasserstand sowohl während der Bauphase als auch im Nutzungszustand wäre **mit Risiken von unzulässigen Setzungen oder Beeinflussung bestehender Grundwassernutzungen verbunden**. Eine dauerhafte Grundwasserabsenkung unter den natürlichen Niederwasserstand ist daher grundsätzlich zu unterlassen.
- Um die Risiken einer unzulässigen Absenkung der Grundwasserdruckfläche ausserhalb der Bauparzelle und die Aufwendungen für die Wasserhaltung im gut durchlässigen Grundwasserleiter zu minimieren, steht bei allfälligen Bauten mit Einbindung unter dem Mittelwasserstand die Ausführung eines möglichst dichten Baugrubenabschlusses im Vordergrund. Dabei stellen temporäre Spundwände mit einer Einbindung bis in die Moränenablagerungen (Kap. 10.3) eine zweckmässige Massnahme dar.
- Für alle Baugruben ist zu beachten, dass die Grundwasserdruckfläche bei extremen Niederschlägen oder bei Hochwasserereignissen sehr rasch und stark ansteigen kann, im Extremfall bis zur Geländeoberkannte (Kap. 6.1 und Kap. 7.1). Bei Wasserhaltungen ist somit während niederschlagsreichen Perioden der grossen, **rasch anfallenden Wassermenge** gebührend Rechnung zu tragen. Wir empfehlen eine zweckmässige **Massnahmenplanung**, z.B. Einstellen der Wasserhaltung mit kurzfristigem Einstellen der Arbeiten während Hochwasserspitzen usw. vorgängig mit der ausführenden Unternehmung abzusprechen.
- Alle sandigen Ablagerungen unterhalb der Grundwasserdruckfläche sind als **grundbruchempfindlich** einzustufen. Entsprechende Erschwernisse sind bei den allfälligen Aushub- und Bohr- oder Rammarbeiten einzurechnen. Ebenso sind die Risiken hinsichtlich eines **Sohlaufbruchs** zu beachten (z.B. Gefährdungsbild bei hoher Grundwasserdruckfläche oberhalb der Aushubsohle in Überschwemmungs- oder Teichablagerungen).
- 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, auch z.B. bei Bohrpfahlarbeiten.
- Zu beachten ist die Wasserempfindlichkeit der künstlichen Auffüllungen, der Überschwemmungssedimente und der sandigen Zwischenschichten / Flusstotarmablagerungen innerhalb der Flussablagerungen. Bei nasser Witterung lassen sich die feinkörnigen oder sandigen Lockergesteine oft nur ungenügend entwässern, was beim Auflad,

Transport und der Deponierung zu entsprechenden Mehrkosten führen kann. Im Weiteren ist zu beachten, dass wassergesättigte Sande (auch Zwischenschichten innerhalb der Flussablagerungen) besonders erschütterungsempfindlich sind und z.B. bei Vibrationen bei Spundwandarbeiten zu Verflüssigungen neigen.

- Die lokalen, schwebenden Grundwasservorkommen (Kap. 6.1) sind insbesondere im Bauzustand (Böschungsstabilität freier Böschungen, Durchnässung Aushubmaterial) oder im Nutzungszustand (Wasserdichtigkeit, Meteorwasserversickerung, Auftrieb) angemessen zu berücksichtigen.

6.3.2 Nutzungszustand

- Je nach Anforderungen an die Wasserdichtigkeit der erdberührten Geschosse sind entsprechende bauliche Massnahmen umzusetzen, da kurzfristig mit einer Porenwassersättigung bis in den Bereich der heutigen Geländeoberfläche zu rechnen ist. Die Bauteile sind in diesem Falle bezüglich Auftrieb entsprechend zu dimensionieren, wobei für die massgebende Druckfläche die Überflutungshöhe massgebend wird, die über der heutigen Geländeoberkante anzunehmen ist (Kap. 6.1 und Kap. 7.1).
- Bei vollflächigen Einbauten unter der Grundwasserdruckfläche, wie tiefe Untergeschosse oder allfällige Pfähle, sind zur Gewährleistung des Grundwasserflusses und zur Verhinderung eines Grundwasseraufstaus entsprechende hydraulische Massnahmen (Kompensationsmassnahmen) zu planen. Dabei sind die gewässerschutzrechtlichen Bestimmungen (Kap. 6.2) rechtzeitig mit der zuständigen Behörde zu klären und zu beachten.

7 NATURGEFAHREN

7.1 WASSERPROZESSE

Gemäss der aktuell geltenden Gefahrenkarte des Kantons Luzern (KANTON LUZERN, RAWI, 2024) ist für den Projektperimeter eine **geringe Gefährdung** sowie eine **Restgefährdung** durch fliessendes Hochwasser (Abb. 2) ausgewiesen. Diese Gefährdung ist mit folgenden Szenarien entsprechend festgehalten:

- Bei sehr seltenen⁸ Ereignissen ist im Projektperimeter mit fliessendem Hochwasser mit schwacher Intensität zu rechnen.
- Die charakteristischen Parameter der Intensitätsstufen für Hochwasser sind in Tab. 8 zusammengestellt.

⁸ Sehr selten = Eintrittswahrscheinlichkeit $1/100$ bis $1/300$ pro Jahr.

- Aufgrund der zugehörigen Intensitätskarten besteht im betroffenen Perimeter generell eine **geringe Gefährdung** (gelbe Gefahrenstufe) durch fließendes Hochwasser. Die übrigen Flächen werden mit einer Restgefährdung ausgewiesen.
- Es kann davon ausgegangen werden, dass die Lockergesteine während Überschwemmungen weitgehend gesättigt sind (vgl. auch Kap. 7.2), weshalb der hydrostatische Druck auf Bauwerke **auftriebswirksam** wirkt.
- Mit angemessenen Objektschutzmassnahmen können allfällige Schäden verhindert werden (Kap. 7.2).

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

Tab. 8 Intensitätsstufen für Hochwasser.

h = Fließhöhe

v = Fließgeschwindigkeit



Abb. 2 Ausschnitt aus der Gefahrenkarte Wasserprozesse, Kartengrundlage © KANTON LUZERN, RAWI (2024). Massstab: 1:5'000. Grün umrahmt: Projektperimeter

Gefahrenstufen

- erhebliche Gefährdung
- mittlere Gefährdung
- geringe Gefährdung
- ▨ Restgefährdung

7.2 OBERFLÄCHENABFLUSS

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

Grundsätzlich sind die zu erwartenden Schäden an der Bausubstanzen selber gering und Personen sind kaum gefährdet. Durch das Eindringen von Wasser durch Gebäudeöffnungen können hingegen auch bei geringer Intensität ganze Untergeschosse oder Einstellhallen 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.

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

Mit angemessenen Objektschutzmassnahmen können Schäden i.d.R. vermindert werden. Da sich Starkniederschläge nur kurzfristig vorhersagen lassen und die Abflussbildung im Ereignisfall äusserst rasch erfolgt, ist die Vorwarnzeit entsprechend kurz (EGLI 2005, 2007). Wo möglich sind **permanente Objektschutzmassnahmen** gegen Oberflächenabfluss vorzusehen (SIA 261/1). Dazu 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 Oberflächenwasser eindringen kann.



Abb. 3 Ausschnitt aus der Hinweiskarte Oberflächenabfluss. Kartengrundlage © KANTON LUZERN, RAWI (2024). Massstab: 1:5'000. Grün umrahmt: Projektperimeter.

- Terraingestaltung, z.B. mittels Anpassung der Geländekoten in der Umgebung. Für einen geordneten Abfluss kommt durchdachten, durchgängigen und hindernisfreien Leitwerken (Stellplatten, Überstände, Vertiefungen in Fallrichtung u.dgl.) eine grosse Bedeutung zu. Zu beachten sind auch allfällige Ein- / Rückstaumöglichkeiten, z.B. umschlossene Terrassen mit ungenügend dimensionierten oder leicht verstopfenden Abflüssen. Die Abflusskorridore sind im Umgebungsplan darzustellen.
- Berücksichtigung der **Auftriebssicherheit** und der Wasserdichtigkeit erdberührter Bauteile.

- Alternativ sind ungeschützte Gebäudeöffnungen durch automatische Fluttore oder bei ausreichender Vorwarnzeit durch teilmobile Schutzelemente (hochziehbare Konstruktionen, dichte Fensterklappen, Dammbalken, o. ä.) angemessen zu schützen. Bei erhöhten Risiken (kritische Untergeschosse) Erstellung eines Notfallkonzepts mit den organisatorischen Massnahmen.
- Es ist sicherzustellen, dass infolge des Projekts keine **neuen, oberirdischen Fliesswege** entstehen, die zu Schäden an umliegenden Grundstücken und Gebäuden führen könnten.

7.3 ERDBEBENSICHERHEIT

Der **Erdbebensicherheit** ist je nach Gefährdungsbild eine angemessene Priorität zuzuordnen. Nach SIA261:2020 und BWG (2004) können für einen ersten Nachweis der ausserordentlichen Einwirkung von Erdbeben folgende Zuordnungen verwendet werden:

- Für das Bauwerk sind die Bauwerksklassen gemäss SIA261:2020 festzulegen.
- Hinsichtlich der **Erdbebengefährdungszonen** wird das Gebiet nach der aktuellen Karte SIA261:2020 der Zone 1b mit Beschleunigungswerten 0.8 m/s^2 zugeschlagen.
- Auf Grund der angetroffenen Tiefenlage der Felsoberfläche wird die **Baugrundklasse C** (Lockergesteinsbedeckung über Felsen oder glazial vorbelasteten Ablagerungen von $>20 \text{ m}$) massgebend.

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.

9 BAUGRUNDMODELL MIT GEOTECHNISCHEN EIGENSCHAFTEN DER LOCKER- UND FESTGESTEINE

Nach Auswertungen der Sondierungen und unserer Erfahrungen wurde ein stufengerechtes Baugrundmodell erstellt, das als Grundlage für die weitere Projektierung dienen soll.

Einheit	Beschreibung	Feuchtraumgewicht γ_e [kN/m ³]	Raumgewicht unter Auftrieb γ' [kN/m ³]	effektiver Winkel der inneren Reibung ϕ' [°]	effektive Kohäsion c [kN/m ²]	Durchlässigkeit k -Wert [m/s]	M_E -Wert (M_E' -Wert) [MN/m ²]
Künstliche Auffüllungen	Unterschiedlich tonig-siltige Kies-Sand-Gemische mit variablem Anteil an Steinen und Blöcken sowie evtl. organischen Beimengungen und Fremdstoffen. Heterogene Lagerung.	19.0 ± 2.0	9.5 ± 2.0	32 ± 2	0 *)	$x \cdot 10^{-3} \div x \cdot 10^{-7}$	heterogen
Überschwemmungsablagerungen	Unterschiedlich siltiger Sand bis toniger Silt mit variablem Anteil an Sand, Kies und organischen Beimengungen (Schwemmholz). Sehr locker bis locker gelagert oder weiche bis mittelsteife Konsistenz.	18.5 ± 0.5	9.0 ± 0.5	27 ± 2	0 *)	$x \cdot 10^{-4} \div x \cdot 10^{-6}$ $k_v \neq k_h$	2 ÷ 10 (6 ÷ 30)
Bachrinnen	Sauberer bis unterschiedlich siltiger Sand mit variablem Anteil an Kies sowie fast sauberer bis leicht siltiger Kies mit Sand und Steinen. Mitteldicht bis dicht, untergeordnet sehr dicht gelagert.	21.0 ± 0.5	11.5 ± 0.5	34 ± 2	0 *)	$x \cdot 10^{-3} \div x \cdot 10^{-4}$	20 ÷ 40 (> 60)
Teichablagerungen	Wechsellagerung aus unterschiedlich siltigem Feinsand und leicht tonigem Silt, laminiert. Mitteldicht gelagert bzw. mittelsteif.	18.0 ± 0.5	8.5 ± 0.5	26 ± 2	0 *)	$x \cdot 10^{-6} \div x \cdot 10^{-8}$	2 ÷ 6 (6 ÷ 18)
Flussablagerungen	Fast sauberer bis leicht siltiger Kies mit variablem Anteil an Sand und Steinen, Sohlenpflaster mit hohen Nutzporositäten und Durchlässigkeiten. Mitteldicht bis dicht, nach unten zunehmend bis sehr dicht gelagert.	20.0 ± 0.5	10.5 ± 0.5	35 ± 2	0 *)	$x \cdot 10^{-2} \div x \cdot 10^{-3}$	20 ÷ 50 (> 60)
	Zwischenschichten aus fast sauberem bis mässig siltigem Sand mit wenig Kies, evtl. Baumstämme, locker bis mitteldicht gelagert.	18.5 ± 0.5	9.0 ± 0.5	31 ± 2	0 *)	$x \cdot 10^{-3} \div x \cdot 10^{-5}$	10 ÷ 15 (30 ÷ 45)
Moränenablagerungen	Unterschiedlich tonig-siltiger Sand mit variablem Anteil an Kies, Steinen und Blöcken, zuweilen nestweise angehäuft, Diamiktite. Mitteldicht bis sehr dicht gelagert.	21.0 ± 0.5	11.5 ± 0.5	34 ± 2	0 *)	$x \cdot 10^{-6} \div x \cdot 10^{-7}$	20 ÷ >60 (> 60)
	Zwischenschichten aus umgelagerten Moränenablagerungen aus unterschiedlich siltigem Sand mit variablem Anteil an Kies, Steinen und Blöcken. Mitteldicht bis dicht gelagert.	19.0 ± 0.5	9.5 ± 0.5	28 ± 2	0 *)	$x \cdot 10^{-4} \div x \cdot 10^{-5}$	15 ÷ 20 (45 ÷ 60)

Einheit	Beschreibung	Feuchtraumgewicht γ_e [kN/m ³]	Raumgewicht unter Auftrieb γ' [kN/m ³]	effektiver Winkel der inneren Reibung ϕ' [°]	effektive Kohäsion c [kN/m ²]	Durchlässigkeit k-Wert [m/s]	M _E -Wert (M _E '-Wert) [MN/m ²]
Späteiszeitliche Seeablagerungen	Heterolithische Wechsellagerung aus unterschiedlich tonigem Silt mit variablem Anteil an Feinsand und unterschiedlich siltigem Feinsand mit vereinzelt Kies und Steinen (dropstones), laminiert. Steife bis harte Konsistenz.	19.5 ± 0.5	10.0 ± 0.5	30 ± 2	0 *)	$x \cdot 10^{-5} \div x \cdot 10^{-6}$	20 ÷ 30 (> 60)
Verwitterter Molassefelsen	Geklüftete Sandsteine.	24.0 ± 1.0	-	32 ± 2 Schichtflächen tw. < 20°	60 ± 40 Trennflächen tw. 0	$x \cdot 10^{-4} \div x \cdot 10^{-6}$	> 100
	Silt- und Schlammsteine.	22.5 ± 0.5	-	22 ± 2 Schichtflächen tw. < 20°	25 ± 15 Trennflächen tw. 0	$x \cdot 10^{-6} \div x \cdot 10^{-9}$	50 ÷ 100

Tab. 9 Zusammenstellung der geotechnischen Kennwerte der verschiedenen geologischen Einheiten. *) Scheinkohäsion vorhanden.

- 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 (vgl. SIA 267, Ziffer 4.2.1.4).
- Die für die Berechnungen einzusetzenden Bemessungswerte sind gemäss der SIA-Norm 267 vom Ingenieur aus den charakteristischen Kennwerten (X_k) unter Berücksichtigung der, je nach Art der Einwirkungen (Grenzzustände) festzulegenden Partialfaktoren, abzuleiten und spezifisch für den jeweiligen geotechnischen Nachweis festzulegen (vgl. SIA 267, Ziffer 4.2).
- Der M_E'-Wert gilt für Belastungen, welche kleiner oder gleich gross wie die Aushubentlastung sind (Wiederbelastung), der M_E-Wert für Belastungen, welche darüber hinausgehen (Erstbelastung).

10 GEOTECHNISCHE FOLGERUNGEN

10.1 GEOTECHNISCHE ERSCHWERNISSE / RISIKEN

- Der Projektperimeter befindet sich im Nahbereich von Nachbargebäuden und Strassen jeweils mit Werkleitungen. **Sowohl im Bau- als auch im Endzustand** ist zu beachten,

dass **je nach Vulnerabilität keine Deformationen akzeptabel** sind. Wir empfehlen, die Empfindlichkeit dieser Bauten und genauen Foundationen je nach Projekt frühzeitig abzuklären, um allenfalls schadensvorbeugende Massnahmen, wie vorgängige Fundationsverstärkungen, Werkleitungsumlegungen usw. in die Projektierung einfließen lassen zu können.

- Für die vorgesehenen Tiefbauarbeiten sind die bautechnisch relevanten Folgerungen bezüglich der Geologie (Kap. 4), der Hydrogeologie (Kap. 6), der Naturgefahren (Kap. 7) sowie der geotechnischen Eigenschaften (Kap. 9) bei der Planung der Foundation (Kap. 10.2), der Baugrubenabschlüsse (Kap. 10.3) und der Aushubarbeiten (Kap. 10.3.1) zu beachten.
- Mit allfälligen **Bohr-, Ramm- und Aushubhindernissen** wie künstliche Auffüllungen, bis sehr dicht gelagerte Flussablagerungen, Blöcke, tw. nestweise angehäuft oder Holz (zuweilen ganze Baumstämme) sowie dicht bis sehr dicht gelagerten Moränenablagerungen muss gerechnet werden. *Entsprechende Erschwernisse sind einzurechnen.*
- Ebenso werden mögliche, grobkörnigere Kiesschichten ohne Matrix (Sohlenpflaster aus sogenanntem offenporigem Kies) mit offenen Makroporen zu erheblichem Mehraufwand bei Injektionen und Spülbohrungen bei Bohr- und Ankerarbeiten führen.
- Für die Erstellung von allfälligen Pfählen (Kap. 10.2.4) oder Baugrubenabschlüssen (Kap. 10.3) sind die Zugänglichkeit (Beanspruchung Strassen, Vorplätze, Parkplätze) und die Ausbildung des Arbeitsplanums bedeutsam. Die Mächtigkeit des Planums richtet sich nach der Grösse des Bohr- oder Spundwandgeräts ist mit dem ausführenden Unternehmer zu bestimmen. Die Risiken von Setzungen durch das hohe Eigengewicht des Bohrplanums und insbesondere des Bohr- oder Spundwandgeräts sind angemessen zu berücksichtigen. Speziell zu beachten sind mögliche Torfschichten (Kap. 4.2).
- Die Gefährdungsbilder sowie die akzeptierten Risiken und Massnahmen zur Risikominderung sind in der Nutzungsvereinbarung / Projektbasis zu dokumentieren (Kap. 12).

10.2 FUNDATION DER NEUBAUTEN

10.2.1 Allgemeine Hinweise

- Die Bodenplatten mit mindestens einem Untergeschoss befinden sich entweder in den gut tragfähigen Flussablagerungen, den setzungsempfindlichen Überschwemmungsablagerungen oder Teichablagerungen (Flusstotarme). Unter der Voraussetzung einer genügenden Auftriebssicherheit im Hochwasserfall und in Kenntnis der Risiken differentieller Setzungen, insbesondere im Übergang hochbelastender Gebäudebereiche mit z.B. nur erdüberdeckten Einstellhalle sowie zu den bestehenden Bauten, kann in den Flussablagerungen eine Flachfoundation (Kap. 10.2.2) vorgesehen werden. Grundsätzlich empfehlen wir, die Bauwerkslasten aus Tragwänden / Stützen mindestens bis in die mitteldicht bis dicht gelagerten Flussablagerungen abzutragen, so dass örtlich

baugrundverbessernde Massnahmen, wie mindestens ein Materialersatz oder Betontatzen erforderlich werden. Damit können unzulässige Setzungen und vor allem Setzungsdifferenzen als Folge der unterschiedlichen Auflagerungsverhältnisse verhindert, resp. auf ein akzeptables Mass reduziert werden.

- Um Zwängungen zwischen unterschiedlich belasteten Bauteilen infolge Setzungsdifferenzen zu verhindern empfiehlt es sich zu prüfen, die Bauwerke vollständig voneinander zu dilatieren. Die Untergeschosse und die Bodenplatten sind möglichst steif auszubilden, damit Spannungsspitzen unterhalb von Lastkonzentrationen (Gebrauchslasten) auf ein zulässiges Mass verteilt werden können.
- Als risikoärmere Alternative zu einer Flachfundation stehen bei grösseren konzentrierten Lastabtragungen oder im Falle von unterschiedlichen Erstbelastungsanteilen für Neubauten tieferreichende, baugrundverbessernde Massnahmen mittels Rüttelstopfverdichtung (Kap. 10.2.3) oder eine Tiefenfundation (Kap. 10.2.4), die ausreichend tief in die besser tragfähigen Moränenablagerungen oder in den Felsen einbinden im Vordergrund.
- Bei einer starren Tiefenfundation ist dem unruhigen, im Meterbereich nicht mehr prognostizierbaren Kleinrelief der Felsoberfläche sowie der sehr ausgeprägten mächtigen Verwitterungszone des Felsen (Kap. 4.3.3) mit unterschiedlich verwitterungsanfälligen und harten bis stark entfestigten Gesteinen unbedingt durch eine flexible Gestaltung der Einbindelängen unter die Felsoberfläche Rechnung zu tragen. Zudem empfehlen wir, den Traghorizont, resp. die Einbindetiefe von Bohrpfählen (Kap. 10.2.4.2) bei der Realisation durch den Ingenieur oder den Geotechniker laufend verifizieren zu lassen und Pfahlprüfungen durchzuführen.
- Zu beachten ist die Auftriebsproblematik bei Hochwasser (Kap. 7.1), insbesondere für lediglich erdüberdeckte Bauteile, so dass allenfalls Zugpfähle zu konzipieren sind.
- Die bautechnischen Folgerungen / Erschwernisse und geotechnischen Risiken gemäss Kap. 10.1 zu berücksichtigen.

10.2.2 Flachfundationen mit örtlichem Materialersatz

- Bei einer Flachfundation mit örtlichem Materialersatz wird es in erster Linie darum gehen, ein möglichst gleichmässiges Setzungsbild zu erzielen, damit Setzungsdifferenzen innerhalb zulässiger Grenzen gehalten werden können und so keine Zwängungen zwischen Bauteilen mit unterschiedlichem Erstbelastungsanteil entstehen.
- Somit sind genauere Betrachtungen der Gebrauchstauglichkeit mit den Einwirkungen auf die Gründungsbauteile durchzuführen, um die erkannten Risiken von unzulässigen absoluten und insbesondere differentiellen Setzungen zu minimieren.
- Zur Verbesserung der Lastverteilung sind mögliche sandige und aufgeweichte Lockergesteinsschichten auf der Aushubsohle zu entfernen und durch gut verdichtbare, eckige

Kies-Sand-Gemische zu ersetzen. Als Kontrolle einer genügenden Verdichtung eignen sich Lastplattenversuche, um einen erforderlichen M_E -Wert von rund 40 MN/m² zu kontrollieren.

- Im Bereich von Lastkonzentrationen, bzw. für Einzel-/ Streifenfundamente mit Breiten ≤ 2.5 m und ≤ 1.0 m kann von zulässigen Bodenpressungen gemäss Tab. 10 ausgegangen werden.

Einheit	Zulässige Bodenpressungen unter 1.0-facher Belastung:	Zulässige Bodenpressungen (Design-Niveau):
Mitteldicht bis dicht gelagerte Flussablagerungen	ca. 250 ÷ 350 kN/m ²	ca. 350 ÷ 490 kN/m ²
Mitteldicht bis dicht gelagerte Flussablagerungen, mind. 5 m ab heutiger Geländeoberkante	ca. 350 ÷ 450 kN/m ²	ca. 490 ÷ 630 kN/m ²

Tab. 10 Zulässige Bodenpressungen für Flachfundationen.

- Trotz der oben angegebenen Massnahmen sind im Falle einer Fundation innerhalb der beim Aushub zwangsläufig gestörten Lockergesteine oder wegen möglicher locker gelagerter, sandiger Zwischenschichten absolute und / oder differentielle Setzungen von ca. 1 bis 3 cm zu erwarten. Entsprechende Beanspruchungen der Konstruktion sind bei der Bemessung des Neubaus zu berücksichtigen. *Das genaue Setzungsmass, ist durch den Ingenieur zu verifizieren.* Weiter ist die Gebrauchstauglichkeit unter Berücksichtigung der flächig verteilten Bodenpressungen der Bodenplatte mittels Setzungsberechnungen zu erörtern.
- Bei grossflächigen Lastverteilungen von > 90 kN/m² im Erstbelastungsanteil empfehlen wir, das genaue Setzungsverhalten vertieft zu analysieren.
- Wir empfehlen bei zweifelhaften Verhältnissen, die effektiv vorhandenen Baugrundverhältnisse auf der Aushubsohle durch den Geotechniker / Geologen laufend beurteilen zu lassen.

10.2.3 Baugrundverbessernde Massnahmen mittels Rüttelstopfverdichtung

- Für eine Verbesserung des Setzungsverhaltens des Baugrunds und damit zu Erzielung höherer zulässiger Bodenpressungen gegenüber den Bemessungsgrundlagen in Tab. 10 wäre prinzipiell die Ausführung einer Rütteldruck- oder Rüttelstopfverdichtung denkbar. Die baugrundverbessernden Massnahmen sind genügend tief in die Flussablagerungen auszuführen. Bezüglich der Ausführungsmöglichkeiten empfehlen wir ggf. rechtzeitig eine Spezialtiefbauunternehmung zu kontaktieren und die gewässerschutzrechtliche Bewilligung frühzeitig abzuklären.

- Für die Dimensionierung einer Rüttelstopfverdichtung wird nach dem Verfahren von Priebe ein Verbesserungsfaktor für den Baugrund bestimmt. Dieser ist vom Säulenraster und vom Ausführungsverfahren abhängig und soll daher mit der ausführenden Unternehmung abgesprochen werden.

10.2.4 Tiefenfundation

10.2.4.1 Allgemeine Hinweise

- Bei grossen Stützenlasten oder bei ungleichmässigen Mehrbelastungen des Baugrunds sowie bei setzungsempfindlichen Bauwerken steht eine Lastabtragung über Tiefenfundationen im Vordergrund. Die Pfähle könnten bei Bedarf auch als allfällige Zugpfähle bei einer Auftriebsproblematik bei Hoch- oder Höchsthochwasser, insbesondere für lediglich erdüberdeckte Bauteile oder für die Erdbebbensicherheit ausgebildet werden.
- Auf Grund möglicher Baumstämme, schichtweise dicht bis sehr dicht gelagerten Flussablagerungen oder Steinlagen bestehen erhöhte Risiken, dass bei der Realisation von Rammpfählen und Vollverdrängungsbohrpfählen ab der heutigen Geländeoberkante die erforderlichen Tiefen ohne Vorbohrungen nicht erreicht werden, was zu zusätzliche Pfählen führen würde.
- Bei einer allfälligen kombinierten Pfahl-Platten-Gründungen (KPP) wären genauere Betrachtungen der Gebrauchstauglichkeit mit den Einwirkungen auf die Gründungsbau- teile durchzuführen.
- Für die Erstellung der Tiefenfundation ist ein tragfähiges Arbeitsplanum zu gewährleisten, dessen Mächtigkeit von den eingesetzten Maschinen abhängig ist und deshalb vorgängig mit dem ausführenden Unternehmer abgeklärt werden sollte.
- Mit **Bohr- und Rammhindernissen und -erschwernissen** gemäss Beschrieb in Kap. 10.1 muss gerechnet werden. Ebenso ist ein Mehrverbrauch des Betons von über 20% gegenüber dem theoretischen Verbrauch infolge der tw. hohen Nutzporositäten und des seitlichen Verlaufs während des Rückzugs der Verrohrung in den sandigen Zwischenschichten oder in offenen Klüften der Verwitterungszone des Felsen möglich. Bei Bohrarbeiten ist das dauernde Nachfüllen der Bohrröhre mit Wasser, genügend tiefes Vorpressen der Verrohrung, Betonieren nur mit Schüttrohr, Unterwasserbeton usw. zu berücksichtigen (Kap. 10.1). In der Verwitterungszone des Felsen ist mit Kluftwasservorkommen zu rechnen.
- In Anbetracht der heterogenen Lockergesteine und der schichtweise variablen Lagerungsverhältnisse sind die Pfählungsarbeiten permanent zu protokollieren, um bei Abweichungen allenfalls sofort reagieren zu können. Zur Qualitätssicherung der erstellten Pfähle sind mindestens dynamischen Pfahltragprüfungen (Pfähle ohne Einbindung in Felsen) sowie Integritätsprüfung durchzuführen.

10.2.4.2 Bohrpfähle

- Für die Abschätzung der Pfahldimensionen können bei Bohrpfählen zulässige Mantelreibungs- und Spitzenwiderstandswerte gemäss Tab. 11 angenommen werden.
- Die untere Bandbreite der zulässigen Mantelreibungs- und Spitzenwiderstandswerte ist massgebend für grosskalibrige ($\varnothing > 0.9$ m) Bohrpfähle.
- Die zulässigen Mantelreibungs- und Spitzenwiderständen im Felsen sind stark abhängig von der Gesteinsart, vom Trennflächengefüge, der Gesteinsfestigkeit und vom Verwitterungsgrad. Für verrohrte Mikrobohrpfähle mit unter hohem Druck injiziertem Schaft können die oben angegebenen Mantelreibungswerte im Bereich der Lockergesteine ungefähr um 50% erhöht werden.
- Bei der Anwendung der angegebenen äusseren Pfahltragwiderstandswerte (Tab. 11) sind Pfahlsetzungen im wenig verwitterten Felsen von bis wenigen Millimetern zu erwarten. Besondere Bedeutung verdienen die prognostizierten Spitzenwiderstandswerte, die nur bei sorgfältiger Pfahlherstellung und bei einer genügenden Einbindung in die tragfähigen Lockergesteine oder den Felsen erzielt werden.

Dimensionierungsgrosse	Tiefenbereich ab Geländeoberkante	Gebrauchslasten unter 1.0-facher Sicherheit [kN/m ²]	Charakteristischer, äusserer Tragwiderstand $R_{a,k}$ *) [kN/m ²]
Mantelreibung	Flussablagerungen (locker bis mitteldicht)	ca. 20 bis 30	ca. 50 bis 80
	Flussablagerungen (mitteldicht bis sehr dicht)	ca. 30 bis 50	ca. 80 bis 130
	Moränenablagerungen oder zersetzter Felsen (R0)	ca. 45 bis 60	ca. 115 bis 155
	Stark bis mässig entfestigter Felsen (R1/R2)	ca. 70 bis 80	ca. 180 bis 210
Spitzenwiderstand	Flussablagerungen oder Moränenablagerungen (dicht bis sehr dicht) oder zersetzter Felsen (R0)	ca. 2'000 bis 2'200**)	ca. 5'200 bis 5'700
	Stark bis mässig entfestigte Felsen (R1/R2)	ca. 3'500 bis 3'800 ***)	ca. 9'100 bis 9'900

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

**) Gilt für genügende Einbindung in mindestens dicht bis sehr dicht gelagerte Fluss- oder Moränenablagerungen.

***) Bei frischem Sandsteinfelsen sind bei genügender Einbindung des Pfahlfusses Spitzenwiderständen bis 10'000 kN/m² möglich.

Tab. 11 Zulässige Mantelreibungs- und Spitzenwiderstandswerte für die Abschätzung der äusseren Pfahltragwiderstände für Bohrpfähle.

10.3 BAUGRUBENABSCHLUSS

10.3.1 Allgemeine Hinweise

- Für Neubauten mit mindestens einem Untergeschoss und mit Baugrubensohlen oberhalb der mittleren Grundwasseroberfläche werden gemäss unserem Kenntnisstand zwischen ca. 4 m und 5½ m tiefe Baugrubenabschlüsse erforderlich. Bei hohen Grundwasserständen ist jedoch generell ein Ansteigen der Grundwasseroberfläche bis über die Aushubsohlen zu erwarten, was bei einer offenen Baugrube zu erheblichen Wasserhaltungsaufwendungen (inkl. Druckentspannung zur Erzielung einer genügenden Sicherheit gegenüber Sohlaufbruch bei Aushubsohlen innerhalb der Überschwemmungs- und Teichablagerungen) führen kann (Kap. 6.3.1).
- Gemäss VERORDNUNG ÜBER DIE SICHERHEIT UND DEN GESUNDHEITSSCHUTZ DER ARBEITNEHMERINNEN UND ARBEITER BEI BAUARBEITEN (2022), 5. Kapitel (Gräben, Schächten, Baugruben) von der SUVA, ist *bei Böschungshöhen von mehr als 4 m ein Sicherheitsnachweis zu erbringen*. Das genaue Ausmass der Sicherungsmassnahmen ist entsprechend durch Stabilitätsnachweise und Berechnungen durch den Ingenieur zu bestimmen.
- Bei genügenden Platzverhältnissen oder für Voraushübe sind freie Böschungen mit evtl. Sickerbetonverstärkungen (Kap. 10.3.2) zu prüfen. Bei steileren Böschungsneigungen infolge beengter Verhältnisse wären ungesicherte Aushübe nur unter Inkaufnahme erhöhter Risiken von Geländebrüchen ausführbar. Als vertikale Baugrubenabschlüsse stehen vorgebohrte, rückverankerte oder abgespriessten Spund- oder Rühlwände (Kap. 10.3.3) im Vordergrund.
- Im Bereich der Oberkante von Böschungen sind Zusatzlasten (Materiallager, Kran usw.) zu unterlassen oder in einem genügenden Abstand (> 3 m) von der Böschungsoberkante anzuordnen. Anderenfalls sind entsprechende Massnahmen zur Verbesserung der Böschungsstabilität vorzusehen.
- Die geotechnischen Erschwernisse gemäss Kap. 10.1 sind bei der Planung angemessen zu berücksichtigen und einzurechnen.
- Das günstigste Baugrubensystem ist durch Kostenvergleiche zu ermitteln. *Wir empfehlen, das Konzept des Baugrubenabschlusses in Diskussion mit dem Ingenieur, allenfalls unter Beizug des Geotechnikers und nach Aufzeigen der Risiken von Setzungen oder unerwünschter Beeinflussung der bestehenden Strassen, Werkleitungen und Gebäude in der Umgebung zu bestimmen.*

10.3.2 Freie Böschungen mit tw. Sickerbetonverstärkungen

Lediglich bei ausreichenden Platzverhältnissen sind temporäre, freie Böschungen möglich. Bei der Ausführung von freien Böschungen sind folgende Massnahmen vorzusehen:

- Die Neigung der Böschungen ist nicht steiler als 1:1 auszubilden.
- Bei Böschungshöhen von mehr als 3½ bis 4 m ist zur Entlastung eine mind. 1 m breite Berme auszuheben.
- Im Bereich von Wasseraustritten (z.B. Sickerwasser oder schwebende Grundwasservorkommen) sind die Böschungen z.B. mit einem massiven Sickerbetonriegel zu sichern. Dadurch lassen sich Ausschwemmungen verhindern, die schnell zu Böschungsbrüchen führen. Das zufließende Sickerwasser ist mit Sickerleitungen zu fassen und abzuleiten.
- Bei durchgehender Sicherung mit Sickerbeton können auch steilere Neigungen ausgeführt werden. Die Wirkungsweise einer Sickerbetonmauer entspricht derjenigen einer Schwergewichtsmauer, womit für deren Bemessung die entsprechenden Kriterien (Kippen, Gleiten, globale Sicherheit) zu berücksichtigen sind. Zudem ist die Sickerbetonmauer mindestens 0.5 m unter die Baugrubensohle einzubinden, damit ein basales Abscheren verhindert wird. Die Sickerbetonmauer ist in horizontalen, evtl. alternierenden Etappen von max. 5 m auszuführen. Die Etappenlänge ist je nach Standfestigkeit der anstehenden Lockergesteine sowie entsprechend den hydrogeologischen Verhältnisse anzupassen (im Bereich von Wassereintritten kürzere Etappen von < 2 m). Die Aushübe sind gleichentags mit Sickerbeton wieder zu sichern.

10.3.3 Spundwand

- Zur Minimierung der Aufwändungen der Wasserhaltungsmassnahmen, die bei allfälligen Vertiefungen oder bei hohen Grundwasserständen zu erwarten sind, steht ein dichter, temporärer Baugrubenabschluss im Vordergrund. Zu beachten sind diesbezüglich die Erschwernisse / Risiken gemäss Kap. 10.1.
- Bei einem dichten Baugrubenabschluss mittels einer Spundwand müsste ein durchgehendes Einbinden der Spundbohlen in gering durchlässigen Moränenablagerungen gewährleistet sein, was tw. lediglich mittels Vorbohrungen möglich wäre. Um die nicht auszuschliessenden Umläufigkeiten im Bereich des Spundwandfusses zu verhindern, ist die Ausführung von allenfalls bereichsweise Fussinjektionen einzurechnen.
- Das Einbringen der Spundbohlen ist mit Lärm- und Erschütterungsimmissionen verbunden, dabei sind - *insbesondere beim Ziehen der Spundbohlen* - im Nahbereich des Baugrubenabschlusses (mindestens eine Spundwandlänge!) Setzungen von bis zu mehreren Zentimetern nicht auszuschliessen, die zu erhöhten Risiken von Schäden an bestehenden oder eigenen, flachfundierten Infrastrukturbauten führen, die bei der Planung gebührend zu berücksichtigen sind. Gegebenenfalls ist das Projekt bezüglich dieser Fragestellung detaillierter durch die Fachleute zu beurteilen.
- Um mögliche Setzungen zu minimieren, sind die Intensität und Dauer der Erschütterungen beim Einbringen und vor allem beim Rückzug der Spundbohlen möglichst gering zu halten. Eine *Reduktion der Risiken* der zu erwartenden Setzungen liesse sich durch

Vorbohren, örtlich verloren eingebrachte Spundwände oder durch eine überschnittene Bohrpfahlwand (Kap. 10.3.4) erreichen.

- Der Vorteil einer temporären Spundwand besteht darin, dass sie nach Abschluss der Tiefbauarbeiten rückgezogen wird und sie so selbst kein permanentes hydrogeologisches und damit auch kein bewilligungstechnisches Hindernis mehr darstellt (hydrogeologische Bewilligungsfähigkeit, vgl. Kap. 6.2).

10.3.4 Rühlwand / Bohrpfahlwand

- In Bereichen mit beengten Platzverhältnissen ist auch eine verankerte oder abgespriesste Rühlwand (Vorbohrungen einrechnen) oder Bohrpfahlwand zu prüfen. Zu beachten sind diesbezüglich die Erschwernisse / Risiken gemäss Kap. 10.1.
- Die vertikale Aushubetappe zwischen Rühlwandträgern für die Erstellung der **Ausfachung** richtet sich nach dem Trägerabstand und der Standfestigkeit der Lockergesteine. Unter der Voraussetzung eines Pfahlabstandes von max. 2 m und trockenen Verhältnissen erachten wir vertikale Etappen von ca. 1.0 bis 2.0 m als möglich. Bei Wasserzutritten sind die vertikalen Abstände unter Umständen zu verringern. Bei der Ausfachung zwischen den Trägern wird je nach Baugrubenhöhe eine Lösung mit Sickerbeton, Holzbohlen, Spritzbeton oder Ortsbeton im Vordergrund stehen. Die Ausfachung ist bis unter die Baugrubensohle zu erstellen, um ein Untersickern der Wand bei hohen Grundwasserständen und kurzfristig unzureichender Wasserhaltung zu verringern, die zu Ausschwemmungen und unerwünschten Hohlraumbildungen führen könnte.
- Insbesondere bei einer allfälligen überschnittenen Bohrpfahlwand würde eine bleibende Beeinträchtigung der Grundwasserverhältnisse verursachen, so dass mit aufwendigsten **Kompensationsmassnahmen** mit (z.B. tiefe Gräben mit Sickerkies, Perforation Bohrpfahlwand mit Spundwandfenstern, Unterdükerung, usw.) zu rechnen wäre. In jedem Fall empfehlen wir, die gewässerschutzrechtliche Bewilligungsfähigkeit rechtzeitig abzuklären (Kap. 6.2, Kap. 6.3.2).

10.3.5 Abspriessungen / Anker

- Abspriessungen der Baugrubenabschlüsse richten sich nach den zu akzeptierenden Deformationen der Umgebung (Kap. 10.1).
- Bei der Anwendung von allfälligen temporären, vorgespannten Ankern empfehlen wir, die Ankerkräfte durch vorgängige Versuchsanker zu bestimmen. Für eine Vordimensionierung der vorgespannten Ankern ist innerhalb der Flussablagerungen von ca. $R_{a,k} = 400$ bis 800 kN je nach Tiefe des Verankerungskörpers unter der Geländeoberkante sowie der Zusammensetzung der Lockergesteinen und einer Verankerungslänge von mind. 8 m ausgegangen werden.

- Die genauen Ankerkräfte empfehlen wir durch vorgängige Ankerversuche festzulegen. Zur Überwachung der Ankerkräfte ist eine genügende Anzahl Kontroll- oder Messanker einzubauen.
- Die Anker werden voraussichtlich bis in benachbarte Parzellen hineinreichen, wofür eine Bewilligung der Grundstücksnachbarn für das Versetzen der Anker in ihrem Grundstück erforderlich wäre. Gemäss aktueller Rechtsprechung muss ein Grundstücksnachbar die für die Baugrubensicherheit notwendigen Anker zumindest temporär auf seinem Grundstück dulden, üblicherweise bei angemessener Entschädigung.
- Reichen Anker bis in benachbarte Grundstücke, sind nebst dem Einholen einer Bewilligung (Ankerrechte) auch sämtliche bestehende, unterirdische Einbauten, wie u.a. Untergeschosse, Werkleitungen oder auch Erdwärmesonden als Hindernisse und/oder Erschwernisse zu beachten. Bedeutsam ist, dass deren effektive Lage von Ausführungsplänen abweichen können.
- Verankerungen unter bestehenden Gebäuden weisen erhöhte Risiken von Setzungen oder Hebungen auf, so dass die Verankerungskörper genügend tief unter der bestehenden Geländeoberkante vorgesehen werden sollten. *Eine risikoärmere Methode stellt eine gespriesste Lösung dar.*
- Erschwernisse gemäss Kap. 10.1 sind einzurechnen.

10.3.6 Wasserhaltung

- Die erforderlichen Wasserhaltungsmassnahmen werden sich vorwiegend nach der Baugrubentiefe, Dichtigkeit des Baugrubenabschlusses und der Lage der Grundwasseroberfläche richten. Bei Baugrubensohlen oberhalb der aktuellen Grundwasseroberfläche wird eine Wasserhaltung mit Entwässerungsgräben und genügende leistungsfähigen Pumpensümpfen machbar sein. Bei grösseren Grundwasserabsenkungen ist eine rasche Zunahme der Aufwendungen zu erwarten. Bei einer nicht bis in den Stauer abgedichteten Baugrube ist je nach Grösse der Teilbaugrube bereits bei einer Absenkung der Grundwasseroberfläche von wenigen Dezimetern mit erheblichen Pumpwassermengen von bis mehreren 10'000 l/min. zu rechnen.
- Zu beachten sind die in seltenen Fällen bereichsweise bis an die heutige Geländeoberkante ansteigende Grundwasserdruckfläche (Kap. 6.3.1).
- 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). Die Einleitbedingungen in Meteor- oder Abwasserleitungen gemäss der Gewässerschutzverordnung (GSchV) sind einzuhalten.

10.4 ALLGEMEINE HINWEISE ZU DEN ERDARBEITEN

- Der natürliche Baugrund kann bis auf die vorgesehene Aushubtiefe als mehrheitlich gut baggerfähig bezeichnet werden. Erschwernisse gemäss Kap. 6.3.1 und Kap. 10.1 sind einzurechnen, was zu entsprechenden Mehrkosten beim Aushub führen kann.
- Mit den im Baugrubenbereich vorhandenen künstlichen Auffüllungen ist gemäss den Angaben in Kap. 5 zu verfahren.
- Die feinkörnigen Überschwemmungs- oder Teichablagerungen sind für Hinterfüllungen oder allfällige Geländeschüttungen nicht geeignet. Als Planum für weitere Bauarbeiten sowie als Schutz vor Witterungseinflüssen sind die Aushubsohlen mit einer Sauberkeitsschicht aus Magerbeton abzudecken. Die Aushubsohlen werden nur bei guter Entwässerung befahrbar sein.
- Eine Wiederverwendung der anfallenden Flussablagerungen als Hinterfüllung oder für Geländeanschüttungen kann nur unter Inkaufnahme von Eigensetzungen vorgesehen werden.
- Allfällige stark siltige Sande oder Silt sind bereits beim Aushub zu separieren und sind mit kiesig-sandigem, eckigem Lockergestein zu durchmischen. Es gilt zu beachten, dass sich stark siltiges oder angerundetes Lockergestein nur erschwert und unter optimalem Wassergehalt ausreichend verdichten lässt.
- Wir empfehlen, die Eignung vorhandener oder zugeführter Lockergesteine für die Hinterfüllung je nach *Anforderungen an* die Verdichtung und *Durchlässigkeit* (im Zusammenhang mit Kompensationsmassnahmen) durch die Bauleitung vorgängig zu prüfen und freizugeben. Für die zu erwartenden Kompensationsmassnahme für die Gewährleistung des Grundwasserdurchflusses sind entsprechende, durchlässige Kies-Sand-Gemische der Baustelle zuzuführen.

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 Lockergesteinsschichten zusammen, die meist nur eine geringe Sickerfähigkeit besitzen. Darin sind nur lokal Bachrinnen, die in der Regel begrenzt versickerungsfähig sind.
- Die gut durchlässigen Flussablagerungen stehen erst unterhalb ca. 1 bis 1½ m an, weshalb eine Versickerung an einigen Standorten nur mit aufwendigeren Zusatzmassnahmen möglich ist. Bei einer Lösung mit unterirdischen Sickerschächten und -strängen

(Typ K) kann das Wasser direkt in die kiesig-sandigen Flussablagerungen eingeleitet werden, und es lassen sich somit grössere Versickerungsleistungen erreichen. In Anlagen mit unterirdischer, direkter Versickerung in Versickerungsschächten und -galerien darf jedoch **nur gering belastetes Wasser von Dachflächen aus inerten Materialien, Gründächern sowie Reinwasser** eingeleitet werden (KANTON LUZERN, UWE, 2020).

- Bei der Dimensionierung von Versickerungsmulden muss die relativ geringe Versickerungsleistung des Humusfilters von ca. $1.5 \text{ l/min} \cdot \text{m}^2$ eingesetzt werden. Unterhalb der Sohle von Versickerungsanlagen ist mit einem lokalen Materialersatz aus gut durchlässigem Kiessand (Kiessäulen) zu rechnen, damit das durch den Humus gesickerte Wasser sicher in die tieferen besser durchlässigen Lockergesteinsschichten gelangen kann.
- Die Sohle einer Versickerungsanlage muss mindestens 1 m über dem massgebenden 5 bis 10-jährlichen Grundwasserhochstand liegen (Tab. 7).
- Aufgrund der gut durchlässigen Flussablagerungen sollte eine Versickerung prinzipiell möglich sein. Es kann jedoch keine Aussage über die Aufnahmekapazität der Lockergesteine gemacht werden. Sind die besser durchlässigen Kiessand-Schichten von schlecht durchlässigem Lockergestein umgeben, so ist das Aufnahmevermögen begrenzt, so dass allenfalls die spezifische Versickerungsleistung durch Versickerungsversuche zu prüfen ist.
- Um diesbezüglich Angaben erhalten zu können, wären länger andauernde Versickerungsversuche im Bereich von geplanten Versickerungsstandorten erforderlich.
- Wird eine Versickerung aus Platzgründen nicht möglich sein, muss als Alternative zu einer Versickerung des Dachwassers die Möglichkeit geprüft werden, das anfallende Meteorwasser in die Kanalisation einzuleiten. Eine verzögerte Einleitung, d.h. ein Zwischenspeichern des Dachwassers mit Hilfe eines Rückhaltebeckens und eine gedroselte Abgabe nach dem Regenereignis, sollte dabei vorgesehen werden. Ein solcher Zwischenspeicher wird in Form einer Kiespackung (Kieskörper), als Teich mit Biotop oder als Speicherleitung möglich sein. Detaillierte Angaben sind in der Richtlinie Regenwasserentsorgung (VSA, 2019) zu entnehmen.

12 EMPFEHLUNGEN FÜR ALLFÄLLIGE ERGÄNZENDE, OBJEKT-SPEZIFISCHE BAUGRUNDSONDIERUNGEN

- Die beschriebenen geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse basieren auf den neuen sowie vorhandenen Baugrundsondierungen in der Umgebung des Projektperimeters sowie auf unseren allgemeinen geologischen Kenntnissen. Je nach Fragestellungen und Ansprüchen der Fachplaner sind für spätere Projektphasen allfällige, ergänzenden, stufengerechte, objektspezifische Baugrundsondierungen durchzuführen. Diese sind in Absprache mit dem Bauingenieur unter Berücksichtigung der möglichen Risiken bei den Bauverfahren sowie des Kosten / Nutzen-Verhältnisses anzuordnen.

- Für genauere Angaben über den Schwankungsbereich der Grundwasserdruckfläche sind die vorhandenen, mit Drucksonden ausgebauten **Piezometer** weiter über einen möglichst langen Zeitraum und insbesondere während extremer Witterungsverhältnisse kontinuierlich zu messen (Kap. 6).
- Zur genaueren Ermittlung der Grundwasserdruckfläche im südlichen Projektperimeter (WE-E) sind weitere Messstellen z.B. entlang der Fichtenstrasse zu erstellen und in die Überwachung mittels Drucksonden zu integrieren.
- Die akzeptierten Risiken unter Nennung von Ausmass und Kostenfolge in Absprache mit der Bauherrschaft sowie die geotechnischen Risiken und die Massnahmen zur Risikominderung sind in der Nutzungsvereinbarung, bzw. in der Projektbasis festzuhalten (Kap. 10.1). Dazu ist u.a. SIA 260, Ziff. 2.2 und 2.5 zu berücksichtigen.
- In Anlehnung an die SIA 267, Ziff. 6.1.6 und 6.1.8 empfehlen wir eine angemessene Begleitung der Tiefbauarbeiten durch eine Fachperson, um auf allfällige ungünstige Verhältnisse oder lokale Abweichungen unverzüglich und angemessen reagieren zu können.

13 EMPFEHLUNGEN FÜR ÜBERWACHUNG DER UMGEBUNG WÄHREND DER TIEFBAUARBEITEN

- Um mögliche Auswirkungen der Tiefbauarbeiten auf nahe gelegene Bauwerke festhalten zu können, empfehlen wir, in einem Perimeter von min. 25 bis 30 m um das Baugelände vorgängige **vorsorgliche Beweisaufnahmen** (Rissprotokolle, Fotos und Kanalfernsehaufnahmen) durchzuführen. Für kritische Bauwerke im Nahbereich oder Werkleitungen empfehlen wir bereits in einer frühen Projektphase eine saubere vorsorgliche Beweisaufnahme. Falls dabei Risse oder Anzeichen auf Mängel festgestellt werden, sind diese bei der Planung unbedingt angemessen zu berücksichtigen (Kap. 10.1).
- Vor Baubeginn ist bei angrenzenden Bauten (bestehende Gebäude, Weg, Werkleitungen, Strasse etc.) und der Umgebung ein Netz von **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 von geplanten erschütterungserzeugenden Bauverfahren (Einbringen von Spundwänden, Pfählung, Baustellenverkehr usw.) möglichst frühzeitig erkannt und allfällige Massnahmen ergriffen werden können, sind diese Arbeiten bei nachbarschaftlich empfindlichen Verhältnissen mittels **Erschütterungsmessungen** zu überwachen.
- Bei Einbauten im Gewässerschutzbereich A_u sind die Grundwasserverhältnisse mittels einer **Grundwasserüberwachung** in der Umgebung zu kontrollieren. Dazu sind

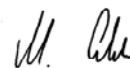
genügend Piezometer im Umkreis zur Baugrube zu messen, um ungerechtfertigte Schadensforderungen abweisen zu können. Der genaue Umfang – auch hinsichtlich bestehender Grundwassernutzungen – wird in der hydrogeologischen Unbedenklichkeitsprüfung beschrieben.

Keller+Lorenz AG

Geotechnik Geologie Hydrogeologie
Naturgefahren Altlasten



Dr. Eric Heerwagen



Markus Ehrler

Sachbearbeitung:

Grafische Auswertungen, Datamining: Dr. E. Heerwagen

Geologie / Naturgefahren: Dr. E. Heerwagen, M. Rickenbacher

Belastungssituation: Dr. E. Heerwagen

Hydrogeologie: E. Wick

Geotechnik: M. Ehrler

Review / Qualitätssicherung: M. Ehrler, Dr. B. Keller

Standorte der Baugrundsondierungen mit Profilinien und Projektumriss

1 : 1'000



Legende:

SB23-4
(EMM23_008)
408.33

EMM102
(Pz4)

Sondierbohrung
mit Höhe der Felsoberfläche in m ü.M.

Grundwasser-Messstelle

—

Profilinie

—

Isohypsen der Grundwasserdruckfläche bei Mittelstand in m ü.M. (Kenntnisstand Januar 2024)

—

Projektperimeter



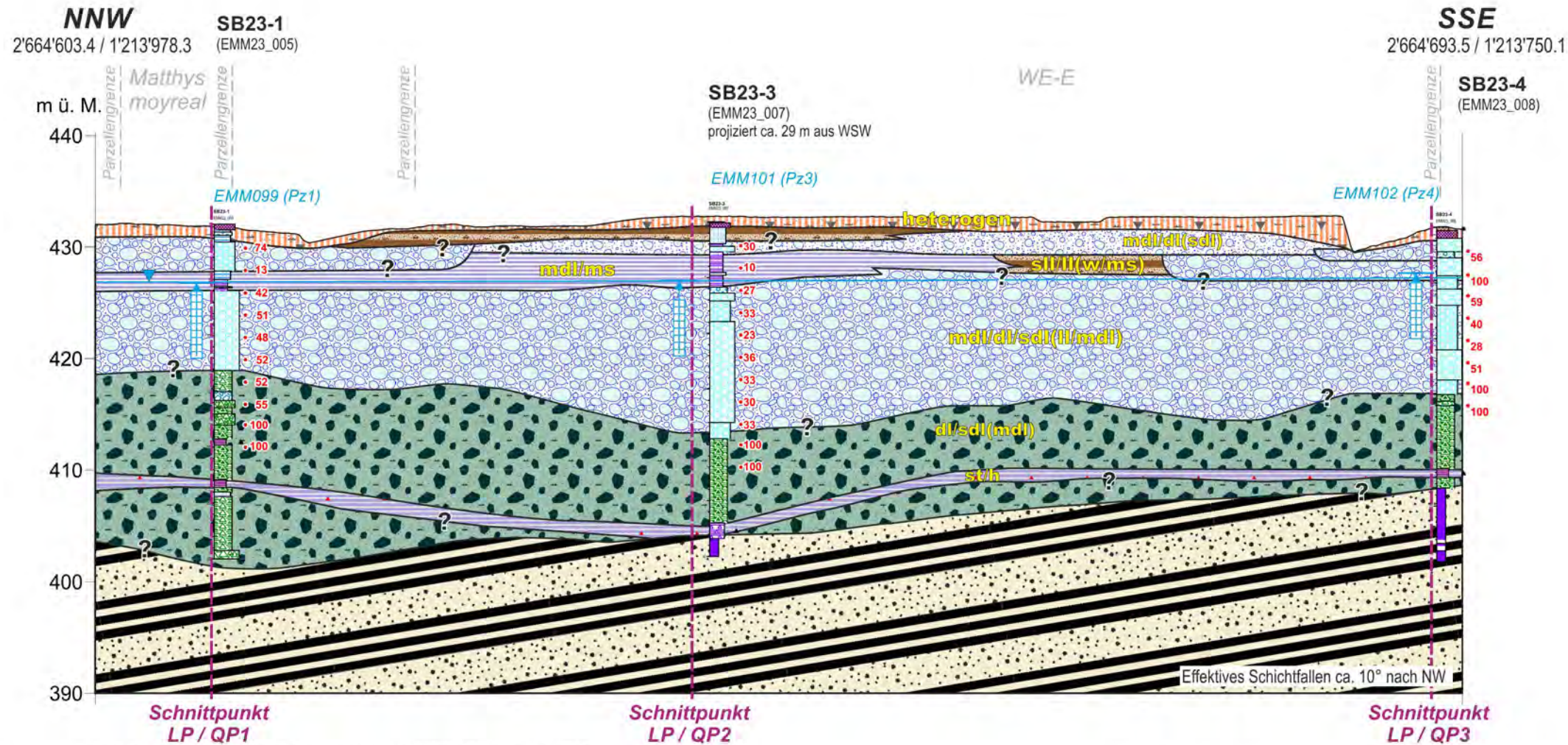
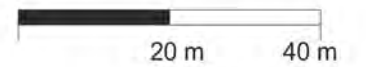
KELLER+LORENZ AG
Geotechnik - Hydrogeologie - Geologie - Naturgefahren - Altlasten

Luzern, 07. Februar 2024 EH/EW/ME/eh/ew
I:\2021\...\6239B_Projekt_Emma_Baugrundsondierungen\6239B_A01_Sit1000.cdr

Anhang 1

Geologisches Längsprofil

1 : 1'000 / 500



Legende:

Lockergestein

- Künstliche Auffüllungen**
Unterschiedlich tonig-siltiger Kies-Sand-Gemische mit variablem Anteil an Steinen und Blöcken sowie evtl. organischen Beimengungen und Fremdstoffen. Heterogene Lagerung.
- Überschwemmungsablagerungen**
Unterschiedlich siltiger Sand bis toniger Silt mit variablem Anteil an Sand, Kies und organischen Beimengungen (evtl. Torf, Schwemholz). Sehr locker bis locker gelagert oder weiche bis mittelsteife Konsistenz.
- Bachrinnen** (begrenzte seitliche Ausdehnung)
Sauberer bis unterschiedlich siltiger Sand mit variablem Anteil an Kies sowie fast sauberem bis leicht siltigem Kies mit Sand und Steinen. Mitteldicht bis dicht, untergeordnet sehr dicht gelagert.
- Flussablagerungen**
Fast sauberer bis leicht siltiger Kies mit variablem Anteil an Sand und Steinen, tw. Sohlenpflaster mit hohen Nutzporositäten und Durchlässigkeiten. Mitteldicht bis dicht, nach unten zunehmend bis sehr dicht gelagert. Zwischenschichten aus fast sauberem bis mässig siltigem Sand mit wenig Kies, evtl. Baumstämme, locker bis mitteldicht gelagert.

- Teichablagerungen**
Wechselagerung aus unterschiedlich siltigem Feinsand und leicht tonigem Silt, meist laminiert. Mitteldicht gelagert bzw. mittelsteif.
- Moränenablagerungen**
Unterschiedlich tonig-siltiger Sand mit variablem Anteil an Kies, Steinen und tw. sehr harten Findlingsblöcken ($\varnothing > 1$ m), zuweilen nestweise angehäuft. Komplex aufgebaut, meist matrixgestützte Diamiktilite, dicht bis sehr dicht, untergeordnet mitteldicht gelagert. Zwischenschichten aus umgelagerten Moränenablagerungen aus unterschiedlich siltigem Sand mit variablem Anteil an Kies, Steinen und Blöcken oder aus späteiszeitliche Seeablagerungen: Heterolithische Wechselagerung aus unterschiedlich tonigem Silt mit variablem Anteil an Feinsand und unterschiedlich siltigem Feinsand mit vereinzelt Kies und Steinen (dropstones), laminiert. Steife bis harte Konsistenz.
- Felsen**
Felsen der Oberen Süswassermolasse (OSM)
Graue Silt- und Schlammsteine mit dünnen Sandstein-Bänken.

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

Hydrogeologie

Grundwasserdruckfläche bei Mittelstand (schematisch)
Insbesondere nach starken und/oder langanhaltenden Niederschlägen ist mit einem Druckspiegel bis wenige Meter unter die heutige Geländeoberkante zu rechnen.

Gemessener Druckspiegel in Filterrohr (24.05.2023)
Filterrohrstrecke in Piezometer

? Unsichere Prognose, bei Bedarf situativ sondieren.

T Verwendete Sondierungen

Lagerungsdichte

sll sehr lockere Lagerung
mdl lockere Lagerung
dl mitteldichte Lagerung
cd dichte Lagerung
sdl sehr dichte Lagerung

Konsistenz

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

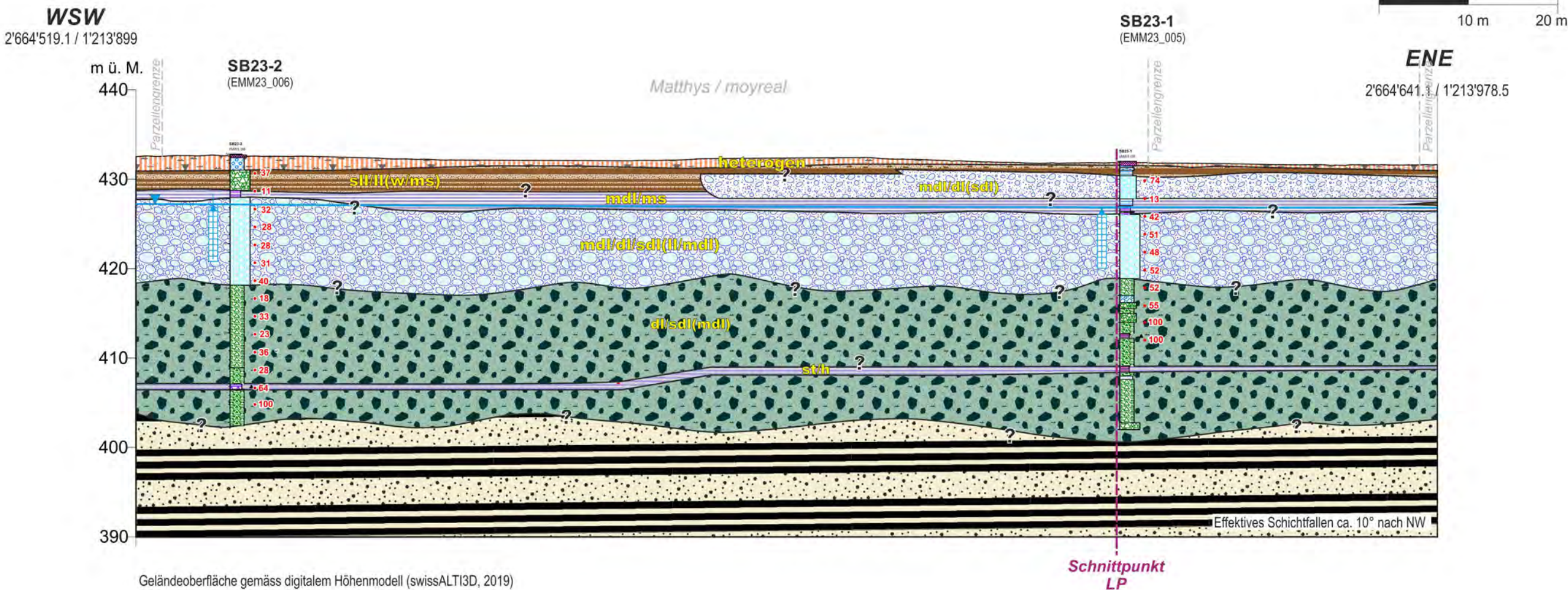
Legende Lockergesteine

SIGNATUR KURZBESCHREIBUNG

- gGc: kongestützter, gerundeter Kies
gGm: matrixgestützter, gerundeter Kies
gSCc: kongestützter Schutt
GS: Kies-Sand
Dm: matrixgestützter Diamiktil
Dc: kongestützter Diamiktil
S: Sand
Ht: laminierte Wechsellagerung Silt/Feinsand
Hb: Wechsellagerung 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

Geologisches Querprofil 1

1 : 500 / 500



Legende:

Lockergestein



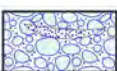
Künstliche Auffüllungen
Unterschiedlich tonig-siltige Kies-Sand-Gemische mit variablem Anteil an Steinen und Blöcken sowie evtl. organischen Beimengungen und Fremdstoffen. Heterogene Lagerung.



Überschwemmungsablagerungen
Unterschiedlich siltiger Sand bis toniger Silt mit variablem Anteil an Sand, Kies und organischen Beimengungen (evtl. Torf, Schwemmholz). Sehr locker bis locker gelagert oder weiche bis mittelsteife Konsistenz.



Bachrinnen (begrenzte seitliche Ausdehnung)
Sauberer bis unterschiedlich siltiger Sand mit variablem Anteil an Kies sowie fast sauberem bis leicht siltigem Kies mit Sand und Steinen. Mitteldicht bis dicht, untergeordnet sehr dicht gelagert.



Flussablagerungen
Fast sauberer bis leicht siltiger Kies mit variablem Anteil an Sand und Steinen, tw. Sohlenpflaster mit hohen Nutzporositäten und Durchlässigkeiten. Mitteldicht bis dicht, nach unten zunehmend bis sehr dicht gelagert. Zwischenschichten aus fast sauberem bis mässig siltigem Sand mit wenig Kies, evtl. Baumstämme, locker bis mitteldicht gelagert.



Teichablagerungen
Wechselagerung aus unterschiedlich siltigem Feinsand und leicht tonigem Silt, meist laminiert. Mitteldicht gelagert bzw. mittelsteif.



Moränenablagerungen
Unterschiedlich tonig-siltiger Sand mit variablem Anteil an Kies, Steinen und tw. sehr harten Findlingsblöcken (Ø > 1 m), zuweilen nestweise angehäuft. Komplex aufgebaut, meist matrixgestützte Diamiktite, dicht bis sehr dicht, untergeordnet mitteldicht gelagert. Zwischenschichten aus umgelagerten Moränenablagerungen aus unterschiedlich siltigem Sand mit variablem Anteil an Kies, Steinen und Blöcken oder aus späteiszeitliche Seeablagerungen: Heterolithische Wechselagerung aus unterschiedlich tonigem Silt mit variablem Anteil an Feinsand und unterschiedlich siltigem Feinsand mit vereinzelt Kies und Steinen (dropstones), laminiert. Steife bis harte Konsistenz.

Felsen



Felsen der Oberen Süsswassermolasse (OSM)
Graue Silt- und Schlammsteine mit dünnen Sandstein-Bänken.

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

Hydrogeologie



Grundwasserdruckfläche bei Mittelstand (schematisch)
Insbesondere nach starken und/oder langanhaltenden Niederschlägen ist mit einem Druckspiegel bis wenige Meter unter die heutige Geländeoberkante zu rechnen.



Gemessener Druckspiegel in Filterrohr (24.05.2023)
Filterrohrstrecke in Piezometer



Unsichere Prognose, bei Bedarf situativ sondieren.



Verwendete Sondierungen

Lagerungsdichte

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

Konsistenz

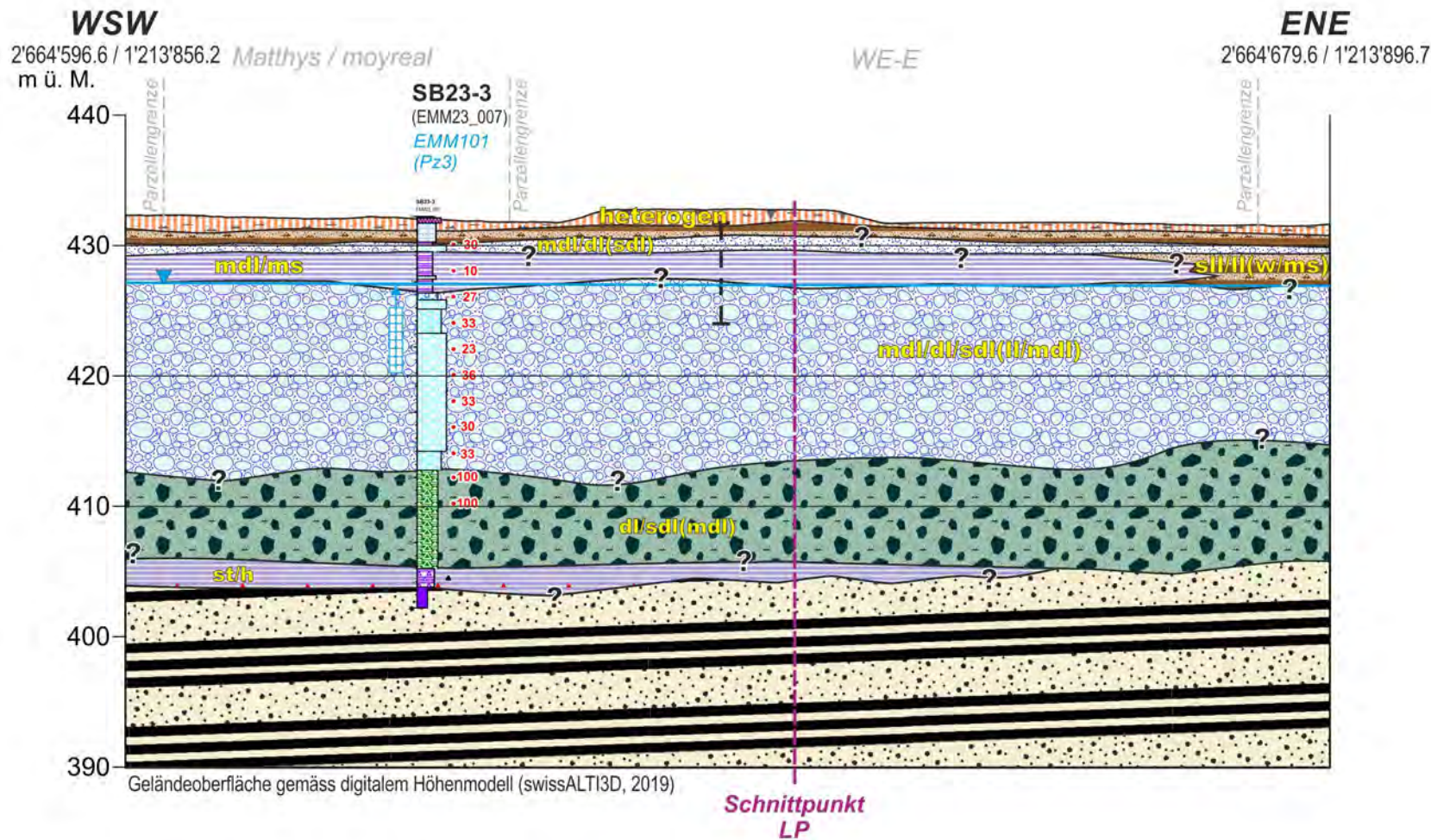
sw sehr weich
w/ms weich / mittelsteif
st steif
sh hart
sh sehr hart

Legende Lockergesteine

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

Geologisches Querprofil 2

1 : 500 / 500



Legende:

Lockergestein

- Künstliche Auffüllungen**
Unterschiedlich tonig-siltige Kies-Sand-Gemische mit variablem Anteil an Steinen und Blöcken sowie evtl. organischen Beimengungen und Fremdstoffen. Heterogene Lagerung.
- Überschwemmungsablagerungen**
Unterschiedlich siltiger Sand bis toniger Silt mit variablem Anteil an Sand, Kies und organischen Beimengungen (evtl. Torf, Schwemmholtz). Sehr locker bis locker gelagert oder weiche bis mittelsteife Konsistenz.
- Bachrinnen** (begrenzte seitliche Ausdehnung)
Sauberer bis unterschiedlich siltiger Sand mit variablem Anteil an Kies sowie fast sauberem bis leicht siltigem Kies mit Sand und Steinen. Mitteldicht bis dicht, untergeordnet sehr dicht gelagert.
- Flussablagerungen**
Fast sauberer bis leicht siltiger Kies mit variablem Anteil an Sand und Steinen, tw. Sohlenpflaster mit hohen Nutzporositäten und Durchlässigkeiten. Mitteldicht bis dicht, nach unten zunehmend bis sehr dicht gelagert. Zwischenschichten aus fast sauberem bis mässig siltigem Sand mit wenig Kies, evtl. Baumstämme, locker bis mitteldicht gelagert.

- Teichablagerungen**
Wechselagerung aus unterschiedlich siltigem Feinsand und leicht tonigem Silt, meist laminiert. Mitteldicht gelagert bzw. mittelsteif.
- Moränenablagerungen**
Unterschiedlich tonig-siltiger Sand mit variablem Anteil an Kies, Steinen und tw. sehr harten Findlingsblöcken ($\varnothing > 1$ m), zuweilen nestweise angehäuft. Komplex aufgebaut, meist matrixgestützte Diamiktilite, dicht bis sehr dicht, untergeordnet mitteldicht gelagert. Zwischenschichten aus umgelagerten Moränenablagerungen aus unterschiedlich siltigem Sand mit variablem Anteil an Kies, Steinen und Blöcken oder aus späteiszeitliche Seeablagerungen: Heterolithische Wechselagerung aus unterschiedlich tonigem Silt mit variablem Anteil an Feinsand und unterschiedlich siltigem Feinsand mit vereinzelt Kies und Steinen (dropstones), laminiert. Steife bis harte Konsistenz.
- Felsen**
Felsen der Oberen Süsswassermolasse (OSM)
Graue Silt- und Schlammsteine mit dünnen Sandstein-Bänken.
- Ausgehend von der dargestellten mittleren Lage der Oberfläche der Moränenablagerungen und des Felsen ist grundsätzlich mit einer kleinräumigen, kaum prognostizierbaren Reliefamplitude von ca. ± 2 m zu rechnen.

Hydrogeologie

- Grundwasserdruckfläche bei Mittelstand (schematisch)**
Insbesondere nach starken und/oder langanhaltenden Niederschlägen ist mit einem Druckspiegel bis wenige Meter unter die heutige Geländeoberkante zu rechnen.
- Gemessener Druckspiegel in Filterrohr (24.05.2023)
- Filterrohrstrecke in Piezometer
- Unsichere Prognose, bei Bedarf situativ sondieren.
- Verwendete Sondierungen

Lagerungsdichte

- sl: sehr lockere Lagerung
ml: lockere Lagerung
dl: mitteldichte Lagerung
sdl: dichte Lagerung
sd: sehr dichte Lagerung

Konsistenz

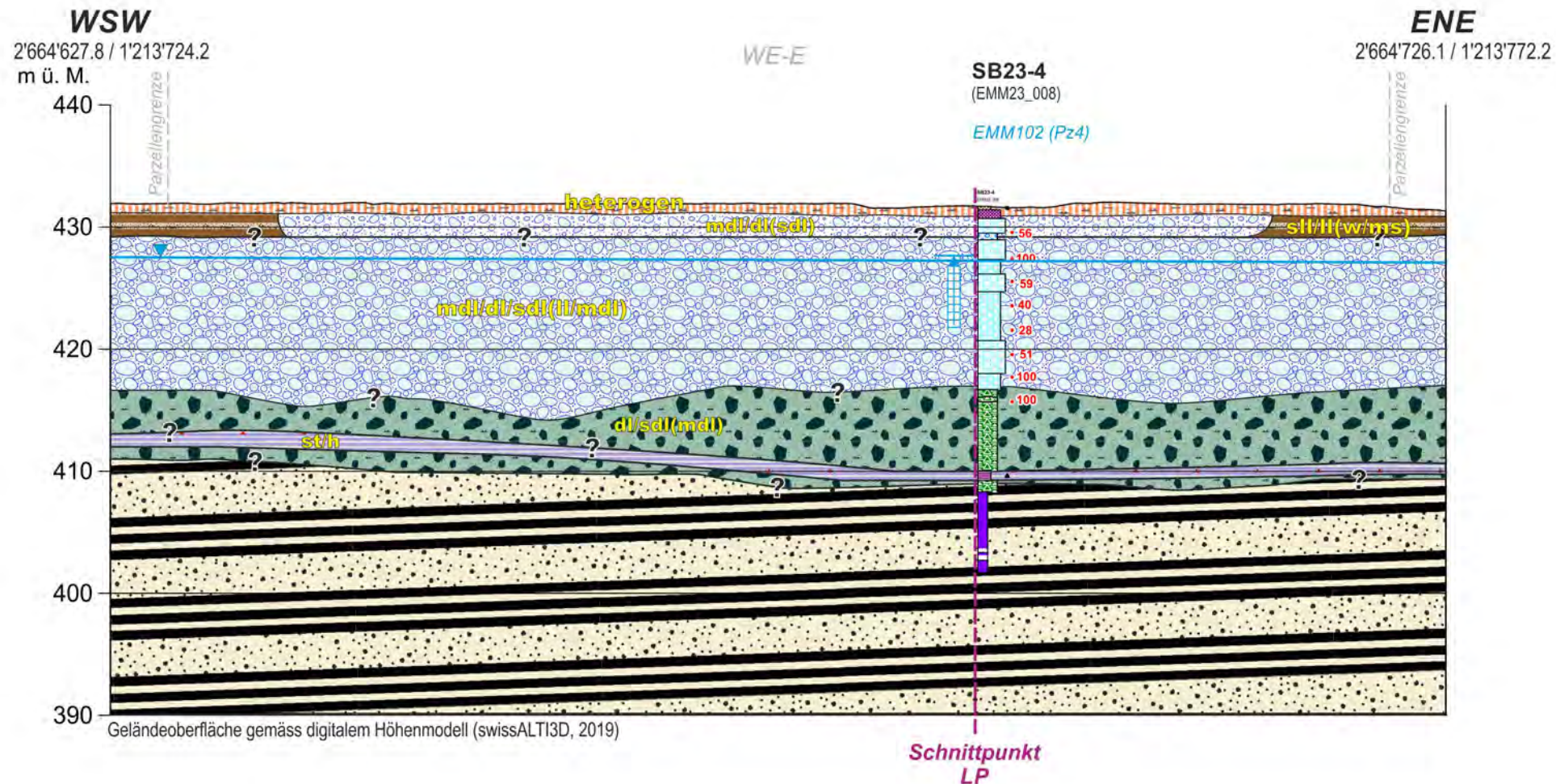
- sw: sehr weich
w/ms: weich / mittelsteif
st: steif
h: hart
sh: sehr hart

Legende Lockergesteine

- SIGNATUR KURZBESCHREIBUNG**
- gGc: kongestützter, gerundeter Kies
 - gGm: matrixgestützter, gerundeter Kies
 - gSc: kongestützter Schutt
 - GS: Kies-Sand
 - Dm: matrixgestützter Diamiktil
 - Dc: kongestützter Diamiktil
 - S: Sand
 - Ht: laminierte Wechsellagerung Silt/Feinsand
 - Hb: Wechsellagerung Silt/Feinsand
 - Fm: massives Feinsediment (toniger Silt, Silt)
 - Fl: laminiertes Feinsediment
 - P: Torf
 - B: Boden
 - C: Steekreide (in Bohrungen nicht vorhanden)
 - BET: Beton
 - ASP: Asphalt-Belag
 - KAUF: Künstliche Auffüllung

Geologisches Querprofil 3

1 : 500 / 500



Legende:

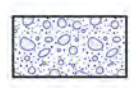
Lockergestein



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



Überschwemmungsablagerungen
Unterschiedlich siltiger Sand bis toniger Silt mit variablem Anteil an Sand, Kies und organischen Beimengungen (evtl. Torf, Schwemholz). Sehr locker bis locker gelagert oder weiche bis mittelsteife Konsistenz.



Bachrinnen (begrenzte seitliche Ausdehnung)
Sauberer bis unterschiedlich siltiger Sand mit variablem Anteil an Kies sowie fast sauberem bis leicht siltigem Kies mit Sand und Steinen. Mitteldicht bis dicht, untergeordnet sehr dicht gelagert.



Flussablagerungen
Fast sauberer bis leicht siltiger Kies mit variablem Anteil an Sand und Steinen, tw. Sohlenpflaster mit hohen Nutzporositäten und Durchlässigkeiten. Mitteldicht bis dicht, nach unten zunehmend bis sehr dicht gelagert. Zwischenschichten aus fast sauberem bis mässig siltigem Sand mit wenig Kies, evtl. Baumstämme, locker bis mitteldicht gelagert.

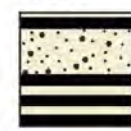


Teichablagerungen
Wechselagerung aus unterschiedlich siltigem Feinsand und leicht tonigem Silt, meist laminiert. Mitteldicht gelagert bzw. mittelsteif.



Moränenablagerungen
Unterschiedlich tonig-siltiger Sand mit variablem Anteil an Kies, Steinen und tw. sehr harten Findlingsblöcken (Ø > 1 m), zuweilen nestweise angehäuft. Komplex aufgebaut, meist matrixgestützte Diamiktilite, dicht bis sehr dicht, untergeordnet mitteldicht gelagert. Zwischenschichten aus umgelagerten Moränenablagerungen aus unterschiedlich siltigem Sand mit variablem Anteil an Kies, Steinen und Blöcken oder aus späteiszeitliche Seeablagerungen: Heterolithische Wechselagerung aus unterschiedlich tonigem Silt mit variablem Anteil an Feinsand und unterschiedlich siltigem Feinsand mit vereinzelt Kies und Steinen (dropstones), laminiert. Steife bis harte Konsistenz.

Felsen



Felsen der Oberen Süswassermolasse (OSM)
Graue Silt- und Schlammsteine mit dünnen Sandstein-Bänken.

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

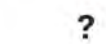
Hydrogeologie



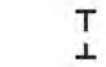
Grundwasserdruckfläche bei Mittelstand (schematisch)
Insbesondere nach starken und/oder langanhaltenden Niederschlägen ist mit einem Druckspiegel bis wenige Meter unter die heutige Geländeoberkante zu rechnen.



Gemessener Druckspiegel in Filterrohr (24.05.2023)
Filterrohrstrecke in Piezometer



Unsichere Prognose, bei Bedarf situativ sondieren.



Verwendete Sondierungen

Lagerungsdichte

sll sehr lockere Lagerung
mdl lockere Lagerung
dl mitteldichte Lagerung
cd dichte Lagerung
sdl sehr dichte Lagerung

Konsistenz

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

Legende Lockergesteine

SIGNATUR KURZBESCHREIBUNG

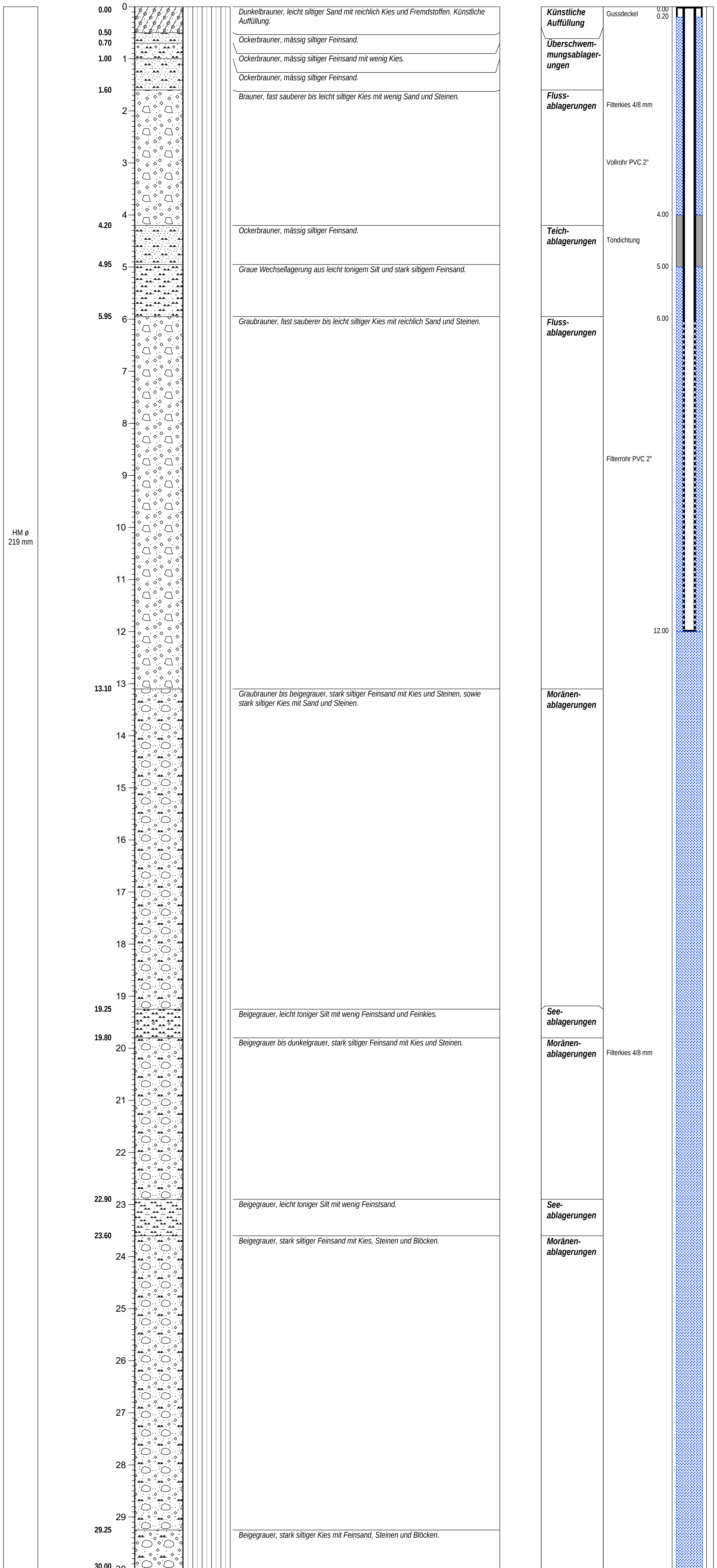
	gGc: korngestützter, gerundeter Kies
	gGm: matrixgestützter, gerundeter Kies
	gSCc: korngestützter Schutt
	GS: Kies-Sand
	Dm: matrixgestützter Diamiktil
	Dc: korngestützter Diamiktil
	S: Sand
	Ht: laminierte Wechselagerung Silt/Feinsand
	Hb: Wechselagerung Silt/Feinsand
	Fm: massives Feinsediment (toniger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

Bauherr: Wohnbaugenossenschaft Emmen
Ingenieur:
Bohrfirma: Johann Bohrtech AG (Rotkreuz)
Dossier: **21 6239.B** File 6239B_SB23-1.dat

Koordinaten: 2°66'610.7 / 1°213'958.9
 Terrainhöhe: 432.03 m ü.M.
 Profilaufnahme: Dr. Eric Heerwagen
 Aufnahmedatum: 24.03.2023



Bohrung Ø [mm]	Versuche Beobachtungen	Teufe [m] ab GOK	Signatur	RQD [%] 0 50 100	Beschreibung des Bohrguts nach USCS Feldmethode (Lagerung Lockergesteine vorwiegend gemäss Bohrprotokoll)	USCS	Geologie	Ausbau der Bohrung
-------------------	---------------------------	---------------------	----------	---------------------	--	------	----------	--------------------



Legende:

-  Standard-Penetrationstest
(Anzahl Schläge pro 15 cm / 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: Wohnbaugenossenschaft Emmen

Ingenieur:

Bohrfirma: Johann Bohrtech AG (Rotkreuz)

Dossier: **21 6239.B** File 6239B SB23-2.dat

Koordinaten: 2'664'527.5 / 1'213'904.5

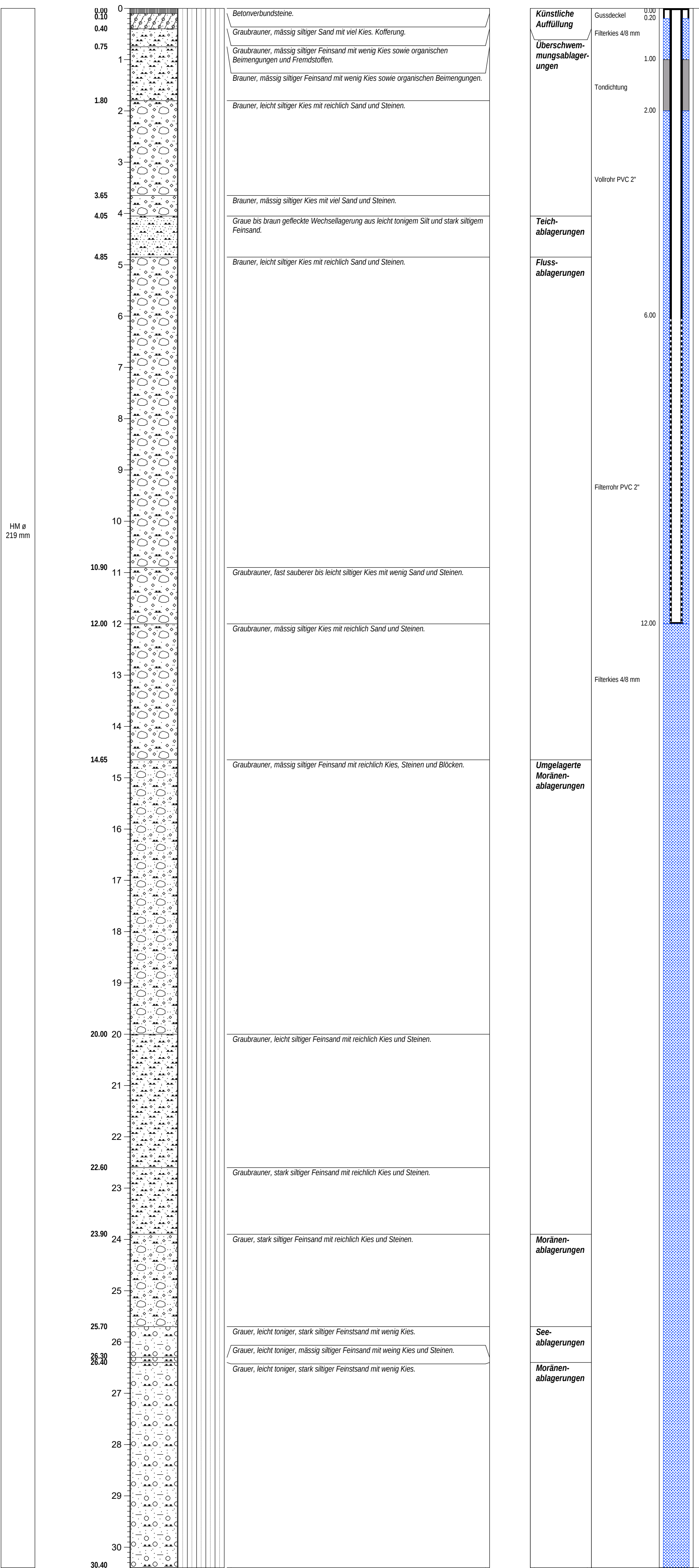
Terrainhöhe: 432.83 m ü.M.

Profilaufnahme: Dr. Eric Heerwagen

Aufnahmedatum: 14.02.2023



Bohrung Ø [mm]	Versuche Beobachtungen	Teufe [m] ab GOK	Signatur	RQD [%] 0 50 100	Beschreibung des Bohrguts nach USCS Feldmethode (Lagerung Lockergesteine vorwiegend gemäss Bohrprotokoll)	USCS	Geologie	Ausbau der Bohrung
-------------------	---------------------------	---------------------	----------	---------------------	--	------	----------	--------------------



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:

- Abstichversuch
- Einfüllversuch
- Steigversuch
- Pumpversuch

Grundwasserspiegel (m):

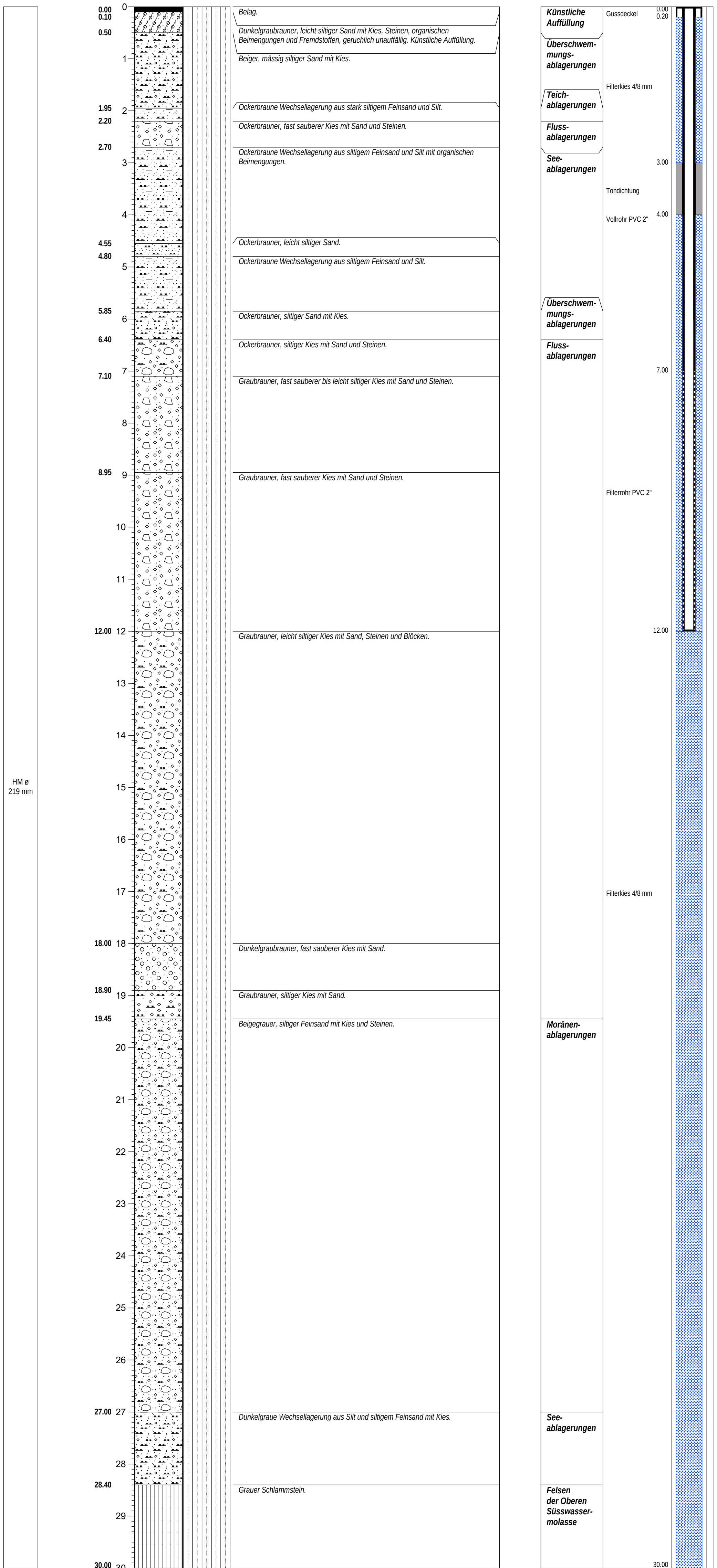
Teufe Abstich

Bauherr: Wohnbaugenossenschaft Emmen
Ingenieur:
Bohrfirma: Johann Bohrtech AG (Rotkreuz)
Dossier: **21 6239.B** File 6239B SB23-3.dat

Koordinaten: 2'664'616.4 / 1'213'865.7
 Terrainhöhe: 432.25 m ü.M.
 Profilaufnahme: Dr. Eric Heerwagen
 Aufnahmedatum: 24.03.2023



Bohrung Ø [mm]	Versuche Beobachtungen	Teufe [m] ab GOK	Signatur	RQD [%] 0 50 100	Beschreibung des Bohrguts nach USCS Feldmethode (Lagerung Lockergesteine vorwiegend gemäss Bohrprotokoll)	USCS	Geologie	Ausbau der Bohrung
-------------------	---------------------------	---------------------	----------	---------------------	--	------	----------	--------------------



Legende:

-  Standard-Penetrationstest
(Anzahl Schläge pro 15 cm / Teufe)
-  ungestörte Bodenprobe
(Teufe der Probenahme)
-  gestörte Bodenprobe
(Teufe der Probenahme)

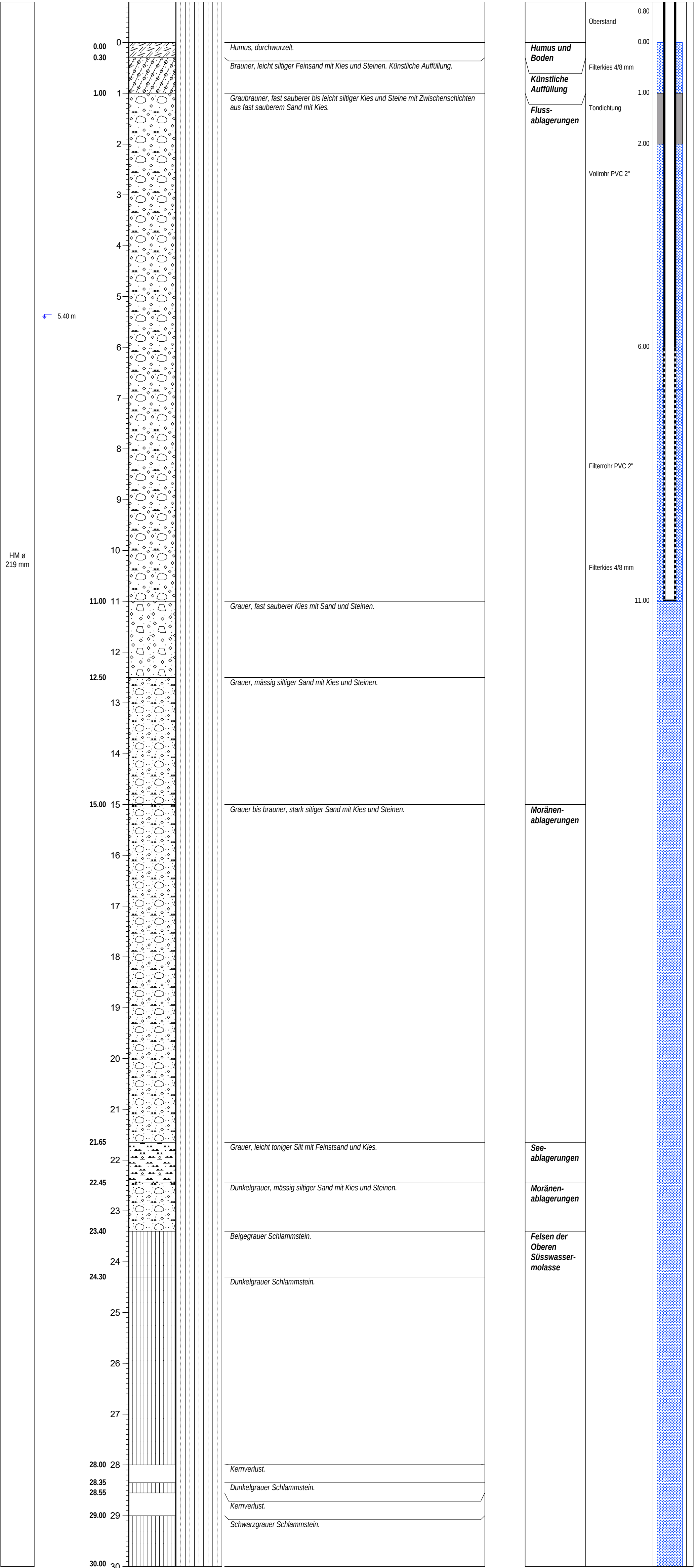
 Grundbruch
 Grundwasserspiegel
 (Datum und Abstieg [m])
 Wassereintritt

Durchlässigkeitsbeiwert [m/s] aus:

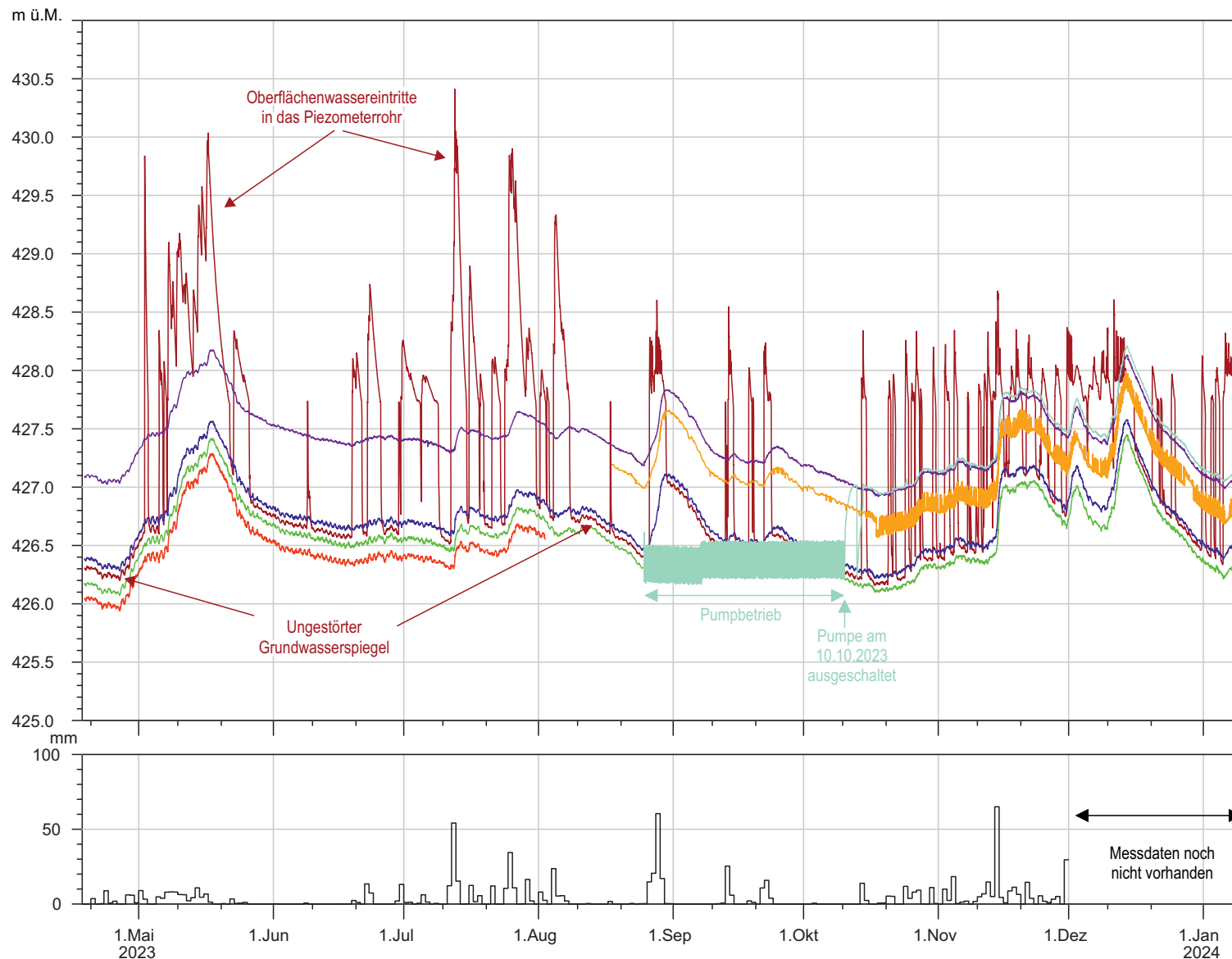
↓ Absenkversuch ⇨ Einfüllversuch

↑ Steigversuch ☑ Pumpversuch

Grundwasserspiegel (m):
 Tiefe Abstich



Grundwasserüberwachung vom 18.04.2023 bis 10.01.2024



Ganglinien des Grundwasserdruckspiegels

Piezometer

- EMM103 (Pumpschacht Meierhöflistr. 17)
- EMM102 (Pz4)
- EMM104 (Entnahmefröhen Eschenring 3)
- EMM100 (Pz2)
- EM689 (Referenzmessstelle Emmen Center)
- EMM101 (Pz3)
- EMM099 (Pz1)

Niederschlag Bermudadreieck (Gemeinde Ebikon) Tagessummen [mm/d]



17.01.2024 EW/ri
I:\...16239B_A04_GWÜ_20240110.cdr

Anhang 4