

Kurzbericht

Projekt	Zukunft Bahnhof Bern (ZBB), Velostation Hirschengraben
Projekt Nr.	31.4906.002
Ort, Datum	Bern, 19. Dezember 2019 rev. 6. Januar 2020

Betrifft **Geologische Archivrecherche**

Verteiler

Simon Mosimann	simon.mosimann@bern.ch	Tiefbauamt der Stadt Bern
Beat Aeschbacher	beat.aeschbacher@ingenta.ch	ingenta ag, Bern

1 Einleitung

1.1 Allgemeines

Auftraggeber und Bauherrschaft	Stadt Bern Direktion für Tiefbau, Verkehr und Stadtgrün Tiefbauamt Bundesgasse 38 3011 Bern
Planer	INGE "M 2016 +" c/o ingenta ag ingenieure + planer eth sia usic Laubeggstrasse 70 Postfach 677 3000 Bern 31
Auftrag	Bereitstellung von Angaben zur Geologie aufgrund bestehender Untersuchungen gemäss unserer Offerte vom 19. November 2019.
Auftragserteilung	Freigabe durch die Bauherrschaft per E-Mail an den Planer vom 9. Dezember 2019.

1.2 Ausgangslage und Zielsetzung

Im Rahmen des Projekts Zukunft Bahnhof Bern soll vom Hirschengraben zum Bahnhof ein Zugang mit einer unterirdischen Passage entstehen. Es bestehen Überlegungen, die Passage gegen Süden mit einer

ebenfalls unterirdischen Veloabstellanlage zu erweitern. Die Passage/Velostation liegt bereichsweise unter den Tramgleisen, diese sind deshalb temporär auf eine Gleishilfsbrücke zu stellen. Für die Projektierung der Passage sowie der Bauhilfsmassnahmen werden von den Planern Angaben zur Geologie benötigt.

1.3 Verwendete Grundlagen

Projektgrundlagen

- [1] INGE "M 2016 +": "ZBB Stadt Bern, Verkehrsmassnahmen Umfeld Bubenberg – Blatt Süd Hirschengraben, Untergeschoss Passage mit Treppenaufgang", Plan Nr. 1804_32_230-1, Massstab 1 : 100 vom 16. August 2019.
- [2] INGE "M 2016 +": "1804 Velostation Hirschengraben, ZBBS Baustein 2, Vorprojekt – Grundrisse und Schnitte", Plan ohne Nr., Massstab 1 : 200 vom 26. Oktober 2018.
- [3] INGE "M 2016 +": "Übersicht Hilfsbrücke und Unterführung ZBB – Situation", Plan ohne Nr., Massstab 1 : 200 vom 9. Dezember 2019.

Dokumente Geologie

- [4] Geotechnisches Institut AG, Bern: "Stadtentwässerung, Öffentliche Brunnen: Abtrennung Abwasser – Widmannbrunnen, Dokumentation Brunnenbohrung und Versickerungsversuch", Bericht GI-Nr. 31.3049.003 vom 8. Januar 2002.
- [5] Geotechnisches Institut AG, Bern: "Schweizerische Mobiliar-Versicherungsgesellschaft, Verwaltungsgebäude Bern – Baugrunduntersuchung", Bericht GI-Nr. 1837A vom 31. August 1981.
- [6] Geotechnisches Institut AG, Bern: "Bebauung Prärie, Bern – Bericht über die Baugrunduntersuchung", Bericht GI-Nr. 495 vom 19. Februar 1969.
- [7] Geotechnisches Institut AG, Bern: "Neubau Maulbeerstrasse 6 – Rammsondierungen", Bericht GI-Nr. 894 vom 14. November 1967.
- [8] Geotechnisches Institut AG, Bern: "Städt. Verwaltungsgebäude, Bern – Bericht über die Baugrund- und Fundationsverhältnisse", Bericht GI-Nr. 496 vom 13. Dezember 1966.
- [9] Dicht AG Unternehmung für Bohrungen und Foundationen, Bern: div. Bohrprofile zum Projekt "Verkehrssanierung Innenstadt" von 1965.
- [10] Stump Bohr AG, Bern: div. Bohrprofile zum Projekt "Westtangente-Tunnel" von 1964.
- [11] Geotechnisches Institut AG, Bern: "Geschäftshaus Bubenberg – Baugrunduntersuchung", Bericht GI-Nr. 64 vom 3. August 1962.

Karten

- [12] Tiefbauamt der Stadt Bern (Bearbeitung: Geotechnisches Institut AG, Bern): "Hydrogeologische Karte der Stadt Bern – Isohypsen des mittleren Grundwasserspiegels" Karte TAB-Nr. 498270-3 / GI-Nr. 31.3838.001, Massstab 1 : 5'000 vom 2. März 2010.
- [13] Stadt Bern, Amtliche Vermessung: Stadtplan und Mülleratlas (1797 - 1798), Stand Dezember 2019.
- [14] Geoportal des Kantons Bern, Stand Dezember 2019:

- Geologische Grundlagedaten;
- Gewässerschutzkarte;
- Grundwasserkarte;
- Kataster der belasteten Standorte;
- Naturgefahrenkarte.

[15] Bundesamt für Umwelt BAFU, Stand Dezember 2019:

- Erdbebenzonen nach der Baunorm SIA 261;
- Karte der seismischen Baugrundklassen nach der Baunorm SIA 261.

2 Baugrund

2.1 Geologischer Überblick

Der Projektstandort ist geprägt durch die Vorgänge während und nach der letzten Vergletscherung sowie die bereits frühzeitigen Bautätigkeiten. Zur Tiefe stellt der tertiäre **Fels der Unteren Süswassermolasse (USM, Schicht e)** die Basis unter den quartären Lockergesteinen dar. Während des Gletschervorstosses wurde eine **Moräne (Schicht d)** abgelagert, die im Bereich des Hirschengrabens wohl nur noch örtlich und in geringfügiger Mächtigkeit vorhanden ist. Darüber wurden nach dem ersten Gletscherückzug innerhalb eines ehemaligen Zungenbeckens Stillwassersedimente abgelagert, welche meist als **Rückstausedimente (Schicht c)** bezeichnet sind. Beim weiteren Rückzug der Vergletscherungen haben die Schmelzwassermengen und infolgedessen auch die Sedimentfrachten zugenommen und es lagerten sich durch frühzeitige Flusssysteme Rückzugsschotter ab, welche **Felderschotter (Schicht b)** genannt werden. Die im Anschluss gebildeten natürlichen Deckschichten wurden grösstenteils entfernt und durch **künstliche Auffüllungen (Schicht a)** ersetzt. Der Projektstandort befindet sich im Bereich des ehemaligen Stadtgrabens ("Hirschengraben", vgl. Abbildung 1), der 1877 aufgeschüttet wurde. Die künstlichen Auffüllungen sind hier entsprechend von grösserer Mächtigkeit als im umliegenden Gebiet.

Das Projektareal ist nach [14] weder in der Naturgefahrenkarte noch im Kataster der belasteten Standorte vermerkt. Die am nächsten liegenden belasteten Standorte befinden sich in Entfernungen von ca. 100 - 200 m zum Hirschengraben. Der Projektstandort liegt gemäss [15] in der Erdbebenzone Z1. Das Gebiet kann bezüglich Erdbebengefährdung der Baugrundklasse C gemäss SIA 261 zugeordnet werden.

Aufgrund des frühen Projektierungsstands wird im Folgenden auf die Angabe von charakteristischen Baugrundkennwerten verzichtet.

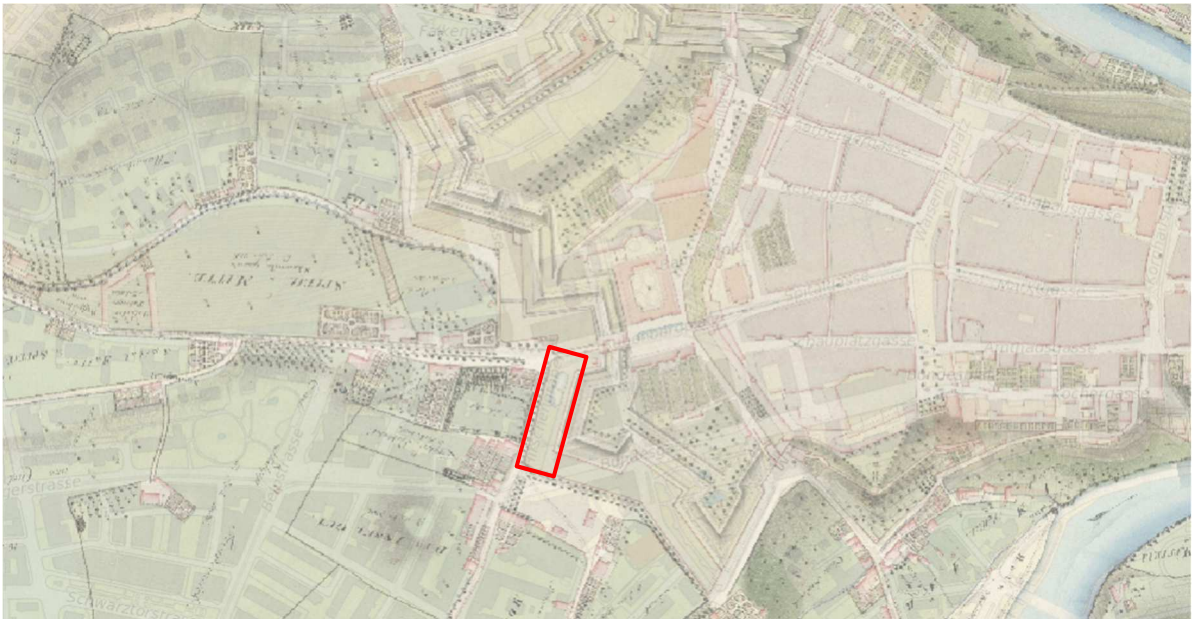


Abbildung 1:
Überlagerung historischer und aktueller Stadtplan inkl. Lage des Projektstandorts

Quelle: [13]

2.2 Schicht a / künstliche Auffüllungen

Zusammensetzung	<p>Verfüllung des Hirschengrabens: Sand, schwach bis stark siltig, schwach kiesig bis kiesig; Kies, sandig bis stark sandig, schwach siltig bis siltig; jeweils mit vereinzelt Steinen; teils mit vereinzelt Ziegelbruchstücken und gegebenenfalls weiteren bodenfremden Beimengungen, rotbraun bis braun.</p> <p>Sonstige künstliche Auffüllungen: Schwarzbelag, Kofferungen aus Kies, sandig, sauber bis siltig; im Nahbereich von Gebäuden allenfalls auch Hinterfüllungen unbekannter Zusammensetzung.</p>
USCS-Klassifikation	SW-SM, SM, GW-GM, GM, (GW)
Mächtigkeit und Verbreitung	<p>Mit den zwei Bohrungen im Bereich des Hirschengrabens mit Mächtigkeiten von 6 - 7 m angetroffen. Ausserhalb des Hirschengrabens beträgt die Mächtigkeit ca. 0.5 - 3.0 m, wobei zu den Gebäuden infolge der Hinterfüllungen auch grössere Mächtigkeiten zu erwarten sind. Die Schichtunterkanten dürften mit grösseren Unregelmässigkeiten der Terrainoberfläche folgen. Über den Verlauf der Schichtgrenzen am Rand des Hirschengrabens liegen keine Kenntnisse vor.</p>
Lagerungsdichte	Verfüllung des Hirschengrabens vermutlich locker bis mitteldicht, Kofferungen mitteldicht bis dicht und sehr dicht.

Geschätzte, mittlere bodenmechanische Kennwerte	γ	=	19.0	–	21.0	kN/m ³
	ϕ'	=	30	–	37	°
	c'	=	0			kN/m ²
	M_E	=	15	–	60	MN/m ²
	M'_E/M_E	=	2.0	–	4.5	
Allgemeine geotechnische Beurteilung	<p>Mässig bis gut tragfähig, mässig bis wenig setzungsempfindlich, zur Aufnahme von konzentrierten Gründungslasten ungeeignet.</p> <p>Vernachlässigbar bis leicht frostempfindlich (G1 bis G2 nach SNV 670 140b). Sandige Lagen wasser- und erschütterungsempfindlich, kiesige Lagen rollig.</p> <p>Gut bagger-, ramm- und bohrbar, mit anthropogenen Hindernissen (Reste früherer Bautätigkeit) ist zu rechnen.</p> <p>Ohne Fremdstoffen zur Wiederverwendung als wenig anspruchsvolles Schüttgut bezüglich Verdichtbarkeit und Sickerfähigkeit geeignet. Verschmutztes, d.h. mit Fremdstoffen durchsetztes Material ist zu beproben und den chemischen Laborresultaten entsprechend zu entsorgen.</p>					

2.3 Schicht b / Felderschotter

Zusammensetzung	Kies, schwach bis stark sandig, sauber bis siltig; untergeordnet auch Sand, kiesig, sauber bis siltig; vermutlich teils mit Steinen, Komponenten kantengerundet bis gerundet, graubraun.					
USCS-Klassifikation	GW, GW-GM, (SW, SW-SM)					
Mächtigkeit und Verbreitung	In den bestehenden Sondierungen nur teilweise und wenn dann in geringer Mächtigkeit (wenige Meter) angetroffen. Die Felderschotter wurden infolge der Bautätigkeit wohl grösstenteils entfernt, beim Hirschengraben dürfte die Schicht deshalb nur noch ganz lokal vorhanden sein (vgl. Längenprofil mit fraglicher Kennzeichnung der Schicht b).					
Lagerungsdichte	Mitteldicht bis dicht und sehr dicht.					
Geschätzte, mittlere bodenmechanische Kennwerte	γ	=	20.5	–	21.5	kN/m ³
	ϕ'	=	34	–	37	°
	c'	=	0			kN/m ²
	M_E	=	50	–	80	MN/m ²
	M'_E/M_E	=	2.0	–	3.0	
Allgemeine geotechnische Beurteilung	<p>Gut bis sehr gut tragfähig, kaum setzungsempfindlich, infolge der geringen Restmächtigkeit zur Aufnahme von Gründungslasten nur sehr bedingt geeignet.</p> <p>Vernachlässigbar bis leicht frostempfindlich (G1 bis G2 nach SNV 670 140b). Rollig.</p>					

Gut bagger- und bohrbar, mässig bis schwer rammbar; mit Zonen hoher Lagerungsdichte sowie dem Vorhandensein von Steinen ist zu rechnen.

Kiesige Lagen zur Wiederverwendung gut geeignet, wobei die geringe Mächtigkeit und sandige Lagen die Separierbarkeit stark erschweren, wodurch die Wiederverwendbarkeit des gesamten Schichtpakets stark limitiert ist.

2.4 Schicht c / Rückstausedimente

Zusammensetzung Sand (v.a. Fein- bis Mittelsand), sauber bis stark siltig, teils schwach tonig; Silt, sandig bis stark sandig, teils schwach tonig bis tonig; Ton, siltig, schwach sandig bis sandig; jeweils teils mit einzelnen Kieskomponenten (Dropstones), beige bis braun und grau.

USCS-Klassifikation SM, SC, ML, CL

Mächtigkeit und Verbreitung Mit allen Bohrungen in Tiefen von ca. 6 - 9 m unter Terrain angetroffen. Die Schichtoberkante liegt im Bereich des Hirschengrabens auf rund 533 - 534 m ü. M. Die Schichtmächtigkeit beträgt am nördlichen Ende des Hirschengrabens bei der Bohrung 599/199.172 (Sondierbohrung B18/64, vgl. Beilage 3) mehr als 20 m und nimmt gegen Süden tendenziell zu. Die Schichtunterkante wurde deshalb in den umliegenden Bohrungen nur selten erreicht.

Lagerungsdichte resp. Konsistenz Mitteldicht bis dicht resp. steif bis hart (vermutlich glazial vorbelastet/überkonsolidiert und infolgedessen in den Bohrprofilen teils als "Moräne-artig" beschrieben).

Geschätzte, mittlere bodenmechanische Kennwerte

γ	=	19.0	-	20.5	kN/m ³
ϕ'	=	25	-	32	°
c'	=	0	-	(10)	kN/m ²
M_E	=	30	-	50	MN/m ²
M'_E/M_E	=	2.0	-	3.0	

Allgemeine geotechnische Beurteilung Gering bis mässig tragfähig, im ungestörten Zustand mässig setzungsempfindlich, zur Aufnahme von konzentrierten Gründungslasten bedingt geeignet.

Mittel bis stark frostempfindlich (G3 bis G4 nach SNV 670 140b).

Sehr stark wasser- und erschütterungsempfindlich.

Gut bagger-, ramm- und bohrbar, tonige Lagen neigen zum Verkleben der Abbauwerkzeuge.

Zur Wiederverwendung auch im trockenen Zustand infolge des hohen Feinanteilgehalts nur für anspruchlose Schüttungen geeignet, bei Vernässung nicht mehr wiederverwendbar und auf einer Deponie für unverschmutzten Aushub (Typ A) abzulagern.

2.5 Schicht d / Moräne

Die gemischtkörnige Moräne wurde beim Hirschengraben nur in wenigen Sondierungen und dann in geringen Mächtigkeiten von maximal einigen wenigen Metern zwischen den Rückstausedimenten (Schicht c) und dem Molassefels (Schicht d) angetroffen. Infolge der grossen Tiefenlage und der geringen Mächtigkeit fehlen genauere Kenntnisse über diese Schicht, weshalb wir diese als kaum projektrelevant einschätzen und deshalb auf eine detaillierte Beschreibung verzichten.

2.6 Schicht e / Fels der Unteren Süsswassermolasse

Der Molassefels besteht aus einer Wechsellagerung von grauen Sandsteinen und buntem Silt-/Tonstein (Mergel), welcher oberflächlich verwittert und infolgedessen entfestigt ist. Der Fels liegt am nördlichen Ende des Hirschengrabens in einer Tiefe von über 20 m auf ca. 515 m ü. M. Die Felsoberfläche fällt in der Folge steil gegen Süden bis Südwesten ab und liegt am südlichen Ende des Hirschengrabens auf ca. 460 m ü. M. in einer Tiefe von über 70 m unter Terrain. Aufgrund der grossen Tiefenlage der Molasse wird auf eine weitere Beschreibung und die Angabe von geotechnischen Kennwerten verzichtet.

3 Grundwasser

Der Projektstandort befindet sich nach [14] im Gewässerschutzbereich üB, bzw. im Bereich eines Grundwasserrandvorkommens.

Die Auswertung der in den Sondierungen ausgeführten Grundwassermessungen zeigen, dass der Grundwasserspiegel von den Gleisanlagen zur Laupenstrasse/Bubenbergplatz steil abfällt und in der Folge bis ans südliche Ende des Hirschengrabens auf rund 523 - 524 m ü. M. nahezu eben liegt (Abbildung 2). Es ergibt sich im Bereich des Hirschengrabens somit ein Flurabstand von rund ca. 16 - 17 m.

Das Grundwasser zirkuliert in den Rückstausedimenten (Schicht c). Angesichts einiger feinkörnigen Lagen innerhalb dieser Schicht sind lokal gespannte Verhältnisse innerhalb des sonst freispiegelnden Vorkommens nicht auszuschliessen.

Die Rückstausedimente sind schlecht bis mässig durchlässig. Die Durchlässigkeit schätzen wir aufgrund deren sandigen bis siltigen Zusammensetzung in der Grössenordnung von $k \approx 10^{-5}$ m/s.

Von den früheren Sondierungen liegen grösstenteils nur Einzelmessungen des Grundwasserspiegels vor. Angaben zum Schwankungsverhalten sowie zum HW-, MW- und NW-Stand sind somit nicht möglich. Ob das Grundwasser aufgrund der innerstädtischen Lage mit verschiedenen Betriebsstandorten in der weiteren Umgebung belastet ist, ist nicht bekannt.

Der zusammenhängende Grundwasserspiegel liegt ca. 10 m unter der Sohle des ehemaligen Stadtgrabens. Ob an der Basis resp. innerhalb der künstlichen Auffüllungen – aufgestaut durch die eher schlecht durchlässigen Rückstausedimente – ein lokales Schichtwasservorkommen vorhanden ist, kann anhand der Archivunterlagen nicht ausgeschlossen werden: In der Bohrung beim Bubenberg-Denkmal (WAWIS-Nr. 599/199.172) ist das Material als "bergfeucht" beschrieben, bei der Bohrung beim Widmannbrunnen (599/199.376) sind keine Angaben zum Wassergehalt vermerkt.

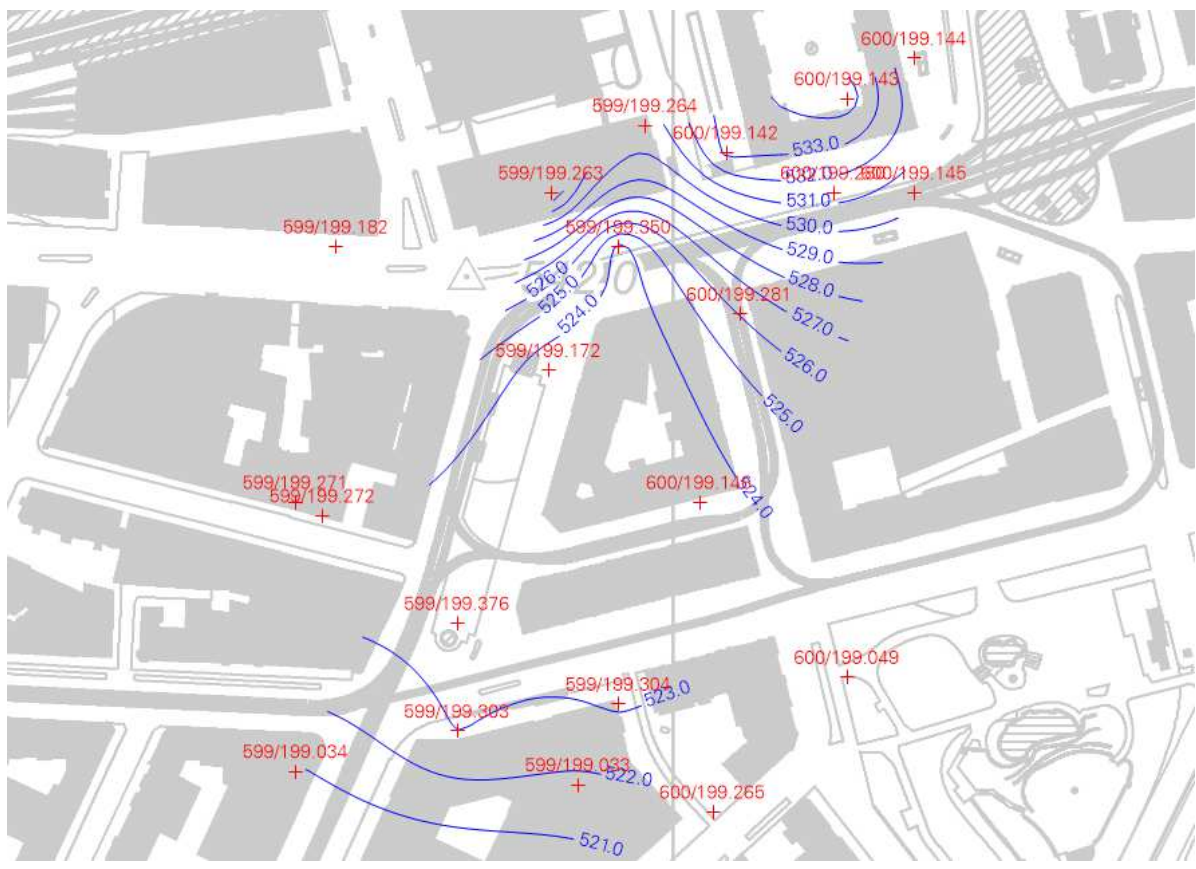


Abbildung 2:
Isohypsen des Grundwasserspiegels

Die Daten stammen von verschiedenen Messkampagnen und unterschiedlichen Jahren. Die allgemeine Fließrichtung passt mit dem regionalen Bild gemäss [12] überein, es handelt sich jedoch nicht um einen natürlichen Fließzustand.

4 Erste bautechnische Folgerungen

4.1 Projekt

Im Rahmen des Projekts Zukunft Bahnhof Bern ist nach [1] und [2] vom Hirschengraben zum Bahnhof ein eingeschossiger, unterirdischer Zugang mit einer Passage vorgesehen. Die Passage soll gegen Süden mit einer ca. 20 - 25 m × 80 - 90 m grossen Veloabstellanlage ergänzt werden, welche an die mittelalterliche Stadtmauer anschliesst. Die unterirdischen Bauwerke weisen zwei Geschosse auf und reichen somit bis in Tiefen von rund 10 m unter Terrain. Als Baugrubenabschluss ist zurzeit eine Rühlwand vorgesehen.

Die unterirdische Passage quert gemäss [3] auch die Gleisanlagen von Bernmobil, weshalb als temporäre Bauhilfsmassnahme der Einbau von Gleishilfsbrücken geplant ist, welche auf Pfählen gegründet werden.

4.2 Foundation und Setzungen

Zurzeit liegen uns keine Lastangaben vor. Wir beschränken uns deshalb auf Annahmen der schätzungsweise zu erwartenden Lasten.

Velostation

Die charakteristischen spezifischen Bauwerkslasten der zweigeschossigen Velostation inkl. 2 m mächtiger Überdeckung schätzen wir auf rund 65 kN/m². Die charakteristische spezifische Aushubentlastung beträgt bei einer Aushubtiefe von rund 10 m ca. 200 kN/m². Es herrscht somit eine positive Lastbilanz vor, wobei infolge konzentrierter Lastabtragung über Einzelfundamente und Stützen Neubelastungen nicht auszuschliessen sind.

Die Gründungssohle kommt in die gering bis mässig tragfähigen und mässig setzungsempfindlichen Rückstausedimente (Schicht c) zu liegen, welche sich bei verteilter Lastabtragung mit den oben genannten Lasten gut für eine Flachfundation eignen. Bei Dimensionierung der Flachfundamente unter Ausnutzung der Tragfähigkeit resultieren gemäss ersten Abschätzungen für ein 3.5 m breites Streifenfundament mit charakteristischen Linienlasten von ca. 500 kN/m' rechnerische Setzungen < 2 cm. Die Setzungsdifferenzen infolge Heterogenitäten des Untergrunds liegen unter einem Zentimeter. Inwiefern differentielle Setzungen durch eine unterschiedliche Lastverteilung zu erwarten sind, ist mittels Setzungsberechnungen bei Vorliegen der effektiven Lasten zu prüfen.

Aufgrund der hohen Wasser- und Erschütterungsempfindlichkeit der Rückstausedimente ist die Gründungssohle zu schonen und rasch abzudecken.

Gleishilfsbrücke

Für die Fundation der Gleishilfsbrücken ist eine Pfahlgründung vorgesehen. Infolge logistischer und betrieblicher Anforderungen werden Gleishilfsbrücken meist auf Mikropfählen gegründet. Da für die Erstellung der Rühlwand ohnehin ein Bohrgerät erforderlich ist, wären bei genügenden Platzverhältnissen allenfalls auch verrohrte Bohrpfähle als Pfahlsystem geeignet. Für die einzelnen Schichten können für die genannten Pfahltypen folgende Kennwerte angegeben werden:

Schicht	verpresste Mikropfähle D ≤ 300 mm		verrohrte Bohrpfähle D ≥ 600 mm	
	Spitzenwiderstand	Mantelreibung	Spitzenwiderstand	Mantelreibung
	q _{b,k} [kN/m ²]	q _{s,k} [kN/m ²]	q _{b,k} [kN/m ²]	q _{s,k} [kN/m ²]
a / künstliche Auffüllungen	–	–	–	–
b / Felderschotter	–	(200 – 250)	(3'000 – 4'000)	(100 – 140)
c / Rückstausedimente	–	100 – 150	1'800 – 2'500	70 – 100
d / Moräne	–	(250 – 300)	(3'500 – 4'500)	(120 – 170)
e / Fels der Unteren Süsswassermolasse	–	> 300	> 5'000	> 200

Tabelle 1:
Pfahlkennwerte in den einzelnen Schichten

Bei der Wahl eines anderen Pfahlsystems sind die genannten Kennwerte zu revidieren. Die Pfahlkennwerte der Rückstausedimente sind angesichts der nicht mit Sicherheit vorhandenen Überkonsolidation resp. Vorbelastung eher tief und somit auf der sicheren Seite liegend angesetzt.

Auf das Ansetzen eines Spitzenwiderstands ist bei Mikropfählen üblicherweise zu verzichten. In Anbetracht des unbekanntem Vorhandenseins der Felderschotter und der Moräne empfehlen wir, diese Schichten zu vernachlässigen und stattdessen die Kennwerte der Rückstausedimente anzusetzen.

4.3 Verbau und Wasserhaltung

Bereichsweise wird die Stadtmauer als Aussenwand der Velostation und somit als bereits bestehender Baugrubenabschluss berücksichtigt. Die nachfolgenden Ausführungen beziehen sich deshalb auf die übrigen Bereiche.

Durch die Aushubtiefe von rund 10 m ist die Ausbildung von freien Böschungen angesichts der innerstädtischen Lage mit beengten Platzverhältnissen nicht möglich. Es sind stattdessen (sub-) vertikale Baugrubenabschlüsse erforderlich. In Anbetracht allfälliger Reste früherer Bautätigkeit sowie zum Schutz der nahen Gebäude, Werkleitungen und vermutlich archäologisch bedeutender Bausubstanz (z.B. Stadtmauer) vor Erschütterungen sind gebohrte Verfahren zu bevorzugen.

Der vollflächig vorhandene Grundwasserspiegel steht erst auf rund 523 - 524 m ü. M. an und liegt folglich > 5 m unter der Aushubsole. Ob an der Basis der Verfüllung des Hirschengrabens (Schicht a) auf den stauend wirkenden Rückstausedimenten (Schicht c) etwas Schichtwasser zirkuliert, kann nicht restlos ausgeschlossen werden. Sollte ein solches Schichtwasservorkommen mit grösseren Wassermengen vorhanden sein, so wird zur Verhinderung einer grossflächigen Grundwasserabsenkung ein dichter Verbau bevorzugt, andernfalls ist auch die Ausführung von offenen Systemen denkbar.

Im Falle eines ergiebigen Schichtwassers ist als Baugrubenverbau sowohl eine überschnittene Bohrpfahlwand als auch eine Schlitzwand denkbar, wobei wir letzter als kaum wirtschaftlich erachten. Sollte tatsächlich ein dichter Verbau notwendig sein, ist gegebenenfalls eine Spundwand trotz der erwähnten Nachteile (schwierige Rammpbarkeit, Erschütterungen und Lärm) doch in Betracht zu ziehen. Zur Fassung des Schichtwassers sind Pumpensämpfe oder Filterbrunnen vorzusehen.

Ist kein Schichtwasservorkommen vorhanden oder dieses nur von sehr geringer Ergiebigkeit, so sind eine Rühlwand (mit gebohrten Ständern) oder eine aufgelöste Bohrpfahlwand mögliche Verfahren. Inwiefern für eine stark geneigte Nagelwand Platz besteht, können wir nicht restlos beurteilen. In diesem Fall ist auch dieses System geeignet. Anfallende Schichtwasserzutritte sind am Ort des Auftretens zu fassen und abzuleiten. Die Ausfachung resp. Spritzbetonschale ist zu perforieren. Auf eine eigentliche Wasserhaltung kann verzichtet werden.

In der Baugrube anfallendes Niederschlagswasser dürfte in keiner der anstehenden Schichten gut versickern, weshalb dieses zu fassen und abzuleiten ist.

In Anbetracht der Verbauhöhe von rund 10 m ist keine freie Auskragung mehr möglich, weshalb zur Verhinderung zu grosser Deformationen Abstützung vorzusehen sind. Für Verankerungen stehen einzig die Rückstausedimente (Schicht c) in geeigneter Tiefe zur Verfügung. In dieser Schicht können (verhältnismässig geringe) Verankerungskräfte je nach Verankerungslänge und Bohrdurchmesser von schätzungsweise $R_{a,k} \approx 300 - 500$ kN erzielt werden. Durch den Injektionsvorgang sind Hebungen und daraus entstehende Schäden an der alten Bausubstanz nicht auszuschliessen. Ob in Anbetracht der umliegenden Gebäude sowie der vermutlich in einer Vielzahl vorhandenen Werkleitungen sinnvolle Ankeranordnungen möglich sind, können wir nicht beurteilen. Aufgrund der Baugrubengrösse und deren Form sind jedoch auch Spriesslösungen mittels Längs-, Quer und Ecksprissen anstelle von Ankern eine wirtschaftliche Alternative.

4.4 Aushub

Sowohl die künstliche Auffüllung (Schicht a), die Felderschotter (Schicht b), als auch die Rückstausedimente (Schicht c) sind gut baggerbar, wobei in ersterer Reste früherer Bautätigkeiten nicht ausgeschlossen werden können. Die Rückstausedimente sowie allfälligere bindigere Zonen der Verfüllung des Hirschengrabens sind kaum befahrbar. Wir empfehlen in diesen Schichten möglichst einen rückschreitenden Aushub über grosse Höhen. Bei Wasserzutritten und mechanischer Beanspruchung weichen die Rückstausedimente stark auf und es werden Massnahmen wie Baggermatratzen oder die Erstellung einer Baupiste erforderlich.

Hinsichtlich Wiederverwendbarkeit sind die künstliche Auffüllung als auch die Rückstausedimente nur bedingt resp. kaum geeignet. In den bisherigen Sondierungen wurden teilweise einzelne bodenfremde Beimengungen angetroffen. Bereiche mit Verschmutzungen sind zu erwarten (Bauschutt). Das Material ist zu beproben und gemäss den chemischen Analyseergebnissen zu entsorgen. Allfällige Reste der Felderschotter können als Schüttgut wieder gebraucht werden. Deren Anteil dürfte jedoch sehr gering sein.

5 Weitere Hinweise

5.1 Prognosestand

Die Kenntnisse zum Schichtaufbau sowie zur Zusammensetzung der einzelnen Schichten können als mässig bis gut beurteilt werden. Das Vorhandensein und die Mächtigkeit der Felderschotter sowie das Vorhandensein von Verschmutzungen in der künstlichen Auffüllung lässt sich selbst mit einer grossen Zahl an Sondierungen nicht lückenlos und geschweige denn auf eine wirtschaftliche Weise abklären.

Die grössten Unsicherheiten bestehen bezüglich eines Vorhandenseins eines Schichtwasservorkommens an der Basis der Verfüllung des Hirschengrabens sowie der bodenmechanischen Eigenschaften der Rückstausedimente (Schicht c) hinsichtlich einer allfälligen Überkonsolidierung/Vorbelastung angesichts der geplanten Gründungen der Velostation und der Gleishilfsbrücken.

Zur Abklärung der genannten Punkte empfehlen wir deshalb die Ausführung von zwei Rotationskernbohrungen in Tiefen von ca. 20 m (bei längeren Pfählen für die Gleishilfsbrücken auch tiefer). Die Bohrungen sind zur Messung des Schicht- und Grundwasservorkommens mit Piezometern zu versehen und gegebenenfalls zur Bestimmung der repräsentativen Grundwasserstände mit Dataloggern auszurüsten. Werden grössere Wasservorkommen angetroffen, ist die Durchlässigkeit zur Dimensionierung von Wasserhaltungsmassnahmen mittels Pumpversuchen zu bestimmen. Für die Charakterisierung der bodenmechanischen Eigenschaften der Rückstausedimente werden Feld- (SPT, besser: CPT und/oder DMT) und Laborversuche (Oedometer) empfohlen. Werden in den künstlichen Auffüllungen Belastungen angetroffen, ist das Material chemisch hinsichtlich des Verschmutzungsgrads analysieren zu lassen.

Die genannten Punkte können aufgrund der Vielzahl der Fragestellungen sowie der notwendigen Sondierentiefe nur mittels Rotationskernbohrungen abgeklärt werden, welche verfahrensbedingt teurer sind als andere Sondierverfahren.

5.2 Schlussbemerkung

Die in diesem Bericht gemachten Angaben gelten für das erwähnte Bauvorhaben. Eine Übertragung der Aussagen auf andere Fragestellungen und Bauvorhaben ist nicht zulässig. Die Aussagen beruhen auf

Interpretationen aus einzelnen Aufschlüssen. Eine Überprüfung und allfällige Anpassung des Modells bei zusätzlichen Informationen aus weiteren Aufschlüssen bleiben vorbehalten. Wir empfehlen die Begleitung der Projektierungsarbeiten und der Ausführung durch einen Geotechniker (Beurteilung der Böschungen, Kontrolle der Baugrubensohle, etc.).

Geotechnisches Institut AG



Andreas Teuscher



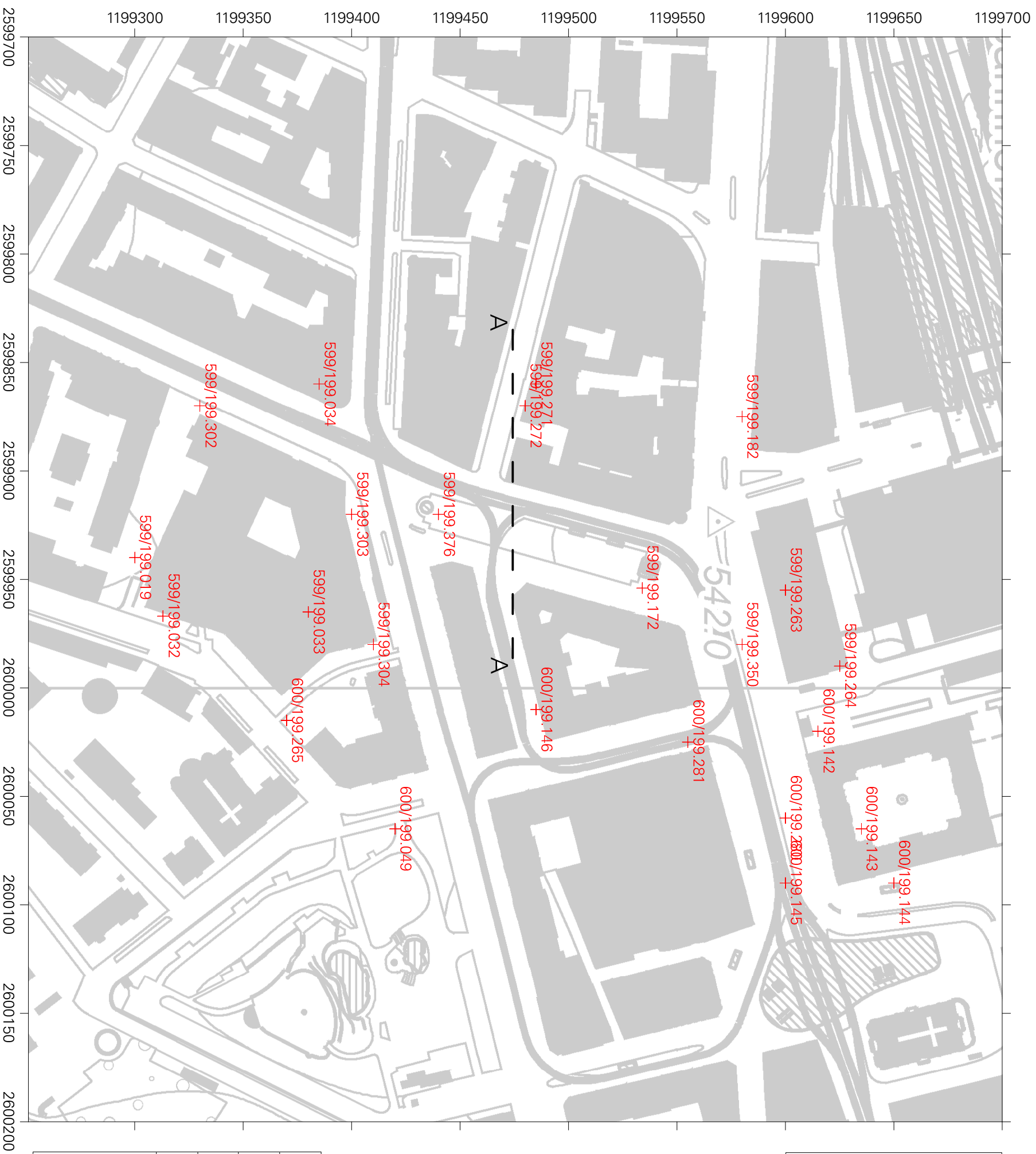
Daniele Biaggi

Projektbearbeitung

A. Teuscher, MSc Ingenieurgeologe ETH

Beilagen

Beilage	1	Situation	1 : 2'000
Beilage	2	Querprofil A-A (Projekt schematisch dargestellt)	1 : 100
Beilage	3	Bohrprofil 599/199.172 (Sondierbohrung B18/64)	1 : 50
Beilage	4	Bohrprofil 599/199.376 (Bohrung Widmannbrunnen)	



Beilage 1

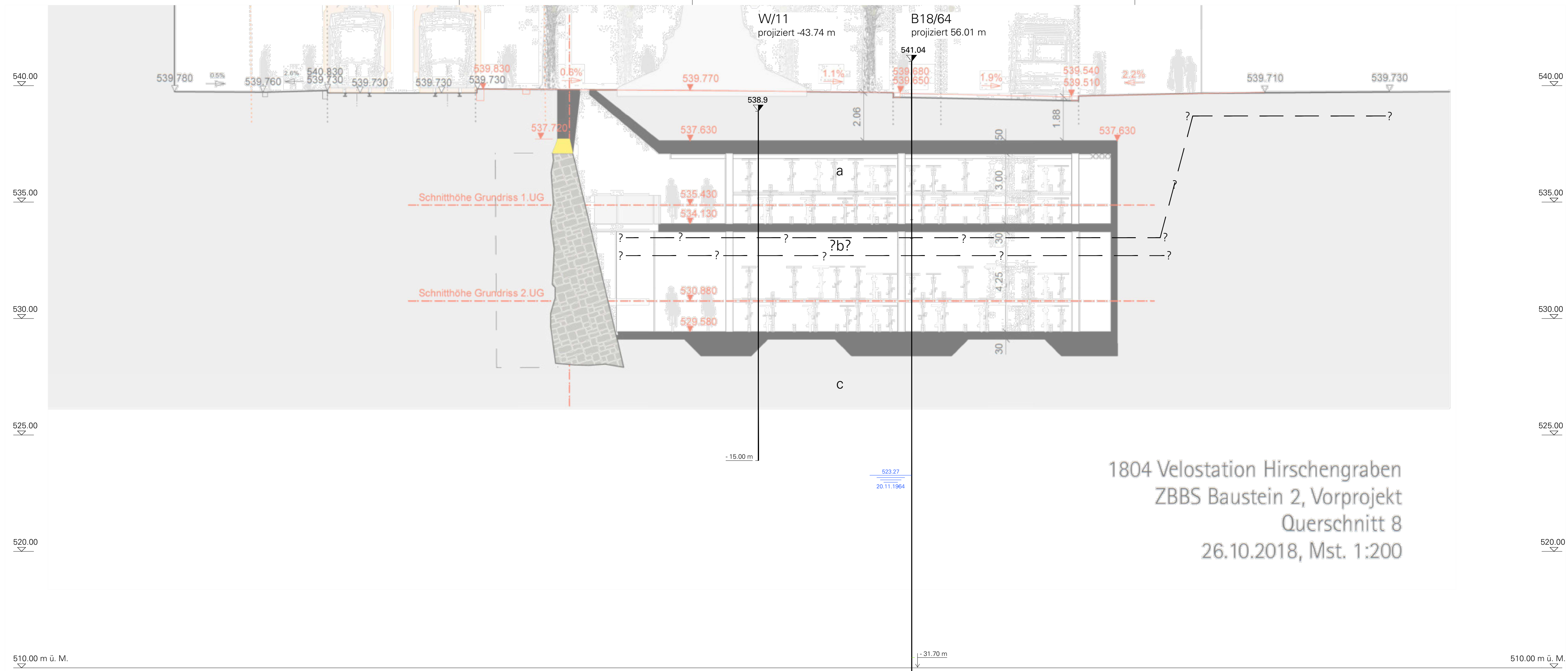
Legende

+ bestehende Sonderungen

Projektname	Zukunft Bahnhof Bern (ZBB), Velostation Hirschengraben		
Projekt-Nr.	31.4906.002	Massstab	1 : 2'000
Plan-Nr.	Beilage 1	Format	A3
Dat./Gez.	16.12.2019/rea	Revidiert	

Geotechnisches Institut
 Aktiengesellschaft
 Bümplizstrasse 15
 3027 Bern

031 389 34 11
 www.geo-online.de



Legende

- a künstliche Auffüllungen
- b Felderschotter
- c Rückstausedimente
- d Moräne
- e Molassefels

Querprofil A - A

Projektname	Bern, Velostation Hirschengraben		
Projekt-Nr.	31.4906.002	Massstab	1 : 100
Plan-Nr.	Beilage 2	Format	297 x 880
Dat. / Gez.	18.12.19 tea/mp	Revidiert	...

Geotechnisches Institut
Aktiengesellschaft zertifiziert nach ISO-Norm 9001
 Büimplizstrasse 15 3027 Bern 031 389 34 11
www.geo-online.ch

WESTTANGENTEN - TUNNEL

599.199/172

SONDIERBOHRUNG 18/64

BUBENBERG DENKMAL

PLAN N^o : 64 336 - 6

Z1-83

MASSTAB



Stump

BOHR A.G.

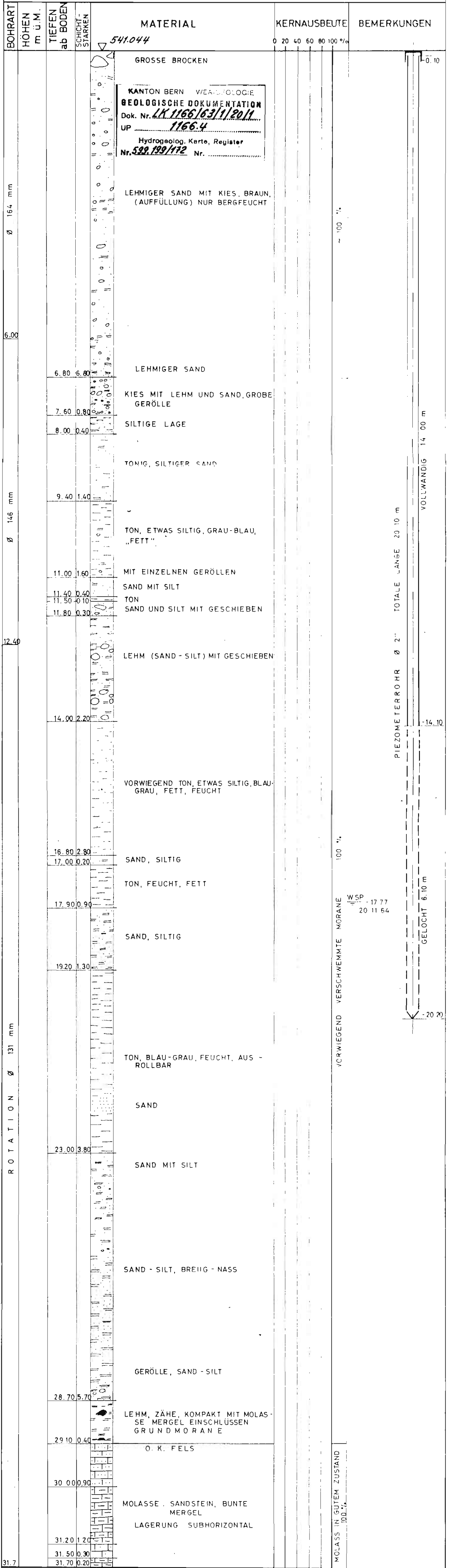
ZÜRICH, 30. NOV. 1964

Z

1:50

ZÜRICH · BERN · CHUR

BOHR - PROFIL



Geotechnisches Institut		599/199.376	Beilage
Telefon 031 389 34 11 Fax 031 381 31 15 info.be@geo-online.com www.geo-online.com		Bohrung Widmannbrunnen I	
Gartenstrasse 13 Postfach 3007 Bern			
GI-Nr.: 31.3049.003 Objekt: Tiefbauamt der Stadt Vern, Stadtentwässerung - Öffentliche Brunnen, Abtrennung Abwasser: Widmannbrunnen			
Höhe in m ü.M.: Koordinaten: 599970/199440 Aufnahme: P. Polack		Unternehmung Stämpfli AG, Langnau Datum: 24. Oktober 2001	
Geologie	Tiefe in m	Geotechnische Bezeichnung	
a künstl. Auffüllung	0.0 – 6.0	Siltiger bis schwach siltiger Kies mit reichlich bis viel Sand und vereinzelt Steinen. Vereinzelt Ziegelbruchstücke. Rotbraun bis braun.	
	6.0 – 6.2	Block	
b Stillwasserse- dimente	6.2 – 6.8	Siltiger bis schwach siltiger Fein-/Mittelsand mit vereinzelt Kies, braunbeige bis beige.	
	6.8 – 6.9	Stark siltiger Feinsand bis feinsandiger Silt, feingeschichtet, braunbeige bis beige.	
	6.9 – 8.9	Siltiger bis schwach siltiger Fein-/Mittelsand mit vereinzelt Kies, braunbeige bis beige.	
c Schotter	8.9 – 9.7	Schwach siltiger bis sauberer Mittel-/Grobsand, graubraun.	
	9.7 – 11.2	Schwach siltiger bis sauberer Fein-/Mittelsand, braunbeige.	
	11.0 – 12.0	Dito, mit vereinzelt bis wenig Kies.	
	12.0 – 12.2	Siltiger bis schwach siltiger Kies (überwiegend Feinkies) mit reichlich bis viel Sand, braungrau.	
	12.2 – 12.5	Tonig/feinsandiger Silt, weich, braunbeige.	
	12.5 – 13.4	Schwach siltiger bis sauberer Sand mit wenig Kies, braunbeige.	
	13.4 – 15.0	Schwach siltiger bis sauberer Kies mit reichlich bis viel Sand und vereinzelt Steinen, graubraun.	
Bemerkungen			
Bohrdurchmesser: 0.0 – 7.5 m 300 mm, 7.5 – 15 m 273 mm			
Ausbau der Bohrung mit 4"-Filter (Material: PE)		0 – 12 m Vollrohr 12 – 15 m gelocht	
Ringraumfüllung:		0.0 – 0.5 m Tondichtung (Kompaktonit) 0.5 – 1.0 m Bohrgut 1.0 – 15 m Filterkies 4/8 mm	