

armasuisse Immobilien

**Ehemaliges Munitionsdepot
Mitholz**

Technische Untersuchung

Bern, 23. Januar 2012
JA/st 7031

SQS-Zertifikat ISO 9001:2000



Registrierungs-Nr. 15873-02

Der vorliegende Auftrag wurde von der Kellerhals + Haefeli AG unter Anwendung der Sorgfaltspflicht nach bestem Wissen durchgeführt. Die Untersuchungsmethoden wurden aufgrund der von der Bauherrschaft zur Verfügung gestellten Unterlagen bzw. Fragestellungen ausgewählt. Der in diesem Bericht dargestellte Kenntnisstand sowie die nach den anerkannten Regeln und Arbeitsmethoden des Fachgebietes gewonnenen Ergebnisse führten zu den dargestellten Schlussfolgerungen.

INHALTSVERZEICHNIS

| | Seite |
|---|-----------|
| 1. Ausgangslage | 1 |
| 1.1. Anlass der Untersuchung | 1 |
| 1.2. Auftrag | 1 |
| 1.3. Untersuchungsperimeter | 2 |
| 2. Zielsetzung | 2 |
| 3. Verwendete Unterlagen | 2 |
| 4. Geologie | 3 |
| 5. Hydrogeologie | 4 |
| 6. Grundwassernutzungen | 5 |
| 7. Zusammenfassung der historischen Untersuchung | 6 |
| 7.1. Standortgeschichte | 6 |
| 7.2. Belastungshypothese | 7 |
| 8. Untersuchungen | 8 |
| 8.1. Sondierungen | 8 |
| 8.2. Wasserproben, Wasseranalysen | 8 |
| 9. Resultate | 9 |
| 9.1. Bohrungen | 9 |
| 9.1.1. Profilaufnahmen | 9 |
| 9.1.2. Grundwasser | 10 |
| 9.2. Grundwasserspiegelüberwachung | 11 |
| 9.2.1. Loggerdaten | 11 |
| 9.3. Grundwasserprobenahme | 13 |
| 9.3.1. Grundwasserspiegel zum Zeitpunkt der Probenahme | 13 |
| 9.3.2. Analyseresultate | 17 |
| 9.4. Zusammenfassung der Resultate | 18 |
| 10. Diskussion | 18 |
| 11. Empfehlungen | 19 |
| 12. Schlussbemerkung | 19 |

ANHANGVERZEICHNIS

Anhang 1: Laborberichte Bachema AG

BEILAGENVERZEICHNIS

- Beilage 1: Übersicht über das Untersuchungsgebiet, Situation 1:10'000
- Beilage 2: Situation 1:1'000
- Beilage 3.1: Bohrprofil RB1
- Beilage 3.2: Bohrprofil RB2
- Beilage 3.3: Bohrprofil RB3

Ehemaliges Munitionsdepot Mitholz

Technische Untersuchung

1. Ausgangslage

1.1. Anlass der Untersuchung

Im Jahr 1947 explodierte in Mitholz im Kandertal ein Munitionsdepot der Armee. Zwar hielten die Kammern des Felsmagazins der Explosion stand, durch die Erschütterung der Explosion stürzte jedoch der vorderste Teil der Felswand (Fluh) oberhalb der Anlage ein und verschüttete den Zufahrtstunnel (Bahntunnel) und ein Teil der gelagerten Munitionsbestände. Die gesamthaft ca. 7'000 Tonnen verschiedenster Munitionsarten wurden bei diesem Unglück auf unkontrollierte Art vernichtet oder durch den Felssturz verschüttet.

Im Rahmen der Diskussion über die versenkte Munition in Schweizer Seen werden vom VBS auch potenzielle, externe Schadstoffquellen untersucht, die für Sprengstoffe in diesen Gewässern verantwortlich sein können. Das ehemalige Munitionsdepot in Mitholz stellt aufgrund der grossen Menge, ursprünglich eingelagerter Munition, eine solche mögliche Schadstoffquelle dar. Bisher wurden diesbezüglich noch keine altlastenspezifischen Untersuchungen durchgeführt.

Im Jahr 2010 haben wir im Auftrag der armasuisse Immobilien eine Historische Untersuchung mit Pflichtenheft für die Technische Untersuchung zum ehemaligen Munitionsdepot (Objekt Nr. APO S14) erarbeitet (vgl. Bericht Nr. 7031 vom 22. Dezember 2010 [14]). Im vorliegenden Bericht sind die Erkenntnisse aus der Historischen Untersuchung kurz zusammengefasst und die Arbeiten und Resultate der Technischen Untersuchung detailliert beschrieben.

1.2. Auftrag

Die Historische Untersuchung des ehemaligen Munitionsdepots Mitholz hat ergeben, dass im verschütteten Bahntunnel und unter dem Schuttkegel des erwähnten Felssturzes grosse Mengen an Munition begraben sind. Das ausserordentlich hohe Schadstoffpotenzial und das hohe Freisetzungspotenzial führten trotz des lediglich geringen Gefährdungspotenzials des Schutzgutes Grundwasser insbesondere aber aufgrund von Munitionsrückständen in Schweizer Seen [10] zum Bedarf einer Technischen Untersuchung. Die armasuisse Immobilien hat unser Büro am 31. Januar 2011 damit beauftragt, im Anschluss an die Historische Untersuchung die im Pflichtenheft vorgeschlagene Technische Untersuchung für das ehemalige Munitionsdepot durchzuführen. Die Arbeiten richten sich nach unserer Offerte vom 10. Januar 2011.

1.3. Untersuchungsperimeter

Die Anlage des ehemaligen Munitionsdepots Mitholz befindet sich im Kandertal ungefähr 3 km nördlich von Kandersteg und ca. 2.5 km südlich von Inner Kandergrund. Die Schwerpunktkoordinaten lauten 618'460 / 152'670. Unmittelbar nordwestlich des Schuttkegels verläuft die Bahnlinie der BLS in der südlichen Schlaufe der so genannten Nordrampe. Östlich des ehemaligen Munitionsdepots verläuft die Bahn zwischen Kandersteg und der nördlichen Schlaufe der Nordrampe im Fels. Die Bahnlinie selbst war vom Explosionsunglück nur geringfügig betroffen.

Der Stägebach mit Wasser aus dem Einzugsgebiet „Giesene – Breitwang“ fliesst unmittelbar südlich des ehemaligen Munitionsdepots in die Talebene und oberhalb von Blausee in die Kander. Im Bereich des ehemaligen Portals des Bahntunnels führt ein Bach (Bruchgraben) ebenfalls Wasser aus dem Gebiet unmittelbar oberhalb der Fluh und fliesst bei Mitholz in den Stägebach.

2. Zielsetzung

Abschätzungen über den Schadstoffaustausch haben ergeben, dass für das Schutzgut Grundwasser zwar nur eine geringe Gefährdung besteht. Weil aber die Menge an dem mit den Munitionsrückständen in Kontakt stehenden Grundwasser (Kluftwasser) und die durch das Grundwasser gelösten Schadstoffkonzentrationen nur grob abgeschätzt werden konnten, besteht diesbezüglich eine grosse Unsicherheit. Insbesondere in Bezug auf die Munitionsrückstände im Thunersee ist die Menge der Schadstoffe im Grundwasser aber von grossem Interesse.

Die Technische Untersuchung soll Aufschluss darüber bringen, ob und in welchen Mengen Munitionsrückstände mit dem Grundwasser ausgetragen werden. Anhand der Resultate soll eine Beurteilung des Standortes mit Gefährdungsabschätzung für das Schutzgut Grundwasser vorgenommen werden.

3. Verwendete Unterlagen

- [1] Amt für Wasser und Abfall AWA (2009): Gewässerschutzkarte, Online-Version
- [2] Amt für Wasser und Abfall AWA (2009): Grundwasserkarte, Online-Version
- [3] Kellerhals + Haefeli AG und Geotest AG (2007): Hydrogeologie Kandertal; Stand 30. November 2007
- [4] Kellerhals + Haefeli AG und Geotest AG (2007): Einwohnergemeinde Kandergrund – Genereller Entwässerungsplan, Zustandsbericht Versickerung, 18. Oktober 2002

- [5] Ingenieurgemeinschaft Lötschberg-Basistunnel, p. A. Emch + Berger AG (1993): Sondierstollen Nordseite und Fensterstollen Mitholz; Bericht zur Umwelt; Fachgutachten Geologie und Grundwasser
- [6] Geologengruppe Lötschberg-Basistunnel, p. A. Kellerhals + Haefeli AG (1991 – 2004): Hydrometrie Nord, Jahresberichte 1991 bis 2004 (Raum Blausee – Mitholz, Kandersteg, Gasteretal)
- [7] GS VBS / RU (2005): Altlastenbearbeitung VBS, Untersuchung der Belastungen auf Schiessplätzen und Schiessanlagen des VBS
- [8] H. Furrer, K. Huber, H. Adrian, A. Baud, W. Flück, C. Preiswerk, P. Schuler, P. Zwahlen (1993): Geologischer Atlas der Schweiz 1:25'000, Atlasblatt 87; 1247 Adelboden Schweizerische geologische Kommission
- [9] Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute (2000): Gewässer- und Bodenschutz bei Schiessanlagen, Tagungsdokumentation vom 7. November 2000
- [10] Dr. Johannes van Stuijvenberg, Schenker Korner & Partner GmbH (2005): Gefährdungsabschätzung zu militärischen Munitionsversenkungen in Schweizer Seen
- [11] Bundesamt für Umwelt (1992): Hydrologischer Atlas der Schweiz
- [12] Bundesamt für Wald und Landschaft BUWAL (2003): Vollzug Umwelt, Praxishilfe Grundwasserprobenahme
- [13] P. Kellerhals, A. Isler (1998): Lötschberg-Basistunnel, Geologische Voruntersuchungen und Prognose
- [14] Kellerhals + Haefeli AG (2010): Historische Untersuchung, Pflichtenheft für eine Technische Untersuchung. Bericht vom 22. Dezember 2010.

Gesetzliche Grundlagen:

- USG Bundesgesetz vom 7. Oktober 1983 über den Umweltschutz (USG), revidiert am 21. Dezember 1995.
- AltIV Verordnung über die Sanierung von belasteten Standorten (Altlastenverordnung; AltIV) vom 26. August 1998.

4. Geologie

Die Talfüllungen im glazial stark übertieften Kandertal bestehen aus grobblockigen Bergsturzablagerungen, Moräne und Murgangsedimente. Diese sind unter anderem auf die Umlagerung von Material aus den bekanntesten Kandertaler Bergstürzen, der Fisstock-Bergsturz (ca. 800 Mio. m³) und der Birre-Bergsturz (ca. 400 Mio. m³) zurückzuführen [5]. Die Mächtigkeit der Murgangsedimente beträgt "Underem Büel" über 50 m und nimmt gegen Norden hin ab.

Bei Achere, ca. 1 km nördlich von Ausser Kandergrund, keilt diese Schicht aus. Unterhalb der Murgangsedimente befindet sich Moräne (undatiert). Randlich an den Talflanken (u. a. auch im Bereich des ehemaligen Munitionsdepots Mitholz) sind das Bergsturzmaterial und die Murgangsedimente durch anmoorige Ablagerungen, Gehängelehm, Gehängeschutt und Bachschutt überlagert.

Das ehemalige Munitionsdepot befindet sich in z. T. zerklüftetem Helvetischem Kieselkalk und dem darunter liegenden Öhrlikalk. An dieser Stelle bildet der Fels eine ca. 100 m hohe und 200 m Breite Fluh. Unterhalb des Öhrlikalks befindet sich Wildflysch (Schiefer und Flyschsandsteine), dessen Horizonte in einem Winkel von 50 - 60° Richtung W einfallen. Wildflysch wurde in den nördlichen Kammern im hinteren Teil ab ca. 125 m angebohrt.

Bis zum Bau der unterirdischen Munitionsanlage diente der Bereich unterhalb der Felspartien (Fluhmatte) als Überschwemmungsgebiet des Stägebachs. Beim Bau der Munitionsanlage wurde das Ausbruchmaterial vor der Fluh deponiert und bis zu einer Mächtigkeit von ca. 10 m auf die Überschwemmungsbedimente aufgeschüttet. Mit dem durch das Explosionsunglück verursachten Felssturz stürzte der vordere Teil der Felswand ein, wodurch heute über dem deponierten Ausbruchmaterial ein Schuttkegel von gesamthaft ca. 255'000 m³ Felssturzmaterial liegt. Im nördlichen Teil liegt der Berührungsrand zwischen Felswand und Geröllhalde mehr als 40 m über der ursprünglichen Terrainhöhe. Im südlichen Teil der Sturzmasse befindet sich eine grössere Felspartie, welche bei der Explosion von der Felswand abgetrennt wurde. Die Felssturzmasse bedeckt eine Fläche von 15'000 m² und bewirkte beim Einsturz ein Kippen des Vorgeländes (Überschwemmungsbedimente und Ausbruchdeponie) und eine Verschiebung Richtung Tal. Gemäss damaligem geologischen Gutachten (vgl. Zitat in [14]) wurden die vorhandenen und bereits vor dem Explosionsunglück aufgenommenen Klüfte durch das Ereignis nicht weiter geöffnet.

5. Hydrogeologie

Das Grundwassergebiet im Kandertal ist sehr komplex. Die Mächtigkeit des wasserführenden Grundwasserleiters im Gebiet oberhalb von Blausee beträgt ca. 30 m und nimmt gegen Süden bis auf 250 m zu. Zudem wird das Grundwasser bei Blausee durch eine Moränenlage lokal in zwei lateral zusammenhängende Stockwerke aufgeteilt. Das Gefälle des Grundwasserspiegels beträgt oberhalb von Blausee 9 %. Zwischen Blausee und Inner Kandergrund sinkt das Gefälle auf ca. 1 %. Die Durchlässigkeit im Grundwassergebiet liegt zwischen 2×10^{-3} und 2×10^{-4} m/s. In den Bereichen mit reinem Bergsturzmaterial ist sie, aufgrund von Hohlräumen (bei Blausee im oberen Grundwasserleiter), noch etwas höher. Im Gebiet des Steinbruchs Mitholz ist ein Grundwasserdurchfluss im ganzen Talquerschnitt von 500 l/s im obersten Stockwerk nachgewiesen worden [3]. Das Grundwassergebiet wird hier teilweise aus der Kander gespeist (50 - 100 l/s). Bei Blausee sinkt der Durchfluss auf 35 l/s ab, weil sehr viel Grundwasser in die Kander exfiltriert oder als Quellwasser an die Oberfläche austritt.

Aus dem Bereich der Fluh sind aufgrund der geologischen Verhältnisse, entlang von Schichtgrenzen und an Klüften, geringe Wasseraustritte (ca. 120 l/min) zu vermuten [14]. Den Bereich mit verschütteter Munition (verschütteter Bahntunnel und Schuttkegel) dürfte jedoch nur ein kleiner Teil dieses Kluftwassers durchfliessen (ca. 10 bis 30 l/min, [14]), wobei die Menge stark von den Niederschlagsmengen abhängig ist. Im Bereich der Fluhmatte sind die Überschwemmungssedimente und das deponierte Ausbruchmaterial in geringem Masse wasserführend. Die Durchlässigkeit im randlichen Talbereich wird gemäss [3] allgemein als mittel bezeichnet ($k = 2 \times 10^{-3}$ bis 2×10^{-4} m/s). Im Bereich der Fluhmatte ist der Aufbau aufgrund verschiedener Ereignisse jedoch komplexer und sehr inhomogen. Deshalb muss in diesem Bereich von sehr unterschiedlichen Durchlässigkeiten ausgegangen werden. Im Bereich des heutigen Kanderlaufs ist die Durchlässigkeit gross ($k = > 10^{-3}$ m/s).

Das ganze Grundwassergebiet im Bereich des Kandertales zwischen "Underem Büel" und Frutigen befindet sich im Gewässerschutzbereich A_u [1, 2].

6. Grundwassernutzungen

Im Gebiet von Blausee / Mitholz und Inner Kandergrund befinden sich mehrere Grundwasserentnahmestellen sowie genutzte und ungenutzte Quellen (vgl. Beilage 1). Nachfolgend sind sie in den Tabellen 1 und 2 aufgelistet.

| Koordinaten | Konzessionär | Konzessionierte Entnahmemenge in l/min | Nutzung | WWA-Nr. |
|-------------------|-----------------------|--|---------------------|------------|
| 617'814 / 152'441 | BLS Alptransit AG | 500 | Industrie / Gewerbe | 617/152.14 |
| 617'226 / 153'580 | Blausee AG Fischzucht | 3'600 | Fischerei | 617/153.1 |

Tab. 1: Konzessionierte Grundwasserentnahmestellen

| Koordinaten | Name | Schüttung in l/min | Nutzung | | WWA-Nr. |
|-------------------|--------------------------|--------------------|-----------|-------------------------|------------|
| 616'969 / 154'907 | Bunderbach | 1'600 | gefasst | Trink- und Brauchwasser | 616/154.1 |
| 617'620 / 151'150 | Untere Bodenquelle | 1'000 | gefasst | Trinkwasser | 617/151.1 |
| 617'568 / 151'134 | Obere Bodenquelle | 500 | gefasst | Trinkwasser | 617/151.2 |
| 617'385 / 151'050 | I de Böde | 1'000 | gefasst | Trinkwasser | 617/151.4 |
| 617'816 / 152'718 | "Rychenaufstoss" | keine Angaben | ungefasst | - | 617/152.12 |
| 617'332 / 153'258 | Blausee Sommerauquelle | 500 | gefasst | Trink- und Brauchwasser | 617/153.2 |
| 617'298 / 153'411 | Blausee Seequelle | 500 | gefasst | Trink- und Brauchwasser | 617/153.3 |
| 617'403 / 153'477 | Fürtenquelle | 500 | ungefasst | - | 617/153.4 |
| 617'292 / 153'588 | Blausee Fischzuchtquelle | 2'000 | gefasst | Fischzucht | 617/153.5 |
| 617'451 / 153'708 | Blausee Fürtenquelle | 4'000 | ungefasst | - | 617/153.10 |

| Koordinaten | Name | Schüttung in l/min | Nutzung | | WWA-Nr. |
|-------------------|----------------------------------|--------------------|-----------|-------------------------|------------|
| 617'425 / 153'025 | Teufenmatquelle | 1'200 | ungefasst | - | 617/153.11 |
| 618'025 / 151'157 | Underem Büel (Aegertenquelle) | 60 | gefasst | Trink- und Brauchwasser | 618/151.1 |
| 618'173 / 152'257 | Erlibrunnen | 10'000 | gefasst | Trink- und Brauchwasser | 618/152.3 |
| 618'516 / 153'105 | Hemlige (Blausee-Mitholz) | 30 | gefasst | Trink- und Brauchwasser | 618/153.1 |

Tab. 2: Im Gebiet vorhandene gefasste und ungefasste Quellen aus [1]

7. Zusammenfassung der historischen Untersuchung

7.1. Standortgeschichte

Das ehemalige Munitionsdepot bestand aus 6 Munitionskammern und wurde während des 2. Weltkrieges in den Jahren 1941 – 1945 in den festen Fels aus Kieselkalk (Öhrli-kalk) erbaut. Die Zufahrt zum Munitionsdepot führte über einen Bahntunnel, welcher quer zu den Munitionskammern und parallel zur Felswand verlief.

In der Anlage lagerten zum Zeitpunkt des Explosionsunglücks am 19. Dezember 1947 ca. 7'000 Tonnen Munition. Die Explosion, welche durch die Bildung von Kupferazid an den Zündkapseln der Geschosse ausgelöst wurde, verursachte einen Einsturz von ca. 255'000 m³ Fels im vorderen Teil der Anlage. Die Explosion im Innern der Anlage und die herabstürzenden Felssmassen brachten einen grossen Teil des Bahntunnels zum Einsturz, so dass dieser über den Zufahrtsstollen nicht mehr erreichbar war. Die Druckwelle und der Hagel von Materialteilen und Gestein zerstörten mehrere Häuser sowie die Bahnstation Blausee-Mitholz vollständig.

Für die Räumungsarbeiten musste ein neuer Zugangsstollen erstellt werden, welcher heute als Hauptzugang zu den noch bestehenden Kammern dient. Die geborgene Munition wurde z. T. vor Ort auf dem Sprengplatz kontrolliert gesprengt oder im Thunersee versenkt. Bis auf eine Strecke im Bahntunnel von gesamthaft 200 m konnten alle Kammern geräumt werden.

Die Menge an Munition welche sich noch vor Ort befindet, wird auf 3'500 Tonnen geschätzt und liegt im verschütteten Bahntunnel unter der Felssturzmasse. Da nur ein Teil der total versenkten Munition so dokumentiert ist, dass man Rückschlüsse auf die abgelagerten Munitionsarten ziehen kann, wurden die dokumentierten Munitionsarten (bzw. ihre Zusammensetzung) nach den belegten Stückzahlen gewichtet. Das daraus berechnete Mischungsverhältnis ("Mischung Abfälle Mitholz 1948 - 49, Thunersee Beatenbucht") diente zur Abschätzung der Menge an verschütteten Schadstoffen (Sprengstoffe, Schwermetalle). Nach diesen Berechnungen stellt TNT mit ca. 320 t ein beträchtlicher Anteil der verschütteten Munition dar. Die Mengen an Schwermetallen wie Blei und Kupfer dürften bei je knapp 70 t liegen (vgl. Tabelle 3).

| | Unter verschüttetem Eisenbahn-tunnel | Unter Felssturz-masse | Unbekannt | Total |
|---------------------|--------------------------------------|-----------------------|-----------|------------------|
| | kg | kg | kg | kg |
| Verschüttete Mengen | 1'440'000 | 1'200'000 | 823'000 | 3'463'000 |
| Stahl | 1'030'006 | 858'338 | 588'677 | 2'477'021 |
| TNT | 132'858 | 110'715 | 75'932 | 319'505 |
| Dinitrobenzol | 6'610 | 5'508 | 3'778 | 15'896 |
| Nitropenta | 924 | 770 | 528 | 2'222 |
| Parammon | 11'081 | 9'235 | 6'333 | 26'649 |
| Messing (Zi, Cu) | 143'794 | 119'828 | 82'182 | 345'804 |
| Blei | 28'648 | 23'874 | 16'373 | 68'895 |
| Kupfer | 28'695 | 23'912 | 16'100 | 68'707 |
| Nickel | 185 | 154 | 106 | 445 |
| Zinn | 180 | 150 | 103 | 433 |
| Antimon | 1'454 | 1'211 | 831 | 3'496 |

Tab. 3: Bedeutendste Stoffe der verschütteten Munition im Bereich des ehemaligen Munitionsdepot Mitholz [14]

7.2. Belastungshypothese

Das Schadstoffpotenzial ist aufgrund der verschütteten Menge von 3'500 Tonnen Munition und einem Anteil an TNT von ca. 320 Tonnen außerordentlich hoch. Zudem können die Schadstoffe im gut durchlässigen Felssturz- und Ausbruchmaterial durch Kluft- und Meteorwasser einfach ausgewaschen werden.

Es wird angenommen, dass im Bereich mit verschütteter Munition ca. 30 l/min Grundwasser durchfliessen, welches aus ca. 20 l/min Kluftwasser und 10 l/min eindringendes Regenwasser gespeist wird. Wenn sich dieses Grundwasser ähnlich wie beim Munitionsvernichtungsplatz Susten mit einer Konzentration von durchschnittlich 100 µg/l TNT anreichert, dürfte TNT im weiteren Abstrombereich um die Nachweisgrenze von 0.1 µg/l im Grundwasser nachzuweisen sein. Die 1'000-fache Verdünnung ergibt sich aus dem Verhältnis vom Grundwasserdurchfluss von 30'000 l/min im ganzen Talquerschnitt zum Eintrag von 30 l/min aus dem Bereich mit verschütteter Munition.

Das Gefährdungspotenzial für das Schutzgut Grundwasser ist aufgrund der geringen Grundwassermenge aus dem Bereich mit verschütteter Munition und dem unmittelbaren Abstrombereich ohne Grundwassernutzung zwar gering, bezüglich den messbaren Munitionsrückständen im Thunersee können ohne Grundwasseranalysen jedoch keine genaueren Aussagen gemacht werden.

Ein Gefährdungspotenzial für die beiden Oberflächengewässer (Bruchgraben und Stägebach) ist kaum vorhanden. Die Wahrscheinlichkeit, dass ein wesentlicher Teil des Wassers entlang der feinkörnigen Schichten des Gehängelehms in den Stägebach oder nördlich in den Bruchgraben gelangt, ist sehr gering.

8. Untersuchungen

8.1. Sondierungen

Das Abteufen von Bohrungen für eine Grundwasseruntersuchung im unmittelbaren Abstrombereich des Schuttkegels ist aufgrund der verschütteten, z. T. scharfen Munition sehr gefährlich und konnte nicht realisiert werden. Die Bohrungen wurden deshalb entlang des Hauptgrundwasserleiters östlich der Bahnlinie BLS und nördlich des Bruchgrabens abgeteuft. Die Bohrstandorte wurden zur Sicherheit vorgängig der Arbeiten von Spezialisten der Kampfmittelräumung des VBS mittels Metalldetektoren untersucht.

Für die Grundwasseruntersuchungen wurden drei Bohrungen abgeteuft und als Grundwassermessstellen mit einem 4,5"-Piezometer ausgebaut. Zudem wurden zur Grundwasserspiegelüberwachung die Bohrungen je mit einem Logger ausgestattet.

Die durchgeführten Untersuchungen wurde nach Absprache mit dem GSVBS mit dem Projekt „militärische Munitionsversenkungen in Schweizer Seen“ koordiniert.

8.2. Wasserproben, Wasseranalysen

In den drei neu erstellten Bohrungen im unmittelbaren Abstrom des ehemaligen Munitionsdepots Mitholz wurden je zwei Grundwasserproben entnommen. Die Probennahme erfolgte mittels einer dafür hergestellten Unterwasserpumpe und wurde gemäss den Vorgaben der Vollzugshilfe Grundwasserprobenahme (BUWAL, 2003) durchgeführt [12].

Als Ergänzung zu den Resultaten der Grundwasseruntersuchungen aus den neu erstellten Bohrungen wurden je zwei Grundwasserproben im weiteren Abstrom bzw. im vermutlich seitlichen Abstrom entnommen. Der Probenahmestandort im weiteren Abstrom befindet sich am südöstlichen Ufer des Blausees, wo ein unterirdischer Zulauf besteht (Fürtenquelle, Koordinaten: 617'403 / 153'477; vgl. Beilage 1). Die Probe aus dem seitlichen Abstrom wurde in einem Grundwasseraufstoss, dem so genannten „Rychenaufstoss“, entnommen (Koordinaten: 617'816 / 152'718; vgl. Beilage 1). Beide Proben, Fürtenquelle bzw. dem Rychenaufstoss, wurden auf Sprengstoffkomponenten analysiert.

| Ehemaliges Munitionsdepot Mitholz | | | | |
|--|---|-------------------------------------|-----------------------|--|
| Entnahmestandort | Anzahl Wasserproben und Probenahmedatum | Analyseparameter | Messtechnik | Bestimmungsgrenze |
| Bohrungen | 6 20. / 21. Juni 2011 20. Oktober 2011 | Sprengstoffe* | HPLC mit UV-Detektion | je nach Einzelstoff (0.1 µg/l, 0.5 µg/l oder 1 µg/l) |
| | | Blei Kupfer Nickel Antimon | ICPMS | 0.5 µg/l 1 µg/l 1 µg/l 1 µg/l |
| Quelle „Rychen-aufstoss“ 617'816 / 152'718) | 2 20. Juni 2011 20. Oktober 2011 | Sprengstoffe* | HPLC mit UV-Detektion | je nach Einzelstoff (0.1 µg/l, 0.5 µg/l oder 1 µg/l) |
| Fürtenquelle (617'403 / 153'477) | 2 21. Juni 2011 20. Oktober 2011 | Sprengstoffe* | HPLC mit UV-Detektion | je nach Einzelstoff (0.1 µg/l, 0.5 µg/l oder 1 µg/l) |

* TNT, Hexogen, Octogen, Nitropenta + Abbauprodukte, gemäss Bachema AG

Tab. 4: Analyseprogramm

9. Resultate

9.1. Bohrungen

9.1.1. Profilaufnahmen

Die Bohrung **RB1** befindet sich ca. 100 m nördlich des Schuttkegels unterhalb des ehemaligen Bahntunnelportals auf einer Höhe von 977.95 m ü. M. (vgl. Beilage 2). Der Aufbau des Untergrundes besteht bis in eine Tiefe von 20.30 m aus Murgangablagerungen aus dem östlichen Liefergebiet. Die einzelnen Schichteinheiten dürften unterschiedlichen Ereignissen entsprechen und erreichen eine Mächtigkeit von 0.5 – 3.5 m (vgl. Beilage 3.1). Die Ablagerungen bestehen aus leicht tonigem Silt mit unterschiedlichen Anteilen an Sand und ungerundeten Kieskomponenten. In einer Tiefe von 7 m musste ein in Murgangsämente eingelagerter Baumstrunk durchfahren werden und in 13.4 – 14 m Tiefe wurde in siltigem Kies eingebettet ein Block aus Kalkstein erbohrt. Unterhalb der Murgangsämente liegen in einer Tiefe von 20.30 – 26.25 m grundwasserführende Rinnensedimente aus Sand und Kies mit unterschiedlichem Siltgehalt. Darunter befindet sich bis in die Bohrtiefe von 30.5 m verschwemmte Moräne aus hart gelagertem, gering- bis undurchlässigem siltigem Feinsand mit wenig Kies und Steinen.

Die Bohrung **RB2** befindet sich ca. 27 m westlich von RB1 auf 974.32 m ü. M. Wie erwartet besteht auch bei RB2 der Untergrund bis in eine Tiefe von 19.10 m (955.22 m ü. M.) aus Murgangablagerungen, mit Schichtmächtigkeiten aus Einzelereignissen von durchschnittlich 1 – 2 m (vgl. Beilage 3.2). Eine über 4 m mächtige Ablagerung aus leicht siltigem Sand mit viel Kies in 14 – 18.2 m unter OKT bildet die Ausnahme. Im Unterschied zu RB1 befinden sich zwischen den Schichten aus leicht tonigen, siltigen Sanden mit unterschiedlichem Kiesgehalt vereinzelt dünne Torflagen, welche als Paläoboden interpretiert werden (8.9 – 9.2 m und 12.6 – 12.8 m unter OKT). Unterhalb der Murgangablagerung liegen Stillwassersedimente aus sauberen bis leicht siltigen Sanden, welche eine Schichtung im mm – cm – Bereich aufweisen. Ab einer Tiefe von 22.40 bis zum Bohrende bei 25.30 m unter OKT (951.92 m ü. M.) liegt auf der nahezu gleichen Meereshöhe wie in RB1 verschwemmte Moräne aus der Zeit der letzten Vergletscherung.

Die Bohrung **RB3** liegt ca. 20 m südlich der Bohrung RB2 und ca. 5 m nördlich des Bruchgrabens (vgl. Beilage 2). Die Murgangablagerungen erreichen eine Tiefe von bis 20.7 m unter OKT. Unter den Murgangablagerungen folgen Stillwassersedimente aus tonigen Siltten in Wechsellagerungen mit Sanden. Die verschwemmte Moräne liegt auf 947.75 m ü. M. und somit rund 4 m tiefer als bei von RB1 und RB2.

9.1.2. Grundwasser

Das Grundwasser in **RB1** befindet sich in einer Tiefe von 21 – 24.5 m (953.45 – 956.95 m ü. M.) in Rinnenfüllungen aus siltigem Fein – Mittelkies mit einer mittleren Durchlässigkeit von 8.2×10^{-5} m/s (vgl. Tabelle 5).

In **RB2** wurde das Grundwasser sowohl in einer Tiefe von 12.8 – 14 m unter OKT (960.32 – 961.52 m ü. M.) in einer locker gelagerten, sandigen Schicht als auch an der Basis der Murgangablagerungen bei 18.4 – 18.6 m unter OKT (955.72 – 955.92) erbohrt. Der untere Grundwasserleiter, welcher aus einem Silt mit Sand besteht, ist nur schlecht durchlässig und führt sehr wenig Wasser. Der obere, ca. 1.2 m mächtige Leiter hingegen weist eine mässige Durchlässigkeit von 1.5×10^{-5} m/s auf.

Die Bohrung **RB3** zeigt Vernässungen des Bohrmaterials in drei unterschiedlichen Tiefen. Die oberste, geringmächtige Schicht zwischen 965.95 – 966.25 m ü. M. sowie die mittlere Schicht zwischen 960.95 – 962.55 m ü. M. sind schlecht durchlässig und führen nur sehr wenig Wasser. Der unterste Grundwasserleiter aus sauberem bis leicht siltigem Kies führt ein gespanntes Grundwasser und weist, wie die beiden oberen, eine schlechte Durchlässigkeit (6.8×10^{-6} m/s) auf.

Alle drei Bohrungen wurden mit einem 4,5"-Piezometerrohr als Probenahmebrunnen eingerichtet. Die Verfilterung (Filterrohre) erfolgte jeweils in der Tiefe mit dem grössten Grundwasservorkommen. Über der verfilterten Strecke wurde um das Piezometerrohr Filterkies eingebaut, in welchem Grundwasser aus oberen, geringmächtigeren Schichten in die unteren verfilterten Bereiche geführt wird. So wird mit den Grundwasserprobenahmen sämtliches Grundwasser berücksichtigt. Ein Compaktonriegel über dem Filterkies verhindert das Eindringen von Oberflächenwasser entlang des Rohres.

| Bohrung | | RB1 | RB2 | RB3 |
|--|------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Terrainhöhe | m ü. M. | 977.95 | 974.32 | 973.55 |
| Grundwasservorkommen | m ü. M. | | | 965.95 – 966.25 |
| | | | 960.32 – 961.52 | 960.95 – 962.55 |
| | | 953.45 – 956.95 | 955.92 – 956.12 | 952.85 – 953.35 |
| | | | | 948.50 – 952.45 |
| Tiefe der Filterrohre | m ü. M. | 952.38 - 956.88 | 959.51 – 962.51 | 948.34 - 953.34 |
| Durchlässigkeit des ergiebigsten Grundwasserleiters | m/s | 8.2×10^{-5} | 1.5×10^{-5} | 6.8×10^{-6} |

Tab. 5: Grundwasservorkommen, Tiefe der Verfilterung und Durchlässigkeit des Grundwasserleiters in den Bohrungen RB1, RB2 und RB3

9.2. Grundwasserspiegelüberwachung

9.2.1. Loggerdaten

In den drei Bohrungen wurden zur Überwachung des Grundwasserspiegels am 8. April 2011 je eine Sonde (Datenlogger) eingebaut. Mit den Daten der Grundwasserspiegelmessungen und den Niederschlagsmengen der SMA-Stationen (Schweizerische Meteorologische Anstalt) Adelboden (1'320 m ü. M.) und Frutigen (752 m ü. M.) können Korrelationen des Grundwasserspiegels mit den Meteorwasserzuflüssen erkannt und in einen zeitlichen Zusammenhang gestellt werden. Die grundwasserführenden Schichten in den drei Bohrungen weisen Unterschiede in der Mächtigkeit und der Durchlässigkeit auf (vgl. Tabelle 5).

Der Grundwasserspiegelschwankungsbereich des gespannten Grundwassers in RB1 liegt in der Zeit vom 8. April 2011 bis 1. September 2011 bei ca. 3 m, wobei allgemein eine relativ starke Abhängigkeit zu den Niederschlagsmengen beobachtet werden kann. Beispielsweise stieg der Grundwasserspiegel in RB1 nach einem intensiven Regenereignis am 31. Mai oder 6. bis 10. Oktober 2011 innerhalb von wenigen Tagen um 1 bis 1.5 m an, wobei ein schneller Anstieg von ca. 0.4 m bereits nach ca. einem Tag erkennbar war. Von Ende Juli bis Mitte September 2011 war aufgrund der geringen Niederschlagsmengen ein stetiger Rückgang des Grundwasserspiegels um bisher ca. 1.5 m zu beobachten. Vom 6. bis 10. Oktober 2011 ereignete sich ein sehr intensives Regenereignis, welches über 100 mm Regen innerhalb von 5 Tagen brachte. Der Grundwasserspiegel reagierte mit einem kurzfristigen Anstieg von knapp 1.5 m.

Wie RB1 zeigt auch RB2 deutlich, dass der Grundwasserhaushalt stark von den Meteorwasserzuflüssen abhängig ist. Der Schwankungsbereich des leichten Druckspiegels liegt in der Zeit vom 8. April bis 1. September 2011 bei ca. 2 m. Der Anstieg des Grundwasserspiegels als Reaktion auf ein starkes Niederschlagsereignis folgt bereits innerhalb von 24 Stunden (31. Mai 2011, 13. Juli 2011). Auch Reaktionen auf kleinere Regenereignisse können im Grundwasserspiegel in RB2 beobachtet werden. Beim intensiven Regenereignis vom 6. bis 10. Oktober 2011 zeigte sich in RB2 ein Anstieg von nahezu 1.5 m.

Die Grundwasserspiegelschwankungen in RB3 vom 8. April bis 1. September 2011 sind im Vergleich zu den beiden anderen Bohrungen gering (weniger als 1 m). Bei starken Regenereignissen ist zwar ebenfalls ein Anstieg nach weniger als 2 Tagen erkennbar, diese fällt aber deutlich weniger deutlich aus als in den Bohrungen RB1 und RB2. Beim intensiven Regenereignis vom 6. bis 10. Oktober ist der starke Anstieg von 2.5 m mit grösster Wahrscheinlichkeit auf eine temporäre Überflutung der Bohrung und Undichtigkeiten in der Verschlusskappe zurückzuführen.

| | | RB1 | RB2 | RB3 |
|---|---------|-------------|-----------|-----------|
| Durchschnittlicher Grundwasser-Schwankungsbereich | m ü. M. | 964 – 967.5 | 962 - 964 | 958 - 959 |
| | m | ~3.5 | ~2 | ~1 |

Tab. 6: Grundwasser in den Bohrungen RB1, RB2 und RB3

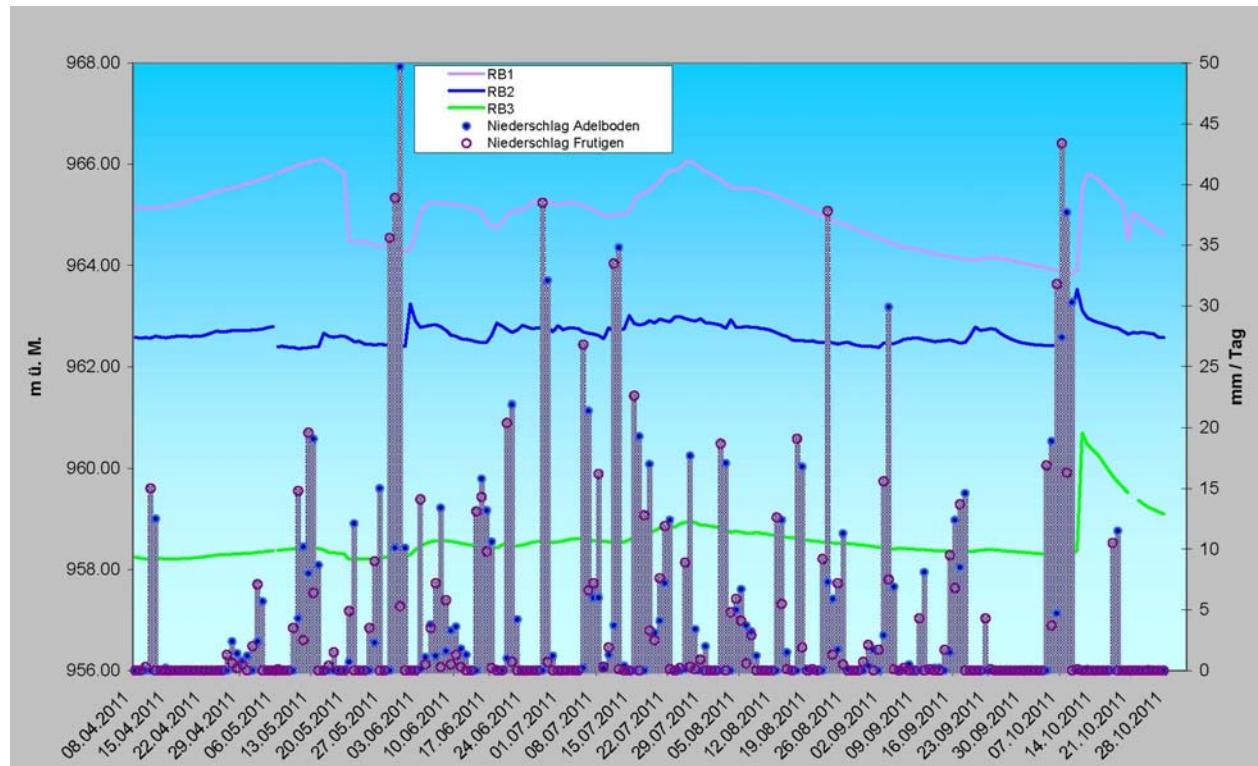


Abb. 1: Grundwasserspiegel in RB1, RB2 und RB3 im Vergleich zu den täglichen Niederschlagssummen in Frutigen und Adelboden.

9.3. Grundwasserprobenahme

9.3.1. Grundwasserspiegel zum Zeitpunkt der Probenahme

9.3.1.1. Bohrung RB1

Die erste Grundwasserprobe aus RB1 wurde am 20. Juni 2011 entnommen. Beim Transport ins Labor zerbrach jedoch die Probenahmeflasche für die Sprengstoffanalyse, so dass am 21. Juni 2011 eine Ersatzprobe entnommen werden musste (vgl. Tabelle 8). Der Grundwasserspiegel lag am 21. Juni 2011 bei 965.06 m ü. M. Die mit einem Logger aufgezeichneten Grundwasserspiegelschwankungen zeigen, dass die vorangegangene, dreitägige Regenperiode vom 16. – 18. Juni 2011 einen Anstieg des Grundwasserspiegels von ca. 1 m bewirkte. Dieser von Meteorwasser abhängige Anstieg konnte mit der Probenahme vom 21. Juni 2011 erfasst werden. Die zweite Grundwasserprobe wurde am 20. Oktober 2011 entnommen. Der Grundwasserspiegel lag zu diesem Zeitpunkt bei 966.32 m ü. M. und somit deutlich höher als bei der ersten Probenahme. Am 10. Oktober 2011, zehn Tage vor der Probenahme, verursachte ein intensives Regenereignis Überschwemmungen im Gebiet von Mitholz. Der Grundwasserspiegel stieg in dieser Zeit 1.5 m an. Der Einfluss dieser starken Regenfälle vom 6. bis 10. Oktober 2011 auf den Grundwasserspiegel war auch am Zeitpunkt der Probenahme noch zu erkennen. Ein weiteres Regenereignis wurde zudem am 19. Oktober 2011 ein Tag vor der Probenahme verzeichnet.

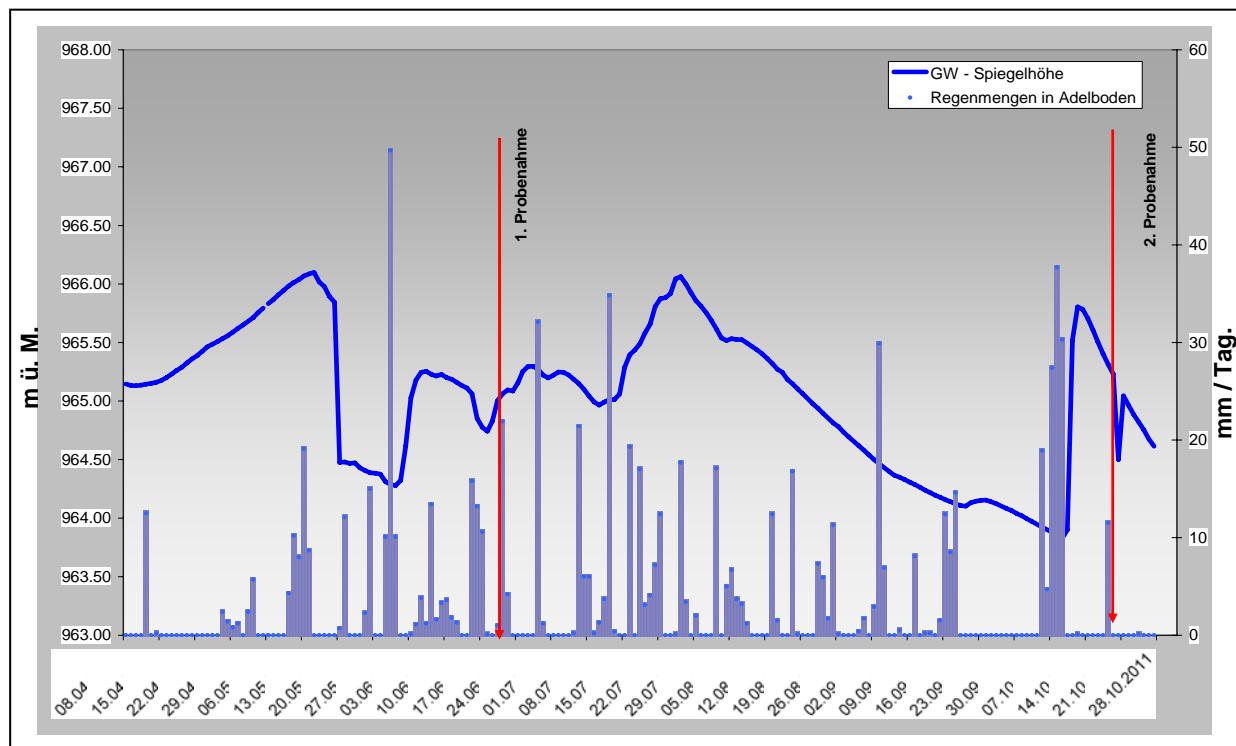


Abb. 2: Ganglinie des Grundwasserspiegels in RB1 im Vergleich mit den täglichen Regenmengen in Adelboden im Zeitraum vom 8. April bis 28. Oktober 2011.

m ü. M.

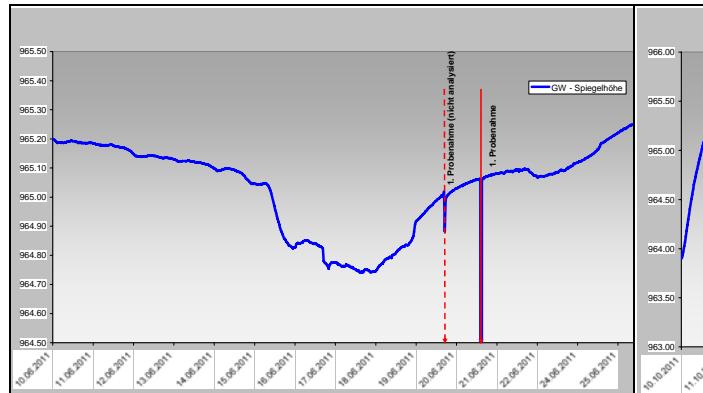


Abb. 3: Zeitpunkt der Probenahme in RB1 vom 21. Juni 2011 im Vergleich zum Grundwasserspiegel vom 10. – 25. Juni 2011

m ü. M.

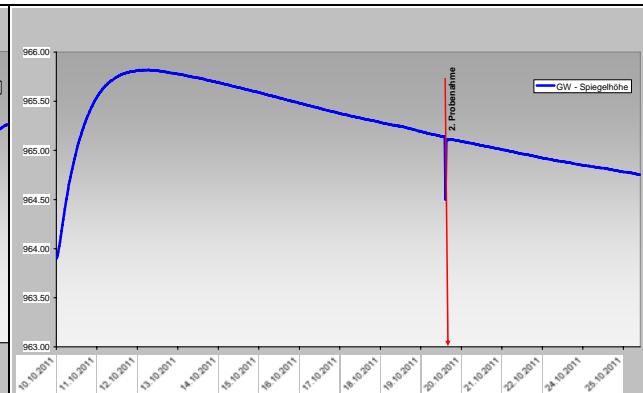


Abb. 4: Zeitpunkt der Probenahme in RB1 vom 20. Oktober 2011 im Vergleich zum Grundwasserspiegel vom 10. – 25. Oktober 2011

9.3.1.2. Bohrung RB2

Die erste Grundwasserprobe aus RB2 wurde am 20. Juni 2011 entnommen (vgl. Tabelle 8). Der Grundwasserspiegel lag bei 962.73 m ü. M. Der Grundwasserspiegel zeigt den Einfluss der vorangegangenen, dreitägigen Regenperiode vom 16. – 18. Juni 2011 mit einem Anstieg des Grundwasserspiegels von ca. 0.5 m, welcher mit der Probenahme vom 20. Juni 2011 erfasst wurde. Die zweite Grundwasserprobe wurde am 20. Oktober 2011 entnommen. Der Grundwasserspiegel lag zu diesem Zeitpunkt bei 962.65 m ü. M. Am 10. Oktober 2011, rund zehn Tage vor der Probenahme, verursachte ein intensives Regenereignis starke Überschwemmungen im Gebiet von Mitholz, welches den Grundwasserspiegel um knapp 1.5 m ansteigen liess. Einen Tag vor der Probenahme wurde ein weiteres Regenereignis verzeichnet.

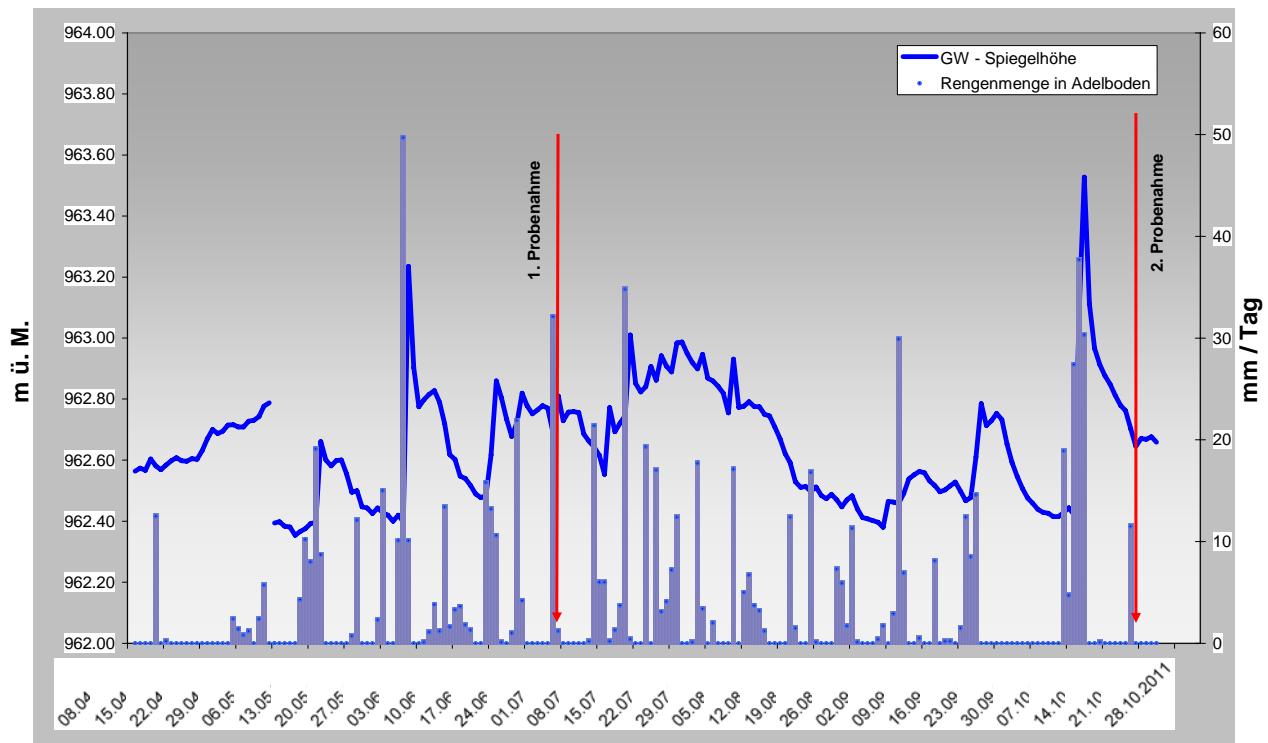
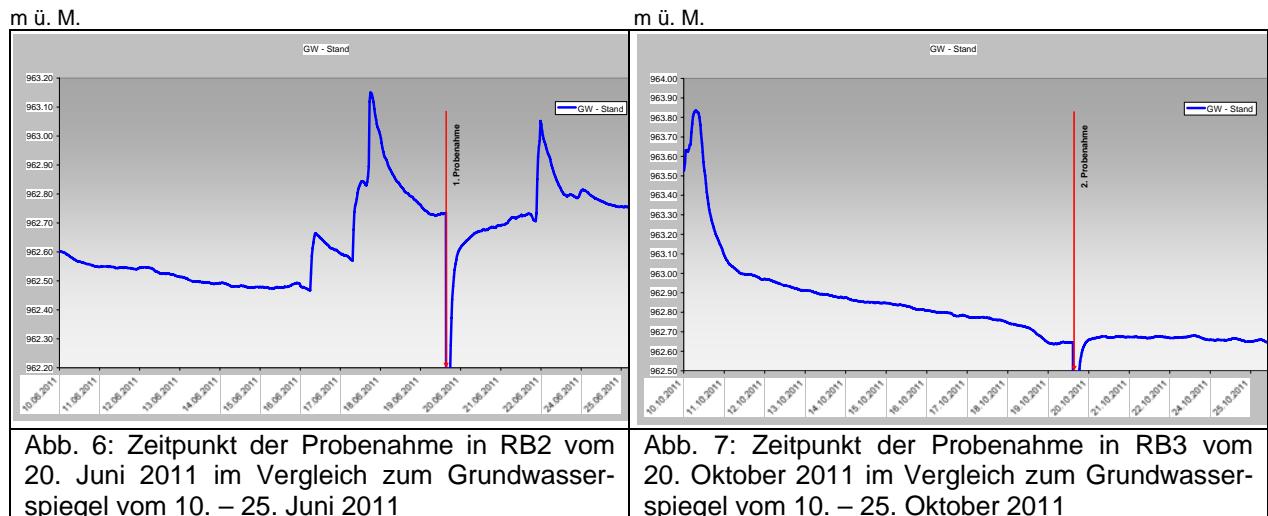


Abb. 5: Ganglinie des Grundwasserspiegels in RB2 im Vergleich mit den täglichen Regenmengen in Adelboden im der Zeit vom 8. April bis 28. Oktober 2011.



9.3.1.3. Bohrung RB3

Die erste Grundwasserprobe aus RB3 wurde am 20. Juni 2011 entnommen. Beim Transport ins Labor zerbrach jedoch die Probenahmeflasche für die Sprengstoffanalyse, so dass am 21. Juni 2011 eine Ersatzprobe entnommen werden musste (vgl. Tabelle 8). Der Grundwasserspiegel lag am 21. Juni 2011 bei 958.44 m ü. M.

Die Niederschlagsperiode vom 16. – 18. Juni 2011 verursachte in RB3 nur einen geringen Anstieg des Grundwasserspiegels von ca. 0.1 m, welcher mit der Probenahme erfasst wurde. Die zweite Grundwasserprobe aus RB3 wurde am 20. Oktober 2011 entnommen. Der Grundwasserspiegel lag zu diesem Zeitpunkt bei 959.54 m ü. M. und damit über 1 m höher als bei der ersten Probenahme. Das intensive Regenereignis vom 6. - 10. Oktober 2011 verursachte Überschwemmungen im Gebiet von Mitholz und überschwemmte auch die Bohrung RB3, was den gemessenen Anstieg des Grundwasserspiegels von 2.5 m erklärt.

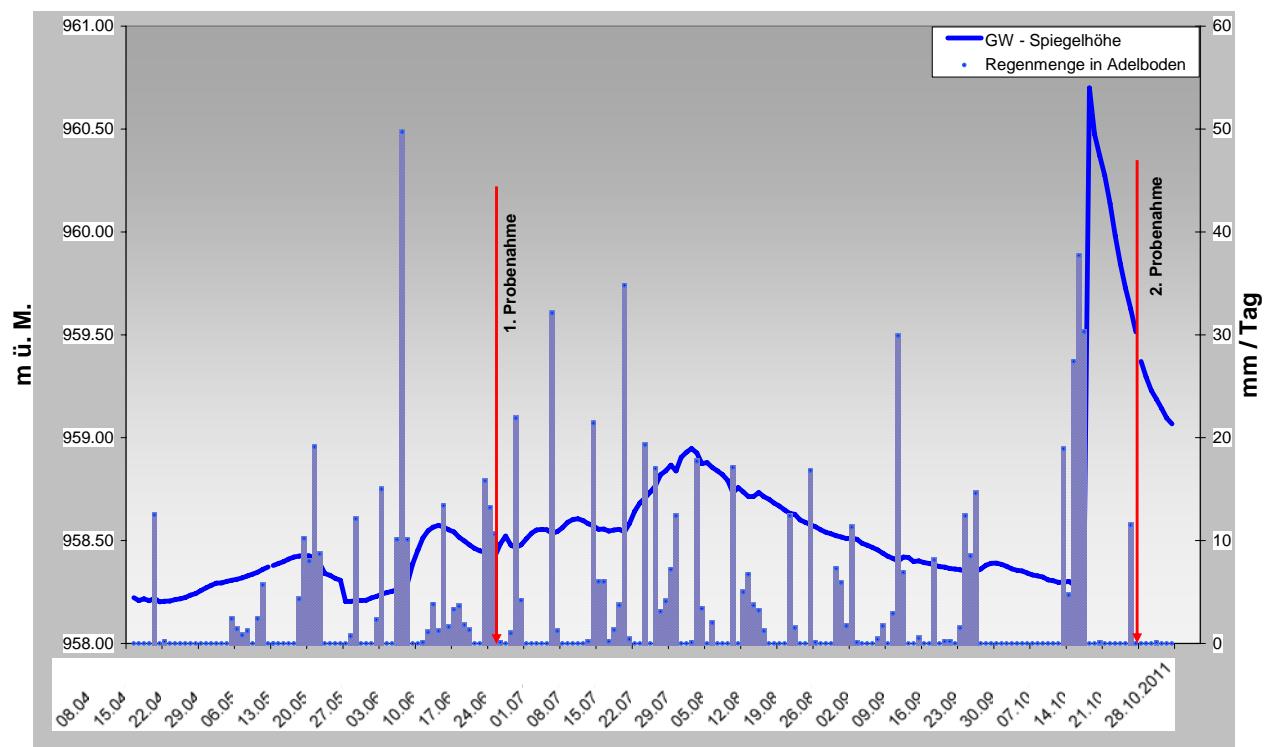


Abb. 8: Ganglinie des Grundwasserspiegels in RB3 im Vergleich mit den täglichen Regenmengen in Adelboden im Zeitraum vom 8. April bis 28. Oktober 2011.

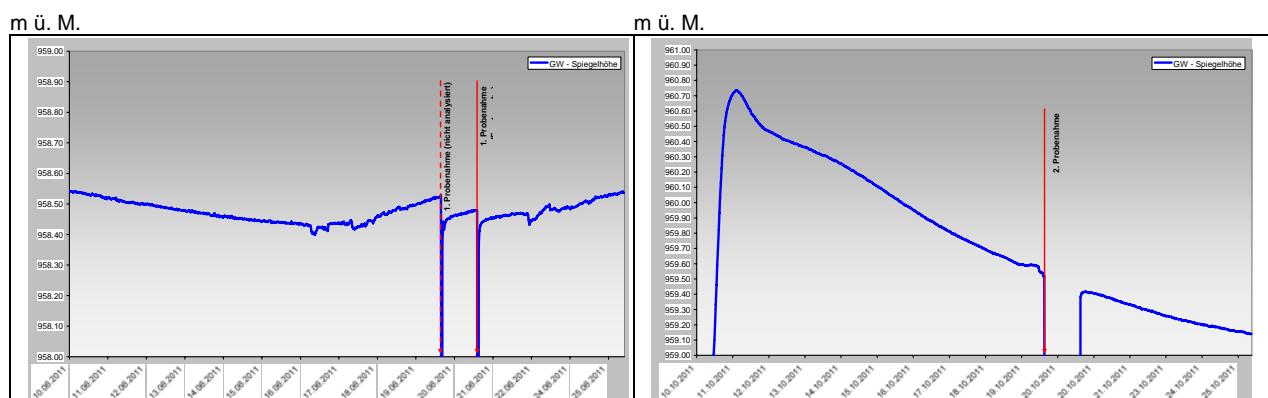


Abb. 9: Zeitpunkt der Probenahme in RB3 vom 21. Juni 2011 im Vergleich zur Grundwasserspiegelhöhe vom 10. – 25. Juni 2011

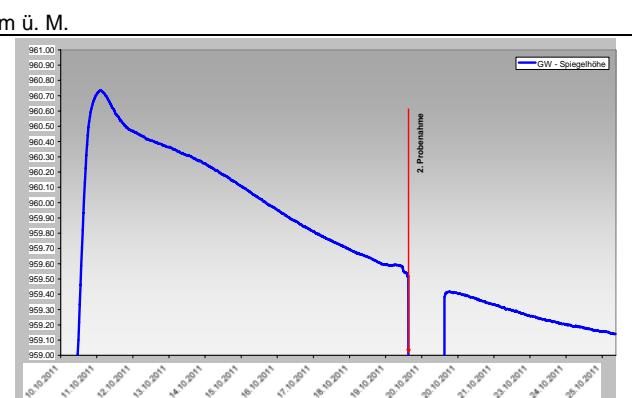


Abb. 10: Zeitpunkt der Probenahme in RB3 vom 20. Oktober 2011 im Vergleich zum Grundwasserspiegel vom 10. – 25. Oktober 2011

9.3.2. Analyseresultate

In den Grundwasseranalysen aus den Bohrungen RB1, RB2 und RB3 konnten weder im Juni 2011 noch im Oktober 2011 Sprengstoffrückstände nachgewiesen werden. Jedoch wurde eine Beeinträchtigung des Grundwassers durch geringe Konzentrationen von Schwermetallen festgestellt. Am 20. Juni 2011 wurden Blei, Kupfer, Nickel und Antimon lediglich im sauerstoffarmen Grundwasser aus RB2 nachgewiesen. Am 20. Oktober 2011 wurden Schwermetalle in allen drei Bohrungen gemessen. Die Konzentrationen sind nur gering. Sie zeigen jedoch, dass eine Auswaschung von Schadstoffen stattfindet, welche mit grösster Wahrscheinlichkeit aus dem verschütteten Bereich des ehemaligen Munitionsdepots stammen.

Im Grundwasseraufstoss „Rychenaufstoss“ und am südlichen Ufer des Blausees, wo sich die Fürtenquelle als unterirdischen Zulauf zum See befindet, konnten keine Sprengstoffe festgestellt werden. Schwermetalle wurden nicht analysiert.

| | RB1 | | RB2 | | RB3 | | „Rychenaufstoss“ | | Fürtenquelle | | AltIV-Konz.-wert [mg/l] | FIV-Grenzwert [mg/l] | TWG-Grenzwert [mg/l] |
|---------------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|------------------|---------|--------------|---------|----------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | 21. Juni | 20. Okt | 20. Juni | 20. Okt | 21. Juni | 20. Okt | 20. Juni | 20. Okt | 20. Juni | 20. Okt | | | |
| TNT | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | *0.010 | | 0.011 |
| Dinitrobenzol | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | | 0.004 |
| Hexogen | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | | 0.003 |
| Nitropentan | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | | |
| Perchloration | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | | | 0.02 |
| Zink | - | - | - | - | - | - | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | 5 | 5 | |
| Blei | - | - | 0.0018 | - | - | 0.0005 | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | 0.05 | 0.01 | |
| Kupfer | - | 0.002 | 0.006 | - | - | 0.001 | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | 1.5 | 1.5 | |
| Nickel | - | 0.001 | 0.012 | 0.004 | - | 0.001 | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | 0.7 | - | |
| Antimon | - | - | 0.001 | - | - | - | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | 0.01 | 0.005 | 0.014 |

AltIV = Altlastenverordnung; FIV = Fremd- und Inhaltsstoffverordnung; TWG = Trinkwassergrenzwert gemäss [10]

* von BUWAL festgelegter Wert,

(n.a.) = nicht analysiert, (-) = nicht nachweisbar

Tab. 7: Konzentrations- und Grenzwerte der umweltrelevanten Stoffe im Grund- und Quellwasser am 20. / 21. Juni 2011 und 20. Oktober 2011

| Probenahmestandort | Datum | Leitfähigkeit (μ S/cm) | pH | O_2 | T (°C) |
|--------------------|------------|--------------------------------|------|-------|--------|
| RB1 | 21.06.2011 | 555 | 7.17 | 3.88 | 9.9 |
| | 20.10.2011 | 549 | 7.21 | 4.50 | 9.5 |
| RB2 | 20.06.2011 | 842 | 6.75 | 0.52 | 10.0 |
| | 20.10.2011 | 590 | 7.04 | 1.41 | 9.4 |
| RB3 | 21.06.2011 | 556 | 7.25 | 0.71 | 9.6 |
| | 20.10.2011 | 553 | 7.60 | 1.37 | 9.1 |
| Fürtenquelle | 21.06.2011 | 364 | 7.09 | 5.23 | 8.1 |
| | 20.10.2011 | 390 | 7.88 | 10.8 | 9.0 |
| Rychenaufstoss | 20.06.2011 | 340 | 6.95 | 5.23 | 8.5 |
| | 20.10.2011 | 336 | 7.25 | 3.40 | 8.1 |

Tab. 8: Feldparameter der Grundwasserbeprobung

9.4. Zusammenfassung der Resultate

Aus den Aufnahmen der Bohrungen und den Resultaten der Grundwasseranalysen können folgende Erkenntnisse festgehalten werden:

- Im Grundwasser in den Bohrungen RB1 – RB3 und im Hauptgrundwasserleiter („Rychenaufstoss“, Fürtenquelle) des Kandertal konnten keine Sprengstoffe nachgewiesen werden.
- Im Grundwasser konnten in allen drei Bohrungen geringe Schwermetallgehalte nachgewiesen werden. Die Schadstoffkonzentrationen liegen nur geringfügig über der Nachweisgrenze.
- Die Grundwasser führenden Schichten weisen generell eine schlechte Durchlässigkeit auf.
- Der Untergrund im Bereich der Bohrungen besteht bis in eine Tiefe von 20 – 25 m aus Murgangablagerungen und Rinnenfüllungen. Darunter liegt verschwemmte Moräne der letzten Vergletscherung.

10. Diskussion

Die Grundwasserproben haben gezeigt, dass lediglich geringe Konzentrationen an Schwermetallen ausgewaschen werden, welche mit grösster Wahrscheinlichkeit aus dem Bereich des ehemaligen Munitionsdepots stammen. Sprengstoffe wurden im Grundwasser nicht nachgewiesen. Die Beeinträchtigung des Grundwassers kann demzufolge als unbedeutend bezeichnet werden.

Der Standort des ehemaligen Munitionsdepots Mitholz weist gemäss den Daten aus der historischen Untersuchung [14] ein ausserordentlich hohes Schadstoffpotenzial auf (u. a. ca. 320 Tonnen TNT). Dass im Grundwasser im Abstrom keine Sprengstoffe nachgewiesen werden konnten, kann unterschiedliche Gründe haben:

- Die Sprengstoffe sind bereits vollständig ausgewaschen.
- Es existieren andere Ausbreitungspfade.
- Die Sprengstoffe sind noch durch Ihre Verpackung (Metallgehäuse) geschützt.
- Es kommt deutlich weniger Kluft- oder Meteorwasser mit Schadstoffen in Kontakt als bisher vermutet.

Eine bereits vollständige Auswaschung von ca. 320 Tonnen TNT innerhalb von 60 Jahren ist kaum wahrscheinlich. Dies hätte wohl zu deutlich höheren Konzentrationen an Sprengstoffrückständen im Thunersee geführt als bisher nachgewiesen werden konnte.

Die Auswaschung von Sprengstoffen über andere Ausbreitungspfade ist nicht vollständig ausgeschlossen. Allerdings konnte weder beim Rychenaufstoss noch bei der Fürtenquelle Sprengstoffe nachgewiesen werden, welche mit den Bohrungen nicht erfasst worden wären.

Der anhaltende Schutz der Sprengstoffe durch die Verpackung (Metallgehäuse) kann eher als Begründung gelten. Gemäss den Kenntnissen aus der historischen Untersuchung und der Begehung eines Teils des verschütteten alten Bahntunnels dürfte dies aber nur bei einem Teil der Munitionsrückstände zutreffen. Als plausibelste Begründung für die fehlende Nachweisbarkeit der Sprengstoffe kann zweifellos die fehlende oder geringe Auswaschung genannt werden. Ursprünglich wurde davon ausgegangen, dass 30 l/min Kluft- und Meteorwasser mit den Munitionsrückständen in Kontakt kommen und Schadstoffe ins Grundwasser transportieren. Diese Annahme muss gemäss den aktuellen Ergebnissen nun korrigiert werden. Die mit den Sprengstoffrückständen in Kontakt stehende Wassermenge beträgt maximal wenige Liter pro Minute.

11. Empfehlungen

Das ausserordentlich hohe Schadstoffpotenzial beim ehemaligen Munitionsdepot Mitholz ist weiterhin vorhanden. Eine erhöhte Auswaschung durch Kluft oder Meteorwasser ist jedoch unter den heutigen geologischen und hydrogeologischen Verhältnissen nicht zu erwarten. Deshalb drängen sich zurzeit keine weiteren Untersuchungen auf. Die Menge an dem mit Sprengstoffrückständen in Kontakt tretende Kluft- und Meteorwasser dürfte nur zunehmen, wenn exogene Prozesse wie Hangmuren, Hangrutsche, Felsstürze oder Kluftöffnungen im Fels zu Veränderungen der geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse führen.

Eine spezifische Überwachung des Standortes des ehemaligen Munitionsdepots ist nicht notwendig. Wir empfehlen jedoch, im Rahmen der Untersuchungen zu den Munitionsrückständen im Thunersee die Schadstoffkonzentrationen im Grundwasser bei Blausee regelmässig (alle 5 – 10 Jahre) auf Sprengstoffe zu überprüfen. Erst wenn in diesen Analysen deutliche Veränderungen der Schadstoffkonzentrationen erkennbar sind, dürften weitere Untersuchungen des ehemaligen Munitionsdepots erforderlich werden.

12. Schlussbemerkung

Dieses Gutachten wurde im Auftrag der armauisse zur technischen Untersuchung des ehemaligen Munitionsdepots Mitholz erstellt. Die vorgenannten Angaben und Folgerungen beziehen sich somit ausschliesslich auf das vorliegende Projekt.

Bedeutende Änderungen am Standort bedingen eine Neubeurteilung. Wird das Gutachten zudem für andere Zwecke verwendet, wird jede Haftung abgelehnt. Die Haftung wird auch gegenüber anderen Personen als den Auftraggebern vollumfänglich abgelehnt.

KELLERHALS + HAEFELI AG

Dr. U. Gruner

Dr. J. Wanner

Projektbearbeiter: J. Jakob, dipl. Geologe

Bern, 23. Januar 2012
JA/st 7031

Anhang 1

Laborberichte Bachema AG

Schlieren, 28. Juni 2011
Ho/DTKellerhals + Haefeli AG
Geologen
Kapellenstrasse 22
3011 BernEINGEGANGEN
29. Juni 2011


Untersuchungsbericht

Objekt: Nr. 7031, ehem. Munitionsdepot Mitholz

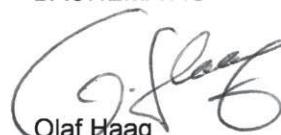
Bachema AG
Rütistrasse 22
Postfach
CH-8952 Schlieren

Telefon +41 44 738 39 00
Telefax +41 44 738 39 90
info@bachema.ch
www.bachema.ch

Chemisches und
mikrobiologisches
Labor für
die Prüfung von
Umweltproben
(Wasser,
Boden, Abfälle)
Akkreditiert nach
ISO 17025/STS
Nr.064

| | |
|-----------------------------|---|
| Auftrags-Nr. Bachema | 20113867 |
| Proben-Nr. Bachema | 18347-18350, 18552-18554 |
| Tag der Probenahme | 20. Juni 2011 - 21. Juni 2011 |
| Eingang Bachema | 21. Juni 2011 - 22. Juni 2011 |
| Probenahmeort | Mitholz |
| Entnommen durch | J. Jakob, Kellerhals + Haefeli AG Dr. J. Wanner, Kellerhals + Haefeli AG |

| | |
|------------------------------|--|
| Auftraggeber | Kellerhals + Haefeli AG, Geologen, 3011 Bern |
| Rechnungsadresse | Kellerhals + Haefeli AG, Geologen, 3011 Bern |
| Bericht an | Kellerhals + Haefeli AG, Geologen, J. Jakob, 3011 Bern |
| Bericht per e-mail an | Kellerhals + Haefeli AG, J. Jakob, juerg.jakob@k-h.ch |

Freundliche Grüsse
BACHEMA AG
Olaf Haag
Dipl. Natw. ETH

Objekt:
Auftraggeber:
Auftrags-Nr. Bachema:

Nr. 7031, ehem. Munitionsdepot Mitholz
Kellerhals + Haefeli AG
20113867

Probenübersicht

| Bachema-Nr. | Probenbezeichnung | Probenahme / Eingang Labor |
|-------------|---------------------|----------------------------|
| 18347 | W RB1-1 | 20.06.11 / 21.06.11 |
| 18348 | W RB2-1 | 20.06.11 / 21.06.11 |
| 18349 | W RB3-1 | 20.06.11 / 21.06.11 |
| 18350 | W R1 Rychenaufstoss | 20.06.11 / 21.06.11 |
| 18552 | W RB1-1 | 21.06.11 / 22.06.11 |
| 18553 | W RB3-1 | 21.06.11 / 22.06.11 |
| 18554 | W F1 | 21.06.11 / 22.06.11 |

Legende zu den Referenzwerten

Bachema AG
Rütistrasse 22
Postfach
CH-8952 Schlieren

Telefon
+41 44 738 39 00
Telefax
+41 44 738 39 90
info@bachema.ch
www.bachema.ch

Chemisches und
mikrobiologisches
Labor für
die Prüfung von
Umweltproben
(Wasser,
Boden, Abfall)

Akkreditiert nach
ISO 17025/STS
Nr.064

| | |
|---|---|
| AltIV Konz.-Wert | Konzentrationswert für Eluate aus Altlasten, Verordnung über die Sanierung von belasteten Standorten, Altlastenverordnung (AltIV). |
| Indikatorwert GW unbeeinfl. BAFU | Indikatorwert für antropogen nicht beeinflusstes Grundwasser nach der Wegleitung für Grundwasserschutz (BUWAL, heute BAFU). Werte nach dem Plus- Zeichen (+) bedeuten höchstens den Zahlenwert höher als der naturnahe Zustand. |

Abkürzungen

| | |
|----|--|
| W | Wasserprobe |
| F | Feststoffprobe |
| TS | Trockensubstanz |
| < | Bei den Messresultaten ist der Wert nach dem Zeichen < (kleiner als) die Bestimmungsgrenze der entsprechenden Methode. |
| * | Die mit * bezeichneten Analysen fallen nicht in den akkreditierten Bereich der Bachema AG oder sind Fremdmessungen. |

Akkreditierung

Auszugsweise Vervielfältigung der Analysenresultate sind nur mit Genehmigung der Bachema AG gestattet.
Detailinformationen zu Messmethode, Messunsicherheiten und Prüfdaten sind auf Anfrage erhältlich (s. auch Dienstleistungsverzeichnis oder www.bachema.ch).

Objekt:
Auftraggeber:
Auftrags-Nr. Bachema:

Nr. 7031, ehem. Munitionsdepot Mitholz
Kellerhals + Haefeli AG
20113867

| Probenbezeichnung | F1 | RB1-1 | RB1-1 | RB2-1 | Indikatorwert GW unbeeinfl. BAFU | AltIV Konz.-Wert |
|--|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|---|---------------------|
| Proben-Nr. Bachema Tag der Probenahme | 18554 21.06.11 | 18347 20.06.11 | 18552 21.06.11 | 18348 20.06.11 | | |
| Feldparameter | | | | | | |
| Abstich Oberkante Rohr | m OKR | | 12.80 | | 11.40 | |
| Vorpumpmenge / Vorlauf | L | | 400 | | 200 | |
| Entnahmetiefe | m | | 22.00 | | 14.00 | |
| Temperatur (Feld)* | °C | 8.1 | 9.9 | 9.6 | 10.0 | +/- 3 |
| Leitfähigkeit (Feld 20°C)* | µS/cm | 364 | | 556 | | |
| Leitfähigkeit (Feld 25°C)* | µS/cm | | 600 | | 842 | |
| Elemente und Schwermetalle | | | | | | |
| Antimon (gelöst) ICP-MS | mg/L Sb | | <0.001 | | 0.001 | 0.01 |
| Blei (gelöst) ICP-MS | mg/L Pb | | <0.0005 | | 0.0018 | 0.001 |
| Kupfer (gelöst) ICP-MS | mg/L Cu | | <0.001 | | 0.006 | 0.002 |
| Nickel (gelöst) ICP-MS | mg/L Ni | | <0.001 | | 0.012 | 0.005 |
| Sprengstoffe | | | | | | |
| 4-Amino-2,6-Dinitrotoluol | µg/L | <0.1 | | <0.1 | <0.1 | 0.5 (Summe) |
| 2-Amino-4,6-Dinitrotoluol | µg/L | <0.1 | | <0.1 | <0.1 | 0.5 (Summe) |
| 2,6-Diamino-4-Nitrotoluol | µg/L | <0.1 | | <0.1 | <0.1 | 0.5 (Summe) |
| 2,4-Diamino-6-Nitrotoluol | µg/L | <0.1 | | <0.1 | <0.1 | 0.5 (Summe) |
| 1,3-Dinitrobenzol | µg/L | <0.2 | | <0.2 | <0.2 | 0.5 (Summe) |
| 2,4-Dinitrotoluol | µg/L | <0.1 | | <0.1 | <0.1 | 0.5 (Summe) |
| 2,6-Dinitrotoluol | µg/L | <0.1 | | <0.1 | <0.1 | 0.5 (Summe) |
| Diphenylamin | µg/L | <0.1 | | <0.1 | <0.1 | |
| EGDN | µg/L | <1 | | <1 | <1 | |
| Hexogen (RDX) | µg/L | <0.1 | | <0.1 | <0.1 | |
| Nitroglycerin | µg/L | <1 | | <1 | <1 | |
| N-Nitrosodiphenylamin | µg/L | <1 | | <1 | <1 | |
| Octogen (HMX) | µg/L | <0.1 | | <0.1 | <0.1 | |
| PETN | µg/L | <0.1 | | <0.1 | <0.1 | |
| Tetryl | µg/L | <0.1 | | <0.1 | <0.1 | 0.5 (Summe) |
| 1,3,5-Trinitrobenzol | µg/L | <0.1 | | <0.1 | <0.1 | 0.5 (Summe) |
| 2,4,6-Trinitrotoluol (TNT) | µg/L | <0.1 | | <0.1 | <0.1 | 0.5 (Summe) 10 BAFU |

Bachema AG
Rütistrasse 22
Postfach
CH-8952 Schlieren

Telefon
+41 44 738 39 00
Telefax
+41 44 738 39 90
info@bachema.ch
www.bachema.ch

Chemisches und
mikrobiologisches
Labor für
die Prüfung von
Umweltproben
(Wasser,
Boden, Abfall)
Akkreditiert nach
ISO 17025/STS
Nr.064

Objekt:
Auftraggeber:
Auftrags-Nr. Bachema:

Nr. 7031, ehem. Munitionsdepot Mitholz
Kellerhals + Haefeli AG
20113867

| Probenbezeichnung | RB3-1 | RB3-1 | R1 Rychen-aufstoss | | Indikatorwert GW unbeeinfl. BAFU | AltIV Konz.-Wert |
|--|-------------------|-------------------|--------------------|----------------|---|---------------------|
| Proben-Nr. Bachema Tag der Probenahme | 18349 20.06.11 | 18553 21.06.11 | 18350 20.06.11 | | | |
| Feldparameter | | | | | | |
| Abstich Oberkante Rohr | m OKR | 14.80 | | | | |
| Vorpumpmenge / Vorlauf | L | 200 | | | | |
| Entnahmetiefe | m | 23.00 | | | | |
| Temperatur (Feld)* | °C | 10.2 | 9.9 | 8.5 | | +/- 3 |
| Leitfähigkeit (Feld 20°C)* | µS/cm | | 555 | | | |
| Leitfähigkeit (Feld 25°C)* | µS/cm | 607 | | | | |
| Elemente und Schwermetalle | | | | | | |
| Antimon (gelöst) ICP-MS | mg/L Sb | <0.001 | | | | 0.01 |
| Blei (gelöst) ICP-MS | mg/L Pb | <0.0005 | | | | 0.05 |
| Kupfer (gelöst) ICP-MS | mg/L Cu | <0.001 | | | | 1.5 |
| Nickel (gelöst) ICP-MS | mg/L Ni | <0.001 | | | | 0.002 |
| | | | | | | 0.005 |
| | | | | | | 0.7 |
| Sprengstoffe | | | | | | |
| 4-Amino-2,6-Dinitrotoluol | µg/L | | <0.1 | <0.1 | | 0.5 (Summe) |
| 2-Amino-4,6-Dinitrotoluol | µg/L | | <0.1 | <0.1 | | 0.5 (Summe) |
| 2,6-Diamino-4-Nitrotoluol | µg/L | | <0.1 | <0.1 | | 0.5 (Summe) |
| 2,4-Diamino-6-Nitrotoluol | µg/L | | <0.1 | <0.1 | | 0.5 (Summe) |
| 1,3-Dinitrobenzol | µg/L | | <0.2 | <0.2 | | 0.5 (Summe) |
| 2,4-Dinitrotoluol | µg/L | | <0.1 | <0.1 | | 0.5 (Summe) |
| 2,6-Dinitrotoluol | µg/L | | <0.1 | <0.1 | | 0.5 (Summe) |
| Diphenylamin | µg/L | | <0.1 | <0.1 | | |
| EGDN | µg/L | | <1 | <1 | | |
| Hexogen (RDX) | µg/L | | <0.1 | <0.1 | | |
| Nitroglycerin | µg/L | | <1 | <1 | | |
| N-Nitrosodiphenylamin | µg/L | | <1 | <1 | | |
| Octogen (HMX) | µg/L | | <0.1 | <0.1 | | |
| PETN | µg/L | | <0.1 | <0.1 | | |
| Tetryl | µg/L | | <0.1 | <0.1 | | 0.5 (Summe) |
| 1,3,5-Trinitrobenzol | µg/L | | <0.1 | <0.1 | | 0.5 (Summe) |
| 2,4,6-Trinitrotoluol (TNT) | µg/L | | <0.1 | <0.1 | | 0.5 (Summe) |
| | | | | | | 10 BAFU |

Bachema AG
Rütistrasse 22
Postfach
CH-8952 Schlieren

Telefon
+41 44 738 39 00
Telefax
+41 44 738 39 90
info@bachema.ch
www.bachema.ch

Chemisches und
mikrobiologisches
Labor für
die Prüfung von
Umweltproben
(Wasser,
Boden, Abfall)
Akkreditiert nach
ISO 17025/STS
Nr.064

Schlieren, 26. Oktober 2011
Ho/DTKellerhals + Haefeli AG
Geologen
Kapellenstrasse 22
3011 Bern

Untersuchungsbericht

Objekt: Nr. 7031, ehem. Munitionsdepot Mitholz

Bachema AG
Rütistrasse 22
Postfach
CH-8952 Schlieren

Telefon
+41 44 738 39 00
Telefax
+41 44 738 39 90
info@bachema.ch
www.bachema.ch

Chemisches und
mikrobiologisches
Labor für
die Prüfung von
Umweltproben
(Wasser,
Boden, Abfall)
Akkreditiert nach
ISO 17025/STS
Nr.064

| | |
|------------------------------|--|
| Auftrags-Nr. Bachema | 20116827 |
| Proben-Nr. Bachema | 34682-34685, 34689 |
| Tag der Probenahme | 20. Oktober 2011 |
| Eingang Bachema | 21. Oktober 2011 |
| Probenahmeort | Mitholz |
| Entnommen durch | J. Jakob, Kellerhals + Haefeli AG |
| Auftraggeber | Kellerhals + Haefeli AG, Geologen, 3011 Bern |
| Rechnungsadresse | Kellerhals + Haefeli AG, Geologen, 3011 Bern |
| Bericht an | Kellerhals + Haefeli AG, Geologen, J. Jakob, 3011 Bern |
| Bericht per e-mail an | Kellerhals + Haefeli AG, J. Jakob, juerg.jakob@k-h.ch |

Freundliche Grüsse
BACHEMA AG


Olaf Haag
Dipl. Natw. ETH

Objekt: **Nr. 7031, ehem. Munitionsdepot Mitholz**
Auftraggeber: Kellerhals + Haefeli AG
Auftrags-Nr. Bachema: 20116827

Probenübersicht

| Bachema-Nr. | Probenbezeichnung | Probenahme / Eingang Labor |
|-------------|-----------------------|----------------------------|
| 34682 W | RB2-1 | 20.10.11 / 21.10.11 |
| 34683 W | RB3-1 | 20.10.11 / 21.10.11 |
| 34684 W | Rychenaufstoss | 20.10.11 / 21.10.11 |
| 34685 W | Fürtenquelle | 20.10.11 / 21.10.11 |
| 34689 W | RB1-1 | 20.10.11 / 21.10.11 |

Legende zu den Referenzwerten

| | |
|---------------|---|
| AltIV | Konzentrationswert für Eluate aus Altlasten, Verordnung über die Sanierung von belasteten Standorten, Altlastenverordnung (AltIV). |
| Konz.-Wert | |
| Indikatorwert | |
| GW | |
| unbeeinfl. | |
| BAFU | Indikatorwert für antropogen nicht beeinflusstes Grundwasser nach der Wegleitung für Grundwasserschutz (BUWAL, heute BAFU). Werte nach dem Plus- Zeichen (+) bedeuten höchstens den Zahlenwert höher als der naturnahe Zustand. |

Abkürzungen

| | |
|----|--|
| W | Wasserprobe |
| F | Feststoffprobe |
| TS | Trockensubstanz |
| < | Bei den Messresultaten ist der Wert nach dem Zeichen < (kleiner als) die Bestimmungsgrenze der entsprechenden Methode. |
| * | Die mit * bezeichneten Analysen fallen nicht in den akkreditierten Bereich der Bachema AG oder sind Fremdmessungen. |

Akkreditierung

| | |
|--|--|
| <p>S SCHWEIZERISCHER PRÜFSTELLENDIENST T SERVICE SUISSE D'ESSAI S SERVIZIO DI PROVA IN SVIZZERA S SWISS TESTING SERVICE, STS-Nr. 064</p> <p>ASSOCIATION OF SWISS LABORATORIES VERBUND SCHWEIZER LABORATORIEN ASSOCIATION DES LABORATOIRES SUISSES ASSOCIAZIONE DEI LABORATORI SVIZZERI</p> | Auszugsweise Vervielfältigung der Analysenresultate sind nur mit Genehmigung der Bachema AG gestattet. Detailinformationen zu Messmethode, Messunsicherheiten und Prüfdaten sind auf Anfrage erhältlich (s. auch Dienstleistungsverzeichnis oder www.bachema.ch). |
|--|--|

Objekt:
Auftraggeber:
Auftrags-Nr. Bachema:

Nr. 7031, ehem. Munitionsdepot Mitholz
Kellerhals + Haefeli AG
20116827

| Probenbezeichnung | RB1-1 | RB2-1 | RB3-1 | | Indikatorwert GW unbeeinfl. BAFU | AltIV Konz.-Wert |
|--|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|---|---------------------|
| Proben-Nr. Bachema Tag der Probenahme | 34689 20.10.11 | 34682 20.10.11 | 34683 20.10.11 | | | |
| Feldparameter | | | | | | |
| Abstich Oberkante Rohr | m OKR | 12.65 | 11.48 | 13.76 | | |
| Vorpumpmenge / Vorlauf | L | 375 | 100 | 210 | | |
| Entnahmetiefe | m | 22.00 | 14.00 | 22.00 | | |
| Temperatur (Feld)* | °C | 9.5 | 9.4 | 9.1 | | |
| Leitfähigkeit (Feld 25°C)* | µS/cm | 549 | 590 | 553 | +/- 3 | |
| Elemente und Schwermetalle | | | | | | |
| Antimon (gelöst) ICP-MS | mg/L Sb | <0.001 | <0.001 | <0.001 | | 0.01 |
| Blei (gelöst) ICP-MS | mg/L Pb | <0.0005 | <0.0005 | 0.0005 | 0.001 | 0.05 |
| Kupfer (gelöst) ICP-MS | mg/L Cu | 0.002 | <0.001 | 0.001 | 0.002 | 1.5 |
| Nickel (gelöst) ICP-MS | mg/L Ni | 0.001 | 0.004 | 0.002 | 0.005 | 0.7 |
| Sprengstoffe | | | | | | |
| 4-Amino-2,6-Dinitrotoluol | µg/L | <0.1 | <0.1 | <0.1 | | 0.5 (Summe) |
| 2-Amino-4,6-Dinitrotoluol | µg/L | <0.1 | <0.1 | <0.1 | | 0.5 (Summe) |
| 2,6-Diamino-4-Nitrotoluol | µg/L | <0.1 | <0.1 | <0.1 | | 0.5 (Summe) |
| 2,4-Diamino-6-Nitrotoluol | µg/L | <0.1 | <0.1 | <0.1 | | 0.5 (Summe) |
| 1,3-Dinitrobenzol | µg/L | <0.1 | <0.1 | <0.1 | | 0.5 (Summe) |
| 2,4-Dinitrotoluol | µg/L | <0.1 | <0.1 | <0.1 | | 0.5 (Summe) |
| 2,6-Dinitrotoluol | µg/L | <0.1 | <0.1 | <0.1 | | 0.5 (Summe) |
| Diphenylamin | µg/L | <0.1 | <0.1 | <0.1 | | 0.5 (Summe) |
| EGDN | µg/L | <1 | <1 | <1 | | |
| Hexogen (RDX) | µg/L | <0.1 | <0.1 | <0.1 | | |
| Nitroglycerin | µg/L | <1 | <1 | <1 | | |
| N-Nitrosodiphenylamin | µg/L | <1 | <1 | <1 | | |
| Octogen (HMX) | µg/L | <0.1 | <0.1 | <0.1 | | |
| PETN | µg/L | <0.1 | <0.1 | <0.1 | | |
| Tetryl | µg/L | <0.1 | <0.1 | <0.1 | | 0.5 (Summe) |
| 1,3,5-Trinitrobenzol | µg/L | <0.1 | <0.1 | <0.1 | | 0.5 (Summe) |
| 2,4,6-Trinitrotoluol (TNT) | µg/L | <0.1 | <0.1 | <0.1 | | 0.5 (Summe) |
| | | | | | | 10 BAFU |

Bachema AG
Rütistrasse 22
Postfach
CH-8952 Schlieren

Telefon
+41 44 738 39 00
Telefax
+41 44 738 39 90
info@bachema.ch
www.bachema.ch

Chemisches und
mikrobiologisches
Labor für
die Prüfung von
Umweltproben
(Wasser,
Boden, Abfall)
Akkreditiert nach
ISO 17025/STS
Nr.064

Objekt:
Auftraggeber:
Auftrags-Nr. Bachema:

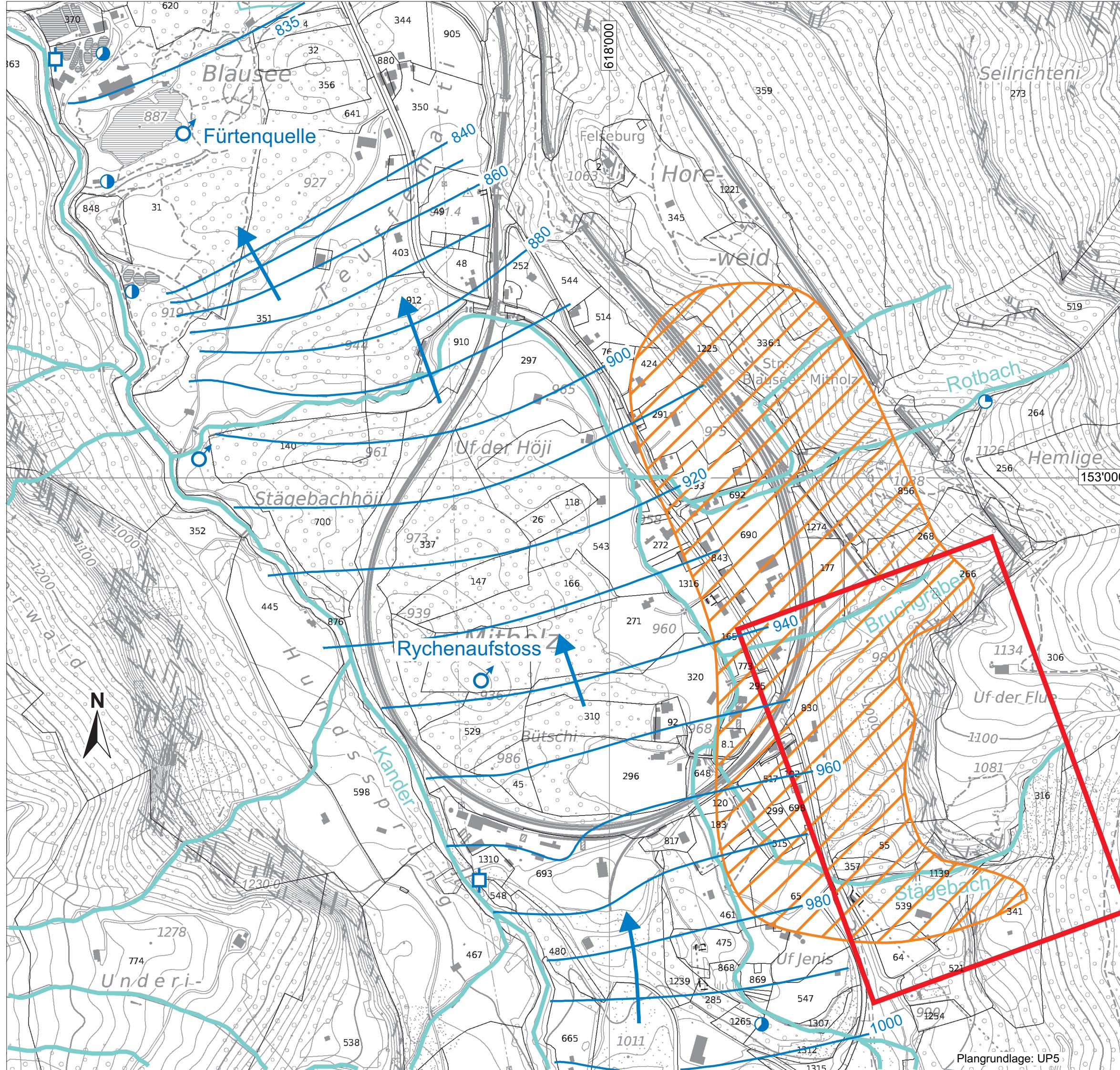
Nr. 7031, ehem. Munitionsdepot Mitholz
Kellerhals + Haefeli AG
20116827

| Probenbezeichnung | Fürten- quelle | Rychen- aufstoss | | | Indikatorwert GW unbeeinfl. BAFU | AltIV Konz.-Wert |
|--|-------------------|---------------------|------|--|---|---------------------|
| Proben-Nr. Bachema Tag der Probenahme | 34685 20.10.11 | 34684 20.10.11 | | | | |
| Feldparameter | | | | | | |
| Temperatur (Feld)* | °C | 8.1 | 9.0 | | | +/- 3 |
| Leitfähigkeit (Feld 25°C)* | µS/cm | 336 | 390 | | | |
| Sprengstoffe | | | | | | |
| 4-Amino-2,6-Dinitrotoluol | µg/L | <0.1 | <0.1 | | | 0.5 (Summe) |
| 2-Amino-4,6-Dinitrotoluol | µg/L | <0.1 | <0.1 | | | 0.5 (Summe) |
| 2,6-Diamino-4-Nitrotoluol | µg/L | <0.1 | <0.1 | | | 0.5 (Summe) |
| 2,4-Diamino-6-Nitrotoluol | µg/L | <0.1 | <0.1 | | | 0.5 (Summe) |
| 1,3-Dinitrobenzol | µg/L | <0.1 | <0.1 | | | 0.5 (Summe) |
| 2,4-Dinitrotoluol | µg/L | <0.1 | <0.1 | | | 0.5 (Summe) |
| 2,6-Dinitrotoluol | µg/L | <0.1 | <0.1 | | | 0.5 (Summe) |
| Diphenylamin | µg/L | <0.1 | <0.1 | | | |
| EGDN | µg/L | <1 | <1 | | | |
| Hexogen (RDX) | µg/L | <0.1 | <0.1 | | | |
| Nitroglycerin | µg/L | <1 | <1 | | | |
| N-Nitrosodiphenylamin | µg/L | <1 | <1 | | | |
| Octogen (HMX) | µg/L | <0.1 | <0.1 | | | |
| PETN | µg/L | <0.1 | <0.1 | | | |
| Tetryl | µg/L | <0.1 | <0.1 | | | 0.5 (Summe) |
| 1,3,5-Trinitrobenzol | µg/L | <0.1 | <0.1 | | | 0.5 (Summe) |
| 2,4,6-Trinitrotoluol (TNT) | µg/L | <0.1 | <0.1 | | | 0.5 (Summe) 10 BAFU |

Bachema AG
Rütistrasse 22
Postfach
CH-8952 Schlieren

Telefon
+41 44 738 39 00
Telefax
+41 44 738 39 90
info@bachema.ch
www.bachema.ch

Chemisches und
mikrobiologisches
Labor für
die Prüfung von
Umweltproben
(Wasser,
Boden, Abfall)
Akkreditiert nach
ISO 17025/STS
Nr.064



armasuisse Immobilien
Ehemaliges Munitionsdepot Mitholz
Technische Untersuchung
Situation 1:5'000

Legende

- Untersuchungsperimeter
- ▨ Hauptsächliche Auswurffläche bei der Explosion
- Parzellengrenzen mit Nr.
- Grundwasserfassung
- gefasste Quelle (Schüttung 1'000 - 5'000 l/min)
- gefasste Quelle (Schüttung 250 - 1'000 l/min)
- gefasste Quelle (Schüttung 25 - 100 l/min)
- ♂ ungefasste Quelle (ohne Angabe zur Schüttung)
- Oberflächengewässer
- Isohypsen des Grundwasserspiegels mit Höhenangabe in m ü.M. (Mittelwasserstand) gemäss [3]
- Grundwasserfließrichtung

**KELLERHALS
+HAEFELI AG**
GEOLOGEN - 3011 BERN

| | |
|--|----------------|
| Auftrags-Nr.: 7031 | Beilage-Nr.: 1 |
| Datum 19. Jan. 2012 | Gez.: ad/ja |
| Datei: W:\7031 Munitionsdepot Mitholz\Situation_5000.cdr | Kontrol.: ba |



armasuisse Immobilien
Ehemaliges Munitionsdepot Mitholz
Technische Untersuchung
Situation 1:1'000

Legende

- RB1/11 Sondierbohrung mit Nr./Jahr
- hauptsächlich betroffenes Gebiet mit verschütteter Munition
- ← Grundwasserfließrichtung (Hauptgrundwasserleiter)
- ← Fließrichtung (Kluft-/ Meteor- und Hangwasser)
- Felsrand

Klüfte:

Plangrundlage Klüfte:
 Prof. W. Nabholz, Dr. R. Herb (1966), Geologisches Gutachten (Nr. 38 in [14])

- offene im Stollen festgestellt
- geschlossene } im Stollen festgestellt
- offene an der Oberfläche festgestellt
- geschlossene } an der Oberfläche festgestellt
- vermutete Verbindung der Klüfte

Plangrundlage Situation: Dr. Hans Fehlmann (1967); Anlage B58M, Situationsplan (Nr. 40 in [14])

| KELLERHALS +HAEFELI AG | Auftrags-Nr.: 7031 | Beilage-Nr.: 2 |
|---------------------------|---------------------|----------------|
| GEOLOGEN | Datum 19. Jan. 2012 | Gez.: ad/ja |
| | | Kontrol.: ba |

Datei: W:\7031 Munitionsdepot Mitholz\Core\TU Situation1_1000_neu.cdr

Ehemaliges Munitionsdepot Mitholz

Technische Untersuchung

Bohrprofil

armasuisse Immobilien

KELLERHALS**+HAEFELI AG**

GEOLOGEN - 3011 BERN

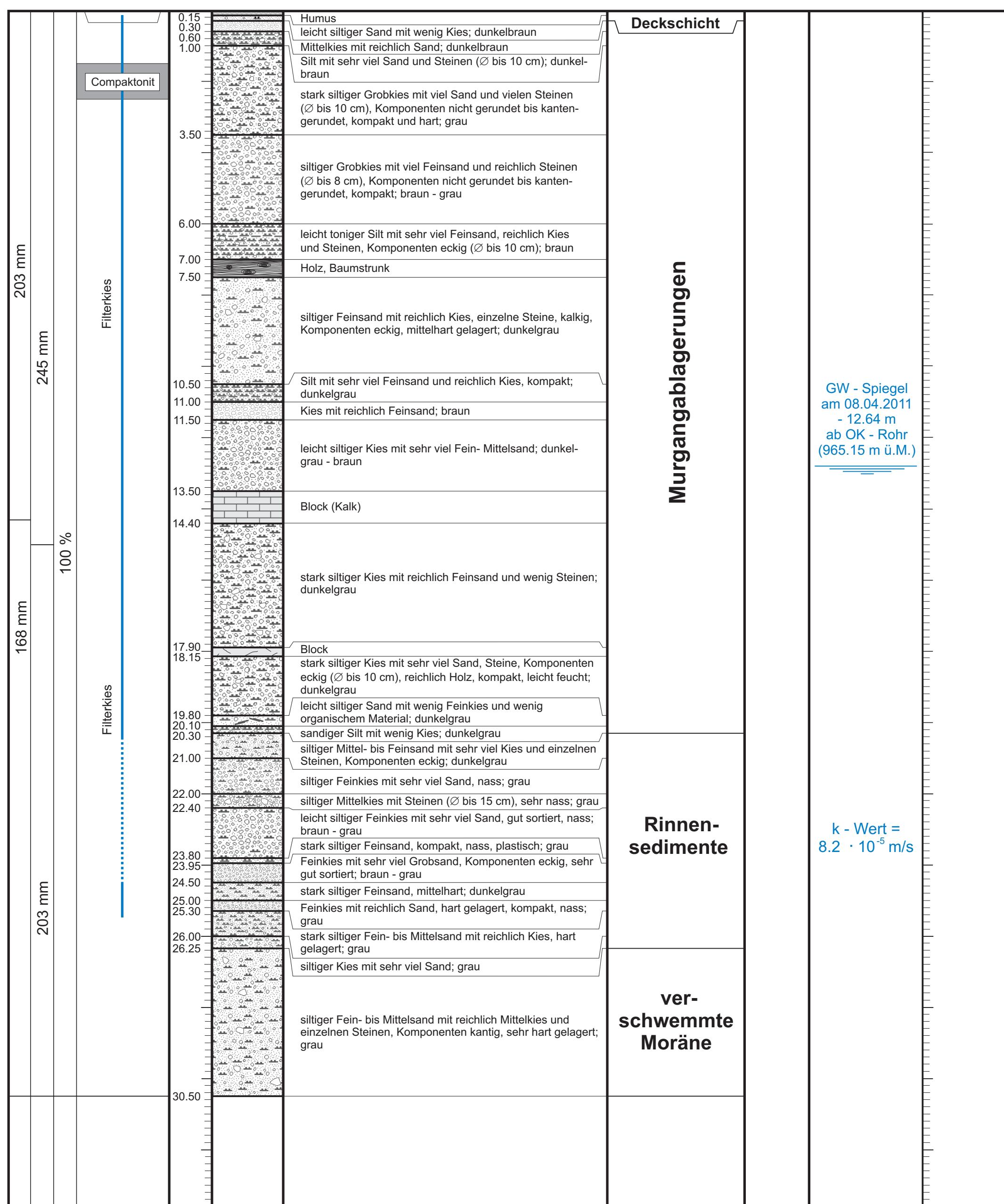
Kapellenstrasse 22

Tel. 031 381 90 07

Fax. 031 381 92 75

Sondierbohrung: RB1

| | | | |
|--------------------------|---|--|--|
| BOHRART: | Rotationskernbohrung | Geol. Aufnahme: Dipl. Geologe J. Jakob | |
| BOHRFIRMA: | Stump ForaTec AG | | |
| BOHRMEISTER: | Hr. J. Gonzalez | Gezeichnet: ad | Geprüft: ja |
| AUSFÜHRUNGSDATUM: | 4. - 9.3.2011 | Bericht Nr.: 7031 | |
| KOORDINATEN: | 618'311 / 152'834 | Datum: 09.05.2011 | Format: 30 x 55 |
| KOTE BEZUGSPUNKT: | OK - Terrain: 977.95 m ü.M. OK - Rohr: 977.79 m ü.M. | Massstab: 1:100 | W:\7031 Munitionsdepot Mitholz\CorrelRB1.cdr |
| Technische Daten | | | |
| Bohrdurchmesser | | | |
| Verrohrungsdurchmesser | | | |
| Kerngewinn in % | | | |
| 4,5" PVC - Rohr | | | |
| Bohrlänge ab Bezugspunkt | | | |
| Einbau | | | |
| Lithologie | | | |
| Beschreibung | | | |
| | | Geologische Identifikation | |
| | | Probenahmen USCS - Klassifikation | |
| | | Hydrogeologie Grundwasserspiegel | |
| | | Bemerkungen | |



Ehemaliges Munitionsdepot Mitholz

Technische Untersuchung

Bohrprofil

armasuisse Immobilien

KELLERHALS**+HAEFELI AG**

GEOLOGEN - 3011 BERN

Kapellenstrasse 22

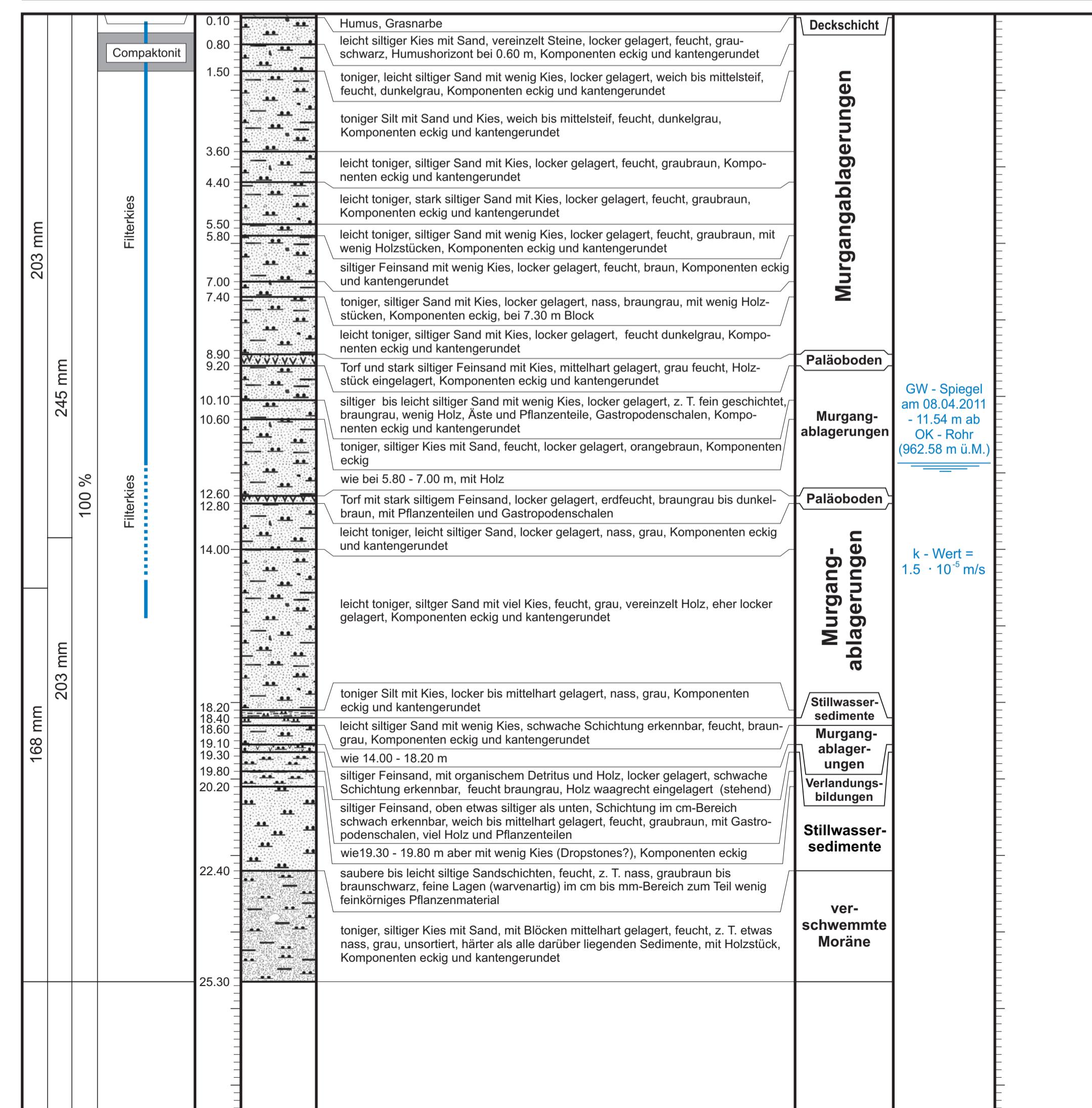
Tel. 031 381 90 07

Fax. 031 381 92 75

Sondierbohrung: RB 2

| | | | |
|-------------------|---|--|--|
| BOHRART: | Rotationskernbohrung | Geol. Aufnahme: S. Kissling, MSc Geologe | |
| BOHRFIRMA: | Stump ForaTec AG | | |
| BOHRMEISTER: | Herr J. Gonzalez | Gezeichnet: ck/ad | Geprüft: sk |
| AUSFÜHRUNGSDATUM: | 14 . - 15.06.2010 | Bericht Nr.: 7031 | Beilage Nr.: 3.2 |
| KOORDINATEN: | 618'291 / 152'814 | Datum: 09.05.2011 | Format: 30 x 50 |
| KOTE BEZUGSPUNKT: | OK - Terrain: 974.32 m ü.M. OK - Rohr: 974.12 m ü.M. | Massstab: 1:100 | Datei: W:\7031 Munitionsdepot Mitholz\Core\RB2.cdr |

| Bohrdurchmesser | Verrohrungsdurchmesser | Kerngewinn in % | Technische Daten | Bohrlänge ab Bezugspunkt OKT | Lithologie | Beschreibung | Geologische Identifikation | Hydrogeologie | Bemerkungen | | | |
|-----------------|------------------------|-----------------|------------------|------------------------------|-------------|---|----------------------------|---------------------|-------------|------------|---|------------------------------------|
| | | | | | | | | | | | | |
| 4.5" PVC - Rohr | 203 mm | 245 mm | 100 % | Filterkies | Compaktonit | 0.10 - 1.50 m: Humus, Grasnarbe, leicht siltiger Kies mit Sand, vereinzelt Steine, locker gelagert, feucht, grau-schwarz, Humushorizont bei 0.60 m, Komponenten eckig und kantengerundet 1.50 - 3.60 m: toniger, leicht siltiger Sand mit wenig Kies, locker gelagert, weich bis mittelsteif, feucht, dunkelgrau, Komponenten eckig und kantengerundet 3.60 - 4.40 m: toniger Silt mit Sand und Kies, weich bis mittelsteif, feucht, dunkelgrau, Komponenten eckig und kantengerundet 4.40 - 5.80 m: leicht toniger, siltiger Sand mit Kies, locker gelagert, feucht, graubraun, Komponenten eckig und kantengerundet 5.80 - 7.00 m: leicht toniger, siltiger Sand mit wenig Kies, locker gelagert, feucht, graubraun, mit wenig Holzstücken, Komponenten eckig und kantengerundet 7.00 - 7.40 m: siltiger Feinsand mit wenig Kies, locker gelagert, feucht, braun, Komponenten eckig und kantengerundet 7.40 - 8.90 m: toniger, siltiger Sand mit Kies, locker gelagert, nass, braungrau, mit wenig Holzstücken, Komponenten eckig, bei 7.30 m Block 8.90 - 9.20 m: leicht toniger, siltiger Sand mit Kies, locker gelagert, feucht dunkelgrau, Komponenten eckig und kantengerundet 9.20 - 10.10 m: Torf und stark siltiger Feinsand mit Kies, mittelhart gelagert, grau feucht, Holzstück eingelagert, Komponenten eckig und kantengerundet 10.10 - 10.60 m: siltiger bis leicht siltiger Sand mit wenig Kies, locker gelagert, z. T. fein geschichtet, braungrau, wenig Holz, Äste und Pflanzenteile, Gastropodenschalen, Komponenten eckig und kantengerundet 10.60 - 12.60 m: toniger, siltiger Kies mit Sand, feucht, locker gelagert, orangebraun, Komponenten eckig 12.60 - 12.80 m: wie bei 5.80 - 7.00 m, mit Holz 12.80 - 14.00 m: Torf mit stark siltigem Feinsand, locker gelagert, erdfeucht, braungrau bis dunkel-braun, mit Pflanzenteilen und Gastropodenschalen 14.00 - 18.20 m: leicht toniger, leicht siltiger Sand, locker gelagert, nass, grau, Komponenten eckig und kantengerundet 18.20 - 19.30 m: leicht toniger, siltiger Sand mit viel Kies, feucht, grau, vereinzelt Holz, eher locker gelagert, Komponenten eckig und kantengerundet 19.30 - 20.20 m: toniger Silt mit Kies, locker bis mittelhart gelagert, nass, grau, Komponenten eckig und kantengerundet 20.20 - 22.40 m: leicht siltiger Sand mit wenig Kies, schwache Schichtung erkennbar, feucht, braun-grau, Komponenten eckig und kantengerundet 22.40 - 25.30 m: wie 14.00 - 18.20 m 25.30 - 26.00 m: siltiger Feinsand, mit organischem Detritus und Holz, locker gelagert, schwache Schichtung erkennbar, feucht braungrau, Holz waagrecht eingelagert (stehend) 26.00 - 27.00 m: siltiger Feinsand, oben etwas siltiger als unten, Schichtung im cm-Bereich schwach erkennbar, weich bis mittelhart gelagert, feucht, graubraun, mit Gastropodenschalen, viel Holz und Pflanzenteilen 27.00 - 28.00 m: wie 19.30 - 19.80 m aber mit wenig Kies (Dropstones?), Komponenten eckig 28.00 - 29.00 m: saubere bis leicht siltige Sandsschichten, feucht, z. T. nass, graubraun bis braunschwarz, feine Lagen (warvenartig) im cm bis mm-Bereich zum Teil wenig feinkörniges Pflanzenmaterial 29.00 - 30.00 m: toniger, siltiger Kies mit Sand, mit Blöcken mittelhart gelagert, feucht, z. T. etwas nass, grau, unsortiert, härter als alle darüber liegenden Sedimente, mit Holzstück, Komponenten eckig und kantengerundet | Deckschicht | Murgangablagerungen | Paläoboden | Paläoboden | GW - Spiegel am 08.04.2011 - 11.54 m ab OK - Rohr (962.58 m ü.M.) | k - Wert = $1.5 \cdot 10^{-5}$ m/s |



Ehemaliges Munitionsdepot Mitholz

Technische Untersuchung

Bohrprofil

armasuisse Immobilien

KELLERHALS**+HAEFELI AG**

GEOLOGEN - 3011 BERN

Kapellenstrasse 22

Tel. 031 381 90 07

Fax. 031 381 92 75

Sondierbohrung: RB3

| | | | |
|--------------------------|---|---|--|
| BOHRART: | Rotationskernbohrung | Geol. Aufnahme: MSc Geologe S. Kissling | |
| BOHRFIRMA: | Stump ForaTec AG, | | |
| BOHRMEISTER: | Hr. J. Gonzalez | Gezeichnet: ad | Geprüft: ja |
| AUSFÜHRUNGSDATUM: | 17.3.2011 | Bericht Nr.: 7031 | |
| KOORDINATEN: | 618'286 / 152'789 | Datum: 09.05.2011 | Format: 30 x 55 |
| KOTE BEZUGSPUNKT: | OK - Terrain: 973.55 m ü.M. OK - Rohr: 973.30 m ü.M. | Massstab: 1:100 | W:\7031 Munitionsdepot Mitholz\CorrelRB3.cdr |
| Technische Daten | | | |
| Bohrdurchmesser | | Geologische Identifikation | |
| Verrohrungsdurchmesser | | Probenahmen USCS - Klassifikation | |
| Kerngewinn in % | | Hydrogeologie Grundwasserspiegel | |
| 4.5" PVC - Rohr | | Bemerkungen | |
| Bohrlänge ab Bezugspunkt | Lithologie | | |
| | | | |
| Beschreibung | | | |

