



Konzept Wasser- und Sedimentanalyse Neuenburgersee zur Beurteilung Gefährdungspotential Munitionsrückstände Fliegerschiessplatz "Forel"

Marc Stauffer, BABS Labor Spiez
Sandie Pasche / Jörg Mathieu, armasuisse W+T

Thun, 24. Februar 2021

1 Ziel

Abschätzung Gefährdungspotential von möglichen Schadstoffen aus den Munitionsrückständen Fliegerschiessplatz "Forel" mittels Wasser- und Sedimentprobenahme und Analyse Totalgehalte Explosivstoffe sowie gelöste Anteile und Gesamtgehalte Schwermetalle. Die Definition des Analysenkonzepts sowie die Auswertung und Beurteilung der Resultate soll unter Beteiligung der zuständigen nationalen und kantonalen Fachstellen, von Pro Natura sowie dem Schutzverband Grande Caricaie erfolgen.

2 Organisation

Involvierte Stellen: GS-VBS RU, ar W+T, BABS LS, ar Immo, KompZen ABC-KAMIR, BAFU, Kt. FR, Kt. NE Kt. VD, VBS Luftwaffe, Pro Natura Schweiz, Schutzverband Grande Caricaie

3 Ermittlung Schadstoffpotential

Erstellen einer Stoffmatrix Munitionsrückstände Fliegerschiessplatz Forel aus Zeichnungen der technischen Dokumentation Munition von armasuisse und Mengengerüst gemäss historischer Untersuchung 2004¹ durch ar W+T zur Abschätzung des Schadstoffpotentials. Für die Bestimmung der entsprechenden Mengen basieren wir auf der historischen Untersuchung, eine aktuelle Literaturrecherche des KompZen ABC-KAMIR sowie Mail-Korrespondenz mit der Luftwaffe (Termin: Ende März 2021).

4 Probenahme Wasser

4.1 Wasserproben im Bereich Fliegerschiessplatz Forel

Entnahme von 7 Einzelproben Wasser im Sperrgebiet Fliegerschiessplatz Forel sowie je einer Einzelprobe Wasser in den ehemaligen Zielgebieten 1927-1928 und 1928-1930.

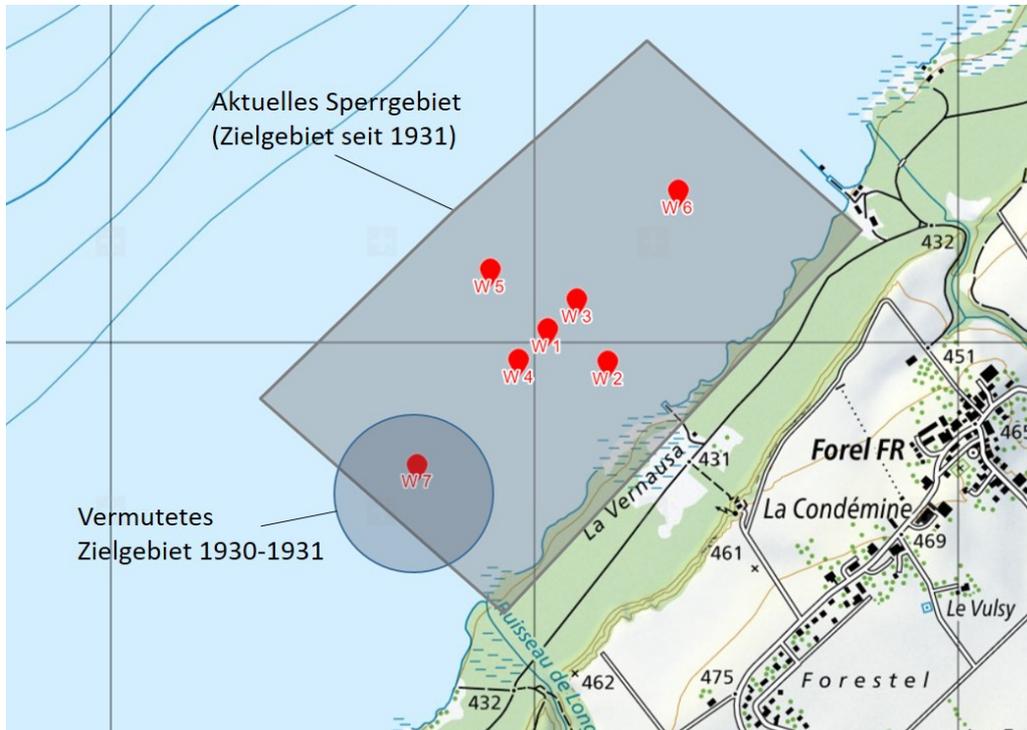


Abbildung 1: Probenahmepositionen Wasser im Sperrgebiet

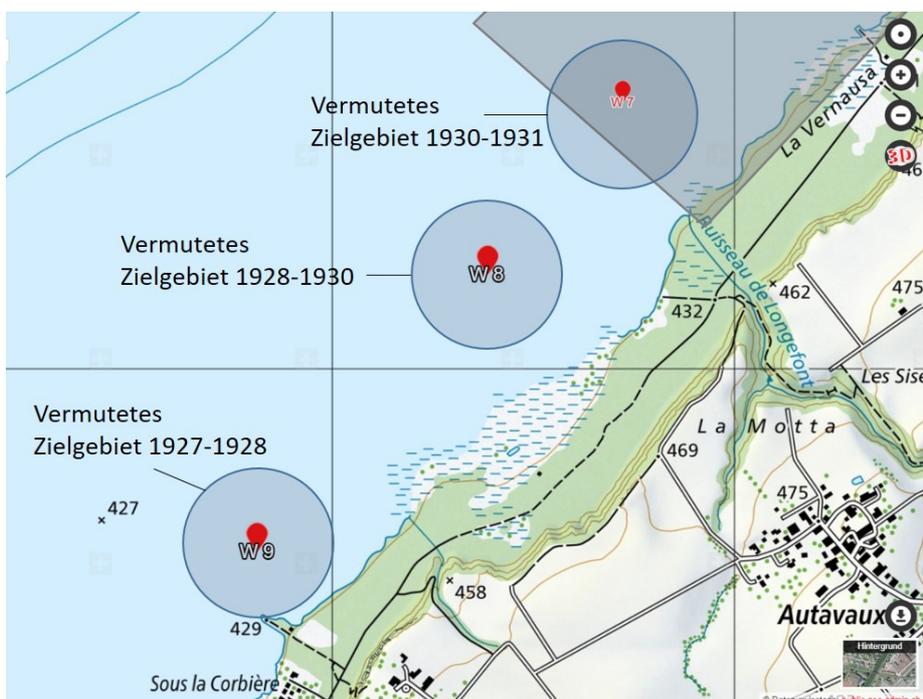


Abbildung 2: Probenahmepositionen Wasser in den ehemaligen Zielgebieten 1927-1928 und 1928-1930

Bezeichnung	Beschreibung	Koordinaten
W 1	Zentrum Sperrgebiet zwischen den beiden betonierte Fliegerzielen	557'028,191'987
W 2	Bei aktuellen Fliegerzielen	557'171,191'910
W 3	100 m NO vom Zentrum	557'097,192'058
W 4	100 m SW vom Zentrum	556'960,191'913
W 5	200 m NW vom Zentrum	556'892,192'129
W 6	450 m NO vom Zentrum	557'336,192'315
W 7	450 m SW vom Zentrum (liegt auch im Bereich vermutetes Zielgebiet 1930-1931)	556'721,191'658
W 8	Vermutetes Zielgebiet 1928-1930	556'384,191'234
W 9	Vermutetes Zielgebiet 1927-1928	555'811,190'537

Tabelle 1: Koordinaten Probenahmepositionen Wasser im Bereich aktuelle und ehemalige Fliegerziele Forel

Bei den Probenahmen sollen zusätzlich die Feldparameter Temperatur, elektrische Leitfähigkeit ($T_{ref}: 25^{\circ}C$) und pH-Wert ermittelt werden.

4.2 Referenzproben Wasser im Flachwasser vor "Font" und "Portalban"

Entnahme von je einer Einzelprobe Wasser 6.1 km See-abwärts vom Sperrgebiet vor Portalban sowie 6.6 km See-aufwärts vom Sperrgebiet vor Font. Beide Standorte sind bezüglich Lage und Gestalt (Wassertiefe, Uferdistanz, Strömungsverhältnisse etc.) vergleichbar mit den Beprobungsstandorten in den Zielgebieten.

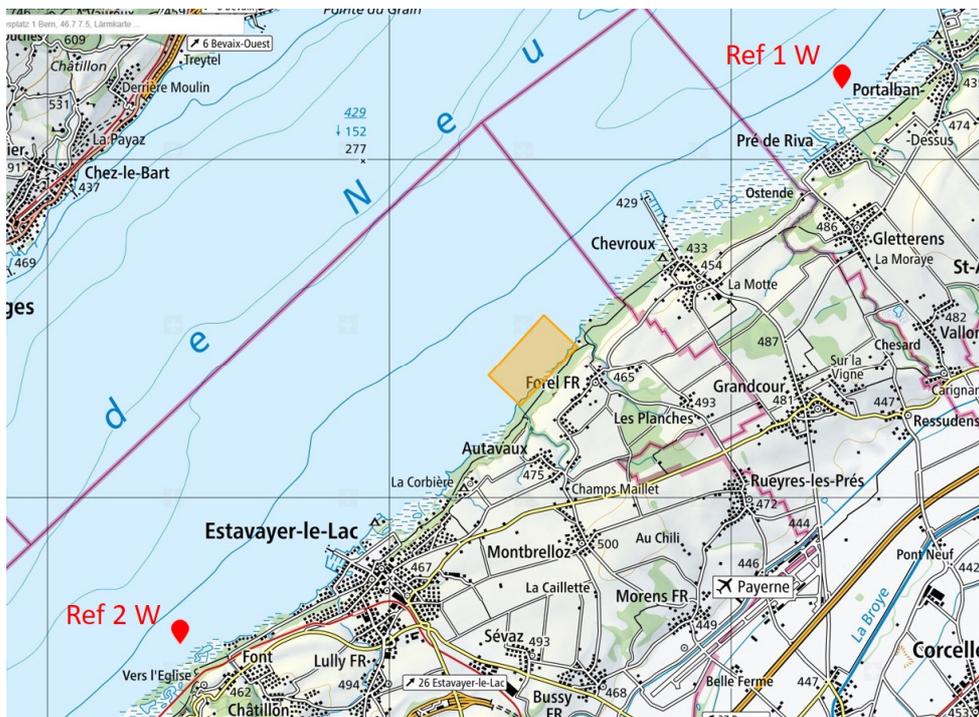


Abbildung 3: Referenzstandorte Wasserproben im Flachwasser

Bezeichnung	Koordinaten
Ref 1 W	561'615,196'028
Ref 2 W	551'930,187'827

Tabelle 2: Koordinaten Probenahmepositionen Wasser Referenz 1 und 2

Bei den Probenahmen sollen zusätzlich die Feldparameter Temperatur, elektrische Leitfähigkeit ($T_{ref}: 25^{\circ}C$) und pH-Wert ermittelt werden.

5 Probenahme Sedimente

5.1 Sedimentproben vom Hot-Spot im Bereich Sperrgebiet "Forel"

Entnahme von drei Primärproben als Triplikat des Hot-Spot-Bereiches gemäss Magnetometer-Ortung 2014² – jede Primärprobe besteht aus 6 gleichmässig verteilten Inkrementen aus entsprechenden Entnahmeflächen (siehe Abb. 4 und 5). Die 6 Inkremente werden gleichmässig aus dem ganzen Sperrbereich entnommen, wobei Abb. 5 die gewählte Flächen-Unterteilung der Probenahmeflächen zeigt. Die 6 Inkremente werden vor Ort zusammengefügt, was eine Primärprobe ergibt. Der Startpunkt der Inkremententnahme wird bei jeder Primärprobe zufällig gewählt und darauf für jede Probenahmefläche beibehalten. Der Vorgang wird 3-mal durchgeführt, was drei Primärproben und damit ein Triplikat ergibt. Alle diese Primärproben beziehen sich auf den gesamten ausgewiesenen Hot-Spot-Bereich. Das Probenfeld weist insgesamt 462 m Länge und 270 m Breite auf. Die einzelnen Flächen haben die Dimension von 154 m Länge und 135 m Breite.

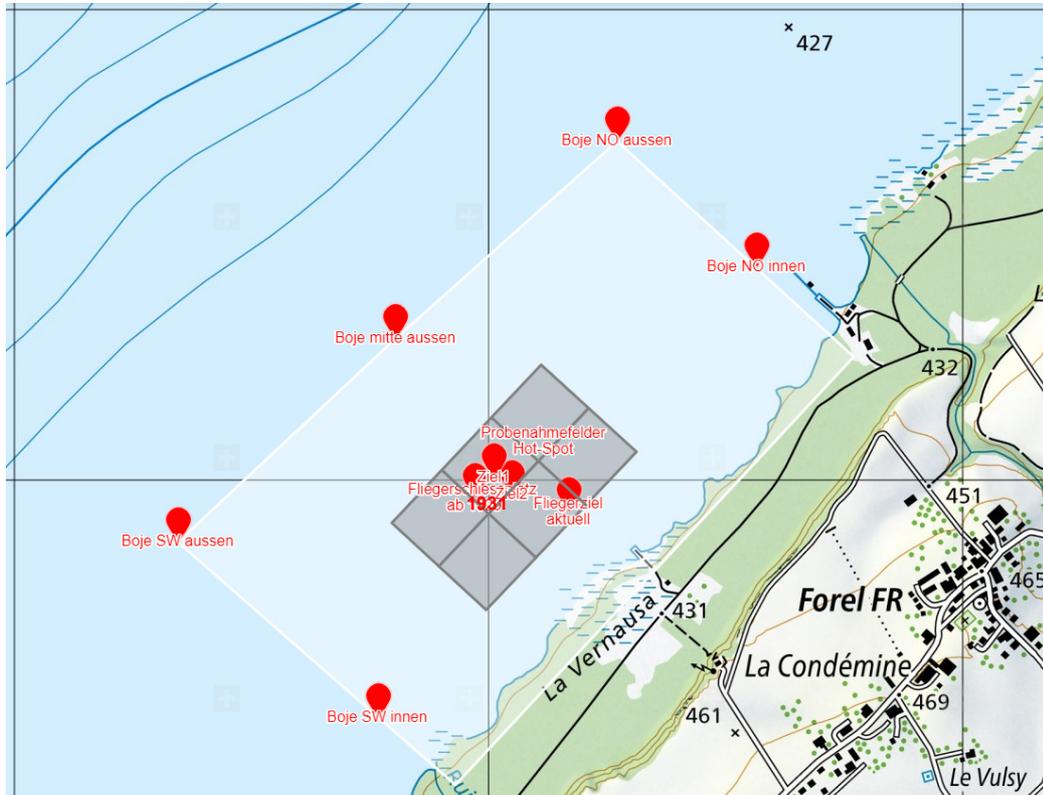


Abbildung 4: Probenahmeflächen für die 6 Inkremente pro Primärprobe Sediment im Gebiet Hot-Spot Fliegerschiessplatz Forel

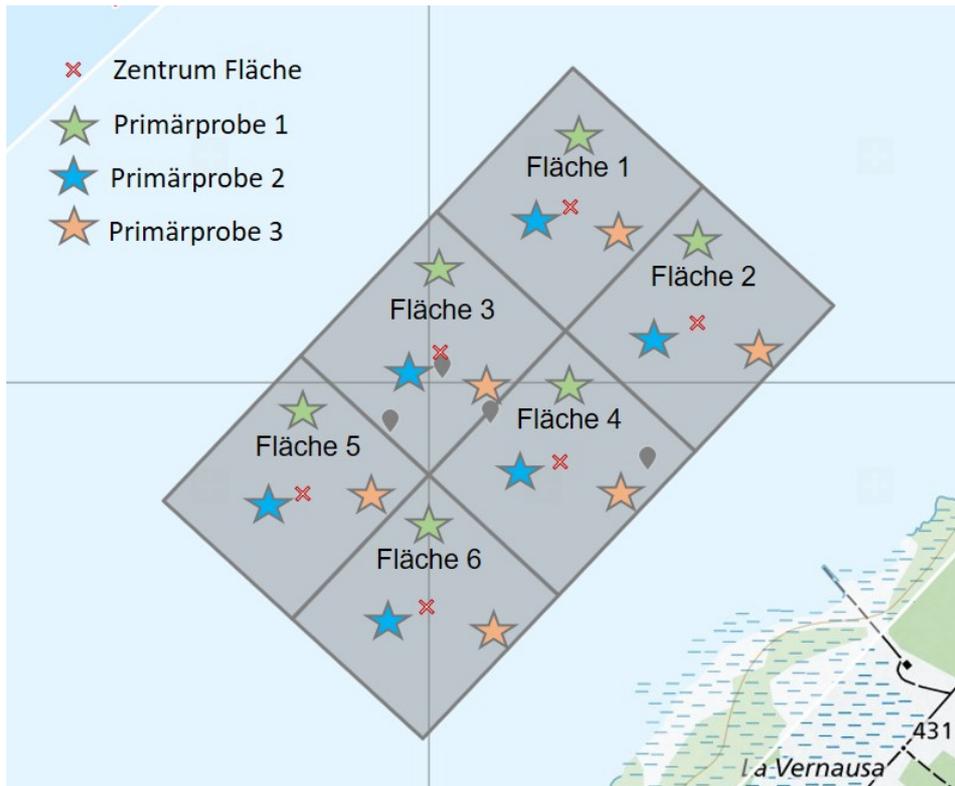


Abbildung 5: Probenahme-Flächenunterteilung Seegrund im Feld Hot-Spot Fliegerschiessplatz Forel

Bezeichnung	Koordinaten
Hot-Spot Fläche 1 154x136m	Eckpunkte [Nord/Ost/Süd/West]: 557'111,192'244 / 557'211,192'152 / 557'105,192'039 / 557'006,192'132 Zentrum: 557'109,1'192'141
Hot-Spot Fläche 2 154x136m	Eckpunkte [Nord/Ost/Süd/West]: 557'211,192'152 / 557'312,192'059 / 557'205,191'946 / 557'105,192'039 Zentrum: 557'208,192'049
Hot-Spot Fläche 3 154x136m	Eckpunkte [Nord/Ost/Süd/West]: 557'006,192'132 / 557'105,192'039 / 557'000,191'928 / 556'902,192'020 Zentrum: 557'003,192'030
Hot-Spot Fläche 4 154x136m	Eckpunkte [Nord/Ost/Süd/West]: 557'105,192'039 / 557'205,191'946 / 557'100,191'834 / 557'000,191'928 Zentrum: 557'102,191'937
Hot-Spot Fläche 5 154x136m	Eckpunkte [Nord/Ost/Süd/West]: 556'902,192'020 / 557'000,191'928 / 556'895,191'816 / 556'796,191'908 Zentrum: 556'899,191'917
Hot-Spot Fläche 6 154x136m	Eckpunkte [Nord/Ost/Süd/West]: 557'000,191'928 / 557'100,191'834 / 556'995,191'723 / 556'895,191'816 Zentrum: 556'998,191'824

Tabelle 3: Koordinaten Probenahmeflächen 1-6 im Gebiet Hot-Spot

5.2 Sedimentproben von ehemaligen Zielgebieten 1927-1928, 1928-1930 und 1930-1931

Entnahme von je einer Mischprobe in den ehemaligen Zielgebieten 1927-1928, 1928-1930 und 1930-1931. Jede Mischprobe setzt sich aus einem Sedimentkern im Zentrum, sowie drei Sedimentkernen von den Eckpunkten eines gleichseitigen Dreiecks um das Zentrum herum zusammen (Eckpunkte Dreieck mit 100 m Radius vom Zentrum).

Es ist geplant, dass die ETH Zürich im Flachwasser der ehemaligen Zielgebiete noch vor der Probenahme eine Magnetometeruntersuchung mittels Drohne durchführen wird. Falls dabei eindeutige Hot-spots lokalisiert werden, ist noch eine Anpassung von entsprechenden Probenahmepositionen vorgesehen und allfällige Änderungen werden im Probenahme-konzept dokumentiert.

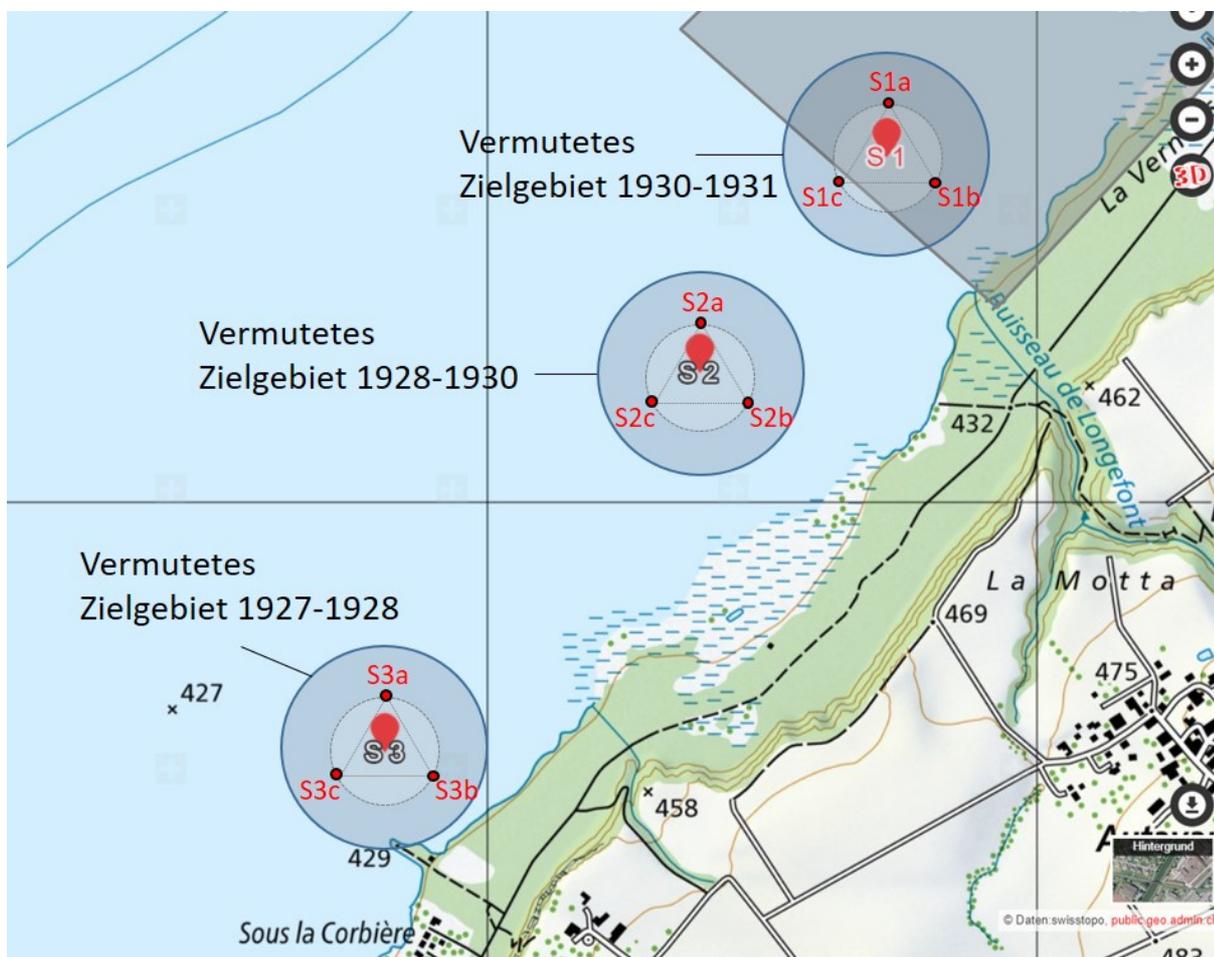


Abbildung 6: Probenahmepositionen Sedimentkerne in den ehemaligen Zielgebieten

Bezeichnung	Koordinaten
Zielgebiet S 1 1930-1931	Zentrum: 556'724,191'628 S1a: 556'724,191'731 / S1b: 556'812,191'583 / S1c: 556'636,191'583
Zielgebiet S 2 1928-1930	Zentrum: 556'384,191'234 S2a: 556'384,191'333 / S2b: 556'477,191'176 / S2c: 556'296,191'176
Zielgebiet S 3 1927-1928	Zentrum: 555'811,190'537 S3a: 555'811,190'638 / S3b: 555'898,190'488 / S3c: 555'725,190'488

Tabelle 4: Koordinaten Probenahmepositionen Sedimentkerne in den ehemaligen Zielgebieten 1927-1928, 1928-1930 und 1930-1931

5.3 Referenzproben Sediment im Flachwasser vor "Font" und "Portalban"

Entnahme von je drei Sedimentkernen 6.1 km See-abwärts vom Sperrgebiet vor Portalban sowie 6.6 km See-aufwärts vom Sperrgebiet vor Font an den gleichen Positionen wie für die Referenzproben Wasser (siehe Abb. 3).

Pro Referenzstandort Entnahme von drei Sedimentkernen in kleinem Feld (z.B. Dreieck mit 10 m Kantenlänge), welche zu einer Mischprobe vereint werden.

Bezeichnung	Koordinaten
Ref 1 S	561'615,196'028
Ref 2 S	551'930,187'827

Tabelle 5: Koordinaten Referenzproben Sediment

6 Art der Proben und Entnahmetechnik

6.1 Probenahme Wasser

Entnahme mittels Probenflasche durch Taucher ca. 0.2 m über dem Seegrund. Positionierung durch GPS auf Boot und Protokollierung der effektiven Probenahme-Positionen.

6.2 Probenahme Sediment

Zur Abschätzung der maximalen Eindringtiefe/Überdeckung der Munition sowie der Konsistenz und der Dichte/Korngrösse erfolgten am 26.11.2020 in Forel erste Probenahme-Tests durch Taucher Kdo KAMIR. Dabei wurden Stechversuche mit Kunststoffröhren ($\varnothing_{\text{innen}}$ 53 mm, Wandstärke 3.5 mm) sowie einem Aluminiumstab (\varnothing 10 mm) mit Spitze durchgeführt.

Im Hauptfeld lag die praktikable Eindringtiefe der Kunststoffrohre bei 60 cm. Näher zum Ufer hin (Test in Fläche 4 gemäss Abb. 5) wird das Bodensubstrat jedoch immer fester und die

Eindringtiefe mit dem Kunststoffrohr betrug hier nur noch 5 cm. Damit bei der Probenahme eine grössere Tiefe erreicht werden kann, wird bei ar W+T noch ein metallischer "Kronenbohrer" mit ca. 10 cm Innendurchmesser hergestellt.

Bei der effektiven Probenahme soll dann immer bis auf die praktisch mögliche Tiefe im jeweiligen Gebiet beprobt werden (Markierung am Rohr). Wo möglich sollen die Proben mit Kunststoffrohr $\varnothing_{\text{innen}}$ 53 mm und bei festerem Sedimenten mittels "Kronenbohrer" ($\varnothing_{\text{innen}}$ ca. 100 mm) entnommen werden.

Stechen der Sedimentkerne an den vordefinierten Stellen/Bereichen durch Taucher. Positionierung durch GPS auf Boot und fortlaufende Protokollierung der effektiven Probenahme-Positionen.

7 Probenaufbereitung und Analysenprogramm

Das Ziel der geplanten Sedimentanalyse ist die Abschätzung des Freisetzungspotentials und folglich können die Kerne ohne Unterscheidung von oberem und unterem Bereich untersucht werden. Die Beurteilung ob für den Standort ein Sanierungs- oder Handlungsbedarf vorliegt, erfolgt gemäss Altlastenverordnung und für die Beurteilung der Schadstoffbelastung im Wasser kommen die Grenzwerte gemäss Gewässerschutzverordnung zur Anwendung.

7.1 Vorgehen Sedimentproben vor Ort:

- Nach dem Stechen ist jeder Sedimentkern mittels Metalldetektor auf allfällige, kleinere Munitionsobjekte zu detektieren. Falls ein potentiell gefährliches Objekt vorliegt, soll der Kern ausgestossen werden und es ist eine neue Probe zu entnehmen. Die Kerne werden wo möglich fotografiert.
- Die Sedimentkerne der 6 Inkremente werden bereits vor Ort zu den entsprechenden Primärproben gemischt und gewogen. Bei der Probenvorbereitung wird das Gewicht von groben Fremdkörpern dokumentiert, welche allenfalls aussortiert werden müssen (Steine, Holz, Metallstücke). Das diesbezügliche Vorgehen wird mit Bachema AG ebenfalls abgesprochen.

Mit der Analyse soll der Totalgehalt der Schadstoffe in den Mischproben (Sediment + Porenwasser) bestimmt werden. Labor Spiez klärt mit Bachema AG ab, welche Probengefässe für die Explosivstoff-Analytik erforderlich sind.

7.2 Durchführung Analytik

- Totalgehalt relevante Explosivstoffe gemäss Explosivstoffprogramm durch **Bachema AG, Schlieren** in den Wasser- und Sedimentproben (Parameter siehe Anhang 1). Zusätzlich Bestimmung Gesamter organischer Kohlenstoff (TOC) in den Sedimentproben. Bachema AG ist akkreditiert nach ISO/IEC 17025 (STS 0064).
- Totalgehalt Schwermetalle inklusive Hg + W + Bi durch **Labor Spiez** in den Wasser- und Sedimentproben. Zusätzlich Bestimmung gelöster Gehalt in den Wasserproben. (Parameter siehe Anhang 1). Labor Spiez ist akkreditiert nach ISO/IEC 17025 und für Sampling nach (STS 0028).

7.3 Fehlerbetrachtung Probenahme Sediment

Nach der Untersuchung zu berechnender Fehler (statistischer Repräsentationsschluss):

- der Streubereich der Untersuchung kann über die relative Standardabweichung des Triplikates des Hot-Spot-Bereiches des Sperrgebiets bestimmt werden. Da die Beschaffenheit der Sedimente in allen drei Bereichen als ähnlich angenommen werden kann, ist dieser Streubereich auch auf die anderen Bereiche anwendbar (Analogieschluss). Die anderen zwei Bereiche sind zudem tendenziell weniger belastet und damit weniger anfällig für den Probenahmefehler, was diesen Schluss auch zulässig macht.

Vor der Untersuchung abzuschätzender Fehler (probabilistischer Repräsentationsschluss):

- der Probenahmefehler (SE) setzt sich aus dem Fundamentalfehler (FE) sowie dem Gruppierungs- und Segregationsfehler (GSE) zusammen
- Der Fundamentalfehler (FE) sinkt mit abnehmender Korngrösse und zunehmender Probenmasse nach der Gleichung $FE = \sqrt{\frac{20 \cdot d^3}{m}}$; d = grösste zu erwartende Korngrösse, m = Masse des Inkrements
- der Gruppierungs- und Segregationsfehler sinkt mit zunehmender Inkrementzahl, mit einer systematischen Verteilung der Inkremente und mit richtiger und gleichbleibender Werkzeuggeometrie. Er lässt sich auf das Niveau des FE senken. In diesem Fall entspricht GSE dem FE.
- die Inkrementzahl ist bei einer Sedimententnahme durch praktische Einschränkungen begrenzt. Hier bleibt offen, ob 6 Inkremente pro Primärprobe tatsächlich genug sind. Aufgrund der Belastungshypothese ist es allerdings nicht wahrscheinlich, dass mit einer grossen Langstrecken-Heterogenität zu rechnen ist.
- Der Sampling Error (SE) der geplanten Probenahme im Hot-Spot Bereich beträgt $FE + GSE = 2 \times FE$. Bei einem konservativ abgeschätzten 2% FE entspricht dies einem Sampling Error von 4%. Bei einem angenommenen Labor-Verfahrensfehler von 10 % entspräche dies einem Streubereich des gesamten Verfahrens von ca. 11 % (1s).

Dieser Streubereich sollte für dieses Stadium der Untersuchung ausreichend sein, zudem wird ja der beobachtbare ("echte") Streubereich nach der Analyse durch das Triplikate rechnerisch abschätzbar.

Die oben aufgeführte Fehlerberechnung basiert auf folgenden Grundlagen:

- EURACHEM / CITAC Guide "Measurement uncertainty arising from sampling", 2019
- Pierre Gys Sampling Theory and Sampling Practice by Francis Pitard, 1993

8 Zeitpunkt der Probenahme

Die Munitionsrückstände in Forel befinden sich im Flachwasser in zumeist weniger als 3 m Wassertiefe. Die Vermischung des Oberflächenwassers sowie das Aufwühlen von Sedimenten wird hier insbesondere durch Winde/Strömungen aufgrund der vorherrschenden Wetterlage dominiert. Für die Entnahme von Sedimentproben ohne separate Bestimmung des Überstandswassers ist dies jedoch nicht relevant. Im Hinblick auf die gleichzeitige Wasserentnahme sollte die Beprobung Wasser möglichst während einer ruhiger Wetterphase erfolgen. Aktuell ist geplant, die Probenahme im Zeitraum vom 29.-31. März 2021 durchzuführen.

9 Durchführung Probenahme

9.1 Teilnehmer:

ar W+T, Labor Spiez, KompZen ABC-KAMIR, ar Immo, KompZen Boden, GS-VBS R+U sowie Gelegenheit für Besucher BAFU, Kantone, Luftwaffe VBS, Pro Natura Schweiz, Schutzverband Grande Cariçaie und Medienvertreter

9.2 Dauer

- Probenahme 2-3 Tage
- Analytik ca. 4 Wochen bis Analysenbericht vorliegt
- Entwurf Schlussbericht 1.5 Monate (nach Vorliegen Analysenbericht)

9.3 Probenahmebehälter

- Die geeigneten Probenahmebehälter für alle Analysen werden vom Labor Spiez bereitgestellt.
- Die benötigten Kunststoffröhren für die Entnahme der Sedimentkerne werden durch ar W+T beschafft.

10 Kosten

Wasserproben

Explosivstoffanalyse Bachema	11 Proben à Fr. 350.- pro Probe	3'850.-
Schwermetallanalytik Labor Spiez	11 Proben (ohne Verrechnung)	-

Sedimentproben

Explosivstoffanalyse Bachema inkl. TOC	12 Proben à Fr. 470.- pro Probe + Fr. 50.- pro Probe für Aufbereitung*	6'240.-
Schwermetallanalytik Labor Spiez	12 Proben (ohne Verrechnung)	-

* zusätzlich Fr. 10.- pro kg Einzelprobe falls Probe über 1.5 kg wiegt. Ab 3 Proben 10% Rabatt. Ab 10 Proben 15% Rabatt

Arbeitsboot und Material

Boot	Von Genie/Rettung oder LBA vor Ort (ohne Verrechnung)	-
Herstellung Probenahmeröhren mit Abschlussdeckel	6 Stück à ca. Fr. 80.-	480.-

Kosten Probenahme und Analytik total Fr. 10'570.-

11 Auswertung der Resultate und mögliche Folgetätigkeiten nach der Untersuchung

Der Entwurf des Schlussberichts soll bezüglich Wahl der für die Beurteilung anwendbaren Grenzwerte sowie Interpretation der Resultate unter den beteiligten Experten von BAFU, Kantonen und VBS gemeinsam abgestimmt werden. So könnten z.B. die Kriterien der Trink- und Badewasserverordnung für relevante Werte in die Beurteilung aufgenommen werden. Da die nächste Trinkwasserversorgung jedoch weit entfernt vom Ort der Beprobung liegt, müsste dies für die Interpretation berücksichtigt werden.

In Abhängigkeit der gewonnenen Analysenresultate sind folgende weiteren Schritte in Betracht zu ziehen:

- Einsatz von Biomonitoring (Muscheln) und/oder Passivsamplern. Aktuell ist geplant, dass bereits bei dieser Kampagne durch die Universität Genf eine zusätzliche Probenahme von Muscheln und Sediment und anschliessender Analytik auf allfällige Schadstoffe erfolgen wird.
- Abklärung aktueller Stand Vorgaben Untersuchungsmethoden Sedimente bei Oekotoxzentrum Zürich und Lausanne.
- Vergleich mit bekannten Analysen des Seewassers bei den Kantonen, BAFU und ev. Wasserversorgern.
- Abklären, ob bei den Kantonen, der EAWAG oder ähnlichen Forschungseinrichtungen schon Analysen des Sediments vorhanden sind.
- Beurteilung der Resultate durch die beteiligten Experten unter Berücksichtigung der vorhandenen Hintergrundbelastung.

Thun, den 24.02.2021

Marc Stauffer
Chef Radiochemie und
anorganische Analytik
FB Nuklearchemie

Jörg Mathieu
Spezialist Explosivstoffe

Sandie Pasche
Projektleiterin I

BABS
Labor Spiez

FB Explosivstoffe und Munitionsüberwachung
armasuisse
Wissenschaft und Technologie

Anhang 1

Analysenparameter und analytische Bestimmungsgrenzen

Laboratorium	Prüfgegenstand	Parameter	BG, Wasser	BG, Feststoff
Bachema AG	Wasser, Sediment inkl. Porenwasser*	1,3-Dinitrobenzol	0.1 µg/l	1-5 µg/kg
		1,3,5-Trinitrobenzol	0.1 µg/l	5 µg/kg
		2,4-Dinitrotoluol	0.1 µg/l	1-5 µg/kg
		2,6-Dinitrotoluol	0.1 µg/l	1-5 µg/kg
		2,4,6-Trinitrotoluol (TNT)	0.1 µg/l	1-5 µg/kg
		2-Amino-4,6-Dinitrotoluol	0.1 µg/l	1-5 µg/kg
		4-Amino-2,6-Dinitrotoluol	0.1 µg/l	1-5 µg/kg
		2,4-Diamino-6-Nitrotoluol	0.1 µg/l	2-5 µg/kg
		2,6-Diamino-4-Nitrotoluol	0.1 µg/l	1-5 µg/kg
		Tetryl	0.1 µg/l	5-50 µg/gk
		Hexogen (RDX)	0.1 µg/l	5-10 µg/kg
		Octogen (HMX)	0.1 µg/l	20-50 µg/kg
		PETN	0.1 µg/l	1 µg/kg
		Nitroglycerin	0.1 µg/l	1 µg/kg
		Diphenylamin	0.1 µg/l	1-5 µg/kg
		N-Nitrosodiphenylamin	0.1 µg/l	1-5 µg/kg
		Gesamter organischer Kohlenstoff (TOC)	-	0.1% von Trockensubstanz
Labor Spiez	Wasser (<i>Totalgehalt und gelöst</i>), Sediment inkl. Porenwasser	Chrom	0.1 µg/l	0.14 mg/kg
		Cobalt	0.1 µg/l	0.11 mg/kg
		Eisen	~ 1 µg/L	~ 1 mg/kg
		Nickel	0.1 µg/l	0.14 mg/kg
		Kupfer	0.1 µg/l	0.22 mg/kg
		Zink	0.5 µg/l	0.19 mg/kg
		Cadmium	0.1 µg/l	0.05 mg/kg
		Antimon	0.1 µg/l	0.30 mg/kg
		Blei	0.1 µg/l	0.10 mg/kg
		Quecksilber	50 pg/L	0.36 µg/kg
		Wismut	0.1 µg/l	~ 0.2 mg/kg

* Die BG der Bachema AG für Feststoffe ist abhängig von der erhaltenen Probenmenge.

¹ DDPS, "INVESTIGATIONS HISTORIQUES RELATIVES AUX DEPOTS ET AUX IMMERSIONS DE MUNITIONS DANS LES LACS SUISSES / Lot 1 : Suisse Romande", Geotechnique Appliquée Deriaz S.A., 2004

² Jörg Mathieu, "Untersuchung Verteilung Munitionsrückstände im Gebiet Fliegerschiessplatz Forel" armasuisse W&T, 2015, Docmas ID Nr. Nr. 40014816438