



Analyses de l'eau et des sédiments effectuées en mars 2021 sur la place de tir des Forces aériennes de Forel

Mandant	Markus Rüttimann, SG-DDPS, TE
Chef de projet	Jörg Mathieu
Auteurs	Sandie Pasche, Jörg Mathieu, armasuisse S+T Marc Stauffer, OFPP, laboratoire de Spiez Rolf Keiser, armasuisse Immo
Statut	V0.2

Thoune, 23. septembre 2021

Feuerwerkerstrasse 39, 3602 Thoune, Suisse
Tél. +41 58 468 28 00
E-mail: wt@armasuisse.ch
www.armasuisse.ch/wt

Distribution électronique

Unité organisationnelle

Nombre
d'impressions

Mandant	Markus.Ruettimann@gs-vbs.admin.ch	SG-DDPS TE	1
----------------	--	------------	---

Liste de distribution	Desiree.Foery@gs-vbs.admin.ch	SG-DDPS TE	
	Daniel.Widmer@vtg.admin.ch	FOAP G/sauv/NBC cdmt DEMUNEX	
	Christoph.Kaeppli@vtg.admin.ch	Forces aériennes	
	Patrick.Folly@armasuisse.ch	ar S+T, domaine spécialisé WTE	
	Pasche.Sandie@armasuisse.ch	ar S+T, domaine spécialisé WTE	
	Marc.Stauffer@babs.admin.ch	OFPP, laboratoire de Spiez	
	Rolf.Keiser@ar.admin.ch	ar Immo	
	dir arm, GL W+T, RNA, PLD		

Contact	Joerg.mathieu@ar.admin.ch	ar S+T, domaine spécialisé WTE	
----------------	--	-----------------------------------	--

ID projet SAP (outil PM)	10000207
Éléments PSP	820 100 200 905
Mandant du projet	Dr Markus Rüttimann, SG-DDPS, TE Examens de l'environnement et des risques liés aux munitions (SG-DDPS)

Historique des modifications

Version	Date	Modification	Nom
0.1	30.06.2020	Approuvée	ar-D-C0633401/982 cf. chap. Validation
0.2	23.09.2021	Version sans interprétation des résultats d'analyses approuvée	ar-D-EB643401/1746 cf. chap. Validation

Management summary

La place de tir de Forel existe depuis 1928. Elle est encore utilisée actuellement pour l'entraînement au tir des Forces aériennes. Selon une investigation historique de 2004 sur le dépôt de résidus de munitions dans les lacs suisses, quelque 4'600 à 5'000 tonnes de résidus de munitions, pour la plupart inertes, se trouvent à proximité de la place de tir. Le site est enregistré dans le cadastre des sites pollués du DDPS comme ne nécessitant ni surveillance ni assainissement. En 2015, des recherches ont été menées au moyen d'un magnétomètre pour localiser les « hot spots » et la répartition des résidus de munitions au sein de la zone restreinte de la place de tir et aux abords de celle-ci. La même année, une première campagne d'analyse des métaux lourds dans des échantillons d'eau a été réalisée pour étudier l'impact de l'activité de tir actuelle. Les résultats ont révélé que les concentrations des métaux lourds analysés n'étaient mesurées qu'en faible quantité et se situaient nettement en-dessous des valeurs limites définies par la loi. En outre, aucune différence avec les concentrations des sites de référence, éloignés de la place de tir, n'a pu être établie.

Dans le but de clarifier plus en détail le potentiel de pollution des résidus de munitions de la place de tir des Forces aériennes de Forel, des échantillons d'eau et de sédiments ont été prélevés du 29 au 31 mars 2021 à Forel et sur deux sites de références. Les échantillons ont ensuite été analysés par l'entreprise Bachema AG pour déterminer la teneur totale en matières explosives, ainsi que par l'OFPP, au laboratoire de Spiez, pour déterminer la teneur totale et dissoute en métaux lourds. L'Université de Genève a en outre prélevé des échantillons de moules afin de déterminer s'ils contiennent des métaux lourds. Le concept d'échantillonnage a fait l'objet de discussions avec les cantons concernés (Fribourg, Vaud et Neuchâtel), l'OFEV, Pro Natura et l'association de la Grande Cariçaie. Pour mieux évaluer le potentiel de pollution, une matrice des polluants avec tonnage a été développée sur la base de toutes les données historiques disponibles et des documents/dessins techniques concernant les munitions utilisées.

Aucun explosif n'a été découvert dans les échantillons d'eau et de sédiment analysés.

Dans les analyses des échantillons d'eau pour la recherche de métaux, des valeurs comparables ont été mesurées dans le hot spot, les anciennes zones cibles et sur les sites de référence. Selon l'élément (Bi, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Sb, W, Zn, Hg, Cd), elles se situent entre le seuil de détection et 0,75 µg/l, et entre 1 et 9,3 µg/l pour le fer.

Toutes les concentrations mesurées dans l'eau sont au niveau des sites de référence échantillonnés et sont nettement inférieures aux valeurs applicables de l'ordonnance sur la protection des eaux.

Pour les métaux (Bi, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Sb, W, Zn, Hg, Cd), des concentrations comprises entre la limite de détection et 35 mg/kg ont été mesurées dans les sédiments du hot spot; pour le fer, environ 12 g/kg.

Pour les métaux (Bi, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Sb, W, Zn, Hg, Cd), des concentrations comprises entre la limite de détection et 47mg/kg ont été mesurées dans les sédiments des anciennes zones de cibles; pour le fer, environ 14g/kg.

Pour les métaux (Bi, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Sb, W, Zn, Hg, Cd), des concentrations comprises entre la limite de détection et 27mg/kg ont été mesurées dans les sédiments des sites de référence ; pour le fer, environ 8,8g/kg

La présente étude illustre l'état actuel des polluants pertinents dans la couche supérieure des sédiments jusqu'à un maximum de 50 cm et dans l'eau sus-jacente, en mars 2021. Il n'existe pas de valeurs limites pour ces polluants dans les sédiments lacustres.

L'interprétation de ces résultats d'analyse sera discutée avec les cantons concernés, Vaud, Fribourg et Neuchâtel, l'OFEV, Pro Natura et l'association de la Grand Cariçaie., afin de déterminer les prochaines étapes.

Table des matières

Management summary	3
Table des matières	5
1 Objectifs et contexte	6
1.1 Objectifs.....	6
1.2 Histoire de la place de tir des Forces aériennes de Forel.....	6
1.3 Examens menés jusqu'ici.....	7
1.4 Concept pour l'analyse de l'eau et des sédiments du lac de Neuchâtel.....	8
2 Milieu géologique du lac de Neuchâtel	10
3 Matrice des polluants	12
3.1 Types de munitions	12
3.2 Spécifications et composition des munitions	12
3.3 Nombre de coups tirés et tonnage (voir annexe 8.4)	13
3.4 Bilan des polluants et tonnage (voir annexe 8.5)	13
4 Prélèvement des échantillons	14
5 Résultats	17
5.1 Procédure d'analyse.....	17
5.2 Objectif de l'analyse / contexte du cadre d'évaluation	18
5.3 Résultats de l'analyse	18
5.3.1 Échantillons d'eau	18
5.3.2 Sédiments.....	19
6 Conclusions et suite de la procédure	25
7 Validation	26
8 Références et annexes	27

1 Objectifs et contexte

1.1 Objectifs

L'objectif des analyses est d'évaluer le potentiel de pollution des résidus de munitions de la place de tir des Forces aériennes de Forel. À cet effet, des échantillons d'eau et de sédiments prélevés sur des sites définis doivent être analysés afin de déterminer leur teneur totale en matières explosives ainsi que leur teneur totale et dissoute en métaux lourds. Pour mieux évaluer le potentiel éventuel de pollution, une matrice des polluants avec tonnage doit, en outre, être développée sur la base de toutes les données historiques disponibles et des documents/dessins techniques concernant les munitions utilisées.

1.2 Histoire de la place de tir des Forces aériennes de Forel

A la suite d'une première phase d'essais de tir et d'une démonstration de tir des Forces aériennes dans le lac de Neuchâtel près de la Creuse (commune d'Autavaux) qui eut lieu dès 1926, une place de tir permanente a été aménagée sur ce site en 1928. À partir de 1931, la place de tir a été déplacée de 1400 m vers le nord-est, à l'emplacement actuel « La Vernausa » devant la commune de Forel. En 1939, 1955 et 1963, la place de tir a été étendue, incluant également des zones de cibles sur la terre ferme utilisées jusqu'en 1995.

En 1962, la première « Convention concernant les exercices de tir de l'aviation militaire sur le lac de Neuchâtel » a été signée, suivie en 2000 d'un accord sur la protection de la faune et de la flore sur le site de la place de tir. En 2008, le projet « Nature, Paysage et Armée » a été lancé en collaboration avec l'association de protection de la nature de la Grande Cariçaie.

Le site de Forel est enregistré dans le cadastre des sites pollués du DDPS comme ne nécessitant ni surveillance ni assainissement (voir www.csp-ddps.ch/).

Les Forces aériennes ont pu rassembler les données suivantes concernant l'utilisation moyenne du site :

1950-1959	Jan. - déc. : 147-197 jours/an
1960-1969	Jan. - déc. : 125-188 jours/an
1970-1979	Jan. - déc. (à partir de 1974 : jan. - juin et sept. - déc.) : 90-137 jours/an
1980-1989	Jan. - juin et sept. - déc. : 63-103 jours/an
1990-1999	Jan. - juin et sept. - déc. (à partir de 1992 : jan. - mai et oct. - déc.) : 10-78 jours/an
2000-2009	Jan. - mai et oct. - déc. : 9-29 jours/an
2010-2019	Jan. - mai et oct. - déc. : 7-25 jours/an
2020	Jan. - mai et oct. - déc. : 0 jour/an

De 1926 à 1995, diverses munitions d'exercice telles que bombes, missiles et munitions de canon de 20 et 30 mm, dont la plupart ne contenaient pas de matières explosives, ont été tirées. Il est toutefois fort probable qu'avant 1937, des munitions contenant des matériaux énergétiques aient également été utilisées dans certains cas. Par conséquent, il faut s'attendre à la présence de ratés, des munitions non explosées. À partir de 1995, seules des balles d'exercice de 20 et 30 mm ont été tirées.

Selon une investigation historique de 2004 sur le dépôt de résidus de munitions dans les lacs suisses¹, quelque 4'600 à 5'000 tonnes de résidus de munitions, pour la plupart inertes, se trouvent sur le site de la place de tir de Forel.

1.3 Examens menés jusqu'ici

2004 : investigation historique

Dans le cadre de l'investigation historique de 2004 concernant les dépôts de munitions dans les lacs suisses, des recherches approfondies ont été menées sur le type et la quantité de résidus de munitions aux environs de la place de tir des Forces aériennes de Forel. Des informations historiques supplémentaires concernant le type et la quantité de munitions utilisées ont été recueillies pour servir de base à la matrice des polluants (voir chap. 3).

2013 : évaluation du risque de pollution des cours d'eau par les tirs aériens à Forel

Une estimation du risque de pollution de l'eau par ces activités a été réalisée sur la base du nombre actuel de coups tirés et de la matrice des substances contenues dans les munitions de canon de 20 et 30 mm.²

Conclusion du rapport :

« Même en partant d'hypothèses très défavorables (corrosion complète, absence de passivation, pas de couverture par les sédiments, solubilité élevée, pas de dilution par mouvement d'eau), les concentrations massiques analysées résultant des exercices de tir aérien sur le site de Forel présentent des valeurs inférieures aux valeurs limites fixées dans l'OEaux. »

2015 : localisation de résidus de munitions par magnétomètre sur le site de la place de tir des Forces aériennes de Forel³

L'objectif principal de cette investigation était de localiser, à l'aide de magnétomètres sous-marins, les « hot spots » au sein de la zone restreinte de Forel, ainsi que tout autre point touché ou résidu de munition isolé dans la zone d'eau peu profonde adjacente. Carte des anomalies : voir annexe 8.1.

2015: Analyses de l'eau

Une première campagne d'analyse de l'eau a été menée en 2015 afin d'identifier d'éventuels apports de métaux lourds provenant des exercices de tir effectués actuellement sur le site de Forel. Le concept d'échantillonnage⁴ a fait l'objet de discussions avec les services de l'environnement des cantons de Fribourg, Neuchâtel et Berne. Les analyses des échantillons d'eau relatives aux métaux lourds ont été réalisées par l'OFPP, laboratoire de Spiez.

Résumé des résultats du rapport d'analyse UA2015-16⁵ :

« Les concentrations de cuivre, zinc, plomb et bismuth dans l'eau du lac ont été déterminées par spectrométrie de masse ICP. La concentration de cuivre dans l'eau après les tirs est multipliée par un facteur allant de 2 à 2,5. Une augmentation irrégulière de la concentration de zinc après les tirs a également été observée. Ces différences sont toutefois également constatées sur les sites de référence. Malgré ces changements, les traces restent minimales. Aucune trace de plomb ou de bismuth n'a été observée. Les valeurs limites de l'ordonnance fédérale sur la protection des eaux qui concernent les quatre métaux analysés sont respectées dans tous les cas. »

1.4 Concept pour l'analyse de l'eau et des sédiments du lac de Neuchâtel

La présente investigation a été réalisée conformément au concept d'échantillonnage⁶ du 24.02.2021. Le concept a fait l'objet de discussions avec les cantons concernés (Fribourg, Vaud et Neuchâtel), l'OFEV, Pro Natura et l'association de la Grande Cariçaie.

Consignes pour l'échantillonnage d'eau

Prélèvement de sept échantillons individuels d'eau dans la zone restreinte de la place de tir des Forces aériennes de Forel et d'un échantillon individuel d'eau dans chacune des anciennes zones de cibles pour les périodes 1927-1928 et 1928-1930.

Prélèvement d'un échantillon individuel d'eau à 6,1 km en aval de la zone restreinte (au large de Portalban) ainsi qu'à 6,6 km en amont (au large de Font). Les deux sites sont comparables aux sites d'échantillonnage des zones de cibles en termes de localisation et de configuration (profondeur de l'eau, distance du rivage, conditions de courants, etc.).

Positions des échantillonnages d'eau : voir annexe 8.2.

Consignes pour l'échantillonnage de sédiments

Prélèvement de trois échantillons primaires en triplicatas dans la zone « hot spot » conformément à la localisation par magnétomètre de 2014³ – chaque échantillon primaire est composé de six incréments répartis de manière égale et prélevés sur les surfaces d'échantillonnage.

Les six incréments sont prélevés uniformément sur l'ensemble de la zone restreinte (voir illustration 1). Ils sont assemblés sur place pour obtenir un échantillon primaire. Le point de départ du prélèvement des incréments est déterminé de manière aléatoire pour chaque échantillon primaire, et prélevé à la même position pour chaque surface d'échantillonnage. Le processus est effectué à trois reprises pour obtenir trois échantillons primaires, c'est-à-dire en triplicatas.

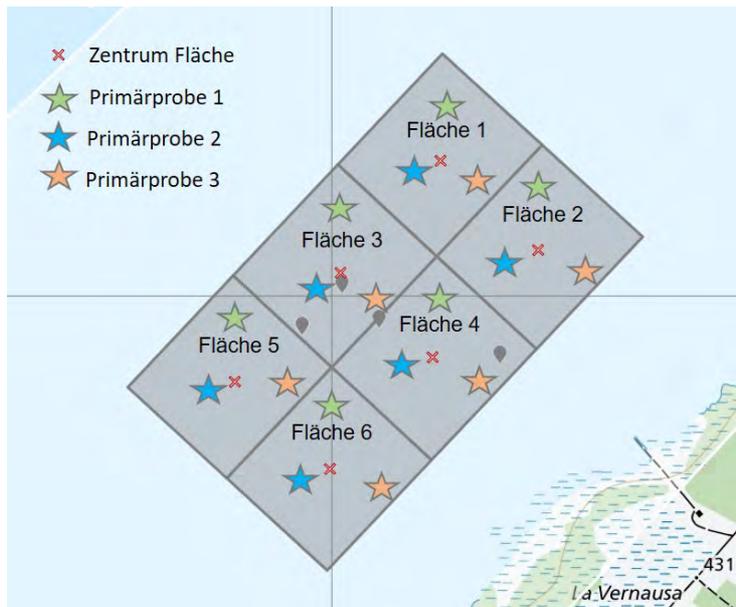


Illustration 1 : Subdivision de la surface d'échantillonnage (fond du lac) dans la zone « hot spot »

Prélèvement d'un échantillon composite dans chaque ancienne zone de cibles (1927-1928, 1928-1930 et 1930-1931). Une carotte sédimentaire prélevée au centre, ainsi que trois carottes sédimentaires prélevées aux sommets d'un triangle équilatéral (rayon de 100 m depuis le centre), sont combinées pour former un échantillon composite.

Prélèvement de trois carottes de sédiments à 6,1 km en aval de la zone restreinte (au large de Portalban) ainsi qu'à 6,6 km en amont de la zone restreinte (au large de Font), aux mêmes positions que les échantillons d'eau de référence.

Trois échantillons individuels sont récoltés par site de référence, dans une petite zone (par ex. triangle équilatéral de 10 m de côté) puis combinés pour former un échantillon composite.

Positions des échantillonnages de sédiments : voir annexe 8.3.

Prélèvement de moules

Dans le cadre d'un mémoire de Master de l'Université de Genève, des moules ont également été prélevées sur les mêmes sites que les sédiments au cours de la présente campagne d'échantillonnage, ceci afin de déterminer la teneur en métaux lourds dans le biote. Dans la zone « hot spot », la majeure partie des moules a été prélevée directement sur les résidus de munitions.

2 Milieu géologique du lac de Neuchâtel

Le lac de Neuchâtel se situe au pied du Jura. Sur ses rives nord-ouest, les roches du Jura (composées principalement de calcaire et de marne) sont partiellement recouvertes de moraines. Ses rives sud-est sont formées par de la molasse (composée principalement de grès et de marne), partiellement recouverte de moraines.

Les abords directs de l'actuelle place de tir de Forel sont essentiellement constitués de grès molassiques, partiellement recouverts d'une fine couche de moraines et de gravier



Illustration 2: Carte géologique de l'environnement de Forel (source : cartes géologiques du géoportail fédéral Swisstopo; geo.admin.ch)

Les cours d'eau locaux ont creusé leur lit dans les grès de la molasse et les érodent. Ils transportent le sable et la marne dans le lac, où ces dépôts forment une partie importante des sédiments. Le mouvement induit par les courants et les vagues entraîne le déplacement des composants de sédiments les plus fins (limon, argile) sur le fond du lac. Les composants fins des sédiments varient donc considérablement en fonction de l'emplacement dans le lac et de l'épaisseur des sédiments. Outre le matériau issu de l'érosion fluviale, les sédiments contiennent les coquilles d'organismes aquatiques (gastéropodes, moules, etc.).



Illustration 3 : Sédiments nettoyés provenant de la zone de cibles actuelle

L'illustration 3 montre un échantillon de sédiments nettoyé provenant de la zone de cibles actuelle (les composants fins ont été retirés). Les coquilles de mollusques sont clairement reconnaissables. De taille relativement homogène, les grains de sable mesurent environ 0,5 mm. Le sable est composé de quartz et de calcaire. Le quartz provient de grès molassiques environnants érodés par les cours d'eau.

Cette observation concorde avec les résultats d'une analyse de sédiments prélevés à Portalban effectuée dans le cadre d'un relevé archéologique de l'Université de Bâle.⁷ Cette analyse a fait état d'une teneur en carbonate de 20 à 40 % et d'une teneur en matière organique de max. 5 %. L'analyse granulométrique révèle des particules rondes, composées de 10 % d'argile et de 30 à 60 % de sable ou de limon.

On peut partir du principe que les polluants (géogènes, métaux lourds comme le chrome et l'arsenic, ou composés organiques supplémentaires de nature anthropique) s'accumulent dans l'argile et la matière organique. Cela signifie que la teneur en polluants des échantillons de sédiments est fortement influencée par leur teneur en argile et en matière organique.

3 Matrice des polluants

La matrice des polluants a pour but de regrouper toutes les munitions répertoriées comme ayant été tirées à Forel et d'évaluer leurs compositions en matériaux énergétiques et en matériaux inertes. Par la suite, grâce au nombre de coups tirés répertoriés ou estimés, d'évaluer la pollution potentielle maximale des munitions.

3.1 Types de munitions

Les munitions sélectionnées et étudiées dans la matrice des polluants ont tout d'abord été sélectionnées à partir de l'investigation historique¹.

Cette liste a été ensuite revue, corrigée et complétée par les Forces aériennes pour les munitions suivantes : 20 mm Flz Kan 76 U Pat, 20 mm HS-K. 48 Mi.Br.G. MZ, 20mm Flz Kan 92 UPat 97, 30 mm Flz Kan 58 UG, 30 mm Flz Kan 58 u 65 UG, 30 mm Flugzeug Kanone 65 UG, 20 mm FI-K. 38 FM-K., 20mm FFK 37, 6.5 kg U FI Bb, 4 kg Flz UBb 81, 35 kg UBb 67, 12 kg U-FI-B. Alu UBb, 12 kg U-FI-B. Stahl.

Les munitions suivantes ont pu être reprises de l'investigation historique sans ajustement: (pour les munitions suivantes: 7 kg UBb (béton), SS 11 Type B1 Exercice, 25 kg UBb 80, 25 kg UBb 66, 8 cm U Rak, 225 kg UBb 81, 450 kg UBb 68, 300 kg UBb 79, FI-B. 50 kg, 50 kg FI-U-B., 50 kg FI-BI-B.).

D'autres types de munitions ont été rajoutés à cette liste, car elles ont pu être observées directement sur le site de Forel par les plongeurs du commandement DEMUNEX. En plus des munitions observées sur le site de Forel, de nouvelles preuves historiques ont été trouvées par commandement DEMUNEX. Celles-ci attestaient des tirs des munitions supplémentaires ont été effectués (avec des munitions de types 127 mm 5in MK32 Züni et 300 kg UBb 79).

3.2 Spécifications et composition des munitions

À partir de la liste des types de munitions, une enquête concernant leurs compositions (métaux, matériaux, matières explosives) et leurs spécificités techniques a été menée.

Une part des munitions avait déjà été examinée dans le cadre de l'élaboration de la matrice de polluants pour les autres lacs suisses. Ces informations ont été adaptées au cas de Forel. Pour les autres munitions, les recherches sur les composants ont été faites à l'aide de différentes méthodes :

- Documents dans la base de données TechDok⁸,
- Base de données du commandement DEMUNEX
- Evaluation visuelle et mesure sur un échantillon de la munition en question (300 kg UBb 79)

Dans le cas de Forel, les munitions qui se retrouvent dans le lac ont été tirées, par opposition à celle des autres lacs, qui ont été immergées¹. Ainsi, dans la matrice des polluants, uniquement les composés explosifs du projectile (fusée, partie active) ont été pris en compte. Les explosifs de l'amorce des propergols, la partie de guidage et les propergols ont été ignorés, car ils ont été consommés lorsque la munition a été tirée dans le lac.

Dans le cas de Forel, cela peut être résumé par :

Pour les moyens calibres (20 et 30 mm), seul le projectile (sans douille) a été pris en compte. Pour les bombes (dénominées par FI-B et UBb) comme celles-ci qui sont larguées, l'entier de la bombe a été considéré. Pour les missiles (127 mm 5in MK32 Züni et SS11/ AS11), les composants permettant la propulsion et le contrôle ont été ignorés.

3.3 Nombre de coups tirés et tonnage (voir annexe 8.4)

Les nombres de coups tirés ont tout d'abord été estimés sur la base de l'investigation historique¹. Ces estimations ont ensuite été affinées par les Forces aériennes. Les Forces aériennes ont aussi donné les estimations du nombre de coups pour les munitions auxquelles elles ont proposé des changements.

En parallèle, le nombre de coups tirés a été estimé par les observations sur site des plongeurs du commandement DEMUNEX, conjointement avec la recherche de documents retrouvés dans une recherche d'archive par le commandement DEMUNEX (pour les munitions suivantes : 127 mm 5in MK32 ZUNI, 300 kg UBb 79, 450 kg U Bb 68). Seul le nombre de coups tirés de la bombe FI-B. 50 kg a été estimé par armasuisse S+T (estimation prenant en compte la période avant 1937; soit jusqu'à l'interdiction de l'utilisation de munitions réelles ayant été décidée après le largage accidentel d'une bombe aérienne réelle de 50 kg sur le village de Forel).

Le tonnage des matériaux non explosifs a été calculé grâce à ces évaluations et aux estimations du nombre de coups tirés par type de munition. En ce qui concerne les matériaux explosifs contenus dans la partie active et la fusée des munitions, un postulat de 8 % de ratés a été décidé selon l'expérience empirique du commandement DEMUNEX et d'armasuisse S+T. Le tonnage des matériaux explosifs a été calculé selon ce postulat.

3.4 Bilan des polluants et tonnage (voir annexe 8.5)

Dès 1937, uniquement des munitions d'exercice ont été tirées à Forel. On constate que ces munitions contiennent peu ou pas d'explosifs. Le tonnage correspond relativement bien à ce qui a été évalué auparavant par l'investigation historique. Grâce à nos différentes approximations et estimations de nombre de coups tirés, en tenant compte des valeurs empiriques supplémentaires fournies par les Forces aériennes et les plongeurs du commandement DEMUNEX, nous estimons que la masse totale des munitions reposant sur la place de tir de Forel correspond à 4284 tonnes.

Sur ces 4284 tonnes, une part d'environ 6,2 tonnes seraient des matériaux explosifs, principalement poudre noire (6081 kg), TNT (142 kg), PETN (12 kg), hexogène (4 kg), aluminium pyrotechnique et azoture de plomb (respectivement 2 kg).

En ce qui concerne les matériaux inertes, on retrouve dans les métaux lourds et leurs alliages: du cuivre (7808 kg), laiton (6072 kg), bronze (5650 kg), plomb (876 kg), zinc (18 kg), nickel (65 kg) et antimoine (2,6 kg). La plus grande part des matériaux répertoriés dans la matrice des polluants est l'acier (58 % de la masse totale) et la catégorie ciment/ciment paraffine/béton (36 % de la masse totale).

4 Prélèvement des échantillons



Illustration 4 : Bateau à l'œuvre dans la zone concernée

Procédure

<i>Lundi 29.03.2021</i>	
Matin	Prélèvement d'eau, de sédiments et de moules
Après-midi	Prélèvement d'eau, de sédiments et de moules
<i>Mardi 30.03.2021</i>	
Matin	Prélèvement de sédiments et de moules, visite des autorités concernées (cantons, OFEV, associations de protection de l'environnement)
Après-midi	Prélèvement de sédiments et de moules, information aux médias durant le travail
<i>Mercredi 31.03.2021</i>	
Matin	Prélèvement d'eau, de sédiments et de moules

Participants

FOAP NBC cdmt DEMUNEX	Plongeur/conducteur de bateau pour le prélèvement d'échantillons sous l'eau
OFPP, laboratoire de Spiez	Étiquetage et préparation des échantillons sur place
Université de Genève	Étiquetage et stockage temporaire des échantillons de moules
armasuisse, S+T	Organisation/positionnement/assistance pour le prélèvement

Les échantillons de sédiments ont été prélevés par des plongeurs sur les sites prédéfinis, conformément au concept. En fonction de la densité des sédiments, les échantillons ont été prélevés à l'aide d'un tube en plastique de Ø 5,3 cm ou d'une « foreuse à couronne » en fer de Ø 10 cm (voir illustration 5).



Dans la zone principale, la profondeur de pénétration praticable des tubes en plastique était de 60 cm. Le substrat du sol était toutefois plus dense à proximité du rivage, de sorte que les échantillons ont dû être prélevés au moyen de la « foreuse à couronne ». Le type d'appareils de prélèvement utilisés ainsi que la taille des échantillons ont été consignés (voir l'annexe 8.6).

Illustration 5 : Appareils de prélèvement pour les échantillons de sédiments

Les échantillons d'eau ont été prélevés avant les sédiments afin d'éviter une possible augmentation de la turbidité provoquée par la prise des échantillons des sédiments. Conformément au concept, l'échantillonnage a été réalisé au moyen de bouteilles en plastique à une profondeur d'environ 0,2 m au-dessus du fond.

Positions d'échantillonnage et géométrie des carottes sédimentaires

Les échantillons ont été prélevés aux points définis dans le concept (voir annexe 8.2) grâce à un positionnement par navigateur GPS. Les positions d'échantillonnage effectives et la géométrie des carottes sédimentaires figurent à l'annexe 8.6.

Images représentatives concernant l'échantillonnage : voir illustrations 6 à 9



Illustration 6 : Plongeur avec échantillon de sédiment



Illustration 7 : Échantillon de moules sur un résidu de munition



Illustration 8 : Échantillon de sédiments dans la foreuse à couronne



Illustration 9 : Préparation mobile des échantillons dans le bus du laboratoire de Spiez

5 Résultats

Aucun explosif n'a été découvert dans les échantillons d'eau et de sédiment analysés.

Dans les analyses des échantillons d'eau pour la recherche de métaux, des valeurs comparables ont été mesurées dans le hot spot, les anciennes zones cibles et sur les sites de référence. Selon l'élément (Bi, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Sb, W, Zn, Hg, Cd), elles se situent entre le seuil de détection et 0,75 µg/l, et entre 1 et 9,3 µg/l pour le fer.

Toutes les concentrations mesurées dans l'eau sont au niveau des sites de référence échantillonnés et sont nettement inférieures aux valeurs applicables de l'ordonnance sur la protection des eaux.

Pour les métaux (Bi, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Sb, W, Zn, Hg, Cd), des concentrations comprises entre la limite de détection et 35 mg/kg ont été mesurées dans les sédiments du hot spot; pour le fer, environ 12 g/kg.

Pour les métaux (Bi, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Sb, W, Zn, Hg, Cd), des concentrations comprises entre la limite de détection et 47mg/kg ont été mesurées dans les sédiments des anciennes zones de cibles; pour le fer, environ 14g/kg.

Pour les métaux (Bi, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Sb, W, Zn, Hg, Cd), des concentrations comprises entre la limite de détection et 27mg/kg ont été mesurées dans les sédiments des sites de référence ; pour le fer, environ 8,8g/kg

La présente étude illustre l'état actuel des polluants pertinents dans la couche supérieure des sédiments jusqu'à un maximum de 50 cm et dans l'eau sus-jacente, en mars 2021. Il n'existe pas de valeurs limites pour ces polluants dans les sédiments lacustres.

Un récapitulatif complet de tous les résultats d'analyse figure dans les rapports d'analyse du laboratoire Bachema et du laboratoire de Spiez (voir annexes 8.7 à 8.9).

Les résultats de l'analyse des moules de l'Université de Genève peuvent être consultés dans le mémoire de maîtrise correspondant.⁹

5.1 Procédure d'analyse

Les échantillons d'eau et de sédiments ont été analysés selon la méthode définie dans le « Concept pour l'analyse de l'eau et des sédiments du lac de Neuchâtel afin d'évaluer le danger potentiel des résidus de munitions du champ de tir aérien de Forel ».

Des résultats valides ont pu être obtenus pour toutes les analyses et tous les types d'échantillons. Le processus d'échantillonnage, la manipulation des échantillons sur le terrain (saisie, placement dans des récipients adaptés, stabilisation), la préparation des échantillons (séchage, filtration, aliquotage, broyage) et l'analyse ont été réalisés au moyen de méthodes analytiques accréditées, conformes aux ordonnances applicables dans le domaine de l'environnement, des déchets et des sites contaminés.

Les programmes d'analyse suivants ont été effectués :

- Teneur totale en matières explosives dans les échantillons d'eau et de sédiments conformément au programme de **Bachema AG, Schlieren** relatif aux matières explosives. Le carbone organique total (COT) dans les échantillons de sédiments a également été déterminé. L'entreprise Bachema AG est accréditée selon la norme ISO/IEC 17025 (STS 0064).
- Teneur totale en métaux lourds, y c. le mercure, le bismuth et le tungstène, dans les échantillons d'eau et de sédiments (par le **laboratoire de Spiez**). Le laboratoire de Spiez est accrédité selon la norme ISO/IEC 17025 tant pour l'analyse que pour l'échantillonnage (STS 0028).

5.2 Objectif de l'analyse / contexte du cadre d'évaluation

L'investigation vise à évaluer le potentiel de pollution des munitions via l'analyse d'échantillons d'eau et de sédiment.

À cette fin, on a recherché les substances potentiellement présentes figurant dans la matrice des polluants (voir chap. 3). Il s'agit d'une investigation dite « ciblée », dont l'analyse se concentre sur les sédiments et l'eau comme vecteurs d'exposition. L'analyse de la faune et du biote comme récepteurs possibles ne constituait pas un objectif prioritaire à ce stade de l'étude.

D'entente avec les autorités compétentes, il a été examiné si les substances décrites sont détectables dans l'eau ou les sédiments. Les munitions elles-mêmes ne constituent pas un élément décisif pour l'analyse. Tous les résultats se rapportent aux compartiments « sédiments » (0 à 50 cm) et « eau sans corps étrangers ».

Au moment de la rédaction du présent rapport, les autorités d'exécution de la loi n'ont pas encore défini explicitement les valeurs indicatives et limites applicables en vertu des ordonnances susmentionnées.

5.3 Résultats de l'analyse

5.3.1 Échantillons d'eau

Toutes les concentrations mesurées dans l'eau se situent au niveau des sites de référence échantillonnés et sont nettement inférieures aux valeurs applicables de l'ordonnance sur la protection des eaux.

Matières explosives :

- Aucun échantillon d'eau ne présente des traces de substances figurant au programme d'analyse des matières explosives (voir annexe 8.10) à une limite de détection de 0.1 µg/L.

Métaux :

- Aucun échantillon d'eau ne présente des traces des éléments de bismuth, cadmium, cobalt, antimoine ou tungstène.
- Selon la matrice des polluants, la présence de cuivre, de fer et de zinc devrait être détectée à la suite de conditions défavorables. Les concentrations de cuivre, de fer, de nickel et de zinc mesurées se situent au niveau de celles des sites de référence et sont nettement inférieures aux valeurs limites définies par l'OEaux.
- Des traces de chrome ont été détectées dans des échantillons individuels, à un niveau proche de la limite de détection mais nettement inférieur à la valeur limite définie par l'OEaux.
- De très faibles traces de plomb et de mercure ont été détectées dans les échantillons individuels, sous forme dissoute, à un niveau nettement inférieur aux valeurs limites définies par l'OEaux.

5.3.2 Sédiments

Matières explosives :

Aucun échantillon de sédiments ne présente des traces de substances figurant au programme d'analyse des matières explosives (voir annexe 8.10).

Métaux :

Les résultats de l'analyse des métaux pour les différents sites sont présentés ci-dessous sous forme de graphiques. Pour une meilleure vue d'ensemble, les chiffres ont été répartis dans différents graphiques selon leur concentration : élevée pour le fer (Fe), de 40 à 150 mg/kg pour les métaux dotés de valeurs limites ou indicatives, très faible pour le mercure (Hg) et le cadmium (Cd).

Zone « hot spot » de la place de tir :

Les points représentent la moyenne des triples échantillonnages à incréments multiples (triplicata). Combinés avec l'intervalle de confiance (KI), ils indiquent une conclusion dite de représentation. La variabilité de l'analyse (échantillonnage compris) est de < 30 % (à l'exception du cadmium et du plomb : env. 50 %). Ce résultat est à considérer comme une très bonne valeur pour un échantillonnage environnemental réalisé dans un périmètre relativement large.

Cette valeur documente la reproductibilité de l'échantillonnage et permet d'émettre une conclusion fiable par rapport aux valeurs limites ou indicatives.

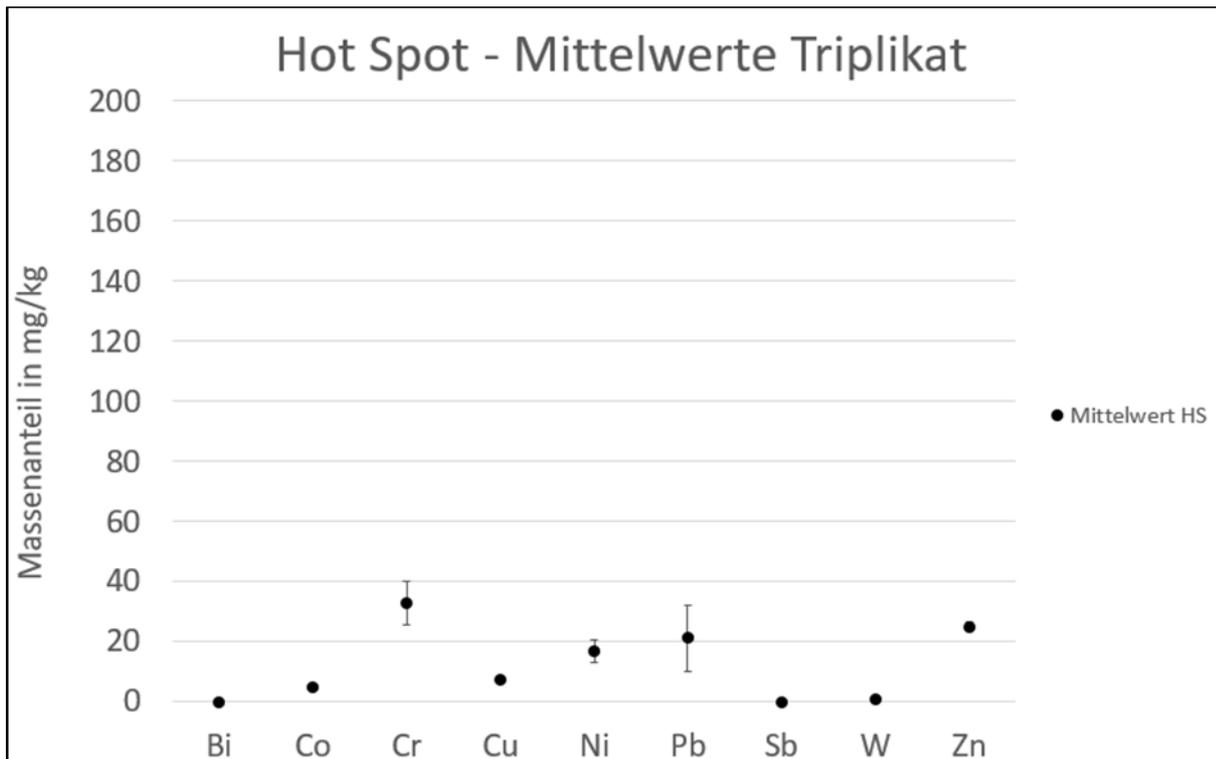


Illustration 10 : Résultats de la zone « hot spot » (HS) pour les éléments Bi - Zn.

Exemple d'interprétation : pour le nickel, la valeur moyenne de trois échantillonnages multi-incrémentaux indépendants s'élève à 17 mg/kg pour une valeur indicative de 50 mg/kg (OSol). L'intervalle de confiance (KI) s'élève à (17 ± 4) mg/kg avec une probabilité d'env. 68 % (1 s) ; à (17 ± 8) mg/kg avec une probabilité de 95 %, etc. Ces chiffres permettent de tirer la conclusion suivante : si l'échantillonnage était répété à 100 reprises, on obtiendrait idéalement 68 fois une valeur comprise entre 13 et 21 mg/kg, 16 fois une valeur inférieure à mg/kg et 16 fois une valeur supérieure à 21 mg/kg.

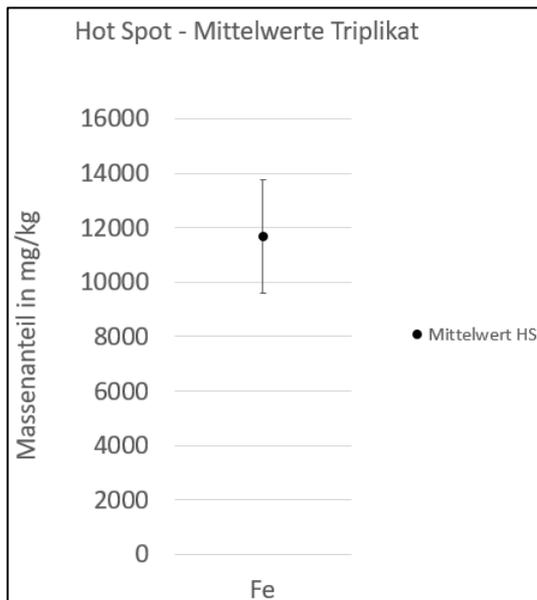


Illustration 11 : Résultats de la zone « hot spot » (HS) pour le fer

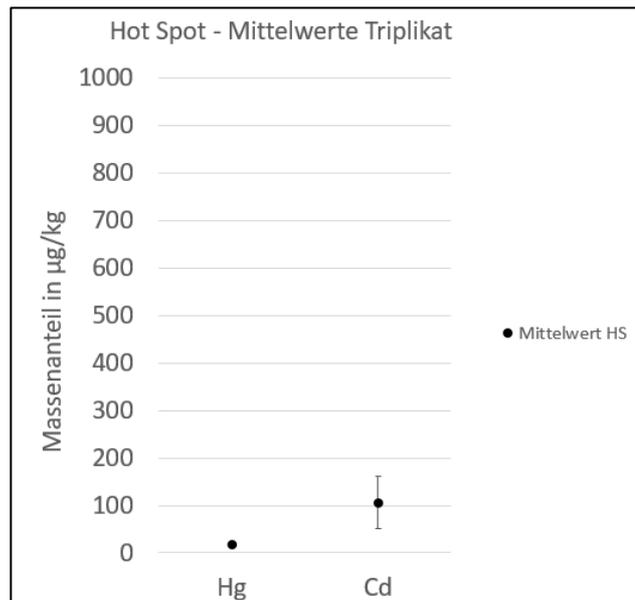


Illustration 12 : Résultats de la zone « hot spot » (HS) pour le mercure et le cadmium

Comparaison de la zone « hot spot » et des sites de référence

Les graphiques suivants représentent la valeur moyenne des triplicatas de la zone « hot spot » comparée aux échantillons de référence prélevés à trois reprises sur deux sites différents. Les échantillons de référence ont été prélevés de manière à n'être exposés à aucune influence des polluants potentiels provenant des sédiments étudiés et, dans la mesure du possible, sur des sites présentant une configuration et une distance du rivage similaires à celles de la zone « hot spot ».

Les valeurs ont été reliées en une courbe caractéristique pour faciliter la comparaison des différents métaux. La courbe caractéristique n'indique aucune corrélation entre les métaux.

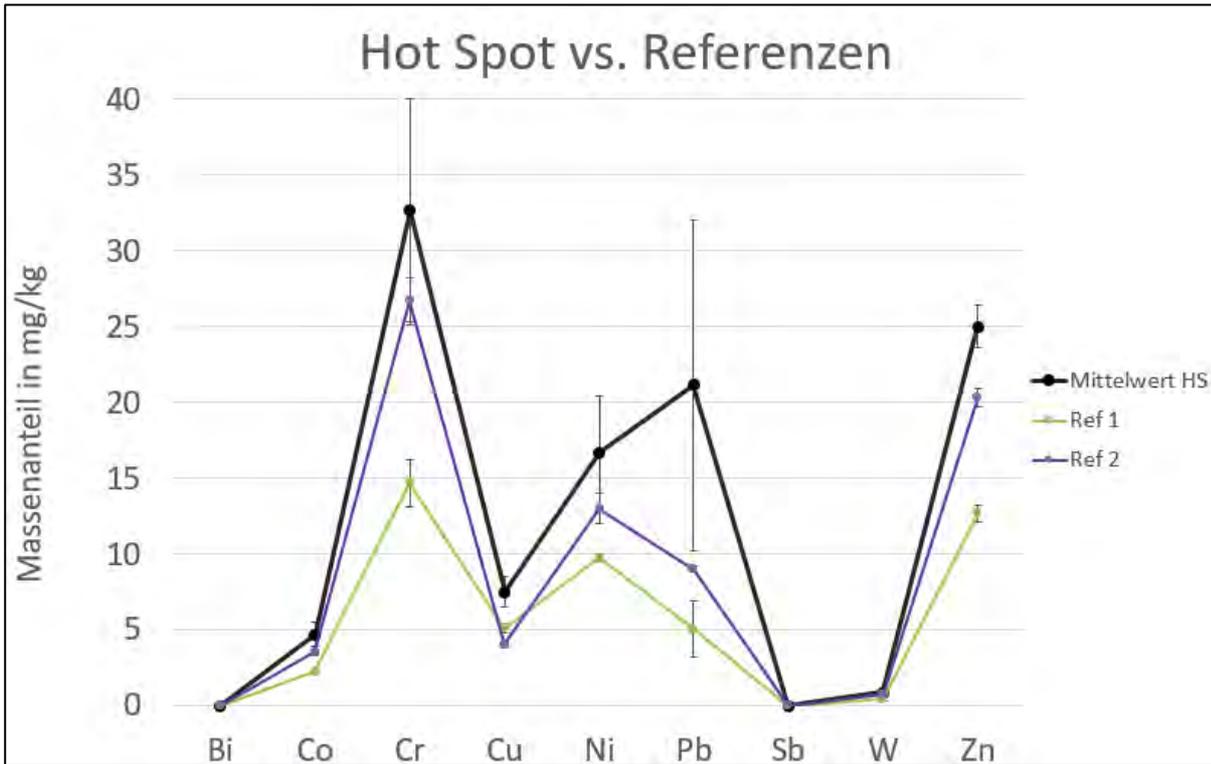


Illustration 13 : Comparaison des moyennes du triplicata « hot spot » avec les sites de référence pour les éléments Bi - Zn

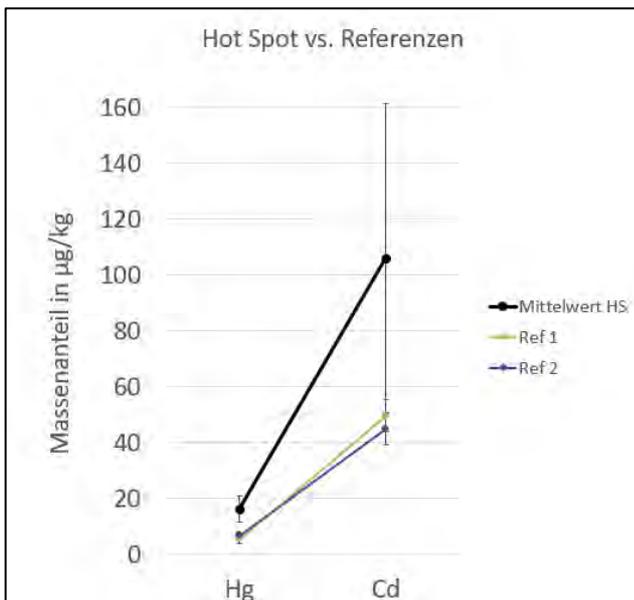


Illustration 14 : Comparaison des moyennes du triplicata « hot spot » avec les sites de référence pour le mercure et le cadmium

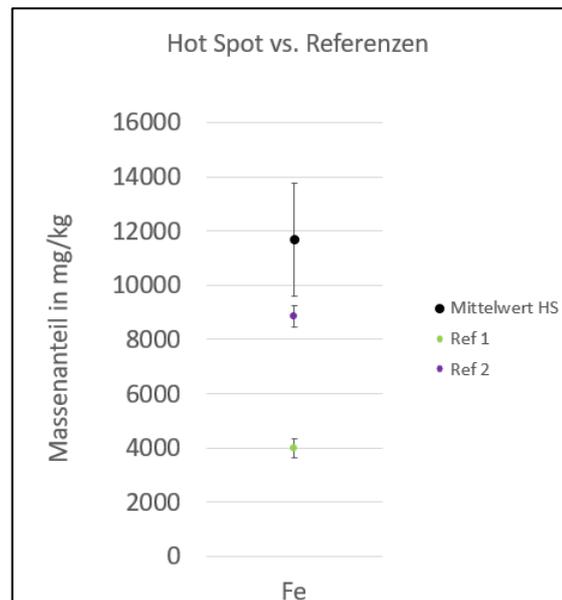


Illustration 15 : Comparaison des moyennes du triplicata « hot spot » avec les sites de référence pour le fer

Anciennes zones de cibles (S1 - S3) :

Les points représentent des échantillons à incréments multiples prélevés une seule fois. Ces sites contiennent beaucoup moins de résidus de munitions que la zone « hot spot ». Par analogie, on estime donc que la variabilité de ces valeurs (échantillonnage compris) est au maximum aussi grande que la variabilité observée pour le triplicata de la zone « hot spot », c'est-à-dire < 30 % pour le cadmium et < 50 % pour le plomb.

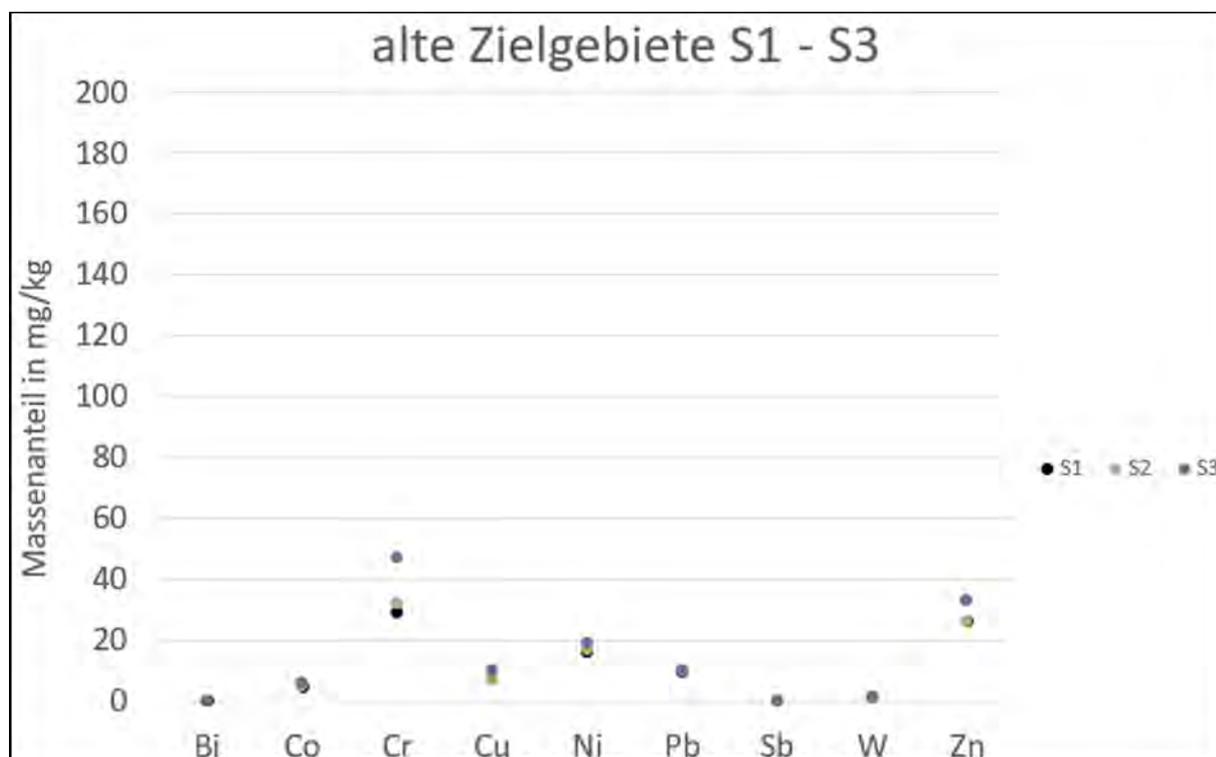


Illustration 16 : : Résultats des anciennes zones de cibles S1 - S3 pour les éléments Bi - Zn.

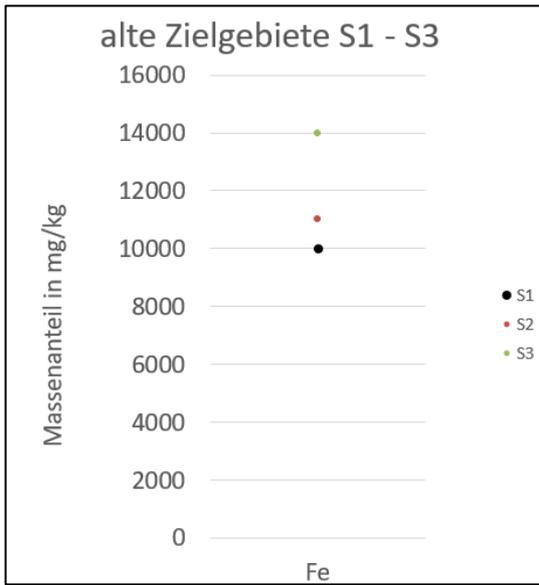


Illustration 17 : Résultats S1 - S3 pour le fer

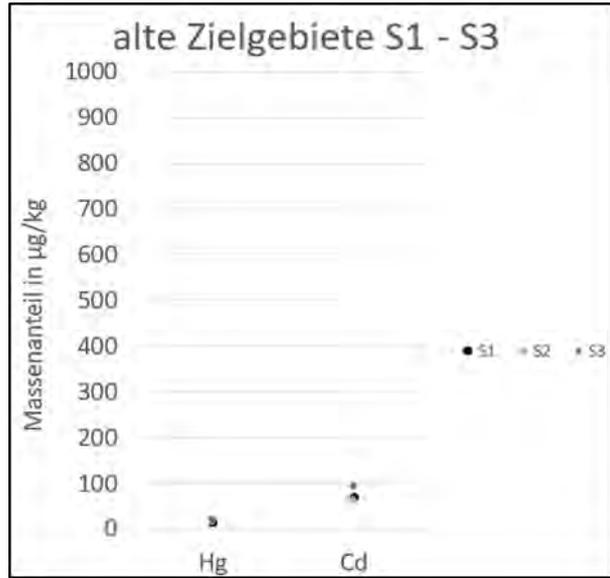


Illustration 18 : Résultats S1 - S3 pour le mercure et le cadmium

6 Conclusions et suite de la procédure

La technique d'échantillonnage utilisée, à savoir l'échantillonnage au moyen d'incrément multiples, offre une reproductibilité élevée des échantillons.

Aucun explosif n'a été découvert dans les échantillons d'eau et de sédiment analysés.

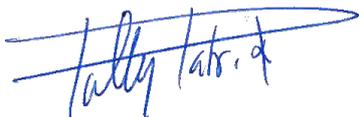
Toutes les concentrations mesurées dans l'eau se situent au niveau des sites de référence échantillonnés et sont nettement inférieures aux valeurs applicables de l'ordonnance sur la protection des eaux.

L'interprétation de ces résultats d'analyse sera discutée avec les cantons concernés, Vaud, Fribourg et Neuchâtel, l'OFEV, Pro Natura et l'association de la Grand Cariçaie., afin de déterminer les prochaines étapes.

7 Validation

Thoune, 23. septembre 2021

armasuisse
Sciences et technologies



Patrick Folly
Responsable du DS Matières explosives et
surveillance des munitions

armasuisse
Sciences et technologies



Jörg Mathieu



Sandie Pasche

DS Matières explosives et surveillance des
munitions

8 Références et annexes

¹ Géotechnique Appliquée Dériaz S.A.: Investigation historiques relatives aux dépôts et aux immersions de munitions dans les lacs suisses – Rapport à l'attention du secrétariat général du DDPS, Genève, 30.09.2004

² J. Mathieu, A. Jakob, « Beurteilung Gewässergefährdung Fliegerschiessplatz Forel durch Metalleintrag Fliegerschiessübungen Luftwaffe VBS », note de service ar WTE / OFPP, laboratoire de Spiez, à l'attention du SG-DDPS, 22 mars 2013

³ J. Mathieu, ar WTE, « Untersuchung Verteilung Munitionsrückstände im Gebiet Fliegerschiessplatz Forel », 15.01.2015

⁴ GBL Kt BE, Ueli Ochsenbein, Markus Zeh / BABS LS, Alfred Jakob / ar WTE, Jörg Mathieu "Vorschlag Konzept Wasseranalysen Neuenburgersee Forel zur Beurteilung allfälliger Schwermetall-Eintrag durch aktuelle Fliegerschiessübungen Luftwaffe VBS", 09.12.2014

⁵ Dr M. Burger, A. Jakob, M. Stauffer /OFPP laboratoire de Spiez, rapport d'analyse UA2015-16, 06.05.2015

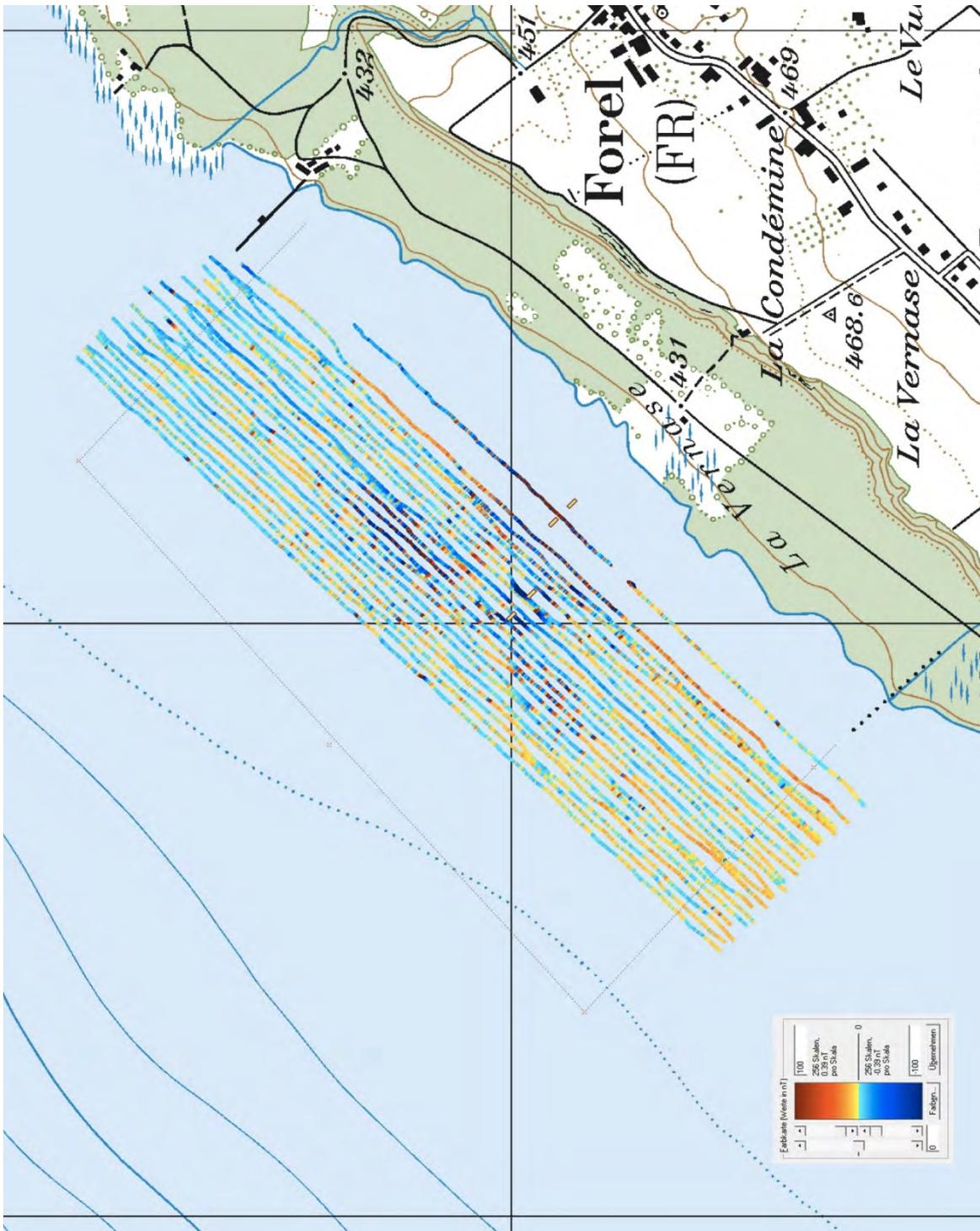
⁶ Marc Stauffer, OFPP, laboratoire de Spiez / Jörg Mathieu, Sandie Pasche, ar WTE, « Concept pour l'analyse de l'eau et des sédiments du lac de Neuchâtel afin d'évaluer le danger potentiel des résidus de munitions du champ de tir aérien de Forel », 24.02.2021

⁷ Zur Sedimentanalyse des neolithischen Profilabschnitts S/28 in Delley/Portalban II, Université de Bâle, 1984

⁸ Plateforme interne mise en place par S+T regroupant la documentation historique technique des munitions

⁹ Sauter, G. (2021). Étude préliminaire des empreintes chimiques dans les sédiments et mollusques à proximité de munitions immergées dans le Petit-Lac (Léman, Suisse), unpublished Master Thesis, Dept des sciences de la Terre, Université de Genève. – publication en juillet

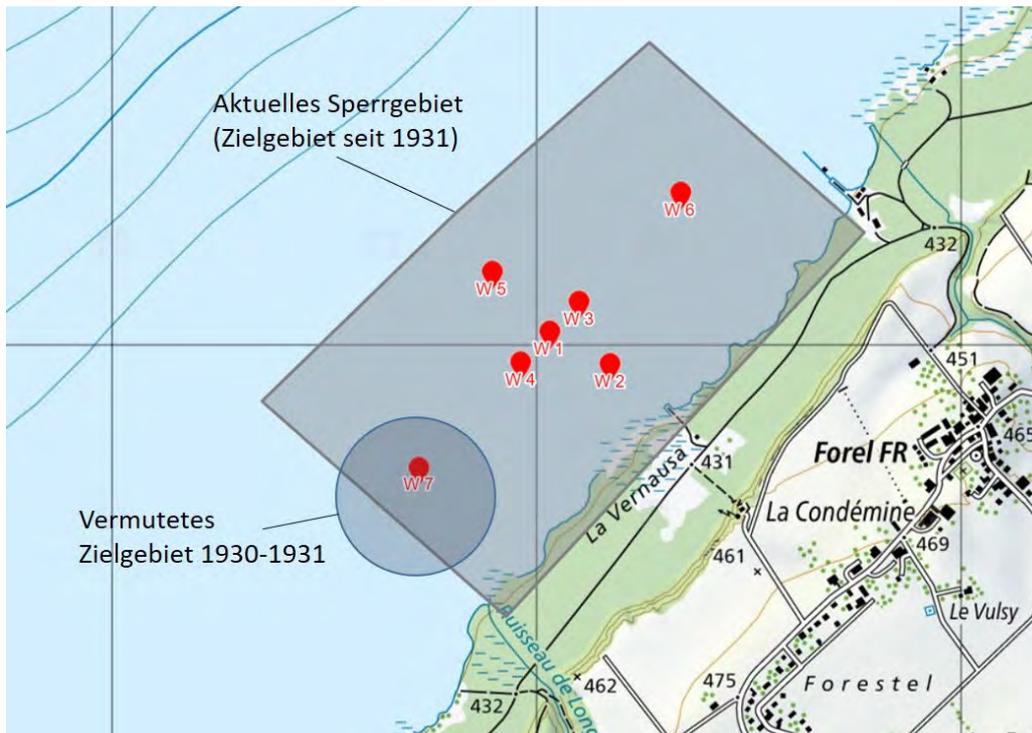
8.1 Karte Magnetometeranomalien im Hauptfeld Fliegerschiessplatz Forel



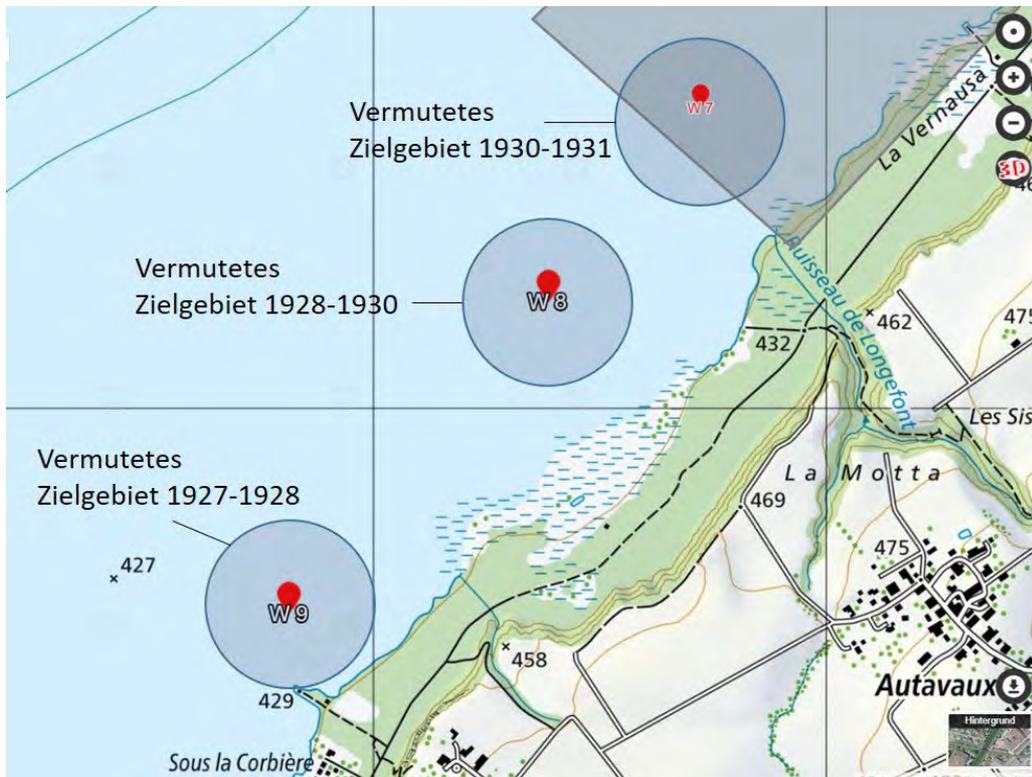
Raster Massstab entspricht 1 km. Quelle der Hintergrundkarte: Bundesamt für Landestopografie

8.2 Probenahmepositionen Wasser

Referenz Nr. Acta Nova: ar-D-EB643401/1746



Probenahmepositionen Wasser im Sperrgebiet



Probenahmepositionen Wasser in den ehemaligen Zielgebieten 1927-1928 und 1928-1930

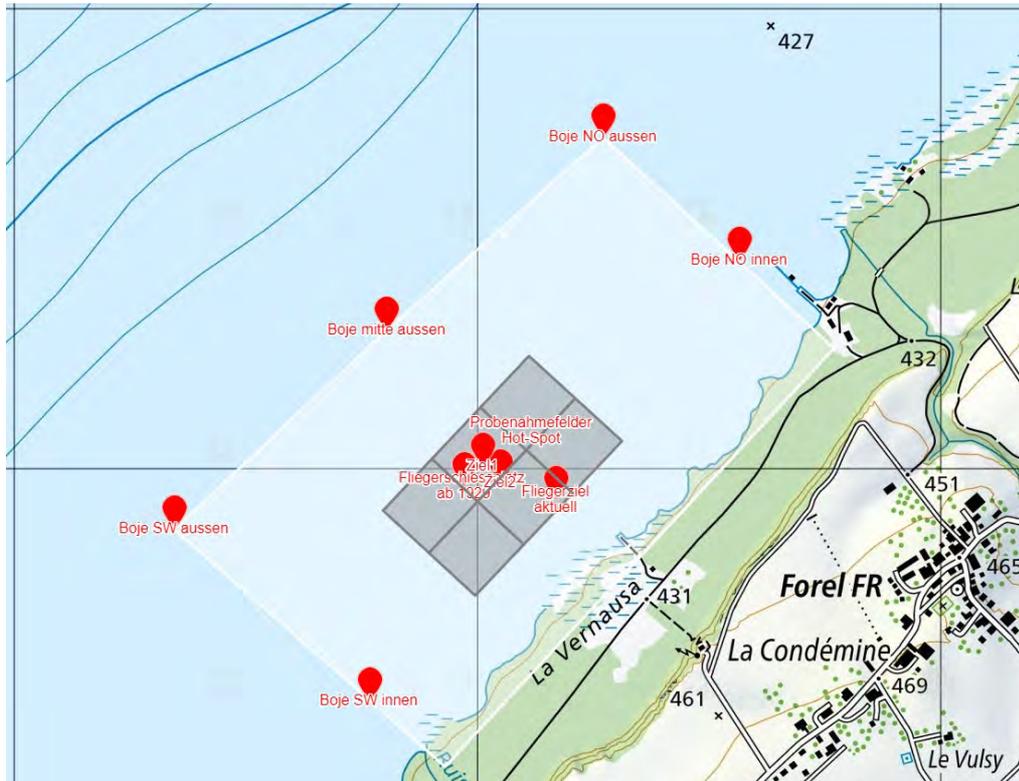
Bezeichnung	Beschreibung	Koordinaten
W 1	Zentrum Sperrgebiet zwischen den beiden betonierten Fliegerzielen	557'028,191'987
W 2	Bei aktuellen Fliegerzielen	557'171,191'910
W 3	100 m NO vom Zentrum	557'097,192'058
W 4	100 m SW vom Zentrum	556'960,191'913
W 5	200 m NW vom Zentrum	556'892,192'129
W 6	450 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



Referenzstandorte Wasserproben im Flachwasser

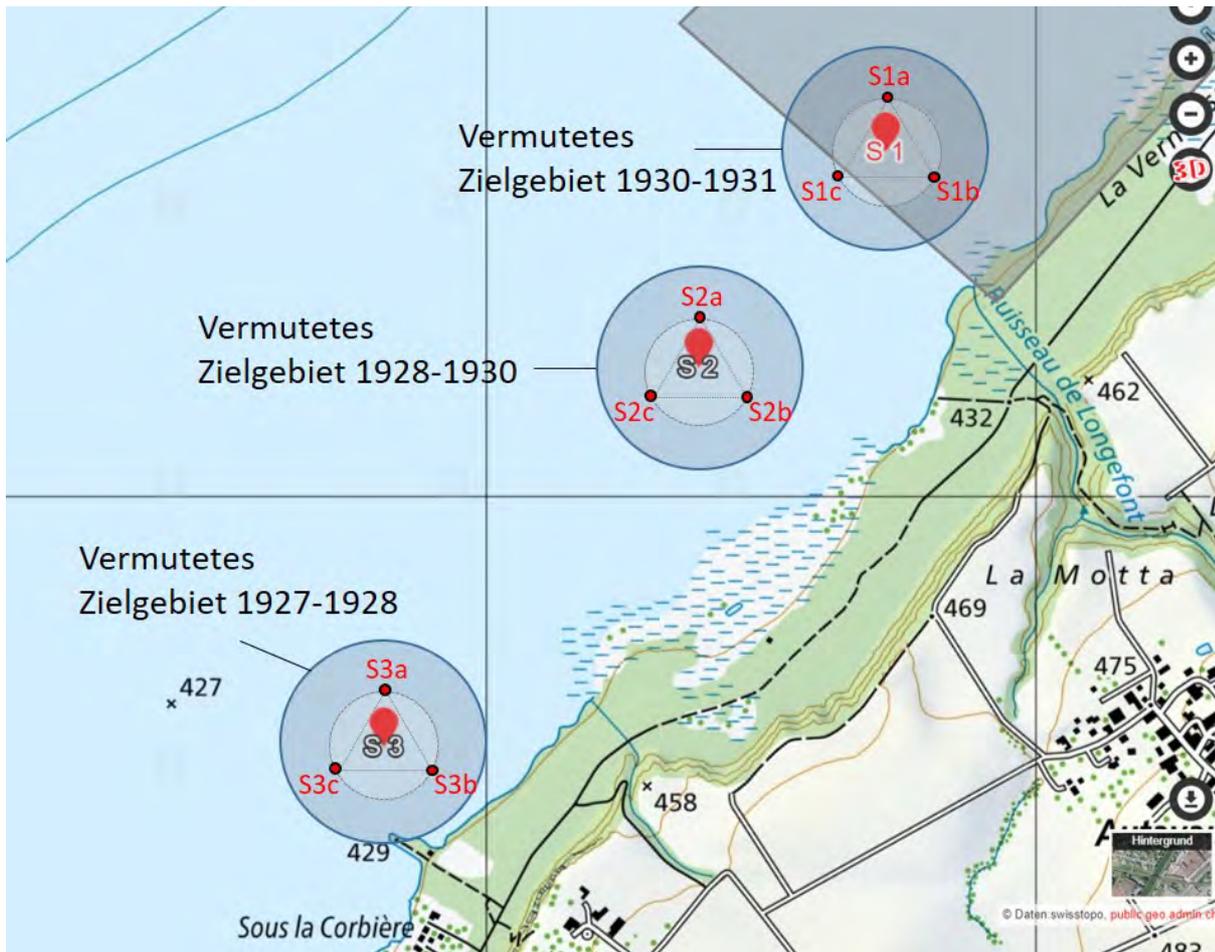
Bezeichnung	Koordinaten
Ref 1 W	561'615,196'028
Ref 2 W	551'930,187'827

8.3 Probenahmepositionen Sediment



Probenahmeflächen für die 6 Inkremente pro Primärprobe Sediment im Gebiet Hot Spot

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: 557'109,192'141
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
191987 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



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

Die Referenzstandorte der Probenahme Sedimente entsprechen denjenigen der Probenahme Wasser

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

8.4 Schusszahlen und Massenbilanz

Type de munition	Nr. Erhbl	Masse par pièce de munitions [kg/unité]	Nombre de coup tiré [nombre d'unités]	9% de rate [nombre d'unités]	Masse sans produit explosif : coup réussi [kg/unité]	Masse avec produit explosif : rate [kg/unité]	Masse totale des coups réussis [kg]	Masse totale des coups ratés [kg]	Masse produit explosif au total [kg]	Commentaires		
450 kg UBb 68	95_bis	422	20	2	422	422	7596	844	-	observée par KAMIR		
225kg UBb 81	96	222	20	2	222	222	3996	444	-	HU		
Fl-B. 50 kg	78	52	50	4	31	52	1426	207	1'550	83 événement en 1937 = estimation W+T		
50 kg Fl-U.B.	adaptée de 78	51	5'000	400	41	51	188600	20'400	4'000	LW		
50 kg Fl-B.B.	adaptée de 78	51	5'000	400	51	51	234600	20'400	265'000	-		
35 kg UBb 67	97	30	12	1	30	30	334	30	365	0.02 LW		
25 kg UBb 66	98	21	17'000	1'360	21	21	329336	28'665	357'974	HU + LW		
25 kg UBb 80	98	21	17'000	1'360	21	21	329336	28'665	357'974	HU		
12 kg U-Fl-B. Alu	99	12	20'000	1'600	12	12	218702	19'380	237'720	363 LW		
12 kg U-Fl-B. Stahl	100	12	20'000	1'600	12	12	224590	19'882	244'120	363 LW		
7 kg UBb (Beton)	101	7	240'000	19'200	7	7	1478477	128'563	1'607'040	- HU		
4 kg Flz UBb 81	102	4	5'000	400	4	4	18455	1'605	20'060	- LW		
SS 11 Type B1 Exercice	104	24	500	40	24	24	11256	979	12235	- HU		
20 mm Flz Kan 76 U Pat	106	0.1	71'745	5'740	0.1	0.1	7040	612	7'652	- LW		
20 mm HS-K. 48 Mi.Br.G. MZ	16_bis	0.1	7'077	566	0.1	0.1	697	69	757	8 HU		
20mm Flz Kan 92 U Pat 97	107	0.1	7'1745	5'740	0.1	0.1	6733	585	7'318	- LW		
30 mm Flz Kan 58 UG	adaptée de 109	0.2	50'000	4'000	0.2	0.2	11334	986	12'320	- LW		
30 mm Flz Kan 58 u 65 UG	109	0.2	50'000	4'000	0.2	0.2	11334	986	12'320	- LW		
30 mm Flugzeug Kanone 65 UG	adaptée de 109	0.2	50'000	4'000	0.2	0.2	11334	986	12'320	- LW		
8 cm U Rak	110	0.1	83'000	6'640	7.9	8.0	600953	52'987	663'210	730 HU		
20 mm Fl-K. 38 FlW-K.	111	8	100'000	8'000	0.1	0.1	10884	1'000	11'830	54 LW		
6.5 kg U FI Bb	115	6	40'000	3'200	6.2	6.3	226725	20'296	246'440	580 LW		
20mm FFK 37	113	0.1	5'000	400	0.1	0.1	592	54	644	3 LW		
127 mm Sin MK32 Züni	114	33	5	1	26	33	103	33	129	7 observée par KAMIR		
300 kg UBb 79	112	300	2	-	300	300	600	-	600	observée par KAMIR/ doc KAMIR		
Total en tonne =								3935	349	4277	6.2	4284

8.5 Schadstoffbilanz

Kaliber und Mun.-Art.	Nr. Erhbl	8% Blindgängerrate	Schuszahl	TNT		Nitroperita		Hexogen		Schwarzpulver		Barium-nitrat-peroxid-carbonat		Aluminium-pyrotech		Bleiazid		Hg-Fürminat		Antimon-III-sulfid		Kalium-perchlorat		Explo tot
				[g] Stk	[kg] tot	[g] Stk	[kg] tot	[g] Stk	[kg] tot	[g] Stk	[kg] tot	[g] Stk	[kg] tot	[g] Stk	[kg] tot	[g] Stk	[kg] tot	[g] Stk	[kg] tot	[g] Stk	[kg] tot	[g] Stk	[kg] tot	
450 kg UBb 68	95_bis	2	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
225kg UBb 81	96	2	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Flb. 50 kg	78	4	50	20'758	83	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	83
50 kg FI-U-B.	adaptee de 78	400	5000	-	-	-	-	-	-	10'000	4'000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4'000
50 kg FI-B.B.	adaptee de 78	400	5000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
35 kg UBb 67	97	1	12	-	-	-	-	-	-	20	0,02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
25 kg UBb 66	98	1360	17000	-	-	-	-	-	-	20	27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	27
25 kg UBb 80	98	1360	17000	-	-	-	-	-	-	20	27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	27
12 kg U-Flb. Alu	99	1600	20000	-	-	-	-	2	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	363
12 kg U-Flb. Stahl	100	1600	20000	-	-	-	-	2	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	363
7 kg UBb (Beiboh)	101	19200	240000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4 kg Flz UBb 81	102	400	5000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SS.11 Type BT Exercise	104	40	500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20 mm Flz Kan 76 U Pat	106	5740	71745	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20 mm HS-K. 48 M.Br.G. MZ	16_bis	566	7077	7.4	4.2	0.3	0.2	-	-	-	-	2	1	4	2	0.04	0.02	-	-	-	-	-	-	8
20mm Flz Kan 92 UPat 97	107	5740	71745	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30 mm Flz Kan 58 UG	adaptee de 109	4000	50000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30 mm Flz Kan 58 u 65 UG	109	4000	50000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30 mm Flugzeug Kanone 65 UG	adaptee de 109	4000	50000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20 mm FH-K 38 FMK.	111	8000	100000	6.3	50.4	0.3	2	-	-	0.02	0.15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	54
8 cm U Rak	110	6640	83000	-	-	-	-	-	-	110	730	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	730
6.5 kg UFI Bb	115	3200	40000	-	-	-	-	1	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	580
20mm FRK 37	113	400	5000	3	1.2	3	1	-	-	0.02	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3
127 mm SIn MK32 Ziuni	114	1	5	2'686	2.7	-	-	4'046	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7
300 kg UBb 79	112	0	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL [kg] :				142	12	4	6'081	1	2	2	0.04	0.14	0.18	0.18	0.14	0.18	0.14	0.18	0.14	0.18	0.14	0.18	6'245	

Referenz Nr. Acta Nova: ar-D-EB643401/1746

Werkstoffe

Kaliber und Mun.-Art.	Nr. Ehnl.	8% Blindgängerra- tie	Schusszahl	Stahl		Alu		Sand/ Sagmehl		Zement/ Paraffin/ Zement/ Beton		Aradite/ Bakelit		Messing		Blei total		Bronze (Cu/Sn)		Kupfer		Nickel		Antimon tor aus Stahl/ oder Blei		Zink aus Messing (3%)		Kunststoff		Unkristalline Werkstoffe	
				[g] Sk	[kg] tor	[g] Sk	[kg] tor	[g] Sk	[kg] tor	[g] Sk	[kg] tor	[g] Sk	[kg] tor	[g] Sk	[kg] tor	[g] Sk	[kg] tor	[g] Sk	[kg] tor	[g] Sk	[kg] tor	[g] Sk	[kg] tor	[g] Sk	[kg] tor	[g] Sk	[kg] tor	[g] Sk	[kg] tor	[g] Sk	[kg] tor
459 kg U Bb.68		95	2	251'913	5'038	50	1	-	-	170'000	3'400	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30	1	-	-	-	-	-	-	-	-	
228kg Ubb.81		96	2	170'641	3'413	7'845	157	-	-	43'500	870	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Fl.B. 50 kg		78	4	30'995	1'550	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
50 kg Fl-U.B.	adaptée de 78		400	5000	30'995	154'975	-	-	-	10'000	50'000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
50 kg Fl-B. B.	adaptée de 78		400	5000	30'995	154'975	-	-	-	20'000	100'000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
35 kg Ubb.67		97	1	12	103	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
25 kg Ubb.66		98	1360	17'000	18'863	320'676	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
25 kg Ubb.80		98	1360	17'000	18'863	320'676	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
12 kg UFl-B. Alu		99	1600	20000	9'416	188'320	620	12'400	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
12 kg UFl-B. Stahl		100	1600	20000	10'356	207'120	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
7 kg Ubb. (Beton)		101	19200	240'000	986	236'640	-	-	-	5'710	1'370'400	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
4 kg Flz. Ubb.81		102	400	5000	3'950	19'950	12	60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
SS 11 Type B1 Evardece		104	40	500	-	-	20'000	10'000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
20 mm Flz. Kan 76 UFlt		106	5740	71'745	88	6'314	9	679	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
20 mm HS-K-48 M.Br.G. MZ		16	566	7077	100	708	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
20mm Flz. Kan 92 UFlt 97		107	5740	71'745	91	6'529	7	502	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
30 mm Flz. Kan 68 UG	adaptée de 109		4000	50000	170	8'500	43	2'170	-	22	1'100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
30 mm Flz. Kan 58 u 65 UG		109	4000	50000	170	8'500	43	2'170	-	22	1'100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
30 mm Flugzeug Kanone 65 UG	adaptée de 109		4000	50000	170	8'500	43	2'170	-	22	1'100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
20 mm Flz. 38 FlAK		111	8000	100'000	100	10'000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
8 cm UFlak		110	6640	83000	7'500	622'500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
6.5 kg UFl Bb		115	3200	40'000	4'745	189'800	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
20mm FFK 37		113	400	5000	121	605	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
127 mm 5in MK52 Züni		114	1	5	19'700	99	6'000	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
300 kg Ubb.79		112	0	2	157'575	315	129'880	260	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
TOTAL [kg] :					2'475'703	30'599	55'800	86'122	6'072	876	5'650	7'808	65	2.6	18	8'330	72'741														

* Polyäthylen, Plastisol, Nitrilkautschuk, Teflon, Phosphat, Polyamid, Silikonkautschuk, Polytetrafluoräthylen, Polycarbonat, Polyester, Kunststoffe, Fiberglas, Epoxidharz, Polyurethan-Schaum, Acetylcellulose, Sulfon, Paraffinpapier, Graphit, Bakelit, Aceton

8.6 Probenahmepositionen und Geometrie Sedimente

8.4.21 / OSJA

Wasserstand Neuenburgersee (29.-31.3.21) ca. 429.4 m.ü.M.

	Pt.	Koordinate N	Koordinate O	CH Koordinaten	Seespiegel Tiefe / m	Sedimentkern			Datum	
						Ø / cm	Höhe / cm	Volumen / L		
HS-1	a	S00704	46°52.770'	006°52.565	557119/192196	2	5.3	36-39	0.8	29.03.2021
	b	S00705	46°52.742	006°52.535	557080/192145	2.1	5.3	50	1.1	
	c	S00706	46°52.718	006°52.566	557119/192100	1.8	5.3	45	1.0	
HS-2	a	S00707	46°52.709	006°52.593	557153/192083	1.7	5.3	46	1.0	29.03.2021
	b	S00708	46°52.702	006°52.655	557232/192070	1	5.3	47	1.0	
	c	S00709	46°52.695	006°52.569	557123/192057	1.4	10	26	2.0	
HS-3	a	S00710	46°52.707	006°52.497	557031/192080	1.5	5.3	36	0.8	29.03.2021
	b	S00711	46°52.674	006°52.522	557063/192019	1.1	5.3	35	0.8	
	c	S00712	46°52.668	006°52.455	556977/192009	1.6	5.3	48	1.1	
HS-4	a	S00713	46°52.633	006°52.520	557060/191943	1.4	5.3	51	1.1	29.03.2021
	b	S00714	46°52.605	006°52.507	557043/191891	1.1	10	20	1.6	
	c	S00715	46°52.639	006°52.632	557202/191953	1	10	15	1.2	
HS-5	a	S00716	46°52.629	006°52.433	556949/191936	1.6	5.3	47	1.0	29.03.2021
	b	S00717	46°52.632	006°52.362	556859/191943	1.7	5.3	50	1.1	
	c	S00718	46°52.613	006°52.363	556860/191907	1.6	5.3	37	0.8	
HS-6	a	S00721	46°52.558	006°52.415	556925/191805	1.3	5.3	41	0.9	29.03.2021
	b	S00722	46°52.540	006°52.487	557016/191771	1.3	10	26	2.0	
	c	S00723	46°52.592	006°52.505	557040/191867	1.2	5.3	54	1.2	
S1	Zentrum				556724/191628	1.3	5.3	45	1.0	31.03.2021
	a				556724/191731	1.4	5.3	48	1.1	
	b				556812/191583	1.6	5.3	58	1.3	
	c				556636/191583	1.5	5.3	56	1.2	
S2	Zentrum				556384/191234	1.4	5.3	50	1.1	30.03.2021
	a				556384/191333	1.6	5.3	49	1.1	
	b				556477/191176	1.8	5.3	55	1.2	
	c				556296/191176	1.8	5.3	45	1.0	
S3	Zentrum				555811/190537	1.8	5.3	36	0.8	31.03.2021
	a				555811/190638	2.1	5.3	52	1.1	
	b				555898/190488	1.4	10	26	2.0	
	c				555725/190488	1.4	5.3	40	0.9	
Ref1-S-a	1	S00725	46°54.854	006°56.078	561606/196027	1.6	5.3	54	1.2	29.03.2021
	2					1.4	5.3	62	1.4	
	3					1.4	5.3	50	1.1	
Ref1-S-b	1	S00727	46°54.853	006°56.092	561624/196025	1.6	5.3	50	1.1	29.03.2021
	2					1.6	5.3	53	1.2	
	3					1.6	5.3	35	0.8	
Ref1-S-c	1	S00729	46°54.860	006°56.085	561615/196038	1.6	5.3	50	1.1	29.03.2021
	2					1.6	5.3	55	1.2	
	3					1.6	5.3	48	1.1	
Ref2-S-a	1	S00730	46°50.394	006°48.504	551924/187834	1.4	5.3	48	1.1	29.03.2021
	2					1.4	5.3	40	0.9	
	3					1.4	5.3	46	1.0	
Ref2-S-b	1	S00731	46°50.386	006°48.508	551929/187819	1.5	5.3	42	0.9	29.03.2021
	2					1.5	5.3	48	1.1	
	3					1.5	5.3	43	0.9	
Ref2-S-c	1	S00732	46°50.396	006°48.516	551939/187837	1.5	5.3	50	1.1	29.03.2021
	2					1.5	5.3	48	1.1	
	3					1.5	5.3	49	1.1	

8.7 Resultate Explosivstoff-Analytik Wasserproben Bachema



Bachema AG
Analytische Laboratorien

email-Bericht (z. Hd.: Herr Mathieu, joerg.mathieu@ar.admin.ch)

(z. Hd.: Herr von Gunten,
cedric.vonGunten@babs.admin.ch)

Objekt

Auftrags-Nr. Bachema

Auftraggeber
Rechnungsadresse
Rechnung zur Visierung
Bericht an
Bericht per e-mail an
Bericht per e-mail an

Wasserproben, Forel FR

202103549

Labor Spiez, Sektion Physik, 3700 Spiez
Generalsekretariat VBS, Maulbeerstrasse 9, 3003 Bern
Generalsekretariat VBS, Maulbeerstrasse 9, 3003 Bern
amasuisse, J. Mathieu, Feuerwerkerstrasse 39, 3602 Thun
amasuisse, J. Mathieu, joerg.mathieu@ar.admin.ch
Labor Spiez, C. von Gunten, cedric.vonGunten@babs.admin.ch

Probenübersicht

Bachema-Nr.	Probenbezeichnung	Probenahme / Eingang Labor
15089 W	W1	/ 08.04.21
15090 W	W2	/ 08.04.21
15091 W	W3	/ 08.04.21
15092 W	W4	/ 08.04.21
15093 W	W5	/ 08.04.21
15094 W	W6	/ 08.04.21
15095 W	W7	/ 08.04.21
15096 W	W8	/ 08.04.21
15097 W	W9	/ 08.04.21
15098 W	Ref1-W	/ 08.04.21
15099 W	Ref2-W	/ 08.04.21

Freundliche Grüsse
BACHEMA AG

S. Ruckstuhl, Dr. sc. nat. / Dipl. Umwelt-Natw. ETH

E. Altay, Administration
Tel.: 044 738 39 00

Objekt Wasserproben, Forel FR
Auftraggeber Labor Spiez
Auftrags-Nr. Bachema 202103549

Probenbezeichnung		W1	W2	W3	W4	Referenzwert	
Proben-Nr. Bachema		15089	15090	15091	15092		
Tag der Probenahme							
Sprengstoffe							
1,3-Dinitrobenzol	µg/L	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		
1,3,5-Trinitrobenzol	µg/L	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		
2,4-Dinitrotoluol	µg/L	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		
2,6-Dinitrotoluol	µg/L	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		
2,4,6-Trinitrotoluol (TNT)	µg/L	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		
2-Amino-4,6-Dinitrotoluol	µg/L	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		
4-Amino-2,6-Dinitrotoluol	µg/L	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		
2,4-Diamino-6-Nitrotoluol	µg/L	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		
2,6-Diamino-4-Nitrotoluol	µg/L	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		
Hexogen (RDX)	µg/L	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		
Octogen (HMX)	µg/L	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		
PETN	µg/L	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		
Nitroglycerin	µg/L	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		
Diphenylamin	µg/L	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		
N-Nitrosodiphenylamin	µg/L	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		

Probenbezeichnung		W5	W6	W7	W8	Referenzwert	
Proben-Nr. Bachema		15093	15094	15095	15096		
Tag der Probenahme							
Sprengstoffe							
1,3-Dinitrobenzol	µg/L	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		
1,3,5-Trinitrobenzol	µg/L	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		
2,4-Dinitrotoluol	µg/L	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		
2,6-Dinitrotoluol	µg/L	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		
2,4,6-Trinitrotoluol (TNT)	µg/L	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		
2-Amino-4,6-Dinitrotoluol	µg/L	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		
4-Amino-2,6-Dinitrotoluol	µg/L	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		
2,4-Diamino-6-Nitrotoluol	µg/L	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		
2,6-Diamino-4-Nitrotoluol	µg/L	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		
Hexogen (RDX)	µg/L	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		
Octogen (HMX)	µg/L	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		
PETN	µg/L	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		
Nitroglycerin	µg/L	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		
Diphenylamin	µg/L	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		
N-Nitrosodiphenylamin	µg/L	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1		

Objekt
Auftraggeber
Auftrags-Nr. Bachema

Wasserproben, Forel FR
Labor Spiez
202103549

Probenbezeichnung	W9	Ref1-W	Ref2-W	Referenzwert	
Proben-Nr. Bachema	15097	15098	15099		
Tag der Probenahme					
Sprengstoffe					
1,3-Dinitrobenzol	µg/L	<0.1	<0.1	<0.1	
1,3,5-Trinitrobenzol	µg/L	<0.1	<0.1	<0.1	
2,4-Dinitrotoluol	µg/L	<0.1	<0.1	<0.1	
2,6-Dinitrotoluol	µg/L	<0.1	<0.1	<0.1	
2,4,6-Trinitrotoluol (TNT)	µg/L	<0.1	<0.1	<0.1	
2-Amino-4,6-Dinitrotoluol	µg/L	<0.1	<0.1	<0.1	
4-Amino-2,6-Dinitrotoluol	µg/L	<0.1	<0.1	<0.1	
2,4-Diamino-6-Nitrotoluol	µg/L	<0.1	<0.1	<0.1	
2,6-Diamino-4-Nitrotoluol	µg/L	<0.1	<0.1	<0.1	
Hexogen (RDX)	µg/L	<0.1	<0.1	<0.1	
Octogen (HMX)	µg/L	<0.1	<0.1	<0.1	
PETN	µg/L	<0.1	<0.1	<0.1	
Nitroglycerin	µg/L	<0.1	<0.1	<0.1	
Diphenylamin	µg/L	<0.1	<0.1	<0.1	
N-Nitrosodiphenylamin	µg/L	<0.1	<0.1	<0.1	

email-Bericht (z. Hd.: Herr Mathieu, joerg.mathieu@ar.admin.ch)

(z. Hd.: Herr von Gunten,
Cedric.vonGunten@babs.admin.ch)

Objekt	Nr. 1, Sedimentproben, Forel (FR)
Auftrags-Nr. Bachema	202103986
Auftraggeber	Labor Spiez, Sektion Physik, 3700 Spiez
Rechnungsadresse	Generalsekretariat VBS, Maulbeerstrasse 9, 3003 Bern
Rechnung zur Visierung	Generalsekretariat VBS, Maulbeerstrasse 9, 3003 Bern
Bericht an	Labor Spiez, J. Mathieu, Austrasse, 3700 Spiez
Bericht per e-mail an	Labor Spiez, J. Mathieu, joerg.mathieu@ar.admin.ch
Bericht per e-mail an	Bundesamt für Bevölkerungsschutz (BABS), C. von Gunten, Cedric.vonGunten@babs.admin.ch

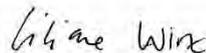
Probenübersicht

Bachema-Nr.	Probenbezeichnung	Probenahme / Eingang Labor
16776	F HS a	/ 17.04.21
16777	F HS b	/ 17.04.21
16778	F HS c	/ 17.04.21
16779	F S1	/ 17.04.21
16780	F S2	/ 17.04.21
16781	F S3	/ 17.04.21
16782	F Ref1-S a	/ 17.04.21
16783	F Ref1-S b	/ 17.04.21
16784	F Ref1-S c	/ 17.04.21
16785	F Ref2-S a	/ 17.04.21
16786	F Ref2-S b	/ 17.04.21
16787	F Ref2-S c	/ 17.04.21

Freundliche Grüsse
BACHEMA AG



S. Ruckstuhl, Dr. sc. nat. / Dipl. Umwelt-Natw. ETH



L. Wirz, Administration
Tel.: 044 738 39 00

Objekt Nr. 1, Sedimentproben, Forel (FR)
Auftraggeber Labor Spiez
Auftrags-Nr. Bachema 202103986

Probenbezeichnung		Referenzwert			
		HS a	HS b	HS c	Ref1-S a
Proben-Nr. Bachema		16778	16777	16778	16782
Tag der Probenahme					
Probenparameter					
Angelieferte Probemenge	kg	3.8	4.0	5.2	1.8
Allgemeine und anorganische Parameter					
Kohlenstoff org. (TOC)	% v. TS c.	0.3	0.4	0.4	1.0
Sprengstoffe					
1,3-Dinitrobenzol (TS)	µg/kg TS	<1	<1	<1	<1
1,3,5-Trinitrobenzol (TS)	µg/kg TS	<1	<1	<1	<1
2,4-Dinitrotoluol (TS)	µg/kg TS	<1	<1	<1	<1
2,6-Dinitrotoluol (TS)	µg/kg TS	<1	<1	<1	<1
2,4,6-Trinitrotoluol (TNT) (TS)	µg/kg TS	<1	<1	<1	<1
2-Amino-4,6-Dinitrotoluol (TS)	µg/kg TS	<1	<1	<1	<1
4-Amino-2,6-Dinitrotoluol (TS)	µg/kg TS	<1	<1	<1	<1
2,4-Diamino-6-Nitrotoluol (TS)	µg/kg TS	<1	<1	<1	<1
2,6-Diamino-4-Nitrotoluol (TS)	µg/kg TS	<1	<1	<1	<1
Hexogen (RDX) (TS)	µg/kg TS	<3	<3	<3	<3
Octogen (HMX) (TS)	µg/kg TS	<10	<10	<10	<10
PETN (TS)	µg/kg TS	<1	<1	<1	<1
Nitroglycerin (TS)	µg/kg TS	<1	<1	<1	<1
Diphenylamin (TS)	µg/kg TS	<1	<1	<1	<1
N-Nitrosodiphenylamin (TS)	µg/kg TS	<1	<1	<1	<1

Objekt **Nr. 1, Sedimentproben, Forel (FR)**
Auftraggeber Labor Spiez
Auftrags-Nr. Bachema 202103986

Probenbezeichnung	Ref1-S b	Ref1-S c	Ref2-S a	Ref2-S b	Referenzwert	
Proben-Nr. Bachema Tag der Probenahme	16783	16784	16785	16786		
Probenparameter						
Angelieferte Probemenge	kg	1.5	1.6	2.1	2.7	
Allgemeine und anorganische Parameter						
Kohlenstoff org. (TOC)	% v TS C	1.0	1.0	0.2	0.3	
Sprengstoffe						
1,3-Dinitrobenzol (TS)	µg/kg TS	<1	<1	<1	<1	
1,3,5-Trinitrobenzol (TS)	µg/kg TS	<1	<1	<1	<1	
2,4-Dinitrotoluol (TS)	µg/kg TS	<1	<1	<1	<1	
2,6-Dinitrotoluol (TS)	µg/kg TS	<1	<1	<1	<1	
2,4,6-Trinitrotoluol (TNT) (TS)	µg/kg TS	<1	<1	<1	<1	
2-Amino-4,6-Dinitrotoluol (TS)	µg/kg TS	<1	<1	<1	<1	
4-Amino-2,6-Dinitrotoluol (TS)	µg/kg TS	<1	<1	<1	<1	
2,4-Diamino-6-Nitrotoluol (TS)	µg/kg TS	<1	<1	<1	<1	
2,6-Diamino-4-Nitrotoluol (TS)	µg/kg TS	<1	<1	<1	<1	
Hexogen (RDX) (TS)	µg/kg TS	<3	<3	<3	<3	
Octogen (HMX) (TS)	µg/kg TS	<10	<10	<10	<10	
PETN (TS)	µg/kg TS	<1	<1	<1	<1	
Nitroglycerin (TS)	µg/kg TS	<1	<1	<1	<1	
Diphenylamin (TS)	µg/kg TS	<1	<1	<1	<1	
N-Nitrosodiphenylamin (TS)	µg/kg TS	<1	<1	<1	<1	

Bachema AG
Analytische Laboratorien

Objekt Nr. 1, Sedimentproben, Forel (FR)
Auftraggeber Labor Spiez
Auftrags-Nr. Bachema 202103986

Probenbezeichnung		Ref2-S c	S1	S2	S3	Referenzwert	
Proben-Nr. Bachema		16787	16779	16780	16781		
Tag der Probenahme							
Probenparameter							
Angelieferte Probemenge	kg	2.4	2.9	2.9	3.1		
Allgemeine und anorganische Parameter							
Kohlenstoff org. (TOC)	% v TS C	0.2	0.5	0.3	0.3		
Sprengstoffe							
1,3-Dinitrobenzol (TS)	µg/kg TS	<1	<1	<1	<1		
1,3,5-Trinitrobenzol (TS)	µg/kg TS	<1	<1	<1	<1		
2,4-Dinitrotoluol (TS)	µg/kg TS	<1	<1	<1	<1		
2,6-Dinitrotoluol (TS)	µg/kg TS	<1	<1	<1	<1		
2,4,6-Trinitrotoluol (TNT) (TS)	µg/kg TS	<1	<1	<1	<1		
2-Amino-4,6-Dinitrotoluol (TS)	µg/kg TS	<1	<1	<1	<1		
4-Amino-2,6-Dinitrotoluol (TS)	µg/kg TS	<1	<1	<1	<1		
2,4-Diamino-6-Nitrotoluol (TS)	µg/kg TS	<1	<1	<1	<1		
2,6-Diamino-4-Nitrotoluol (TS)	µg/kg TS	<1	<1	<1	<1		
Hexogen (RDX) (TS)	µg/kg TS	<3	<3	<3	<3		
Octogen (HMX) (TS)	µg/kg TS	<10	<10	<10	<10		
PETN (TS)	µg/kg TS	<1	<1	<1	<1		
Nitroglycerin (TS)	µg/kg TS	<1	<1	<1	<1		
Diphenylamin (TS)	µg/kg TS	<1	<1	<1	<1		
N-Nitrosodiphenylamin (TS)	µg/kg TS	<1	<1	<1	<1		

8.9 Resultate Schwermetall-Analytik Wasser- und Sedimentproben Labor Spiez



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Verteidigung,
Bevölkerungsschutz und Sport VBS

Bundesamt für Bevölkerungsschutz BABS
LABOR SPIEZ

Referenz/Aktenzeichen: VGCE / BABS-313-1/15
Spiez, 30.04.2021

Prüfstelle für die Bestimmung von Radionukliden und Elementanalytik.

Prüfbericht Nr. NUC-21-010

Auftraggeber

GS VBS Raum und Umwelt

Auftrag

Bestimmung der munitionsrelevanten Metalle in Überstandswasser sowie Sedimentproben des Spl Forel im Neuenburgersee.

Zusammenfassung

Die Probenahme erfolgte zusammen mit der armasuisse und der KAMIR. Die Wasser- sowie die Sedimentproben wurden, nach erfolgter Probenaufarbeitung, mittels ICP-Massenspektrometrie, ICP-Optischer Emissionsspektrometrie, Atomfluoreszenzspektrometrie und Atomabsorptionsspektrometrie auf die Metallkonzentrationen hin analysiert. Die Resultate sind im Kapitel 10 des vorliegenden Berichts zusammengestellt.

Nuklearchemie

Dr. Mario Burger
Chef Fachbereich
Nuklearchemie

Nuklearchemie

Marc Stauffer
Prüfstellenleiter
STS 0028

Nuklearchemie

Cédric von Gunten
Messgruppenleiter
Anorganische Analytik

– Jörg Mathieu, armasuisse, Feuerwerkerstrasse 39, CH-3602 Thun

- STM
- OSJA → Dok STS 0028
- Reg.

Der Inhalt dieses Prüfberichts bezieht sich nur auf den Prüfgegenstand. Dieser Prüfbericht darf ohne Rücksprache mit dem LABOR SPIEZ nicht auszugsweise, sondern nur in vollem Text veröffentlicht werden.

Bundesamt für Bevölkerungsschutz BABS
LABOR SPIEZ, 3700 Spiez
Tel. +41 58 468 14 00, Fax +41 58 468 14 02
laborspiez@babs.admin.ch
www.labor-spiez.ch



Aktenzeichen BABS-313-1/15

1/5

Prüfbericht Nr. NUC-21-010

1. Auftragseingang

Eingangsdatum: 12.11.2020

Art des Eingangs: E-Mail

2. Auftragsnummer und Prüfplan

Vorschrift: L 028 004

Auftragsnummer: NUC-21-010

Prüfplan: Prüfplan_NUC-21-010

3. Probenerhebung

Vorschrift: L 028 061

Entnahme durch: LABOR Spiez

Probenerhebungsplan: Konzept Wasser- und Sedimentanalyse Neuenburgersee zur Beurteilung Gefährdungspotential Munitionsrückstände Fliegerschiessplatz "Forel" (24. Februar 2021 – Marc Stauffer, BABS Labor Spiez; Sandie Pasche / Jörg Mathieu, armasuisse W+T)

4. Prüfgegenstand und Codierung

Probencodierung: Vorschrift L 028 006

Originalcode	Prüfgegenstand	NUC-Code	Zu-stand	Eingang
W 1	Wasser	NUC-21-010-W1	i.O.	31.03.2021
W 2	Wasser	NUC-21-010-W2	i.O.	31.03.2021
W 3	Wasser	NUC-21-010-W3	i.O.	31.03.2021
W 4	Wasser	NUC-21-010-W4	i.O.	31.03.2021
W 5	Wasser	NUC-21-010-W5	i.O.	31.03.2021
W 6	Wasser	NUC-21-010-W6	i.O.	31.03.2021
W 7	Wasser	NUC-21-010-W7	i.O.	31.03.2021
W 8	Wasser	NUC-21-010-W8	i.O.	31.03.2021
W 9	Wasser	NUC-21-010-W9	i.O.	31.03.2021
Ref 1 W	Wasser	NUC-21-010-Ref1-W	i.O.	31.03.2021
Ref 2 W	Wasser	NUC-21-010-Ref2-W	i.O.	31.03.2021
Hot-Spot 1	Sediment	NUC-21-010-HS-a	i.O.	31.03.2021
Hot-Spot 2	Sediment	NUC-21-010-HS-b	i.O.	31.03.2021
Hot-Spot 3	Sediment	NUC-21-010-HS-c	i.O.	31.03.2021
Zielgebiet S 1	Sediment	NUC-21-010-S1	i.O.	31.03.2021
Zielgebiet S 2	Sediment	NUC-21-010-S2	i.O.	31.03.2021
Zielgebiet S 3	Sediment	NUC-21-010-S3	i.O.	31.03.2021
Ref 1 S-a	Sediment	NUC-21-010-Ref1-S-a	i.O.	31.03.2021
Ref 1 S-b	Sediment	NUC-21-010-Ref1-S-b	i.O.	31.03.2021
Ref 1 S-c	Sediment	NUC-21-010-Ref1-S-c	i.O.	31.03.2021
Ref 2 S-a	Sediment	NUC-21-010-Ref2-S-a	i.O.	31.03.2021
Ref 2 S-b	Sediment	NUC-21-010-Ref2-S-b	i.O.	31.03.2021
Ref 2 S-c	Sediment	NUC-21-010-Ref2-S-c	i.O.	31.03.2021

Prüfbericht Nr. NUC-21-010

5. Probenvorbereitung

Trocknung, Brechen	L 028 107
Totalaufschluss	L 028 105
Schwermetalle in Wasserproben	L 028 110

6. Analysenmethoden

Massenspektrometrie	L 028 135
Optische Emissions Spektrometrie	L 028 106
Direct Mercury Analyzer (AAS)	L 028 133
Atomfluoreszenz-Spektrometrie (AFS)	L 028 139

7. Prüfdatum und Prüfungsdurchführung

Datum/Zeitspanne:	31.03.2021 – 26.04.2021
SachbearbeiterIn:	OSJA/VGCE/GOSR/Lernende

8. Archivierung

Vorschrift:	L 028 004
Prüfbericht/Rohdaten:	10 Jahre
Prüfgegenstände:	Sedimente: 12 Monate
	Wasser: 3 Monate

9. Messunsicherheit und Bemerkungen

Das Analysenverfahren wurde durch Mitanalysieren der Referenzmaterialien (UA-Mn-617, UA-Mn-618, NUC-Mn-041, NUC-Mn-117, NUC-Mn-130) überprüft. Aufgrund dieser Überprüfungen sind die ausgewiesenen Gehalte mit den folgenden Messunsicherheiten ($p = 0.95$) zu interpretieren.

Wasser:

- Feldparameter: $\pm 10 \%$
- Hg, W, Bi: $\pm 15 \%$
- Fe: $\pm 1 \%$
- Übrige: $\pm 10 \%$

Sedimente:

- Hg: $\pm 20 \%$
- Fe: $\pm 1 \%$
- Übrige: $\pm 15 \%$

Experimentelle Details und analytische Unterlagen sind bei der Prüfstelle STS 0028 zugänglich.

Prüfbericht Nr. NUC-21-010

10. Resultate

10.1 Wasser

Prüfgegenstand	Temperatur / °C	pH / 1	Leitfähigkeit (T _{ref} = 25 °C) / µS/cm	w(Bi) / µg/L		w(Cd) / µg/L		w(Co) / µg/L		w(Cr) / µg/L		w(Cu) / µg/L	
				diss.	tot.rec.	diss.	tot.rec.	diss.	tot.rec.	diss.	tot.rec.	diss.	tot.rec.
W1	8.4	8.4	315	<0.1	<0.1	<0.02	<0.02	<0.1	<0.1	<0.12	<0.1	<0.1	<0.1
W2	8.7	8.3	316	<0.1	<0.1	<0.02	<0.02	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
W3	8.2	8.5	319	<0.1	<0.1	<0.02	<0.02	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
W4	8.3	8.4	315	<0.1	<0.1	<0.02	<0.02	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
W5	8.0	8.4	314	<0.1	<0.1	<0.02	<0.02	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
W6	8.5	8.6	401	<0.1	<0.1	<0.02	<0.02	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
W7	8.4	8.4	315	<0.1	<0.1	<0.02	<0.02	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
W8	8.7	8.5	311	<0.1	<0.1	<0.02	<0.02	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
W9	8.2	8.4	316	<0.1	<0.1	<0.02	<0.02	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Ref 1 W	10.0	8.4	347	<0.1	<0.1	<0.02	<0.02	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Ref 2 W	10.6	8.2	313	<0.1	<0.1	<0.02	<0.02	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
GSchV ⁽¹⁾						0.05	0.2			2 ⁽²⁾	5	2	5
AltV Eluat ⁽¹⁾						5	5	2000	2000	20 ⁽³⁾	1500	1500	1500

Prüfgegenstand	w(Fe) / µg/L		w(Hg) / ng/L		w(Ni) / µg/L		w(Pb) / µg/L		w(Sb) / µg/L		w(W) / µg/L		w(Zn) / µg/L	
	diss.	tot.rec.	diss.	tot.rec.	diss.	tot.rec.								
W1	2.3	2.8	0.066	<0.05	0.3	0.36	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.5
W2	2.4	4.5	<0.05	<0.05	0.3	0.33	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.5
W3	1.5	3.3	<0.05	<0.05	0.36	0.35	0.13	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.5
W4	1.6	2.0	0.11	<0.05	0.32	0.48	0.39	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.5
W5	1.4	1.9	0.11	<0.05	0.32	0.47	0.39	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.82
W6	1.2	6.2	<0.05	<0.05	0.33	0.45	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	1.2
W7	2.1	2.7	<0.05	<0.05	0.33	0.46	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.5
W8	1.0	1.5	0.16	<0.05	0.34	0.34	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.5
W9	1.3	1.5	0.091	<0.05	0.3	0.32	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.5
Ref 1 W	9.3	1.5	<0.05	<0.05	0.36	0.33	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.5
Ref 2 W	1.4	1.7	<0.05	<0.05	0.28	0.32	0.19	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.5
GSchV ⁽¹⁾			10	30	5	10	1	10					5	20
AltV Eluat ⁽¹⁾			1000	1000	700	700	50	50	10	10			5000	5000

Prüfbericht Nr. NUC-21-010

10.2 Sediment

Die Resultate beziehen sich auf die TS 105 °C korrigierten Massenkonzentrationen des Sediments ohne metallische Fremdkörper.

Prüfgegenstand	w(Bi) / mg/kg	w(Cd) / mg/kg	w(Co) / mg/kg	w(Cr) / mg/kg	w(Cu) / mg/kg	w(Fe) / mg/kg	w(Hg) / µg/kg	w(Ni) / mg/kg	w(Pb) / mg/kg	w(Sb) / mg/kg	w(W) / mg/kg	w(Zn) / mg/kg
Hot-Spot 1	< 0.3	0.073	4.2	27	6.8	10000	12	14	9.4	< 1	0.76	24
Hot-Spot 2	< 0.3	0.075	4.3	30	8.2	11000	16	15	31	< 1	0.84	26
Hot-Spot 3	< 0.3	0.17	5.6	41	n.a ^[4]	14000	21	21	23	< 1	1.0	n.a ^[4]
Zielgebiet S 1	< 0.3	0.068	4.6	29	7.0	10000	14	16	9.5	< 1	0.83	26
Zielgebiet S 2	< 0.3	0.062	4.8	32	6.8	11000	15	17	9.6	< 1	0.85	26
Zielgebiet S 3	< 0.3	0.094	6	47	10	14000	19	19	10	< 1	1.1	33
Ref 1 S-a	< 0.3	0.048	2.3	15	5.4	4100	7.3	10	7.1	< 1	0.41	13
Ref 1 S-b	< 0.3	0.045	2.3	16	4.9	4300	6.0	9.7	4.4	< 1	0.47	13
Ref 1 S-c	< 0.3	0.056	2.1	13	5.0	3600	3.9	9.5	3.6	< 1	0.34	12
Ref 2 S-a	< 0.3	< 0.04	3.3	25	3.8	8400	6.5	12	9.0	< 1	0.83	20
Ref 2 S-b	< 0.3	0.049	3.7	28	4.1	9200	7.3	14	9.2	< 1	0.70	21
Ref 2 S-c	< 0.3	0.041	3.6	27	4.2	9000	7.0	13	8.8	< 1	0.71	20
VVEA unverschmutzt ^[1]	1			50	40		500	50	50			150
AltIV Anh. 3; 2 ^[1]	20			100 ^[3]	1000		2000	1000	1000			2000
VBBö Richtwert ^[1]	0.8			50	40		500	50	50			150

[1] informativ, die anzuwendenden Grenzwerte sind zum Zeitpunkt der Berichterstattung nicht definiert

[2] als Cr-III und Cr-VI

[3] als Cr-VI

[4] nicht ausgewiesen

8.10 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.