



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Verteidigung,
Bevölkerungsschutz und Sport VBS

Generalsekretariat VBS
Raum und Umwelt VBS

Militärische Munitionsversenkungen in Schweizer Seen

UMFASSENDE GEFÄHRDUNGSABSCHÄTZUNG

ergänzt mit

**Abklärungen zur Herkunft von Spuren-
belastungen durch Explosivstoffe**



Ferdinand Hodler, Thunersee von Leissigen, 1904

Auftraggeber

Generalsekretariat VBS
Raum und Umwelt VBS
Maulbeerstrasse 9
3003 Bern
&
Umweltfachstellen der Kantone Bern,
Luzern, Nidwalden, Schwyz und Uri

Projektaufsicht

GS VBS RU, Abteilungsleitung
AfU UR, Amtsleitung
BVE/AWA BE, Amtsleitung

Untersuchungsperimeter

- Thunersee
- Brienersee
- Urnersee
- Gersauerbecken

Berichtverfasser

Arbeitsgemeinschaft
Schenker Korner & Partner GmbH
Geologische Beratungen
Büttenenhalde 42
6006 Luzern
&
Dr. Johannes van Stuijvenberg
Umweltgeologe
Hofenstrasse 17
3032 Hinterkappelen

3. Februar 2012

Projektorganisation: Vgl. Anhang A
Status Dokument: Projektinterner Bericht

© GS VBS, Bern, 2012

Inhaltsverzeichnis

ZUSAMMENFASSUNG

1. Ausgangslage und Zielsetzung	1
1.1. Ausgangslage	1
1.2. Untersuchungssperimeter	3
1.3. Zielsetzungen	4
1.4. Wissenslücken (2005)	5
1.5. Problematik Felchen im Thunersee	5
1.6. Verwendete Unterlagen	6
2. Organisation	8
2.1. Projektorganisation	8
2.2. Projektstruktur	8
2.3. Projektablauf	10
2.4. Interne Koordination	11
2.5. Internationale Kontakte und Dokumente	12
3. Durchgeführte Arbeiten und Resultate	14
3.1. Ortung von Munition	14
3.1.1. Grobkartierung	14
3.1.2. Eindringtiefe von Munition ins Sediment	16
3.1.3. Detailortung	17
3.1.4. Bathymetrische Untersuchungen	19
3.2. Hebung und Zustand von Testobjekten	20
3.2.1. Hebung von Testobjekten	21
3.2.2. Transport und Delaborierung der Testobjekte	22
3.2.3. Untersuchungen der Explosivstoffe	22
3.2.4. Korrosionsuntersuchungen	23
3.3. Sediment- und Porenwasseruntersuchungen	25
3.3.1. Sondierungen Sedimentkerne	25
3.3.2. Probenahme- und Analytikprogramm Sedimentkerne	25
3.3.3. Resultate Sedimentuntersuchungen	28
3.3.4. Diphenylamin im Sediment	32

3.4. Gewässeruntersuchungen	34
3.4.1. Methodik Gewässeruntersuchungen	34
3.4.2. Gewässeruntersuchungen Thuner- und Brienzersee	34
3.4.3. Gewässeruntersuchungen Vierwaldstättersee	36
3.4.4. Seewasser unmittelbar über dem Seegrund (Überstandswasser)	37
3.4.5. Perchlorat im Thunerseewasser	39
4. Schliessen der Wissenslücken	40
4.1. Wissenslücke Lage und Verteilung	40
4.2. Wissenslücke Korrosion	41
4.3. Wissenslücke Sedimentcharakterisierung	42
4.4. Wissenslücke Schadstoffe im Sediment	43
4.5. Wissenslücke Schadstoffe im Seewasser	44
4.6. Wissenslücke weitere Schadstoffquellen	45
5. Gefährdungsabschätzung Munition (nach AltIV)	46
5.1. Methodik	46
5.1.1. Gefährdungspotential	46
5.1.2. Beurteilungsgrundlage	47
5.2. Schadstoffpotential	49
5.3. Bedeutung und Exposition der Schutzgüter	50
5.4. Freisetzungspotential	51
5.4.1. Freisetzungspotential heute	51
5.4.2. Abschätzung zur Plausibilität	52
5.4.3. Freisetzungspotential in Zukunft	52
5.5. Beurteilung	54
6. Externe Schadstoffquellen	55
6.1. Potentielle externe Schadstoffquellen	55
6.2. Bekannte externe Schadstoffquellen	57
6.3. Nachweis einer externen Quelle	60
7. Gewässerschutzspezifische Beurteilung	63
7.1. Massenbilanz Explosivstoffe	63
7.1.1. Methodik Massenbilanz Explosivstoffe	63
7.1.2. Massenbilanz Explosivstoffe im Thunersee	63
7.1.3. Massenbilanz Explosivstoffe Brienzersee	64
7.1.4. Massenbilanz Explosivstoffe im Vierwaldstättersee	65
7.2. Gewässerschutzspezifische Beurteilung	67
8. Weiteres Vorgehen	69

Anhang

Anhang A	Projektorganisation, schematische Darstellung
Anhang B	„Das Rätsel vom Thunersee“ Zusammenfassung der Abklärungen bez. Gonadenveränderungen bei Felchen
Anhang C	Lage und Charakterisierung der Ablagerungsstandorte
Anhang D	Probenahmeprogramm Sedimentuntersuchungen
Anhang E	Fotos Sedimentkerne, Eawag
Anhang F	Untersuchungsbericht Explosivstoffe, Bachema AG, 08.09.2009
Anhang G	Untersuchungsbericht DPA, Bachema AG, 02.10.2009
Anhang H	Prüfbericht Metalle, Labor Spiez, 28.08.2009
Anhang I1	Prüfbericht „Perchlorat Überstandswasser“ , kant. Laboratorium Bern, 29.07.2009
Anhang I2	Prüfbericht „Perchlorat Porenwasser“, kant. Laboratorium Bern, 08.09.2009
Anhang J	Zusammenfassung Analyseresultate Sedimente, Uni Bern, 02.09.2009
Anhang K1	Thunersee: Zusammenstellung Analytik Seewasser 2006-2010
Anhang K2	Thunersee: Zusammenstellung Analytik Zuflüsse/Abfluss 2006-2010
Anhang L1	Brienzersee: Zusammenstellung Analytik Seewasser 2006-2010
Anhang L2	Brienzersee: Zusammenstellung Analytik Zuflüsse/Abfluss 2006-2010
Anhang M1	Vierwaldstättersee: Zusammenstellung Analytik Seewasser 2006-2009
Anhang M2	Vierwaldstättersee: Zusammenstellung Analytik Zuflüsse/Abfluss 2006-2009
Anhang N	Kurzbericht „Neue TWL für monocyclische Nitroverbindungen“, 13.10.2005
Anhang O	Kurzbericht „Ableitung von Konzentrationswerten nach AltIV“, 11.2005
Anhang P	Überwachung Seewasserqualität, Monitoringprogramm 2011-2016

Beilagen

- Beilage 1 Bericht:
Auswertung flächenmässige Ortung Munition in Schweizer Seen, Herbst 2007,
armasuisse Wissenschaft und Technologie W+T, 26.03.2008
- Beilage 2 Bericht:
Untersuchung Eindringtiefe von Munition im Sediment beim Auftreffen auf den See-
grund, armasuisse Wissenschaft und Technologie W+T, 14.05.2008
- Beilage 3 Bericht:
Auswertung Detail-Ortung Munition in Schweizer Seen, Herbst 2008,
armasuisse Wissenschaft und Technologie W+T, 16.03.2009
- Beilage 4 Untersuchungsbericht:
Metallographische Untersuchung, insbesondere der Korrosion von 6 Munitionsobjek-
ten, Eidg. Materialprüfungs- und Forschungsanstalt Empa, 29.05.2009
- Beilage 5 Bericht:
Bergung und Untersuchung Testobjekte versenkte Munition,
armasuisse Wissenschaft und Technologie W+T, 16.07.2009
- Beilage 6 Interner Bericht zuhanden des VBS:
Massenbilanzen und toxikologisches Gefährdungspotential von ausgewählten Explo-
sivstoffen im Thuner-, Brienzer- und Vierwaldstättersee, Eawag, Februar 2010

Zusammenfassung

Ausgangslage und Zielsetzung

Trotz Wissenslücken kam das mit einer ersten Gefährdungsabschätzung betraute Team im Jahr 2005 zum Schluss, dass die mit Munition, Munitionsbestandteilen und Werkstoffen belasteten Standorte im Thunersee aufgrund des vorhandenen Wissens heute und in Zukunft nicht zu schädlichen Einwirkungen auf das Schutzgut Seewasser führen. Für die Standorte im Brienersee, Urnersee und im Gersauerbecken des Vierwaldstättersees war eine ebenbürtige Gefährdungsabschätzung aufgrund fehlender Daten nicht möglich.

Um das Risiko der Munitionsversenkungen umfassend und für alle betroffenen Seen gleichwertig beurteilen zu können, mussten folgende Wissenslücken geschlossen werden:

- Genaue Lage und Verteilung der Munition in den Seen
- Korrosionsverhalten der Munition und der Munitionsbestandteile
- Eigenschaften des die Munition umgebenden Sediments
- Schadstoffgehalte in den Sedimenten im Bereich der Versenkungsstandorte

Zur Zielsetzung gehörte auch die Ausarbeitung eines Vorschlags, wie die in der umfassenden Gefährdungsabschätzung begründete Prognose mittels Messungen verifiziert werden soll (Monitoring und Auswertung).

Untersuchungen

Mit einem umfassenden Programm, bestehend aus den Teilprojekten Monitoring, Stoffe/Munition, Ortung/Verifikation und Hebung von Testobjekten, wurden zwischen 2005 und 2010 eine Vielzahl von Probenahmen, Messungen und Untersuchungen durchgeführt. Für mehrere Programmteile mussten neuartige Verfahren entwickelt werden, da einige der vorliegenden Fragestellungen weltweit noch nie beantwortet wurden. Alle Ergebnisse werden im vorliegenden Bericht im Detail dokumentiert.

Die Untersuchungen erfolgten durch ein transdisziplinäres Team (GS VBS, Kantone, armasuisse, Berichterstatter) mit Unterstützung von Forschungsinstituten (Eawag, Empa, Institut für Geologie der Universität Bern), Analyselabors (Labor Spiez, Gewässer- und Bodenschutzlabor des Kantons Bern GBL, Institut Bachema AG) und von Spezialfirmen (Unterwasserortung, Konstruktion von Hebewerkzeugen). Die Projektaufsicht wurde vom GS VBS zusammen mit den Leitern der Umweltfachstellen der Kantone Bern und Uri wahrgenommen.

Resultate

Die folgenden Resultate sind für die umfassende Risikobeurteilung und für Aussagen zur Herkunft von Explosivstoffspuren im Seewasser relevant:

- Die Lage und Verteilung der Munition in den Seen ist nun durch geophysikalische und optische Untersuchungen gut bekannt. In den detailliert untersuchten Gebieten ist die Munition überall mit Sediment bedeckt, der Hauptteil (ca. 90%) liegt zwischen 0.25 und 1.7 m tief im Sediment.
- Bei der Hebung von Testobjekten wurden diverse Munitionsobjekte geborgen. Intakt versenkte Munitionsobjekte zeigten keine oder nur sehr geringe Korrosionserscheinungen. Die zwei geborgenen 12 cm-Granaten erwiesen sich als sprengfähig und gefährlich. Objekte, welche bei der Versenkung bereits beschädigt oder detoniert waren, weisen Korrosionserscheinungen auf.
- In den Feststoffproben (21 Sedimentkerne) waren – mit Ausnahme von Diphenylamin (DPA) in den Thunersee-Proben – keine Explosivstoffe oder deren Metaboliten nachweisbar. DPA ist im Thunersee auch in den Referenzproben weit ausserhalb von Munitionsablagerungen nachweisbar und stammt nicht aus der versenkten Munition.
- Mittels Laborexperimenten wurden die Abbauraten von Explosivstoffen in Sedimenten ermittelt. Der überwiegende Teil der Stoffe baut sich innert Tagen bis Wochen ab.
- Die Analyse der Porenwässer aus Sedimentkernen hat ergeben, dass sämtliche Explosivstoffgehalte unter der Bestimmungsgrenze der Analysemethode ($0.1 \mu\text{g/l}$) lagen. Die gemessenen Schwermetall-Gehalte entsprechen natürlicherweise vorkommenden Werten und/oder den überall nachweisbaren, von menschlichen Aktivitäten stammenden Einträgen.
- Mit den durchgeführten hochempfindlichen Seewasser-Analysen wurden in allen Seen und in diversen Zuflüssen Spuren von Explosivstoffen detektiert.

Mit der Auswertung der Untersuchungsergebnisse konnten die bestehenden Wissenslücken für die umfassende Gefährdungsabschätzung geschlossen werden.

Gefährdungsabschätzung nach Altlasten-Verordnung (AltIV)

Die Gefährdung des Seewassers durch versenkte Munition und Munitionsbestandteile wird durch die Kombination der drei Grössen „Schadstoffpotential“, „Freisetzungspotential“ und „Bedeutung und Exposition des Schutzgutes“ quantifiziert.

Das **Schadstoffpotential** der versenkten Munition ist in allen vier Seen gross, da bedeutende Mengen Munition versenkt wurden. Die **Bedeutung des Schutzgutes „Seewasser“** ist hoch, denn es handelt sich um genutztes oder potenzielles Trinkwasser. Die **Exposition des Schutzgutes „Seewasser“** ist hoch, denn die räumliche Distanz zwischen abgelagerter Munition und Schutzgut ist gering. In der Zukunft wird die Exposition durch die laufend grösser werdende Sedimentüberdeckung (ca. 0.5 cm/Jahr) jedoch abnehmen. Das **Freisetzungspotential von Stoffen in das Schutzgut ist gering**. Es wird über die Zeit kontinuierlich weiter abnehmen und es besteht keine konkrete Gefahr, dass das Freisetzungspotential sich in Zukunft erhöhen wird.

Trotz grossem Schadstoffpotential und hoher Bedeutung und Exposition des Seewassers als Schutzgut ist das Gefährdungspotential der in den Seen deponierten Munitionsabfälle aufgrund des sehr geringen Freisetzungspotentials als gering abzuschätzen.

Abklärungen zur Herkunft der im Seewasser festgestellten Explosivstoffe

Der Nachweis von Explosivstoff-Spuren in Seewasserproben erforderte weitere Abklärungen, weil die Bedeutung des Schutzgutes Seewasser sehr hoch ist. Das Wasser des Vierwaldstättersees wird für die Trinkwasserversorgung verwendet und soll grundsätzlich als Trinkwasserreservoir zu Verfügung stehen. Das Wasser des Brienzer- und Thunersees wird zurzeit nicht für die Trinkwasserversorgung verwendet, eine zukünftige Nutzung ist jedoch denkbar. Indirekt speisen diese Seen jedoch das heute genutzte Grundwasser im Aaretal.

Zunächst wurden die Schadstoffmengen bilanziert. Aus der Differenz zwischen den Untersuchungsergebnissen bezüglich Munitionsablagerungen und den im Seewasser gemessenen Konzentrationen ergaben sich klare Hinweise auf das Vorhandensein von see-externen Schadstoffquellen. Solche konnten auch identifiziert werden: Explosivstoff-Produktionsstandorte, Munitionsvernichtungs- und Sprengplätze, Deponien und weitere Standorte oder Baustellen, an welchen Explosivstoffe verwendet, verarbeitet oder entsorgt wurden.

Die im Thuner- und Brienzersee gemessenen Spurengehalte von Explosivstoffen und ihren Abbauprodukten lagen mindestens um einen Faktor 380 unterhalb der Anforderungen an Trinkwasser. Für den Vierwaldstättersee lagen diese Messwerte mindestens um einen Faktor 10 unter diesen Trinkwasserleitwerten. Durch die nachgewiesenen Konzentrationen besteht sowohl aus humantoxikologischer als auch ökotoxikologischer Sicht keine konkrete Gefährdung. Es ist nun Aufgabe der Behörden dafür zu sorgen, dass die festgestellten Einträge von Explosivstoffen aus externen Quellen unterbunden oder aufgrund des Vorsorgeprinzips reduziert werden. Dazu dient auch das Aufspüren von eventuellen weiteren, noch nicht festgestellten Explosivstoffquellen, sowie – falls nötig – deren Untersuchung und Sanierung.

Weiteres Vorgehen

Folgende Aktivitäten werden empfohlen:

- Eine Überwachungsbedürftigkeit der mit Munition belasteten Standorte im Sinne der Altlasten-Verordnung besteht nicht. Aus politischen Gründen und als vertrauensbildende Massnahme empfehlen wir, die Porenwasseranalysen in Sedimentkernen in einem zeitlichen Abstand von mehreren Jahren zu wiederholen (vgl. Anhang P).
- Eintragen der Versenkungsstandorte in die kantonalen Kataster der belasteten Standorte. Bei Nutzungen des Seebodens wird damit den besonderen Rahmenbedingungen der Munitionsdeponien Rechnung getragen.
- Die bisherige, regelmässige Überwachung der Wasserqualität durch die Kantone soll durch die relevanten Explosivstoffparameter ergänzt werden (Vorschlag für ein Monitoringprogramm im Anhang P). Ziel ist primär die Erfolgskontrolle bezüglich Frachtverminderung aus bekannten und allenfalls noch zu erkundenden externen Quellen. Weiter trägt diese Überwachung zur Gewissheit bei, dass die Trinkwasserqualität gewährleistet ist und bleibt.

1. Ausgangslage und Zielsetzung

1.1. Ausgangslage

In der ersten Hälfte des letzten Jahrhunderts wurde durch die Armee in verschiedenen Schweizer Seen Munition und Munitionsbestandteile versenkt. Die Abfälle stammten hauptsächlich aus alten Munitionsbeständen des zweiten Weltkrieges, aus Explosionsunglücken in Munitionsmagazinen oder aus den Munitionsfabriken (Fabrikationsrückstände, Fehlchargen und Altmunition).

Durch die Gruppe für Rüstungsdienste (GRD, heute armasuisse) wurden bereits in den Jahren 1993 bis 1995 erste Abklärungen bezüglich der Lage, der akuten Belastung und des Freisetzungspotentials der Munitionsdeponien im Thunersee durchgeführt (Stucki/Mathieu 1995). Aufgrund dieser umfangreichen Untersuchungen gelangte man zum Schluss, dass für das Seewasser und die biologischen Kreisläufe im See keine Beeinträchtigung besteht und in Zukunft auch nicht entstehen wird. Mit dieser Erkenntnis wurde es um die Thematik „Munitionsversenkungen in Schweizer Seen“ ruhig.

Im Sommer 2000 wurden bei mehreren Berufsfischern am Thunersee Deformationen der Geschlechtsorgane (Gonaden) von Felchen beobachtet. Für die Ursache dieses Phänomens waren vorerst keine Erklärungen zu finden. Als ein möglicher Grund für diesen Sachverhalt kamen die Munitionsdeponien im Thunersee wieder ins Gespräch. Diverse Untersuchungen, unter anderen bezüglich der Ökotoxikologie von Sprengstoffen, folgten und waren am Laufen, als am 17.11.2003 auf kantonaler Ebene (Bern) die Motion „Gresch“ zur Bergung der Munition aus dem Thunersee eingereicht wurde. Der Regierungsrat des Kantons Bern befand aber, dass aufgrund der dazumal vorliegenden Untersuchungsergebnisse noch keine abschliessenden Folgerungen betreffend einer Gefährdung zulässig seien und eine Bergung somit nicht gefordert werden könne.

Kurz darauf folgte auf Bundesebene die Motion „Haller“ (Einreichtdatum 05.05.2004), welche vom Bundessrat verlangte, die deponierte Munition bzw. die versenkten Sprengstoffrückstände in Schweizer Seen sei so weit zu bergen und zu entsorgen, als diese eine potenzielle Gefahr für Menschen und Tiere darstellen. Der Bundesrat verwies auf eine zwingende Interessenabwägung bezüglich der potentiellen Gefahr, welche einerseits von den Munitionsdeponien und andererseits vom Bergevorgang ausgeht. Über eine Bergung soll erst dann entschieden werden, wenn Erkenntnisse über die Gefahren für das ökologische Gleichgewicht vorliegen und verschiedene Bergemethoden geprüft worden sind. In der Folge wurde die Motion vom Ständerat abgelehnt. Die Munition soll somit bis auf weiteres nicht gehoben werden.

Aussagen eines Zeitzeugen im Lokalfernsehen zu Munitionsversenkungen im Brienzersee in den Jahren 1947/48 lösten im März 2004 eine erste Historische Altlastenvoruntersuchung aus (Stuijvenberg 2004). In der Folge wurde vom GS VBS eine historische Untersuchung zur Ablagerung von Munition in sämtlichen Schweizer Seen in Auftrag gegeben. Es zeigte sich, dass mehr als 95% der militärischen Abfälle im Thuner-, Brienzer- und Vierwaldstättersee (Urnersee und Gersauerbecken) versenkt wurden. Basierend auf diesen Ergebnissen wurde für diese Standorte eine Gefährdungsabschätzung durchgeführt, welche sich auf eine detaillierte Erhebung des Schadstoffpotentials, auf eine Abschätzung des Freisetzungspotentials und auf bereits vorhandene Analysedaten gefährdungsrelevanter Schadstoffe stützte (ARGE 2005). Weiter wurde die Machbarkeit von unterschiedlichen Sanierungs-, bzw. Bergungsvarianten im Sinne einer ersten Näherung abgeklärt und bewertet.

Das Fazit der Gefährdungsabschätzung 2005 (Bericht vom 16.09.2005) war, dass aufgrund der vorhandenen Datengrundlage keine schädlichen Einwirkungen auf das Schutzgut Seewasser bestehen und dass auch nicht die konkrete Gefahr besteht, dass solche Einwirkungen entstehen werden. Aufgrund der unterschiedlichen Datengrundlage für die einzelnen Seen bestanden aber Wissenslücken, welche hinsichtlich einer umfassenden Gefährdungsabschätzung zu schliessen waren. Darüber hinaus wurde darauf hingewiesen, dass eine allfällige Bergung von Munition das heute intakte ökologische Gleichgewicht in den Seen durch Sedimentaufwirbelung und Sauerstoffzehrung stark stören würde.

Die inzwischen durchgeführten Untersuchungen zu den zivilen Munitionsablagerungen im Zürichsee (AWEL 2005) führten zu analogen Schlussfolgerungen: Aus Sicht des Gewässerschutzes und des Altlastenrechts ist die Bergung der Munition im Zürichsee nicht notwendig. Eine allfällige Bergung würde sowohl den Menschen als auch die Umwelt stärker gefährden, als das Belassen der Munition in den Seesedimenten.

Um die Wissenslücken für eine umfassende Gefährdungsabschätzung bezüglich den militärischen Munitionsablagerungen in den betroffenen Seen zu schliessen, wurde in den vergangenen Jahren vom VBS zusammen mit den betroffenen Kantonen und diversen Fachinstitutionen eine Vielzahl weiterer Abklärungen durchgeführt. Dabei konnten in den vier definierten Untersuchungsteilprojekten zu den Munitionsablagerungen (Monitoring, Stoffe/Munition, Ortung/Verifikation und Hebung Testobjekte) wichtige neue Erkenntnisse gewonnen werden. Mit dem Schreiben vom 11. November 2009 des GS VBS wurde die ARGE Schenker Korner & Partner GmbH/Dr. Johannes van Stuijvenberg damit beauftragt, die neuen Daten bezüglich Munitionsversenkungen zu konsolidieren und mit vorliegendem Bericht eine umfassende Gefährdungsabschätzung vorzulegen.

1.2. Untersuchungsperimeter

Der Untersuchungsperimeter der vorliegenden Gefährdungsabschätzung umfasst den Thuner-, Brienzer- und Vierwaldstättersee, unter Berücksichtigung der relevanten Zuflüsse. Als relevantes Schutzgut gelten die oberirdischen Gewässer (Seewasser). Die versenkte Munition selbst liegt heute in den Sedimenten unter dem Seegrund. Aufgrund der historischen Abklärungen liessen sich folgende Versenkungsstandorte definieren (Stand 2005):

See	Standort		Nr. KbS-VBS	Zentrums- koordinaten	Versen- kungstiefe [m]	Deponie- fläche ca. [km ²]	Versenkte Tonnagen ¹ [t]	
	Nr.	Name					Standort	See
Thunersee	1	Einigen ²	GR EIN 3153	617.369/173.596	160	1.5	unbek.	4'590
	2	Merligen	GR SIG 3150	620.800/171.800	170-200	2.5	1'800	
	3	Beatenbucht	GR SIG 3151	623.000/169.500	190-215	2.0	2'790	
Brienzersee	4	Nase Brienzen	INT Z 48.1	644.800/176.650	180-200	1.0	280	280
Urnersee (VWS)	5	Axenfelsen	1207-1-008	689.550/199.680	100	0.3	330	2'800
	6	Bolzbad	1214-1-017	688.400/194.750	70-100	0.8	150	
	7	Bauen-Sisikon/ Nördl. Isleten	1207-1-009 1207-1-010	688.250/198.550	180-190	1.7	1'000	
	8	Rütli	1215-1-011	688.650/202.250	190-200	0.8	1'350	
Gersauerbecken (VWS)	9	Gersauer- becken	GERSAU See	681.800/203.700	190-215	3.4	530	530

Tabelle 1: Munitions-Ablagerungsstandorte im Untersuchungsperimeter (Stand 2005, aktueller Stand bezüglich Lage und Fläche im Anhang C)

¹ Bestmögliche Schätzungen gemäss Historischen Untersuchungen 2004

² Stand 2005, Thunersee ergänzt mit Standort „Einigen“, jedoch ohne Standort „Balmholz“ (Standort im Uferbereich, geringe Menge Munition, weitgehend gehoben).

1.3. Zielsetzungen

Ziel des vorliegenden Berichts ist die Erarbeitung einer umfassenden Gefährdungsabschätzung für die Munitionsablagerungen im Untersuchungsperimeter unter Berücksichtigung der seit 2005 geschlossenen Wissenslücken. Aufgrund dieser Gefährdungsabschätzung soll die Überwachungs- und Sanierungsbedürftigkeit der Standorte gemäss Art. 10 der Altlasten-Verordnung (AltIV) und die Gefährdung des Seewassers gemäss Gewässerschutzgesetzgebung (GSchG) beurteilt werden.

Im Rahmen des Gesamtprojekts „militärische Munitionsversenkungen in Schweizer Seen“ werden konkret folgende Ziele verfolgt:

- Aufzeigen der bereits vorhandenen Datengrundlagen, der massgebenden Rahmenbedingungen und der politischen Aspekte.
- Beschreibung der Struktur des Gesamtprojekts, der Aufgabenverteilung sowie der Zusammenarbeit mit den betroffenen Kantonen und den spezialisierten Institutionen.
- Aufzeigen der Vorgehensweise innerhalb der vier Teilprojekte, Zusammenfassung der Resultate und Beurteilung der Erkenntnisse hinsichtlich des Gesamtprojekts.
- Schliessen der aufgezeigten Wissenslücken aus dem Bericht vom 16.09.2005.
- Abschluss der Altlastenvoruntersuchung, bzw. schutzgutbezogene Beurteilung der Ablagerungsstandorte gemäss Art. 10 der AltIV.
- Gewässerschutzspezifische Beurteilung.
- Vorschläge für das weitere Vorgehen (Monitoring).
- Der vorliegende Bericht soll als Grundlage für die Information der Öffentlichkeit und der Politik dienen.

1.4. Wissenslücken (2005)

Im Rahmen der ersten Gefährdungsabschätzung im Jahr 2005 wurden die wichtigsten Wissenslücken aufgezeigt. Für eine umfassende Risikobeurteilung der Abfälle ist die Beantwortung folgender Fragen grundlegend:

- 1) Wie sieht die genaue Lage und Verteilung der Munition im Untersuchungsperimeter und im Sediment aus (horizontale und vertikale Verteilung)?
- 2) Wurden grössere Geschosse mit oder ohne Zünder versenkt? Wie verläuft die Korrosion der versenkten Munition, bzw. Munitionsbestandteile? Gibt es bevorzugte Freisetzungspfade?
- 3) Wie sind die Seesedimente der einzelnen Standorte charakterisiert?
- 4) Wie sieht der Schadstoffgehalt im Sediment und unmittelbar über dem Sediment bei einem „Hot-Spot“ aus? Gibt es bevorzugte Freisetzungspfade?
- 5) Welches sind die ökotoxikologisch relevanten Munitions-Schadstoffe? Welche Konzentrationen der relevanten Schadstoffe werden im Seewasser (Oberflächen- und Tiefenwasser) aller Seen im Untersuchungsperimeter gemessen?
- 6) Können allenfalls nachgewiesene Schadstoffe im Seewasser auf die Versenkungsstandorte zurückgeführt werden? Gibt es weitere relevante Quellen (Zuflüsse, Abwasser, Ablagerungsstandorte im Uferbereich etc.)?

1.5. Problematik Felchen im Thunersee

Nach der Entdeckung der auffällig häufig morphologisch veränderten Gonaden (Keimdrüsen) von Felchen im Thunersee im Jahr 2000, wurde unter der Leitung des Fischereiinspektorats des Kantons Bern eine Arbeitsgruppe gegründet, welche in den letzten Jahren über 20 Teilprojekte zum Themenkreis „Felchen“ erarbeitete. Diese Arbeiten liefen parallel zu den im Kap. 3 beschriebenen Altlastenuntersuchungen bezüglich Munitionsdeponien.

Die Ergebnisse der umfangreichen Untersuchungen zeigten, dass die Gonadenveränderungen nicht auf gängige hormonaktive Substanzen zurückgeführt werden können. Auch der Aufzuchtversuch von Laich über TNT-haltigem Sediment führte zu keinen Gonadenveränderungen bei den ausgewachsenen Felchen. Es gibt aus den Resultaten auch keine Hinweise, dass die versenkte Munition als Ursache für das Phänomen gelten könnte. Die wichtigste Erkenntnis ist, dass Felchen, welche mit Zooplankton aus dem Thunersee gefüttert wurden, signifikant höhere Gonadenveränderungen aufweisen (Stand März 2010). Wieso das so ist, bzw. inwiefern sich das Plankton im Thunersee von anderen Seen unterscheidet, ist noch unklar. Weitere Untersuchungen werden folgen. Eine Zusammenfassung der Untersuchungen und Schlussfolgerungen verschiedener Fachpersonen (insb. D. Bittner und D. Bernet) zu den Gonadenveränderungen im Thunersee ist im Anhang B enthalten.

Für detailliertere Angaben zu diesem Thema wird auf die Website des Fischereiinspektorats des Kantons Bern verwiesen:

<http://www.vol.be.ch/site/home/lanat/fischerei/fischerei-projekte/fischerei-projekte-thunerseefelchen.htm>

(Stand August 2010)

1.6. Verwendete Unterlagen

In der Tabelle 2 sind jene Berichte/Dokumente aufgelistet, welche zum Schliessen der Wissenslücken, bzw. für die Gefährdungsabschätzung grundlegend sind.

Nr.	Datum	Titel	Autoren
[I]	16.09.2005	Gefährdungsabschätzung zu militärischen Munitionsversenkungen in Schweizer Seen; Zusammenstellung aller verfügbaren Daten bezüglich Brienzer-, Thuner- und Urnersee, sowie für das Gersauerbecken des Vierwaldstättersees – Bericht zuhanden des Generalsekretariat VBS	ARGE Dr. Johannes van Stuijvenberg/Schenker Korner & Partner GmbH
[II]	13.10.2005	Neue Trinkwasserleitwerte für monocyclische Nitroverbindungen, Bundesgesundheitsbl – Gesundheitsforsch – Gesundheitsschutz 2005, Online publiziert: 13. Oktober 2005 (im vorliegendem Bericht im Anhang N ersichtlich)	K.M. Wollin, H.H. Dieter
[III]	21.11.2005	Ableitung von Konzentrationswerten nach AltIV sowie von U-Werten nach AHR für TNT und einige Abbauprodukte (im vorliegendem Bericht im Anhang O ersichtlich)	BMG: M. Ochs, C. Munz
[IV]	28.03.2007	Are Lake Thun and Lake Brienz Contaminated with Explosive Residues?, Chimia 2007., 61, No.7/8	GBL: J.D. Berset, U. Ochsenbein, M. Zeh
[V]	Juni 2007	Sprengstoffspuren in allen drei grossen Berner Seen, Info GSA	GBL: J.D. Berset
[VI]	Jan. 2008	Quantitative Analysis of Explosives in Surface Water Comparing Off-Line Solid Phase Extraction and Direct Injection LC/MS/MS (Application Note)	GBL: J.D. Berset
[VII]	26.03.2008	Auswertung flächenmässige Ortung Munition in Schweizer Seen, Herbst 2007 (im vorliegendem Bericht als Beilage 1)	armasuisse W+T, J. Mathieu, St. Lampert
[VIII]	05.04.2008	Comparing solid phase extraction and direct injection for the analysis of ultra-trace levels of relevant explosives in lake water and tributaries using liquid chromatography-electrospray tandem mass spectrometry, Chemosphere 72, 2008, 974-980	GBL: U. Ochsenbein, M. Zeh, J.D. Berset
[IX]	14.05.2008	Untersuchung Eindringtiefe von Munition im Sediment beim Auftreffen auf den Seegrund (im vorliegendem Bericht als Beilage 2)	armasuisse W+T: J. Mathieu, St. Lampert
[X]	16.03.2009	Auswertung Detail-Ortung Munition in Schweizer Seen, Herbst 2008 (im vorliegendem Bericht als Beilage 3)	armasuisse W+T: J. Mathieu, St. Lampert
[XI]	Juni 2009	Munitionsbeprobung – Sedimentkerne, Kern- und Wasserprobenahme Brienzersee (25.05.2009), Thunersee (02.06.2009) und Vierwaldstättersee (15.06.2009) (im vorliegendem Bericht im Anhang E ersichtlich)	Eawag: F. Anselmetti; A. Zwyssig
[XII]	Juli 2009	Comprehensive Non-Targeted Analysis of Contaminated Groundwater of a Former Ammunition Destruction Site using 1H-NMR and HPLC-SPE-NMR/TOF-MS, Environ. Sci. Technol. 2009, 43 (18), 7055-7061	M. Godejohann, L. Heintz, C. Daolio, J.D. Berset, D. Muff

[XIII]	16.07.2009	Bergung und Untersuchung Testobjekte versenkte Munition (im vorliegendem Bericht als Beilage 5)	armasuisse W+T: J. Mathieu, J. Pieren, A. Jakob
[XIV]	29.07.2009	Prüfbericht „Perchlorat Überstandswasser“ Kantonales Laboratorium Bern (im vorliegendem Bericht im Anhang I1 ersichtlich)	GEF: E. Nyfeler
[XV]	28.08.2009	Prüfbericht UA-2009-28, Bestimmung der munitionsrelevanten Metalle in Überwasser-, Porenwasser- und Sedimentproben des Thuner-, Brienzer- und Vierwaldstättersees (im vorliegendem Bericht im Anhang H ersichtlich)	Labor Spiez: A. Jakob, P. Roder, M. Stauffer
[XVI]	02.09.2009	Methodenbeschrieb zu XRD & BET – Analyse der Seesedimente „Munitionsdeponien in Schweizer Seen“ (im vorliegendem Bericht im Anhang J ersichtlich)	Institut für Geologie, UniBe: U. Eggenberger
[XVII]	08.09.2009	Untersuchungsbericht, Objekt: Sprengstoff in Schweizer Seen (im vorliegendem Bericht im Anhang F ersichtlich)	Bachema AG: R. Gloor
[XVIII]	08.09.2009	Prüfbericht „Perchlorat Porenwasser“ Kantonales Laboratorium Bern (im vorliegendem Bericht im Anhang I2 ersichtlich)	GEF: E. Nyfeler
[XIX]	14.10.2009	Untersuchungsbericht, Objekt: Sprengstoff in Schweizer Seen (im vorliegendem Bericht im Anhang G ersichtlich)	Bachema AG: S. Ruckstuhl
[XX]	Feb. 2010	Massenbilanzen und toxikologisches Gefährdungspotential von aus- gewählten Explosivstoffen im Thuner-, Brienzer- und Vierwaldstätter- see; Interner Bericht zuhanden des VBS (im vorliegendem Bericht als Beilage 6)	Eawag: M. Schmid, L. Rovelli, A. Wüest, H.P. Kohler
[XXI]	2006-2010	Insgesamt rund 150 Untersuchungsberichte mit über 6'500 Explosiv- stoff-Einzelergebnissen (Zusammenstellung relevanter Daten in den Anhängen K, L und M)	GBL: U. Ochsenbein, J.D. Berset

Tabelle 2: Relevante Dokumente zum Schliessen der Wissenslücken

2. Organisation

2.1. Projektorganisation

Für die weiteren Abklärungen im Rahmen der Gefährdungsabschätzung Munitionsversenkungen ab 2005 wurde eine interdisziplinäre Projektgruppe mit paritätischer Struktur unter der Leitung des VBS gebildet (vgl. Anhang A). Die in dieser Gruppe erforderliche enge Zusammenarbeit wurde im Rahmen einer Vereinbarung zwischen dem VBS, der Bau-, Verkehrs- und Energiedirektion des Kantons Bern sowie der Aufsichtskommission Vierwaldstättersee geregelt. Bei Bedarf war der Beizug von Experten und Forschungsinstitutionen als externe Beauftragte vorgesehen. Die Projektorganisation mit Projektauf sicht, Projektteam und den einzelnen Teilprojekten ist im Anhang A schematisch dargestellt.

2.2. Projektstruktur

Die in der Projektgruppe zu bearbeitenden Themen wurden vier Teilprojekten zugeordnet, welche für jeweils alle Seen im Untersuchungsperimeter folgende Inhalte aufweisen:

- **Teilprojekt 1: Monitoring**
Überwachung der Seewasserqualität und ausgewählter Zuflüsse bezüglich munitionsspezifischer Parameter mittels geeigneter Probenahme- und Analysemethoden.
- **Teilprojekt 2: Stoffe/Munition**
Ergänzung der noch fehlenden Stoffdaten, Verhalten der munitionsspezifischen Schadstoffe im Wasser und im Sediment, Zustand der Munition und Beschaffenheit des umhüllenden Sediments.
- **Teilprojekt 3: Ortung/Verifikation**
Es sollen verbesserte Kenntnisse über die Lage der Munition auf dem Seegrund gewonnen und damit auch die Basis für den Versuch von Probehebungen geschaffen werden. Dies soll erreicht werden durch die Detektierung und Kartierung der vermuteten Deponieperimeter mit ausreichender Genauigkeit, dem Aufzeigen allfälliger „Hot-Spots“ und dem Abschätzen der Sedimentüberdeckung in diesen Bereichen. Die hier angewendete Navigationstechnologie soll auch bei den Hebeversuchen eingesetzt werden.
- **Teilprojekt 4: Hebung von Testobjekten**
Die aufgrund der Motion Haller zusammengestellte Arbeitsgruppe mit dem Arbeitstitel „Bergungsszenarien“ wurde im Rahmen der vorliegend dokumentierten Untersuchung in das Teilprojekt „Hebung von Testobjekten“ umbenannt. In enger Zusammenarbeit mit dem Teilprojekt 3 soll eine Pilottechnologie entwickelt und eingesetzt werden, um einzelne Untersu-

chungs-Objekte heben zu können. Bezüglich Hebetechnik, Explosionsrisiken, Transport nach der Hebung, Delaborierung und Entsorgung sollen vertiefte Abklärungen durchgeführt werden. Die dabei gewonnenen Erfahrungen sollen der Beurteilung grossmassstäblicher Bergungsszenarien dienen.

Die einzelnen Teilprojekte weisen untereinander wichtige Schnittstellen auf, bzw. sind eng miteinander verknüpft. Gewisse Arbeitsschritte innerhalb eines Teilprojekts bauen sogar direkt auf den Resultaten eines anderen Teilprojekts auf. So ist zum Beispiel die möglichst detaillierte Ortung (TP3) eine fundamentale Voraussetzung für alle weiteren Abklärungen.

2.3. Projektablauf

Abbildung 1 zeigt den Projektablauf seit 2005 schematisch auf. Dabei wurden lediglich die Meilensteine aufgezeigt. Die aufwendigen Planungs-, Vorbereitungs- und Entwicklungsarbeiten sowie die unzähligen Besprechungen, wurden hier nicht festgehalten.

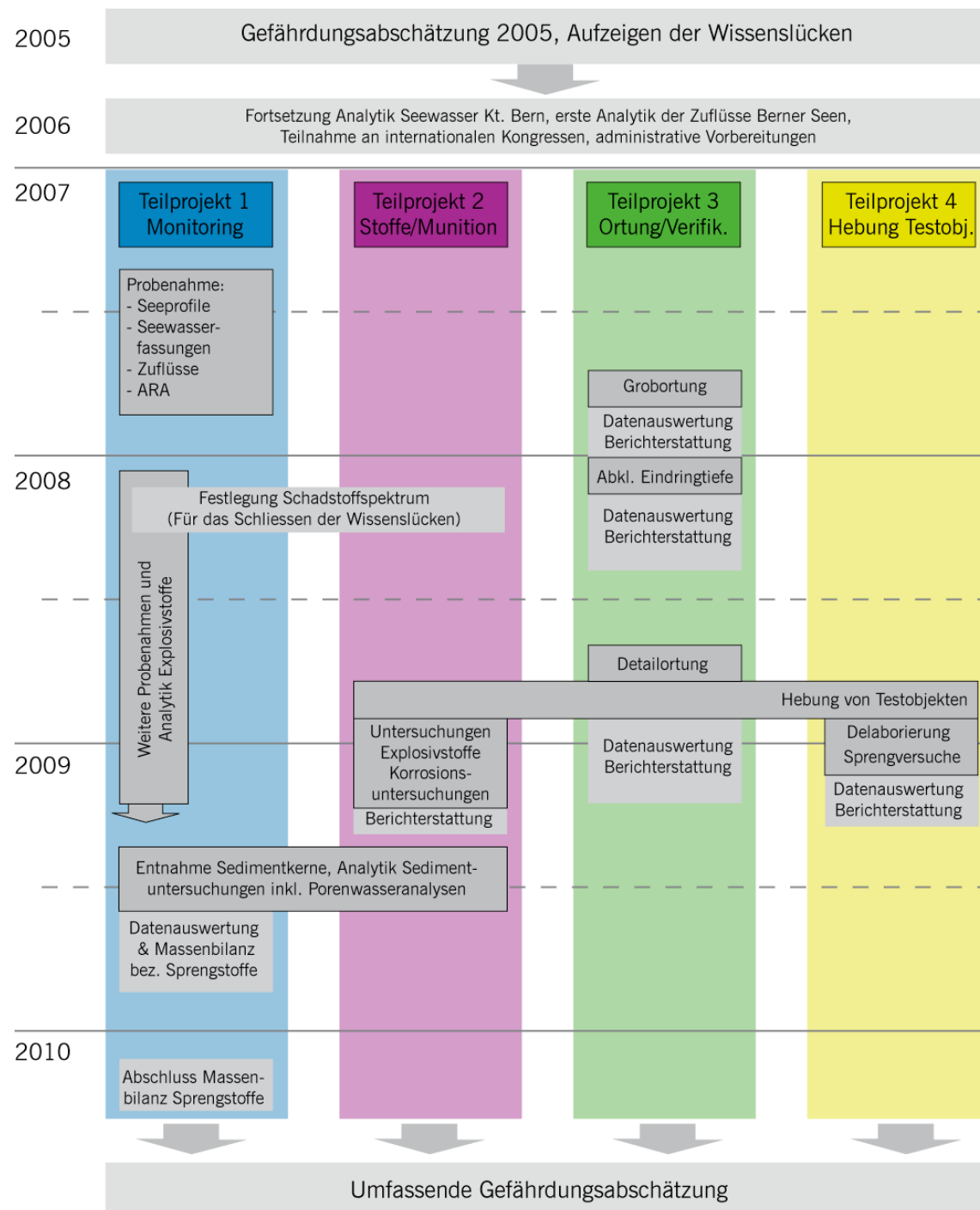


Abbildung 1: Projektablauf schematisch

2.4. Interne Koordination

Zur Koordination der Arbeiten und zur gegenseitigen Information der Tätigkeiten in den einzelnen Teilprojekten wurden regelmässig Besprechungen im Projektteam durchgeführt. Die Informationen aus den einzelnen Teilprojekten und die Beschlüsse für das weitere Vorgehen wurden jeweils protokollarisch festgehalten. Als vorgängige Informationsgrundlage für die politischen Instanzen wurden im März und August 2008 seitens des VBS Projekt-Standberichte verfasst, welche zusammenfassend über den Stand der Teilprojekte informierten.

Tabelle 3 gibt einen Überblick über die durchgeführten Besprechungen im Rahmen des Projektteams (ohne Besprechungen innerhalb der einzelnen Teilprojekte).

Datum	Ort	Ziele der Besprechung	Protokoll
05.04.2006	Bern, GS VBS	Kick-off-Sitzung für Projekt „Weitergehende Abklärungen“: - Festlegung und Priorisierung der weiteren Untersuchungen - Definition Zuständigkeiten und Verantwortlichkeiten - Klärung des Kommunikationsbedarfs - Festlegung weiteres Vorgehen	R. Flühmann, GS VBS
05.02.2007	Bern, GS VBS	- Gegenseitige Information über die bisherigen Tätigkeiten - Festlegen der Öffentlichkeitsarbeit - Spezifizieren der Teilprojekte und deren Schnittstellen	R. Flühmann, GS VBS
04.04.2007	Bern, GS VBS	- Gegenseitiger Informations- und Meinungsaustausch - Konkretisierung der vier Teilprojekte	R. Flühmann, GS VBS
31.05.2007	Bern, GS VBS	- Information über den Bearbeitungsstand der Teilprojekte - Inhaltliche und zeitliche Koordination der Teilprojekte	R. Flühmann, GS VBS
11.10.2007	Luzern, uwe	- Information über den Bearbeitungsstand der Teilprojekte - Aufzeigen von Fragestellungen mit Zusammenarbeits-/Supportpotential	R. Flühmann, GS VBS
29.11.2007	Luzern, uwe	- Kurzinformation über den Bearbeitungsstand der Teilprojekte 1 und 3 - Definition der Schnittstellen zu see-externen Explosivstoff-Quellen	R. Flühmann, GS VBS
06.03.2008	Luzern, uwe	- Kurzinformation über den Bearbeitungsstand der Teilprojekte - Festlegen des Konzeptes für die Information der Öffentlichkeit	R. Flühmann, GS VBS
19.08.2008	Bern, GS VBS	- Information über den Bearbeitungsstand der Teilprojekte - Meinungsaustausch bezüglich Projekt-Schlussbericht	R. Flühmann, GS VBS
11.12.2008	Luzern, uwe	- Information über den Bearbeitungsstand der Teilprojekte - Besprechung des Untersuchungsberichtes Eawag	R. Flühmann, GS VBS
25.03.2009	Luzern, uwe	- Information über den Bearbeitungsstand der Teilprojekte - Aufzeigen des Projektstandes bezüglich Wissenslücken	R. Flühmann, GS VBS
02.04.2009	Bern, UniBe	- Planung der Probenahmen Wasser und Sediment in den Seen	J.v.Stuijvenberg, ARGE
28.05.2009	Luzern, uwe	- Präsentation und Besprechung des überarbeiteten Eawag-Berichts - Optimierung des Monitorings unter Berücksichtigung dieses Berichts	D. Bittner, ARGE
16.09.2009	Luzern, uwe	- Information über den Bearbeitungsstand der Teilprojekte - Konsequenzen aus den gewonnenen Erkenntnissen	F. Schenker, ARGE
02.03.2010	Spiez, Labor	- Information über den Bearbeitungsstand des Schlussberichtes - Konsequenzen aus den gewonnenen Erkenntnissen	F. Schenker, ARGE

Tabelle 3: Durchgeführte Besprechungen

2.5. Internationale Kontakte und Dokumente

Für die Gefährdungsabschätzung bezüglich der in Schweizer Seen versenkten Munition war von Anfang an klar, dass das weltweit verfügbare, aktuelle Wissen zur Thematik zu berücksichtigen ist. Sowohl bezüglich der Technologien (Ortung, Datenverarbeitung, Schadstoffanalytik, Hebe- bzw. Bergemöglichkeiten) sowie der Gefährdungsbeurteilung wurden vor und während dieser Projektphase verschiedene internationale Kontakte gepflegt und Dokumente zusammengetragen. Die gewonnenen Erkenntnisse flossen, soweit für die Verhältnisse in den Schweizer Seen relevant, in die vorliegende Gefährdungsabschätzung ein. Die folgenden Tabellen geben eine Übersicht bezüglich der internationalen Kontakte und der wichtigsten Dokumente.

Institution/Anlass	Datum	Thema	Ergebnisse/Erkenntnisse
Fachtagung der Oberfinanzdirektion OFD Hannover D, Leitstelle des Bundes für Kampfmittelräumung	November 2005	Kampfmittelräumung	- Die Kampfmittelräumung in Deutschland erfolgt fast ausschliesslich aus Gründen des Explosionsrisikos und nicht wegen der ökologischen Gefährdung. - Ortungen und Bergungen im Wasser liegender Munition sind mit seltenen Ausnahmen (z.B. Bergung einer Bombe aus ca. 5 m Tiefe) kein Thema.
TNO, Den Haag / Rijswijk NL Niederländische Organisation für Angewandte Naturwissenschaftliche Forschung	Dezember 2006	Informationsaustausch über im Wasser versenkte Munition	- TNO arbeitet bei der Beurteilung der niederländischen Versenkungsgebiete, nebst anderen, eng mit amerikanischen, kanadischen und europäischen Spezialisten zusammen. - Die Beurteilung der Situation in den Schweizer Seen wird durch TNO bestätigt. - Die Erfahrungswerte der TNO bezüglich Korrosion von Munitionsobjekten lassen den Schluss zu, dass für die Schweizer Munition nur äusserst geringe Korrosionsraten zu erwarten sind (Durchrostung frühestens in mehreren 100 Jahren).
Oceans 07, Aberdeen GB Internationaler Kongress über Unterwassertechnologien	Juni 2007	Verschiedene Fachreferate zum Stand der Technik, bilaterale Fachgespräche anlässlich der Ausstellung	- Auf dem Weltmarkt ist keine Technologie verfügbar, die den Ansprüchen an die Ortung der Munition in Schweizer Seen 1:1 gerecht würde. - Die Nachfrage nach denkbaren Bergungstechnologien verlief ergebnislos.
CEIA S.p.A., Arezzo I Weltweit führende Firma für Detektionstechnologie	mehrere	Unterwasser-Ortungstechnologie	Entwicklung, Konstruktion, Austesten und Einsatz eines Spezial-Metalldetektors (Prototyp) inkl. EDV-Software

Institut für Seenforschung ISF Langenargen D	Juli 2009	Informationsaustausch über im Wasser versenkte Munition	- Die Forschungsarbeiten des ISF sind vor allem auf den Bodensee fokussiert. - Untersuchungen bezüglich versenkter Munition waren bisher kein Thema. - Aus Sicht des ISF ist das schweizerische Untersuchungsspektrum realistisch.
Royal Norwegian Navy Naval Base in Haakonvern, Bergen N Zentrum für Kampfmittel- räumung	Oktober 2009	Informationsaustausch über im Wasser versenkte Munition und deren ökologische Risiken	- Die schweizerischen Schlussfolgerungen bezüglich Berge-Problematik und Ökologie-Risiko werden von norwegischer Seite bestätigt. - Auch den norwegischen Experten ist weltweit kein Projekt bekannt, wo in grossem Massstab Munition aus Tiefen von ca. 200 m in Süsswasserseen geborgen wurde oder werden soll.

Tabelle 4: Übersicht internationale Kontakte

Institution/Anlass	Datum	Thema	Ergebnisse/Erkenntnisse
SWEDISH DEFENCE RE- SEARCH AGENCY	September 2004	Environmental Risk Assessment of Dumped Ammunition in Natural Waters in Sweden	- Nach dem 2. Weltkrieg wurde auch in schwedischen Seen Munition versenkt. - Die schwedische Armee hat diesbezüglich eine Umweltrisikobeurteilung durchgeführt. Das Vorgehen stimmt weitgehend mit dem schweizerischen überein. - Die Rahmenbedingungen sind gut mit denjenigen in den Schweizer Seen vergleichbar. - Die schweizerische Gefährdungsabschätzung 2005 erfolgte absolut unabhängig von der schwedischen Studie. Die beiden Beurteilungen der Umweltrisiken sind jedoch identisch.
Second International Dialogue on Underwater Munitions Honolulu, Hawaii (Referate)	Februar 2009	Internationales Forum über Risikobeurteilung und Projektmanagement sowie Informationsaustausch bezüglich versenkter Munition	- Seit dem 2. Weltkrieg liegen weltweit mehrere 100'000 Tonnen versenkte Munition auf dem Meeresgrund. - Ernsthafte Bestrebungen sich dieser Munition anzunehmen, laufen erst seit wenigen Jahren. - Bergetechnologien stehen erst am Anfang ihrer Entwicklung, allerdings nur für geringe bis mittlere Tiefen. Die Kostenprognosen dafür sind sehr hoch und dürften für „schweizerische“ Tiefen exponentiell höher liegen.

Tabelle 5: Zusammenfassung der wichtigsten internationalen Dokumente

3. Durchgeführte Arbeiten und Resultate

3.1. Ortung von Munition

Vorbemerkung: Es gilt hier festzuhalten, dass die Munitionsortung in rund 200 m Tiefe sehr komplex ist und weltweit noch keine vergleichbaren Untersuchungen vorliegen. So wurde mit den angewendeten Technologien oft Neuland betreten und dementsprechend aufwendig gestaltete sich die Auswertung der Rohdaten.

3.1.1. Grobkartierung

Zur Ermittlung der horizontalen Verteilung der Munitionsablagerungen, bzw. der Verifizierung der historischen Angaben aus Tabelle 1 wurden in den Seen im Herbst 2007 auf einer Fläche von rund 14 km² Untersuchungen mittels Ultraschalltechnologie und Magnetik durchgeführt (vgl. Abbildung 2 bis 4). Dabei sollen allfällig über den Seegrund herausragende Objekte mittels Sidescan-Sonar geortet und metallische Objekte im Sediment mittels Seemagnetometer detektiert werden (Abschätzung der Verteilung aufgrund magnetischer Anomalien).

Die Arbeiten vor Ort fanden durch die Spezialfirma Nautik Nord GmbH (Pohnsdorf D) mit enger Begleitung der Verantwortlichen von TP3 „Ortung/Verifikation“ vom 17.09. bis 24.10.2007 statt. Der umfangreiche Ortungsbericht wurde durch die Mitglieder des TP3 ausgewertet und mit einer Beschreibung der Methodik im Bericht „Auswertung flächenmässige Ortung Munition in Schweizer Seen, Herbst 2007 (armasuisse W+T, 26.03.2008)“ zusammengefasst (vgl. Beilage 1).

		
Abbildung 2: Messboot für die Grobkartierung in Fahrt	Abbildung 3: Ausbringen des Seemagnetometers	Abbildung 4: Mess- und Auswertungsgeräte in der Kabine des Messbootes

Die Grobkartierung führte zu folgenden Resultaten:

- Bezüglich der Lage der Deponiebereiche lässt sich festhalten, dass die im Rahmen der Historischen Altlastenvoruntersuchung (HU) definierten Versenkungsstandorte eine gute erste Näherung darstellen. Einzelne Hot-Spots wurden aber auch am Rand oder ausserhalb dieser Bereiche nachgewiesen (vgl. auch Anhang C).
- Der Standort Einigen (Thunersee) wurde aufgrund eines Hinweises auf einem alten Foto und

der Resultate der Grobkartierung neu definiert. Der Standort liegt auf dem Kurs der mit Munition beladenen Schiffe vom Hafen der Kanderkies AG im Kanderdelta zum Hauptversenkungsort „Merligen“ (vgl. Anhang C). Es scheint dabei plausibel, dass explosionsgefährdete Munitionsobjekte oder generell als gefährlich betrachtete Abfälle bereits auf der Fahrt im See entsorgt wurden.

- Die Verteilung der detektierten Objekte innerhalb der einzelnen Deponiestandorte zeigt eine flächige Grundverteilung mit geringer Objektdichte (vgl. Abbildung 6). Darin wurden zum Teil mehrere lateral klar begrenzte Hot-Spots mit erhöhter bis sehr hoher Objektdichte festgestellt.
- Bezüglich der relativen Verteilung der versenkten Gesamttonnagen auf die einzelnen Standorte, zeigen die Resultate Diskrepanzen zu den Abschätzungen im Rahmen der HU. Aufgrund der Auswertung der magnetischen Anomalien muss davon ausgegangen werden, dass im Thunersee die Hauptmenge an versenkter Munition am Standort Merlingen abgelagert wurde. Beim Vierwaldstättersee ist der Standort „Bauen-Sisikon“ stärker zu gewichten, der Standort „Rütli“ aber mit einem geringeren Versenkungspotential zu werten. Dies führt zu einer neuen abgeschätzten Verteilung der Menge versenkter Munition auf die einzelnen Standorte:

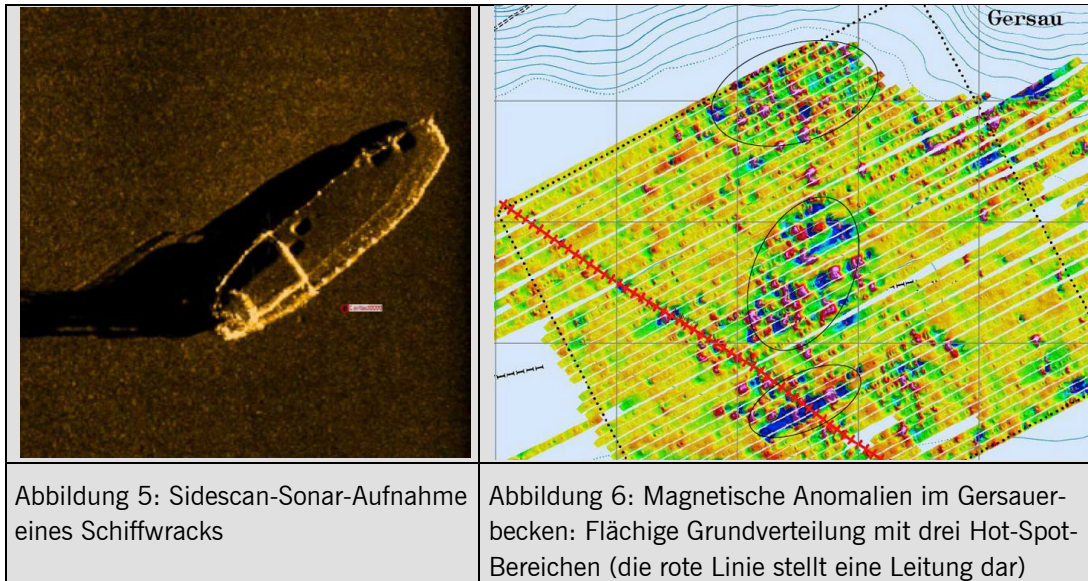
See	Standort		Versenkte Tonnagen ³ 2005 [t]		Tonnagen neu 2010 [t]	
	Nr.	Name	Standort	See	Standort	See
Thunersee	1	Einigen ⁴	unbek.	4'590	500	4'590
	2	Merligen ⁴	1'800		3'000	
	3	Beatenbucht ⁴	2'790		1'090	
Brienzersee	4	Nase Brien	280	280	280	280
Urnersee (VWS)	5	Axenfelsen	330	2'830	330	2'830
	6	Bolzbad	150		150	
	7	Bauen-Sisikon/ Nördl. Isleten	1'000		1'500	
	8	Rütli	1'350		850	
Gersauerbecken (VWS)	9	Gersauer- becken	530	530	530	530

Tabelle 6: Neu abgeschätzte Verteilung der Menge versenkter Munition auf die Standorte

- Falls alle am Seegrund sichtbaren Objekte (eventuell fälschlicherweise) als Munition, Munitionsbestandteile oder Verpackungen von Munitionsobjekten identifiziert werden sollten, würde dieser Anteil weniger als 0.5% der gesamten Anzahl versenkter Munitionsobjekte betragen. Bei der Detailortung (vgl. Kap. 3.1.3) stellte sich jedoch heraus, dass optisch keine Munitionsobjekte aus dem Seegrund herausragen (die Objekte stellten sich als Senkholz und rezente Abfälle heraus).

³ Bestmögliche Schätzungen gemäss Historischen Untersuchungen 2004

⁴ Stand 2005, Thunersee ergänzt mit Standort „Einigen“, jedoch ohne Standort „Balmholz“ (Standort im Uferbereich, geringe Menge Munition, weitgehend gehoben).



3.1.2. Eindringtiefe von Munition ins Sediment

Da in Hinblick auf die Detailortung (vertikale Ortung im Sediment) und der Hebung von Testobjekten technisches Neuland betreten wurde, stand man vor der grundlegenden Frage nach der minimalen Tiefenleistung der Detektionsmittel in die Seesedimente, bzw. der benötigten Eindringtiefe eines Greifers für die Hebung von Testobjekten. Die heute vorhandene Sedimentüberdeckung von Munitionsobjekten ist in erster Linie abhängig von:

- Der Eindringtiefe der Munition beim Versenken
- Der Sedimentationsrate
- Nachträgliche Sedimentumlagerungen (Rutschungen, Strömungen)

Über die standortspezifischen Sedimentationsraten können aus der Literatur Informationen gewonnen werden. Weniger Angaben finden sich aber über die mechanischen Eigenschaften der rezenten Seesedimente. Für eine Modellierung der Eindringtiefe von Munition standen somit zu wenige Grundlagedaten zur Verfügung. Das Projektteam TP3 beschloss daher, praktische Falltests durchzuführen. Dabei wurden grosskalibrige Granaten mit verschiedenen hydrodynamischen Eigenschaften in einer definierten Höhe über dem Seeboden mittels eines dünnen Drahtseils platziert und schliesslich der freie Fall im Wasserkörper ausgelöst. Durch das Führen einer Kamera auf den Seegrund konnte nach dem jeweiligen Fallversuch die Eindringtiefe des Objekts optisch aufgrund von Markierungen am Drahtseil ermittelt werden.

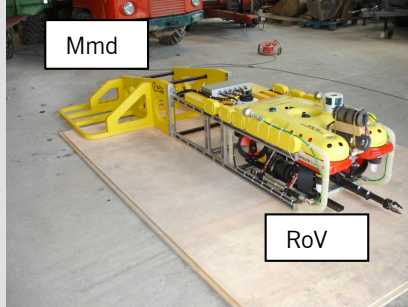
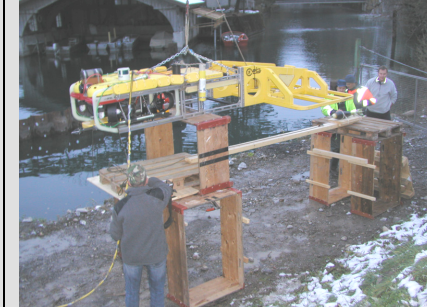
Den Fallversuchen im Bereich der Versenkungsstandorte gingen diverse Vorversuche im Flachwasser voraus. Experimentell ermittelt wurde auch der Einfluss des Drahtseils am Munitions-Testobjekt auf die Fallgeschwindigkeit im Wasser und somit auf die Eindringtiefe im Sediment. Die Abklärungen sind im Bericht „Untersuchung der Eindringtiefe von Munition im Sediment beim Auftreffen auf den Seegrund“ (vgl. Beilage 2) beschrieben und die Resultate lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die Festigkeit der Sedimente variiert über die Fläche eines Versenkungsstandorts nur wenig.
- Über den Untersuchungsperimeter hinweg zeigen die Sedimente an den Standorten im Thunersee und im Gersauerbecken des VWS bei den Fallversuchen ähnliche Eigenschaften. Es sind dies feinkörnige Beckensedimente mit zähflüssiger bis breiiger Konsistenz und dementsprechend grosser Eindringtiefe von Munitionsobjekten. Die Eindringtiefe ist bei den Standorten im Urnersee etwas geringer (Sedimente mit breiiger bis weicher Konsistenz) und beim Standort im Brienersee deutlich geringer (grosse Sandfraktion im Deltabereich).
- Die Eindringtiefe von grosskalibrigen Granaten im Sediment hängt stark von den hydrodynamischen Eigenschaften der Geschosse ab.
- Die minimale Eindringtiefe (des Hecks der Granate) liegt für Objekte mit idealem hydrodynamischen Verhalten bei 65 bis 95 cm und bei schlechter Hydrodynamik bei rund 10 cm. Nur beim Standort im sandigen Deltabereich des Brienersees (Nase Brienz) blieb nach den Fallversuchen maximal die Hälfte der Granate am Seegrund sichtbar. Ein Munitionsobjekt mit nicht idealer Hydrodynamik würde dort wohl horizontal auf/im Sediment liegen bleiben.
- Unter Berücksichtigung der standortspezifischen Sedimentationsraten liegt demnach der Hauptteil der versenkten Munition heute unter einer Sedimentschicht von 40 bis 200 cm. Die Tiefenleistung des für die Detailortung entwickelten Metalldetektors musste also in diesem Bereich liegen. Für die Dimensionierung des Greifers zur Hebung von Testobjekten wurde davon ausgegangen, dass mit einer Grabtiefe von 80 cm im Bereich von Hot-Spots Munition entnommen werden kann.

3.1.3. Detailortung

Basierend auf der grossflächigen Kartierung der Munitionsdeponien (vgl. Kap. 3.1.1) wurde im Herbst 2008 die Detailortung in allen Seen durchgeführt. Ziele dieser Untersuchungen waren insbesondere die Ortung von Munition im Sediment mit einer hohen vertikalen Auflösung, weiteren Informationen über die Objektdichte und eine Dokumentation der aus dem Seegrund herausragenden Objekte (Videoaufnahmen).

Für diese Arbeiten wurde im Auftrag des VBS ein spezieller Unterwasser-Mehrzonenmetalldetektor entwickelt, welcher Angaben über die relative Position und die Grösse von Munitionsobjekten liefern kann (vgl. Abbildung 7 bis 9). Um den Metalldetektor möglichst knapp über dem Seegrund führen zu können, wurde er mit einem ferngesteuerten Unterwasserfahrzeug (RoV) gekoppelt. Gleichzeitig mit der Detektion können so Videobilder des Seegrundes gewonnen und mittels eines Manipulatorarms gesichtete Objekte angesteuert werden (vgl. Abbildung 12).

		
Abbildung 7: Unterwasser-Mehrzonendetektor (Mmd) mit Unterwasserfahrzeug (RoV) und Kameras, bzw. Greifarm im Vordergrund	Abbildung 8: Testphase mit Munitionsobjekten an Land	Abbildung 9: Metalldetektor im Wasser vor dem Ablassen zum Seegrund

Die Ortungsarbeiten fanden durch die Spezialfirma „Ocean Frontier Services Limited – OFSLTD“ (Aberdeen UK/Duisburg D) unter enger Begleitung der Verantwortlichen TP3 vom 05. bis 30.10.2008 statt. Dabei wurden rund 26 km Profile abgefahren, welche bevorzugt über die Versenkungs-Hot-Spots gemäss Grobkartierung gelegt wurden. Die gewonnenen Rohdaten mussten mit hohem Aufwand aufbereitet werden (beim eingesetzten Metalldetektor handelte es sich um einen Prototyp). Innerhalb der Arbeitsgruppe TP3 wurden die Resultate vertieft ausgewertet, interpretiert und mit dem Bericht „Auswertung Detail-Ortung Munition in Schweizer Seen, Herbst 2008“ (armasuisse W+T, 16.03.2009) zusammengefasst (vgl. Beilage 3).

Die Detailortung zeigte folgende Resultate:

- Auf der gesamten Profilsur durch die Hot-Spots waren optisch keine Munitionsobjekte zu erkennen. Auf dem Seegrund liegende Objekte wurden mittels Greifarm des RoV detailliert untersucht und stellten sich als Senkholz (vgl. Abbildung 11) oder Abfälle aller Art (Bauschutt, Kunststoffe, Glas, Blechbüchsen) heraus.
- Nur rund 10 % der detektierten Objekte liegen in der obersten rund 25 cm mächtigen Sedimentschicht. Der Hauptteil der Munition liegt zwischen 0.25 und 1.7 m tief im Sediment, darunter nimmt die Objektdichte stark ab.
- Grössere Munitionsobjekte liegen allgemein tiefer im Sediment als kleinere Objekte.
- In den Profilen wechseln sich Abschnitte mit wenigen Objekten und Zonen mit erhöhter Objektdichte (Hot-Spots) ab, was die Resultate der Grobkartierung bestätigt. Die durchschnittliche Objektdichte beträgt 9 bis 12 Stück pro 10 m Messstrecke (entspricht bei der Suchbahnbreite von 2 m rund 0.5 Objekte pro Quadratmeter). Beim Standort Merlingen ist die Objektdichte deutlich höher (0.9 Objekte pro Quadratmeter mit Spitzenwerten bis ≥ 6 Stück pro m^2) und bei den Standorten Einigen, Nase Brienz, Bolzbach und Axenwand deutlich geringer (0.17 bis 0.33 Objekte pro Quadratmeter).
- Mit der gesamten Profillänge von 26 km und einer Suchbahnbreite von 2 m wurde eine Fläche von 0.053 km^2 abgesucht. Dies entspricht rund 3% der Hot-Spot-Flächen, bzw. rund 0.4% der Gesamtflächen der Versenkungsstandorte (vgl. Anhang C).

Abbildung 10: Mess- und Steuereinrichtungen in der Kabine des Messbootes	Abbildung 11: Untersuchung von Senkholz in 178 m Wassertiefe	Abbildung 12: Arbeiten mit dem Greifer in 210 m Wassertiefe

3.1.4. Bathymetrische Untersuchungen

Im Herbst 2007 wurden im Urnersee hochauflösende Bathymetriedaten aufgenommen, welche im Vergleich zum bisherigen Vermessungsstand neue Einblicke in die subaquatische Topografie bieten (vgl. Abbildung 13). Die Arbeiten fanden im Rahmen einer Pilotstudie statt, welche die Möglichkeit einer bathymetrischen Neuaufnahme der Schweizer Seen mit Fächerlot und interferometrischem Sonar evaluierte (Anselmetti/Hilbe 2008). Durchgeführt wurden die Arbeiten durch die Eawag und das Institut F.-A. Forel mit Unterstützung des Bundesamts für Landestopografie (swisstopo), des Bundesamts für Umwelt (BAFU) und des GS VBS.

Die bathymetrischen Untersuchungen konnten die Topografie des Seebeckens mit relativ hoher Genauigkeit und mit absoluten Tiefenangaben vermessen. Die Genauigkeit der resultierenden Rasterdaten hängt von mehreren Faktoren wie der Wassertiefe und der Dichte der Messungen ab. Sie liegt nach Herstellerangaben in horizontaler Richtung typischerweise bei einigen Dezimetern, in vertikaler Richtung bei wenigen Dezimetern. Die relative Auflösung in vertikaler Richtung beträgt einige Zentimeter. Es zeigte sich jedoch, dass die angewandten Untersuchungsmethoden nicht dafür geeignet sind, Einzelobjekte bzw. kleinere Ansammlungen von Einzelobjekten in grosser Wassertiefe zu detektieren. Solche Signale (z.B. durch versenkte Munition) lassen sich nur schwer vom Hintergrundrauschen der Ortungsdaten unterscheiden. Eine allfällige Überdeckung der Objekte durch Sediment schränkt die Detektionsmöglichkeiten zusätzlich ein.

Für die Versenkungsstandorte im südlichen Urnersee konnten gleichwohl bessere Informationen zur Morphologie des umgebenden Seegrunds und möglichen Sedimentationsprozessen gewonnen werden (vgl. Anselmetti/Hilbe 2008):

- Standort Bolzbach
Der Bereich des Versenkungsstandorts Bolzbach vgl. Abbildung 13 liegt zwischen dem kleinen, relativ steilen, lateralen Delta des Bolzbachs (25°-30° Neigung an der Deltafront) und dem durch anthropogen stark beeinflussten Westrand des Reussdeltas (Kiesentnahme und Seeschüttung). Die mässig steil geneigten Hänge in der Mitte des Gebiets sind, wie weite Teile des Reussdeltas, geprägt von einem unregelmässigen und komplexen Gefüge. Am

Standort kann von einem dynamischen Sedimentationsgeschehen mit Sedimentumlagerungen und variabler, stellenweise hoher Sedimentationsrate, ausgegangen werden.

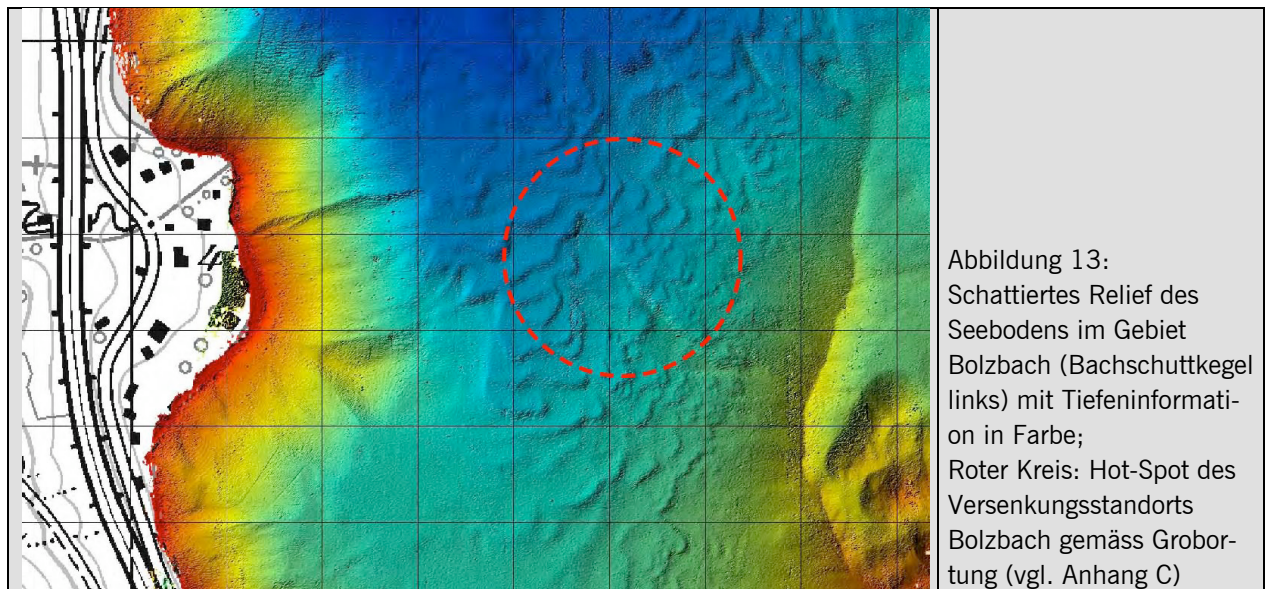
- Standort Axenfelsen

Am Fuss der steilen Böschung (Axenfelsen) fällt der Grund des Beckens mit einer Neigung von 3°-6° gegen Westen zur Seemitte ab. Hier herrscht eine einförmige Morphologie ohne auffällige Strukturen vor, was auf einen vergleichsweise ruhigen Sedimentationsraum hindeutet.

- Standort Bauen-Sisikon

Das Gebiet liegt im distalsten Bereich des Reussdeltas am Übergang zum flachen Seegrund des Urnersees. Der Seeboden ist um weniger als 1° geneigt und die einförmige Morphologie deutet wiederum auf einen ruhigen Sedimentationsraum hin.

Für den Thuner- und Brienzersee gibt es bislang keine bathymetrischen Untersuchungen analog zu jenen im Urnersee (Stand Juli 2010).



3.2. Hebung und Zustand von Testobjekten

Bezüglich des Freisetzungspotentials der in der Munition vorhandenen Schadstoffe existiert vor allem hinsichtlich der Korrosionsvorgänge an den verschiedenen Ablagerungsstandorten Unklarheit. Um den Zustand der Metallhüllen analysieren zu können und die enthaltenen Explosivstoffe zu beurteilen, wurden innerhalb der TP2, TP3 und TP4 Testobjekte gehoben und delaboriert. Das Heben von Munitionsobjekten im Sediment in bis zu 220 m Wassertiefe ist eine anspruchsvolle Aufgabe, welche die Entwicklung von neuen Gerätschaften sowie eine umfassende Risiko- und Sicherheitsbeurteilung erfordert. International wurde noch kein vergleichbares Projekt durchgeführt. Alle Arbeiten und Resultate sind im Bericht „Bergung und Untersuchung von Testobjekten versenkte Munition“ (armasuisse W+T, 16.07.2009) detailliert dokumentiert (vgl. Beilage 5).

3.2.1. Hebung von Testobjekten

Nach der Beurteilung aller Rahmenbedingungen und Anforderungen wurde beschlossen für die Hebungversuche einen Spezialgreifer zu entwickeln. In Zusammenarbeit mit diversen Spezialisten entstand ein Zahngreifer aus Stahl an einem Spezialkabel, dessen Greifarme bis 80 cm ins Sediment eindringen können. Durch die eingebauten Vibratoren kann der Schlick nach dem Greifvorgang knapp über dem Grund entfernt werden (wenig Sedimentaufwirbelung). Für die Arbeiten an der Seeoberfläche wurde eine selbst fahrende Arbeitsplattform aus Beständen der Genietruppe modifiziert und eingesetzt (vgl. Abbildung 14). Von dort aus konnte der Greifer durch ein Kranloch mittels Seilwinde auf den Seegrund abgesenkt werden (vgl. Abbildung 15). Im Weiteren wurde ein Hebekorb verwendet, damit geborgene Objekte unter Wasser gelagert werden konnten (Explosionsgefahr bei heikler Munition).

Nach umfangreichen Testläufen der entwickelten Gerätschaften wurden die Probenahme-Versuche, kombiniert mit der Detailortung (vgl. Kap. 3.1.3) im Oktober 2008, durchgeführt. Als Probenahme-standorte wurden jene Bereiche ausgewählt, an welchen im Rahmen der flächenmässigen Ortung vom Herbst 2007 die höchste Objektdichte zu erwarten war (vgl. Kap. 3.1.1). Pro Versenkungsstandort wurde der Greifvorgang zwischen 3 und 17 Mal wiederholt. Bei den insgesamt 54 Hebeversuchen konnten 21 Munitionsobjekte gehoben werden, darunter zwei 12cm-Granaten aus dem Gersauerbecken (vgl. Abbildung 16 und 17) und diverse Objekte aus dem Thunersee (v.a. aus dem Explosionsunglück Mitholz stammend, vgl. Abbildung 18). Im Urner- und Brienzersee blieben die Probenahme-Versuche erfolglos. Anlässlich der Versuche wurden fünf Sedimentproben direkt aus dem Greifer gewonnen und der Schadstoffanalytik zugeführt (vgl. Kap. 3.3).

		
Abbildung 14: Arbeitsplattform mit Greifer	Abbildung 15: Kranloch mit Greifer und Vibratoren. Seilwinde im Hintergrund	Abbildung 16: Greifer mit Munitionsobjekt nach erfolgreichem Hebevorgang

3.2.2. Transport und Delaborierung der Testobjekte

Geborgene Munitionsobjekte, welche nach einer ersten Beurteilung Sprengstoff und/oder Zünder enthalten könnten, wurden unter Wasser zwischengelagert und schliesslich zu den vorbereiteten Delaborierplätzen am Seeufer gebracht. Dort wurden die Zünder mittels einer Wasserstrahlschneidevorrichtung von den Munitionsobjekten abgetrennt, mit einem Blindgängertransportanhänger abtransportiert und schliesslich durch Sprengung vernichtet. Die Munitionsobjekte selbst gelangten unter diversen Sicherheitsvorkehrungen zur eigentlichen Delaborierung ins Labor. Die Testobjekte wurden in der Folge bei armasuisse W+T aufgeschnitten (vgl. Abbildung 19), der Sprengstoff ausgepresst und die Geschossteile für die anstehenden Korrosionsuntersuchungen vorbereitet.

3.2.3. Untersuchungen der Explosivstoffe

Mittels chemischen Analysen konnten die ausgepressten Ladungssprengstoffe der beiden 12cm-Granaten als Parammon und TNT identifiziert werden. Aufgrund diverser Untersuchungen können folgende Punkte festgehalten werden:

- Chemische und thermische Analysen der ausgepressten Sprengstoffe ergaben, dass der Abbau der Ladungssprengstoffe in den untersuchten Munitionsobjekten, wenn überhaupt, nur sehr langsam abläuft. Dies bestätigt die Erkenntnisse aus der Gefährdungsabschätzung 2005 (ARGE 2005) betreffend dem bereits sanierten Standort Balmholz. Die versenkte Munition stammte dort aus Sprengexperimenten und lag also schon vor der Versenkung im beschädigten Zustand vor. Eine gehobende 10,5cm-Stahlgranate zeigte aufgrund des offenliegenden TNT-Gusses (nach rund 30 Jahren in 20 bis 50m Wassertiefe) einen sehr geringen Abbau der Sprengstoffe (Grössenordnung 1 mm pro Jahr bei Direktkontakt TNT-Guss mit Seewasser).
- Bezüglich Handhabungssicherheit zeigten die Ansprengversuche, dass die Spreng- und Splitterwirkung der Granaten praktisch dem neuwertigen Zustand entspricht.
- Die Munition muss bei Probenahmen und beim weiteren Handling hinsichtlich Sicherheit als „unberechenbar“ betrachtet werden, also als sprengfähig und gefährlich.

		
Abbildung 17: 12 cm-Granate nach der Hebung aus dem Gersauerbecken	Abbildung 18: Detoniert versenktes Munitionsobjekt aus dem Thunersee, welches aus einem Explosionsunglück stammt	Abbildung 19: Aufgeschnittene 12cm-Granate mit Ladungssprengstoffen

3.2.4. Korrosionsuntersuchungen

Bezüglich Aussagen zur Korrosion der metallischen Munitionsteile ist der Zustand der versenkten Objekte von grundlegender Bedeutung. Allgemein können bezüglich dem Zustand der Munition zum Zeitpunkt der Versenkung folgende drei Kategorien unterschieden werden:

- Kategorie A:
Intakt versenkte Munitionsobjekte, welche direkt aus Munitionsmagazinen stammen.
- Kategorie B:
Detoniert, bzw. umgesetzte Munition und Munitionsbestandteile aus dem Explosionsunglück Mitholz. Die Explosivstoffe wurden somit bei dieser Kategorie bereits vor der Versenkung im Thunersee vollständig umgesetzt. Übrig blieben Metallhüllen, Splitter und Schrott.
- Kategorie C:
Beschädigte oder stark beanspruchte Munitionsobjekte (aus dem Explosionsunglück Mitholz oder aus Sprengexperimenten), welche aber nicht detoniert, bzw. vollständig umgesetzt sind. Diese Kategorie muss nur für den Thunersee berücksichtigt werden. Gehobene Munition aus dem Uferbereich Balmholz zeigte, dass Objekte dieser Kategorie Explosivstoffe enthalten können, welche nicht mehr vollständig durch eine Metallhülle umgeben sind und somit offen liegen (ARGE 2005). Der Anteil von Munition aus dieser Kategorie im Thunersee wurde im Rahmen der Gefährdungsabschätzung 2005 auf maximal 10% der Kategorie B geschätzt.

Die von Explosivstoffen befreiten metallischen Munitionsteile der gehobenen Testobjekte wurden für die Korrosionsuntersuchungen der Empa Thun zugeführt. Dort wurden sowohl an Munition, welche intakt versenkt wurde, als auch an Objekten, welche beschädigt oder umgesetzt versenkt wurden, metallografische Untersuchungen durchgeführt. Dabei konzentrierte man sich auf die kritischen Bereiche der Objekte (z. B. Gewinde- oder Zünderbereich). Die Resultate aus dem Untersuchungsbericht Empa Nr. 207070 vom 29.05.2009 (vgl. Beilage 4) lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Intakt versenkte Munitionsobjekte (Kategorie A) zeigten an keiner Stelle Korrosion der Metallhülle auf. Die Waddicken sowohl am Mantel als auch im Gewindebereich können noch als annähernd intakt beurteilt werden.
- Munitionsobjekte welche bei der Versenkung bereits beschädigt oder detoniert waren (Kategorie B und C) zeigen eine, zum Teil stark ausgeprägte Flächenkorrosion. Korrosionsdurchbrüche wurden nicht festgestellt. Die Korrosion wird hauptsächlich auf die hohe thermische/mechanische Belastung beim Explosionsunglück zurückgeführt. Die abgeschätzte Waddicke betrug noch rund 90% des ursprünglichen Zustandes.
- Die konkrete Gefahr der Schadstofffreisetzung durch korrosionsbedingte Materialdurchbrüche wird als sehr gering eingestuft. Die Korrosionsrate, und somit die Gefahr einer Schadstofffreisetzung, wird mit der weiteren Sedimentüberdeckung noch abnehmen (Seebeckensedimente sind sauerstoffarm und weisen eine geringe Durchlässigkeit auf. Dies hemmt die Korrosionsvorgänge zunehmend).
- Eine weitere Korrosionsverzögerung findet durch die Lackschicht der Geschosse statt (vgl. Stuijvenberg 2004: Die Geschosse wurden im Hinblick auf eine Jahrzehnte dauernde Lagerung unter teilweise feuchten Verhältnissen mit speziellen Schutzanstrichen gegen Korrosionsprozesse versehen).

3.3. Sediment- und Porenwasseruntersuchungen

Für Abklärungen bezüglich dem potentiellen Schadstoffgehalt der Seesedimente, bzw. dem Schadstofffluss aus den Sedimenten ins Seewasser wurden umfangreiche Sedimentuntersuchungen durchgeführt. Diese werden im Folgenden erläutert und ausgewertet.

3.3.1. Sondierungen Sedimentkerne

Im Mai/Juni 2009 wurden durch die Eawag in allen Seen Sedimentkerne (Kurzkerne, bis max. 1.5 m Länge) gewonnen. Dabei wurden Kerne sowohl an allen Versenkungsstandorten (z.T. direkt in Hot-Spot-Bereichen gemäss Grobortung, vgl. Anhang C) als auch an Referenzstandorten entnommen. Im Bereich der gewählten Referenzstandorte zeigten die Historischen Abklärungen keine Hinweise auf Munitionsversenkungen. Die Lokalität der Sondierungen ist im Anhang C und das Sondierprogramm in tabellarischer Form im Anhang D aufgezeigt.

Pro Beprobungsstandort waren jeweils mindestens zwei Kernvorgänge nötig, da neben den eigentlichen Feststoffproben auch Sediment für die Porenwasseranalytik gewonnen werden musste (vgl. Abbildung 20). Im Weiteren wurde jeweils bei einem Sedimentkern pro Standort das Überstandswasser, also jenes Wasser, welches im Kernrohr direkt über dem Sediment stand, beprobt. Diese Proben repräsentieren das Seewasser in den ersten Zentimetern über dem Seegrund, welches beim Kernvorgang im Kernrohr „gefangen“ wird (Abhandlung im Kap. 3.4 „Gewässeruntersuchungen“).

3.3.2. Probenahme- und Analytikprogramm Sedimentkerne

Das Vorgehen betreffend Probenahme und Analytik pro Sondierstandort zeigt Abbildung 20 schematisch auf.

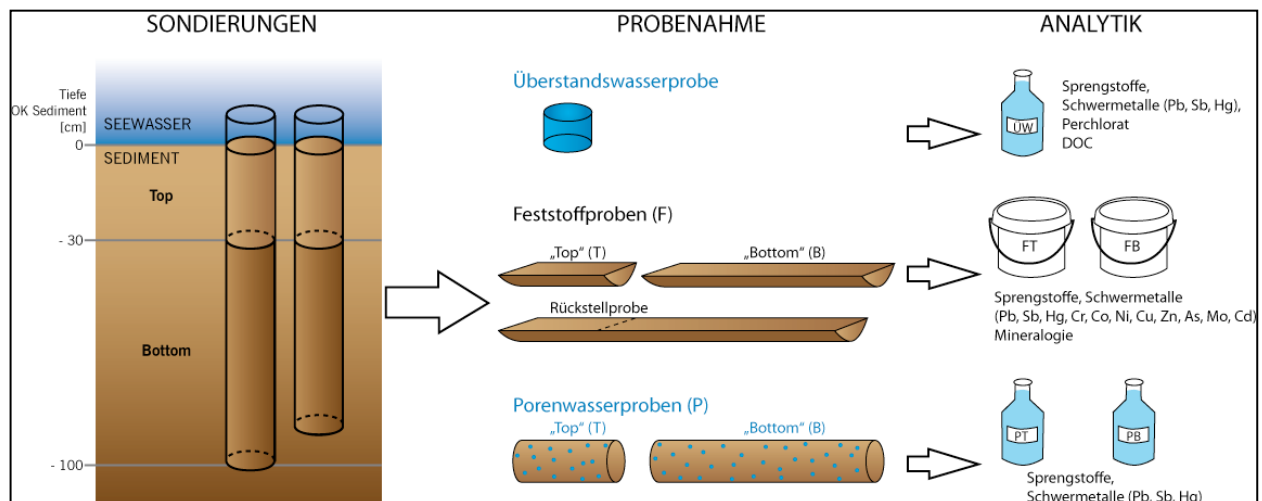


Abbildung 20: Probenahme- und Analytikprogramm pro Sondierstandort

Die Sedimentkerne für die Feststoffuntersuchungen wurden bei der Eawag in Kastanienbaum geöffnet (in zwei Hälften geteilt) und fotografiert. Die Fotos der einzelnen Kerne sind im Anhang E ersichtlich. Aus einer Hälfte der Kerne wurde jeweils eine Sedimentmischprobe aus den oberen 30 cm („Top“-Probe) und Mischproben aus dem Rest des Kerns gewonnen („Bottom“-Probe). Diese beiden Mischproben wurden homogenisiert und jeweils vier Teilproben für die verschiedenen Analytiklabors hergestellt. Die zweite Kernhälfte wurde als Rückstellprobe aufbewahrt.

Die Sedimentkerne für die Porenwasseruntersuchungen wurden bei der Eawag ausgestossen und wiederum eine Mischprobe aus den oberen 30 cm (Top) und eine aus dem Rest des Kerns (Bottom) gewonnen. Diese beiden Mischproben wurden anschliessend zentrifugiert und das abgetrennte Wasser („Porenwasser“) beprobt. Für den Versand an die Analytiklabors wurden zwei Teilproben hergestellt. Der Feststoffanteil dieser Sedimentkerne wurde nach der Abtrennung des Porenwassers entsorgt. Für die Laboranalytik wurden Blindproben aus Netzwasser (Trinkwasser) definiert.

Das detaillierte Probenahmeprogramm ist im Anhang D tabellarisch zusammengestellt. Zusammenfassend konnte folgende Anzahl Proben der Analytik zugeführt werden:

See	Probenahmestandorte		Anzahl Proben für Analytik			
	Anzahl	Standortart	Feststoffproben		Porenwasserproben	
			Top (0-30 cm)	Bottom	Top (0-30 cm)	Bottom
Thunersee	2	Hot-Spot	2	2	1	0
	2	Versenkung	2	2	1	1
	3	Referenz	3	3	1	1
Brienzersee	2	Versenkung	1	1	2	1
	2	Referenz	2	2	0	0
VWS	5	Hot-Spot	5	5	3	3
	1	Versenkung	1	1	0	0
	4	Referenz	4	4	0	0
TOTAL			20	20	8	6

Tabelle 7: Anzahl analysierter Feststoff- und Porenwasserproben

Die so gewonnenen Teilproben der insgesamt 40 Feststoffproben und 14 Porenwasserproben wurden zur Analytik spezialisierten Labors zugeführt:

- Das Institut Bachema AG analysierte alle Proben auf 17 verschiedene Explosivstoffe. Die fünf Sedimentproben, welche bei der Hebung von Testobjekten im Herbst 2008 direkt aus dem Greifer gewonnen werden konnten (vgl. Kap. 3.2), wurden ebenfalls in die Feststoffanalytik miteinbezogen.
- In einem späteren Untersuchungsschritt analysierte das Institut Bachema zusätzlich 40 Feststoffproben auf den Parameter Diphenylamin (DPA). Diese Proben stammten von zwei rückgestellten Hälften von Sedimentkernen aus dem Thunersee (einmal Versenkungs- und einmal Referenzstandort), welche hoch auflösend beprobt wurden.

- Das Labor Spiez analysierte alle Proben auf die Schwermetalle Sb, Pb und Hg. Die Feststoffproben wurden zusätzlich noch auf die Parameter Cr, Co, Ni, Cu, Zn, As, Mo und Cd analysiert.
- Das kantonale Laboratorium Bern analysierte 14 Porenwasserproben auf den Parameter „Perchlorat“.
- Das Institut für Geologie an der Universität Bern analysierte alle Feststoffproben auf die Hauptmineralogie (Anteil Quarz, Plagioklas, Kalifeldspat, Kalzit und Dolomit) und die Tonmineralogie (Anteil Smektit, Illit, Chlorit, Kaolinit). An sechs Proben wurden zusätzlich Oberflächenmessungen (BET) an Tonmineralien durchgeführt, um allenfalls das Potential der Schadstoffabsorption abschätzen zu können.

3.3.3. Resultate Sedimentuntersuchungen

Die Feststoffuntersuchungen an den Sedimentkernen führten zu folgenden Resultaten:

- In keiner Sedimentprobe wurden Sprengstoffe oder deren Metabolite oberhalb den Bestimmungsgrenzen nachgewiesen (BG 1-5 $\mu\text{g/kg}$). Als einziger Schadstoff wurde der Treibladungs-Stabilisator Diphenylamin (DPA) nachgewiesen (vgl. Tabelle 8). Die Nachweise beschränkten sich ausschliesslich auf den Thunersee und betrugen maximal 12 $\mu\text{g/kg}$ bei einer Bestimmungsgrenze von 1 $\mu\text{g/kg}$ (N-Nitrosodiphenylamin als Metabolit von DPA wurde nie nachgewiesen). Ein Unterschied zwischen Versenkungs- und Referenzstandorten ist nicht festzustellen. Der detaillierte Untersuchungsbericht der Bachema AG ist im Anhang F ersichtlich.
- Die beiden hoch aufgelöst beprobten Sedimentkerne aus dem Thunersee zeigten übereinstimmend, dass das DPA hauptsächlich in jenen Sedimentschichten vorhanden ist, welche zwischen 1920 und 1980 abgelagert wurden. Der Hauptpeak mit Konzentrationen bis maximal 17 $\mu\text{g/kg}$ liegt in der Zeit von 1940 bis 1960, bzw. in einer Sedimenttiefe von 55-75 cm. In den Ablagerungen nach 1980 (oberste 25-30 cm Sediment) wurde der Stoff nicht mehr nachgewiesen. Ein Unterschied zwischen dem beprobten Ablagerungsbereich und dem Referenzstandort ist nicht festzustellen. Der detaillierte Untersuchungsbericht der Bachema AG ist im Anhang G ersichtlich.
- Die Schwermetallgehalte liegen auf einem tiefen Niveau im Bereich der geogen bedingten Hintergrundkonzentrationen. Dieser natürliche Gehalt an Schwermetallen bildete die Grundlage zur Festlegung der Richtwerte für unverschmutztes Aushubmaterial in der Aushubrichtlinie (AHR). Aus diesem Grund werden diese U-Werte als Vergleich in der Tabelle 9 aufgeführt. Selbst die Maximal-Konzentrationen der relevanten Schadstoffe (gemäss Gefährdungsabschätzung 2005: Pb, Sb und Hg) überschreiten diesen Richtwert nie. Bezüglich den weiteren Schwermetallen ist dieser Richtwert einzig für „Nickel“ im VWS bei drei Proben (1x Versenkungsstandort „Top“, 2 x Referenzstandort „Top“) und im Brienersee bei einer Probe (1x Referenzstandort „Top“) geringfügig⁵ überschritten. Der detaillierte Prüfbericht des Labors Spiez ist im Anhang H ersichtlich. Die Qualität der rezenten Seesedimente hinsichtlich Schwermetalle kann somit bei sämtlichen Probenahmestandorten als gut bis sehr gut bezeichnet werden.
- Die Mineralogie der Sedimente widerspiegelt die Mineralogie der Einzugsgebiete der Seen und zeigt einen stark schwankenden Tongehalt von 5 bis 55 % (hauptsächlich Illit und Chlorit). Die höheren Tongehalte können dabei tendenziell den Beckenbereichen, die tieferen Werte den Deltabereichen (v.a. Brienersee) zugeordnet werden. Ein signifikanter Unterschied zwischen den einzelnen Seen ist nicht festzustellen⁶. Eine Zusammenfassung der Analyseresultate bezüglich Mineralogie der Universität Bern ist im Anhang J ersichtlich.

⁵ 51 mg/kg, bzw. 58 mg/kg, bei einem Richtwert U von 50mg/kg (Richtwert tolerierbar, AHR: 250 mg/kg)

⁶ Die Resultate der Untersuchung über die Abbauraten von Sprengstoffen (Agroscope und Eawag 2005) wurden mit Thunerseesediment durchgeführt und lassen sich nun sinngemäss auf den Brienersee und den VWS übertragen.

See	Standort- art	Tiefe	TNT	2-ADNT 4-ADNT	HMX	RDX	PETN	DPA	1,3-DNB	2,4-DNT 2,6-DNT	
			max.	max.	max.	max.	max.	max.	max.	max.	max.
			µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg/kg
Thunersee	Hot-Spot	Top	<5	<1	<1	<1	<5	2	<5	<1	
		Bottom	<5	<1	<1	<1	<5	12	<5	<1	
	Versen- kung	Top	<5	<1	<1	<1	<5	9	<5	<1	
		Bottom	<5	<1	<1	<1	<5	4	<5	<1	
	Referenz	Top	<5	<1	<1	<1	<5	9	<5	<1	
		Bottom	<5	<1	<1	<1	<5	6	<5	<1	
Brienzersee	Versen- kung	Top	<5	<1	<1	<1	<5	<1	<5	<1	
		Bottom	<5	<1	<1	<1	<5	<1	<5	<1	
	Referenz	Top	<5	<1	<1	<1	<5	<1	<5	<1	
		Bottom	<5	<1	<1	<1	<5	<1	<5	<1	
VWS	Hot-Spot	Top	<5	<1	<1	<1	<5	<1	<5	<1	
		Bottom	<5	<1	<1	<1	<5	<1	<5	<1	
	Versen- kung	Top	<5	<1	<1	<1	<5	<1	<5	<1	
		Bottom	<5	<1	<1	<1	<5	<1	<5	<1	
	Referenz	Top	<5	<1	<1	<1	<5	<1	<5	<1	
		Bottom	<5	<1	<1	<1	<5	<1	<5	<1	
Richtwert U nach AHR (abgeleitete U-Werte nach AHR nach Ochs/Munz 2005)			50	10 (2-ADNT)	/	/	/	/	10	2	

Tabelle 8: *Maximale* Konzentrationen der relevanten Explosivstoffe in den Sedimentproben in µg/kg („<“ = kleiner als Bestimmungsgrenze der Analysemethode; „/“ = nicht vorhanden).

See	Standort- art	Tiefe	Pb max.	Sb max.	Hg max.	Cr max.	Ni max.	Cu max.	Zn max.	As max.	Mo max	Cd max
			mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Thunersee	Hot-Spot	Top	16	0.4	0.06	17	39	22	53	5	0.5	0.2
		Bottom	19	0.4	0.10	16	30	21	65	6	0.5	0.3
	Versen- kung	Top	22	0.4	0.09	25	49	30	76	6	0.6	0.3
		Bottom	18	0.3	0.08	19	31	22	79	6	0.5	0.3
	Referenz	Top	25	0.4	0.07	26	48	31	82	6	0.6	0.4
		Bottom	20	0.3	0.12	21	33	23	72	7	0.5	0.3
Brienzersee	Versen- kung	Top	31	0.3	<0.05	41	44	38	87	9	1.2	0.4
		Bottom	27	0.2	0.08	30	26	26	89	11	1.2	0.4
	Referenz	Top	26	0.3	<0.05	38	52	33	72	7	0.9	0.4
		Bottom	31	0.3	0.06	32	32	26	96	10	1.0	0.5
VWS	Hot-Spot	Top	35	0.4	0.06	33	49	30	83	8	1.1	0.5
		Bottom	24	0.3	0.09	27	29	26	96	11	0.9	0.5
	Versen- kung	Top	35	0.3	<0.05	36	51	32	83	9	0.9	0.5
		Bottom	36	0.3	0.07	28	27	26	95	12	0.9	0.5
	Referenz	Top	37	0.3	0.08	36	58	37	95	10	0.8	0.5
		Bottom	41	0.3	0.09	30	32	25	98	12	0.9	0.5
Richtwert U nach AHR			50	/	0.50	50	50	40	150	15	/	1
Durchschnittliche geogene Grundgehalte ⁷			<0.7- 40	/	<0.1- 0.2	<1- 120	1- 70	1.5- 45	5- 140	/	/	<0.03 -0.3

Tabelle 9: *Maximale* Schwermetallgehalte in den Sedimentproben in mg/kg
(„<“ = kleiner als Bestimmungsgrenze der Analysemethode; „/“ = nicht vorhanden).

⁷ Nach Tuchschild 1995 und BUWAL 2003

In sämtlichen Porenwasseranalysen lagen die Gehalte der relevanten Explosivstoffe unter der Bestimmungsgrenze (vgl. Tabelle 10 und Anhang F). Die relevanten Schwermetallgehalte (Pb, Sb und Hg) lagen allgemein auf einem sehr tiefen Niveau und Perchlorat konnte nicht nachgewiesen werden (vgl. Tabelle 11).

Das Porenwasser stellt jenes Wasser dar, welches aus den Sedimenten in das oberirdische Gewässer (Seewasser) gelangen kann. Ein Vergleich der Porenwasserkonzentrationen mit den Konzentrationswerten der Altlasten-Verordnung ist somit zulässig. Die Schadstoffgehalte im Porenwasser unterschreiten die Konzentrationswerte nach Anhang 1 AltIV (bzw. abgeleitete KW AltIV nach Ochs/Munz 2005) deutlich.

See	Standort-art	Tiefe	TNT	2-ADNT 4-ADNT	HMX	RDX	PETN	DPA	1,3-DNB	2,4-DNT 2,6-DNT
			max.	max.	max.	max.	max.	max.	max.	max.
			µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
Thunersee	Hot-Spot	Top	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
		Bottom	/	/	/	/	/	/	/	/
	Versen- kung	Top	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
		Bottom	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
	Referenz	Top	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
		Bottom	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Brienzersee	Versen- kung	Top	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
		Bottom	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
	Referenz	Top	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
		Bottom	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
VWS	Hot-Spot	Top	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
		Bottom	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
	Versen- kung	Top	/	/	/	/	/	/	/	/
		Bottom	/	/	/	/	/	/	/	/
	Referenz	Top	/	/	/	/	/	/	/	/
		Bottom	/	/	/	/	/	/	/	/
Konzentrationswert AltIV (bzw. abgeleitete KW AltIV nach Ochs/Munz 2005)			10	7 (2-ADNT)	/	/	/	/	4	0.5
Trinkwasser-Leitwerte TWL (nach Wollin/Dieter 2005)			0.2	0.2	175	1	10	70	0.3	0.05 ⁸

Tabelle 10: Maximale Porenwasserkonzentrationen für die relevanten Explosivstoffe in µg/l
(„<“ = kleiner als Bestimmungsgrenze der Analyse-methode; „/“ = nicht vorhanden).

⁸ Für die 2,4- und 2,6-DNT sind die BG> als der TWL. Für diese Stoffe ist bei künftiger Wasseranalytik eine BG von 5 ng/l anzustreben. Dies entspricht 1/10 des TWL (Bemerkung J.D.Berset, GBL Bern).

See	Standort-art	Tiefe	Pb max.	Sb max.	Hg max.	Perchlorat
			µg/l (gelöst)	µg/l (gelöst)	µg/l (gelöst)	µg/l
Thunersee	Hot-Spot	Top	0.012	0.089	0.046	<0.07
		Bottom	/	/	/	/
	Versen-kung	Top	0.010	0.071	0.038	<0.07
		Bottom	0.012	0.080	0.035	<0.07
	Referenz	Top	0.008	0.078	0.026	<0.07
		Bottom	0.007	0.088	0.022	<0.07
Brienzersee	Versen-kung	Top	0.017	0.16	<0.020	<0.07
		Bottom	/	/	/	/
	Referenz	Top	0.100	0.18	0.026	<0.07
		Bottom	0.079	0.27	0.023	<0.07
VWS	Hot-Spot	Top	0.035	0.11	<0.020	<0.07
		Bottom	0.062	0.18	<0.020	<0.07
	Versen-kung	Top	/	/	/	/
		Bottom	/	/	/	/
	Referenz	Top	/	/	/	/
		Bottom	/	/	/	/
Konzentrationswert AltIV			50	10	1	/
Indikatorwert Grundwasser			1	/	0.01	/
Anforderungswerte GSchV (für Fliessgewässer), gelöst			1	/	0.01	(24.5) ⁹

Tabelle 11: Maximale Schwermetall- und Perchloratgehalte im Porenwasser in $\mu\text{g/l}$
(„<“ heisst kleiner als Bestimmungsgrenze der Analysemethode; „/“ = nicht vorhanden).

3.3.4. Diphenylamin im Sediment

Die Gefährdungsabschätzung aus dem Jahr 2005 hat den Schadstoff DPA für die Munitionsversenkungen als relevant eingestuft. Das DPA stammt in diesem Zusammenhang aus den Treibladungen (Nitrocellulose) der mittel- und grosskalibrigen Munition, in welcher es als Stabilisator verwendet wurde. Munition mit DPA wurde sowohl im Thuner- als auch im Vierwaldstättersee (v.a. Urnersee) versenkt. Im Rahmen der Sedimentuntersuchungen wurde der Schadstoff einzig im Thunersee und dort nur in der Feststoffanalytik nachgewiesen (vgl. Tabelle 8). Die Porenwasseranalytik ergab keinen Nachweis von DPA, was bestätigt, dass der Schadstoff sehr immobil ist.

Die Untersuchung zeigt weiter, dass sich die horizontale Verteilung des DPA auf den ganzen Beckenbereich des Thunersees bezieht: Der Explosivstoff wurde ohne signifikante Unterschiede an Versenkungs- und Referenzstandorten nachgewiesen. In der vertikalen Verteilung innerhalb des Sediments lassen sich die relevanten Ablagerungen zeitlich gut eingrenzen (vgl. Tabelle 12). Es zeigt sich eine rund 0.2 m mächtige Schicht in 0.55 bis 0.75 m Sedimenttiefe mit DPA-Peak-Konzentrationen von 10-17 $\mu\text{g/kg}$. Eine Hochrechnung auf die Beckensedimente des Thunersees

⁹ United States Environmental Protection Agency, Drinking Water Equivalent Level (Keine Grenzwerte in der Schweizer Gesetzgebung vorhanden)

ergibt somit ein Schadstoffpotential von gut 100 kg. Dieser Eintrag kann mit grosser Wahrscheinlichkeit auf die frühere Einleitung von Abwasser der damaligen Eidgenössischen Pulverfabrik Wimmis zurückgeführt werden (Produktion ab 1919, Ableitung Abwasser in Thunersee bis 1973). Ab 1973 wird das Abwasser in die ARA „Region Thun“ (heute ARA „Thunersee“) und von dort in die Aare, rund 6 km nördlich von Thun, geleitet.

Kenngrosse Diphenylamin (DPA)		Thunersee	Brienzersee	Vierwaldstättersee
Max. Konzentration im Sediment	[$\mu\text{g/kg}$]	17	<1	<1
Max. Konzentration im Porenwasser	[$\mu\text{g/l}$]	<0.1	<0.1	<0.1
Max. Konzentration Überstandswasser	[$\mu\text{g/l}$]	<0.1	<0.1	<0.1
Horizontale Verteilung	/	Sediment, Beckenbereich	Kein DPA vorhanden	Kein DPA vorhanden
Vertikale Verteilung, Tiefe im Sediment	[m]	0.3-0.9		
Zeithorizont DPA-Ablagerungen	/	1920-1980		
Vertikale Verteilung Ablagerungspeak ($>10\mu\text{g/kg}$)	[m]	0.55-0.75		
Zeithorizont Ablagerungspeak ($>10\mu\text{g/kg}$)	/	1940-1960		
Schadstoffpotential DPA ¹⁰	[kg]	107		
Trinkwasserleitwert DPA (TWL, Deutschland 2005)	[$\mu\text{g/l}$]	70		

Tabelle 12: Kenngrossen Sedimentuntersuchungen betreffend Diphenylamin (DPA)

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Sediment- und Porenwasseruntersuchungen keinerlei Hinweise auf einen Eintrag von Munitionsschadstoffen aus den Ablagerungsstandorten ins Seewasser liefern.

Der relevante Schadstoff DPA im Sediment des Thunersees ist sehr immobil und dessen Vorkommen kann durch die Munitionsversenkungen nicht begründet werden. Die augenblickliche Auflösung dieser DPA-Menge ergibt im Thunerseewasser eine Konzentration von $0.015\mu\text{g/l}$, was um den Faktor 4'600 unter dem Trinkwasserleitwert liegen würde und somit unbedeutend wäre. Dies ohne Berücksichtigung des Seedurchflusses und des Abbaus, bzw. der Absorption des Schadstoffes.

¹⁰ Konservative Abschätzung mit DPA im Ablagerungspeak (0.2 m mächtig, $15\mu\text{g/kg}$ als Mittelwert), Fläche nur Beckenbereich Thunersee (ca. 22 km²), Trockensubstanz Sediment 65%, Mineraleichte 2.5.

3.4. Gewässeruntersuchungen

3.4.1. Methodik Gewässeruntersuchungen

Vor und während den altlastenrelevanten Abklärungen (Sediment- und Porenwasseruntersuchungen) wurde auch das Seewasser als relevantes Schutzgut und die wichtigsten Zuflüsse der Seen mehrfach untersucht¹¹. Beim Projektstart des TP 1 „Monitoring“ lagen für den Thuner- und Brienzersee bereits diverse Seewasseruntersuchungen hinsichtlich Sprengstoffrückstände vor (GSA 2005a, GSA 2005b, Berset 2007a, Berset 2007b, Berset et. al. 2007).

Davon ausgehend wurde im TP1 für die Jahre 2007-2009 folgendes Vorgehen definiert:

- **Phase 1:**
Abklären ob im Vierwaldstättersee munitionstypische Schadstoffe vorhanden sind. Als relevante Stoffe, welche für die Seewasseruntersuchungen zu berücksichtigen sind, wurden folgende Sprengstoffe definiert: TNT inkl. Metaboliten (2 ADNT, 4 ADNT, 2,4 DANT, 2,6 DANT), HMX, RDX und PETN.
Bezüglich der relevanten Schwermetalle Pb, Sb und Hg wird auf die Wasserproben verwiesen, welche unmittelbar über dem Seegrund entnommen wurden (vgl. Kap. 3.4.5). Dies gilt auch für die Explosivstoffe DPA, DNB und DNT welche dort mit einer BG von 0.1 µg/l analysiert wurden.
- **Phase 2:**
Durchführung eines spezifischen Beprobungskonzepts für alle Seen aufgrund der Ergebnisse aus der Phase 1.
- **Phase 3:**
Langfristiges Monitoringprogramm für alle Seen.

Die Phase 1 ergab schon bald, dass auch das Wasser des Vierwaldstättersees mit Explosivstoffen belastet ist (wesentlich höhere Konzentrationen als im Thunersee und Brienzersee), obwohl keine Hinweise auf Schadstofffreisetzungen aus den Sedimenten vorlagen. In der Folge wurden für den ganzen Untersuchungsperimeter diverse Untersuchungen im Seewasser und in den Zuflüssen durchgeführt. Die Hauptziele der Abklärungen waren die Quellensuche und das Aufstellen einer Massenbilanz. Alle vorhandenen Daten über Explosivstoffe in den Seen bis Februar 2009 wurden durch die Eawag im Bericht „Massenbilanzen und toxikologisches Gefährdungspotential von ausgewählten Explosivstoffen im Thuner-, Brienzer- und Vierwaldstättersee“ (vgl. Beilage 6) ausgewertet.

3.4.2. Gewässeruntersuchungen Thuner- und Brienzersee

In den Jahren 2006-2010 wurden im Thuner- und Brienzersee vom GBL periodisch Seewasseruntersuchungen bezüglich Explosivstoffe durchgeführt. Diese beinhalten Seeprofile mit tiefendifferen-

¹¹ Das GBL verfügt seit 2006 über ein Analysegerät (HPLC-MS/MS) welches, unter anderem für die wichtigsten Sprengstoffe, eine extrem tiefe Bestimmungsgrenze im sub-Nanogrammbereich aufweist.

zierter Probenahme am Standort THU1 (Koord. 622'300/170'050), bzw. BRZ1 (Koord. 639'250/174'200). Die Resultate der Seewasseranalytik sind im Anhang K1 (Thunersee) und L1 (Brienzersee) zusammengefasst (Daten: GBL). Im Berner Seewasser konnten verschiedene Sprengstoffe im sub-Nanogramm-Bereich bis tiefem Nanogramm-Bereich (ng/l) nachgewiesen werden (BG der Analysemethode zwischen 0.03 und 1.0 ng/l). Die *höchsten gemessenen Schadstoffkonzentrationen* lagen um mindestens einen Faktor 380 unter den Trinkwasserleitwerten nach Wollin/Dieter 2005 und sind somit sowohl aus ökotoxikologischer als auch aus humantoxikologischer Sicht unbedenklich (weitere Ausführungen zur Toxizität, vgl. Beilage 6 und Kap. 7.2).

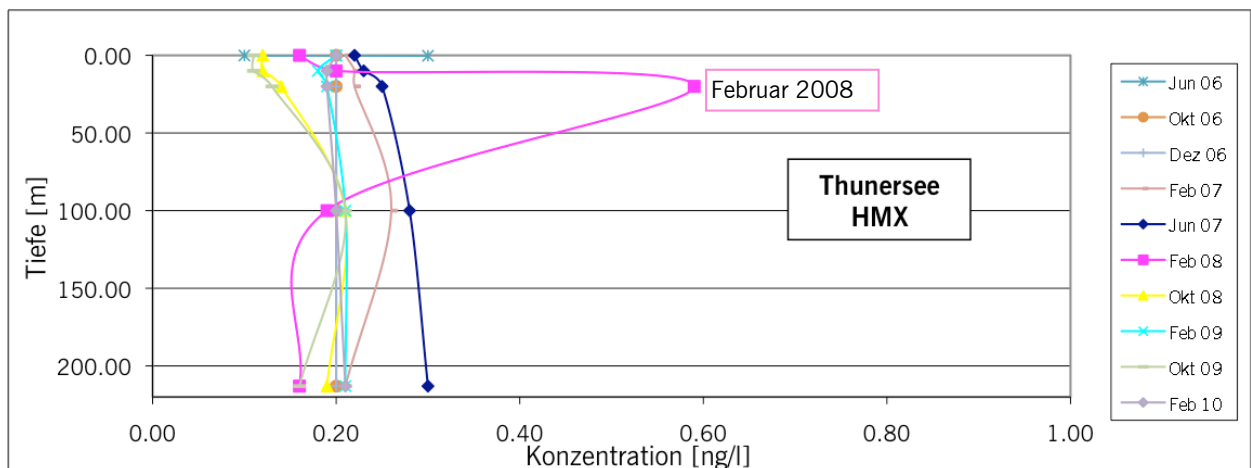


Diagramm 1: Resultate der Seewasserprofile im Thunersee für HMX: Schadstoffspuren im sub-Nanogramm-Bereich (TWL für HMX: 175'000 ng/l). Das Profil vom Feb. 08 deutet auf einen Eintrag einer Externen Quelle in den See hin (vgl. Kap. 6 „Externe Schadstoffquellen“).

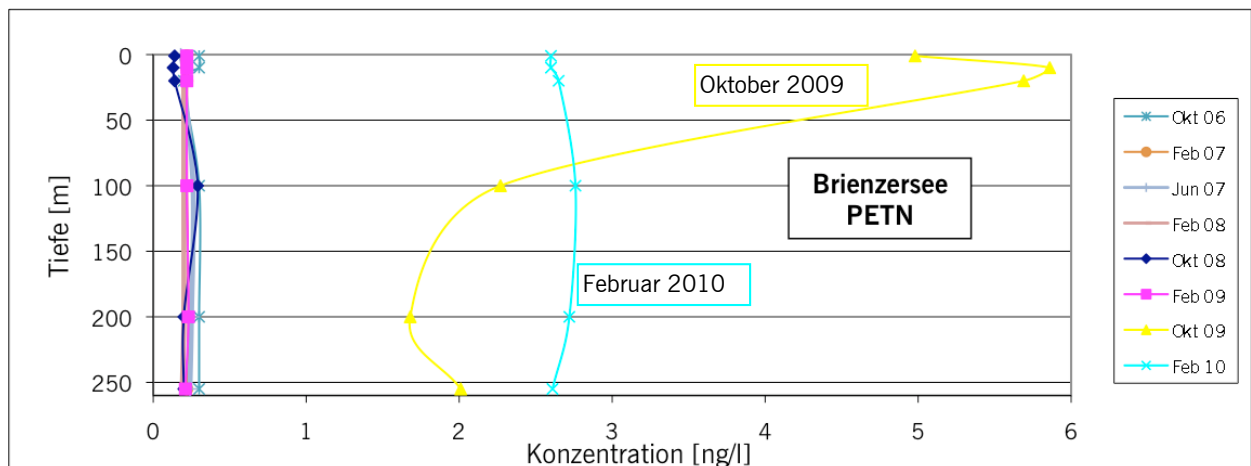


Diagramm 2: Resultate der Seewasserprofile im Brienzersee für PETN: Schadstoffspuren im sub-Nanogramm-Bereich bis tiefem Nanogramm-Bereich (TWL für PETN: 10'000 ng/l). Die beiden Profile Okt. 09 und Feb. 10 deuten auf Einträge von externen Quellen in den See hin (vgl. Kap. 6 „Externe Schadstoffquellen“).

Im Zusammenhang mit den Munitionsdeponien wurden zwischen 2006 und 2008 auch diverse Fliessgewässer im Kanton Bern auf Sprengstoffrückstände hin untersucht. Die Resultate der Analytik für die relevanten See-Zuflüsse sind im Anhang K2, bzw. L2 zusammengefasst (Daten: GBL).

Im ganzen Kanton Bern konnten in mehreren Gewässern, verschiedenen Zuflüssen und in der ARA Thunersee (welche im Abstrom des Thunersees liegt) Spuren von Explosivstoffen nachgewiesen werden. Überraschenderweise zeigten die Untersuchungsergebnisse im Bielersee im Jahr 2007 die höchsten Konzentrationen von allen Berner Seen. Im Vergleich dazu lagen die Konzentrationen im Thuner- und im Brienersee bis zu zehn Mal tiefer. Bei der Suche nach den Schadstoffquellen konnten diverse externe Quellen eruiert werden, welche Auswirkungen auf die Gewässer im Kanton Bern haben (Abhandlung in Kap. 6 „Externe Schadstoffquellen“).

3.4.3. Gewässeruntersuchungen Vierwaldstättersee

Im Urnersee und im Gersauerbecken des Vierwaldstättersees wurden in den Jahren 2007 und 2009 Seeprofile (tiefen-differenzierte Probenahme) entnommen. Zusätzlich wurden die beiden Seewasserfassungen „Tellsplatte“ und „Salzfass“ bezüglich Explosivstoffen regelmässig überwacht. Im Jahr 2007 wurden diverse weitere Seewasserproben aus dem Urnersee, dem „Chrüztrichter“, dem Alpnachersee und dem Küssnachtersee gewonnen. Die Resultate der Seewasseranalytik wurde im Anhang M1 zusammengefasst (Daten: AfU Uri, Labor Spiez, GBL). Im Wasser des Vierwaldstättersees konnten verschiedene Explosivstoffe im Nanogramm-Bereich nachgewiesen werden (BG der Analyseverfahren zwischen 0.03 und 1.0 ng/l). Die *höchsten, gemessenen Schadstoffkonzentrationen* lagen aber mindestens um einen Faktor 10 unter den Trinkwasserleitwerten nach Wollin/Dieter 2005.

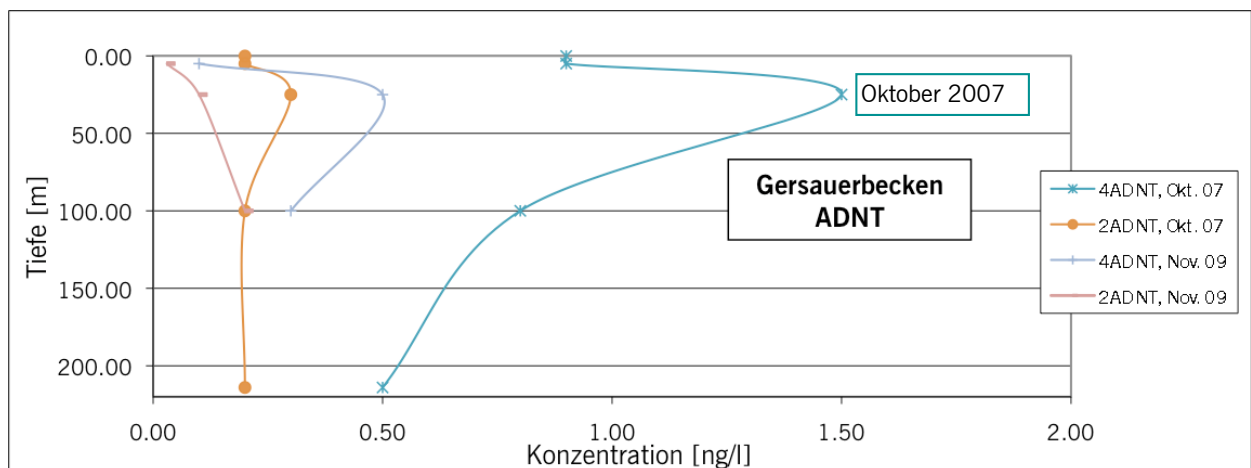


Diagramm 3: Resultate der Seewasserprofile im Gersauerbecken des Vierwaldstättersees für ADNT: Schadstoffspuren im sub-Nanogramm-Bereich bis tiefem Nanogramm-Bereich (TWL für ADNT: 200 ng/l).

Im Weiteren wurden die relevanten direkten Zuflüsse (Reuss, Muota, Engelberger Aa, Sarner Aa) und der Auslauf des Sees (Reuss bei Luzern) im Jahr 2007 beprobt. Die Resultate dieser Wasseranalysen sind im Anhang M2 zusammengefasst (Daten: AfU Uri, Labor Spiez, GBL).

3.4.4. Seewasser unmittelbar über dem Seegrund (Überstandswasser)

Im Rahmen der Sedimentkernentnahme (vgl. Kap. 3) wurde pro Probenahmestandort das Überstandswasser, also jenes Wasser, welches im Kernrohr direkt über dem Sediment stand, beprobt (vgl. Abbildung 20). Diese Proben repräsentieren das Seewasser in den ersten Zentimeter über dem Seegrund, welches beim Kernvorgang im Kernrohr „gefangen“ wird. Aus dem Überstandswasser in den Kernrohren wurden direkt nach dem Kernvorgang diverse Feldparameter gemessen (pH, el. Leitfähigkeit, Sauerstoffgehalt und Redoxpotential) und die jeweils erforderlichen Teilproben für die Laboranalytik erstellt. Für die Analytik wurden vom Labor Spiez Blindproben aus Reinstwasser definiert.

Das detaillierte Probenahmeprogramm ist im Anhang D tabellarisch dargestellt. Zusammenfassend konnten 21 Überstandswasserproben der Analytik zugeführt werden:

See	Probenahmestandorte		Anzahl Proben für Analytik
	Anzahl	Standortart	Überstandswasserproben
Thunersee	2	Hot-Spot	2
	2	Versenkung	2
	3	Referenz	3
Brienzersee	2	Versenkung	2
	2	Referenz	2
VWS	5	Hot-Spot	5
	1	Versenkung	1
	4	Referenz	4
TOTAL			21

Tabelle 13: Anzahl analysierter Überstandswasserproben

Diese Überstandswasserproben wurden zur Analytik spezialisierten Labors zugeführt:

- Das Institut Bachema AG analysierte alle Proben auf 17 verschiedene Explosivstoffe und auf den Summenparameter DOC.
- Das Labor Spiez analysierte alle Proben auf die Schwermetalle Sb, Pb und Hg.
- Das kantonale Laboratorium Bern analysierte zwölf Überstandswasserproben auf den Parameter „Perchlorat“.

In sämtlichen Überstandswasserproben lagen die Gehalte an Explosivstoffen unter der Bestimmungsgrenze von 0.1 µg/l (vgl. Tabelle 14 und Anhang F). Die DOC-Gehalte waren mit 0.15 bis 1.2 mg/l gering und die relevanten Schwermetallgehalte (Pb, Sb, Hg) lagen auf einem sehr tiefen Niveau. Tabelle 15 zeigt, dass die Schwermetallgehalte bis auf eine Ausnahme unter den numerischen Anforderungen an Fließgewässer (GSchV, keine Werte für Seen) liegen: Im Thunersee wird dieser Vergleichswert für Blei an einem Referenzstandort überschritten, wobei der Konzentrationswert nach AltIV immer noch klar unterschritten wird. Im Überstandswasser vom Thunersee wurden Spuren von Perchlorat unmittelbar über der jeweiligen Bestimmungsgrenze der Analysemethodenachgewiesen. Es wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen Versenkungs- und Referenzstandorten festgestellt.

See	Standortart	TNT	2-ADNT 4-ADNT	HMX	RDX	PETN	DPA	1,3-DNB	2,4-DNT 2,6-DNT
		max. µg/l	max. µg/l	max. µg/l	max. µg/l	max. µg/l	max. µg/l	max. µg/l	max. µg/l
Thunersee	Hot-Spot	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
	Versenkung	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
	Referenz	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Brienzersee	Versenkung	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
	Referenz	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
VWS	Hot-Spot	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
	Versenkung	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
	Referenz	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Konzentrationswert AltIV (bzw. abgeleitete KW AltIV nach Ochs/Munz 2005)		10	7 (2-ADNT)	/	/	/	/	4	0.5
Trinkwasser-Leitwerte TWL (nach Wollin/Dieter 2005)		0.2	0.2	175	1	10	70	0.3	0.05 ¹²

Tabelle 14: *Maximale* Konzentrationen des Überstandswassers für die relevanten Explosivstoffe in µg/l („<“ = kleiner als Bestimmungsgrenze der Analyseemethode; „/“ = nicht vorhanden).

See	Standortart	Pb max.	Sb max.	Hg max.	DOC max.	Perchlorat
		µg/l (gelöst)	µg/l (gelöst)	µg/l (gelöst)	mg/l	µg/l
Thunersee	Hot-Spot	0.27	0.078	<0.020	0.64	0.07
	Versenkung	0.28	0.095	<0.020	0.69	0.08
	Referenz	1.60	0.130	<0.020	0.72	0.07
Brienzersee	Versenkung	0.80	0.160	<0.020	0.47	<0.07
	Referenz	0.16	0.083	<0.020	0.51	<0.07
VWS	Hot-Spot	0.15	0.079	<0.020	1.20	<0.07
	Versenkung	0.14	0.075	<0.020	0.82	/
	Referenz	0.45	0.097	<0.020	0.99	<0.07
Konzentrationswert AltIV		50	10	1	/	/
Anforderungswerte GSchV (für Fließgewässer), gelöst		1	/	0.01	1 bis 4	/
Erfahrungswert SLMB, Trinkwasser		<1	(5) ¹³	0.1	<1	(24.5) ¹⁴

Tabelle 15: *Maximale* Schwermetall- und Perchloratgehalte im Überstandswasser („<“ = kleiner als Bestimmungsgrenze der Analyseemethode; „/“ = nicht vorhanden).

¹² Für die 2,4- und 2,6-DNT sind die BG> als der TWL. Für diese Stoffe ist bei künftiger Wasseranalytik eine BG von 5 ng/l anzustreben (Bemerkung J.D.Berset, GBL Bern).

¹³ EG Wasserrichtlinie

¹⁴ United States Environmental Protection Agency, Drinking Water Equivalent Level (Keine Grenzwerte in der Schweizer Gesetzgebung vorhanden)

3.4.5. Perchlorat im Thunerseewasser

Gemäss diversen Messungen des kant. Labors Bern können Spuren von Perchlorat als Mikroverunreinigungen praktisch in allen Quell-, Grund- und Fliessgewässern im Konzentrationsbereich von 0.05 bis 0.5 µg/l nachgewiesen werden. Im Zusammenhang mit den vorliegend dokumentierten Untersuchungen sind bezüglich Perchlorat zwei Datensätze vorhanden:

- Bei einem Seeprofil im Thunersee aus dem Jahr 2005 wurden Perchloratgehalte von 0.04 bis 0.06 µg/l gemessen (vgl. Tabelle 16).
- Im Thunersee konnte im Wasser unmittelbar über dem Seegrund Spuren von Perchlorat mit maximal 0.08 µg/l nachgewiesen werden (vgl. Kap. 3.4.4, beim Briener- und Vierwaldstättersee kein Nachweis). Im Porenwasser der Sedimentkerne konnte in keinem See Perchlorat nachgewiesen werden. Dies bei einer Bestimmungsgrenze von 0.07 µg/l.

Diese Konzentrationen liegen mindestens um Faktor 300 unter dem „Drinking Water Equivalent“ nach US-EPA, welcher für Perchlorat 24.5 µg/l beträgt (vgl. Tabelle 15).

See	Lokalität	Datum Probenahme	Probenahmetiefe m	Perchlorat µg/l
Thunersee	Seemitte (Tiefste Stelle) 622'300/170'050	17.05.2005	0	0.04
			10	0.04
			100	0.06
			212	0.05

Tabelle 16: Seewasserprofil im Thunersee mit Perchlorat-Analytik aus dem Jahr 2005

Dass die nachgewiesenen Spuren von Perchlorat im Thunerseewasser auf die Munitionsablagerungen zurückgeführt werden können, ist aus folgenden Gründen sehr unwahrscheinlich:

- Die Gehalte der Thunerseewasser-Proben liegen im Vergleich zu den Hintergrundbelastungen (Mikroverunreinigungen) recht tief und können mit hoher Wahrscheinlichkeit einer externen Quelle zugeordnet werden.
- Die Porenwasseruntersuchungen (vgl. Kap. 3.3) zeigten keinen Hinweis auf Perchlorat aus den Munitionsdeponien.
- Das Perchlorat ist in der Munition in Paraffin eingebettet, woraus eine Freisetzung schwierig ist. Dazu kommen die kaum korrodierten Stahlhüllen der Granaten (vgl. Kap. 3.2.4) und die zunehmende Sedimentüberdeckung welche eine Freisetzung verhindern.
- Bei den anderen Seen im Untersuchungsperimeter wurde im Wasser unmittelbar über dem Seegrund kein Perchlorat nachgewiesen (vgl. Kap. 3.4.4), obwohl in diesen Seen auch Perchlorat versenkt wurde.

Ob der Schadstoff aus der Landwirtschaft (Nitratdünger), aus Feuerwerkskörpern oder weiteren Quellen stammt bleibt offen.

4. Schliessen der Wissenslücken

Im Folgenden werden die einzelnen Wissenslücken bezüglich der Gefährdungsabschätzung (2005) gemäss Kap. 1.4 geschlossen und die Repräsentativität der jeweiligen Untersuchungen abgeschätzt.

4.1. Wissenslücke Lage und Verteilung

1. Wissenslücke	Wie sieht die genaue Lage und Verteilung der Munition im Untersuchungsperimeter und im Sediment aus (horizontale und vertikale Verteilung)?
Grundlagen	Bericht [VII], [IX] und [X] vgl. Tabelle 2 (Beilagen 1, 2 und 3) Anhang C
Erläuterung	Kap. 3.1
Schliessen der Wissenslücke	➤ Anhand der Grobkartierung konnte die Lage der Munitionsversenkungsstandorte mit den jeweiligen Hot-Spots bestimmt werden. Anhang C zeigt die genaue Lage und Fläche dieser Standorte auf. Im Untersuchungsperimeter wurden 9 Versenkungsstandorte mit einer Gesamtfläche von 14 km² definiert. Insgesamt konnten 15 Hot-Spots mit einer Gesamtfläche von 1.8 km² bestimmt werden. ➤ Die Untersuchungen bestätigen die Resultate der Historischen Abklärungen bezüglich der ungefähren Lage der Standorte, zeigen aber auch bei einigen Standorten eine Diskrepanz zur erfolgten Abschätzung bezüglich der Verteilung der versenkten Gesamttonnagen auf. ➤ Am Seegrund waren optisch keine Munitionsobjekte zu erkennen. Der Hauptteil der Munition liegt zwischen 0.2 und 1.7 m tief im Seesediment. Rund 10% der detektierten Objekte sind mit weniger als 25 cm Sediment überdeckt. ➤ Die durchschnittliche Objektdichte betrug rund 0.5 Objekte/m². Beim Standort Merlingen ist die Objektdichte deutlich höher (1-6 Objekte/m²) und bei den Standorten Einigen, Bolzbach und Axenwand deutlich geringer (0.15 bis 0.3 Objekte/m²).
Repräsentativität der Resultate	Horizontale Verteilung: Für die Grobkartierung wurden die Untersuchungsbereiche um die Versenkungsstandorte grosszügig definiert um die unvermeidlichen Ungenauigkeiten der Historischen Abklärungen auszugleichen. Die kartierte Fläche ist somit für die relevanten Bereiche in den einzelnen Seen repräsentativ. Mit der aufwendigen Detailortung wurden rund 0.4% der Gesamtfläche der Ablagerungen gemäss Grobkartierung erfasst. Da diese Profillinien aufgrund der ausgewerteten Grobkartierung gezielt platziert werden konnten, wird die untersuchte Teilfläche als repräsentativ beurteilt. Die Genauigkeit der Detektorpositionierung betrug ± 3m. Vertikale Verteilung: Die Eindringtiefe des Detektorsignals in die Seesedimente betrug 1.8 m. Tiefer im Sediment liegende Objekte konnten nicht erfasst werden. Die summierte, vertikale Messungenauigkeit betrug ± 0.15 m. Die Anzahl der detektierten Objekte ist stark von der Interpretation der Rohdaten abhängig (grosstes Objekt versus Anhäufung von kleineren Objekten). Die Untersuchungen wurden nach dem neusten Stand der Technik durchgeführt und die neu entwickelten Ortungssysteme wurden intensiv geprüft und kalibriert. Die durchgeführten Untersuchungen werden somit vollumfänglich als repräsentativ beurteilt.
Status	Wissenslücke geschlossen

4.2. Wissenslücke Korrosion

2. Wissenslücke	Wurden grössere Geschosse mit oder ohne Zünder versenkt? Wie verläuft die Korrosion der versenkten Munition, bzw. Munitionsbestandteile? Gibt es bevorzugte Freisetzungspfade Munition-Sediment?
Grundlagen	Bericht [XIII] vgl. Tabelle 2 (Beilagen 4 und 5)
Erläuterung	Kap. 3.2
Schliessen der Wissenslücke	➤ Anhand gehobener Testobjekt wurde festgestellt, dass auch grössere Geschosse mit Zündern und Detonatoren versenkt wurden. ➤ Bei intakt versenkten Munitionsobjekten zeigen die metallografischen Untersuchungen, dass diese noch annähernd 100% intakt sind. Es wurde keine Korrosion des Grundwerkstoffes festgestellt. ➤ Beschädigte Munition aus dem Explosionsunglück weist zum Teil stark ausgeprägte Flächenkorrosion auf. Die Wandstärke beträgt immer noch 90% des ursprünglichen Zustandes. Korrosionsdurchbrüche wurden nicht festgestellt. ➤ Die kritischen Bereiche für Schadstofffreisetzungen aus Munitionsobjekten ist der Gewinde- und Zünderbereich. Aufgrund der Korrosionsuntersuchungen sind aber diese potentiellen Freisetzungspfade nicht aktiv. Bei Objekten welche bei einem Explosionsunglück vollständig umgesetzt wurden (also keinen Sprengstoff mehr enthalten), ist die Frage nach dem Freisetzungspfad nicht relevant. ➤ Die konkrete Gefahr der Schadstofffreisetzung durch korrosionsbedingte Materialdurchbrüche wird als äusserst gering eingestuft. Die Korrosionsrate und somit die Gefahr einer Schadstofffreisetzung wird mit der weiteren Sedimentüberdeckung noch abnehmen (zusätzlich wird das Milieu zunehmend anoxisch, was die Korrosion der Munitionsobjekte hemmt).
Repräsentativität der Resultate	Die gehobenen Munitionsobjekte werden trotz ihrer geringen Anzahl für die Versenkungsstandorte und die Verteilung der Munitionstypen als repräsentativ angesehen (grosskalibrige Munition aus dem Gersauerbecken, v.a. Munition aus Explosionsunglücken im Thunersee). Aus dem Urner- und Brienzersee konnten aber keine Testobjekte geborgen werden. Der Zustand der Munition im Urnersee ist zwischen den intakt versenkten Granaten im Gersauerbecken und den Objekten aus dem Explosionsunglück Mitholz anzusiedeln. Im Brienzersee wurde nur unbeschädigte Munition aus Magazinen (keine Munitionsabfälle) abgelagert. Die Korrosionsbetrachtungen bezüglich Metallhülle sind sowohl für intakt versenkte Munition als auch für Explosionsunglücks-Munition repräsentativ. Im Thunersee wird der Anteil der beschädigten, aber nicht vollständig umgesetzten Munition auf maximal 10% der Explosionsunglücks-Munition geschätzt. Hier war in den ersten Jahren nach der Versenkung eine direkte Freisetzung von Explosivstoffen ins Seewasser möglich. Heute wird die Schadstofffreisetzung dieser Munition durch die Sedimentüberdeckung verhindert. Alle weiteren Abklärungen in den Labors und bei der Empa wurden nach dem heutigen Stand der Technik von diversen Spezialisten durchgeführt. Die Resultate werden als repräsentativ gewertet.
Status	Wissenslücke geschlossen

4.3. Wissenslücke Sedimentcharakterisierung

3. Wissenslücke	Wie sind die Seesedimente der einzelnen Standorte charakterisiert (Org. Mat., Mineralogie, Korngrössen, Porosität, Permeabilität)?
Grundlagen	Berichte [IX], [IX], [XVI] vgl. Tabelle 2 (Beilage 2) Anhang E, J
Erläuterung	Kap. 3.1, 3.3 teilweise
Schliessen der Wissenslücke	➤ Betreffend „Anteil an organischem Material“ in den Sedimenten liegen keine neuen Erkenntnisse vor. Die bisherigen Werte sind plausibel und werden beibehalten: C_{org} im Deltabereich bis 1%, im Beckenbereichen bis 5% ➤ Der Tonanteil schwankt von 5% (Deltabereiche) bis 55% (Beckenbereiche). Relevant sind hier Illit und Chlorit. ➤ Die Gesamtmineralogie widerspiegelt jeweils die Geologie des Einzugsgebietes. ➤ Betreffend Korngrössenverteilung bestätigen die Hebeversuche mit dem Greifer und die Fallversuche, dass klar zwischen den sandigen Deltabereichen und den feinkörnigen Beckensedimenten unterschieden werden kann. ➤ Bezüglich „Porosität“ der Seesedimente liegen keine neuen Erkenntnisse vor. Es wird von einer nutzbaren Porosität von 35 % (gemäss [XX], p. 11: 650 kg Trockensubstanz pro m³ Sediment) ausgegangen. ➤ Betreffend „Permeabilität“ der Seesedimente liegen keine neuen Erkenntnisse vor. Bisheriger Stand: Geringe Permeabilität
Repräsentativität der Resultate	Die Mineralogie wurde anhand von mehreren Proben aus jedem See und allen Standorten (Hot-Spot und Referenzstandorte) ermittelt. Es wurde zwischen „Top“- (0-30 cm) und „Bottom“-Proben unterschieden. Die Repräsentativität bezüglich horizontaler und vertikaler Verteilung ist gegeben. Die Untersuchungen wurden durch die Universität Bern nach dem Stand der Technik durchgeführt. Die kombinierten Bestimmungsunsicherheiten sind für die notwendigen Aussagen vernachlässigbar. Bezüglich organischem Material, Korngrössenverteilung, Porosität und Permeabilität liegen keine neuen Erkenntnisse vor.
Status	Wissenslücke weitgehend geschlossen; Datengrundlage für die Abschätzung des Freisetzungspotentials und somit für die Beurteilung nach Altlasten-Verordnung ausreichend

4.4. Wissenslücke Schadstoffe im Sediment

4. Wissenslücke	Wie sieht der Schadstoffgehalt im Sediment und unmittelbar über dem Sediment bei einem „Hot-spot“ aus? Gibt es bevorzugte Freisetzungspfade Sediment-Seewasser?
Grundlagen	Bericht [XIV], [XV], [XVI], [XVIII], [XIX], [XX] vgl. Tabelle 2 Anhang D, E, F, G, H, I, J
Erläuterung	Kap. 3.3
Schliessen der Wissenslücke	➤ Mit Ausnahme eines Stoffes (DPA) liegen die maximalen Konzentrationen sämtlicher relevanter Schadstoffe im Sediment, im Porenwasser und im Überstandswasser unter der Bestimmungsgrenze oder auf dem sehr tiefen Niveau der Hintergrundkonzentrationen und somit deutlich unter den verfügbaren Grenzwerten. Signifikante Unterschiede zwischen Hot-Spots und Referenzstandorten sind nicht feststellbar. ➤ DPA kann im Sediment des ganzen Thunersees nachgewiesen werden. Der Schadstoff ist sehr immobil und dessen Vorkommen kann durch die Munitionsversenkungen nicht begründet werden. Zudem ist die abgelagerte Menge von rund 100 kg ohne Bedeutung. ➤ Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Sediment-, Porenwasser- und Überstandswasseruntersuchungen keinerlei Hinweise auf einen Eintrag von Munitionsschadstoffen (bzw. auf bevorzugte Freisetzungspfade) aus den Ablagerungsstandorten ins Seewasser liefern.
Repräsentativität der Resultate	Es wurden aus allen Hot-Spots Sedimentproben, Porenwasserproben und Überstandswasserproben entnommen. Zusätzlich wurden für jeden See mehrere Referenzstandorte definiert und beprobt. Die Daten werden für die jeweiligen Seen als repräsentativ angesehen. Lokale Schadstoffquellen können aber aufgrund der Sedimentuntersuchungen allein nicht ausgeschlossen werden. Die Bestimmungsgrenzen für DPA liegt bei der Feststoffanalytik bei 1 µg/kg und bei der Wasseranalytik (Porenwasser und Überstandswasser) bei 0.1 µg/l. Die Messunsicherheit fällt aufgrund der sehr geringen Konzentrationen (meist unter der BG) nicht ins Gewicht. Die Messunsicherheit bei den Schwermetallanalysen betragen 10%, bzw. 15% für Hg. Den Totalgehalten bei der Wasseranalytik (Porenwasser und Überstandswasser) liegt aufgrund der durch die Probenahme aufgeschlammten Sedimente keine echte Trübung zugrunde. Die Resultate der Totalgehalte werden daher als indikativ gewertet, massgebend sind die gelösten Gehalte. Die Sedimentuntersuchungen wurden hinsichtlich einer Vielzahl von Explosivstoffen, den relevanten Schwermetallen und Perchlorat durchgeführt und gelten somit hinsichtlich dem Stoffspektrum als repräsentativ.
Status	Wissenslücke geschlossen

4.5. Wissenslücke Schadstoffe im Seewasser

5. Wissenslücke	Welches sind die relevanten Munitions-Schadstoffe? Welche Konzentrationen der relevanten Schadstoffe werden im Seewasser (Oberflächen- und Tiefenwasser) aller Seen im Untersuchungsperimeter gemessen?
Grundlagen	Bericht [IV], [V], [VI], [VIII], [XX], , vgl. Tabelle 2 (Beilage 6) Anhang K, L, M
Erläuterung	Kap. 3.4
Schliessen der Wissenslücke	➤ Die relevanten Schadstoffe gemäss Gefährdungsabschätzung von 2005 waren 2,4,6-Trinitrotoluol (TNT), 1,3-Dinitrobenzol (DNB), Diphenylamin (DPA), Quecksilber, Blei, Antimon, Azid und Perchlorat. ➤ Für die Seewasseruntersuchungen wurden zusätzlich die Stoffe ADNT, HMX, RDX, PETN und DNT als relevante Schadstoffe definiert (DNT besteht aus verschiedenen Isomeren. Dies sind vor allem 2,4- und 2,6-DNT). ➤ Die Stoffe DPA, DNB und DNT wurden im Rahmen der Analytik von Seewasser unmittelbar über dem Seegrund (Überstandswasser-Untersuchungen) mit einer BG von 0.1 µg/l analysiert. Eine Analyseverfahren im unteren Nanogramm-Bereich ist nicht vorhanden. Diese Stoffe wurden in der Folge nicht in die Analytik der Seewasserprofile miteinbezogen. ➤ Die relevanten Schwermetalle Pb, Sb und Hg wurden primär mittels der Analytik von Seewasser unmittelbar über dem Seegrund (Überstandswasser) abgedeckt. ➤ Die Azidkonzentration wurde nicht analysiert, sondern indirekt basierend auf der sehr kleinen versenkten Menge von 70 kg im Thunersee und 130 kg im Vierwaldstättersee sowie der gelösten Bleikonzentration mit <0.1 µg/l abgeleitet. Die Gehalte sind so gering, dass keine weiteren Abklärungen notwendig sind. ➤ Die mittleren Seewasser-Konzentrationen der untersuchten Explosivstoffe sind für den Thunersee und Brienzersee <1 ng/l (höchste BG), im Vierwaldstättersee <8 ng/l (vgl. Tabelle 23, Kap. 7.2). Je nach Stoff, See und Zeitpunkt der Probenahme sieht die Verteilung bezüglich Oberflächenschicht-Sprungschicht-Tiefenwasser anders aus. ➤ Die Konzentrationen der untersuchten Schwermetalle im Überstandswasser entsprachen den üblichen Hintergrundkonzentrationen.
Repräsentativität der Resultate	Die Probenahmen bezüglich Explosivstoffen erfolgten tiefenorientiert und wurden mehrfach wiederholt. Die Resultate gelten für den Untersuchungszeitraum für das Seewasser als repräsentativ. Die Sprengstoffanalytik im Seewasser wurde durch das GBL mit einer durchschnittlichen Messunsicherheit von 50 % durchgeführt. Die Schwermetallanalytik der Überstandswasserproben erfolgte durch das Labor Spiez mit einer Messunsicherheit von 10-15%.
Status	Wissenslücke weitgehend geklärt. Für eine altlastenrechtliche Gefährdungsabschätzung der Munitionsdeponien ist das Wissen ausreichend.

4.6. Wissenslücke weitere Schadstoffquellen

6. Wissenslücke	Können allenfalls nachgewiesene Schadstoffe im Seewasser auf die Versenkungsstandorte zurückgeführt werden? Gibt es weitere relevante Quellen (Zuflüsse, Abwasser, Ablagerungsstandorte im Uferbereich etc.)?
Grundlagen	Bericht [XX], vgl. Tabelle 2 (Beilage 6)
Erläuterung	Kap. 5, 6, 7
Schliessen der Wissenslücke	➤ TNT und auch DANT wurden im Seewasser nie nachgewiesen. ➤ Für einige Sprengstoffe (HMX, RDX, teilweise PETN) ist das Schadstoffpotential der versenkten Munition zu klein um die im See beobachteten Konzentrationen für mehrere Jahre aufrechtzuerhalten. Diese Stoffe müssen somit aus einer externen Quelle eingetragen werden. ➤ Für die beobachteten Seewasserkonzentrationen von ADNT und teilweise PETN ist das Schadstoffpotential der versenkten Munition potentiell ausreichend. Mehrere Argumente sprechen aber gegen einen Schadstofffluss aus den Sedimenten: Ein Eintrag aus dem Sediment ist aufgrund des Abbaus bei der Diffusion nicht zu erwarten und es wurden auch keine Hinweise diesbezüglich bei den umfassenden Sedimentuntersuchungen gefunden. Die vereinzelt erhöhten Konzentrationen deuten auf punktuelle, externe Quellen hin, nicht auf einen kontinuierlichen Eintrag aus dem Sediment in 200 m Wassertiefe. ➤ See-externe Quellen von Explosivstoffen konnten nachgewiesen werden. Mit hoher Wahrscheinlichkeit können die im See gemessenen Explosivstoff-Konzentrationen vollständig auf externe Quellen zurückgeführt werden. Neben bereits bekannten see-externen Quellen sind noch weitere Eintragsquellen denkbar (vgl. Kap. 6).
Repräsentativität der Resultate	In der Untersuchungsperiode von 2006 bis März 2010 war es noch nicht möglich sämtliche externe Eintragsquellen zu ermitteln. Insbesondere im VWS besteht eine Unsicherheit ob noch weitere externe Quellen vorhanden sind.
Status	Wissenslücke geschlossen

5. Gefährdungsabschätzung Munition (nach AltIV)

5.1. Methodik

5.1.1. Gefährdungspotential

Die Standorte in den Seen, an welchen Munition versenkt wurde, sind mit Stoffen belastet die natürlicherweise dort nicht vorkommen. Ob diese Stoffe aus den belasteten Standorten zu schädlichen (oder lästigen) Einwirkungen auf die Umwelt führen, wird mittels einer Gefährdungsabschätzung abgeklärt. Die rechtliche Grundlage für diese Gefährdungsabschätzung bildet die Verordnung über die Sanierung von belasteten Standorten (AltIV) und die davon abgeleiteten Vollzugshilfen. Folgende Hauptkriterien dienen zur Charakterisierung des Ausmasses der Umweltgefährdung respektive des Gefährdungspotentials:

- **Schadstoffpotential:**
Wie gefährlich sind die Schadstoffe und in welchen Mengen liegen sie vor?
- **Freisetzungspotential:**
Wie schnell, wie weit und in welchen Mengen werden die Schadstoffe freigesetzt und transportiert?
- **Exposition und Bedeutung der Schutzgüter:**
Können die Schadstoffe überhaupt Schutzgüter erreichen? Wie gross ist das mögliche Ausmass der Schädigungen?

In einem dreidimensionalen Modell lassen sich die drei Kriterien auf je einer Achse visualisieren. Die Ausprägung auf den drei Achsen bildet einen Würfel. Das Volumen dieses Würfels repräsentiert das Ausmass der Umweltgefährdung, wie in Abbildung 21 gezeigt.

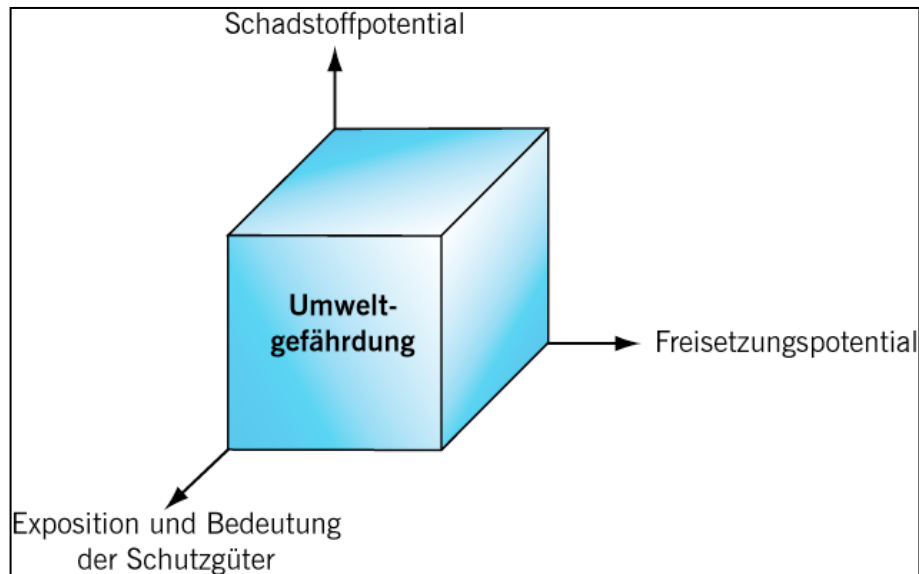


Abbildung 21: Elemente der Gefährdungsabschätzung, schematisch

5.1.2. Beurteilungsgrundlage

Das durch die versenkte Munition betroffene Schutzgut ist das Wasser in den Seen. Massgeblich für die Beurteilung von Einwirkungen von den belasteten Standorten - den Munitionsdeponien im See- grund - ist somit Artikel 10 der Altlastenverordnung: Schutz der oberirdischen Gewässer.

Art. 10 Schutz der oberirdischen Gewässer

1 Ein belasteter Standort ist hinsichtlich des Schutzes oberirdischer Gewässer überwachungsbedürftig, wenn:

- a. im Eluat des Materials des Standortes, das auf ein oberirdisches Gewässer einwirken kann, ein Konzentrationswert nach Anhang 1 überschritten ist; oder
- b. im Wasser, das in ein oberirdisches Gewässer gelangt, die Konzentration von Stoffen, die vom Standort stammen, einen Konzentrationswert nach Anhang 1 überschreitet.

2 Ein belasteter Standort ist hinsichtlich des Schutzes oberirdischer Gewässer sanierungsbedürftig, wenn:

- a. im Wasser, das in ein oberirdisches Gewässer gelangt, die Konzentration von Stoffen, die vom Standort stammen, das Zehnfache eines Konzentrationswertes nach Anhang 1 überschreitet; oder
- b. er nach Absatz 1 Buchstabe a überwachungsbedürftig ist und wegen eines ungenügenden Rückhalts oder Abbaus von Stoffen, die vom Standort stammen, eine konkrete Gefahr einer Verunreinigung oberirdischer Gewässer besteht.

Es wurden keine Eluate mittels Säulenversuchen gemäss Anhang 1 AltIV hergestellt. Art. 10 Ziff. 1 AltIV (vgl. oben) bildet somit keine Beurteilungsgrundlage.

Als „Wasser, welches in ein oberirdisches Gewässer einwirken kann“ wird somit das Porenwasser aus den Sedimentkernen der belasteten Standorte betrachtet.

Im Anhang 1 der Altlastenverordnung werden die Konzentrationswerte für das Wasser, welches auf ein oberirdisches Wasser einwirken kann, als Sollwerte aufgeführt. Mit der hier vorliegenden Gefährdungsabschätzung wird die Differenz zwischen Soll-Zustand (Gesetzeskonformität resp. maximale Konzentration bezüglich Ökotoxizität) und den beiden Ist-Zuständen „Ist-Zustand heute“ und „Ist-Zustand in Zukunft“ ermittelt

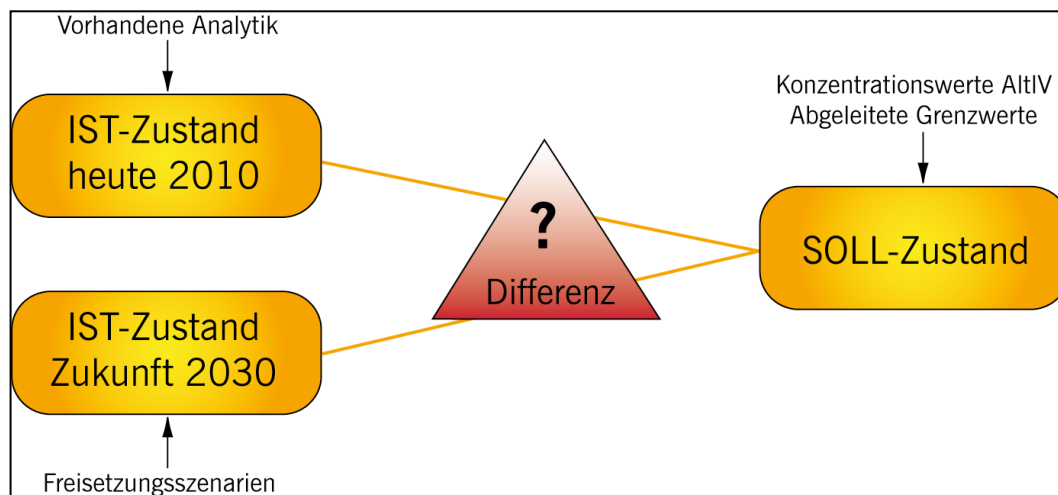


Abbildung 22: Die Gefährdungsabschätzung als Ermittlung der Differenz zwischen einem heute vorhandenen, respektive einem auf Freisetzungsüberlegungen basierenden zukünftigen Ist-Zustand einerseits, und des durch die Gesetzgebung (USG, AltIV) vorgegebenen Soll-Zustandes andererseits.

5.2. Schadstoffpotential

Das Schadstoffpotential (Explosiv- und Werkstoffe) der militärischen Munitionsablagerungen im Thuner-, Briener- und Urnersee sowie im Gersauerbecken des Vierwaldstättersees wurde in den Jahren 2004/05 aufgrund aller vorhandenen Archivdaten sehr detailliert ermittelt (ARGE 2005). Dabei wurden rund 35 Verbindungen und Elemente gemäss ihrer Giftigkeit und ihrer Mengen in relevante Stoffe (TNT, Dinitrobenzol, Diphenylamin, Quecksilber, Blei, Azid, Antimon, Perchlorat) und in nichtrelevante Stoffe (Stahl, Bronze, Schwarzpulver, etc.) unterteilt.

Die Mengen der ermittelten relevanten Stoffe in der versenkten Munition wird in Tabelle 17 aufgeführt. Angaben über Ort und Lage der Versenkungsstandorte können dem Anhang C entnommen werden.

Relevante Stoffe (2005)		Versenkte Massen (in kg)				
		Thunersee	Brienersee	Vierwaldstättersee		TOTAL
				Urnersee	Gersauerbecken	
TNT (inkl. 2-ADNT/4-ADNT)	kg	262'548	9'331	131'404	55'383	458'666
1,3-Dinitrobenzol	kg	6'885	10'386	0	2'596	19'867
Diphenylamin	kg	820	0	986	98	1'904
Blei (II) ¹⁵	kg	815	1	1'274	3	2'093
Antimon (III) ¹⁶	kg	109	0	75	3	187
Quecksilber (II) ¹⁷	kg	163	0	123	1	287
Perchlorat ¹⁸	kg	163'561	16'020	127'330	16'417	323'328
Azid ¹⁹	kg	69	0	129	1	199
Weitere relevante Stoffe (ermittelt gemäss TP1 „Monitoring“)						
RDX	kg	18	0	60	0	78
HMX (10% des RDX)	kg	2	0	6	0	8
PETN	kg	4'696	5	4'831	74	9'606
2,4- und 2,6-Dinitrotoluol	kg	0	0	0	0	0

Tabelle 17: Versenkte Massen der relevanten Schadstoffe

Aus den Zahlen der Tabelle geht hervor, dass die Mengen von umweltrelevanten Stoffen, welche mit der Munition versenkt wurden, gross sind (Hunderte von Tonnen).

FAZIT:

Das Schadstoffpotential in den mit Munition belasteten Standorten in den Seen ist hoch.

¹⁵ Blei(II): Aus Bleiazid, Bleitriazinat, Bleioxid und Mennige. Pb₀ wurde nicht berücksichtigt, da praktisch unlöslich.

¹⁶ Antimon(III): Aus Sb-III-Sulfid. SbO wurde nicht berücksichtigt, da in Legierung praktisch unlöslich.

¹⁷ Quecksilber(II): Aus Hg-Fulminat und Hg-I-Chlorid, unter der Annahme, dass sich Hg-I vollständig in Hg-II umwandelt.

¹⁸ Perchlorat aus Parammon und Kaliumperchlorat

¹⁹ Aus Bleiazid

5.3. Bedeutung und Exposition der Schutzgüter

Bedeutung der Schutzgüter

Das Wasser des Vierwaldstättersees wird seit 1966 für die Trinkwasserversorgung der Stadt Luzern und von umliegenden Gemeinden verwendet. Und das Seewasser soll für „immer und ewig“²⁰ als Trinkwasserreservoir zur Verfügung stehen. Das Wasser vom Brienzer- und vom Thunersee wird zur Zeit nur indirekt über das Uferinfiltrat als Trinkwasser verwendet (aus Grundwasservorkommen), soll aber als potentiell Reservoir zur Verfügung stehen.

FAZIT:

Die Bedeutung des Schutzgutes „Seewasser“ ist hoch. Dies wird auch in Zukunft so bleiben.

Exposition der Schutzgüter

Die versenkte Munition liegt im Sediment der Seen. Die räumliche Distanz zwischen Stoffen und Schutzgut ist gering²¹. Seit der Entsorgung vor rund 60 Jahren hat sich die Exposition durch weitere Sedimentablagerungen verringert.

FAZIT:

Exposition des Schutzgutes ist hoch. Sie wird sich über die Zeit durch kontinuierliche Sediment-Bedeckung langsam (ca. 0.5 cm/Jahr) verringern.

²⁰ Aussage von Dr. Felix Renner, Dienststelle uwe, Kt. Luzern, anlässlich einer Projektgruppensitzung.

²¹ Vgl. Kapitel 3.1.3: Am Seegrund sind optisch keine Munitionsobjekte zu erkennen. Rund 10 % der detektierten Objekte sind heute mit weniger als 25 cm Seesediment überdeckt. Der Hauptteil der Munition liegt zwischen 0.25 und 1.7 m tief im Sediment.

5.4. Freisetzungspotential

Aus der Untersuchung des Freisetzungspotentials wird abgeschätzt, wie schnell, wie weit und in welchen Mengen Schadstoffe freigesetzt und transportiert werden.

5.4.1. Freisetzungspotential heute

Die Analyse der Porenwässer aus Sedimentkernen hat ergeben, dass in sämtlichen Porenwasseranalysen die Gehalte der relevanten Explosivstoffe unter der Bestimmungsgrenze von 0.1 µg/l lagen (vgl. Kapitel 3.3.4 und Anhang F). Die relevanten Schwermetallgehalte (Pb, Sb und Hg) lagen allgemein auf tiefem Niveau und entsprachen geogenen Werten und/oder den ubiquitären anthropogenen Einträgen.

Die Bestimmungsgrenze der relevanten Stoffe liegt um Faktoren bis Größenordnungen tiefer als die Konzentrationswerte der Altlastenverordnung beziehungsweise der abgeleiteten Konzentrationswerte (vgl. Tabelle 18).

Relevante Stoffe	Höchste gemessene Konzentration im Porenwasser	Konzentrationswert AltIV (bzw. abgeleiteter KW)	Minimaler Faktor
	µg/l	µg/l	
TNT	<0.1	10	100
2-ADNT/4-ADNT	<0.1	7	70
RDX	<0.1	/	/
HMX	<0.1	/	/
PETN	<0.1	/	/
DPA	<0.1	/	/
1,3-DNB	<0.1	4	40
2,4- und 2,6 DNT	<0.1	0.5	5
Pb	0.1	50	500
Sb	0.27	10	37
Hg	0.046	1	22
Perchlorat	<0.07	/	/

Tabelle 18: Vergleich der höchsten gemessenen Porenwasserkonzentrationen mit den Konzentrationswerten nach AltIV (bzw. abgeleitenden KW nach Ochs/Munz 2005)

FAZIT:

Im Porenwasser der Sedimentkerne aus den Versenkungsorten, also im Wasser das in ein oberirdisches Wasser (die Seen) gelangen kann, werden keine Konzentrationswerte gemäss Anhang 1 der Altlastenverordnung überschritten.

5.4.2. Abschätzung zur Plausibilität

In der Beilage 6 (Kap. 4.3) wird grob abgeschätzt, welcher lokale Fluss an Explosivstoffen aus dem Sediment unbeobachtet geblieben sein könnte (aufgrund der dortigen Bestimmungsgrenzen der Analysemethode von 100 ng/l). Die konservative Abschätzung zeigt, dass dieser Fluss maximal 20 g/a pro Einzelstoff pro km² betragen könnte. Für den Thunersee würde das einen jährlichen Fluss von 110 g pro Einzelstoff ergeben (Fläche der Versenkungsstandorte rund 5.5 km², vgl. Anhang C). Würde man diesen jährlichen potentiellen Fluss augenblicklich im Wasser des Thunersees auflösen (6.5 km³), ergäbe das eine Konzentration von 0.017 ng/l (dies ohne Berücksichtigung des Seedurchflusses und des Abbaus, bzw. der Absorption der Explosivstoffe). Diese Konzentrationen könnten auch mit den tiefsten Bestimmungsgrenzen der Seewasser-Analytik nicht „entdeckt“ werden (BG der relevanten Sprengstoffe beim GBL: 0.03 ng/l)²².

Aus diesen Abschätzungen kann geschlossen werden, dass das Porenwasser in den Sedimenten keine relevante Quelle für die festgestellten Spuren von Explosivstoffen im Seewasser sein kann.

5.4.3. Freisetzungspotential in Zukunft

Das Freisetzungspotential wird sich über die Zeit verändern, dies durch folgende Prozesse:

- Korrosionsprozesse können im Laufe der Zeit, insbesondere bei beschädigt versenkter und nicht vollständig umgesetzter Munition, zur Freisetzung von Explosivstoffen in das Sediment führen.
- Durch die Überdeckung von Sedimenten wird die Distanz zwischen Munition und Seewasser im Laufe der Zeit immer grösser (ca. 30 cm innerhalb 60 Jahren).
- In Seesedimenten werden die Sprengstoffe abgebaut. Gemäss Agroscope/Eawag 2005 betragen die Halbwertszeiten aus Inkubationsexperimenten für TNT 1 Tag, für ADNT 3 Tage, für PETN 5 Tage und für RDX 17 Tage. Diese Halbwertszeiten gelten für Seewasser mit Sediment.

Die auf Experimenten basierenden „Modellrechnungen zeigen, dass die Ausbreitung der Explosivstoffe im Seesediment langsam ist, sodass die Übersichtung der abgelagerten Munition mit neuem Sediment die Ausbreitung deutlich überwiegt. Es ist deshalb nicht mit einem Eintrag von Explosivstoffen in die Wassersäule zu rechnen“ (Zitat aus Agroscope/Eawag 2005).

²² Umgekehrt kann man jetzt abschätzen wie hoch dieser unbeobachtete potentielle Fluss sein müsste, um den tiefsten Trinkwasserleitwert (200 ng/l für TNT und ADNT nach Wollin/Dieter 2005) im Seewasser zu überschreiten. Es müssten dann jährlich 1'300 kg Explosivstoffe freigesetzt werden. (d.h. bei der augenblicklichen Auflösung dieser 1'300 kg Explosivstoffe würde im Thunersee der tiefste TWL von 200 ng/l erreicht). Ein jährlicher Fluss von 1'300 kg Explosivstoffen über das Porenwasser ins Seewasser hätte bei den getätigten Porenwasseruntersuchungen in den Hotspots (vgl. Kap 3.3.4) zweifellos Konzentrationswerte über den Bestimmungsgrenzen ergeben.

Die durchgeführten Korrosionsuntersuchungen (Vgl. Kapitel 3.2.3) ergaben, dass die konkrete Gefahr der Schadstofffreisetzung durch korrosionsbedingte Materialdurchbrüche in den metallischen Munitionsteilen als äusserst gering eingestuft wird und dass die Korrosionsprozesse sehr langsam ablaufen.

Bei den Experimenten, welche die Inputdaten zu den Modellrechnungen lieferten, wurden Explosivstoffe ohne metallische Hüllen verwendet. Bis die im Innern der Munitionshüllen vorhandenen Explosivstoffe in Wechselwirkung mit dem Porenwasser des Sediments treten können – und dort, wie oben geschildert, abgebaut werden – wird die Überdeckung mit Sedimenten um Meter bis Dekameter zugenommen haben. Damit erhöht sich über die Zeit das Potential zum Rückhalt und Abbau von Stoffen von den Versenkungsstandorten in das Schutzgut „Seewasser“ kontinuierlich.

FAZIT:

Es besteht keine konkrete Gefahr, dass sich in Zukunft das Freisetzungspotential erhöhen wird; das Freisetzungspotential wird gesamthaft über die Zeit geringer werden.

5.5. Beurteilung

Trotz grossem Schadstoffpotential und hoher Exposition und Bedeutung des Seewassers als Schutzgut, ist das Gefährdungspotential der in den Seen deponierten Munitionsabfälle aufgrund des sehr geringen Freisetzungspotentials als gering einzuschätzen.

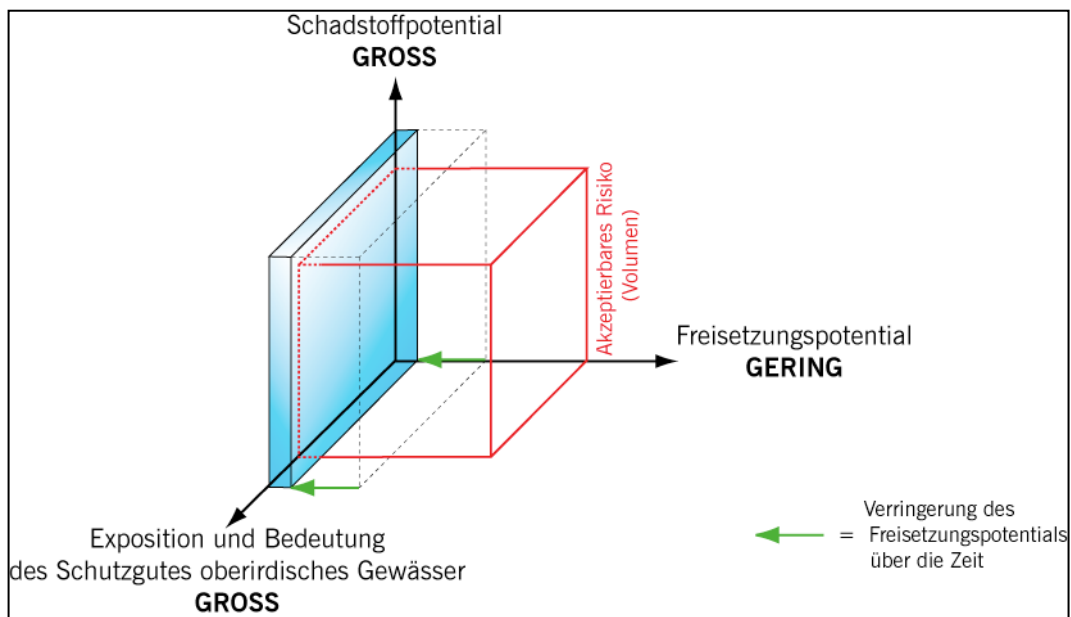


Abbildung 23: Das Gefährdungspotential ist proportional zum Volumen des rechteckigen Körpers, welcher durch die drei Achsen „Schadstoffpotential“ – „Bedeutung und Exposition des Schutzgutes“ und „Freisetzungspotential“ aufgespannt wird.

Da im Porenwasser der Sedimentkerne aus den Munition-Versenkungsstellen keine Schadstoffe nachgewiesen werden konnten, besteht gemäss Art. 10 der Altlastenverordnung weder ein Sanierungsbedarf noch ein Überwachungsbedarf der belasteten Standorte.

6. Externe Schadstoffquellen

Obwohl die Gefährdungsabschätzung bezüglich Munitionsdeponien keine Auswirkungen auf das Seewasser zeigte (vgl. Kap. 5), konnten im Rahmen der Gewässeruntersuchungen Spuren verschiedener Explosivstoffe in den Zuflüssen und im Seewasser selbst nachgewiesen werden (vgl. Kap. 3.4). Es müssen also externe Schadstoffquellen vorhanden sein, welche direkt oder indirekt über Zuflüsse in die Seen gelangen. Dabei wird prinzipiell zwischen den potentiellen und den bereits bekannten (bzw. mittels Analytik verifizierten), externen Schadstoffquellen unterschieden. Eine Gegenüberstellung aller bereits nachgewiesenen Schadstoffzuflüssen und den Seewassergehalten erlaubt die Erarbeitung einer Massenbilanz (vgl. Kap. 7.1).

6.1. Potentielle externe Schadstoffquellen

Alle Standorte an welchen Explosivstoffe verwendet, verarbeitet oder entsorgt wurden (bzw. werden) und einen hydrologischen/hydrogeologischen Zusammenhang mit den untersuchten Seen aufweisen, kommen als potentielle Schadstoffquellen in Frage. Prinzipiell mögliche externe Schadstoffquellen sind (ev. unvollständig):

- **Betriebe, welche Explosivstoffe herstellen und verarbeiten**

Explosivstoff-Produktionsstandorte wurden aufgrund des hohen Wasserbedarfs meist in wasserreichen Gebieten (Grundwasser oder oberirdische Gewässer) errichtet. Hier kommen sowohl die eidgenössischen Munitionsfabriken, als auch private Produktionsstandorte in Frage. Die Schadstoffe können über das Abwasser (ev. über die ARA oder über einen Seezufluss) oder bei Versickerung diffus über das Grundwasser in den See gelangen.

Die ARAs selbst stellen keine eigentliche Quelle von Explosivstoffen dar. Da sie aber für das Abwasser verschiedenster Betriebe und das Sickerwasser von Deponien als „Knotenpunkt“ fungieren, können hier allfällige Emissionen leicht festgestellt und weiterverfolgt werden. Normale ARAs besitzen keine Einrichtungen zur vollständigen Aufbereitung von explosivstoffhaltigem Abwasser. Die Schadstoffe gelangen somit mindestens teilweise in den Vorfluter und von dort in den See.

- **Deponien, Ablagerungsstandorte**

In diese Kategorie fallen Standorte an denen explosivstoffhaltige Produktionsrückstände, Fehlchargen oder Abfälle abgelagert wurden. Auch Ausbruch- und Schlammdeponien kommen in Frage. Die Freisetzung kann hier diffus über das Grundwasser oder über das Depo- niesickerwasser erfolgen.

- **Munitionsvernichtungsplätze, Abbrandplätze, Explosionsunglücke**

Überalterte Munition der Armee oder Produktionsfehlchargen der Munitionsfabriken wurden bis in die 90er Jahre zwecks Entsorgung unter freiem Himmel gesprengt (heute sind moder-

ne Munitionsentsorgungsanlagen in Betrieb). Auch anlässlich von Sprengtests, bzw. Sprengübungen und von einmaligen Ereignissen wie Explosionsunglücken, können erhebliche Mengen an Explosivstoffrückständen in den Untergrund gelangt sein.

- **Tunnelbau, Steinbrüche**

Der Einsatz von verschiedensten Sprengmitteln, Zündmitteln und Zubehör im Tunnel- und Strassenbau sowie in Steinbrüchen ist im Einzugsgebiet der Seen weit verbreitet. In den letzten Jahren kommen hier vermehrt so genannte Emulsionssprengstoffe zum Einsatz. Sprengstoffverlust beim Einsatz und Sprengstoffrückstände im Ausbruchmaterial können direkt durch Auswaschung oder über Grundwasser, oberirdisches Gewässer und Abwasser als Schadstoffe in die Seen gelangen. Nur bei Grossprojekten kann von Abwasserbehandlungen ausgegangen werden, welche diese Schadstoffe über mehrere Reinigungsstufen auch zurückhalten können.

- **Schiessplätze**

Potentielle externe Quellen stellen hier Artilleriezielgebiete, Handgranaten-Wurfstellen und Plätze für die Sprengausbildung (Sprengplätze) dar. Zur Anwendung kommt vorrangig Übungsmunition, welche gegenüber der Einsatzmunition weniger bis gar keine Explosivstoffe enthält (welche zudem bei der Detonation verbrennen). Gemäss Fachleuten ergeben sich darum „kaum messbare Belastungen in den Zielgebieten“. Schiessplätze und Schiessanlagen wo ausschliesslich Munitionsarten der leichten Infanterie zur Anwendung kamen, stellen hinsichtlich Explosivstoffe kaum eine relevante Quelle für die Umwelt dar.

6.2. Bekannte externe Schadstoffquellen

In noch laufenden und bereits abgeschlossenen Untersuchungen konnten von verschiedenen Standorten Einwirkungen von Explosivstoffen auf die untersuchten Seen oder deren Zuflüsse festgestellt werden. In einigen Fällen wurde auf Verfügung der kantonalen Umweltbehörden bereits Massnahmen umgesetzt und damit eine deutliche Reduktion der Schadstoffemissionen erreicht. Die folgende Aufzählung beinhaltet in der Reihenfolge keine Gewichtung der einzelnen Schadstoffquellen, noch erhebt sie Anspruch auf Vollständigkeit:

- **Sprengstoff verarbeitende Betriebe im Raum Thun**

In mehreren Gewässern und in einer ARA im Raum Thun konnten in den Jahren 2006 bis 2008 Spuren von Sprengstoffen nachgewiesen werden (AWA 2009). Überraschenderweise zeigten die Untersuchungsergebnisse in der Aare und im Bielersee bis zu zehn Mal höhere Konzentrationen als im Thuner- und Brienzersee (tiefer Nanogrammbereich). Weitere Abklärungen ergaben, dass die Schadstoffe in unterschiedlichen Konzentrationen über das Abwasser von Sprengstoff verarbeitenden Betrieben im Raum Thun über die ARA in die Aare gelangen (und von dort in den Bielersee). Es wurden bereits Massnahmen zur Verbesserung der Situation eingeleitet, welche sich nach kurzer Zeit positiv auf die Gewässer auswirkten. Die neuralgischen Stellen werden weiterhin überwacht. Die Aare im Abstrom des Thunersees und insbesondere der Bielersee liegen im vorliegenden Bericht ausserhalb des Untersuchungsperimeters.

- **Ehemaliger Munitionsvernichtungsplatz Susten-Steingletscher**

Auf dem Munitionsvernichtungsplatz Susten/Steinalp wurde von 1976 bis 1996 im grossen Stil veraltete Munition der Schweizer Armee vernichtet. Der Standort gilt heute als sanierungsbedürftig und wird bis zu dessen Sanierung überwacht. Sowohl im Grundwasser als auch im oberirdischen Gewässer (Steinwasserbach) wurden Explosivstoffe vom Standort nachgewiesen. Auch die Seewasserprofile im Brienzersee zeigen Spuren von Explosivstoffen bzw. derer Metabolite, welche dem Vernichtungsplatz zugeordnet werden können. Für bestimmte Stoffe genügt die bekannte Fracht aus dem Sustengebiet, um die im See beobachteten Konzentrationen vollständig zu erklären. Die vertikale Verteilung mit maximalen Konzentrationen in 10 und 20 m Seetiefe (oberflächennaher Eintrag durch Aare) stützen diese These.

- **Sprengplatz im Gasterntal**

Auf dem alten Munitionsvernichtungsplatz im Gasterntal wurde vor 1976 Munition vernichtet. Mit der Inbetriebnahme des Munitionsvernichtungsplatzes am Susten wurde diese Tätigkeit aufgegeben und der Bereich diente fortan als Ausbildungsplatz für die Blindgängervernichtung und Munitionserprobung. Seit dem Winter 2008/09 finden dort keine Sprengtätigkeiten mehr statt. In der Kander, im Abstrom des Gasterntals, konnten in den letzten Jahren Spuren von Explosivstoffen nachgewiesen werden, welche auf die militärische Nutzung des Gebiets zurückgeführt werden können. Der Standort gilt heute als sanierungsbedürftig und wird bis zur Sanierung überwacht.

- **Sprengbunker Balmholz**

Im Bereich Balmholz wurden Sprengversuche durchgeführt. Die beschädigte Munition wurde im Uferbereich des Thunersees versenkt. Die Munition aus dieser „seeinternen“ Quelle wurde in den letzten Jahren aber praktisch vollständig gehoben. Als externe Quelle gilt hier der Sprengbunker selbst, von welchem Kondensationswasser und Feuchte mit Spuren von PETN in den Thunersee gelangen können. Obwohl nachgewiesen, ist diese Quelle frachtmässig unbedeutend.

- **Abwasser von grösseren und kleineren Tunnelbauprojekten**

Bei Tunnelbauprojekten werden in der Regel keine militärischen Sprengstoffe eingesetzt. Dafür wurden Ammoniumnitrat, Emulsionssprengstoffe und Sprengschnüre (mit PETN) verwendet. Es bestehen darum nur teilweise Schnittstellen mit der Thematik „Munitionsversenkungen“.

Bei kleineren Tunnelbauprojekten konnten in den Seen mittels der hochauflösenden Analytik Rückstände von Stoffen aus Sprengschnüren nachgewiesen werden. So zum Beispiel PETN beim Bau des Gletschersee-Stollens in Grindelwald im Jahr 2009 (vgl. Ausführungen im Kap. 6.3).

Für den Bau des NEAT Basistunnels am Lötschberg Nordportal in den Jahren 1994 bis 2005 wurden für den Vortrieb grosse Mengen an verschiedenen Bauchemikalien benötigt (GSA/BMG/FAW 2005b). Das auf der Baustelle gefasste Wasser gelangte via Kander in den Thunersee. Abschätzungen ergaben, dass für mehrere Schadstoffe Konzentrationen im Nanogramm-Bereich für die Kander und den Thunersee möglich sein können. Negative Effekte auf Wasserorganismen sind dabei gemäss einer ökologischen Risikobewertung aber nicht zu erwarten (GSA/BMG/FAW 2005a). Im Gegensatz dazu fand im Gotthard-Basistunnel der Vortrieb hauptsächlich mittels Tunnelbohrmaschinen statt. Zurzeit laufen Vorabklärungen bezüglich der Einwirkung von geplanten Seeschüttungen mit Ausbruchmaterial aus dem Sprengvortrieb. Diese betreffen den neuen Axentunnel Sisikon der A4 und beschränken sich auf die Abschätzung von potentiell erhöhten Ammoniak- und Nitritbelastungen im Urnersee.

- **Munitionsproduktionsstätten, Ablagerungsstandorte in der Zentralschweiz**

Abwasseruntersuchungen im Jahr 2007 zeigten in einer ARA Explosivstoffrückstände, welche hauptsächlich auf das Abwasser einer Munitionsproduktionsstätte zurückgeführt werden konnten. In der Folge wurden Massnahmen zur Abwasser-Vorbehandlung umgesetzt, welche zu einer Abnahme der Schadstoffkonzentrationen geführt haben.

An einem weiteren Standort (sprengstoffrelevanter Betriebs- und Ablagerungsstandort) sind zurzeit Untersuchungen nach Altlasten-Verordnung im Gange.

- **Weitere externe Schadstoffquellen**

Bei den Anlagen eines Pyrotechnik-Betriebs am Brienzersee und beim Sprengbunker Weissenburgberg (Sprengstoffversuchsanlage) kann aufgrund der bestehenden Daten davon ausgegangen werden, dass sie keinen messbaren Beitrag an den Sprengstoffkonzentrationen in Berner Seen liefern.

- **Unbekannte externe Schadstoffquellen**

Weitere Quellen von Explosivstoffen im Einzugsgebiet der Seen, welche noch nicht lokalisiert werden konnten, sind zu vermuten. Gemäss Gewässerschutzgesetzgebung sind die Einwirkungen solcher Quellen auf die Gewässer mittels geeigneten Massnahmen zu unterbinden (vgl. Kap. 7.2).

Standort	Stand der Untersuchungen	Freigesetzte Frachten in Seen	Wichtigste Schutzgüter (TS=Thunersee, BS=Brienzersee)	Massnahmen umgesetzt
Munitionsproduktionsstätte in der Zentralschweiz	Überwachung	+++	VWS	Betriebsinterne Massnahmen zur Vorbehandlung Abwässer
Betrieb/Ablagerungsstandort in der Zentralschweiz	Detailuntersuchung nach AltIV	+++	VWS	
Munitionsvernichtungsplatz Susten-Steingletscher	Überwachung	++	Steinwasserbach/Aare, BS und TS	
Sprengplatz Gasterntal	Überwachung	++	Kander, TS	
Tunnelbauprojekte mit Sprengschnüren (diverse)	Laufend	+	Alle Seen	
Sprengbunker Balmholz	Abgeschlossen	(+)	TS	
Pyrotechnikbetrieb Oberried	Unbekannt	(+)	BS (TS)	
Sprengbunker Weissenburgberg	Abgeschlossen	(+)	Simme, TS	Standort saniert
Schiessplätze schwerer Munition	Laufend	(+)		
Schuttkegel Mitholz	Laufend	(+)	Kander, TS	
Munitionsproduktionsstätten Raum Thun/Wimmis	Überwachung	/	Aare, Bielersee	Betriebsinterne Massnahmen zur Vorbehandlung Abwässer

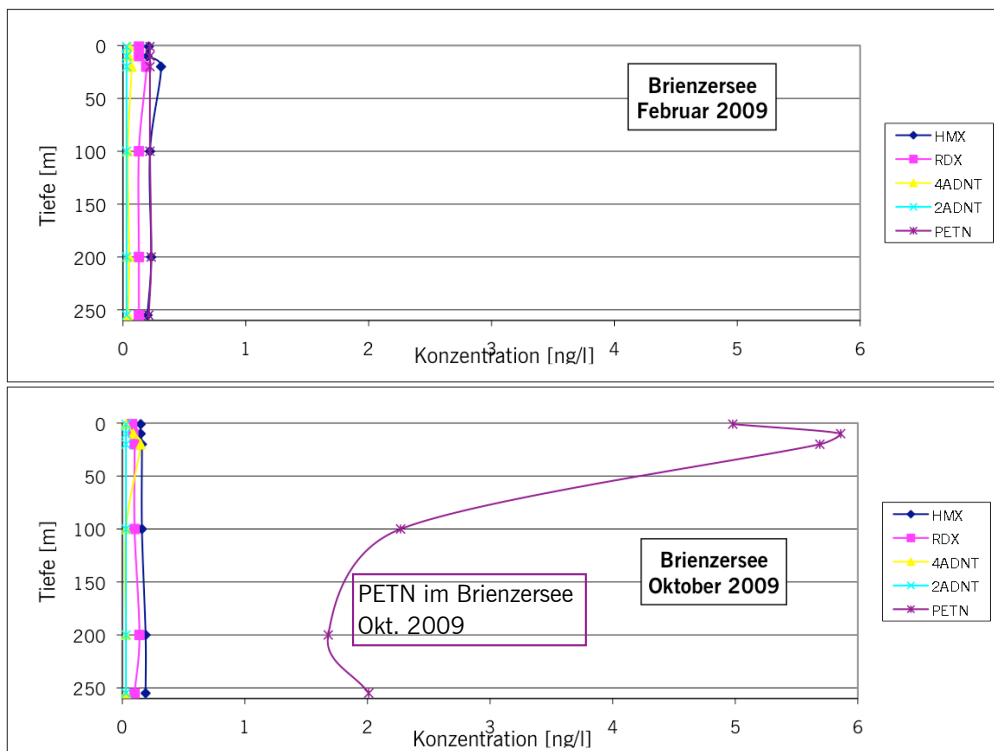
Tabelle 19: Bekannte externe Schadstoffquellen für das Untersuchungsgebiet, Stand Juli 2010

- +++ : Frachten relevant
- ++ : Frachten messbar
- + : kaum messbare Frachten
- (+) : Belastung nachgewiesen, aber Frachten unbedeutend

6.3. Nachweis einer externen Quelle

Ein instruktives Beispiel für das Verhalten von Sprengstoffen in den Berner Seen lieferte der Bau des Gletschersee-Stollens in Grindelwald. Der über 2'000 m lange Entlastungsstollen wurde im Sprengvortrieb von Februar bis September 2009 verwirklicht. Zum Einsatz kamen Sprengschnüre welche PETN enthielten. PETN-Rückstände gelangten schliesslich über die Lütschine in den Brienzersee, dann weiter in den Thunersee und schliesslich in den Bielersee (wie bei einem Färbversuch).

Die jeweils im Februar und Oktober entnommenen Seewasserprofile im Brienzersee (vgl. Diagramm 4) zeigen bei der Messung vom Oktober 2009 erhöhte Gehalte von PETN bis maximal 6 ng/l (um Faktor 1'600 unter den Trinkwasserleitwerten nach Wollin/Dieter 2005). Die vertikale Verteilung, mit maximalen Konzentrationen in 10 bis 20 m Tiefe, bestätigt den oberflächennahen Eintrag über die Lütschine in den See. Im Seewasserprofil vom Februar 2010 hat sich der Schadstoff aufgrund der Seewasserzirkulation relativ homogen über die Wassersäule verteilt (vgl. Diagramm 4). Die durchschnittliche PETN-Konzentration wurde in diesen 6 Monaten aufgrund des natürlichen Durchflusses und weiterer Eliminationsprozesse um rund 30 % verringert.



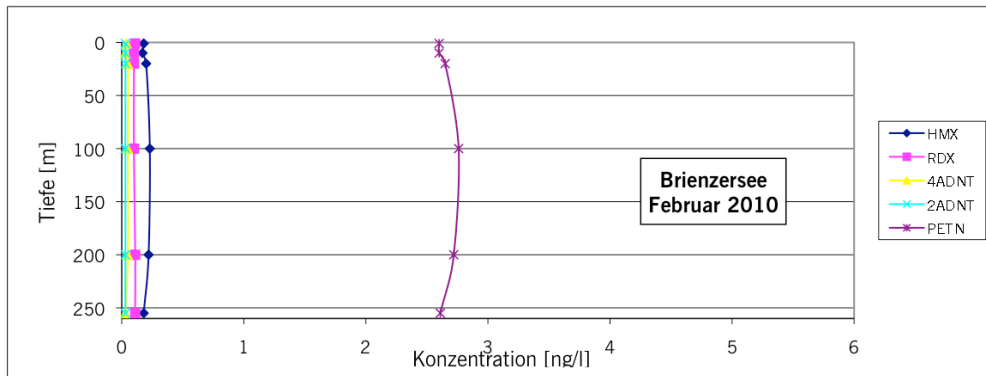
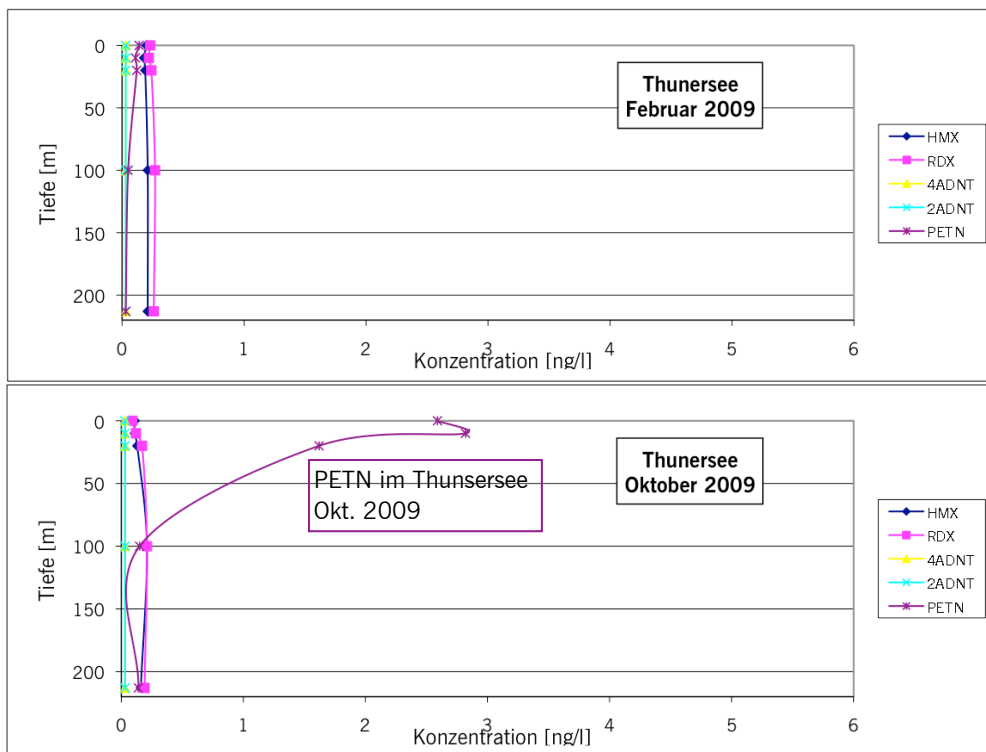


Diagramm 4: Seewasserprofile im Brienzersee vom Feb. 2009, Okt. 2009 und Feb. 2010
(Daten GBL, vgl. auch Anhang L1)

In den Seewasserprofilen im Thunersee zeigt sich schliesslich der „Grindelwald-Input“ ebenfalls als klares Signal (Diagramm 5), wenn auch gegenüber dem Brienzersee in leicht abgeschwächter Form. Die maximalen PETN-Konzentrationen in 0-20 m Wassertiefe vom Oktober 2009 verdeutlichen den oberflächennahen Eintrag über die Aare. Zum nächstfolgenden Probenahmezeitpunkt (Februar 2010) sind die Konzentrationen bereits wieder allesamt $< 1 \text{ ng/l}$.



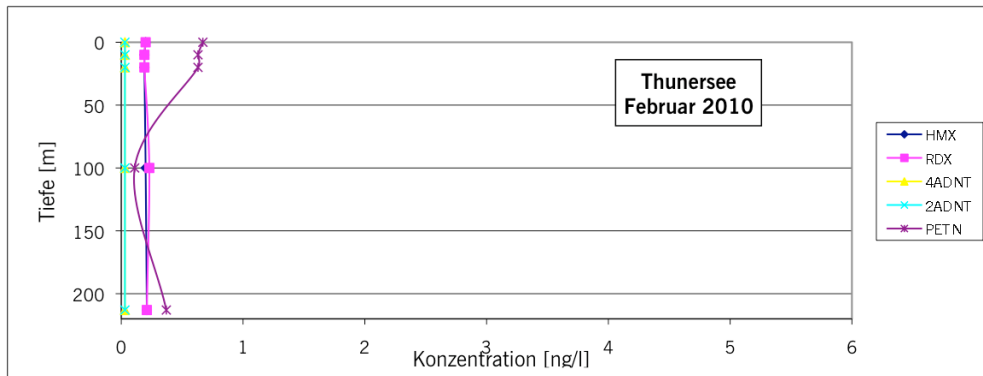


Diagramm 5: Seewasserprofile im Thunersee vom Feb. 2009, Okt. 2009 und Feb. 2010
(Daten GBL, vgl. auch Anhang K1)

Schliesslich konnte auch im Hagneck-Kanal vor dem Einfluss in den Bielersee eine Erhöhung des PETN-Gehalts festgestellt werden. Die monatlichen Messungen zeigten eine Konzentrationszunahme im Zeitraum Juni bis September 2009 auf maximal 1.4 ng/l und danach wieder eine langsame Abnahme (Sprengtätigkeiten in Grindelwald von Februar bis September 2009).

7. Gewässerschutzspezifische Beurteilung

7.1. Massenbilanz Explosivstoffe

7.1.1. Methodik Massenbilanz Explosivstoffe

Im Bericht der Eawag „Massenbilanzen und toxikologisches Gefährdungspotential von ausgewählten Explosivstoffen im Thuner-, Brienzer- und Vierwaldstättersee“ (vgl. Beilage 6) wurden die vorhandenen Explosivstoffanalysen im Seewasser und in den Zuflüssen über den Zeitraum Juni 2006 bis Februar 2009 (vgl. auch Anhang K bis M) ausgewertet und bilanziert. Die bilanzierten Sprengstoffe sind TNT, 2-ADNT, 4-ADNT, HMX, RDX, PETN. Beim Vierwaldstättersee wurden diese Analysedaten nach Oberflächenschicht, Sprungschicht und Tiefenwasser gewichtet, um eine repräsentative mittlere Seewasserkonzentration zu erhalten.

Ziel der Massenbilanz war, aufgrund der festgestellten Seewasserbelastungen die Eintragsmengen der Explosivstoffe abzuschätzen und den bereits gemessenen Einträgen (Zuflüsse) gegenüberzustellen. Dabei wurden zwei verschiedene Szenarien gerechnet (mit/ohne Berücksichtigung von Eliminationsprozessen wie Abbau, Sedimentation und Adsorption). Alle Annahmen sind in der Beilage 6 definiert.

7.1.2. Massenbilanz Explosivstoffe im Thunersee

Die Resultate bezüglich der Massenbilanz von Explosivstoffen im Wasser des Thunersees (vgl. Beilage 6) sind in Tabelle 20 zusammengefasst und führen zu folgenden Resultaten:

- Die versenkten Mengen von HMX und RDX reichen offensichtlich nicht aus um die heute gemessenen Konzentrationen im Seewasser über mehrere Jahre aufrecht zu erhalten. Diese Stoffe müssen somit aus externen Quellen stammen.
- Für die beobachteten Seewasserkonzentrationen von TNT/ADNT und PETN wäre das Schadstoffpotential der versenkten Munition grundsätzlich ausreichend. Folgende Resultate sprechen aber gegen einen Schadstofffluss aus den Sedimenten:
 - Die vereinzelt deutlich erhöhten Konzentrationen in 0 bis 20 m (PETN), bzw. 100 m (ADNT) Wassertiefe deuten eher auf punktuelle, externe Quellen hin, als auf einen kontinuierlichen Eintrag aus dem Sediment in 200 m Wassertiefe. Der PETN-Peak kann mit einem Tunnelbauprojekt erklärt werden (vgl. Kap. 6.3).
 - Berechnungen (Agroscope/Eawag, 2005) zeigen, dass Stoffe wie TNT (inkl. Metaboliten), RDX und PETN während der Diffusion durch eine Sedimentschicht praktisch vollständig abgebaut werden und deshalb ein Eintrag aus den Ablagerungen in die Wassersäule unwahrscheinlich ist.

- Die Sedimentuntersuchungen (vgl. Kap. 3.3) und Abklärungen des Zustandes der Munition (vgl. Kap. 3.2) ergeben keine Hinweise auf einen Fluss dieser Schadstoffe aus den Sedimenten.

Relevante Explosivstoffe:		Summe TNT & ADNT-Metabolite	HMX	RDX	PETN
Schadstoffpotential Munition (versenkte Mengen)	[kg]	263'000 (TNT)	1.8	18	1'100
Relevante, mittlere Konzentration im Seewasser (Juni 2006 bis Feb. 2009)	[ng/l]	0.09	0.21	0.29	0.16
Trinkwasserleitwerte (TWL), Deutschland 2005, zum Vergleich	[ng/l]	200.00	175'000.00	1'000.00	10'000.00
Schadstoffmenge im Seewasserkörper vorhanden	[kg]	0.59	1.4	1.9	1.1
Minimal notwendiger Schadstoffeintrag (Szenario A)	[kg/a]	0.3	0.7	1.0	0.6
Schadstoffeintrag unter Berücksichtigung von Eliminationsprozessen (Szenario B)	[kg/a]	2.5	5.7	7.9	6.3
Gemessener Eintrag (Zuflüsse, ARA)	[kg/a]	0.2	0.4	0.5	0.4

Tabelle 20: Massenbilanz Explosivstoffe im Thunerseewasser (gem. Beilage 6, vereinfacht)

7.1.3. Massenbilanz Explosivstoffe Brienzersee

Die Resultate bezüglich der Massenbilanz von Explosivstoffen im Wasser des Brienzersees (vgl. Beilage 6) sind in Tabelle 21 zusammengefasst und führen zu folgenden Resultaten:

- Die versenkten Mengen von PETN, HMX und RDX reichen nicht aus um die heute gemessenen Konzentrationen im Seewasser über ein Jahr aufrecht zu erhalten. Diese Stoffe müssen somit aus einer externen Quelle stammen.
- Analog zum Thunersee wäre für die beobachteten Seewasserkonzentrationen von TNT/ADNT das Schadstoffpotential der versenkten Munition grundsätzlich ausreichend. Die gleichen Argumente sprechen aber gegen einen Schadstofffluss aus den Sedimenten (die höchsten Konzentrationen werden auch im Brienzersee in einer Wassertiefe von 10 bis 20 m gemessen).

Relevante Explosivstoffe:		Summe TNT & ADNT-Metabolite	HMX	RDX	PETN
Schadstoffpotential Munition (versenkte Mengen)	[kg]	9'300	0	0	5
Relevante, mittlere Konzentration im Seewasser (Okt. 2006 bis Feb. 2009)	[ng/l]	0.12	0.22	0.16	0.22
Trinkwasserleitwerte (TWL), Deutschland 2005, zum Vergleich	[ng/l]	200.00	175'000.00	1'000.00	10'000.00
Schadstoffmenge im Seewasserkörper vorhanden	[kg]	0.62	1.1	0.8	1.1
Minimal notwendiger Schadstoffeintrag (Szenario A)	[kg/a]	0.2	0.4	0.3	0.4
Schadstoffeintrag unter Berücksichtigung von Eliminationsprozessen (Szenario B)	[kg/a]	2.5	4.6	3.3	6.6
Gemessener Eintrag (Zuflüsse, ARA)	[kg/a]	2.0	0.2	0.2	0.1

Tabelle 21: Massenbilanz Explosivstoffe im Brienzerseewasser (gem. Beilage 6, vereinfacht)

7.1.4. Massenbilanz Explosivstoffe im Vierwaldstättersee

Die Resultate bezüglich der Massenbilanz von Explosivstoffen im Wasser des Vierwaldstättersees (vgl. Beilage 6) sind in Tabelle 22 zusammengefasst und führen zu folgenden Resultaten:

- Gegenüber dem Thuner- und Brienzersee lagen die Schadstoffgehalte im Vierwaldstättersee höher und zeigten auch zeitlich eine grössere Variabilität auf (Ausnahme: PETN).
- Die versenkten Mengen von HMX und RDX reichen nicht aus um die heute gemessenen Konzentrationen im Seewasser über mehrere Jahre aufrecht zu erhalten. Diese Stoffe müssen somit aus einer externen Quelle eingetragen werden.
- Analog zum Thunersee wären für die beobachteten Seewasserkonzentrationen von TNT/ADNT und PETN das Schadstoffpotential der versenkten Munition grundsätzlich ausreichend. Die gleichen Argumente sprechen aber gegen einen Schadstofffluss aus den Sedimenten: Ein Eintrag aus dem Sediment ist aufgrund des Abbaus bei der Diffusion nicht zu erwarten und es wurden auch keine Hinweise diesbezüglich bei den umfassenden Sedimentuntersuchungen gefunden. Beim TNT/ADNT spricht zusätzlich die Verteilung der beobachteten Konzentrationen mit einem Maximum in der Sprungschicht (15 bis 30 m Tiefe, im Bereich der Tiefenwassereinleitung einer ARA) klar gegen den Seegrund als Hauptquelle.
- Die grössten Schadstofffrachten in den Zuflüssen, insbesondere für TNT/ADNT, konnten einer ARA zugeordnet werden. Mit einer bereits umgesetzten Vorbehandlung in einem einleitenden Betrieb wurden Massnahmen getroffen um die Einträge aus dieser Quelle zu vermindern.
- Sämtliche Analyseresultate der Trinkwasserfassungen liegen um ein Vielfaches unter den toxikologisch begründeten Trinkwasserleitwerten nach Wollin/Dieter 2005.

Relevante Explosivstoffe:		Summe TNT & ADNT-Metabolite	HMX	RDX	PETN
Schadstoffpotential Munition (versenkte Mengen)	[kg]	187'000	6	60	4'900
Relevante, mittlere Konzentration im Seewasser (Okt. 2007 bis Sept. 2009)	[ng/l]	2.3	3.4	9.8	0.37
Trinkwasserleitwerte (TWL), Deutschland 2005, zum Vergleich	[ng/l]	200.00	175'000.00	1'000.00	10'000.00
Schadstoffmenge im Seewasserkörper vor- handen	[kg]	28	43	117	4.4
Minimal notwendiger Schadstoffeintrag (Szenario A)	[kg/a]	8	12	34	1.3
Schadstoffeintrag unter Berücksichtigung von Eliminationsprozessen (Szenario B)	[kg/a]	108	168	459	25
Gemessener Eintrag (Zuflüsse, ARA)	[kg/a]	87	10	22	0.6

Tabelle 22: Massenbilanz Explosivstoffe im Vierwaldstättersee (gem. Beilage 6, vereinfacht)

7.2. Gewässerschutzspezifische Beurteilung

Die im Zusammenhang mit den Munitionsversenkungen in den Seen veranlasste und mit grossem Aufwand betriebene Untersuchung von Explosivstoffen und ihren Abbauprodukten haben, in zusammengefasster Form, zu folgenden Ergebnissen geführt:

- Sowohl im Thuner-, Brienzer- und im Vierwaldstättersee konnten Spuren von Explosivstoffen und ihren Abbauprodukten im Seewasser nachgewiesen werden.
- Da das Seewasser direkt oder indirekt über ein Uferinfiltrat als Trinkwasserquelle dient, werden als weitere Beurteilungsgrundlage die neuen Trinkwasserleitwerte (TWL) für monozyklische Nitroverbindungen aus Deutschland herbeigezogen (Wollin/Dieter 2005). In der Schweiz existieren keine solchen Werte. Dieser Bewertungsmassstab kann unmittelbar auch auf die Beurteilung von nicht aufbereitetem Rohwasser (Oberflächenwasser oder Grundwasser) angewendet werden. Gemäss Tabelle 23 und Anhang K1, L1, M1 liegen die gemessenen Konzentrationen für den Thuner- und Brienzersee um mindestens einen Faktor von 380 und für den Vierwaldstättersee um mindestens einen Faktor 10 unter den relevanten TWL.
- Für die Beurteilung des Ökosystems See werden die ökotoxikologischen Beurteilungswerte gemäss Beilage 6 verwendet. Tabelle 23 zeigt, dass die gemessenen Konzentrationen in den Seen um mindestens einen Faktor 50'000 tiefer liegen. Für gewisse Stoffe sind gemäss Beilage 6 auch chronische Wasserqualitätsleitwerte oder zumindest provisorische Leitwerte vorhanden. Die gemessenen Explosivstoffkonzentrationen im Seewasser liegen um mindestens einen Faktor 6'000 unter dem tiefsten chronischen Wert.
- Ursache der festgestellten Belastungen des Seewassers sind mit hoher Wahrscheinlichkeit externe Quellen (z.B. Sprengstoff verarbeitende Betriebe, ehemalige Sprengplätze, Untertagebauten mit Sprengvortrieb, vgl. Kap. 6).

Stoffe	Thunersee und Brienzersee		Vierwaldstättersee		Trinkwasserleitwerte (TWL)	Ökotoxikologische Beurteilungswerte (IC ₅₀) ²³	Chronische Wasserqualitätsleitwerte
	Repräsentativer Messwert (Mittelwert) ²⁴	Maximaler Messwert	Repräsentativer Messwert (Mittelwert)	Maximaler Messwert			
	[ng/l]	[ng/l]	[ng/l]	[ng/l]			
TNT	n.n. (<1.0)	n.n. (<1.0)	<1.0	5.8	200	>300'000	>40'000
2-ADNT	0.04	0.30	0.33	3.4	200	>1'900'000	/
4-ADNT	0.05	0.52	1.77	18.4	200	>10'000'000	/
HMX	0.20	0.59	3.43	11.0	175'000	>6'500'000	>330'000
RDX	0.20	0.81	7.24	15.0	1'000	>7'100'000	>190'000
PETN	0.62	5.86	0.30	0.5	10'000	/	/
Grundlage der Daten	Anhang K1 und L1 (Seewasseranalytik 2006-2010)		Anhang M1 (Seewasseranalytik 2007-2009)		Wollin/Dieter 2005	Beilage 6 (Bericht Eawag)	

Tabelle 23: Gemessene Seewasserkonzentrationen gegenüber den Trinkwasserleitwerten und ökotoxischen Beurteilungswerten („n.n.“ = nicht nachgewiesen)

²³ Mittlere inhibitorische Konzentration, IC₅₀

²⁴ Werte unter der BG von 0.03 ng/l wurden gleich einer Konzentration von 0.03 ng/l gesetzt (konservative Abschätzung)

Die gesetzliche Grundlage für die gewässerspezifische Beurteilung bildet das Gewässerschutzgesetz (GSchG) und die Gewässerschutzverordnung (GSchV):

- Gestützt auf Art. 3 des GSchG ist jedermann verpflichtet, alle nach den Umständen gebotene Sorgfalt anzuwenden, um nachteilige Einwirkungen auf die Gewässer zu vermeiden. Dieser Grundsatz des Gewässerschutzes entspricht sinngemäss dem in der Umweltschutzgesetzgebung verankerten Vorsorgeprinzip.
- In der GSchV sind die ökologischen Ziele für Gewässer definiert (Art. 1). Danach soll die Wasserqualität oberirdischer Gewässer so beschaffen sein, dass:
 - Im Wasser, in den Schwebstoffen und in den Sedimenten keine künstlichen, langlebigen Stoffe enthalten sind (Anh. 1 Ziff. 1 Abs. 3 Bst. b GSchV).
 - Andere Stoffe, die Gewässer verunreinigen können und die durch menschliche Tätigkeit ins Wasser gelangen können, im Gewässer nur in nahe bei Null liegenden Konzentrationen vorhanden sind, wenn sie dort natürlicherweise nicht vorkommen (Anh. 1 Ziff. 1 Abs. 3 Bst. c GSchV).

Das Seewasser ist mit Spuren von Explosivstoffen belastet. Damit werden die oben genannten Grundsätze des GSchG, bzw. der GSchV verletzt. Aufgrund der nachgewiesenen Konzentrationen im sub-Nanogramm-Bereich bis tiefen Nanogramm-Bereich (ng/l, vgl. Tabelle 23) besteht jedoch sowohl aus humantoxikologischer als auch ökotoxikologischer Sicht keine konkrete Gefährdung. Es ist nun Aufgabe der Behörden, dafür zu sorgen, dass die festgestellten Einträge von Explosivstoffen aus externen Quellen unterbunden oder aufgrund des Vorsorgeprinzips reduziert werden.

8. Weiteres Vorgehen

Die Vorschläge für das weitere Vorgehen lauten wie folgt:

VBS:

- Eine Überwachungsbedürftigkeit der mit Munition belasteten Standorte im Thuner-, Brienzer- und Urnersee sowie im Gersauerbecken des Vierwaldstättersees im Sinne der Altlasten-Verordnung besteht nicht. Aus politischen Gründen und als vertrauensbildende Massnahme wird empfohlen, in einem zeitlichen Abstand von mehreren Jahren an mehreren Munitionsversenkungsorten Sedimentkerne zu entnehmen und das Porenwasser auf Explosivstoffe und ihre Abbauprodukte zu analysieren.

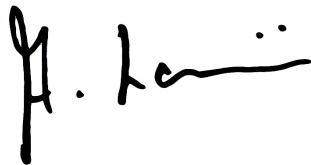
Kantone:

- Anpassung der Munitions-Ablagerungsstandorte in den Seen gemäss Anhang C in den Katastern der belasteten Standorte (KbS) bezüglich Lage. Die Standorte müssen in der Zukunft bei der Planung und Bewilligung von Nutzungen wie Kiesabbau, unterseeischen Leitungen und Bauprojekten berücksichtigt werden.
- Massnahmen planen und treffen, um allenfalls bislang unbekannte externe Quellen zu finden und diese zu stoppen. Wir empfehlen bei den damit verbundenen Untersuchungen in den Zuflüssen den Einsatz von Passivsammlern zu prüfen (zeitlich integrierte Probenahme zur Frachtermittlung).
- Ergänzung der regelmässigen Überwachung der Wasserqualität in den genannten Seen und den relevanten Zuflüssen im Sinne einer gewässerschutzspezifischen Massnahme (Vorschlag für ein Monitoringprogramm im Anhang P). Wir empfehlen basierend auf dem ausgeführten Monitoringprogramm im Jahr 2016 eine neue Massenbilanz zu erstellen.
- Überwachung der bereits getroffenen Massnahmen (z.B. Abwasservorbehandlung), welche den Eintrag von bekannten externen Quellen stoppen sollen.

Luzern, 3. Februar 2012



Dr. Franz Schenker
Projektleitung
Tel.: 041 375 61 00
E-mail: franz.schenker@fsgeolog.ch



Andy Lancini
Sachbearbeitung
Tel. direkt: 041 375 61 07
E-mail: andy.lancini@fsgeolog.ch

Hinterkappelen, 3. Februar 2012



Dr. Johannes van Stuijvenberg
Qualitätssicherung
Tel. direkt: 031 931 16 57
E-Mail: johannes.vanstuijvenberg@swissonline.ch

Literaturverzeichnis

Folgend wird die im vorliegenden Bericht zitierte Literatur aufgelistet:

- AGROSCOPE/EAWAG, 2005: Gewässerbelastung durch Sprengstoffe im Thunersee, Schlussbericht, Juni 2005
- ANSELMETTI, F., HILBE, M., 2008: Bathymetrische Untersuchungen in Schweizer Seen, Pilotstudie, Schlussbericht Oktober 2008, Dübendorf
- ARGE STUIJVENBERG, J.V./SCHENKER KORNER & PARTNER GMBH, 2004: Historische Abklärungen zu Ablagerungen und Munitionsversenkungen in Schweizer Seen, Los 5 West: Berner Oberland, Ostermundigen/Meggen, 30.09.2004
- ARGE STUIJVENBERG, J.V./SCHENKER KORNER & PARTNER GMBH, 2004: Historische Abklärungen zu Ablagerungen und Munitionsversenkungen in Schweizer Seen, Los 5 Ost: Kanton Uri, Ostermundigen/Meggen, 30.09.2004
- ARGE STUIJVENBERG, J.V./SCHENKER KORNER & PARTNER GMBH, 2005: Gefährdungsabschätzung zu militärischen Munitionsversenkungen in Schweizer Seen; Zusammenstellung aller verfügbaren Daten bezüglich Brienzer-, Thuner- und Urnersee, sowie für das Gersauerbecken des Vierwaldstättersees – Bericht zuhanden des Generalsekretariats VBS, Ostermundigen/Meggen, 16.09.2005
- AWA, 2009: Untersuchung von Sprengstoffrückständen im Thuner- und Bielersee, in der Aare und an ausgewählten Standorten im Raum Thun; Amt für Wasser und Abfall, Bern
- AWEL, 2005: Munitionsablagerungen im Zürichsee: Historische Untersuchung und Risikoabschätzung; Baudirektion Kt. Zürich: Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, Zürich
- BERSET, J.D., 2007a: Sprengstoffspuren in allen drei grossen Berner Seen – GBL-Studie über Sprengstoffrückstände in verschiedenen bernischen Gewässern, Info-GSA, 2, 2007
- BERSET, J.D., 2007b: Ergebnisse der Erstuntersuchungen von Explosivstoffrückständen im Vierwaldstättersee mittels LC-Tandemmassenspektrometrie (LC/MSMS), Juni-Oktober 2007
- BERSET, J.D. et al. 2008: Quantitative Analysis of Explosives in Surface Water Comparing Off-Line Solid Phase Extraction and Direct Injection LC/MS/MS, Application Note (Applied Biosystems) 2008
- BERSET, J.D., Ochsenbein, U., Zeh M., 2007: Highlights of Analytical Chemistry in Switzerland: Are Lake Thun and Lake Brienz Contaminated with Explosive Residues?, Chimia 2007, 61, No. 7/8

- BUWAL, 2003: Handbuch Probenahme und Probenvorbereitung für Schadstoffuntersuchungen in Böden – Handbuch Bodenprobenahme VBBo, Bern.
- GODEJOHANN, M., HEINTZ, L., DAOLIO C., BERSET, J.D., MUFF D., 2009: Comprehensive Non-Targeted Analysis of Contaminated Groundwater of a Former Ammunition Destruction Site using ¹H-NMR and HPIC-SPE-NMR/TOF-MS, Environ. Sci. Technol. 2009, 43 (18), 7055-7061
- GSA/BMG/FAW, 2005a: Kein Einfluss der Bauchemikalien auf die Wasserqualität. Die beim Bau der NEAT verwendeten Bauchemikalien haben kaum Auswirkungen auf die Wasserqualität im Thunersee; Informationsbulletin 2/2005, Bern
- GSA/BMG/FAW, 2005b: Beurteilung des Einsatzes von Sprengmitteln beim Bau der NEAT am Lötschberg – Stoffflussanalyse und grobe Abschätzung der ökologischen Risiken – Kurzbericht; Schlieren
- OCHS, M., MUNZ, C., 2005: Ableitung von Konzentrationswerten nach AltIV sowie von U-Werten nach AHR für TNT und einige Abbauprodukte, Schlieren, 21.11.2005
- OCHSENBEIN, U., ZEH, M., BERSET, J.D., 2008: Comparing solid phase extraction an direct injection for the analysis of ultra-trace levels of relevant explosives in lake water an tributaries using liquid chromatography-electrospray tandem mass spectrometry, Chemosphere 72, 2008, 974-980
- PORTA+PARTNER, 2004: Historische Abklärungen zu Ablagerungen und Munitionsversenkungen in Schweizer Seen, Technischer Bericht Endfassung – Auszug Gersauer Becken, Brugg, 28.09.2004
- STUCKI, H., MATHIEU, J. 1995: Schlussbericht zur Untersuchung der Munitionsdeponien im Thunersee, 24.10.1995
- STUIJVENBERG, J.V., 2004: Munitionsdeponien im Brienzersee, Historische Voruntersuchung, VFK-VBS Standorte INT Z 48.1 und INT Z 48.2, Ostermundigen, 05.04.2004
- TUCHSCHMID, M.P., 1995: Quantifizierung und Regionalisierung von Schwermetall- und Fluorgehalten bodenbildender Gesteine der Schweiz. Schriftenreihe Umwelt-Materialien Nr. 32, BUWAL (Hrsg.), Bern.
- WOLLIN, K.M., DIETER, H.H., 2005: Neue Trinkwasserleitwerte für monocyclische Nitroverbindungen, Bundesgesundheitsbl – Gesundheitsforsch – Gesundheitsschutz 2005, Online publiziert: 13. Oktober 2005

Glossar

Die im vorliegenden Bericht verwendeten Abkürzungen sind in den folgenden Tabellen zusammengestellt:

Stoffe und Verbindungen: Abkürzungen Chemie	
Abkürzung	Bedeutung
ADNT	Aminodinitrotoluole; Metabolite von TNT, es existieren verschiedene Isomere
DANT	Diaminonitrotoluole, Metabolite von TNT, es existieren verschiedene Isomere
DOC	Dissolved organic carbon
DNB	Dinitrobenzol ($C_6H_4N_2O_4$), es existieren verschiedene Isomere
DNT	Dinitrotoluol ($C_7H_6N_2O_4$), es existieren verschiedene Isomere
DPA	Diphenylamin ($C_{12}H_{11}N$)
Explosivstoffe	Chemische Verbindungen und Stoffgemische, die bei einer ausreichenden Aktivierungsenergie eine bestimmte starke Reaktion durchlaufen, bei der sich Wärmeenergie und Gase entwickeln. Explosivstoffe werden eingeteilt in Initialsprengstoffe, Sprengstoffe, Treibmittel, Zündmittel und Pyrotechnika.
Hg	Quecksilber (lat. hydragyrum)
HMX	Sprengstoff mit dem Trivialnamen „Oktogen“ (Abk. für High-Molecular-weight rDX), Tetramethyletetranitramin ($C_4H_8N_8O_8$)
KW	Konzentrationswert (AltIV)
Pb	Blei (lat. plumbum)
PETN	Sprengstoff, auch „Nitropenta“ (Abk. für Pentaerythrittrinitrat), ($C_5H_8N_4O_{12}$)
RDX	Sprengstoff mit dem Trivialnamen „Hexogen“ (Abk. für Royal Demolition Explosive), Trimethyletetranitramin ($C_3H_6N_6O_6$)
Sb	Antimon (lat. stibium)
Sprengstoffe	Teilmenge der Explosivstoffe. Chemische Verbindung und Stoffgemische, die unter bestimmten Bedingungen sehr schnell reagieren und dabei eine relativ grosse Energiemenge freisetzen.
TNT	Sprengstoff 2,4,6-Trinitrotoluol, ($C_7H_5N_3O_6$)
TWL	Trinkwasser-Leitwerte, TWL sind toxikologisch begründete, lebenslang gesundheitlich duldbare Höchstwerte von Stoffen im Trinkwasser in Deutschland (z.B. für monocyclische Nitroverbindungen nach Wolin/Dieter 2005)
2ADNT	2-Amino-4,6-Dinitrotoluene, Metabolit von TNT, ($C_7H_7N_3O_4$)
4ADNT	4-Amino-2,6-Dinitrotoluene, Metabolit von TNT, ($C_7H_7N_3O_4$)

Tabelle 24: Verwendete Abkürzungen Stoffe und Verbindungen

Institutionen, Normen, projektbedingte Abkürzungen	
Abkürzung	Bedeutung
AfU	Amt für Umweltschutz
AHR	Richtlinie für die Verwertung, Behandlung und Ablagerung von Aushub-, Abraum- und Ausbruchmaterial, Juni 1999
AKV	Aufsichtskommission Vierwaldstättersee
AltIV	Verordnung über die Sanierung von belasteten Standorten (Altlasten-Verordnung), vom 26.08.1998, Stand am 01.01.2009
ARA	Abwasserreinigungsanlage
ARGE	Arbeitsgemeinschaft, hier konkret: Arbeitsgemeinschaft Dr. Johannes van Stuijvenberg und Schenker Korner & Partner GmbH
armasuisse	Kompetenzzentrum für Beschaffung, Technologie, Immobilien und Geodaten des VBS
AWA	Amt für Wasser und Abfall; Teilbereich der Bau-, Verkehrs- und Energiedirektion des Kt. Bern (BVE)
AWEL	Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, Kt. Zürich
BG	Bestimmungsgrenze
BS	Brienzersee
BVE	Bau-, Verkehrs- und Energiedirektion des Kt. Bern
Eawag	Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz
Empa	Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt, Materials Science & Technology
FAW	Eidgenössische Forschungsanstalt für Obst-, Wein- und Gartenbau Wädenswil
GBL	Gewässer- und Bodenschutzlabor des Kantons Bern GBL
GSA	Ehem. Amt für Gewässerschutz und Abfallwirtschaft, heute beim AWA
GSchG	Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer (Gewässerschutzgesetz) vom 24.01.1991, Stand am 01.08.2008
GSchV	Gewässerschutzverordnung, vom 28.10.1998, Stand am 01.07.2008
GS VBS	Generalsekretariat des VBS
Hot-Spot	Begrenzte, zumeist kleine Fläche mit erhöhter Objektkonzentration
HU	Historische Altlastenvoruntersuchung
KbS	Kataster der belasteten Standorte
PN	Probenahme
ROV	Remotely operating Vehicle
RU VBS	Raum und Umwelt VBS
RUAG	RUAG Holding AG, Schweizer Technologiekonzern (hervorgegangen aus den ehemaligen Unterhalts- und Produktionsbetrieben der Schweizer Armee).
TP	Teilprojekt
TS	Thunersee
TU	Technische Altlastenvoruntersuchung
SLMB	Schweizerisches Lebensmittelbuch (insb. Kapitel 27A, Trinkwasser)
uwe	Dienststelle für Umwelt und Energie, Luzern
UXO	Unexploded Explosive Ordnance („Blindgänger“)
VaB	Wegleitung über die Verwertung von ausgehobenem Boden (Bodenaushub), vom 12.2001
VBBö	Verordnung über Belastungen des Bodens vom 01.07.1998, Stand am 01.07.2008
VBS	Eidgenössisches Departement für Verteidigung, Bevölkerungsschutz und Sport
VFK VBS	Verdachtsflächenkataster der belasteten Standorte des VBS (dem KbS VBS vorgelagert)
VWS	Vierwaldstättersee

Tabelle 25: Verwendete Abkürzungen: Institutionen, Normen, projektbedingte Abkürzungen