



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

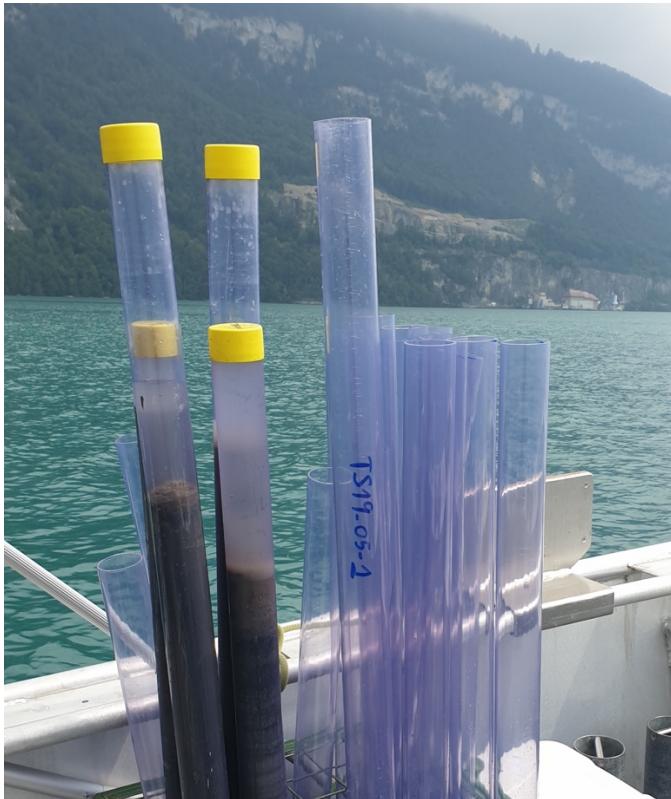
Eidgenössisches Departement für Verteidigung,
Bevölkerungsschutz und Sport VBS

Generalsekretariat VBS
Raum und Umwelt VBS

Militärische Munitionsversenkungen in Schweizer Seen

Bericht zum Explosivstoffmonitoring 2019

**mit Vergleich zu den Messungen
2009**



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
AKV (Aufsichtskommission
Vierwaldstättersee)
BVE/AWA BE, Amtsleitung

Untersuchungsperimeter

- Thunersee
- Brienzersee
- Vierwaldstättersee

Berichtverfasser

Geologische Beratungen
Schenker Richter Graf AG
Büttenenhalde 42
6006 Luzern

18. Mai 2020

Inhaltsverzeichnis

ZUSAMMENFASSUNG

1. Ausgangslage und Zielsetzung	1
1.1. Ausgangslage	1
1.2. Zielsetzungen	1
2. Durchgeführte Arbeiten	2
2.1. Sediment- und Porenwasseruntersuchungen	2
2.2. Probenahme- und Analytikprogramm	2
2.3. Probenahmestandorte	6
3. Resultate	7
3.1. Sprengstoffe	7
3.1.1. Überstandswasser	8
3.1.2. Porenwasser	9
3.1.3. Feststoff	11
3.2. Schwermetalle	12
3.2.1. Überstandswasser	13
3.2.2. Porenwasser	16
3.2.3. Feststoffproben	19
3.3. Perchlорат	21
3.4. Zusammenfassung Resultate Sedimentprobenahme 2019	22
4. Diskussion der Resultate	23
4.1. Schwermetalle	23
4.2. Sprengstoffe	24
4.2.1. Methodik	24
4.2.2. PETN	26
4.3. DPA	27
4.3.1. Thunersee	27
4.3.2. Vierwaldstättersee	28
4.4. Nitroglycerin	28
5. Schlussfolgerungen	29
6. Weiteres Vorgehen	30

Anhang

- | | |
|-----------|---|
| Anhang A1 | Probenahmestandorte Thunersee 2019 und 2009 |
| Anhang A2 | Probenahmestandorte Brienzsee 2019 und 2009 |
| Anhang A3 | Probenahmestandorte Vierwaldstättersee 2019 und 2009 |
| Anhang B | Probenahmeprogramm 2019 |
| Anhang C1 | Überstandswasser, grafische Darstellung Messwerte 2019-2009 |
| Anhang C2 | Überstandswasser, prozentuale Änderung 2019-2009 |
| Anhang D1 | Porenwasser Top, grafische Darstellung Messwerte 2019-2009 |
| Anhang D2 | Porenwasser Top, prozentuale Änderung Messwerte 2019-2009 |
| Anhang D3 | Porenwasser Bottom, grafische Darstellung Messwerte 2019-2009 |
| Anhang D4 | Porenwasser Bottom, prozentuale Änderung Messwerte 2019-2009 |
| Anhang E1 | Sediment Top, grafische Darstellung Messwerte 2019-2009 |
| Anhang E2 | Sediment Top, prozentuale Änderung Messwerte 2019-2009 |
| Anhang E3 | Sediment Bottom, grafische Darstellung Messwerte 2019-2009 |
| Anhang E4 | Sediment Bottom, prozentuale Änderung Messwerte 2019-2009 |
| Anhang F | Analysebericht Bachema AG |
| Anhang G | Analysebericht Labor Spiez |
| Anhang H | Analysebericht Gewässer- und Bodenschutzlabor, AWA Kt. Bern |
| Anhang I | Analysebericht Laborgemeinschaft SüdWest |
-

Zusammenfassung

Ausgangslage und Zielsetzung

In der ersten Hälfte des letzten Jahrhunderts wurde durch die Armee in verschiedenen Schweizer Seen Munition und Munitionsbestandteile versenkt. Im Jahr 2012 wurde eine umfassende Gefährdungsabschätzung durchgeführt. Dabei resultierte ein grosses Schadstoffpotential, eine hohe Bedeutung für das Schutgzugt oberirdisches Gewässer, aber eine geringe Freisetzung der vorhandenen Schadstoffe.

Zwischen den Jahren 2012 und 2016 wurde ein Monitoring in den betroffenen Seen durchgeführt. Dabei konnten keine relevanten Konzentrationen von Sprengstoffen im Seewasser festgestellt werden. Um die Gefährdungsabschätzung aus dem Jahr 2012 zu überprüfen, wurden im Jahr 2019 erneut Sedimentkerne aus den Seen entnommen. Der Gehalt an Stoffen in den Sedimentkernen (Feststoff und Porenwasser) bildet ein wichtiges Element der Gefährdungsabschätzung.

Untersuchungen

Im Sommer 2019 wurden im Thuner-, Brienzer- und Vierwaldstättersee Sedimentproben entnommen. Anschliessend wurde das Überstandswasser, das Porenwasser und die Seesedimente auf Sprengstoffe, deren Abbauprodukte und auf Schwermetalle hin durch verschiedene Laboratorien im In- und Ausland untersucht.

Resultate

Die Resultate zeigen Messwerte, welche zumeist deutlich unter den relevanten Konzentrationswerten der Altlastenverordnung und der Gewässerschutzverordnung liegen. Eine negative Beeinflussung des Seewassers lässt sich nicht erkennen. Spuren von Sprengstoffen der versenkten Munition konnten in einzelnen Proben der Sedimentkerne nachgewiesen werden. Diese Stoffe wurden auf tiefem Niveau in den Feststoffproben der Sedimentkerne festgestellt, aber nicht im Porenwasser.

Wie im Rahmen der umfassenden Gefährdungsabschätzung 2012 ist von keiner Freisetzung der versenkten Munition ins Seewasser auszugehen, welche zu einer negativen Beeinflussung des Seewassers führt. Somit entspricht der „Ist-Zustand“ dem „Soll-Zustand“. Ein Sanierungs- oder Überwachungsbedarf ist daher nach der geltenden Rechtsgrundlage (Altlastenverordnung) nicht gegeben.

Weiteres Vorgehen

Aus altlastenrechtlicher Betrachtungsweise ist kein Sanierungs- oder Überwachungsbedarf vorhanden. Das Schadstoffpotential der versenkten Munition bleibt aber unverändert hoch. Die Bedeutung der oberirdischen Gewässer ist ebenfalls hoch. Um eine allfällige Änderung des „Ist-Zustandes“ gegenüber dem „Soll-Zustand“ erkennen zu können wird ein Monitoring des Seewassers und der Seesedimente weiterhin ausgeführt.

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 Munitionsbeständen des zweiten Weltkrieges, Explosionsunfälle in Munitionsmagazinen und aus Munitionsfabriken (Fabrikationsrückstände, Fehlcharge und Altmunition).

Mit einem umfassenden Untersuchungsprogramm, 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.

Im Bericht „Umfassende Gefährdungsabschätzung“ vom 3. Februar 2012 wurden die Untersuchungen und ihre Resultate dokumentiert und bewertet.

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

Während der Untersuchungsperiode zwischen 2005 und 2010 wurden in verschiedenen Gewässern Spuren von Explosivstoffen im tiefen Nanogramm-Bereich gemessen. Es wurde festgestellt, dass verschiedene Zuflüsse und „Hotspots“ ausserhalb der Seen als externe Quellen für die Kontamination der Seen durch solche Stoffe verantwortlich sind. Für die Munitionsdeponien selbst wurde keine Freisetzung von Schadstoffen und somit kein Überwachungs- oder Sanierungsbedarf nach der Altlasten-Verordnung festgestellt.

Im Folgenden wurde zwischen den Jahren 2012 und 2016 ein Monitoring bei den betroffenen Seen durchgeführt. Die erhobenen Messergebnisse der Seewasserprobenahmen wurden im Bericht „Explosivstoffmonitoring 2012-2016“ zusammengestellt, ausgewertet und beurteilt. Dabei resultierten keine Hinweise auf einen Eintrag von Explosivstoffen oder von Abbauprodukten aus der versenkten Munition in das Seewasser.

Um jedoch die Gefährdungsabschätzung aus dem Jahr 2012 zu verifizieren wurde beschlossen, als vertrauensbildende Massnahme, im Jahr 2019 eine erneute Sedimentprobenahme durchzuführen.

1.2. Zielsetzungen

Ziel des vorliegenden Berichts ist die Verifizierung der umfassenden Gefährdungsabschätzung für die Munitionsablagerungen aus dem Jahr 2012 innerhalb des Untersuchungsperimeters, basierend auf den erhobenen Daten der entnommenen Sedimentkerne im Jahre 2019. Weiter soll auch die durchgeführte Beurteilung der Standorte nach Art. 10 der Altlasten-Verordnung (AltIV¹) und die Gefährdung des Seewassers gemäss Gewässerschutzgesetzgebung (GSchG) neu überprüft werden.

¹ Verordnung über die Sanierung von belasteten Standorten (Altlasten-Verordnung, AltIV) vom 26. August 1998

2. Durchgeführte Arbeiten

2.1. Sediment- und Porenwasseruntersuchungen

Für die Erfassung von potentiellen Schadstoffen, welche durch die versenkte Munition freigesetzt werden könnten, wurden rund 1.50 m lange Sedimentkerne aus dem Seeboden entnommen. Um allfällige Schadstoffe, oder deren Migration aus dem Seesediment in das Seewasser, beurteilen zu können, wurden folgende drei Milieus untersucht: Der Feststoff aus den Sedimentkernen, das Porenwasser der Sedimente so wie das Überstandswasser. Dabei stellt der Feststoff die mögliche Schadstoffquelle dar, das Porenwasser repräsentiert den möglichen Migrationspfad zwischen der Schadstoffquelle und dem Seewasser. Das Überstandswasser entspricht dabei dem Seewasser, welches sich direkt über dem Seegrund befindet.

2.2. Probenahme- und Analytikprogramm

Das Vorgehen betreffend Probenahme und Analytik pro Sondierstandort wurde analog jenem im Jahr 2009 ausgeführt. Bei jedem Standort wurden jeweils zwei Sedimentkerne entnommen. Dabei diente der eine Sedimentkern zur Probenahme für die Feststoffe, aus dem Material des zweiten Sedimentkerns wurde das Porenwasser gewonnen. Die Probenahmestandorte aus den Jahren 2009 und 2019 können dem Anhang A entnommen werden.

Nach der Hebung des Sedimentkernes wurde in einem ersten Schritt die Feldparameter (Temperatur, elektrische Leitfähigkeit, pH-Wert, Sauerstoffgehalt und Redoxpotential) des Überstandswassers vor Ort bestimmt. Danach wurde dieses Wasser in Probenahmeflaschen transferiert. Anschliessend wurden die obersten 30 cm der Sedimentkerne vor Ort abgetrennt. Der Sedimentkernabschnitt von 0 – 30 cm wird im Folgenden als „Top“ bezeichnet, der Bereich von 30 cm bis zum Ende des Sedimentkernes als „Bottom“. Die Abbildung 1 schafft einen schematischen Überblick zur Probenahme aus den Sedimentkernen.

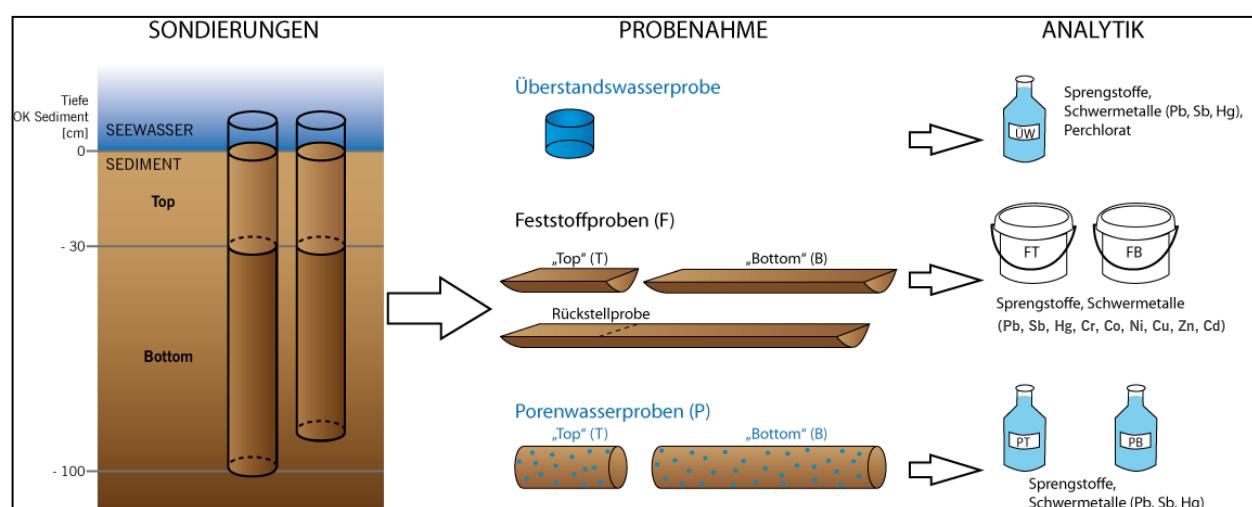


Abbildung 1: Probenahme- und Analytikprogramm pro Sondierstandort

Nach der Probenahme wurde pro Standort jeweils ein Sedimentkern durch das Labor Spiez bearbeitet, der zweite Sedimentkern wurde der Eawag für die Porenwasseraufbereitung zugestellt.

Im Labor Spiez wurden die Sedimentkerne jeweils geöffnet (in zwei Hälften geteilt). Eine Hälfte der Kerne wurde dabei durch das Labor Spiez für die Feststoffuntersuchung weiter aufgearbeitet. Überschüssiges Material wurde vom Labor Spiez als Rückstellprobe aufbewahrt.

Die andere Hälfte der Sedimentkerne wurde der Bachema AG zugestellt und durch dieses Labor aufbereitet.

Somit resultierten pro Kernhälfte bei beiden Laboratorien eine Sedimentmischprobe aus den oberen 30 cm („Top“-Probe) und eine Mischprobe aus dem Rest des Kerns („Bottom“-Probe).

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 Teilstufen hergestellt. Der Feststoffanteil dieser Sedimentkerne wurde nach der Abtrennung des Porenwassers entsorgt.

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

Tabelle 1: Anzahl analysierter Feststoff- und Porenwasserproben

See	Probenahmestandorte		Überstandswasser- proben	Anzahl Proben für Analytik			
	Anzahl	Standortart		Porenwasserproben		Feststoffproben	
				Top (0-30 cm)	Bottom	Top (0-30 cm)	Bottom
Thunersee	2	Hot-Spot	2	2	2	2	2
	2	Versenkung	2	2	2	2	2
	3	Referenz	2	2	2	2	2
Brienzersee	1	Versenkung	1	1	1	1	1
	1	Rutschung	1	1	1	1	1
	2	Referenz	1	1	1	1	1
VWS	5	Hot-Spot	5	5	5	5	5
	3	Referenz	3	3	3	3	3
TOTAL		17		17		17	

Die so gewonnenen Teilproben der insgesamt 17 Überstandswasserproben, 34 Porenwasserproben und 34 Feststoffproben, wurden zur Analytik spezialisierten Labors zugeführt:

- Das Institut Bachema AG analysierte alle Proben auf 16 verschiedene Explosivstoffe.
- Das Labor Spiez analysierte alle Wasserproben auf die Schwermetalle Sb, Pb und Hg. Die Feststoffproben wurden zusätzlich noch auf die Parameter Cr, Co, Ni, Cu, Zn, und Cd analysiert.
- Das Gewässer- und Bodenschutzlabor, Amt für Wasser und Abfall Kt. Bern, analysierte 20 Porenwasserproben (jeweils 10 Proben „Top“ und 10 Proben „Bottom“) auf 6 Explosivstoffe mittels Analytik im Ultraspurenbereich. Dieses Messprogramm wurde ergänzend zum Analyseprogramm aus dem Jahr 2009 durchgeführt.

Die Laborgemeinschaft SüdWest, eine Kooperation der Laboratorien der Bodensee-Wasserversorgung und der Landeswasserversorgung, analysierte bei allen 17 Proben des Überstandswasser den Parameter Perchlorat.

Die Analyseprogramme der einzelnen Laboratorien und die jeweiligen analytischen Betimmungsgrenzen (BG) sind in der folgenden Tabelle wiedergegeben:

Tabelle 2: Beteiligte Laboratorien und jeweilige Analyseparameter und analytische Bestimmungsgrenze (BG)

Laboratorium	Prüfgegenstand	Parameter	BG, Wasser	BG, Feststoff
Bachema AG	Überstandswasser	1,3-Dinitrobenzol	0.1 µg/l	1-5 µg/kg
	Porenwasser	1,3,5-Trinitrobenzol	0.1 µg/l	5 µg/kg
	Feststoff*	2,4-Dinitrotoluol	0.1 µg/l	1-5 µg/kg
		2,6-Dinitrotoluol	0.1 µg/l	1-5 µg/kg
		2,4,6-Trinitrotoluol (TNT)	0.1 µg/l	1-5 µg/kg
		2-Amino-4,6-Dinitrotoluol	0.1 µg/l	1-5 µg/kg
		4-Amino-2,6-Dinitrotoluol	0.1 µg/l	1-5 µg/kg
		2,4-Diamino-6-Nitrotoluol	0.1 µg/l	2-5 µg/kg
		2,6-Diamino-4-Nitrotoluol	0.1 µg/l	1-5 µg/kg
		Tetryl	0.1 µg/l	5-50 µg/gk
		Hexogen (RDX)	0.1 µg/l	5-10 µg/kg
		Octogen (HMX)	0.1 µg/l	20-50 µg/kg
		PETN	0.1 µg/l	1 µg/kg
		Nitroglycerin	0.1 µg/l	1 µg/kg
		Diphenylamin	0.1 µg/l	1-5 µg/kg
		N-Nitrosodiphenylamin	0.1 µg/l	1-5 µg/kg
Labor Spiez	Überstandswasser	Antimon	0.04 µg/l	/
		Blei	0.03 µg/l	/
		Quecksilber	0.02 ng/l	/
	Porenwasser	Antimon	0.05 µg/l	/
		Blei	0.05 µg/l	/
		Quecksilber	0.05 µg/l	/
	Feststoff	Chrom	/	0.14 mg/kg
		Cobalt	/	0.11 mg/kg
		Nickel	/	0.14 mg/kg
		Kupfer	/	0.22 mg/kg
		Zink	/	0.19 mg/kg
		Cadmium	/	0.05 mg/kg
		Antimon	/	0.30 mg/kg
		Blei	/	0.10 mg/kg
		Quecksilber	/	0.36 µg/kg
AWA Kt. BE	Porenwasser	Octogen (HMX)	1 ng/l	/
		Hexogen (RDX)	1 ng/l	/
		4-Amino-2,6-Dinitrotoluol	1 ng/l	/
		2-Amino-4,6-Dinitrotoluol	1 ng/l	/
		2,4,6-Trinitrotoluol (TNT)	5 ng/l	/
		Nitropenta (PETN)	1 ng/l	/
Laborgemeinschaft SüdWest	Überstandswasser	Perchlorat	0.3 µg/l	/

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

2.3. Probenahmestandorte

Die geografische Lage der Probenahmestandorte aus dem Jahr 2019 und 2009 sind im Anhang A1 (Thunersee), Anhang A2 (Brienzersee) und Anhang A3 (Vierwaldstättersee) dargestellt. Im Thunersee sind die Probenahmestandorte auf die Teilbereiche „Hot-Spot“, Versenkungsstandort und Referenzstandort² gegliedert. Diese Bereiche wurden im Rahmen der umfassenden Gefährdungsabschätzung, basierend auf magnetischen Anomalien, ausgeschieden. Im Brienzersee wurde ein Versenkungsstandort und ein Referenzstandort beprobt, zudem der Bereich einer subaquatischen Rutschung. Dieser Standort (BS19-22) wurde im Jahr 2019 gegenüber der Probenahme 2009 um rund 1.5 km nach Norden verschoben. Dieses Vorgehen wird damit begründet, dass die Entnahme des Sedimentkerns 2009 (BS09-10) direkt in der Rutschung erfolgte. Aufgrund der Anregungen von Prof. Dr. Anselmetti ist es aber sinnvoller, den Bereich des Sedimentniederschlags auf dem Seegrund zu beproben. Daher war die Verschiebung dieses Standortes notwendig. Beim Vierwaldstättersee beschränkte man sich im Jahr 2019 auf die Beprobung der „Hot-Spot“- und Referenzstandorte. Daher wurde der Versenkungsstandort VS09-17 im Jahr 2019 nicht mehr beprobt. Zudem wurde die Zahl der Referenzstandorte von vier Probenahmestellen auf drei reduziert und der Referenzstandort VS09-19 nicht beprobt. Die Standorte der Sedimentprobenahmen aus dem Jahr 2019 sind in der Tabelle 3 zusammengefasst:

Tabelle 3: tabellarische Zusammenstellung Probenahmestandorte 2019

See	Standort	Standorttyp	Probenbezeichnung
Thunersee	Merlegen	Hot-Spot	TS19-01
	Beatenbucht		TS19-02
	Oberes Becken	Referenz	TS19-03
	Unteres Becken		TS19-04
Brienzersee	Nase Brienz	Versenkung	BS19-08
	Rutschungsgebiet	Rutschung	BS19-22
	Unteres Becken	Referenz	BS19-11
VWS	Gersauer Becken	Hot-Spot	VS19-12
	Rütli		VS19-13
	Bauen-Sisikon		VS19-14
	Gersauer Becken	Referenz	VS19-15
	Oberes Urner Becken		VS19-16
	Unteres Urner Becken		VS19-18
			VS19-20
			VS19-21

² Referenzstandorte sind jene Bereiche, in welchen nach heutigem Wissen keine Munition versenkt wurde.

3. Resultate

Die vollständigen Analyseberichte der beteiligten Laboratorien sind im Anhang F (Bachema AG), Anhang G (Labor Spiez), Anhang H (Gewässer- und Bodenschutzbüro Kt. Bern) und Anhang I (Laborgemeinschaft SüdWest) enthalten. Die folgenden Kapitel fassen die maximalen Konzentrationen der Analyseergebnisse zusammen. Für jeden See sind die Maximalkonzentrationen für die einzelnen Teilbereiche wie „Hot-Spot“, Versenkungsstandort und Referenzstandort aufgezeigt.

3.1. Sprengstoffe

Durch die Bachema AG wurde das Überstandswasser, das Porenwasser und die Feststoffproben auf mögliche Sprengstoffe hin untersucht. Durch das Gewässer- und Bodenschutzbüro Kt. Bern wurden zudem die sechs relevantesten Explosivstoffe mit einer tieferen Bestimmungsgrenze im Nanogrammbereich analysiert. Die vollständigen Analyseberichte sind im Anhang F und Anhang H enthalten. Die Tabellen 4 bis 6 fassen die ermittelten maximalen Messergebnisse der relevanten Sprengstoffe und deren Abbauprodukte für das Überstandswasser, das Porenwasser und die Feststoffe zusammen. Die Messresultate aus dem Jahr 2019 werden in Bezug auf die aktuell relevanten rechtlichen Grenzwerte der Altlastenverordnung (AltIV), und der Gewässerschutzverordnung (GSchV³) beurteilt. Zudem werden die abgeleiteten Grenzwerte aus der „umfassenden Gefährdungsabschätzung“ herbeigezogen, wenn in der AltIV oder GSchV keine Werte definiert sind. So z.B. der Trinkwasserleitwert TWL nach Wollin/Dieter 2005⁴.

³ Gewässerschutzverordnung (GSchV) vom 28. Oktober 1998 (Stand am 1. Januar 2020)

⁴ Wollin, K.M., Dieter, H.H., 2005: Neue Trinkwasserleitwerte für monocyklische Nitroverbindungen, Bundesgesundheitsbl – Gesundheitsforsch – Gesundheitsschutz 2005, online publiziert: 13. Oktober 2005

3.1.1. Überstandswasser

Die folgende Tabelle fasst die Maximalkonzentrationen der Sprengstoffe im Überstandswasser zusammen. Diese Analysen wurden durch die Bachema AG durchgeführt.

Tabelle 4: Zusammenfassung maximale Sprengstoffkonzentrationen im Überstandswasser

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

„<“ = kleiner als Bestimmungsgrenze der Analysemethode; „/“ = nicht vorhanden

Aus der Tabelle 4 lässt sich erkennen, dass beim Überstandswasser im Vierwaldstättersee Nitroglycerin mit einer Konzentration von 0.1 µg/l, knapp über der Bestimmungsgrenze, nachgewiesen wurde. Dies betrifft die Hot-Spot-Standorte VS19-12 (Gersauer Becken) und VS19-16 (Bauen Sisikon). Der Messwert von 0.1 µg/l ist 40-mal kleiner als der Konzentrationswert nach AltIV⁵.

Ausser bei diesen beiden Standorten wurden bei keiner Probe des Überstandswassers Sprengstoff-Spuren nachgewiesen.

Bei 2,4-DNT und 2,6-DNT ist anzumerken, dass die Bestimmungsgrenze der Bachema AG von 0.1 µg/l höher ist als der Trinkwasserleitwert nach Wollin/Dieter von 0.05 µg/l.

⁵ Konzentrationswerte für Stoffe, die nicht in Anhang 1 oder 3 AltIV enthalten sind, Stand 19.11.2019, Bundesamt für Umwelt BAFU (www.bafu.admin.ch › altlasten › konzentrationswerte.pdf.download.pdf)

3.1.2. Porenwasser

Beim Porenwasser wurden bei jedem Standort die Teilproben „Top“ und „Bottom“ durch die Bachema AG auf mögliche Sprengstoffe und deren Abbauprodukte hin untersucht. Die Maximalwerte sind in der Tabelle 5 zusammengefasst. Zudem wurden durch das Gewässer- und Bodenschuttlabor Kt. Bern sechs Sprengstoffe und Abbauprodukte mit einer tieferen Nachweisgrenze im Nanogrammbereich analysiert. Die entsprechenden Maximalkonzentrationen sind in der Tabelle 5 enthalten.

Tabelle 5: Zusammenfassung maximale Sprengstoffkonzentrationen im Porenwasser, Bachema AG

See	Standorttyp	Tiefe	TNT	2-ADNT	HMX	RDX	PETN	DPA	1,3-DNB	2,4-DNT	Nitro-glycerin	
			max.	4-ADNT max.	μg/l	μg/l	μg/l	μg/l	μg/l	μg/l	μg/l	
Thuner-see	Hot-Spot	Top	<0.1	<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	<0.1	
	Versetzung	Top	<0.1	<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	<0.1	
	Referenz	Top	<0.1	<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	<0.1	
Brienzer-see	Versetzung	Top	<0.1	<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	<0.1	
	Rutschung	Top	<0.1	<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	<0.1	
	Referenz	Top	<0.1	<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	<0.1	
VWS	Hot-Spot	Top	<0.1	<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	<0.1	
	Referenz	Top	<0.1	<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	<0.1	
Konzentrationswert AltIV (bzw. abgeleitete KW AltIV nach Ochs/Munz 2005)			10	7 (2-ADNT)	/	/	/	/	4	0.5	4	
Trinkwasser-Leitwerte TWL (nach Wollin/Dieter 2005)			0.2	0.2	175	1	10	70	0.3	0.05	/	

„<“ = kleiner als Bestimmungsgrenze der Analysemethode; „/“ = nicht vorhanden

Im Porenwasser, welches durch die Bachema AG untersucht wurde, konnten keine Sprengstoffe oder deren Abbauprodukte nachgewiesen werden (vgl. Kap. 4 Diskussion).

Tabelle 6: Zusammenfassung maximale Sprengstoffkonzentrationen im Porenwasser, GBL Kt. Bern

See	Standorttyp	Tiefe	TNT	2-ADNT 4-ADNT	HMX	RDX	PETN	
			max.	max.	max.	max.	max.	
			ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	ng/l	
Thunersee	Hot-Spot	Top	<5	<1	<1	<1	<1	
		Bottom	<5	<1	<1	<1	<1	
	Versetzung	Top	<5	<1	<1	<1	<1	
		Bottom	<5	<1	<1	<1	<1	
Brienzersee	Referenz	Top	<5	<1	<1	<1	<1	
		Bottom	<5	<1	<1	<1	<1	
	Versetzung	Top	<5	<1	<1	<1	<1	
		Bottom	<5	<1	<1	<1	<1	
VWS	Rutschung	Top	<5	<1	<1	<1	<1	
		Bottom	<5	<1	<1	<1	<1	
	Referenz	Top	<5	<1	<1	<1	2.8	
		Bottom	<5	<1	<1	<1	2.1	
Konzentrationswert AltIV (bzw. abgeleitete KW AltIV nach Ochs/Munz 2005)			10'000	7'000 (2-ADNT)	/	/	/	
Trinkwasser-Leitwerte TWL (nach Wollin/Dieter 2005)			200	200	175'000	1	10'000	

„<“ = kleiner als Bestimmungsgrenze der Analysemethode; „/“ = nicht vorhanden

Aus der Tabelle 6 geht hervor, dass durch das Gewässer- und Bodenschutzlabor Kt. Bern im Brienzersee der Sprengstoff PETN in Spuren (2.1 bis 2.8 ng/l) nachgewiesen wurde. Dies wurde beim Referenzstandort BS19-11 (unteres Becken) in den Teilproben „Top“ und „Bottom“ festgestellt. Diese Konzentrationen im Nanogrammbereich sind rund 5'000-mal kleiner, als der Trinkwasserleitwert nach Wollin/Dieter 2005.

3.1.3. Feststoff

Alle Feststoffproben wurden durch die Bachema AG auf mögliche Sprengstoffe oder Sprengstoffabbauprodukte hin untersucht. Die Maximalkonzentrationen sind in der Tabelle 7 zusammengefasst. Die Parameter werden nach dem ehemaligen Richtwert U für unbelastetes Material der Aushubrichtlinie beurteilt, welche im Rahmen der umfassenden Gefährdungsabschätzung 2012 abgeleitet wurden. Dieser Richtwert U ist gleichzusetzen mit Typ A Material (unverschmutzt) gemäss der aktuell gültigen Abfallverordnung. Damit die Terminologie aus dem Bericht 2012 gleich bleibt, wird aber der Richtwert U nach AHR⁶ verwendet.

Tabelle 7: Zusammenfassung maximale Sprengstoffkonzentrationen im Feststoff (Sediment)

See	Standort-typ	Tiefe	TNT	2-ADNT	HMX	RDX	PETN	DPA	1,3-DNB	2,4-DNT	Nitro-glycerin
			max. µg/kg	4-ADNT max. µg/kg	max. µg/kg	max. µg/kg	max. µg/kg	max. µg/kg	max. µg/kg	2,6-DNT max. µg/kg	max. µg/kg
Thuner-see	Hot-Spot	Top	<1	<1	<20	<5	<1	<5	<5	<2	<1
		Bottom	<1	<2	<20	<5	<1	59	<5	<2	<1
	Versenkung	Top	<1	<2	<20	<5	<1	22	<5	<2	<1
		Bottom	5	<2	<20	<5	<1	15	<5	<2	<1
	Referenz	Top	<1	<1	<20	<5	<1	3	<5	<2	<1
		Bottom	<1	<1	<20	<5	<1	19	<5	<2	<1
Brienzer-see	Versenkung	Top	<1	<1	<20	<5	<1	<1	<5	<2	<1
		Bottom	<1	<1	<20	<5	<1	<1	<5	<2	<1
	Rutschung	Bottom	<1	<1	<20	<5	<1	<1	<5	<2	<1
		Top	<1	<1	<20	<5	<1	<1	<5	<2	<1
	Referenz	Top	<1	<1	<20	<5	<1	<1	<5	<2	<1
		Bottom	<1	<1	<20	<5	<1	<1	<5	<2	<1
VWS	Hot-Spot	Top	<5	<5	<50	<10	<1	<5	<5	5	<1
		Bottom	2	<5	<50	<10	<1	3	<5	2	<1
	Referenz	Top	<5	<5	<50	<10	<1	<5	<5	<1	<1
		Bottom	<1	<1	<50	<10	<1	<1	<5	1	<1
Richtwert U nach AHR (abgeleitete U-Werte nach AHR nach Ochs/Munz 2005 ⁷)			50	10 (2-ADNT)	/	/	/	/	10	2	/

,,<” = kleiner als Bestimmungsgrenze der Analysemethode; ,,/” = nicht vorhanden für Feststoffe

Die Tabelle 7 zeigt, dass im Thunersee und im Vierwaldstättersee Sprengstoffe nachgewiesen wurden, im Brienzersee jedoch nicht.

Im Thunersee wurde beim Versenkungsstandort TS19-03 (Beatenbucht) bei der Teilprobe „Bottom“ TNT mit einer Konzentration von 5 µg/kg nachgewiesen. Diese Konzentration ist 10-mal kleiner als der Richtwert U (unbelastet), welcher 2005 durch Ochs/Munz abgeleitet wurde. Weiter weisen im Thunersee 10 der 14 Sedimentproben DPA (Diphenylamin) auf. Dies betrifft Proben aus „Hot-Spots“,

⁶ Richtlinie für die Verwertung, Behandlung und Ablagerung von Aushub-, Abraum- und Ausbruchmaterial, Juni 1999

⁷ 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

Versenkungsstandorten, wie auch Referenzstandorten. DPA wurde in den Teilproben „Bottom“ und „Top“ festgestellt. Für diesen Stoff ist kein U-Wert definiert. Andere Stoffe, insbesondere TNT-Abbauprodukte, konnten im Thunersee nicht nachgewiesen werden.

Der „Hot-Spot“-Standort VS19-16 (Bauen-Sisikon) im Vierwaldstättersee wies in der Teilprobe „Bottom“ TNT mit einer Konzentration von 2 µg/l auf. In der selben Probe VS19-16 „Bottom“ konnte auch 2,4-DNT mit einer Konzentration von 2 µg/kg festgestellt werden und DPA mit einer Konzentration von 3 µg/l. Der Messwert von TNT ist rund 25-mal kleiner als der Richtwert U von 50 µg/kg. Der Messwert von 2,4-DNT entspricht dem Richtwert U von 2 µg/kg. Für den Parameter DPA ist kein U-Wert definiert.

Zudem wurde beim „Hot-Spot“-Standort VS19-13 (Gersauer-Becken) bei der Teilprobe „Top“ 2,4-DNT mit einer Konzentration von 5 µg/kg nachgewiesen. Diese Konzentration überschreitet den U-Wert von 2 µg/kg um das 2.5-fache.

3.2. Schwermetalle

Das Labor Spiez analysierte alle gewonnenen Proben auf die Schwermetallgehalte hin. Dabei wurde bei den Wasserproben der „dissolved“ (gelöste) und „total recoverable“ (totale) Schwermetallgehalt bestimmt. Die relevanten Konzentrationswerte der Altlastenverordnung (AltIV) beziehen sich jeweils auf gelöste Konzentrationen. In der Gewässerschutzverordnung (GSchV) sind Grenzwerte für gelöste und totale Stoffkonzentrationen definiert. Daher werden in der tabellarischen Zusammenstellung jeweils die Maximalkonzentrationen der gelösten und totalen Stoffkonzentrationen wiedergegeben. Der vollständige Analysebericht ist im Anhang G enthalten. Um die erhobenen Messergebnisse aus dem Jahr 2019 mit den Resultaten aus dem Jahr 2009 vergleichen zu können, sind die Ergebnisse der beiden Probenahmen in den Anhängen C bis E graphisch dargestellt. Dabei sind in den Anhängen C1, D1, D3, E1 und E3 die Messergebnisse 2009 (schraffiert) und 2019 (fett) dargestellt. In den Anhängen C2, D2, D4, E2 und E4 ist die prozentuale Änderung der Messergebnisse der beiden Probennahmekampagnen ersichtlich. An dieser Stelle ist zu erwähnen, dass im Jahr 2009 die Bestimmungsgrenze von Quecksilber im Überstandswasser 0.02 µg/l betrug. Im Jahr 2019 konnte bei diesen Proben eine Bestimmungsgrenze von 0.02 ng/l erreicht werden, welche 1'000-mal tiefer ist als im Jahr 2009. Im Jahr 2009 waren alle Quecksilbergehalte im Überstandswasser <0.02 µg/l. Folglich können bei diesen Proben die Messwerte aus dem Jahr 2009 und 2019 nicht miteinander verglichen werden und sind im Anhang C2 nicht enthalten. Die folgenden Tabellen 8 bis 10 fassen die gemessenen Maximalkonzentrationen der Messergebnisse aus dem Jahr 2019 zusammen:

3.2.1. Überstandswasser

Im Überstandswasser wurden durch das Labor Spiez die Parameter Antimon, Blei und Quecksilber analysiert. Die jeweiligen Maximalkonzentrationen sind in der Tabelle 8 aufgeführt.

Tabelle 8: Zusammenfassung maximale Schwermetallkonzentrationen im Überstandswasser

See	Standorttyp	Sb max.		Pb max.		Hg max.	
		gelöst, $\mu\text{g/l}$	total, $\mu\text{g/l}$	gelöst, $\mu\text{g/l}$	total, $\mu\text{g/l}$	gelöst, ng/l	total, ng/l
Thunersee	Hot-Spot	0.12	0.16	0.42	2.6	<0.02	4.1
	Versenkung	0.17	0.17	0.079	2.5	0.14	2.5
	Referenz	0.12	0.14	0.046	1.5	0.13	2.5
Brienzersee	Versenkung	0.15	0.19	0.21	8.5	<0.02	3.5
	Rutschung	0.11	0.093	0.17	1.5	0.17	0.95
	Referenz	0.069	0.12	0.18	2.4	0.10	1.4
VWS	Hot-Spot	0.099	0.19	0.048	7.3	<0.02	<0.02
	Referenz	0.093	0.16	0.30	2.6	0.043	<0.02
Konzentrationswert AltIV (gelöst)		10	/	50	/	1000	/
Anforderungen GSchV (Anforderungen oberirdische Gewässer)		/	/	1	10	10	30

„<“ = kleiner als Bestimmungsgrenze der Analysemethode; „/“ = nicht vorhanden

Aus der Tabelle 8 ist zu erkennen, dass alle Schwermetallgehalte unter den Anforderungen der AltIV und der GSchV liegen. Dabei sind die gelösten Antimongehalte rund 100-mal kleiner als der Konzentrationswert nach AltIV.

Die maximal gelöste Bleikonzentration von 0.21 $\mu\text{g/l}$ wurde im Versenkungs-Bereich (BS19-08, Nase Brienz) des Brienzersees gemessen. Dieser Wert ist rund 275-mal kleiner als der Konzentrationswert nach AltIV. Bei diesem Probenahmestandort beträgt der totale Bleigehalt 8.5 $\mu\text{g/l}$ und liegt somit knapp unter der Anforderung der GSchV von 10 $\mu\text{g/l}$.

Die gelösten und totalen Quecksilberkonzentrationen liegen um Größenordnungen unter den Anforderungen der GSchV, wie auch unter dem Konzentrationswert der AltIV.

Das Diagramm 1 zeigt die prozentuale Änderung⁸ des gelösten und totalen Antimongehalts des Überstandswasser aus dem Jahr 2009 und 2019.

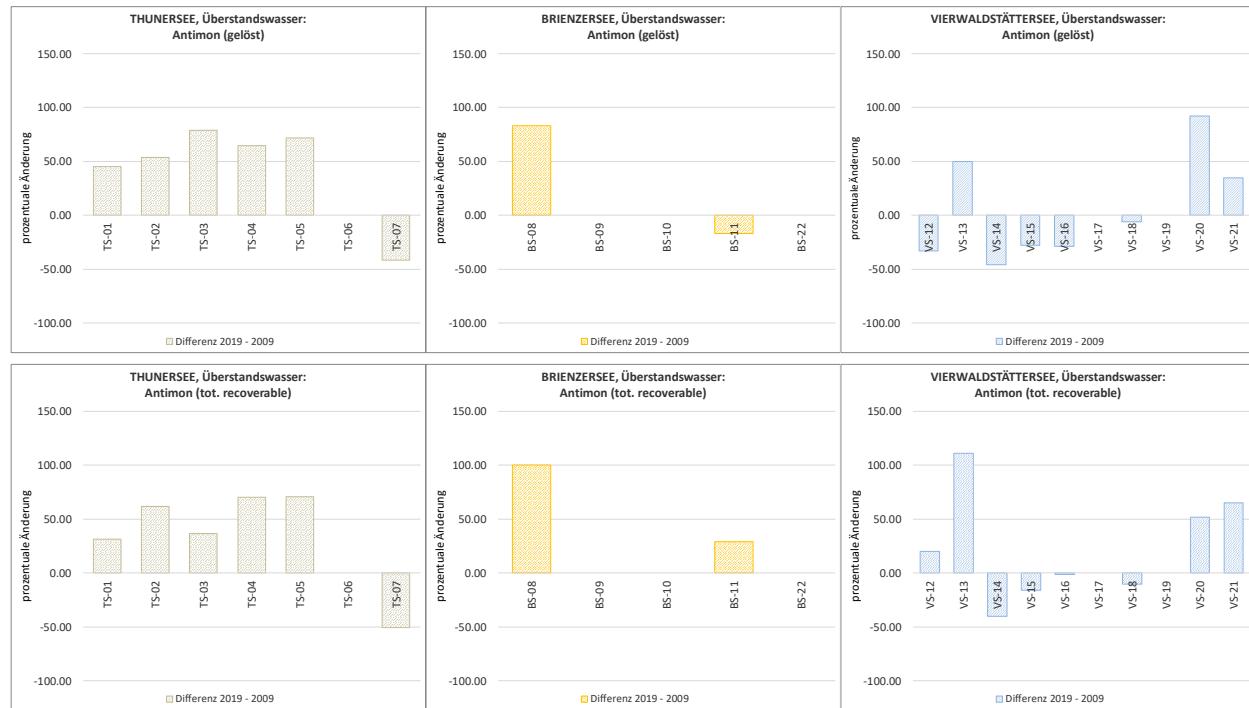


Diagramm 1: prozentuale Änderung des Antimongehalts im Überstandswasser, Differenz 2019 zu 2009 (vgl. Anhang C2)

Aus Diagramm 1 lässt sich erkennen, dass beim Thunersee der gelöste und totale Antimongehalt zugenommen hat. Dies betrifft die „Hot-Spot“-Standorte (TS-01 und TS-02), die Versenkungsstandorte (TS-03 und TS-04) wie auch den Referenzstandort TS-05. Beim zweiten Referenzstandort TS-06 ist eine Abnahme des Antimongehalts zu erkennen. Beim Brienzersee hat der Antimongehalt (gelöst und total) beim „Hot-Spot“-Standort BS-08 ebenfalls zugenommen. Beim Referenzstandort BS-11 ist kein klarer Trend erkennbar, hier hat im Jahr 2019 der gelöste Antimongehalt abgenommen aber der totale Antimongehalt zugenommen. Beim Vierwaldstättersee lässt sich eine Zunahme beim „Hot-Spot“-Standort VS-13 erkennen (Antimon gelöst und total) wie auch bei den Referenzstandorten VS-20 und VS-21. Die übrigen Standorte zeigen im Vierwaldstättersee einen abnehmenden oder stagnierenden Trend.

Im Diagramm 2 ist die prozentuale Änderung des totalen und gelösten Bleigehaltes ersichtlich:

⁸ Bei der Probenahmestandortbezeichnung in den Diagrammen mit wurde die Jahrzahl nicht notiert. Z.B. TS09-01 vs. TS19-01 wurde als TS-01 notiert. Gemäss Kapitel 1 sind nicht alle Probenahmestandorte von 2009 und 2019 identisch, folglich konnte auch kein direkter Vergleich der Messwerte durchgeführt werden.

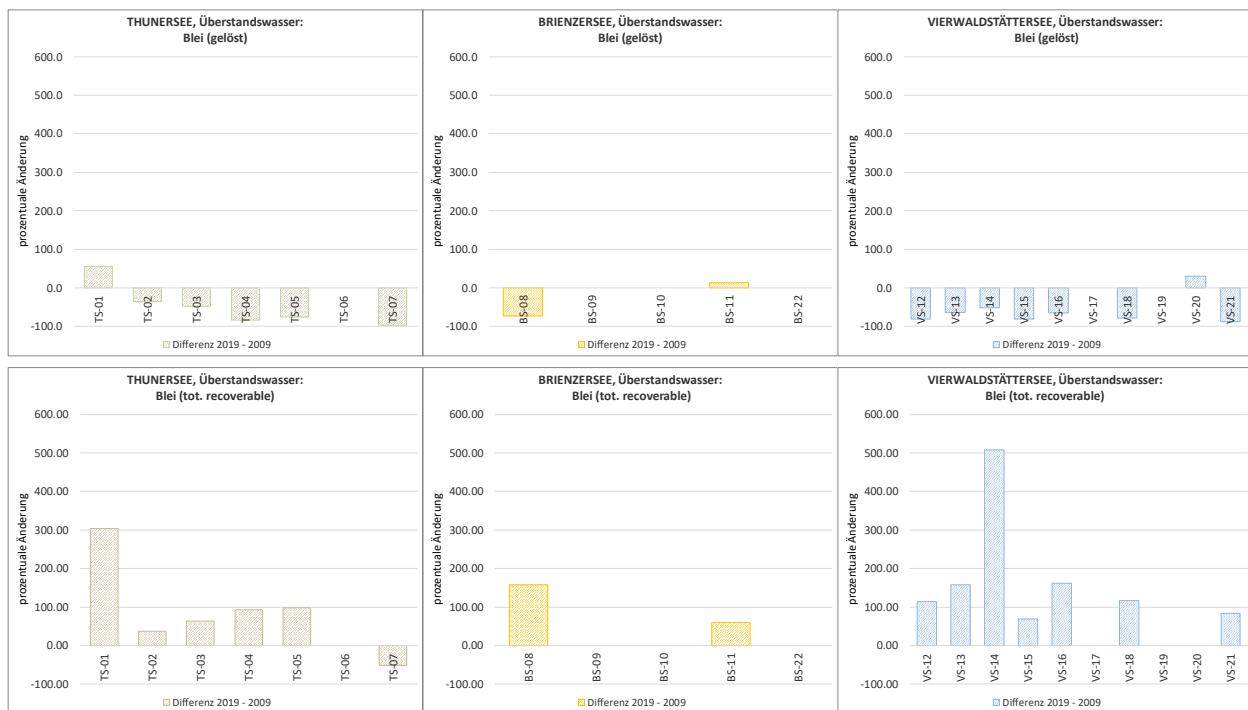


Diagramm 2: prozentuale Änderung des Bleigehalts im Überstandswasser, Differenz 2019 zu 2009
(vgl. Anhang C2)

Aus Diagramm 2 fällt auf, dass im Allgemeinen der gelöste Bleigehalt abgenommen hat. Dagegen hat der totale Bleigehalt zugenommen. Nur beim Standort TS-01 („Hot-Spot“-Thunersee) und BS-11 (Referenzstandort Brienzersee) hat der gelöste und totale Bleigehalt zugenommen. Im Vierwaldstättersee hat beim Referenzstandort VS-20 der gelöste Bleigehalt zugenommen, der totale Gehalt blieb stabil. Generell ist aber anzumerken, dass der totale Bleigehalt deutlich stärker zugenommen hat als die gelöste Bleikonzentration.

3.2.2. Porenwasser

Im Porenwasser wurde analog zum Überstandswasser die Parameter Antimon, Blei und Quecksilber durch das Labor Spiez bestimmt. Die ermittelten Maximalkonzentrationen sind in der Tabelle 9 zusammengefasst.

Tabelle 9: Zusammenfassung maximale Schwermetallkonzentrationen im Porenwasser

See	Standorttyp	Tiefe	Sb max.		Pb max.		Hg max.		
			gelöst, µg/l	total, µg/l	gelöst, µg/l	total, µg/l	gelöst, ng/l	total, ng/l	
Thunersee	Hot-Spot	Top	0.081	0.079	0.14	0.33	0.73	1.6	
		Bottom	0.085	0.095	0.33	0.97	1.00	1.2	
	Versenkung	Top	0.097	0.071	0.10	0.16	0.17	0.71	
		Bottom	0.073	0.071	0.17	0.41	0.34	1.2	
	Referenz	Top	0.072	0.060	0.098	0.22	0.38	4.0	
		Bottom	0.077	0.064	0.15	0.32	0.28	1.4	
Brienzersee	Versenkung	Top	0.11	0.10	0.065	0.76	0.59	1.2	
		Bottom	0.21	0.25	<0.05	0.32	0.47	1.1	
	Rutschung	Top	0.089	0.093	0.074	0.33	0.38	1.7	
		Bottom	0.081	0.091	<0.05	0.077	n.a.	n.a.	
	Referenz	Top	0.24	0.21	0.12	0.15	n.a.	n.a.	
		Bottom	n.a.	0.31	n.a.	0.14	n.a.	n.a.	
VWS	Hot-Spot	Top	0.13	0.17	0.28	15	0.96	15	
		Bottom	0.057	0.11	0.065	6.2	0.40	5.1	
	Referenz	Top	0.11	0.081	0.055	4.8	0.46	5.8	
		Bottom	0.11	0.15	<0.05	7.2	0.35	6.0	
Konzentrationswert AltIV (gelöst)			10	/	50	/	1000	/	
Anforderungen GSchV (Anforderungen oberirdische Gewässer)			/	/	1	10	10	30	

„<“ = kleiner als Bestimmungsgrenze der Analysemethode; „/“ = nicht vorhanden

Die Tabelle 9 zeigt, dass die gelösten Antimon-, Blei- und Quecksilberkonzentrationen deutlich unter den Konzentrationswerten der AltIV liegen. Die Messwerte unterschreiten auch die Anforderungen der GSchV. Davon ausgenommen ist jedoch der totale Bleigehalt bei einem „Hot-Spot“-Standort (VS19-16, Bauen-Sisikon), welcher mit 15 µg/l über der Anforderung der GSchV von 10 µg/l liegt. Zu erwähnen ist dabei, dass die totalen Bleigehalte im Vierwaldstättersee („Hot-Spot“- und Referenzstandorte) um das rund 10-fache grösser sind als beim Thuner- und Brienzersee. Dies ist im Diagramm 3 dargestellt. Weiter lässt sich in Diagramm 3 erkennen, dass im Bereich „Top“ beim Vierwaldstättersee die totale Bleikonzentration gegenüber 2009 tendenziell zugenommen hat. Beim Thuner- und Brienzersee hat der totale Bleigehalt im Porenwasser „Top“ dagegen seit 2009 tendenziell abgenommen. Bei den Teilproben „Bottom“ ist beim totalen Bleigehalt des Porenwassers, bei allen drei Seen, generell eine Abnahme zu erkennen (siehe auch Diagramm 4 auf der folgenden Seite).

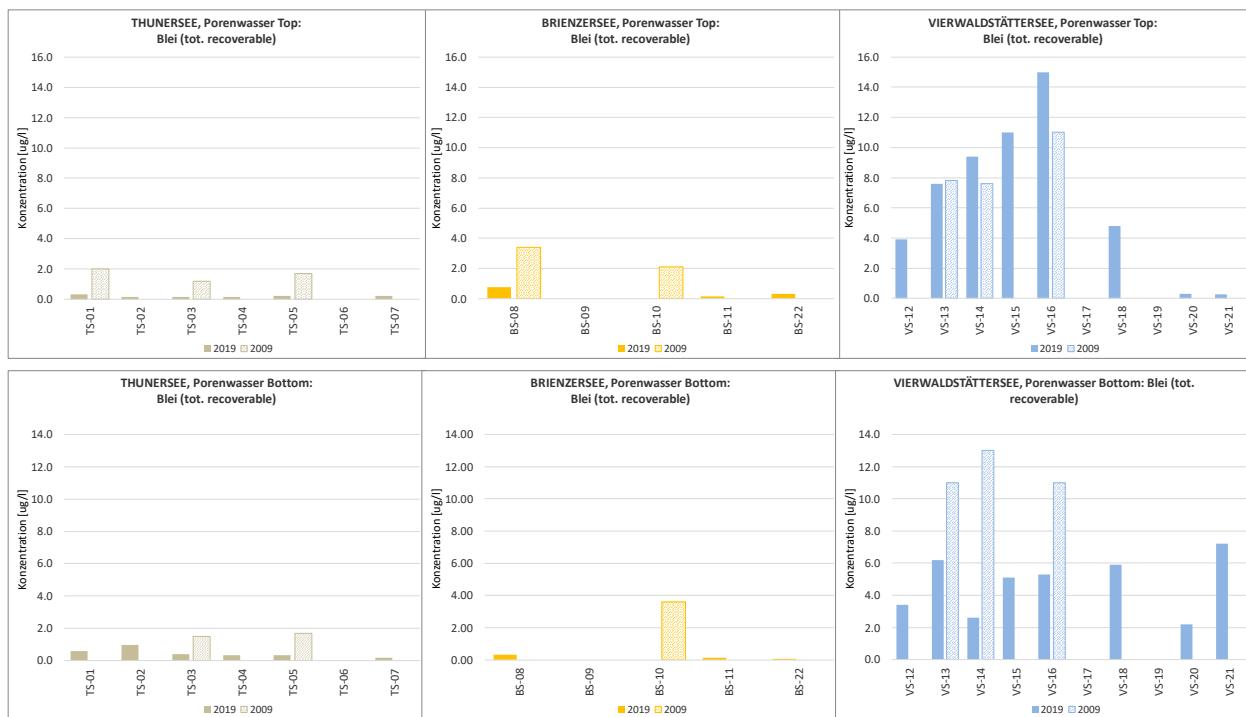


Diagramm 3: totaler Bleigehalt im Porenwasser „Top“ und „Bottom“, Messwerte 2019 im Vergleich zu 2009 (vgl. Anhang D1 & D3)



Diagramm 4: totaler Bleigehalt im Porenwasser „Top“ und „Bottom“, Differenz 2019 zu 2009, prozentuale Änderung (vgl. Anhang D2 & D4)

Die gelösten Bleigehalte zeigen dagegen einen anderen Trend zum totalen Bleigehalt. Dies ist im Diagramm 5 ersichtlich: Der Thunersee weist dabei eine sehr starke Zunahme des gelösten Bleigehalts im Bereich „Top“ und „Bottom“ von 1'000 – 2'000 % auf und betrifft die Standorte TS-01 („Hot-Spot“), TS-03 (Versenkungsstandort) und TS-05 (Referenzstandort). Im Brienzersee ist eine Zunahme des gelösten Bleigehalts beim Versenkungs-Standort BS-08 von rund 300 % im Bereich „Top“ zu erkennen. Beim Vierwaldstättersee VS-13, VS-14 und VS-16 zeigt sich eine Zunahme der gelösten Bleikonzentrationen im Bereich „Top“ von 85 % bis 750 %. In den Teilproben „Bottom“ ist diese prozentuale Zunahme deutlich kleiner (VS-13: 4 %, VS-14: 35 % und VS-16: 70 %).

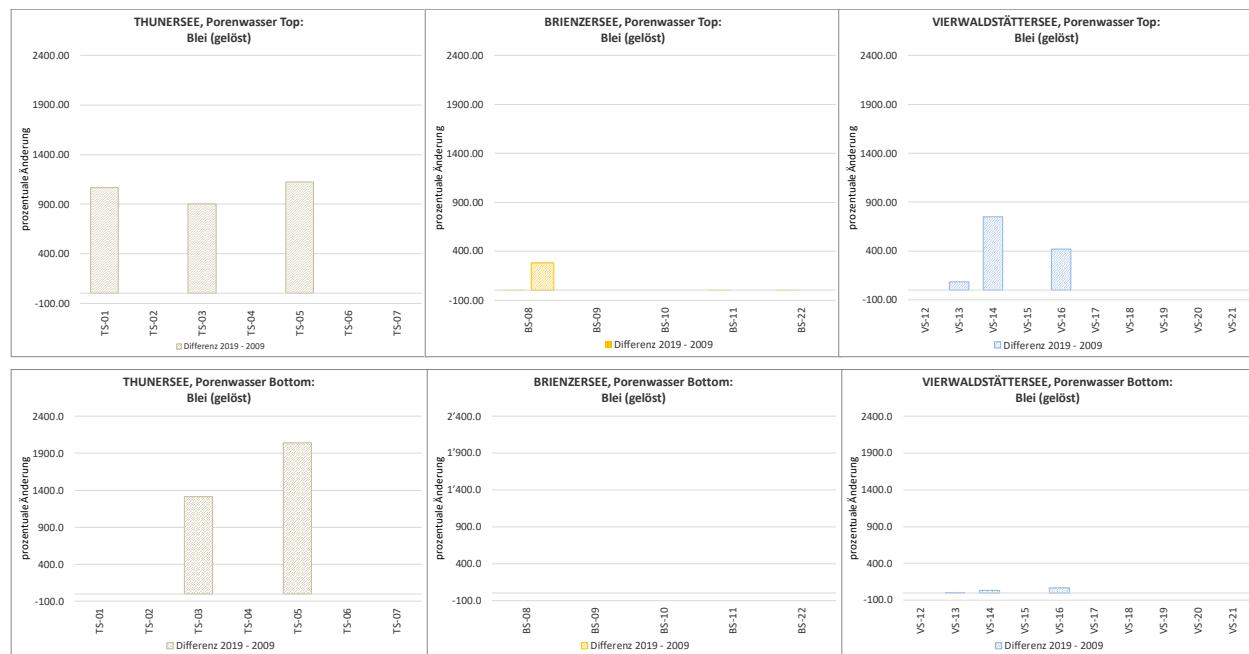


Diagramm 5: gelöster Bleigehalt im Porenwasser „Top“ und „Bottom“, Differenz 2019 zu 2009, prozentuale Änderung (vgl. Anhang D1 & D3)

3.2.3. Feststoffproben

Durch das Labor Spiez wurde in den Feststoffproben der Sedimentkerne die Schwermetallkonzentrationen bestimmt. Ergänzend zum Analyseprogramm des Überstands- und Porenwassers wurden bei den Feststoffen die Parameter Chrom, Nickel, Kupfer, Zink, Cobalt und Cadmium bestimmt. In Abweichung zum Probenahmeprogramm 2009 der Feststoffproben wurde die Parameter Arsen und Molybdän nicht analysiert. Die maximalen Konzentrationen sind in der Tabelle 10 enthalten.

Tabelle 10: Zusammenfassung maximale Schwermetallkonzentrationen im Feststoff (Sediment)

See	Standorttyp	Tiefe	Pb	Sb	Hg	Cr	Ni	Cu	Zn	Co	Cd	
			max. mg/kg									
Thunersee	Hot-Spot	Top	15	0.39	0.050	15	27	17	57	8	0.20	
		Bottom	19	0.41	0.064	18	33	21	71	10	0.26	
	Versenkung	Top	22	0.39	0.083	23	35	24	90	12	0.33	
		Bottom	17	0.82	0.064	20	32	21	68	10	0.22	
	Referenz	Top	24	0.46	0.085	23	35	24	95	11	0.31	
		Bottom	19	0.36	0.070	24	37	25	78	12	0.25	
Brienzersee	Versenkung	Top	31	0.36	0.024	32	30	28	98	13	0.37	
		Bottom	27	0.17	0.019	30	26	25	94	12	0.34	
	Rutschung	Top	34	0.32	0.029	36	34	31	110	15	0.41	
		Bottom	28	0.27	0.023	31	28	24	96	13	0.36	
	Referenz	Top	15	0.14	0.011	27	28	20	66	11	0.22	
		Bottom	14	0.12	0.011	26	27	19	63	11	0.22	
VWS	Hot-Spot	Top	37	0.60	0.075	30	32	25	120	13	0.52	
		Bottom	35	0.42	0.053	30	31	26	110	13	0.46	
	Referenz	Top	31	0.48	0.077	30	30	25	100	11	0.50	
		Bottom	35	0.72	0.047	30	28	24	110	11	0.47	
Richtwert U nach AHR			50	/	0.50	50	50	40	150	250	1	
Durchschnittliche geogene Grundgehalte ⁹			<0.7- 40	/	<0.1- 0.2	<1- 120	1- 70	1.5- 45	5- 140	/	<0.03- -0.3	

„<“ = kleiner als Bestimmungsgrenze der Analysemethode; „/“ = nicht vorhanden

Aus der Tabelle 10 ist ersichtlich, dass alle erhobenen Messwerte unter dem Richtwert U (unbelastet) liegen. Zudem befinden sich die maximalen Konzentrationen in den Feststoffproben im Bereich der durchschnittlichen geogenen Grundgehalte.

Die Messwerte der Schwermetalle Antimon und Blei, welche bereits im Überstands- und Porenwasser in speziellem Fokus standen, sind in den folgenden Diagrammen grafisch dargestellt.

⁹ Nach Tuchschen 1995 und BUWAL 2003



Diagramm 6: prozentuale Änderung der Blei- und Antimonkonzentration im Sediment „Top“, Differenz 2019 zu 2009 (vgl. Anhang E2)

Aus dem Diagramm 6 ist ersichtlich, dass im Thunersee beim „Hot-Spot“-Standort TS-01 eine leichte Zunahme des Antimongehalts in der Sedimentprobe „Top“ vorliegt. Dies ist auch bei den Referenzstandorten „oberes Becken“ (TS-05) und „unteres Becken“ (TS-07) zu erkennen. Beim Brienzersee weist der „Versenkungsstandort“ (BS-08) eine leichte Zunahme des Antimongehalts auf, der Referenzstandort BS-11 eine Abnahme. Im Vierwaldstättersee ist im Allgemeinen eine Zunahme des Antimongehalts in der Teilprobe „Top“ von bis zu 70 % ersichtlich. Dies betrifft alle Standorte, mit Ausnahme des Referenzstandortes „unteres Urner Becken“ (VS-21).

Der Bleigehalt weist im Thunersee eine Abnahme auf. Im Brienzersee liegt der Bleigehalt nur beim Referenzstandort BS-11 leicht höher. Im Vierwaldstättersee weisen die Referenzstandorte (VS-20 und VS-21) eine Abnahme des Bleigehalts auf. Die übrigen Standorte zeigen eine schwache Zunahme der Bleikonzentration, wobei diese beim Standort VS-12 („Hot-Spot“) mit 33 % am grössten ist.

Die Veränderung im unteren Bereich des Sedimentkerns „Bottom“ ist im Diagramm 7 dargestellt:

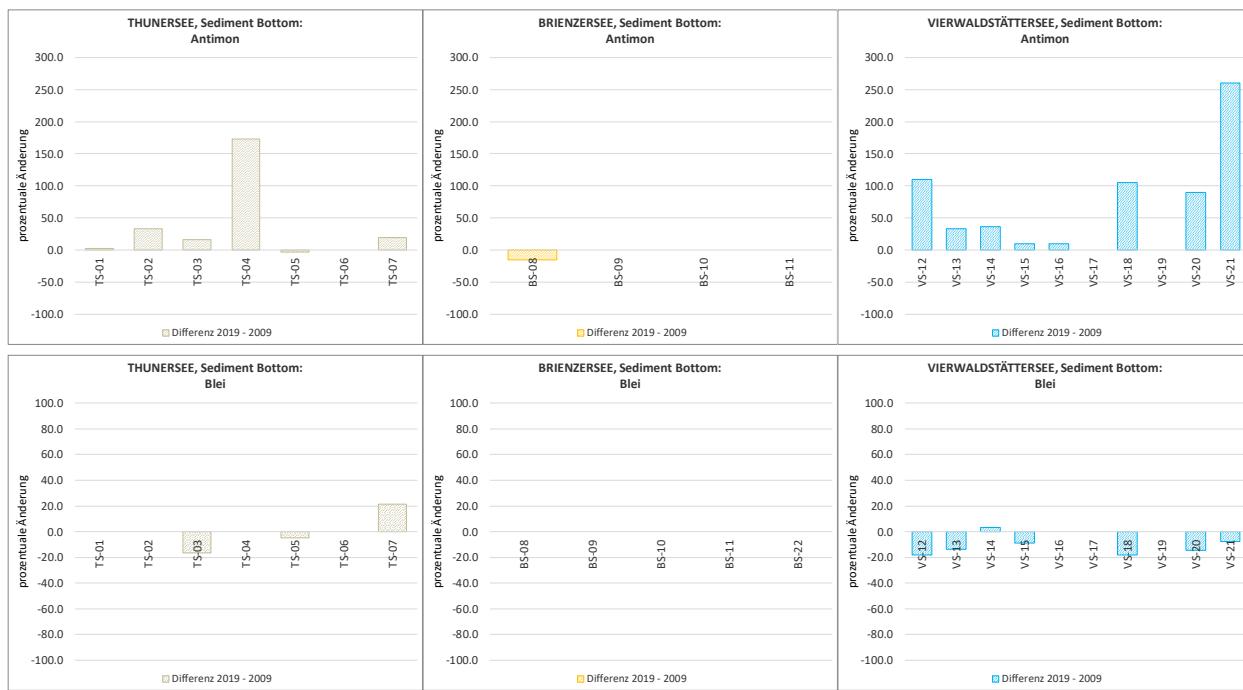


Diagramm 7: prozentuale Änderung der Blei- und Antimonkonzentration im Sediment „Bottom“, Differenz 2019 zu 2009 (vgl. Anhang E4)

Die Teilproben „Bottom“ zeigen im Thunersee und im Vierwaldstättersee gesamthaft betrachtet einen zunehmenden Antimongehalt. Im Thunersee beträgt die stärkste Zunahme des Antimongehalts rund 170 % („Versenkungsstandort“ TS-04). Bei den Referenz- und „Hot-Spot“-Standorten ist der Antimongehalt im Vergleich zu den Messwerten aus dem Jahr 2009 um maximal 33 % gestiegen. Im Brienzersee sind in den „Bottom“-Proben die Antimongehalte stabil geblieben oder haben leicht abgenommen („Versenkungsstandort“ BS-08). Im Vierwaldstättersee weisen alle „Bottom“-Proben eine Zunahme des Antimongehalts auf. Am stärksten ist diese beim Referenzstandort VS-21 (unteres Urner Becken).

Die Bleikonzentration ist im Brienzersee nur im Referenzstandort TS-07 angestiegen, beim Versenkungsstandort im Brienzersee ist jedoch keine Änderung des Bleigehalts zu erkennen. Beim Vierwaldstättersee haben alle Bleikonzentrationen leicht abgenommen oder sind stabil. Nur der Probenahmestandort VS-14 („Hot-Spot“ Rütli) weist eine minimale Zunahme von rund 3% auf.

3.3. Perchlorat

Durch die Laborgemeinschaft SüdWest wurde bei allen Proben des Überstandswassers der Perchloratgehalt bestimmt. Alle Perchlorat-Konzentrationen lagen unter der analytischen Bestimmungsgrenze von 0.3 µg/l. Bei den Probenahmen im Jahr 2009 konnte ebenfalls kein Perchlorat nachgewiesen werden.

3.4. Zusammenfassung Resultate Sedimentprobenahme 2019

In den vorhergehenden Kapiteln wurden die Ergebnisse der Probenahmekampagne im Jahr 2019 detailliert erläutert. Um einen besseren Überblick zu verschaffen werden die relevanten Punkte im Folgenden zusammengefasst:

- Das Überstandswasser wies bei zwei Proben aus „Hot-Spot“-Bereichen Nitroglycerin mit einer Konzentration von 0.1 µg/l auf. Dieser Wert ist knapp über der analytischen Nachweisgrenze und 40-mal kleiner als der Konzentrationswert nach AltIV. Alle übrigen 15 Sprengstoffparameter konnten in keiner Probe des Überstandswassers nachgewiesen werden.
- Durch die Bachema AG konnten keine Spuren von Sprengstoffen im Porenwasser nachgewiesen werden, auch nicht Nitroglycerin. Nur mit einer hochauflösenden Analysemethode konnte bei einem Standort (BS19-11) durch das Gewässer- und Bodenschutzlabor Spuren des Sprengstoffes PETN (2.8 bis 2.1 ng/l) nachgewiesen werden. Diese Konzentrationen sind rund 5'000-mal kleiner als der Trinkwasser-Leitwert.
- In den Feststoffproben wurde bei zwei „Bottom“-Proben TNT nachgewiesen. Dies bei einem Versenkungsstandort im Thunersee (TS19-03, 5 µg/kg) und bei einem „Hot-Spot“-Standort im Vierwaldstättersee (VS19-16, 2 µg/kg). Diese Konzentrationen sind in Bezug auf den Richtwert für unbelastetes Material von 50 µg/kg mindestens 10-mal kleiner. Beim Standort VS19-16 wurde 2,4-DNT (2 µg/l) und Diphenylamin (DPA, 3 µg/kg) nachgewiesen. Zudem wurde bei der Teilprobe „Top“ beim „Hot-Spot“-Standort VS19-13 2,4-DNT mit 5 µg/kg festgestellt. Dabei entspricht die 2,4-DNT-Konzentration der Teilprobe „Bottom“ (VS19-16) dem Richtwert U, bei der Teilprobe „Top“ (VS19-13) wird dieser Richtwert U um das 2.5-fache überschritten.
- Wie bei der Probenahme 2009 wurde im Thunersee beinahe bei allen Proben DPA (Diphenylamin) festgestellt.
- Die Schwermetallgehalte im Überstandswasser weisen keine Überschreitungen des Konzentrationswertes nach AltIV auf, resp. erfüllen die Anforderungen der GSchV.
Der Antimongehalt (gelöst und total) hat im Überstandswasser bei einer Grosszahl der Proben zugenommen. Die gelöste Bleikonzentration hat dabei generell abgenommen, die totale Bleikonzentration hingegen hat generell zugenommen.
- Die Schwermetallgehalte im Porenwasser liegen unter dem Konzentrationswert nach AltIV. Zudem erfüllen sie die Anforderungen der GSchV mit Ausnahme der Teilprobe „Top“ beim „Hot-Spot“-Standort VS19-16. Hier überschreitet der totale Bleigehalt des Porenwassers (15 µg/l) die Anforderungen der GSchV von 10 µg/l.
Das gelöste Blei im Porenwasser „Top“ hat signifikant zugenommen, dies betrifft alle drei Seen. In der Teilprobe „Bottom“ hat der gelöste Bleigehalt nur im Thunersee zugenommen. Im Brienzer- und Vierwaldstättersee ist dieser in etwa stabil.
Die totale Bleikonzentration hat in den Teilproben „Top“ und „Bottom“ in allen drei Seen abgenommen oder ist stabil. Davon ausgenommen sind die beiden Hot-Spot-Standorte VS19-16 und VS19-14. Hier ist eine leichte Zunahme von 20 % bis 40 % festzustellen.

- Die Schwermetallgehalte in den Feststoffproben sind alle kleiner als der Richtwert U für unbelastetes Material. Zudem liegen die Schwermetallgehalte in den Feststoffproben im Bereich der natürlichen geogenen Grundgehalte.

Die Bleigehalte in den Teilproben „Top“ zeigen im Allgemeinen einen stabilen bis abnehmenden Trend. Davon ausgenommen sind die „Hot-Spot“-Standorte im Vierwaldstättersee. Die entsprechende Zunahme ist gering. Die Teilproben „Bottom“ zeigen abnehmende Tendenzen. Davon ausgenommen ist der Referenzstandort TS-07.

Die Antimongehalte zeigen sowohl in den Teilproben „Top“ und „Bottom“ abnehmende Werte. Davon ausgenommen ist der Referenzstandort TS-05, der „Hot-Spot“ -Standort VS-14. Bei beiden Standorten ist eine geringe Zunahme des Antimongehalts festzustellen.

4. Diskussion der Resultate

4.1. Schwermetalle

Im Kapitel Ergebnisse wurden Veränderungen der Konzentrationswerte der Schwermetalle Blei und Antimon festgestellt. Variabilitäten bestehen zwischen den einzelnen Seen, wie auch zwischen den Standorten. Diese Änderungen zeigen kein systematisches Muster, welches auf eine Freisetzung der versenkten Munition hindeutet.

Zudem ist zu erwähnen, dass die Probenahmestandorte 2019 und 2009 bei den selben Bereichen in den Seen entnommen wurden. Jedoch variiert die exakte Lage der einzelnen Sedimentkerne zwischen rund 5 m und 50 m voneinander. Diese Abweichung der Position ist erwartungsgemäss bei einer Probenahme ab einem Boot in Wassertiefen von bis zu 260 m nicht zu vermeiden. Die versunkene Munition ist nicht homogen über die Teilbereiche versenkt, daher ist ein gewisser Schwankungsreich der Messergebnisse immer vorhanden.

Für die Beurteilung ist weiterhin massgebend, dass die relevanten gelösten Schwermetallgehalte (Pb, Sb und Hg) allgemein auf tiefem Niveau unterhalb der Konzentrationswerte nach AltIV lagen. Lediglich ein Messwert des Porenwassers (VW19-16, 15 µg/l Pb total) lag über den Anforderungen der GSchV von 10 µg/l. Relevant in Bezug auf die Gewässerschutzverordnung ist dabei aber das Überstandswasser, da dieses das Seewasser wiederspiegelt. Im Überstandswasser wurden alle Konzentrationswerte nach AltIV, wie auch die Anforderungen der GSchV, eingehalten.

4.2. Sprengstoffe

4.2.1. Methodik

Eine Freisetzung von Sprengstoffen in das Seewasser würde stattfinden, wenn von der versenkten Munition im Seesediment Stoffe gelöst würden und diese gelösten Stoffe im Seesediment migrieren und anschliessend das Seewasser erreichen würden. Eine solche Migration von gelösten Sprengstoffen würde über das Porenwasser erfolgen.

Im Rahmen der umfassenden Gefährdungsabschätzung 2012 wurde abgeleitet, dass der Abbau von gelösten Sprengstoffen schneller stattfindet als die Überdeckung der Munition durch die Sedimentation. Diese Aussage stammt von Agroscope/Eawag (2005), basierend auf den experimentell bestimmten Halbwertszeiten von gelösten Sprengstoffen.

Aufgrund der Kombination einer allgemein schlechten Löslichkeit der Sprengstoffe in Wasser, einer geringen Freisetzung aus der grösstenteils intakten Munition in das Porenwasser und dem raschen Abbau von allfällig gelösten Sprengstoffen im Porenwasser, wurde das Freisetzungspotential der Sprengstoffe in das Seewasser als gering beurteilt.

Aus Analogiegründen muss aber für die Überwachung davon ausgegangen werden, dass ein Abbau von allfällig gelösten Sprengstoffen im Zeitraum zwischen Probenahme, Probenaufbereitung und Analytik stattfindet. Dieser Effekt wird im Folgenden diskutiert. Für diese Abschätzung wurden folgende Annahmen getroffen:

- Sprengstoffe im Feststoff (Sediment) liegen in fester Form vor und sind folglich nicht gelöst. Sprengstoffe in fester Phase werden als stabil betrachtet und es findet kein Abbau wie bei gelöstem Sprengstoff statt. Daher entspricht der gemessene Laborwert dem „Ursprungswert“ zum Zeitpunkt der Probenahme.
- In den Experimenten der Agroscop/Eawag wurden Abbauraten für Sprengstoffe im „Seewasser mit Sediment“ und „nur Seewasser“ bestimmt. Für den Abbau von Sprengstoffen im Porenwasser wurden die Abbauraten „Seewasser mit Sediment“ verwendet. Für den Abbau im Überstandswasser die Abbauraten „nur Seewasser“.

Die folgende Tabelle fasst die Abbauraten und Halbwertszeiten für TNT, ADNT, Nitroglycerin, PETN und RDX gemäss Agroscope/Eawag (2005) zusammen.

Tabelle 11: Zusammenstellung Abbauraten und Halbwertszeiten von gelösten Sprengstoffen

Sprengstoff	Seewasser mit Sediment (S+S)		nur Seewasser (S)	
	Abbaurate ¹⁰ (d ⁻¹)	Halbwertszeit (d)	Abbaurate ¹⁰ (d ⁻¹)	Halbwertszeit (d)
TNT	0.76	0.9	0.19	3.7
ADNT	0.24	2.9	<0.01	>100
Nitroglycerin	0.39	1.8	0.12	5.8
PETN	0.13	5.4	0.015	47
RDX	0.040	17	<0.01	>70

¹⁰ Der Abbau der gelösten Sprengstoffe unterliegt einer Reaktionskinetik erster Ordnung. Dabei gilt: $t_{1/2} = \frac{1}{k} \ln 2 = \frac{0,693}{k}$; $t_{1/2}$ = Halbwertszeit, k = Abbaurate

Aus der Tabelle 11 ist zu erkennen, dass für gelöstes TNT kurze Halbwertszeiten im „Seewasser mit Sediment“ und im „nur Seewasser“ bestehen. Gelöstes ADNT weist ebenfalls tiefe Halbwertszeiten im „Seewasser mit Sediment“ auf. Im Seewasser erfolgt der Abbau jedoch langsamer. Nitroglycerin (gelöst) besitzt im „Seewasser mit Sediment“ und im „nur Seewasser“ ebenfalls relativ kurze Halbwertszeiten. Der Abbau von gelöstem PETN erfolgt ähnlich wie bei ADNT im „Seewasser mit Sediment“ relativ rasch, im „nur Seewasser“ jedoch relativ langsam. RDX (gelöst) weist im „Seewasser mit Sediment“, wie auch im „nur Seewasser“ relativ lange Halbwertszeiten auf.

Um den Effekt des Abbaus dieser fünf gelösten Sprengstoffe in der Zeitspanne zwischen Probenahme, Probenaufbereitung und Analysezeitpunkt zu beurteilen wurde die Abnahme der Stoffkonzentration basierend auf den Abbauraten aus Tabelle 11 berechnet. Für die Abbauraten von ADNT und RDX im „nur Seewasser“ von < 0.01 wurde der Wert 0.009 verwendet.

Als Ausgangskonzentration wurde der jeweilige Konzentrationswert nach AltIV und der Trinkwasserleitwert (TWL) berücksichtigt und berechnet nach welcher Zeit die analytische Bestimmungsgrenzen (BG) unterschritten werden. Diese Zeiten sind in der Tabelle 12 zusammengefasst.

Tabelle 12: Zeit bis zur Unterschreitung der analytischen Bestimmungsgrenze in Tagen (d),
Ausgangskonzentration K-Wert AltIV und Trinkwasserleitwert

	TNT-Konzentration		ADNT-Konzentration		PETN-Konzentration		Nitroglycerin-Konzentration		RDX-Konzentration	
	S+S	S	S+S	S	S+S	S	S+S	S	S+S	S
Bachema (AltIV)	7	25	18	512	51	308	10	31	86	256
Bachema (TWL)	1	4	3	78	36	47	12	39	58	378
GBL (AltIV)	11	41*	37	1'024*	86	615*	22	70*	200	891*
GBL (TWL)	5	20*	23	590*	71	354*	24	77*	173	769*

* bei Probenahme 2019 Überstandswasser nicht durch GBL analysiert.

Aus der Tabelle 12 lässt sich erkennen, dass im Porenwasser gelöstes TNT mit einer Ausgangskonzentration von 10'000 ng/l (K-Wert AltIV) mit der Analytik des GBL im Ultraspurenbereich bereits nach 11 Tagen nicht mehr bestimmt werden konnte, durch die Bachema AG trifft dies nach 7 Tagen ein. Das Porenwasser aus dem Thunersee ging 22 Tage nach der Probenahme bei den Laboratorien ein, beim Brienzersee nach 19 Tagen und beim Vierwaldstättersee nach 16 Tagen. Folglich hätte sich gelöstes TNT bereits abgebaut und nicht mehr nachgewiesen werden können. Nach der Abzentrifugierung des Porenwassers steht dieses Wasser aber nicht mehr in Kontakt mit dem Sediment und es würde die Halbwertszeit für „Seewasser“, welche grösser ist, gelten. Der Abbau im Porenwasser wird somit in der durchgeführten Berechnung überschätzt.

Beim TNT Abbau entsteht als erstes Abbauprodukt ADNT. Sollte TNT im Porenwasser vorhanden gewesen sein, so wäre auch ADNT in der Probe enthalten. Eine gelöste ADNT-Konzentration von 7'000 ng/l (K-Wert AltIV) wäre durch das GBL Kt. BE 37 Tage nach der Probenahme nachweisbar, durch die Bachema AG noch nach 18 Tage. ADNT wurde bei keiner Probe des Porenwassers nach-

gewiesen. Daher ist auch nicht davon auszugehen, dass TNT in der Ursprungsprobe des Porenwassers mit einer Konzentration im Bereich des K-Wertes nach AltIV vorhanden war.

Im Überstandswasser baut sich gelöstes TNT langsamer ab. Die Überstandswasserproben wurden nur durch die Bachema AG analysiert. Gelöstes TNT mit einer Ausgangskonzentration im Bereich des AltIV-Konzentrationswertes hätte 24 Tage nach der Probenahme noch bestimmt werden können. Diese Proben erreichten das Labor nach 3 bis 4 Tagen. Bei allen Proben des Überstandswassers wurde kein TNT nachgewiesen. Somit kann festgehalten werden, dass im Überstandswasser kein K-Wert für TNT nach AltIV überschritten wurde.

PETN und RDX in relevanten Konzentrationen hätten im Porenwasser und im Überstandswasser durch beide Laboratorien noch bestimmt werden können.

Gelöstes Nitroglycerin im Bereich des Konzentrationswertes nach AltIV hätte durch das GBL bestimmt werden können, jedoch wahrscheinlich nicht durch die Bachema AG. Im Überstandswasser, aufgrund des langsameren Abbaus, war die Bestimmung durch die Bachema AG möglich gewesen. Nitroglycerin wurde dabei durch die Bachema AG im Überstandswasser bei zwei Proben im Vierwaldstättersee nachgewiesen mit einer Konzentration von 0.1 µg/l. Wird aufgrund der Abbaurate die „ursprüngliche“ Nitroglycerin-Konzentration zum Zeitpunkt der Probenahme ($dT = 4$ Tage) berechnet, erhält man einen Wert von 0.170 µg/l, welcher immer noch deutlich unter dem Trinkwasserleitwert (10 µg/l) und unter dem AltIV K-Wert von 4 µg/l liegt.

Die Bestimmung von gelöstem PETN und RDX, wäre durch beide Laboratorien möglich gewesen. Dabei wurde PETN bei einem Referenzstandort (Teilprobe „Top“ und „Bottom“) im Brienzersee durch das GBL nachgewiesen (siehe auch folgendes Kapitel). Berechnet man die gemessene Konzentration zum Zeitpunkt der Probenahme so erhält man einen Wert von 43 ng/l und 32 ng/l. Diese Konzentration liegt immer noch um Größenordnungen unter dem TWL und dem K-Wert nach AltIV. Bei (allfälligen) zukünftigen Probenahmen sollte aber darauf geachtet werden, die Zeit zwischen Probenahme und Analyse möglichst kurz zu halten. Zudem erscheint es auch sinnvoll, insbesondere für Sprengstoffe mit einer kurzen Halbwertszeit, das Porenwasser und das Überstandswasser auch durch das GBL analysieren zu lassen, da dieses Labor eine deutlich tieferen Bestimmungsgrenze realisieren kann.

4.2.2. PETN

PETN wurde nur im Porenwasser des Sedimentkerns beim Referenzstandort Brienzersee (BS19-11) im Nanogramm-Bericht nachgewiesen (Teilproben „Top“ 2.8 ng/l und „Bottom“ 2.1 ng/l). Im Bericht zum Explosivstoffmonitoring des Seewassers¹¹ wurde ein Anstieg der PETN-Konzentration im Jahr 2009 im Brienzersee festgestellt. Dieser Eintrag konnten mit den Sprengarbeiten für den Bau des Entlastungsstollens „Gletschersee Grindelwald“ in Zusammenhang gebracht werden. Der Referenzstandort BS19-11 befindet sich rund 1.5 km vor dem Mündungsbereich der Lütschine. Aus der Abbildung 3 ist zu erkennen, dass sich der Standort innerhalb des Deltabereiches der Lütschine befindet. Die sedimentologische Struktur des Seebodens (Wellenstrukturen, ähnlich Wanderdünen und Erosionsrinnen) weisen auf eine ausgesprochen hohe Sedimentationsrate hin, wie auch auf einen Sedimenttransport am Seegrund. Es ist daher davon auszugehen, dass die ermittelte PETN-Konzentration

¹¹ Militärische Munitionsversenkungen in Schweizer Seen, Explosivstoffmonitoring 2012-2016, 16.12.2016, Geologische Beratungen Schenker Korner Richter AG

beim Referenzstandort nicht von versenkter Munition stammt, sondern in den vergangenen 10 Jahren einsedimentiert wurde oder Sedimente umgelagert wurden. Da PETN in der Teilprobe „Top“ und „Bottom“ nachgewiesen wurde, ist bei diesem Standort eine maximale Sedimentationsrate von etwa 15 cm pro Jahr anzunehmen. Diese Sedimentationsrate ist deutlich höher als die mittlere Sedimentationsrate von 0.5 cm pro Jahr der Haupt-Versenkungsstandorte. Dies scheint aufgrund der dynamischen Deltastruktur plausibel zu sein. Der Referenzstandort BS19-11 stellt somit keinen idealen Referenzstandort dar.

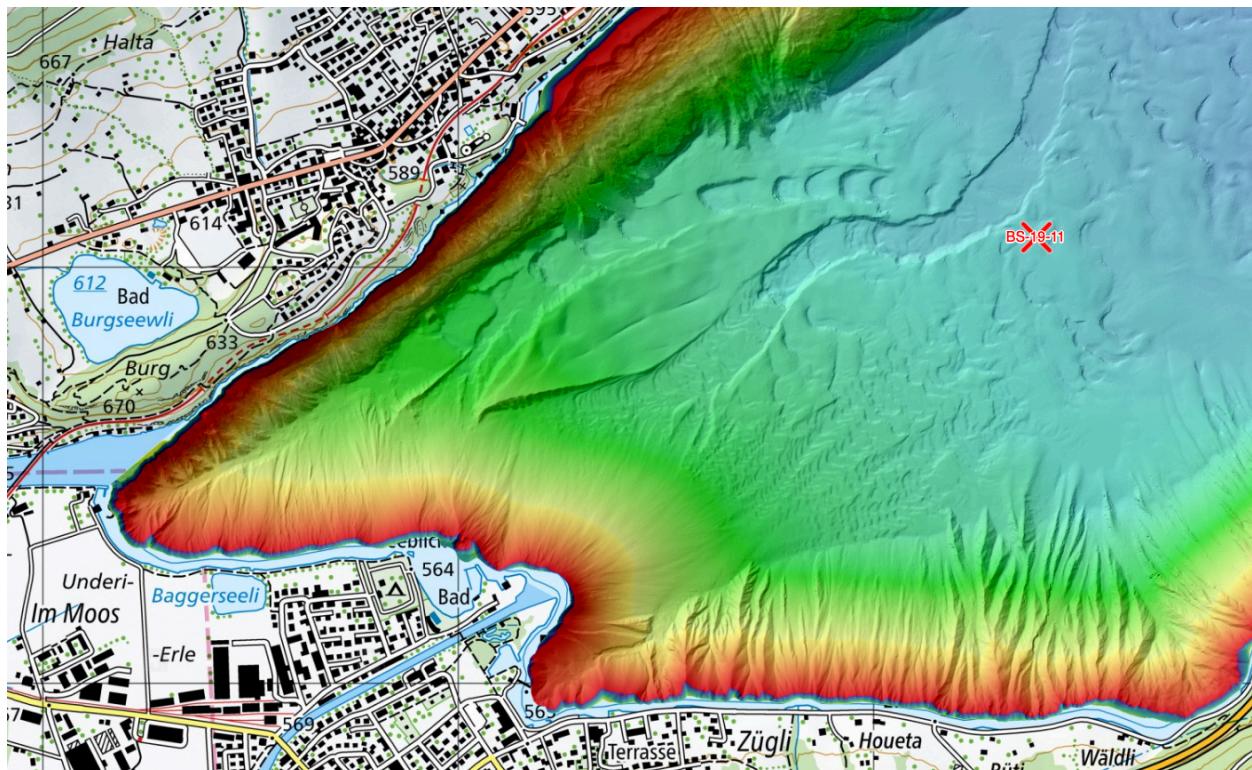


Abb. 3: Deltabereich der Lütschine, Brienzersee mit Probenahmestandort BS19-11;
swissBATHY3D Reliefschattierung (Quelle: map.geo.admin.ch)
reproduziert mit Bewilligung JA100125

4.3. DPA

4.3.1. Thunersee

In den Sedimentproben des Thunersees wurden beinahe bei allen Proben Diphenylamin (DPA) nachgewiesen. Diese Feststellung wurde auch im Rahmen der umfassenden Gefährdungsabschätzung 2012 gemacht. Untersuchungen zur Herkunft von DPA zeigten, dass dieser Explosivstoff ohne signifikante Unterschiede an Versenkungs- und Referenzstandorten nachgewiesen wurde. In der vertikalen Verteilung innerhalb des Sediments liessen sich die relevanten Ablagerungen zeitlich gut eingrenzen. Dieser Eintrag konnte 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.

Im Jahr 2019 wurden keine Sedimentkerne zeitlich so hoch aufgelöst analysiert wie im Rahmen der umfassenden Gefährdungsabschätzung 2012. Der Parameter DPA zeigte im Thunersee 2019 aber ein ähnliches Verteilungsmuster wie zuvor. Somit bestehen keine Hinweise darauf, dass im Thunersee DPA aus Explosivstoffen freigesetzt wird. Es ist daher weiterhin davon auszugehen, dass das DPA im Thunersee von der ehemaligen Pulverfabrik Wimmis stammt. Weiter wurde wie in der umfassenden Gefährdungsabschätzung DPA nur im Feststoff und nie im Poren- oder Überstandswasser festgestellt. Dies unterstreicht die geringe Mobilität dieses Stoffes.

4.3.2. Vierwaldstättersee

Bei der Probenahme 2019 wurde DPA auch bei einer Probe im Vierwaldstättersee nachgewiesen, dies betrifft die „Bottom“-Probe (VS19-16). Hier wurde, wie im Thunersee, DPA nur im Feststoff und nicht im Poren- oder Überstandswasser nachgewiesen. Bei diesem Standort wurde aber auch der Sprengstoff 2,4-DNT festgestellt. Daher ist davon auszugehen, dass bei dieser Probe DPA von versenkten Explosivstoffen in das Sediment freigesetzt wurde. Eine Freisetzung über das Porenwasser in den Vierwaldstättersee lässt sich aber nicht feststellen.

4.4. Nitroglycerin

Nitroglycerin wurde bei den „Hot-Spot“-Standorten VS19-12 (Gersauer Becken) und VS19-16 (Bauen Sisikon) im Überstandswasser nachgewiesen. Nitroglycerin wurde jedoch bei diesen Probenahmestellen weder im Porenwasser noch im Feststoff nachgewiesen. Dies wäre jedoch zu erwarten, wenn das Nitroglycerin aus der versenkten Munition stammen würde. Auch wiesen keine anderen Proben des Vierwaldstätter-, Thuner- oder Brienzersees auf Nitroglycerin hin. Daher ist neben der versenkten Munition auch eine externe Schadstoffquelle in Betracht zu ziehen. Hier käme die ehemalige Sprengstofffabrik in Sisikon in Frage, bei welcher abgelagerte Sprengstoffe (u.a. Nitroglycerin) an Land nachgewiesen sind. Bei der Freisetzung aus Bereichen dieser ehemaligen Explosivstofffabrik wäre, analog dem DPA-Eintrag im Thunersee, von einem systematischen Nachweis im Vierwaldstättersee auszugehen. Dies konnte jedoch nicht beobachtet werden. Das nachgewiesene Nitroglycerin im Überstandswasser wies die minimale analytische Bestimmungsgrenze von 0.1 µg/l auf. Daher ist es auch möglich, dass Nitroglycerin systematisch im Vierwaldstättersee vorhanden ist, jedoch bei den übrigen Standorten eine Konzentration von (knapp) unter 0.1 µg/l aufweist. Folglich kann keine eindeutige Aussage über die Herkunft des Nitroglycerins im Vierwaldstättersee gemacht werden.

5. Schlussfolgerungen

In den Sedimentkernen 2019 wurden bei Standorten im Thuner- und Vierwaldstättersee TNT und 2,4-DNT nachgewiesen: Bei einer Probe aus dem Sediment des Vierwaldstättersees DPA, wie auch bei zwei Proben des Überstandswassers im Vierwaldstättersee Nitroglycerin. Jedoch wurde bei keiner Probe des Porenwassers Sprengstoffe oder Abbauprodukte davon festgestellt. Ausgenommen ist davon ein Referenzstandort im Brienzersee. Bei diesem Standort ist aber anzunehmen, dass das nachgewiesene PETN nicht von der versenkten Munition stammt, sondern auf eine externe Quelle zurückzuführen ist.

Bei den beiden Standorten im Vierwaldstättersee, bei welchen Nitroglycerin im Überstandswasser nachgewiesen wurde, konnte dieser Stoff nicht im Porenwasser oder in den Seesedimenten nachgewiesen werden.

Aufgrund der grossen Menge an versenkter Munition im Thuner-, Brienzer- und Vierwaldstättersee liegt es innerhalb des Erwartungsbereiches, dass bei einzelnen Proben Sprengstoffe nachgewiesen werden können. In Hinblick auf eine mögliche Gefährdung des relevanten Schutzbutes muss aber betont werden, dass keine Konzentrationen nachgewiesen wurden, welche zu einer schädlichen oder lästigen Einwirkung des oberirdischen Gewässers hindeuten. Insbesondere ist eine Freisetzung von gelösten Sprengstoffen in relevanten Konzentrationen aus der versenkten Munition über das Porenwasser in das Seewasser nicht zu erkennen. Dieser Zustand wurde im Rahmen der Sedimentprobenahme 2019 wie auch beim Monitoring des Seewassers, welches bis ins Jahr 2016 ausgeführt wurde, festgestellt. Daher entspricht der „Ist-Zustand“ immer noch dem „Soll-Zustand“, welcher in der umfassenden Gefährdungsabschätzung 2012 formuliert wurde (keine relevante Freisetzung von Sprengstoffen der versenkten Munition in das Seewasser). Mit zunehmender Sedimentation vergrössert sich der Abstand zwischen versenkter Munition und Seewasser kontinuierlich. In Kombination mit dem Abbau der Stoffe ist aufgrund der entsprechenden Halbwertszeiten immer noch davon auszugehen, dass allfällig gelöste Sprengstoffe nicht in relevanten Konzentrationen den Seegrund verlassen, resp. in das Seewasser gelangen können.

Folglich sind nach Art. 10 AltIV die belasteten Standorte weiterhin als weder sanierungsbedürftig noch als überwachungsbedürftig zu beurteilen.

6. Weiteres Vorgehen

Wie im vorhergehenden Kapitel dargestellt wurde, sind die Bereiche der versenkten Munition als belastete Standorte zu klassieren, welche aber weder überwachungs- noch sanierungsbedürftig sind. Das Schadstoffpotential bleibt unverändert hoch, ebenso die Bedeutung des Schutzgutes „oberirdisches Gewässer“, dessen Stellenwert langfristig eher noch zunehmen wird. Um eine allfällige Änderung des „Ist-Zustandes“ frühzeitig erkennen zu können, wird vorgeschlagen, das Explosivstoffmonitoring im Thuner-, Brienzer- und Vierwaldstättersee auch in Zukunft weiterzuführen.

Durch die zuständigen Fachstellen VBS, Kanton Bern und Aufsichtskommission Vierwaldstättersee wurde bereits beschlossen, das Explosivstoffmonitoring wie folgt fortzuführen:

- a) Weitere Probenahmen im Seewasser im Rhythmus von 5 Jahren ab 2019 (2024 und 2029).
- b) Wiederholung der Untersuchungen von Sedimentkernen, Porenwasser und Überstandwasser im Jahr 2029.

Nach jeder Messkampagne wird die Situation neu beurteilt und allfällig notwendige Massnahmen daraus abgeleitet.

Luzern, den 18. Mai 2020



Dr. Franz Schenker
(Qualitätssicherung)

franz.schenker@fsgeol.ch
041 375 61 00



Simon Werthmüller
(Sachbearbeitung)

simon.werthmuller@fsgeol.ch
041 375 61 07