



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

### Explosivstoffmonitoring 2012-2016



#### Auftraggeber

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

#### Untersuchungsperimeter

- Thunersee
- Brienzersee
- Urnersee
- Gersauerbecken

#### Berichtverfasser

Geologische Beratungen Schenker  
Korner Richter AG  
Büttenenhalde 42  
6006 Luzern

#### Projektaufsicht:

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

**Titelbild:**  
Probenahme auf dem Thunersee  
Februar 2012

24. Mai 2017

## Inhaltsverzeichnis

---

<b>1. Ausgangslage und Zielsetzung</b>	<b>1</b>
1.1. Ausgangslage	1
1.2. Zielsetzung	1
<b>2. Durchgeführte Arbeiten</b>	<b>2</b>
2.1. Untersuchte Stoffe und Methoden	2
2.2. Beurteilungswerte	3
2.3. Monitoringprogramm	4
2.4. Probenahmestellen	6
<b>3. Resultate</b>	<b>8</b>
3.1. Analyseprogramm 1: Schwermetalle und Perchlorat	8
3.1.1. Brienzersee	9
3.1.2. Thunersee	10
3.1.3. Urnersee	11
3.1.4. Gersauerbecken	12
3.1.5. Seewasserfassung Tellsplatte	13
3.1.6. Seewasserfassung Salzfass	14
3.1.7. Übersicht Schwermetalle	15
3.2. Analyseprogramm 2: Explosivstoffe und TNT-Abbauprodukte	15
3.2.1. Octogen: Brienzer- und Thunersee	16
3.2.2. Hexogen: Brienzer- und Thunersee	17
3.2.3. TNT-Abbauprodukte: Brienzer- und Thunersee	18
3.2.4. Nitropenta: Brienzer- und Thunersee	19
3.2.5. Octogen: Urnersee - Gersauerbecken	20
3.2.6. Hexogen: Urnersee - Gersauerbecken	21
3.2.7. TNT-Abbauprodukte: Urnersee - Gersauerbecken	22
3.2.8. Nitropenta PETN: Urnersee - Gersauerbecken	23
3.2.9. Octogen: Seewasserfassungen	24
3.2.10. Hexogen: Seewasserfassungen	25
3.2.11. TNT-Abbauprodukte: Seewasserfassungen	26
3.2.12. Nitropenta PETN: Seewasserfassungen	27
3.2.13. Zusammenfassung Explosivstoffe und TNT-Abbauprodukte	28
3.3. Analyseprogramm 3: Explosivstoffe und Hilfsstoffe (DPA)	28
<b>4. Diskussion</b>	<b>29</b>
<b>5. Schlussfolgerungen und weiteres Vorgehen</b>	<b>31</b>

## **Verzeichnis der Abbildungen, Tabellen und Diagramme**

---

### **Abbildungen**

Abbildung 1: Geografische Lage der Probenahmestelle Brienzsee .....	6
Abbildung 2: Geografische Lage der Probenahmestelle Thunersee .....	6
Abbildung 3: Geografische Lage der Probenahmestellen Urnersee und Gersauerbecken .....	7
Abbildung 4: Geografische Lage der Trinkwasserfassungen Tellspalte und Salzfass .....	7
Abbildung 5: Grafische Darstellung der analytischen Nachweis- und Bestimmungsgrenze. ....	8

---

### **Tabellen**

Tabelle 1: Übersicht Analyseprogramm 1 .....	2
Tabelle 2: Übersicht Analyseprogramm 2 .....	2
Tabelle 3: Übersicht Analyseprogramm 3 .....	3
Tabelle 4: Übersicht der entnommenen Proben Breinzer-, Thuner- und Vierwaldstättersee .....	4
Tabelle 5: Übersicht der entnommenen Proben bei den Seewasserfassungen .....	5
Tabelle 6: Maximal gemessene Konzentrationen Analyseprogramm 2 und der massgebende Beurteilungswert .....	15
Tabelle 7: Maximal gemessene Konzentrationen Analyseprogramm 2 und der massgebende Beurteilungswert .....	28

---

## Diagramme

Diagramm 1: Schwermetall-Konzentrationen Brienzersee .....	9
Diagramm 2: Schwermetall-Konzentrationen Thunersee.....	10
Diagramm 3: Schwermetall-Konzentrationen Urnersee.....	11
Diagramm 4: Schwermetall-Konzentrationen Gersauerbecken.....	12
Diagramm 5: Schwermetall-Konzentrationen Seewasserfassung Tellsplatte .....	13
Diagramm 6: Schwermetall-Konzentrationen Seewasserfassung Salzfass .....	14
Diagramm 7: Octogenkonzentratonen Brienzer- und Thunersee.....	16
Diagramm 8: Hexogenkonzentratonen Brienzer- und Thunersee .....	17
Diagramm 9: Konzentrationen TNT-Abbauprodukte Brienzer- und Thunersee .....	18
Diagramm 10: Nitropenta-Konzentrationen Brienzer- und Thunersee.....	19
Diagramm 11: Octogen-Konzentrationen Urnersee und Gersauerbecken .....	20
Diagramm 12: Hexogen-Konzentrationen Urnersee und Gersauerbecken.....	21
Diagramm 13: Konzentrationen TNT-Abbauprodukte Urnersee und Gersauerbecken .....	22
Diagramm 14: Nitropenta-Konzentrationen Urnersee und Gersauerbecken .....	23
Diagramm 15: Octogen-Konzentrationen Seewasserfassungen Salzfass und Tellsplatte .....	24
Diagramm 16: Hexogen-Konzentrationen Seewasserfassungen Salzfass und Tellsplatte .....	25
Diagramm 17: Konzentrationen TNT-Abbauprodukte Seewasserfassungen Salzfass und Tellsplatte .....	26
Diagramm 18: Nitropenta-Konzentrationen Seewasserfassungen Salzfass und Tellspaltte .....	27

## Beilagen

### *Beilage A: Grafische Darstellung der Messresultate*

Beilage A1.1:	.....	Brienzsee, Analyseprogramm 1
Beilage A1.2:	.....	Brienzsee, Analyseprogramm 2
Beilage A2.1:	.....	Thunersee, Analyseprogramm 1
Beilage A2.2:	.....	Thunersee, Analyseprogramm 2
Beilage A3.1:	.....	Urnersee, Analyseprogramm 1
Beilage A3.2:	.....	Urnersee, Analyseprogramm 2
Beilage A4.1:	.....	Gersauerbecken, Analyseprogramm 1
Beilage A4.2:	.....	Gersauerbecken, Analyseprogramm 2
Beilage A5.1:	.....	Seewasserfassung Tellsplatte, Analyseprogramm 1
Beilage A5.2:	.....	Seewasserfassung Salzfass, Analyseprogramm 1
Beilage A5.3:	.....	Seewasserfassung Tellsplatte und Salzfass, Analyseprogramm 2

### *Beilage B: Tabellarische Zusammenstellung der Messwerte*

Beilage B1:	.....	Analyseprogramm 1
Beilage B2:	.....	Analyseprogramm 2
Beilage B3:	.....	Analyseprogramm 3

## Zusammenfassung

---

In der ersten Hälfte des letzten Jahrhunderts wurden in verschiedenen Schweizer Seen Munition und Munitionsbestanteile durch die Schweizer Armee versenkt.

Zwischen 2005 und 2010 wurden im Brienzer-, Thuner- und Vierwaldstättersee eine Vielzahl von Probenahmen, Messungen und Untersuchungen durchgeführt um zu beurteilen, ob die versenkte Munition zu schädlichen oder lästigen Einwirkungen auf oberirdische Gewässer – insbesondere auf Seewasser – führen oder ob eine konkrete Gefahr besteht, dass solche Einwirkungen entstehen. Die Untersuchungsresultate wurden im Rahmen einer umfassenden Gefährdungsabschätzung bewertet und mit Bericht vom 3. Februar 2012 dokumentiert. Mit dem Nachweis eines geringen Freisetzungspotential der Stoffe aus den Munitionsabfällen konnte die Gefährdung des Seewassers als gering beurteilt werden; dies trotz hohem Schadstoffpotential und grosser Bedeutung des Schutzgutes.

Um diese Beurteilung zu überprüfen wurde zwischen 2012 und 2016 ein umfangreiches Monitoring durchgeführt. Dieses beinhaltete die periodische Entnahme von Wasserproben in den Seen und aus zwei Seewasserfassungen.

Aus den Resultaten der Wasser-Analysen geht hervor, dass Rückstände von Explosivstoffen und deren Abbauprodukten in allen drei Seen nachgewiesen werden können. Die gemessenen Konzentrationen liegen jedoch in der Grössenordnung von 1/100 bis 1/1'000 unterhalb den strengsten Vorgaben der Lebensmittel-Gesetzgebung.

Generell konnte ein abnehmender bis stabil tiefer Verlauf der Stoff-Konzentrationen festgestellt werden. Die abnehmenden Stoff-Konzentrationen werden auf die Behandlung von Abwasser zurückgeführt, welche von See-externen Quellen stammen. Solche Standorte wurden im Bericht vom 3. Februar 2012 dokumentiert.

Die Konzentration von Nitropenta, ein häufig auch zivil verwendeter Sprengstoff, zeigt während der Überwachungsperiode sprunghaft ansteigende Konzentrationen auf. Dies konnte auf die Erstellung des Entlastungsstollens für den Gletschersee in Grindelwald zurückgeführt werden. Zudem bestehen bei diesem Parameter weitere Hinweise, dass die Einträge dieses Stoffes in die Seen aus ziviler Anwendung erfolgen.

Während des Montitorings 2012 bis 2016 ergaben sich keine Hinweise auf einen Eintrag von Explosivstoffen oder von Abbauprodukten aus der versenkten Munition in das Seewasser.

Die Gefährdungsabschätzung aus dem Jahr 2012 ist daher als plausibel zu beurteilen.

Es besteht daher keine weitere Notwendigkeit das Monitoringprogramm fortzuführen. Vor allem als vertrauensbildene Massnahme soll jedoch im Jahr 2019 erneut eine Entnahme von Sedimentkernen mit Analyse des Porenwassers erfolgen, da diese eine wichtige Grundlage für die umfassende Gefährdungsabschätzung darstellen. Bei dieser Gelegenheit empfehlen wir die Durchführung einer weiteren Seewasserprobenahme.

# 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 „Umfassenden Gefährdungsabschätzung“ vom 3. Februar 2012 wurden die Untersuchungen und ihre Resultate dokumentiert und bewertet.

Trotz grossem Schadstoffpotential und 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.

Neben der Suche nach externen Schadstoffquellen wurde für die betroffenen Seen eine regelmässige Überwachung der Wasserqualität im Rahmen einer gewässerschutzspezifischen Massnahme als sinnvoll erachtet. Das vorgeschlagene Monitoringprogramm (vgl. Anhang P des Berichts „Umfassenden Gefährdungsabschätzung“ vom 3. Februar 2012) für den Zeitraum 2012 bis 2016 wurde durchgeführt. Die dabei gewonnenen Messwerte werden im vorliegenden Bericht zusammengestellt, bewertet und kommentiert.

## 1.2. Zielsetzung

---

Die Sichtung und Bewertung der Untersuchungsresultate des vierjährigen Monitorings haben Aussagen zu folgenden Fragen zum Ziel:

- Ist die Gefährdungsabschätzung vom 3.2.2012 immer noch plausibel, resp. gibt es Hinweise auf Stofffreisetzung aus der versenkten Munition?
- Zeigen die getroffenen Massnahmen zur Verringerung von Stoffeinträgen durch Dritte (externe Quellen wie Munitionsfabriken, Untertagebauten und Steinbrüche) Wirkung?
- Ist das Monitoring weiter zu führen und wenn ja, wie?

## 2. Durchgeführte Arbeiten

### 2.1. Untersuchte Stoffe und Methoden

Im Bericht „Umfassende Gefährdungsabschätzung“ wurde ein Stoffspektrum für die Wasseranalytik der Überwachungsperiode 2012-2016 festgelegt. Für eine vereinfachte Handhabung und Interpretation der Messdaten wurden drei Analyseprogramme definiert. Der Inhalt der Analyseprogramme, die angewendeten Analysemethoden und die Bestimmungsgrenzen werden im Folgenden zusammengefasst.

#### Analyseprogramm 1: Schwermetalle und Perchlorat

Die Schwermetall-Konzentrationen wurden durch das Labor-Spiez mittels ICP/MS bestimmt. Dieses Labor koordinierte zudem die Probenahmen und stellte die Probenahmegeräße zur Verfügung. Das Salz Perchlorat wurde durch das Interlabor Belp AG mittels QuPPe LC-MS / MD bestimmt.

Stoffe		Bemerkung	Bestimmungsgrenze	Messunsicherheit	Bitte beachten!
Abk.	Substanz		[µg/l]		
Pb gel.	Blei gelöst	Schwermetall	50	± 10 %	
Sb gel.	Antimon gelöst	Schwermetall	50	± 10 %	
Hg gel.	Quecksilber gelöst	Schwermetall	50	± 10 %	
Cd gel.	Cadmium gelöst	Schwermetall	50/15*	± 10 %	
Perchlorat	Perchlorat gelöst	Salz	20'000	± 2.5 %	

Tabelle 1: Übersicht Analyseprogramm 1 (\* Bestimmungsgrenze ab Herbst 2016)

#### Analyseprogramm 2: Explosivstoffe und TNT-Abbauprodukte

Die Explosivstoffe und die Abbauprodukte von TNT wurden durch das Gewässer- und Bodenschuttlabor, Amt für Abfall und Abfall (AWA) Kt. Bern bestimmt (Analysemethode: LC-MS / MS).

Stoffe		Bemerkung	Bestimmungsgrenze	Messunsicherheit	Hauptnutzung
Abk.	Substanz		[ng/l]		
TNT	Trinitrotoluol	Explosivstoff	1	± 50 %	
2,4-DANT	2,4-Diamino-6-Nitrotoluol	Abbauprodukt TNT	1	± 50 %	
2,6-DANT	2,6-Diamino-4-Nitrotoluol	Abbauprodukt TNT	1	± 50 %	
2-ADNT	2-Amino-4,6-Dinitrotoluol	Abbauprodukt TNT	0.03	± 50 %	
4-ADNT	4-Amino-2,6-Dinitrotoluol	Abbauprodukt TNT	0.03	± 50 %	
HMX	Oktogen	Explosivstoff	0.03	± 35 %	militärisch
RDX	Hexogen	Explosivstoff	0.03	± 35 %	
PETN	Nitropenta	Explosivstoff	0.03	± 50 %	

Tabelle 2: Übersicht Analyseprogramm 2

### Analyseprogramm 3: Explosivstoffe und Hilfsstoffe (DPA)

Weiter Explosivstoffe wurden durch die Bachema AG in Schlieren mittels LC MS / MS ermittelt.

Stoffe		Bemerkung	Bestimmungsgrenze	Messunsicherheit
Abk.	Substanz		[ng/l]	
DNB	1,3-Dinitrobenzol	Explosivstoffe	5	± 12-24 %
2,4-DNT	2,4-Dinitrotoluol		5	± 12-24 %
2,6-DNT	2,6-Dinitrotoluol		5	± 12-24 %
DPA	Diphenylamin		5	± 12-24 %

Tabelle 3: Übersicht Analyseprogramm 3

## 2.2. Beurteilungswerte

Für die Dateninterpretation der Resultate aus dem vorliegenden Monitoringprogramm wurden in der umfassenden Gefährungsabschätzung sogenannte „Beurteilungswerte“ definiert. Da nicht über das ganze analysierte Stoffspektrum offizielle Toxizitätsdaten vorhanden sind, richten sich die Beurteilungswerte nach den strengsten Vorgaben zu den einzelnen Parametern (Toleranzwert FIV, Anforderungswert GSchV, toxikologische Trinkwasser-Leitwerte TWL Deutschland, EPA Drinking Water Equivalent Level). Die gewählten Beurteilungswerte für die Schwermetalle liegen, mit Ausnahme von Antimon, deutlich tiefer als die Grenzwerte nach der Fremd- und Inhaltsstoffverordnung für Trinkwasser. Damit wird sowohl aus humantoxikologischer als auch aus ökotoxikologischer Sicht ein konservativer, bzw. vorsichtiger Ansatz verfolgt. Die so definierten Beurteilungswerte für die analysierten Stoffe sind in der Tabelle 4 dargestellt:

Stoffe		Beurteilungswert	
Abk.	Substanz	[µg/l]	Quelle
Pb gel.	Blei gelöst	1	Erfahrungswert SLMB <sup>1</sup> /Anforderung Fliessgewässer GSchV
Sb gel.	Antimon gelöst	5	Toleranzwert FIV <sup>2</sup>
Hg gel.	Quecksilber gelöst	0.02	2x Anforderung Fliessgewässer GSchV (entspricht BG)
Cd gel.	Cadmium gelöst	0.05	Anforderung Fliessgewässer GSchV
Perchlorat	Perchlorat	24.5	EPA Drinking Water Equivalent Level
Abk.	Substanz	[ng/l]	Quelle
TNT	Trinitrotoluol	200	Trinkwasserleitwert Deutschland
2,4-DANT	2,4-Diamino-6-Nitrotoluol	200	TWL abgeleitet analog ADNT
2,6-DANT	2,6-Diamino-4-Nitrotoluol	200	(gemäss GBL, J.D. Berset)
2-ADNT	2-Amino-4,6-Dinitrotoluol	200	Trinkwasserleitwert Deutschland
4-ADNT	4-Amino-2,6-Dinitrotoluol	200	Trinkwasserleitwert Deutschland
HMX	Oktogen	175'000	Trinkwasserleitwert Deutschland
RDX	Hexogen	1'000	Trinkwasserleitwert Deutschland
PETN	Nitropenta	10'000	Trinkwasserleitwert Deutschland
DNB	1,3-Dinitrobenzol	300	Trinkwasserleitwert Deutschland
2,4-DNT	2,4-Dinitrotoluol	50	Trinkwasserleitwert Deutschland
2,6-DNT	2,6-Dinitrotoluol	50	Trinkwasserleitwert Deutschland
DPA	Diphenylamin	70'000	Trinkwasserleitwert Deutschland

Tabelle 4: Definition der Beurteilungswerte

<sup>1</sup> Schweizerisches Lebensmittelbuch (SLMB)

<sup>2</sup> Verordnung über Fremd- und Inhaltsstoffe in Lebensmitteln (FIV) vom 26.06.1995, Stand am 15.04.2010

### 2.3. Monitoringprogramm

Der Zeitpunkt der Probenahmen wurde jeweils im Frühling (nach der Frühlingszirkulation) und im Herbst (nach der Sommerstagnation der Seen) gewählt. Die Probennahmen erfolgten in einem zweijahresrhythmus. Die Koordination und Verantwortung der Probenahmen lag bei den Kantonen. Die Wasserproben wurden in definierten Tiefen zwischen der Wasseroberfläche und dem Seegrund entnommen, so dass die ermittelten Stoffkonzentrationen einem Seeprofil entsprechen. Die jeweiligen Probenahmentiefen der einzelnen Seen können dem Kapitel 3 entnommen werden. Die geografische Lage der Probenahmestellen wird im Kapitel 2.3 beschrieben. In der Tabelle 5 sind der Zeitpunkt der Probenahme und das durchgeführte Untersuchungsprogramm aufgeführt:

Datum	Ort	Programm 1	Perchlorat	Programm 2	Programm 3	Feldparameter
Feb 11	Urnersee					
	Gersauerbecken					
	Thunersee	x	x			x
	Brienzersee	x	x			x
Feb 12	Urnersee	o	o	o	o	o
	Gersauerbecken	o	o	o	o	o
	Thunersee	o	o	x	x	x
	Brienzersee	o	o	x	x	x
Okt 12	Urnersee	x	o	x	o	o
	Gersauerbecken	x	o	x	o	o
	Thunersee	o	o	x	x	x
	Brienzersee	o	o	x	x	x
Feb 14	Urnersee	x	o	x	x	x
	Gersauerbecken	x	o	x	x	x
	Thunersee	x	x	x	x	x
	Brienzersee	x	x	x	x	x
Okt 14	Urnersee	x	x	x	x	x
	Gersauerbecken	x	x	x	x	x
	Thunersee	x	x	x	x	x
	Brienzersee	x	x	x	x	x
Feb 16	Urnersee	x	o	x	x	x
	Gersauerbecken	x	o	x	x	x
	Thunersee	x	x	x	x	x
	Brienzersee	x	x	x	x	x
Okt 16	Urnersee	x	x	x	x	o
	Gersauerbecken	x	x	x	x	o
	Thunersee	x	x	x	x	o
	Brienzersee	x	x	x	x	o

Tabelle 5: Übersicht der entnommenen Proben Breinzer-, Thuner- und Vierwaldstättersee (x = Probenahme durchgeführt, o = Probenahme nicht durchgeführt, (weiss) = keine Probenahme geplant)

Im Thuner- und Brienzersee wurden die Probenahmen vom Frühjahr 2012 aus organisatorischen Gründen im Jahr 2011 vorgeholt.

### Seewasserfassungen Vierwaldstättersee

Bei den Seewasserfassungen „Tellspalte“ (Urnersee) und „Salzfass“ (Luzernerbecken) wurden Wasserproben aus dem Leitungsnetz vor der UV-Behandlungsanlage entnommen. Die Entnahmetiefe der Seewasserfassung Salzfass beträgt 40 m, diejenige der Seewasserfassung Tellspalte 25 m. Die durchgeführten Probenahmen sind in der folgenden Tabelle dargestellt:

Datum	Ort	Programm 1	Perchlorat	Programm 2	Programm 3	Feldparameter
Feb 11	Tellspalte			o		o
	Salzfass			o		o
Okt 11	Tellspalte			o		o
	Salzfass			o		o
Feb 12	Tellspalte	o	o	x	o	o
	Salzfass	o	o	x	o	o
Okt 12	Tellspalte	x	o	x	o	o
	Salzfass	x	o	x	o	o
Feb 13	Tellspalte	o		o	o	o
	Salzfass	o		o	o	o
Nov 13	Tellspalte	x		x	o	o
	Salzfass	x		x	o	o
Feb 14	Tellspalte	x	o	x	x	x
	Salzfass	x	o	x	x	x
Okt 14	Tellspalte	x	x	x	x	x
	Salzfass	x	x	x	x	x
Feb 15	Tellspalte			o	o	o
	Salzfass			o	o	o
Okt 15	Tellspalte			o	o	o
	Salzfass			o	o	o
Feb 16	Tellspalte			o	o	o
	Salzfass	x		x	x	
Okt 16	Tellspalte			o	o	o
	Salzfass	x	x	x	x	o

Tabelle 6: Übersicht der entnommenen Proben bei den Seewasserfassungen (x = Probenahme durchgeführt, o = Probenahme nicht durchgeführt, (weiss) = keine Probenahme geplant)

Die Koordination und Verantwortung der Probenahmen lag bei den Kantonen. Beim Monitoring der beiden Seewasserfassungen im Vierwaldstättersee bestehen zwischen geplanten und effektiv durchgeführten Analysen grössere Lücken. Die verpassten Probenahmen/Analysen erfolgten jedoch ohne Absicht, aufgrund von Personalwechseln und Änderungen der Zuständigkeit. Da die Seewasserfassungen als ergänzende Standorte in das Monitoring-Programm aufgenommen wurden, ergeben sich durch die vorhandenen Lücken keine Auswirkungen auf die Beurteilung der Trends in den Tiefenprofilen.

## 2.4. Probenahmestellen

### Brienzsee

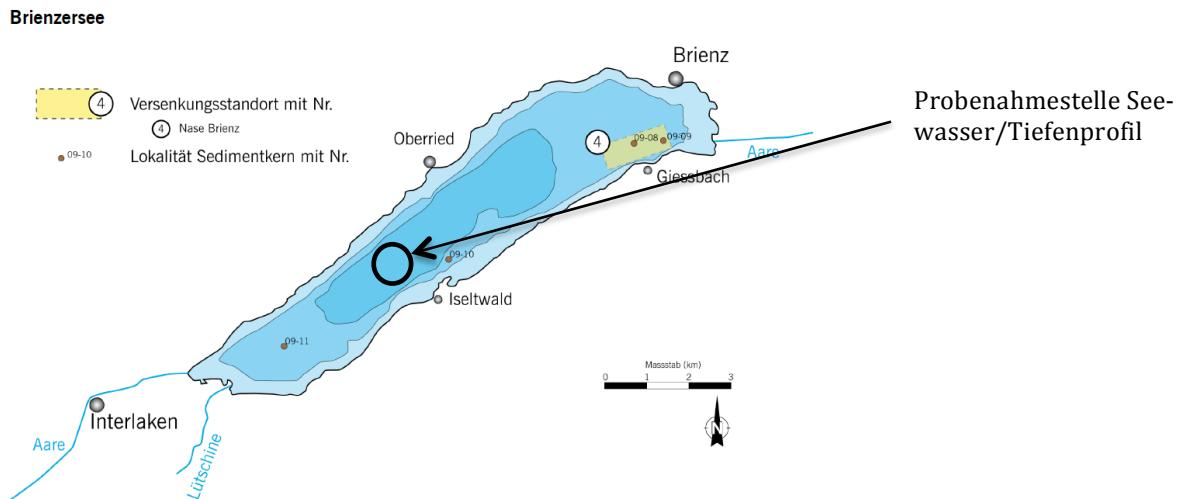


Abbildung 1: Geografische Lage der Probenahmestelle Brienzsee

### Thunersee

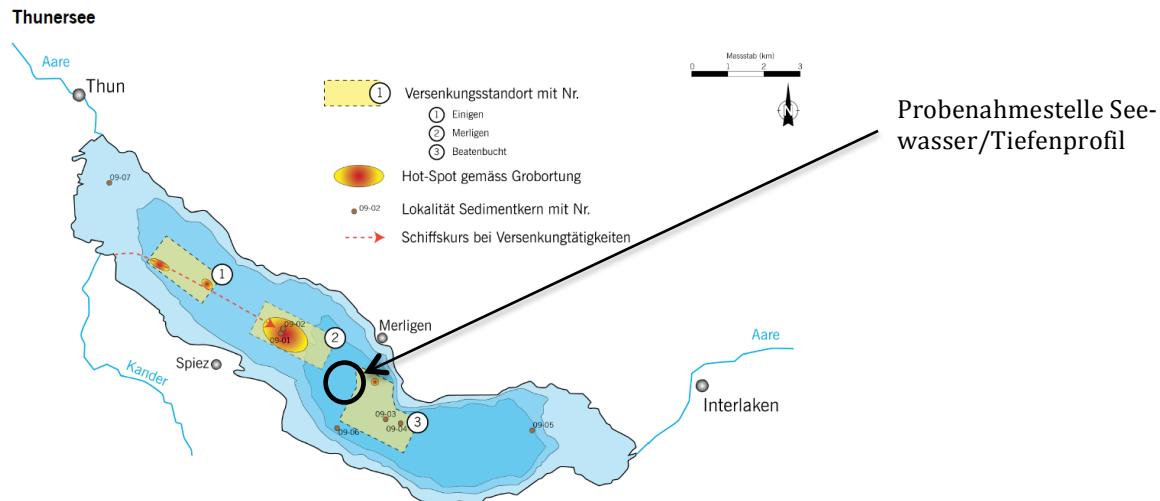


Abbildung 2: Geografische Lage der Probenahmestelle Thunerseesee

### Vierwaldstättersee Gersauerbecken und Urnersee

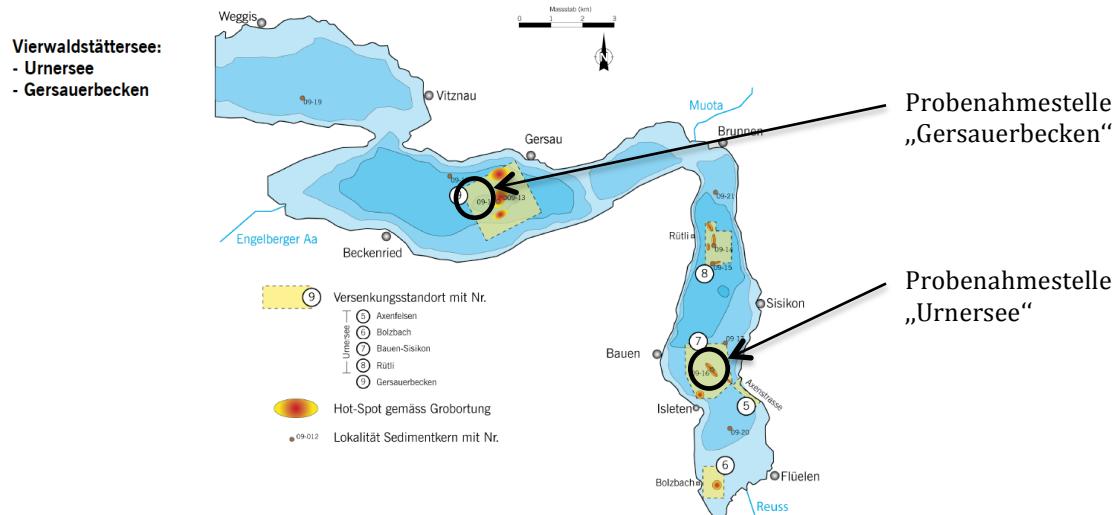


Abbildung 3: Geografische Lage der Probenahmestellen Urnersee und Gersauerbecken

### Vierwaldstättersee Seewasserfassungen

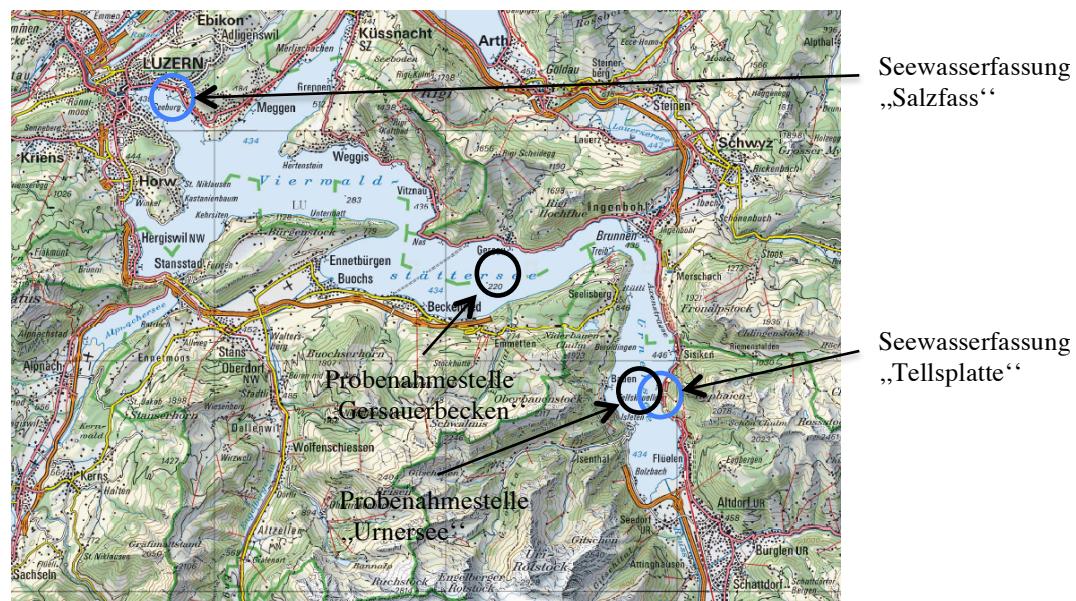


Abbildung 4: Geografische Lage der Trinkwasserfassungen Tellsplatte und Salzfass (blaue Kreise), Probenahmestellen Urnersee und Gersauerbecken (schwarze Kreise).

## 3. Resultate

Im vorliegenden Bericht werden die relevanten Messwerte für jeden See vorgestellt, geordnet nach Analyseprogramm. Die anschliessende Diskussion ist in Abhängigkeit der Stoffe gegliedert, da teilweise die einzelnen Seen untereinander verglichen werden.

Damit der Verlauf der Stoffkonzentrationen der einzelnen Analyseprogramme miteinander verglichen werden konnten, wurden die Beilage 1 (grafische Darstellung der Messwerte) nach den Probenahmestandorten eingeteilt. In der Beilage 2 sind die erhobenen Messwerte tabellarisch zusammengefasst.

### 3.1. Analyseprogramm 1: Schwermetalle und Perchlorat

Perchlorat besitzt eine Nachweisgrenze von 10 µg/l und wurde bei keiner Messung nachgewiesen. In den folgenden Abschnitten werden daher nur die Schwermetall-Konzentrationen der einzelnen Seen aufgezeigt. Messwerte welche unter der Nachweisgrenze lagen, sind in den Diagrammen mit einem „Null-Wert“ verzeichnet. Bei Messwerten, welche zwischen der Nachweis- und der Bestimmungsgrenze lagen, wurde der halbe Wert der Bestimmungsgrenze eingetragen. Die Abbildung 5 zeigt den Unterschied von Nachweis- und Bestimmungsgrenze.

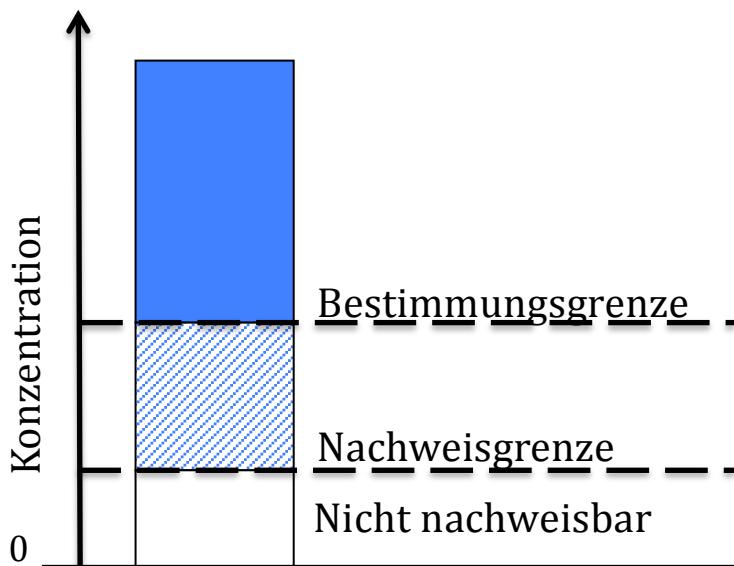


Abbildung 5: Grafische Darstellung der analytischen Nachweis- und Bestimmungsgrenze

Die Beurteilungswerte der einzelnen Parameter (siehe Kapitel 2.2) sind in den folgenden Diagrammen rot umrandet.

### 3.1.1. Brienzersee

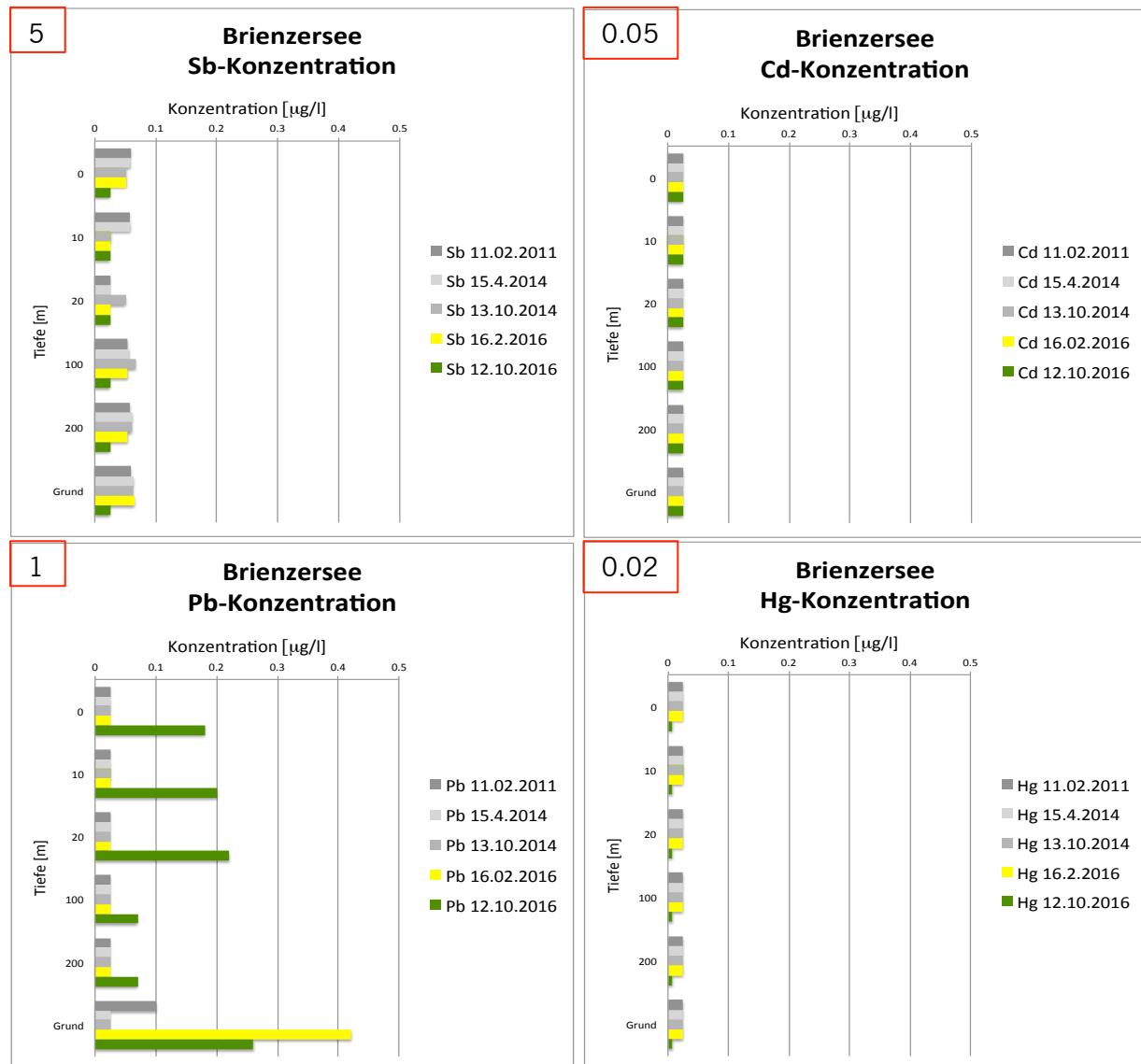


Diagramm 1: Schwermetall-Konzentrationen Brienzersee / Bestimmungsgrenze 0.05 µg/l – Hg ab Herbst 2016: 0.015 µg/l, roter Rahmen = Beurteilungswert

Aus dem Diagramm 1 ist zu erkennen, dass alle Messwerte unter dem jeweiligen Beurteilungswert liegen. Die meisten Messwerte liegen im Bereich der Nachweigrenze oder darunter. Bei den Messungen im Herbst 2016 ist die Blei-Konzentration in allen Tiefenbereichen angestiegen und liegt im Bereich von 20 % des Beurteilungswertes.

### 3.1.2. Thunersee

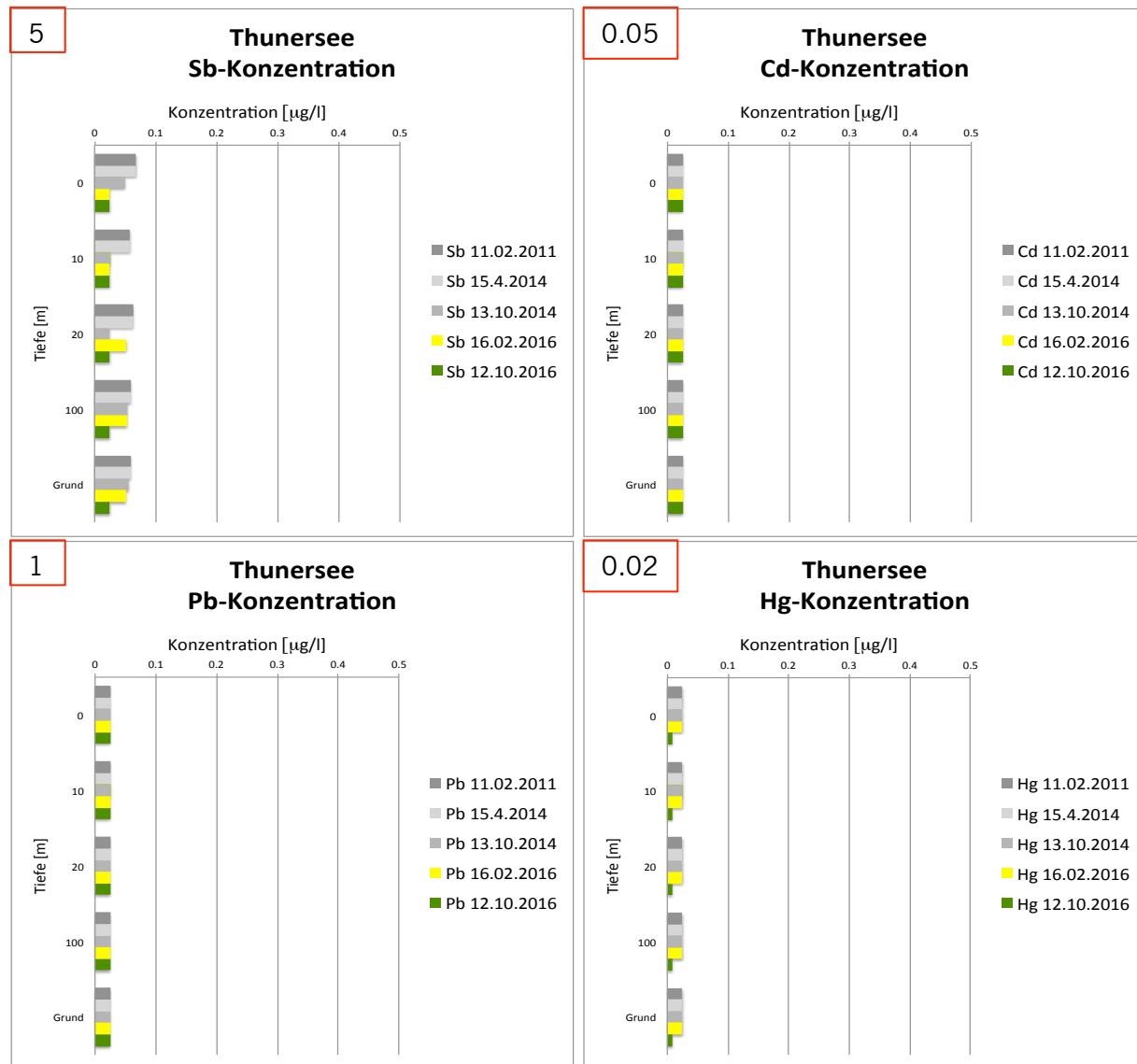


Diagramm 2: Schwermetall-Konzentrationen Thunersee / Bestimmungsgrenze 0.05  $\mu\text{g/l}$  – Hg ab Herbst 2016:  
0.015  $\mu\text{g/l}$ , roter Rahmen = Beurteilungswert

Die Schwermetall-Konzentrationen im Thunersee sind alle deutlich unter dem jeweiligen Beurteilungswert. Beinahe alle Messwerte liegen unter der Bestimmungsgrenze, lediglich der Parameter Antimon wies Konzentrationen leicht darüber auf.

### 3.1.3. Urnersee

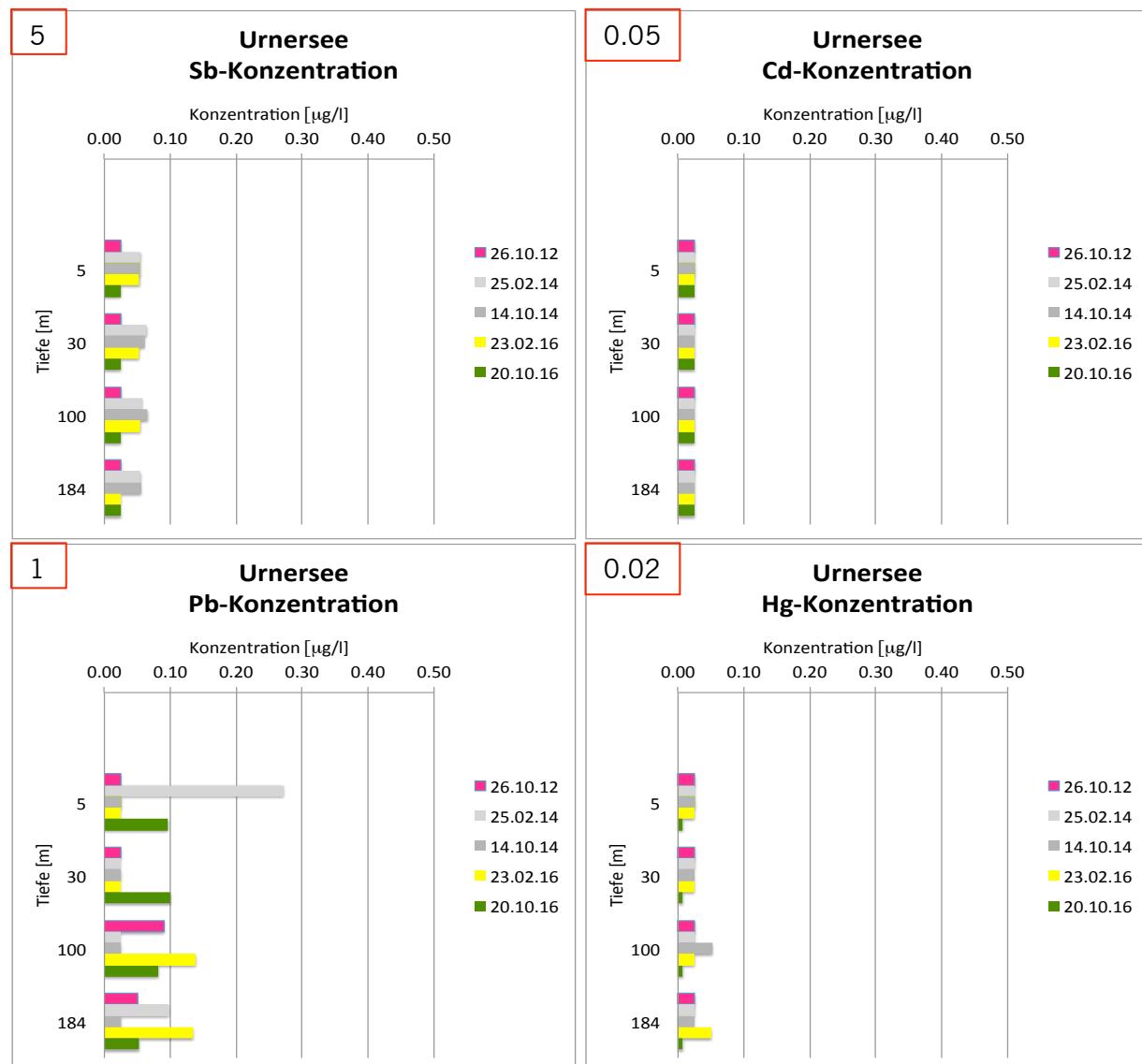


Diagramm 3: Schwermetall-Konzentrationen Urnersee / Bestimmungsgrenze 0.05 µg/l – Hg ab Herbst 2016: 0.015 µg/l,  
roter Rahmen = Beurteilungswert

Antimon und Cadmium weisen Konzentrationen knapp über der Bestimmungsgrenze oder darunter auf. Die Quecksilber-Konzentration lag bei zwei Messungen über 0.02 µg/l (Beurteilungswert). Die Blei-Konzentrationen weisen leicht höhere Werte auf. Die maximal gemessene Konzentration von 0.27 µg Pb/l (Tiefe = 5 m, Frühjahr 2014) entspricht rund 1/4 des Beurteilungswertes. Bei den Messungen im Frühjahr und Herbst 2016 ist ein leichter Anstieg festzustellen.

### 3.1.4. Gersauerbecken

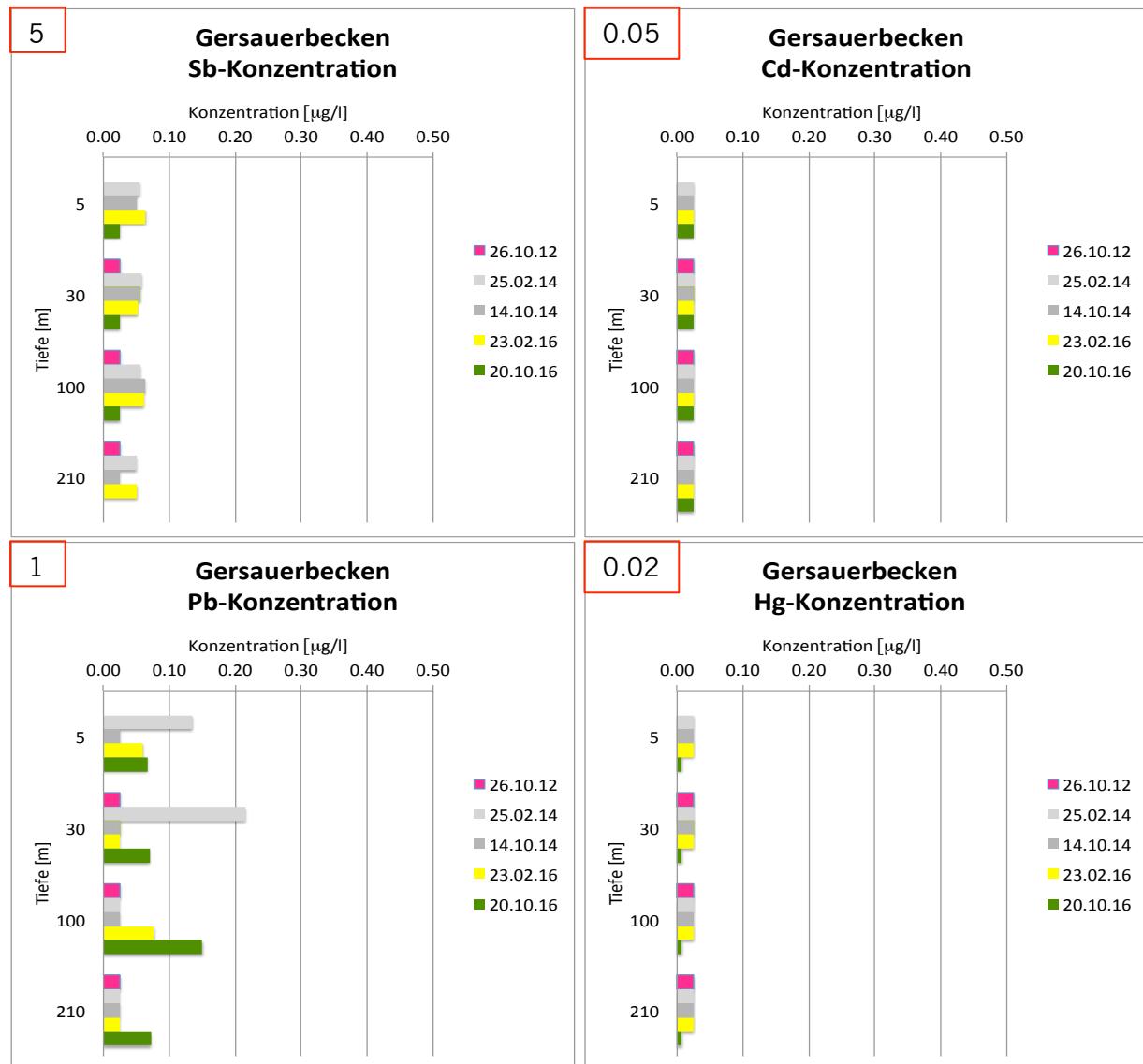


Diagramm 4: Schwermetall-Konzentrationen Gersauerbecken / Bestimmungsgrenze 0.05  $\mu\text{g}/\text{l}$  – Hg ab Herbst 2016:  
0.015  $\mu\text{g}/\text{l}$ , roter Rahmen = Beurteilungswert

Wie im Urnersee liegen auch im Gersauerbecken die Konzentrationen der Schwermetalle Sb, Cd und Hg meist unter der Bestimmungsgrenze. Die maximale Blei-Konzentration wurde ebenfalls im Frühjahr 2014 gemessen (Tiefe = 30 m) und beträgt rund 1/5 des Beurteilungswertes. Bei den Messungen im Frühjahr und Herbst 2016 ist ein leichter Anstieg festzustellen.

### 3.1.5. Seewasserfassung Tellspalte

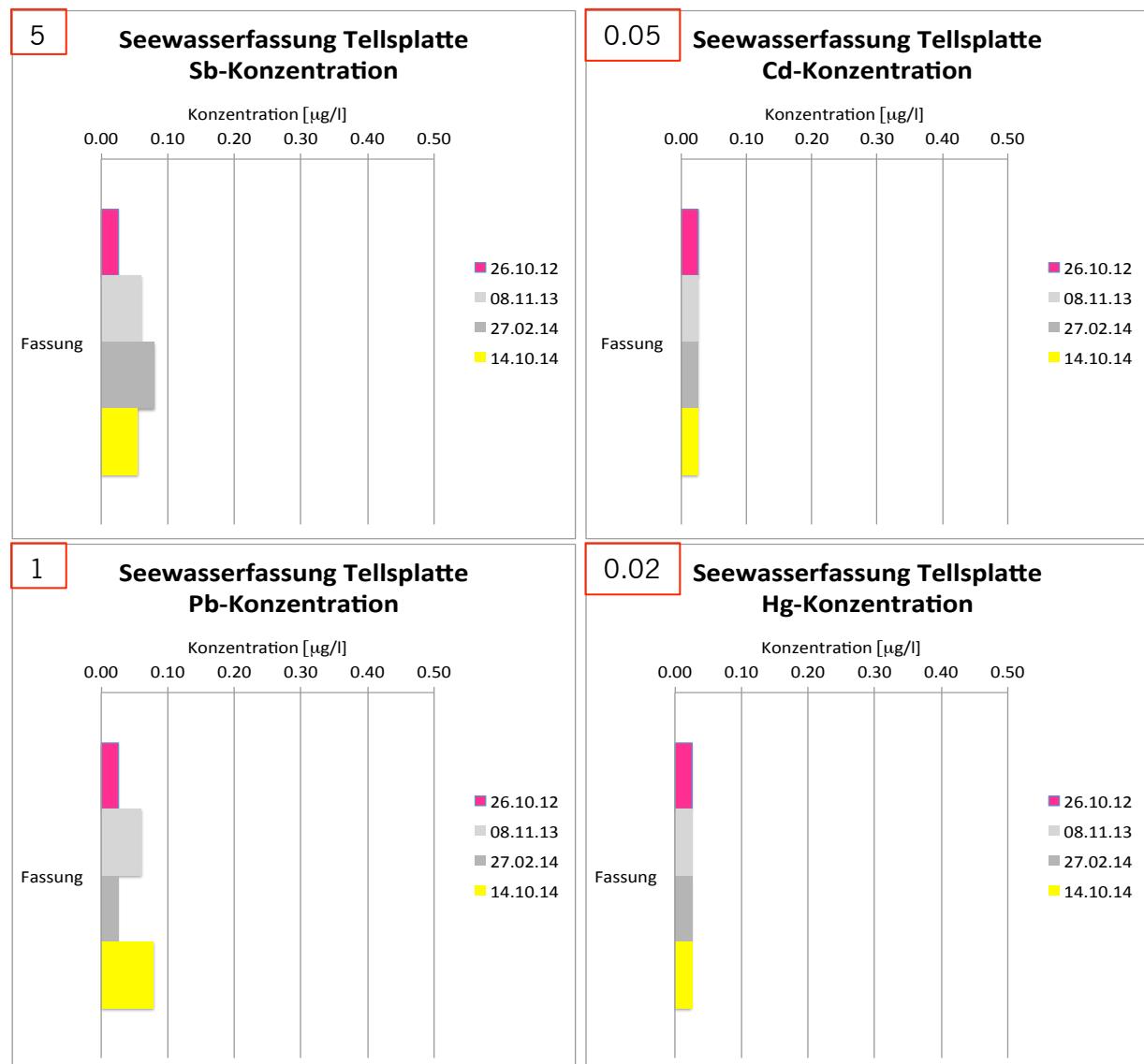


Diagramm 5: Schwermetall-Konzentrationen Seewasserfassung Tellspalte / Bestimmungsgrenze 0.05 µg/l – Hg ab Herbst 2016: 0.015 µg/l, roter Rahmen = Beurteilungswert

Bei der Seewasserfassung Tellspalte fanden im Jahr 2016 keine Probenahmen statt. Alle Cadmium- und Quecksilber-Konzentration lagen unter der analytischen Bestimmungsgrenze. Die Parameter Blei und Antimon liegen teilweise oberhalb der Bestimmungsgrenze. Alle Schwermetall-Konzentrationen liegen weit unter dem jeweiligen Beurteilungswert.

### 3.1.6. Seewasserfassung Salzfass

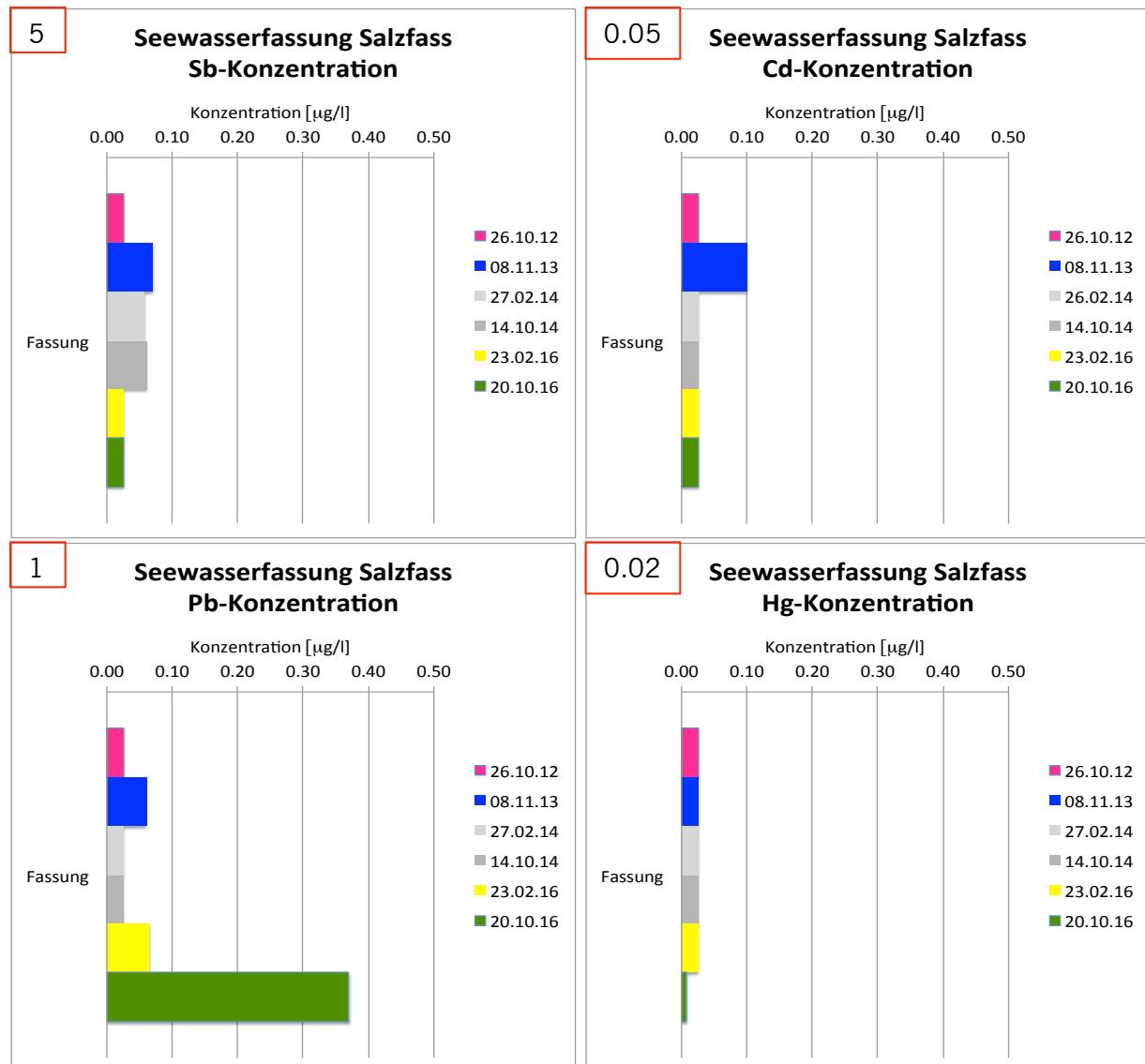


Diagramm 6: Schwermetall-Konzentrationen Seewasserfassung Salzfass / Bestimmungsgrenze 0.05 µg/l – Hg ab Herbst 2016: 0.015 µg/l, roter Rahmen = Beurteilungswert

Die Konzentrationen von Sb, Cd und Hg sind unter oder leicht oberhalb der Bestimmungsgrenze. Auffällig ist jedoch die Zunahme der Blei-Konzentration bei der Messung im Herbst 2016. Der Messwert ist leicht über 1/3 des Beurteilungswertes.

### 3.1.7. Übersicht Schwermetalle

In der folgenden Tabelle 6 sind die jeweiligen Maximalkonzentrationen der einzelnen Messstandorte zusammengefasst:

Probenahmestelle	Antimon (Sb) [µg/l]	Cadmium (Cd) [µg/l]	Blei (Pb) [µg/l]	Quecksilber [µg/l]
Brienzsee	0.068	<0.05	<0.05	<0.05
Thunersee	0.067	<0.05	0.042	<0.05
Urnensee	0.066	<0.05	0.271	0.052
Gersauerbecken	0.064	<0.05	0.215	<0.05
Seewasserfassung Tellspalte	0.080	<0.05	0.078	<0.05
Seewasserfassung Salzfass	0.070	0.100	0.370	<0.05
Beurteilungswert	5	0.05	1	0.02

Tabelle 7: Maximal gemessene Konzentrationen Analyseprogramm 1 und der massgebende Beurteilungswert

### 3.2. Analyseprogramm 2: Explosivstoffe und TNT-Abbauprodukte

Die Parameter TNT und die beiden TNT-Abbauprodukte 2,4-Diamino-6-Nitrotoluol (2,4-DANT) und 2,6-Diamino-4-Nitrotoluol (2,6-DANT) lagen überwiegend unter der analytischen Bestimmungsgrenze. Die Parameter Octogen (HMX), Hexogen (RDX) und die beiden TNT-Abbauprodukte 2-Amino-4,6-Dinitrotoluol (2-ADNT) und 4-Amino-2,6-Dinitrotoluol (4-ADNT) wiesen regelmässig Konzentrationen oberhalb der Bestimmungsgrenze auf. Daher werden in den folgenden Diagrammen nur diese Parameter dargestellt. Im Allgemeinen ist zu erwähnen, dass die Konzentrationen der Explosivstoffe im ng/l-Bereich liegen, diejenige der Schwermetalle lagen im µg/l-Bereich.

### 3.2.1. Octogen: Brienzer- und Thunersee

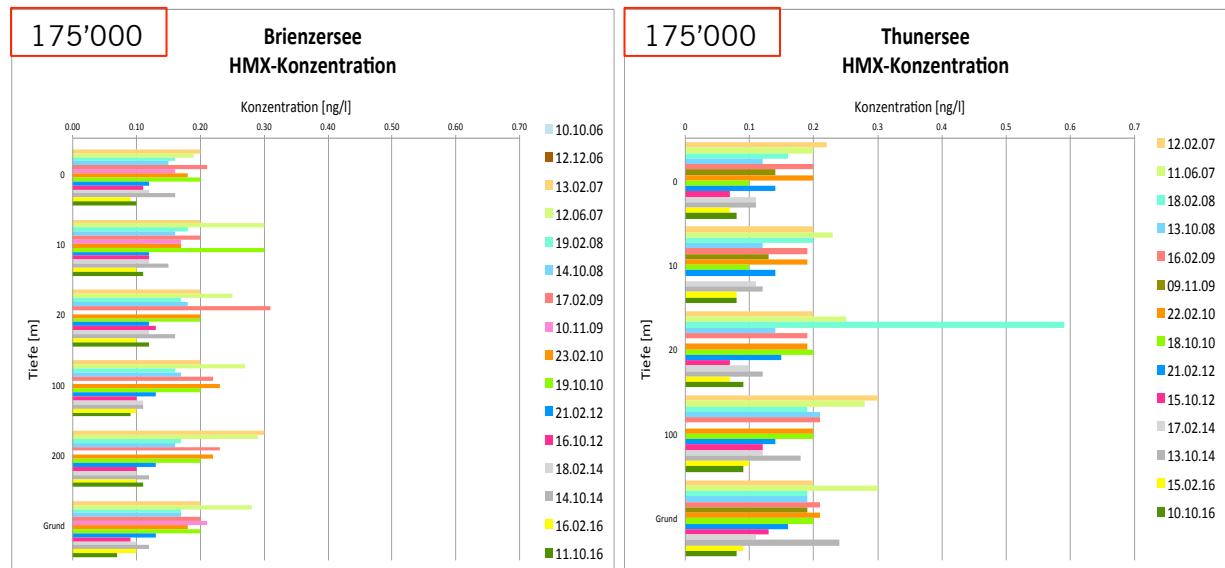


Diagramm 7: Octogen-Konzentratonen Brienzer- und Thunersee / Bestimmungsgrenze 0.03 ng/l,  
roter Rahmen = Beurteilungswert

Aus dem Diagramm 3 ist zu erkennen, dass die Octogen-Konzentration im Brienzer- und Thunersee unter einem 1 / 100'000 des Beurteilungswertes liegt. In beiden Seen weist der Verlauf der Stoffkonzentrationen auf einen abnehmenden Trend hin.

### 3.2.2. Hexogen: Brienzer- und Thunersee

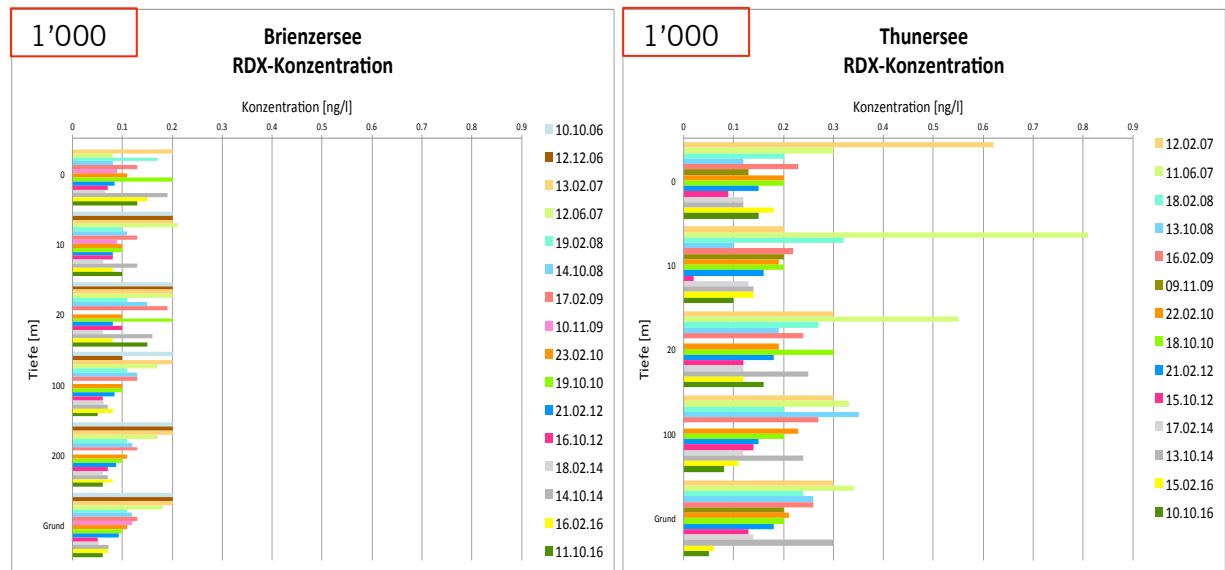


Diagramm 8: Hexogen-Konzentrationen Brienzer- und Thunersee / Bestimmungsgrenze 0.03 ng/l,  
roter Rahmen = Beurteilungswert

Die Hexogen-Konzentrationen liegen beim Brienzer- und Thunersee im Bereich von 1/1'000, beinahe 1/10'000, des Beurteilungswertes. Auffallend ist, dass die Hexogen-Konzentration im Thunersee höher ist als im Brienzersee.

### 3.2.3. TNT-Abbauprodukte: Brienzer- und Thunersee

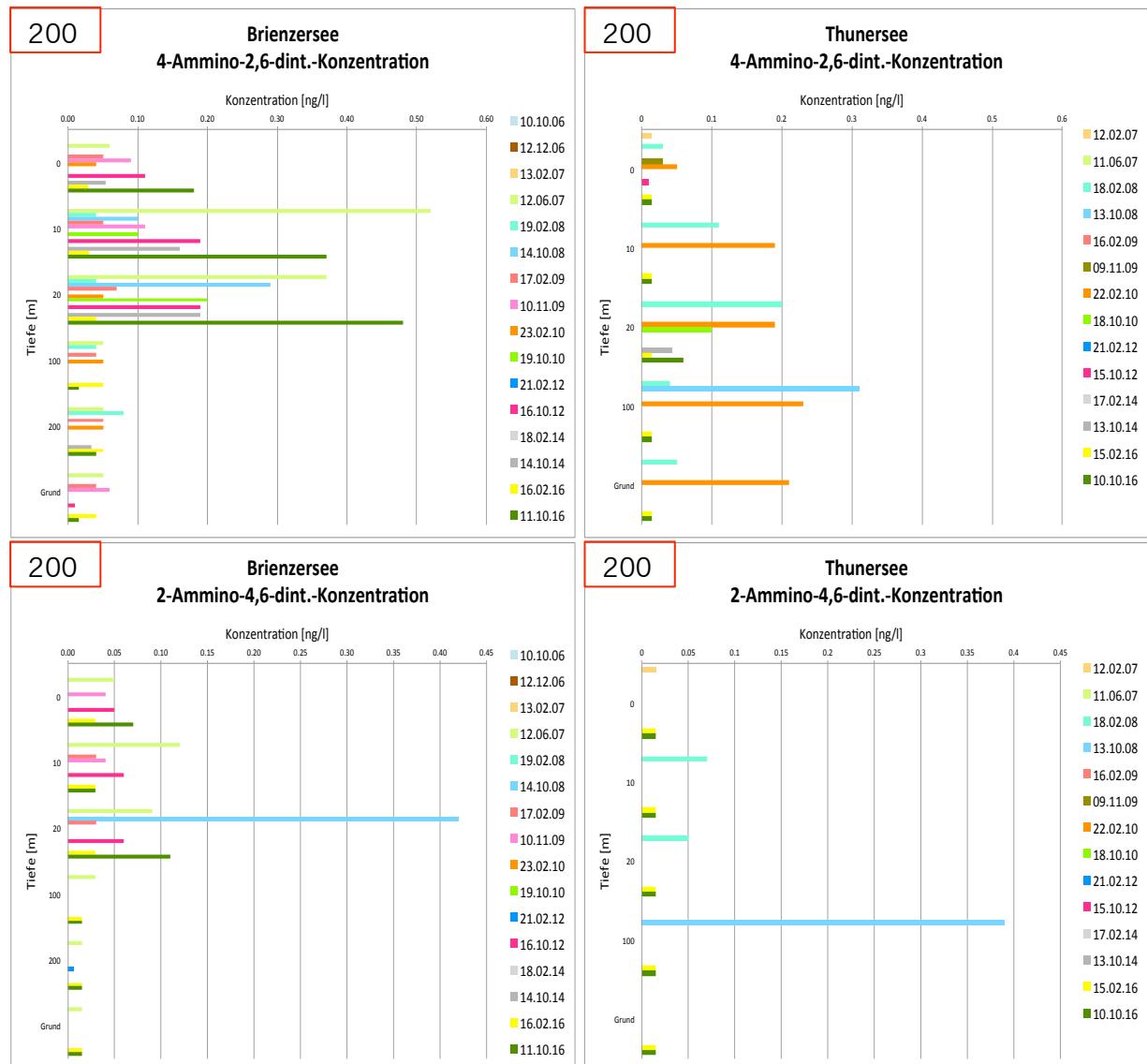


Diagramm 9: Konzentrationen TNT-Abbauprodukte Brienzer- und Thunersee / Bestimmungsgrenze 0.03 ng/l,  
roter Rahmen = Beurteilungswert

Alle TNT-Abbauprodukte liegen im Thuner- und Brienzersee im 1/100-Bereich des Beurteilungswertes. Im Brienzersee liegt die Konzentration beiden Abbauprodukte im Tiefenbereich bis 20 m deutlich höhere als im Thunersee.

### 3.2.4. Nitropenta: Brienzer- und Thunersee

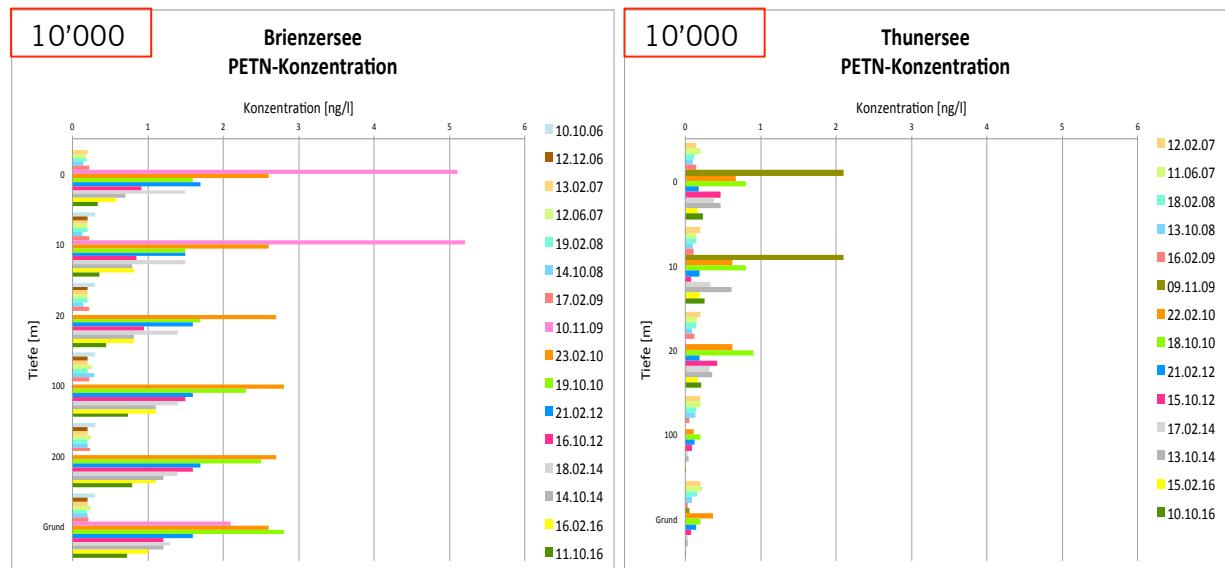


Diagramm 10: Nitropenta-Konzentrationen Brienzer- und Thunersee / Bestimmungsgrenze 0.03 ng/l,  
roter Rahmen = Beurteilungswert

Der Parameter PETN weist ebenfalls nur einen Bruchteil des Beurteilungswertes auf. Markant ist der Konzentrationsanstieg im Herbst 2009. Die Konzentrationen sind im Brienzersee generell höher als im Thunersee.

### 3.2.5. Octogen: Urnersee - Gersauerbecken



Diagramm 11: Octogen-Konzentrationen Urnersee und Gersauerbecken / Bestimmungsgrenze 0.03 ng/l,  
roter Rahmen = Beurteilungswert

Die Octogen-Konzentrationen im Urnersee und im Gersauerbecken liegen im Bereich von 1/10'000 des Beurteilungswertes. Generell ist ein abnehmender Trend zu beobachten, welcher sich in jüngster Zeit zu stabilisieren scheint.

### 3.2.6. Hexogen: Urnersee - Gersauerbecken

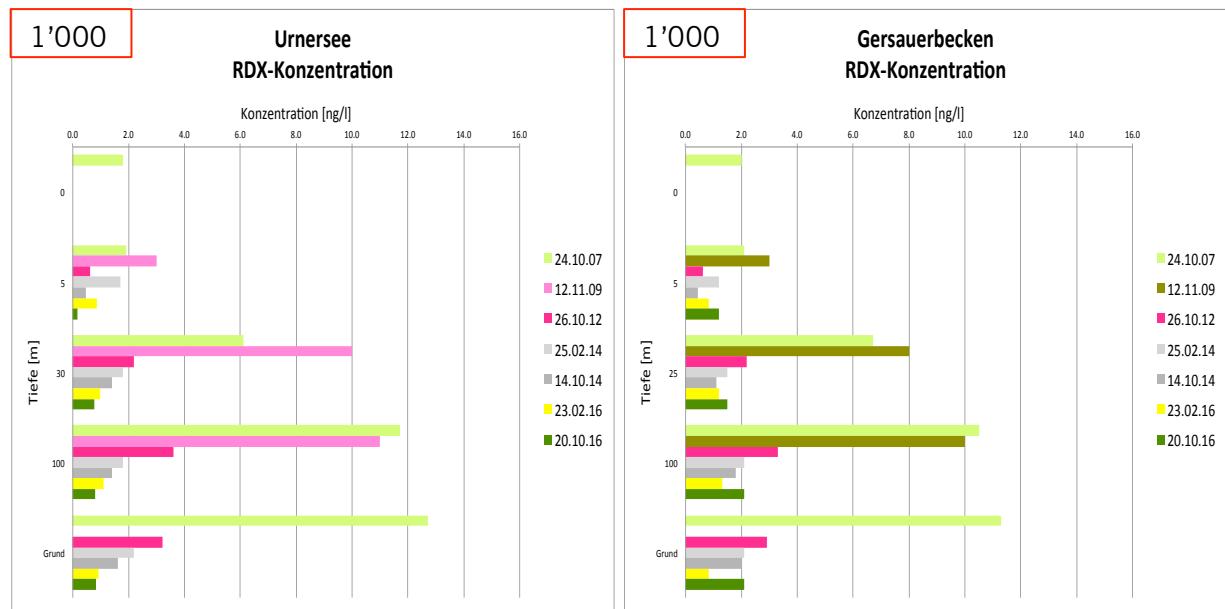


Diagramm 12: Hexogen-Konzentrationen Urnersee und Gersauerbecken / Bestimmungsgrenze 0.03 ng/l,  
roter Rahmen = Beurteilungswert

Die Hexogen-Konzentration liegt im Bereich von 1/500 bis 1/1'000 des Beurteilungswertes. Der Konzentrationsverlauf im Urnersee ist abnehmend, beim Gersauerbecken stagnierend bis leicht zunehmend (Herbst 2016). Die Hexogen-Konzentration im Gersauerbecken ist dabei leicht höher als im Urnersee.

### 3.2.7. TNT-Abbauprodukte: Urnersee - Gersauerbecken

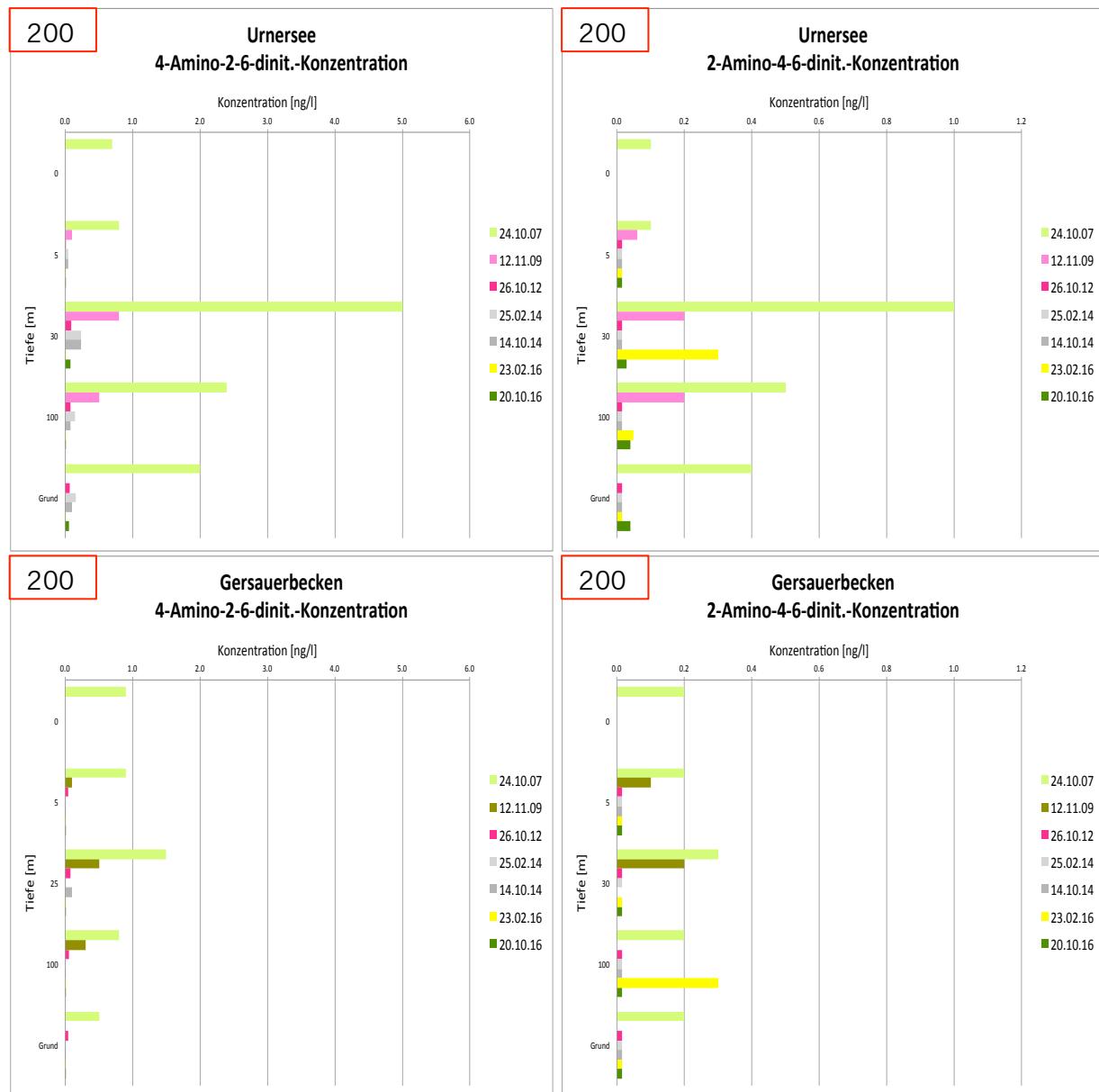


Diagramm 13: Konzentrationen TNT-Abbauprodukte Urnersee und Gersauerbecken / Bestimmungsgrenze 0.03 ng/l,  
roter Rahmen = Beurteilungswert

Die Konzentrationen der TNT-Abbauprodukte zeigen ein Maximum zu Beginn der Messreihen. Danach nehmen diese seit 2009 ab und sind aktuell auf einem stabilen und tiefen Niveau. Im Urnersee nahm die 2-Amino-4,6-Dinitrotoluolkonzentration bei den letzten beiden Messungen (Frühjahr und Herbst 2016) leicht zu.

### 3.2.8. Nitropenta PETN: Urnersee - Gersauerbecken

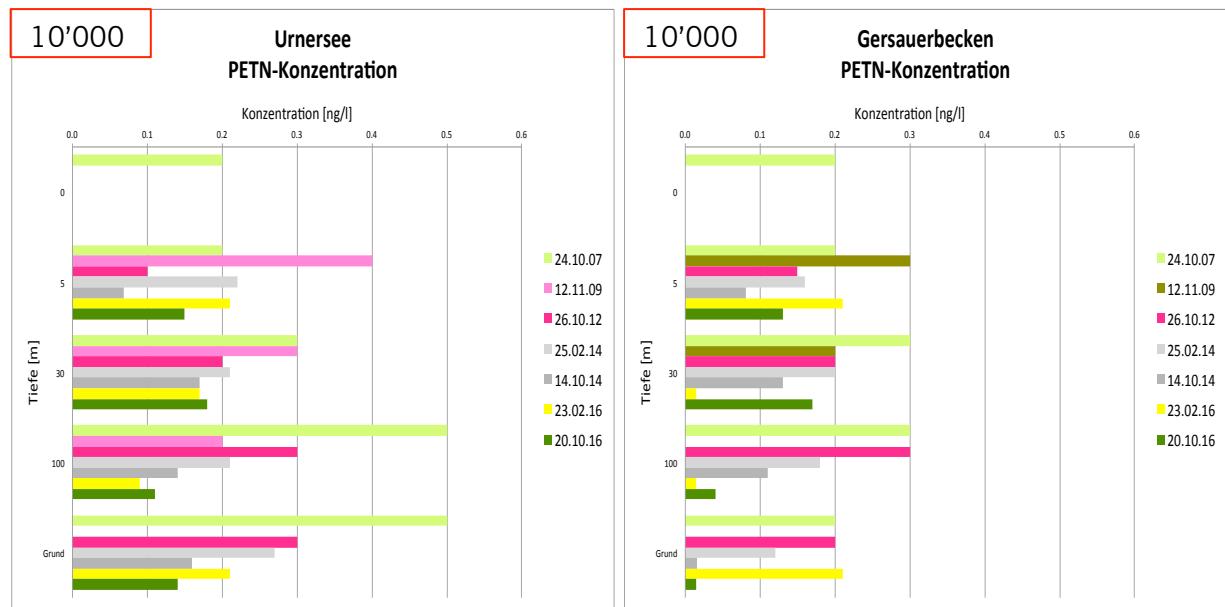


Diagramm 14: Nitropenta-Konzentrationen Urnersee und Gersauerbecken / Bestimmungsgrenze 0.03 ng/l,  
roter Rahmen = Beurteilungswert

In beiden Seeteilen liegt die PETN-Konzentration im Bereich von 1/10'000 des Beurteilungswertes. Generell ist ein abnehmender bis stabiler Konzentrationsverlauf zu erkennen. Die Stoff-Konzentration im Urnersee ist tendenziell höher als im Gersauerbecken.

### 3.2.9. Octogen: Seewasserfassungen

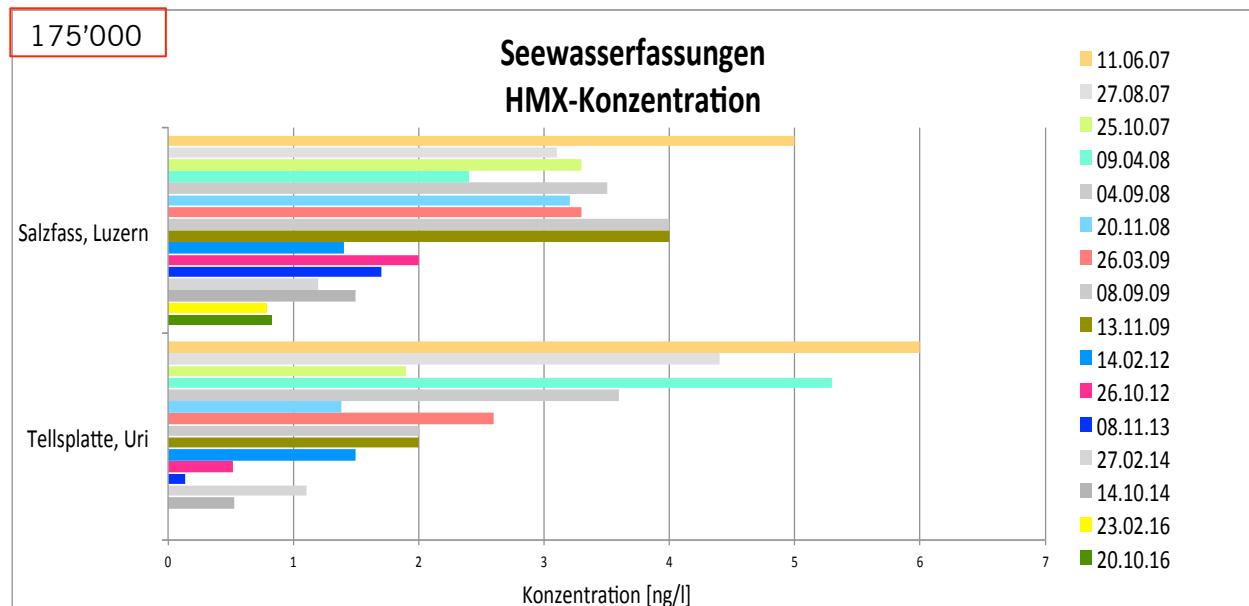


Diagramm 15: Octogen-Konzentrationen Seewasserfassungen Salzfass und Tellsplatte / Bestimmungsgrenze 0.03 ng/l,  
roter Rahmen = Beurteilungswert

Bei den Seewasserfassungen ist ein deutlich abnehmender Trend der Octogen-Konzentration zu erkennen. In den Jahren 2014 und 2016 lagen die Messwerte im Bereich von 1/100'000 des Beurteilungswertes.

### 3.2.10. Hexogen: Seewasserfassungen

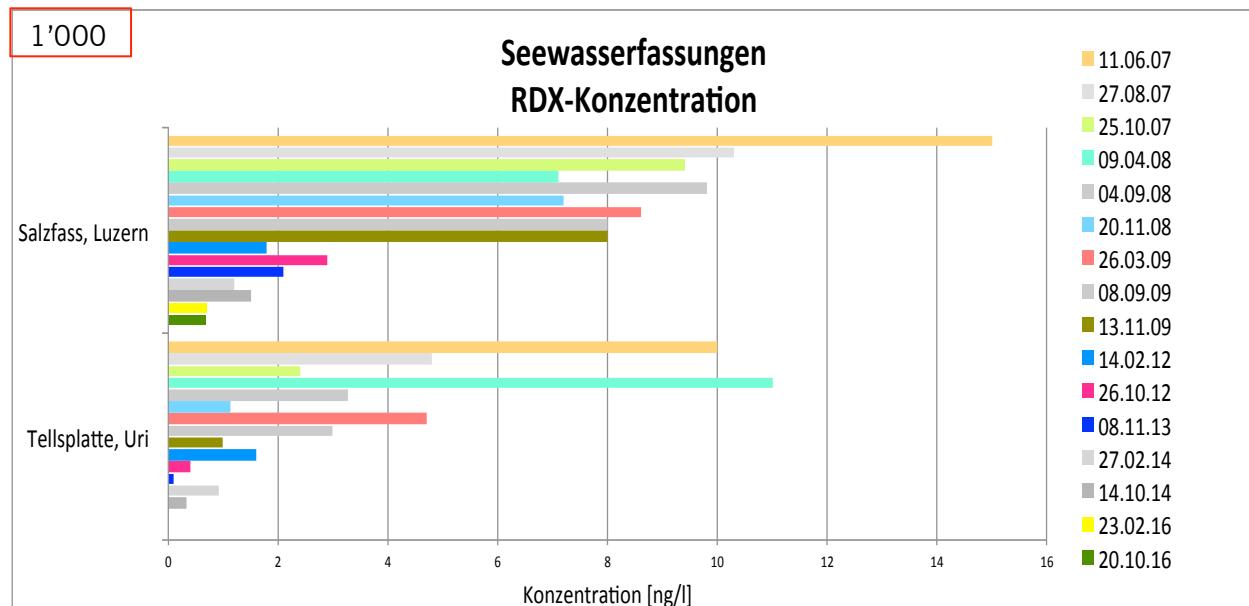


Diagramm 16: Hexogen-Konzentrationen Seewasserfassungen Salzfass und Tellspalte / Bestimmungsgrenze 0.03 ng/l,  
roter Rahmen = Beurteilungswert

Ähnlich wie die Octogen-Konzentration zeigt die Hexogen-Konzentration einen abnehmenden Trend. Die aktuellen Messwerte liegen im Bereich von 1/1'000 des Beurteilungswertes. Die Konzentration in der Seewasserfassung Salzfass ist generell höher als bei der Tellspalte.

### 3.2.11. TNT-Abbauprodukte: Seewasserfassungen

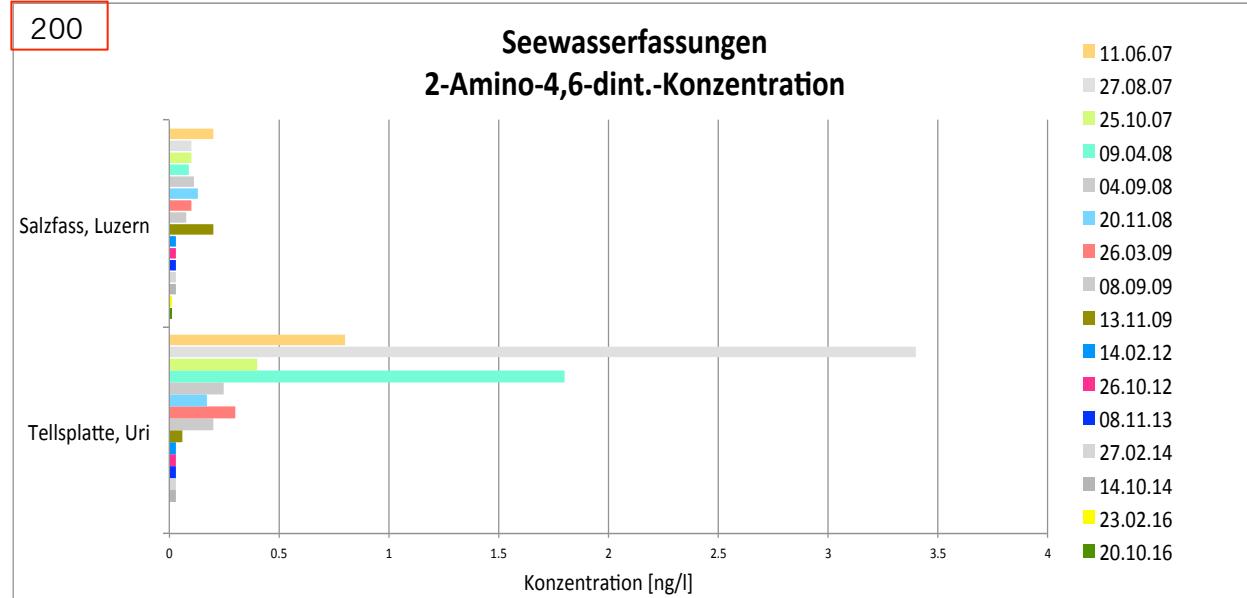
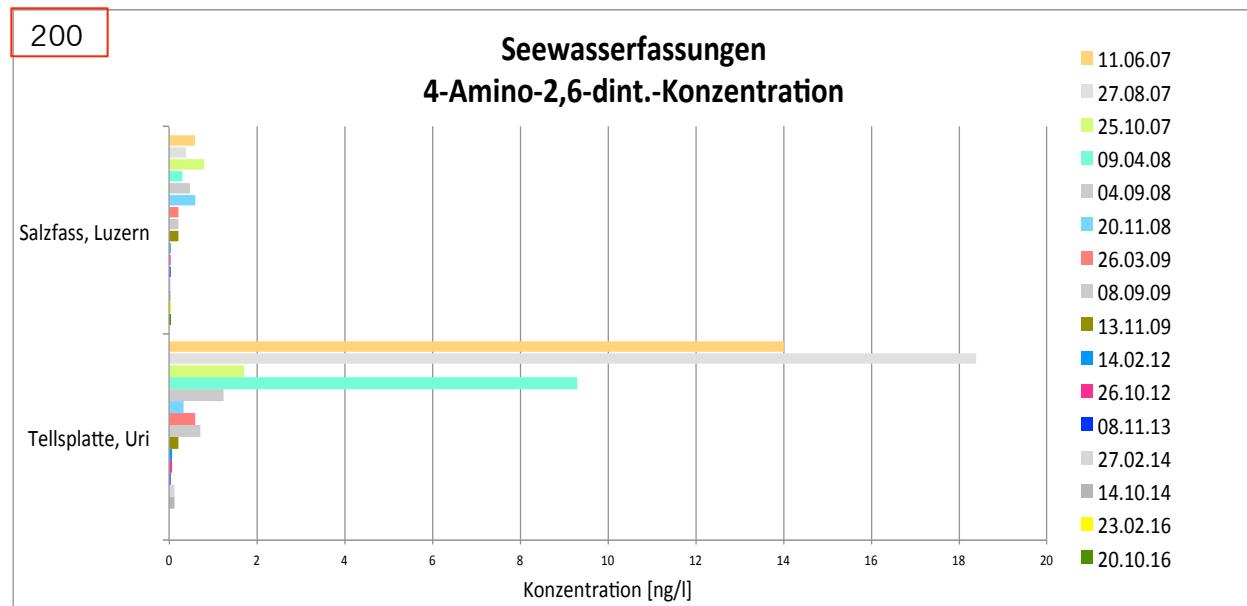


Diagramm 17: Konzentrationen TNT-Abbauprodukte Seewasserfassungen Salzfass und Tellsplatte / Bestimmungsgrenze 0.03 ng/l, roter Rahmen = Beurteilungswert

Die TNT-Abbauprodukte weisen generell einen abnehmenden Trend auf und liegen im 1/100 bis 1/1'000 Bereich des Beurteilungswertes. Die Stoff-Konzentrationen waren in der ersten Hälfte der Messperiode bei der Seewasserfassung Tellsplatte deutlich höher als beim Salzfass. Nun haben beide Stoff-Konzentrationen ein ähnlich tiefes Niveau erreicht.

### 3.2.12. Nitropenta PETN: Seewasserfassungen

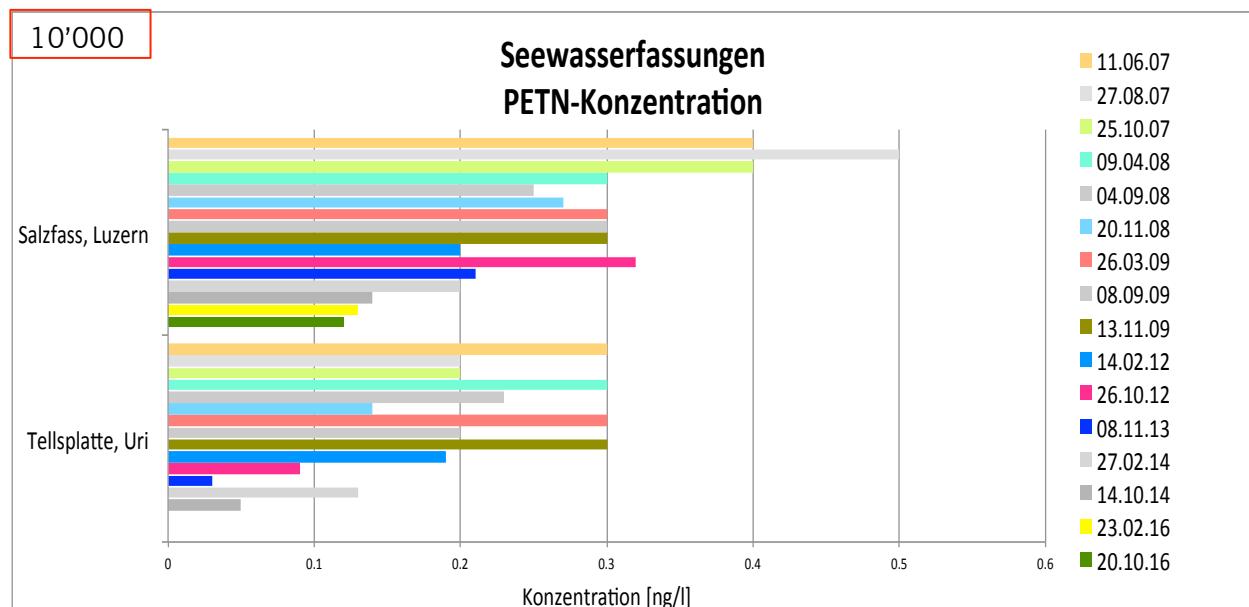


Diagramm 18: Nitropenta-Konzentrationen Seewasserfassungen Salzfass und Tellspalte / Bestimmungsgrenze 0.03 ng/l, roter Rahmen = Beurteilungswert

Die PETN-Konzentrationen weisen einen abnehmenden Trend auf und sind nun auf einem stabilen und tiefen Wert im Bereich von 1/100'000 des Beurteilungswertes. Die Stoff-Konzentration bei der Seewasserfassung Salzfass ist jedoch generell höher als bei der Tellspalte.

### 3.2.13. Zusammenfassung Explosivstoffe und TNT-Abbauprodukte

Probenahmestelle	Octogen (HMX) [ng/l]	Hexogen (RDX) [ng/l]	4-Amino-2,6-Dinitrotoluol [ng/l]	2-Amino-4,6-Dinitrotoluol [ng/l]	Nitropenta (PETN) [ng/l]
Brienzsee	0.31	0.21	0.52	0.42	5.20
Thunersee	0.59	0.81	0.31	0.39	2.10
Urnersee	4.10	12.70	5.00	1.00	0.50
Gersauerbecken	5.00	11.30	1.50	0.30	0.40
Seewasserfassung Tellspalte	6.00	11.00	18.40	3.40	0.30
Seewasserfassung Salzfass	5.00	15.00	0.80	0.20	0.50
<b>Beurteilungswert</b>	175'000	1'000	200	200	10'000

Tabelle 8: Maximal gemessene Konzentrationen Analyseprogramm 2 und die massgebenden Beurteilungswerte

### 3.3. Analyseprogramm 3: Explosivstoffe und Hilfsstoffe (DPA)

Alle Messwerte des Analyseprogrammes 3 lagen unter der Bestimmungsgrenze. Diese Daten werden daher nicht weiter erläutert.

## 4. Diskussion

---

**Die Messwerte zeigen im Allgemeinen sehr tiefe Konzentrationen und liegen zumeist unter dem Beurteilungswert.** Die Messwerte aus dem Analyseprogramm 1 (Schwermetalle) liegen mehrheitlich im 1/10-Bereich des Beurteilungswertes. Perchlorat, mit einer relativ hohen Bestimmungsgrenze, konnte nie nachgewiesen werden. Die Quecksilber-Konzentration wies bei zwei Messungen im Urnersee einen leicht höheren Wert auf als der Beurteilungswert.

Die Messwerte aus dem Analyseprogramm 2, sofern diese überhaupt bestimmt werden konnten, lagen in der Regel unter 1/100 des Beurteilungswertes. Die Messwerte des Analyseprogramms 3 lagen alle unter der Bestimmungsgrenze.

### Schwermetalle

Beim Analyseprogramm 1 (Schwermetall) fällt auf, dass im Brienzersee, Urnersee, Gersauerbecken und bei der Seewasserfassung Salzfass die Blei-Konzentration bei den Messungen im Jahr 2016 deutlich angestiegen sind. Im Herbst 2016 war beim Vierwaldstättersee die Blei-Konzentration bei der Seewasserfassung Salzfass grösser als im Gersauernbecken und Urnersee. Die Zunahme der Bleikonzentration ist beim Brienzersee im Tiefenbereich bis 20 m und am Grund am stärksten, im Urnersee und im Gersauerbecken ist die Konzentrationszunahme in allen Tiefenbereichen etwa gleich stark. Dies deutet eher auf einen Eintrag aus dem Zuflussbereich hin, weil bei der Freisetzung von Blei aus der Munition primär eine Konzentrationszunahme am Grund und dem Tiefenwasser zu erwarten wäre. Zudem müsste bei der Freisetzung von Stoffen aus der versenkten Munition nicht nur der Parameter Blei ansteigen, sondern auch andere Stoffe. Der selbe Trend wird jedoch bei keinem anderen Stoff beobachtet.

### Octogen und Hexogen

Die Octogen- und Hexogen-Konzentrationen haben im Brienzersee, Thunersee, Urnersee und im Gersauerbecken seit Messbeginn deutlich abgenommen. Die Konzentrationen sind 2016 auf einem sehr tiefen Niveau angelangt. Konzentrationsunterschiede bestehen jedoch zwischen den einzelnen Seen: Die Hexogen-Konzentration im Thunersee ist deutlich höher als im vorgelagerten Brienzersee. Eine bekannte Quelle dafür ist der nachgewiesene Eintrag von Hexogen aus dem ehemaligen Munitionsvernichtungsplatz im Gasterntal in die Kander. Die Octogen-Konzentration und die entsprechenden Konzentrationsverläufe sind im Brienzer- und Thunersee etwa gleich. Im Vierwaldstättersee ist die Octogen-Konzentration etwa 10-mal höher als in den beiden Berner Seen, die Hexogen-Konzentration sogar bis 50-mal höher. Ab dem Jahr 2012 hat die Konzentration sprunghaft abgenommen, was auf die neue Filtrationsanlage in der RUAG Altdorf zurückzuführt ist. In den Jahren 2014 und 2016 sind die Messwerte stabil und liegen bei 1 bis 2 ng/l.

Weshalb diese Konzentrationen im Vierwaldstättersee deutlich höher sind als in den Berner Seen kann nicht abschliessend geklärt werden. Prinzipiell bestehen jedoch folgende Möglichkeiten:

1. Es gelangen immer noch Produktionsrückstände von der ehemaligen Sprengstofffabrik Isletten in den See.
2. Es handelt sich um eine „Restkonzentration“ beziehungsweise „Residualkonzentration“ des zeitweise unbehandelten Abwassers der RUAG Altdorf.
3. Es ist eine unbekannte See-externe Quelle vorhanden.
4. Diese Restkonzentration stammt von versenkter Munition.

Zur Klärung dieser Frage werden weitere Messungen vorgeschlagen (siehe Kapitel 5).

### **TNT-Abbauprodukte**

Die TNT-Abbauprodukte (4-Amino-2,6-Dinitrotoluol und 2-Amino-4,6-Dinitrotoluol) sind im Brienzersee bis in eine Tiefe von 20 m deutlich stärker vertreten als in den tiefer liegenden Bereichen. Der Trend bis in die Tiefe von 20 m war bis zu den Messungen im Herbst 2016 abnehmend, hat aber bei der letzten Messung zugenommen. Im Thunersee weisen diese beiden Parameter tendenziell geringere Konzentrationen auf als im Brienzersee.

Die Zunahme der Konzentration erfolgt in den oberen Wasserschichten bis 20 m Tiefe. Dies deutet auf einen externen Eintrag hin und eher nicht auf eine Freisetzung aus der versenkten Munition. Es kann davon ausgegangen werden, dass dieser Eintrag aus dem Gebiet Susten – Steinalp erfolgt.

Beim Vierwaldstättersee sind die Maximalwerte der TNT-Abbauprodukte rund 20-25-mal höher als im Thuner- und Brienzersee. Dabei sind die Konzentrationen in einer Tiefe ab 30 m höher als nahe der Seeoberfläche. Auffallend ist die Konzentrationsabnahme ab dem Jahr 2012. Dies wird, wie bei den Stoffen Octogen und Hexogen, auf die wiederhergestellte Filtrationsanlage in der Munitionsfabrik Altdorf zurückgeführt. Seit diesem Zeitpunkt bewegen sich diese Stoffkonzentrationen im Bereich der Bestimmungsgrenze. Bei den Messungen im Jahr 2016 hat die 2-Amino-4,6-dinitro-Konzentration, vor allem im Urnersee auf 30 m Wassertiefe, im Gersauerbecken auf 100 m leicht zugenommen (nicht am Grun). In diesem Bereich waren die „Parameter“ der TNT-Abbauprodukte, vor der Wiederinbetriebnahme der Filtrationsanlage in Altdorf, ebenfalls am grössten. Es ist daher davon auszugehen, dass diese Stoff-Zunahme nicht von der versenkten Munition stammt, sondern einer See-externen Quelle zuzuschreiben ist.

### **Nitropenta**

Der Parameter Nitropenta (PETN) wies bis zu den Messungen Frühjahr 2009 im Thuner- und Brienzersee einen stabilen und tiefen Konzentrationsverlauf auf. Danach ist er deutlich angestiegen. Der Gehalt war dabei im Brienzersee deutlich höher als im Thunersee. Der Konzentrationsverlauf ist seit dem Anstieg im Herbst 2009 in beiden Seen rückläufig.

PETN ist ein Sprengstoff, welcher häufig auch zivil verwendet wird und wurde. Dieser Eintrag steht wahrscheinlich in Zusammenhang mit den Sprengarbeiten für die Erstellung des Entlastungsstollen „Gletschersee Grindelwald“.

Im Urnersee und im Gersauerbecken weist die PETN-Konzentration generell einen abnehmenden Trend auf. Dies gilt auch für die Seewasserfassung Tellspalte. Dabei entspricht die Konzentration bei der Tellspalte in etwa den Messwerten vom Urnersee. Bei der Seewasserfassung Salzfass ist die PETN-Konzentration jedoch höher als im Gersauerbecken. Hier ist ein Eintrag aus Steinbrüchen (z.B. „Zingel“, Kehrsiten; „Rotzloch“, Stansstad) oder von Untertagegebauten (Tunnelbau) denkbar.

## 5. Schlussfolgerungen und weiteres Vorgehen

In allen drei Seen konnten Spuren von Sprengstoffen und deren Abbauprodukte nachgewiesen werden. Die gemessenen Konzentrationen betragen in der Regel nur ein Bruchteil der Beurteilungswerte, welche nochmals deutlich kleiner sind als die Grenzwerte nach der Fremd- und Inhaltstoffverordnung für Trinkwasser.

Die Konzentrationsverläufe der ermittelten Stoffe unterliegen einem gewissen Schwankungsbereich. Generell ist jedoch ein abnehmender oder stabil tiefer Trend feststellbar. Dies ist darauf zurückzuführen, dass im Rahmen der Berichterstattung für die umfassende Gefährdungsabschätzung Seeexterne Quellen erkannt wurden, von welchen Rückstände von Sprengstoffen und deren Abbauprodukte in die Seen gelangten. Durch die Kantone wurden wirkungsvolle Massnahmen ergriffen, um diesen Eintrag zu reduzieren.

Der Parameter Nitropenta (PETN) unterliegt dem relativ grössten Schwankungsbereich, bei welchem auch zunehmende Konzentrationen feststellbar waren. Dieser Sprengstoff wird häufig auch zivil verwendet. Die zeitweise gestiegenen Einträge werden auf die Verwedung in Steinbrüchen und Untertagebauten zurückgeführt, teilweise konnten den Konzentrationsanstiegen Ereignisse zugeordnet werden, wie zum Beispiel der Bau des Entlastungsstollens für den Gletschersee in Grindelwald. Es wird daher nicht davon ausgegangen, dass ein Eintrag von versenkter Munition in die Seen besteht.

Im Brienzer- und im Vierwaldstättersee wurde im Jahr 2016 ein Anstieg des Parameters Blei festgestellt. Die Messwerte liegen dabei immer noch deutlich unter dem verwendeten Beurteilungswert. Es bestehen keine Hinweise, dass die Zunahme der Blei-Konzentration auf eine Freisetzung aus der versenkten Munition zurückgeführt werden kann. Es wird jedoch den zuständigen Kantonen empfohlen, den zukünftigen Verlauf dieser Schwermetall-Konzentration zu überwachen, respektive zu verifizieren.

Aus der durchgeführten „umfassenden Gefährdungsabschätzung“ geht hervor, dass ein geringes Gefährdungspotential für die betroffenen Seen vorliegt. Diese Einschätzung basiert auf dem geringen Freisetzungspotential, obwohl ein hohes Schadstoffpotential besteht und dem Seewasser eine hohe Bedeutung und Exposition zuzuschreiben ist.

Während der Überwachungsperiode 2012-2016 wurden keine Hinweise gefunden, welche auf eine Freisetzung von Explosivstoffen oder deren Abbauprodukte in das Seewasser hindeuten. Die Gefährdungsabschätzung aus dem Jahr 2012 ist daher immer noch als plausibel zu beurteilen.

Eine wichtige Grundlage für das geringe Gefährdungspotential bildete dabei die Entnahme von Sedimentkernen. Die Auswertung der Feststoff- und Porenwasserproben ergab ein geringes Freisetzungspotential der Schadstoffe. Insbesondere auch als vertrauensbildende Massnahme wurde im Bericht vorgeschlagen, die Analyse von Sedimentproben im Abstand von mehreren Jahren zu wiederholen.

Als weitere Massnahme wurde von den beteiligten Stellen daher beschlossen, im Jahr 2019 erneut eine Entnahme von Sedimentkernen durchzuführen.

Im Vierwaldstättersee sind die Octogen- und Hexogen-Konzentrationen deutlich höher als in den Berner Seen. Die Ursache dafür konnte nicht abschliessen geklärt werden.

Mit der Analyse des Porenwassers kann aber überprüft werden, ob Octogen und Hexogen von der versenkten Munition in das Seewasser gelangen. Dies scheint jedoch nicht wahrscheinlich zu sein, da sonst andere Parameter im Vierwaldstättersee ebenfalls deutlich höher sein müssten als in den Berner Seen. Will man die Ursache klären, werden Messungen im Zustrom des Vierwaldstättersees vorgeschlagen. Weiter kann in Erwägung gezogen werden, gleichzeitig mit der Entnahme der Sedimentproben im Urnersee und Gersauerbecken nochmals Seewasserproben zu entnehmen um festzustellen, ob es sich um einen langjährig zunehmenden Trend oder um zeitweilige Schwankungen der Stoffkonzentrationen handelt.

Luzern, 24. Mai 2017



Dr. Franz Schenker  
Projektleitung  
041 375 61 00  
franz.schenker@fsgeolog.ch



Simon Werthmüller  
Sachbearbeiter  
041 375 61 07  
simon.werthmueller@fsgeolog.ch