awa fakten

Makrozoobenthos in Berner Seen
Praktikumsbericht

Noëmi Zweifel

Amt für Wasser und Abfall
OED Office des eaux et des déchets

Bau-, Verkehrs- und Energiedirektion
des Kantons Bern

Direction des travaux publics, des transports
et de l'énergie du canton de Berne

Zusammenfassung

Die Lebensgemeinschaft des Seebenthos spielt eine wichtige Rolle in vielen Ökosystemprozessen und eignet sich gut als Indikator für die Sediment- und Gewässerqualität. Kenntnisse über den Bestand und die Zusammensetzung des Makrozoobenthos in den Seen des Kantons Bern sind allerdings nur sehr spärlich vorhanden. Für die vorgelegte Studie wurden der Brienzer-, Thuner- und Bielersee, sowie 10 Kleinseen im Kanton Bern bezüglich des Makrozoobenthos untersucht und eine Bewertung der Sedimentqualität vorgenommen.

Sowohl der Brienzer- wie auch der Thunersee sind besonders in der Tiefe nur sehr dünn mit Makrozoobenthos besiedelt. Dies ist vor allem auf ihre grosse Tiefe und die geringe Nährstoffzufuhr zurück zu führen. Das Makrozoobenthos des Bielersees ist dicht und artenreich. Der Zustand der drei grossen Seen kann basierend auf den Makrozoobenthosdaten als gut bis sehr gut eingestuft werden. Der Indice de Qualité Benthique (IQB-AL) liegt im Brienzersee bei 3.67, im Thunersee bei 2.77 und im Bielersee bei 2.18, was mit der Beurteilung der drei Seen aufgrund von Phosphorkonzentrationen und Sauerstoffverhältnissen als oligotroph, oligo-mesotroph und meso-eutroph übereinstimmt.

Die Untersuchung im Bereich der Munitionsdeponie Merligen im Thunersee und ihr Vergleich mit einer unbelasteten Stelle gleicher Seetiefe lässt keinen Einfluss der versenkten Munition auf das Makrozoobenthos feststellen.

Die Benthosfauna der Kleinseen ist vorwiegend limitiert durch die Verfügbarkeit von Sauerstoff im Tiefenwasser. Bedingt durch die grosse Nährstoffzufuhr aus der umliegenden Landwirtschaft führt die starke Biomasseproduktion beim Abbau im Profundal zur Bildung einer sauerstofffreien Zone. Diese kann in der warmen Jahreszeit bis zu 70% der gesamten Sedimentfläche abdecken. Somit stehen grosse Teile der Kleinseen für die wenig mobilen Benthosorganismen nicht als Lebensraum zur Verfügung. Ihr Vorkommen ist auf die sauerstoffreichen Uferzonen beschränkt, wo sie zum Teil sehr dichte und artenreiche Bestände bilden. Einzig der nährstoffarme Oeschinensee und die seichten Mittellandseen Lobsigen- und Inkwilersee weisen eine Besiedlung des Profundals auf.

Die vorgelegte Studie gibt als erstmalige Erhebung des Makrozoobenthos in den Berner Seen einen Überblick über die Verteilung und Dichte der verschiedenen Arten und lässt eine erste Bewertung der Sedimentqualität zu. Um jedoch ein ganzheitliches Bild der Makrozoobenthosbesiedlung in den Berner Seen zu erhalten, sind weitere Untersuchungen basierend auf mehr Probestellen, grösseren Sedimentmengen und zu mehreren Jahreszeiten nötig.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung

1. Einleitung 1

2. Methoden 2
   2.1. Probenahme 2
   2.2. Aufbereitung 2
   2.3. Indice de qualité benthique (IQB) 3
   2.4. Indice oligochètes de bioindication lacustre (IOBL) 3

3. Die grossen Berner Seen 5
   3.1. Das Untersuchungsgebiet 5
   3.2. Der Brienzersee 6
   3.3. Der Thunersee 8
   3.4. Munitionsdeponie im Thunersee 10
   3.5. Der Bielersee 11
   3.6. Zusammenfassung zu den grossen Berner Seen 15

4. Die Kleinseen 16
   4.1. Das Untersuchungsgebiet 16
   4.2. Der Zustand der Kleinseen im Mittelland 17
      4.2.1. Die stratifizierten Kleinseen 18
      4.2.2. Die polymiktischen Kleinseen 22
   4.3. Der Oeschinensee 23
   4.4. Zusammenfassung zu den Kleinseen 25

Danksagung

Literaturverzeichnis

Anhang

1. Einleitung

Makroinvertebraten sind gute Indikatoren der Sediment- und Wasserqualität. Als Bewohner von Seesedimenten spielen sie unter anderem eine wichtige Rolle in der Nahrungskette, im Nährstoffzyklus und im Biomasseabbau (Foto: Noëmi Zweifel)

Die Analyse des Makrozoobenthos wird in Fliessgewässern bereits standardmässig als Beurteilungskriterium der Gewässerqualität angewendet (BAFU 2010). Doch auch in stehenden Gewässern sind die aquatischen Invertebraten gute Indikatoren der Sediment- und Wasserqualität (Wiederholm 1980). Sie spielen eine wichtige Rolle in verschiedensten Ökosystemprozessen (Produktivität, Nährstoffzyklus und Biomasseabbau) und formen in der Nahrungskette das Bindeglied zwischen Primärproduzenten und Destruenten einerseits und höheren trophischen Ebenen (z.B. Fische) andererseits (Solimini et al. 2006).

Die hohe Dichte und Artenvielfalt des Makrozoobenthos und die verschiedenen ökologischen Ansprüche der einzelnen Arten erlauben, aus der Artenzusammensetzung und Abundanz auf die ökologische Intaktheit und Qualität eines aquatischen Systems zu schliessen (Walker 1987, Walker 2006). Da sich die Sedimentbewohner über einen längeren Zeitraum im Seesediment aufhalten, schlagen sich sowohl kurzfristige wie auch langfristige Veränderungen des Lebensraums in ihrer Artenzusammensetzung und ihrer räumlichen Verteilung nieder (Lods-Crozet 2009). Makrozoobenthos-Untersuchungen bilden daher eine gute Ergänzung zu den physikalisch-chemischen Punktmessungen, die im Kanton Bern systematisch durchgeführt werden.

Daten über die Benthosbiozönose und die Qualität der Seesedimente sind für die Seen des Kantons Bern nicht vorhanden. Ziel dieser Studie ist es deshalb, die Benthosfauna ausgewählter Gross- und Kleinseen bezüglich Dichte und Artenzusammensetzung zu dokumentieren und eine Beurteilung der Sediment- und Gewässerqualität aufgrund der gewonnen Daten vorzunehmen. Verglichen werden die Erkenntnisse mit Qualitätsbestimmungen des Freiwassers (physikalische und chemische Messungen, sowie Phyto- und Zooplanktonanalysen). Als erstmalige Erhebung sollen die Resultate unter anderem eine Referenzbasis für die Beurteilung zu einem späteren Zeitpunkt bilden. Anhand des Thunersees wurde zudem untersucht, ob ein Einfluss der Munitionsdeponien am Seegrund auf die Besiedlung durch Makrozoobenthos feststellbar ist. Das Untersuchungsgebiet der hier präsentierten Makrozoobenthosstudie umfasst die drei grossen Berner Seen (Brienzer-, Thuner- und Bielersee), sowie 10 Kleinseen im Kanton Bern.

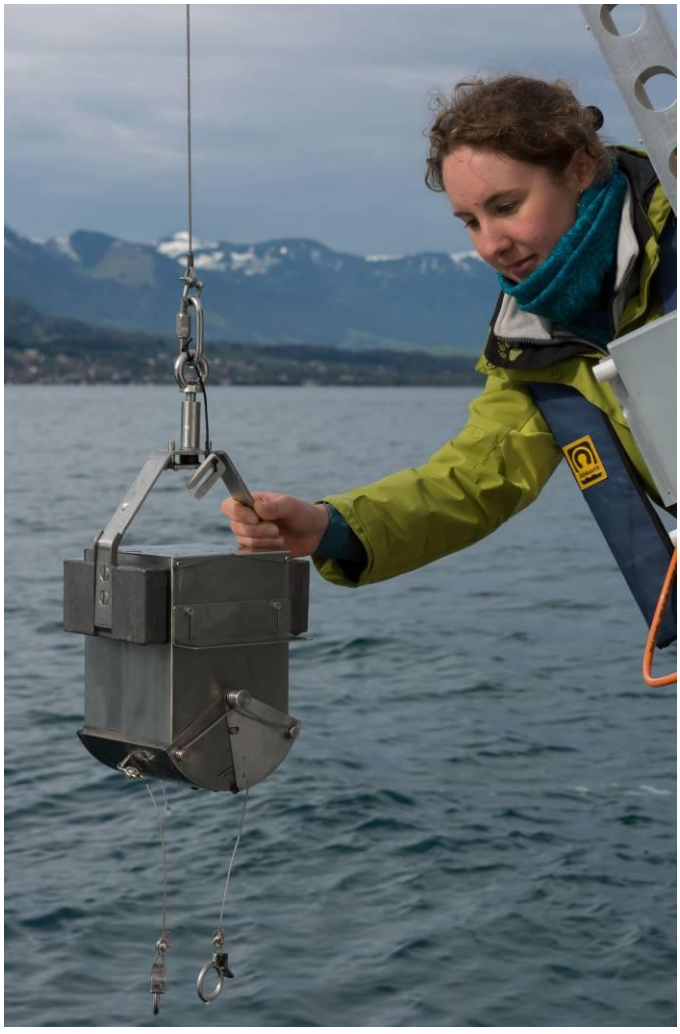
2. Methoden

2.1. Probenahme

Im September und Oktober 2013 wurden im Thuner-, Brienzer- und Bielersee, sowie in 10 ausgewählten Kleinseen mit einem Ekman-Sampler (zur Verfügung gestellt von Brigitte Lods-Crozet, SESA, Epalinges, Eigenbau, Probefläche 225 cm^2) Sedimentproben entnommen. In den drei grossen Seen erfolgte die Probenahme entlang eines Transekts (maximale Seetiefe, mittlere Seetiefe und Sublitoral). Im Thunersee wurden zusätzlich Proben im Bereich einer Munitionsdeponie und an einer unbelasteten Stelle gleicher Tiefe entnommen. In den Kleinseen wurde die tiefste Stelle beprobt und bei stratifizierten Seen eine zusätzliche Stelle im Litoral.

Die erforderliche Anzahl Probestellen in einem See ist proportional zu seiner Oberfläche (Lafont 2007). Die Anzahl Probenstellen, die für diese Studie pro Seebecken untersucht wurden, genügen nicht, um Aussagen über die gesamte Makrozoobentos-Besiedlung der jeweiligen Seen zu machen. Als erstmalige Erhebung soll diese Studie lediglich einen Einblick in die Benthosfauna der Berner Seen geben.

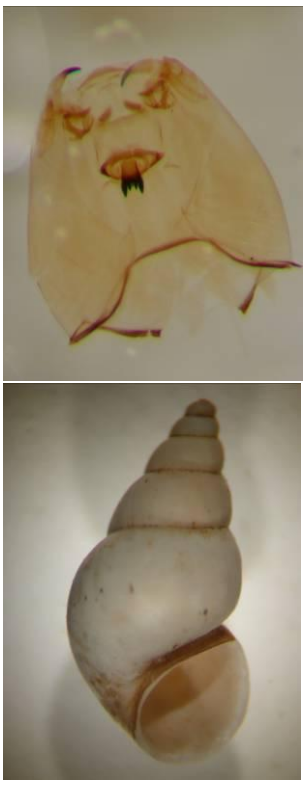
An jeder Probestelle wurden 3 Proben entnommen. Die Proben wurden zur weiteren Analyse zu einer Mischprobe vereint. Zusätzlich wurden ca. 280 cm^3 Sediment für die Bestimmung des Gesamtkohlenstoff, -stickstoff und -phosphor entnommen.



Die Seesedimente wurden mit einem Ekman-Sampler beprobt. Pro Probestelle wurden 3 Proben entnommen. (Foto: Markus Zeh)

2.2. Aufbereitung

Für die Makrozoobenthosanalyse wurde das Material mittels eines 315 µm Siebs (Retsch, Stahl, 40 cm Durchmesser) gesiebt und der Rückstand mit Bengalrosa (Fluka, Art.-Nr. 330000-1G) gefärbt (1 Messerspitze Bengalrosa auf 250 ml Wasser, 30 Min, 10 minütlich geschüttelt, danach gut gewaschen). Das Material wurde anschliessend in Formalin 8 % (Verdünnt aus Formaldehydlösung 37 %, Merck, Art.- Nr. 1.04003.1000) überführt. Anschliessend wurden die Organismen unter dem Binokular (6x Vergrösserung) aussortiert, gezählt und gewogen (Abtropfgewicht). Oligochaeten wurden in Formalin 8 %, andere Invertebraten in Ethanol 97 % (Merck, Art.- Nr. 1.00971.100) aufbewahrt.



Köpfe von Chironomidenlarven (oben) wurden auf einem Objektträger befestigt und unter dem Mikroskop bestimmt. Mollusken wurden unter dem Binokular bestimmt. (Foto: Noëmi Zweifel)

Die Chironomiden wurden unter dem Binokular aufgrund makroskopischer Merkmale so weit wie möglich bestimmt und in Gruppen aufgeteilt. Vertreter jeder Gruppe wurden in KOH (10 %, ca. 1 Stunde) aufgehellt, 2 Minuten in Essigsäure (100 %) gegeben und anschliessend mit Euparal (Carl Roth, Art.-Nr. 7356.1) auf einem Objektträger befestigt und unter dem Mikroskop auf eine Artengruppe oder Art bestimmt. Die Oligochaeten der grossen Seen wurden von Régis Vivien (Genf) im Auftrag des Gewässer- und Bodenschutzlabors (GBL) des Kantons Bern untersucht (Vivien 2014). Die übrigen Invertebraten wurden unter dem Binokular (6x Vergrösserung) bestimmt. Unter den Mollusken wurden sowohl lebende Exemplare (geschlossene Muscheln, Schnecken mit verschlossenem Operculum) wie auch unbeschädigte Schalen von Schnecken ohne Operculum gezählt.

Die Bestimmung des Gesamtkohlenstoff, -stickstoff und –phosphor des Sediments wurden durch das Labor für Boden- und Umweltanalytik (LBU, Eric Schweizer, Thun) durchgeführt. Die Bestimmung des organischen C-Gehalts erfolgte durch Verglühen bei 550°C während 4 h. Zur Berechnung des C/N-Verhältnisses wurden der Gehalt an organischem C und der Gesamtstickstoff verwendet.

2.3. Indice de qualité benthique (IQB)

Der Indice de Qualité Benthique (IQB) ist ein Index zur Bewertung der ökologischen Qualität des Sediments, der auf der Artenzusammensetzung der Chironomiden- und Oligochaetenpopulationen basiert. Ursprünglich entwickelt von Saether (1979) und Wiederholm (1980), wurde er für das Zoobenthos der alpinen Ökoregion AL3 angepasst (IQB-AL; Höhe des Seespiegels 50-800 m.ü.M und mittlere Wassertiefe > 15 m (Lods-Crozet 2009)). Der IQB-AL kann Werte zwischen 1 (eutroph) und 8 (oligotroph) annehmen.

$$IQB - AL = \sum_{i=1}^{p} S_i * n_i / N$$

S_i = valeur de sensibilité
n_i = Anzahl der Individuen der Art i
N = Total der Individuen der Indikatorarten
p = Anzahl Indikatorarten

Für die Berechnung der IQB-AL-Werte werden Chironomiden- und Oligochaetendaten der maximalen und mittleren Tiefe berücksichtigt (Lods-Crozet 2009).

2.4. Indice oligochètes de bioindication lacustre (IOBL)

Der Index IOBL ist ein Index zur Beurteilung der Kapazität von Seesedimenten, organisches Material zu mineralisieren. Er basiert auf der Dichte und Diversität der Oligochaeten (AFNOR 2005). Die ökologischen Ansprüche der Oligochaetenarten variieren von sensibel bis sehr resistent gegenüber organischen Belastungen und toxischen Substanzen (z.B. Sulfid, Methan, Metalle (Vivien 2014)). Sie spielen eine wichtige Rolle in der Mineralisation von organischem Material im Sediment (Lafont et

al. 2012). Ihre Dichte und Artenzusammensetzung gibt deshalb Aufschluss über die Kapazität des Sedimentes, organisches Material im See abzubauen und weisen auf Verschmutzungen und Beeinträchtigungen im System hin (AFNOR 2005, Lafont et al. 2012).

$$IOBL = S + 3\log_{10}(D+1)$$

S = Anzahl identifizierter Taxa in 100 Individuen
D = Dichte der Oligochaeten (Individuen/ 0.1 m^2)

IOBL	Potential organisches Material zu mineralisieren
≥ 10	starkes Potential
6.1 ≤ IOBL ≥ 9.9	mittleres Potential
< 6	kleines Potential

Der IOBL gibt Aufschluss über die Kapazität des Sedimentes, organisches Material zu mineralisieren (Lafont et al. 2012)

Als Ergänzung zu den chemisch-physikalischen Messungen, die monatlich durchgeführt werden, wurde erstmalig auch das Makrozoobenthos der drei grossen Berner Seen untersucht. (Foto: Sarah Aellen)

3. Die grossen Berner Seen

3.1 Das Untersuchungsgebiet

Die drei grossen Berner Seen Thuner-, Brienzer- und Bielersee werden im Rahmen des Gewässermonitorings monatlich vom Gewässer und Bodenschutzlabor (GBL) des Kantons Bern untersucht. Analysiert werden sowohl chemisch-physikalische Parameter, wie auch Phyto- und Zooplankton. Die drei Seen unterscheiden sich sowohl physikalisch, wie auch chemisch und ökologisch wesentlich voneinander.

Der Brienzer- und der Thunersee gehören zu den grossen Alpenrandseen. Der Brienzersee ist mit 259 m der Tiefste der drei Seen und weist durch die geringe Menge an zufliessenden Nährstoffen eine sehr tiefe Produktivität auf. Er ist oligotroph. Trotz seiner grossen Tiefe findet eine ganzjährige Sauerstoffversorgung bis auf den Grund statt (GBL 2009).

Das Einzugsgebiet des Thunersees ist wie das des Brienzersees, vorwiegend alpin. Die Biomasseproduktion ist gering bis mittel (oligo-mesotroph). Die Sauerstoffkonzentrationen sinken auch in der maximalen Tiefe von 217 m nie unter 4 mg/L (GBL 2009).

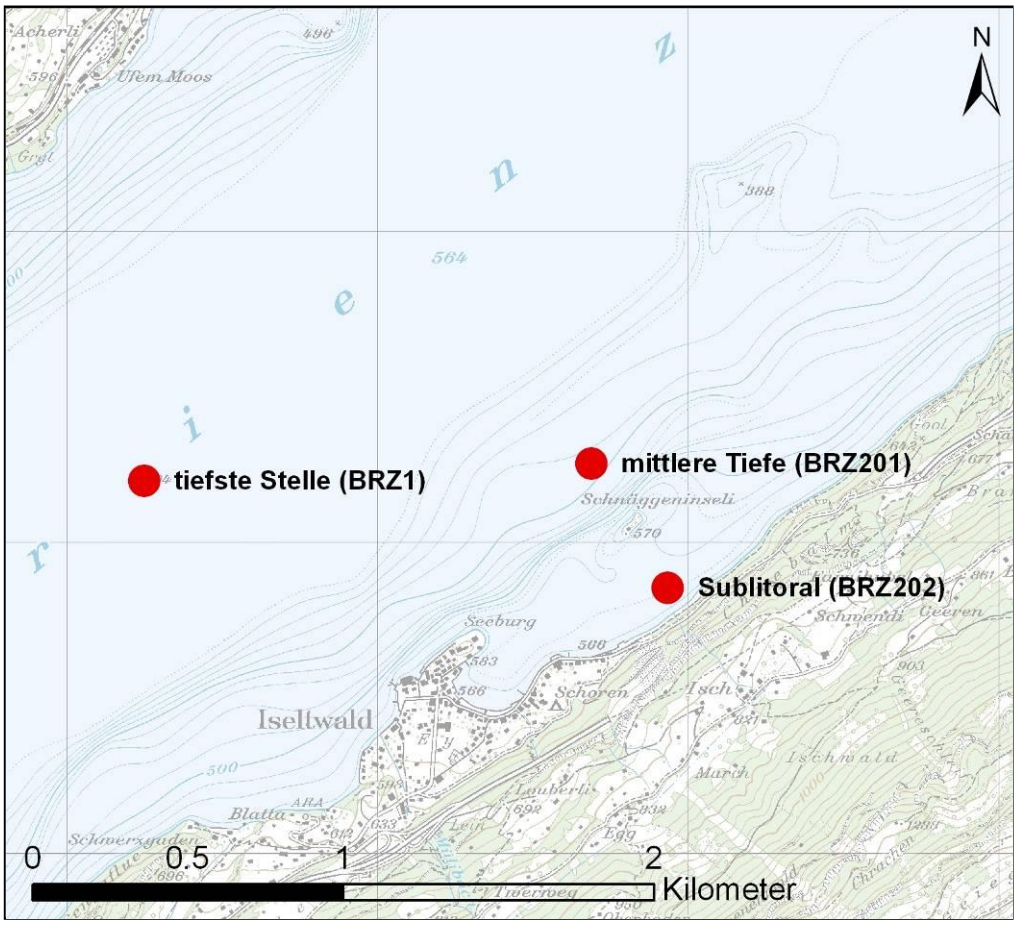
Kenndaten der drei grossen Berner Seen (GBL 2009)

	Fläche	max. Tiefe	mittlere Tiefe	Volumen	Höhe des Seespiegels ü.M.	Fläche Einzugs-gebiet	mittlere Wasserauf-enthaltszeit
Brienzersee	29.72 km^2	259 m	172 m	5.15 km^3	564 m	1130 km^2	973 Tage
Thunersee	47.69 km^2	217 m	136 m	6.42 km^3	558 m	2451 km^2	684 Tage
Bielersee	37.76 km^2	74 m	29 m	1.12 km^3	429 m	8210 km^2	54 Tage

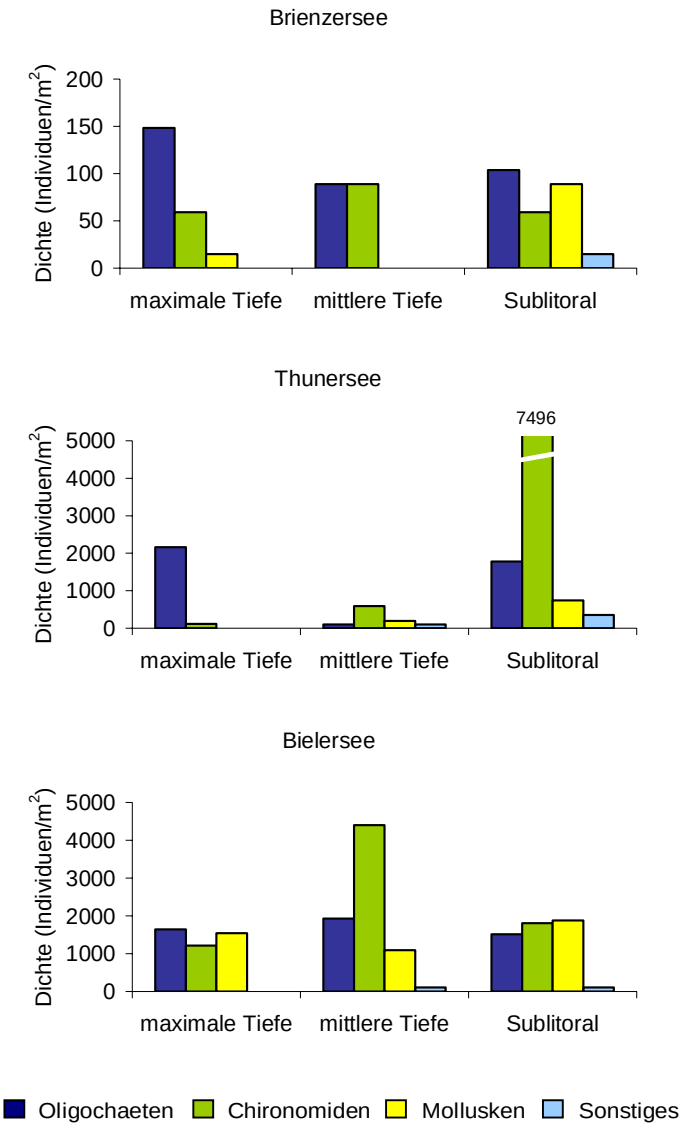
Der Bielersee gehört zusammen mit dem Neuenburger- und dem Murtensee zu den Jurarandseen. Sein Einzugsgebiet umfasst rund 1/5 der Schweizer Landesfläche und ist geprägt durch starke Besiedlung und intensive Landwirtschaft. Die Menge an Nährstoffen, die dem See zufliesst, ist deshalb hoch. Der Bielersee weist demnach auch eine mittlere bis hohe Produktivität auf. Trotz Verbesserungen der Sauerstoffverhältnisse über die letzten 20 Jahre, kann die Sauerstoffkonzentration im Tiefenwasser Werte unter 4 mg/L annehmen (GBL 2009, GBL 2010)

3.2. Der Brienzersee

Neben dem geringen Zufluss an Nährstoffen führen auch die tiefen Temperaturen in den oberflächennahen Wasserschichten und die Trübung durch mineralische Stoffe zu einer geringen Biomasseproduktion der Primärproduzenten (Phytoplankton) im Brienzersee (GBL 2013). Das somit geringe Futterangebot wirkt sich nicht nur auf das Vorkommen von Zooplankton aus (GBL 2013), sondern hat auch Auswirkungen auf die Besiedelung des Seegrundes durch aquatische Invertebraten. Die Individuendichten des Makrozoobenthos sind im Brienzersee in allen Tiefen sehr gering. Da die Benthosfauna als Nahrung diverser Fischarten (z.B. Felchen, Rotaugen, Egli) dient, trägt ihr begrenztes Vorkommen unter anderem zum limitierten Fischbestand des Brienzersees bei.



Im Brienzersee wurde nebst der tiefsten Stelle auch eine Stelle in mittlerer Seetiefe und eine Stelle im Sublitoral beprobt.



Auffallend im Makrozoobenthos des Brienzersees ist der hohe Anteil an Arten, die anfällig auf Eutrophisierung und Gewässerverschmutzungen reagieren, was auf eine sehr gute Wasserqualität hinweist.

In der maximalen Tiefe setzt sich die Chironomidenlarvenpopulation aus *Paracladopelma nigritula* gr. und *Macropelopia nebulosa* gr. zusammen. Diese Artengruppen kommen bevorzugt in kalten, oligotrophen Gewässern vor und sind Indikatoren guter Wasserqualität. Unter den Oligochaeten wurden in dieser Tiefe ausschliesslich Tubificinae mit Haarborsten gefunden, die noch jung und deshalb nicht weiter bestimmbar sind. Individuen dieser Artengruppe kommen unter anderem an Standorten vor, die mit schlecht abbaubarem organischem Material belastet sind. Im Brienzersee könnte dies terrestrisches Pflanzenmaterial aus dem Einzugsgebiet sein. Durch die Kälte, Dunkelheit und Armut an Destruenten, könnte der Abbauprozess solcher Substanzen langsam vor sich gehen und somit zu einer Ansammlung von organischem Material führen.

Die Dichte an aquatischen Invertebraten ist im Brienzersee und im Profundal des Thunersees sehr gering. Das Makrozoobenthos des Bielersees hingegen ist in allen Tiefen dicht.

In der mittleren Tiefe, wie auch im Sublitoral, finden sich unter den Oligochaeten und Chironomiden fast ausschliesslich Indikatoren unverschmutzter Gewässer (Lumbriculidae, *Piguetiella blanci* und *Macropelopia nebulosa* gr.). Die Präsenz von *Dorydrilus michaelseni* in der mittleren Tiefe weist zudem auf die Präsenz von unterseeischen Quellaufstössen an dieser Stelle hin.

Der IQB-AL, ein Index zur Beurteilung der Qualität des Sediments, liegt im Brienzersee bei 3.67, dem höchsten Wert der drei Grossseen. Dieser Wert unterstützt die Beurteilung des Brienzersees als oligotropher und unbelasteter Lebensraum.

Organisches Material, das sich am Seegrund ablagert, kann sowohl aus terrestrischen Quellen, wie auch aus der seeinternen Algen- und Wasserpflanzenproduktion stammen. Terrestrisches Material ist reich an Zellulose und weist daher ein hohes C/N-Verhältnis (> 20) auf. Algen und Wasserpflanzen hingegen benötigen kaum Stützelemente, ihr C/N-Verhältnis liegt typischerweise zwischen 4 bis 10 (Meyers 1994). Das C/N-Verhältnis des Brienzerseesediments (C/N = 28.7-36.5) weist darauf

hin, dass das sedimentierte organische Material hauptsächlich aus terrestrischen Quellen stammt.

Der Index IOBL, der auf der Dichte und Artenzahl der Oligochaeten basiert, liegt mit 4.6 – 6 sehr tief. Dies bedeutet, dass das Sediment organisches Material nur sehr langsam abbauen kann. Gleichzeitig sind viele Oligochaetenarten in der mittleren Tiefe und im Litoral vorhanden, die sensitiv auf einen Nährstoffüberfluss reagieren. Dies deutet darauf hin, dass die Zufuhr an organischem Material in den Brienzersee so gering ist, dass sie die Abbaukapazität des Sediments kaum je übersteigt. Die Wasserqualität ist deshalb trotz der geringen Abbaukapazität des Sediments sehr gut.

3.3. Der Thunersee

Im Thunersee unterscheiden sich sowohl die Individuendichte, wie auch die Artenzusammensetzung in den verschiedenen Tiefen stark. In der maximalen und mittleren Tiefe ist der Thunersee nur sehr dünn mit Benthosorganismen besiedelt. Die limitierte Nährstoffverfügbarkeit sowie auch die Kälte und Dunkelheit dürften limitierende Faktoren für das dichte Auftreten von Benthosorganismen in der Tiefe sein. Das Sublitoral hingegen zeigt eine dichte und artenreiche Makrozoobenthosbesiedlung.

Sowohl in der maximalen wie auch in der mittleren Tiefe kommen unter den Chironomidenlarven Artengruppen vor, die typisch sind für oligo- bis mesotrophe Gewässer und Indikatoren guter Wasserqualität sind (*Sergentia coracina* gr., *Micropsectra contracta* gr und *Macropelopia nebulosa* gr.). Unter den Oligochaeten finden sich ausschliesslich dystrophie- und verschmutzungsresistente Arten (*Tubifex tubifex* und *Potamothrix hammoniensis*). Zusammen mit der Absenz von verschmutzungssensitiven Arten weisen sie darauf hin, dass das Sediment einen hohen Anteil an schlecht abbaubarem organischem Material enthält. Ein langsamer Abbau aufgrund der grossen Tiefe und Kälte und die lange Aufenthaltszeit des Wassers im Thunersee, können zu einer Anhäufung terrestrischen Pflanzenmaterials beitragen.

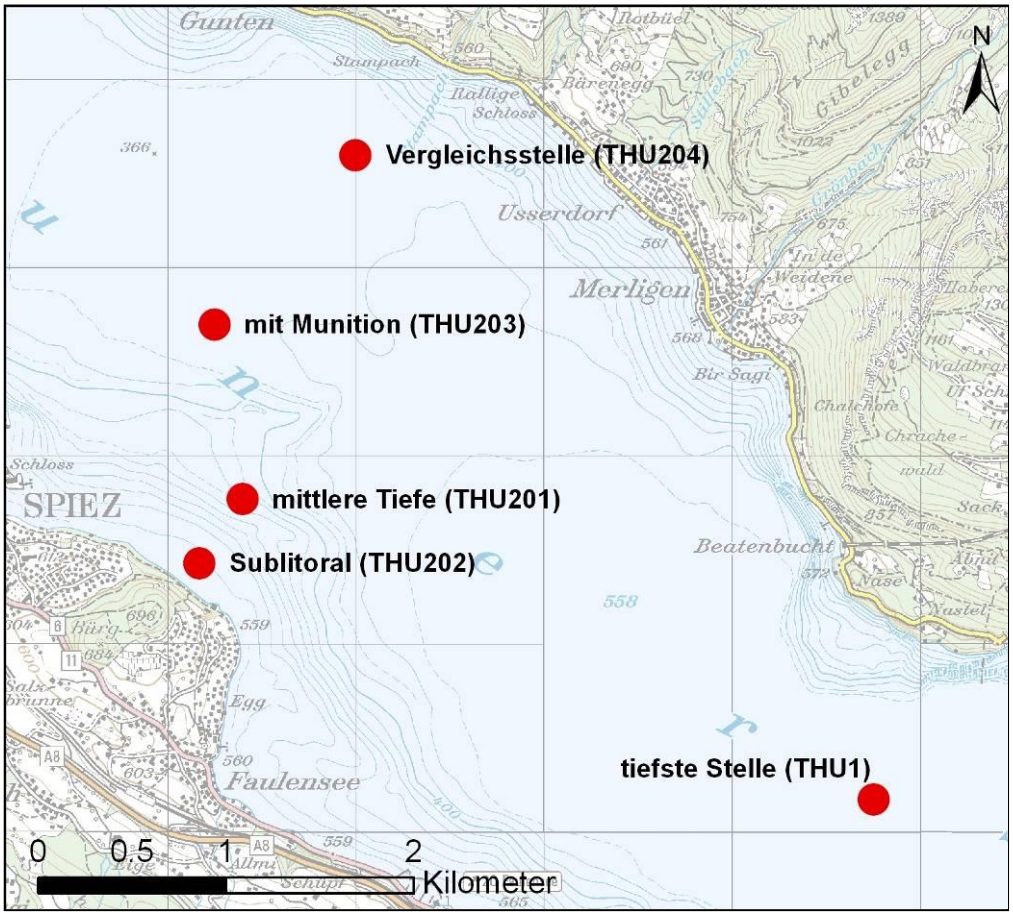
Angaben zu Probenahme, Individuendichte (Individuen/m^2), Anzahl Taxa und C/N-Verhältnis im Sediment der grossen Berner Seen

	Probe	Datum Probenahme	Tiefe Probenahme (m)	Dichte Makrozoo-benthos	Anzahl Taxa	C/N-Verhältnis
Brienzersee	max. Tiefe	17.09.2013	259	222	4	28.70
	mit. Tiefe	15.10.2013	184	178	7	30.51
	Sublitoral	15.10.2013	21	267	6	36.47
Thunersee	max. Tiefe	30.10.2013	217	2281	5	29.25
	mit. Tiefe	30.10.2013	135	993	4	25.51
	Sublitoral	30.10.2013	13	10370	25	21.62
Bielersee	max. Tiefe	18.09.2013	74	4400	17	20.26
	mit. Tiefe	16.10.2013	31	7526	22	12.57
	Sublitoral	16.10.2013	10	5304	37	17.71

Das Sublitoral des Thunersees weist mit 14 Chironomiden-Artengruppen eine grosse Vielfalt auf. Darunter finden sich typische Besiedler des Litorals wie *Polypedilum nubeculosum* gr. und *Cladotanytarsus mancus*. Sie sind (wie auch *Procladius* und *Harnischia* sp.) typisch für produktive Seen. Artengruppen wie *Micropsectra contracta* gr., *Parakiefferiella triquetra* gr. und *Pseudochironomus prasinatus*, die öfters in oligo- bis mesotrophen Seen vorkommen, sind vorhanden, wenn auch in geringeren Dichten. Auch unter den Oligochaeten wurden Arten gefunden, die auf unverschmutzte Bedingungen im Sublitoral hinweisen (*Piguetiella blanci*, *Specaria josinea, Uncinais unicinata und Vejdovskiella intermedia*). Die dominierende Art ist allerdings *Aulodrilus pluriseta*, ein Zeiger für Standorte mit schlecht abbaubarem organischem Material.

Der oligo-mesotrophe Charakter des Thunersees kommt in der Analyse des Makrozoobenthos zum Ausdruck. In allen Tiefen koexistieren sowohl sensible Arten, wie auch Indikatoren nährstoffreicher Bedingungen. Dies widerspiegelt sich auch im IQB-AL, der mit 2.77 zwischen dem IQB-AL des Brienzer- und des Bielersees liegt.

Das sedimentierte organische Material stammt vorwiegend von terrestrischem Pflanzenmaterial (C/N-Verhältnis zwischen 21.6 und 29.3, Meyers 1994). Seeinterne Algenproduktion trägt nur in geringem Masse dazu bei, was die Einstufung des Thunersees als wenig produktiven See unterstützt. Die Dichte und Vielfalt der



Im Thunersee wurde die tiefste Stelle, die mittlere Tiefe und das Sublitoral beprobt. Um eine allfällige Auswirkung von Munitionsdeponien auf den Makrozoobenthos zu untersuchen, wurden Proben im Bereich der Munitionsdeponie Merligen und an einer Vergleichsstelle gleicher Seetiefe entnommen.

Oligochaeten deuten zudem auf eine hohe Kapazität hin, organisches Material im Sediment abzubauen (IOBL=9 bis 12.8). Nur in der mittleren Tiefe zeigt der IOBL ein schwaches metabolisches Potential an (IOBL=4.2). Er basiert in dieser Tiefe aber auf einer sehr geringen Dichte an Oligochaeten (Dichte=104 Individuen/m^2), weshalb eine grössere Unsicherheit vorliegt.

3.4. Munitionsdeponien im Thunersee

Aus historischen Untersuchungen geht hervor, dass am Grund des Thunersees zwischen 1920 und 1963 ca. 4600 t Munition und Fabrikationsrückstände abgelagert wurden. Im Rahmen einer Gefährdungsabschätzung des eidgenössischen Bundesamtes für Verteidigung, Bevölkerungsschutz und Sport (VBS) wurden umfangreiche chemische Untersuchungen an den Sedimenten und am Seewasser durchgeführt. Die Wasseranalysen zeigten, dass die Konzentrationen der freigesetzten Stoffe wie TNT, Dinitrobenzol, Quecksilber und Blei unter der Bestimmungsgrenze der Analysemethoden lagen. Im Sediment wurde die vertikale Ausbreitung von Schadstoffen auf wenige mm pro Jahr geschätzt. Es ist deshalb anzunehmen, dass der Zuwachs von Sediment die Ausbreitung von Schadstoffen im Sediment übersteigt (Van Stujivenberg & Schenker 2005).

Auch im Brienzersee wurden ca. 280 t Munition versenkt. Die Deponie ist nahe Giessbach, am Südostufer des Brienzersees gelegen (Van Stujivenberg & Schenker 2005). Die untersuchten Makrozoobenthosproben wurden rund 5 km entfernt von dieser Stelle in der Nähe des Schnäggeinseli vor Iseltwald genommen. Einen Einfluss durch die Munitionsdeponie ist somit in der präsentierten Makrozoobenthosstudie nicht zu erwarten.

Um eine allfällige Auswirkung der Munitionsdeponien auf das Makrozoobenthos zu untersuchen, wurde für die hier präsentierte Studie das Sediment im Bereich der Munitionsdeponie Merligen im Thunersee beprobt. Als Vergleich diente eine Probe aus einem unbelasteten Standort gleicher Seetiefe (195-198 m).

An beiden Probestellen ist die Besiedlung durch aquatische Invertebraten sehr gering und es sind ähnlich viele Taxa vorhanden. In der Artzusammensetzung des Makrozoobenthos lassen sich allerdings Unterschiede erkennen. Die Probe aus der Munitionsdeponie ist dominiert von Oligochaeten (*Tubifex tubifex, Potamothrix hammoniensis* und *Limnodrilus hoffmeisteri*), die gegen mittlere bis starke Verschmutzungen resistent sind. Die Vergleichsstelle weist neben einer

Angaben zu Probenahme, Individuendichte (Individuen/m^2), Anzahl Taxa und C/N-Verhältnis im Sediment im Bereich der Munition und der Vergleichsstelle

	Datum Probenahme	Tiefe Probenahme (m)	Dichte Makrozoo-benthos	Anzahl Taxa	C/N-Verhältnis
Munition	30.10.2013	198	1733	6	22.46
Vergleichsstelle	30.10.2013	195	1156	6	26.22

Oligochaetenart (*Potamothrix hammoniensis*) 3 Chironomidenartengruppen (*Micropsectra contracta* gr., *Procladius* sp. und *Macropelopia nebulosa* gr.) auf. Sowohl *Micropsectra. contracta* gr. wie auch *Macropelopia nebulosa* gr. sind Indikatoren guter Gewässerqualität.

Die Qualität des Sediments wird aufgrund der Artenzusammensetzung an der Vergleichsstelle besser eingeschätzt (IQB=2.50) als an der Munitionsstelle (IQB=1.11). Dieser Unterschied ist vor allem auf die Präsenz der Chironomidenarten *Micropsectra contracta* gr. und *Macropelopia nebulosa* gr. an der Vergleichsstelle zurück zu führen. Diese Artengruppen sind Indikatoren guter Gewässerqualität und fehlen an der Munitionsstelle (ausser ein Individuum von *Micropsectra contracta* gr.).

Diese Varianz liegt in Anbetracht der niedrigen Individuenzahl im Bereich der natürlichen Variabilität. Ob ein Einfluss der versenkten Munition auf den Makrozoobenthos vorliegt, kann aufgrund der vorliegenden Daten nicht beurteilt werden.

Artenvorkommen im Bereich der Munitionsdeponie (Mun.) und der Vergleichsstelle (Vergl.)

		Mun.	Vergl.
S_i	**Oligochaeten**		
1	Tubifex tubifex		
1	Limnodrilus hoffmeisteri		
	Juvenile Tubificinae ohne Haarborsten		
	Juvenile Tubificinae mit Haarborsten		
1	Potamothrix hammoniensis		
	Chironomiden		
3	Micropsectra contracta gr.		
4	Macropelopia nebulosa gr.		
1	Procladius sp.		
	Mollusken		
	Sphaeridae		

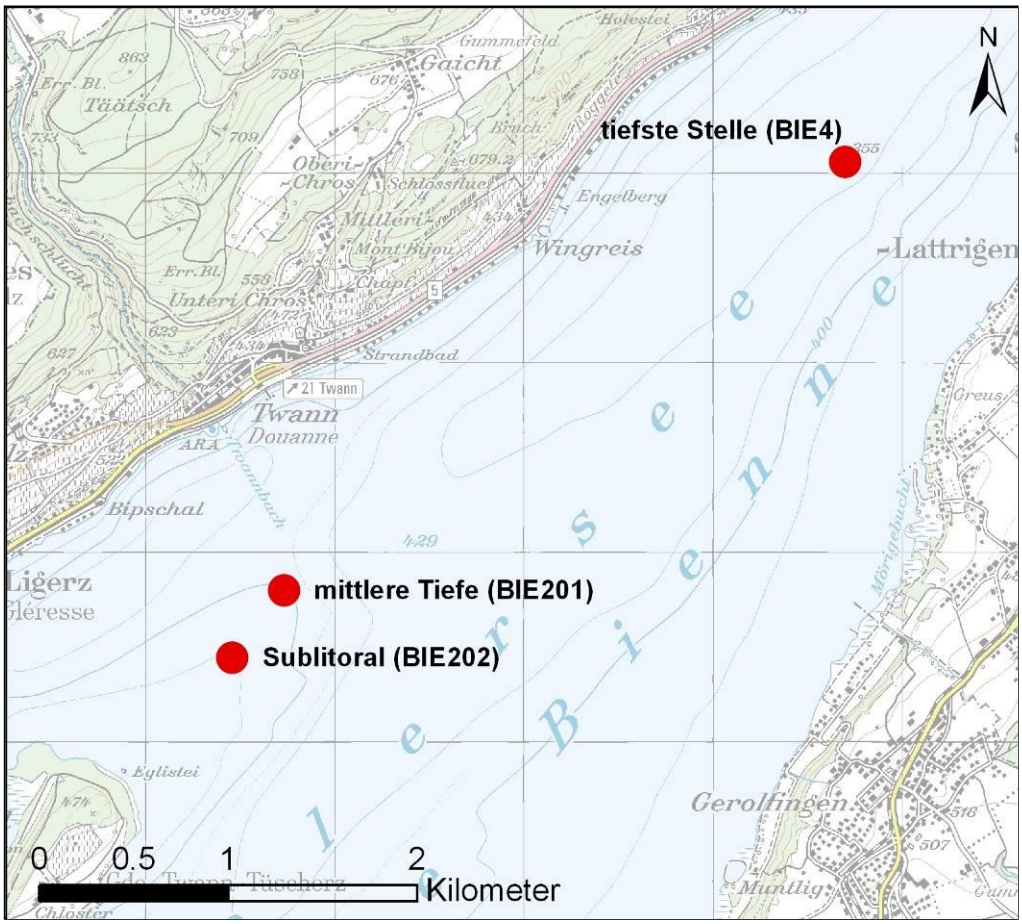
3.5. Der Bielersee

Durch das grosse, landwirtschaftlich geprägte und dicht besiedelte Einzugsgebiet ist der Eintrag von Nährstoffen in den Bielersee beträchtlich (GBL 2009). Im Gegensatz zum Brienzer- und Thunersee sind die aquatischen Organismen somit weniger durch die Verfügbarkeit von Nährstoffen limitiert. Das Makrozoobenthos ist in allen untersuchten Tiefen relativ dicht und weist eine hohe Artenvielfalt auf.

In der maximalen Tiefe zeigen Oligochaeten und Chironomiden unterschiedliche Bedingungen im Sediment an. Die Oligochaetenarten *Tubifex tubifex*, *Potamothrix hammoniensis* und *heuscheri* sind angepasst an starke organische Belastungen im Sediment. Ihre Dominanz in der Oligochaetenpopulation weist auf hohe Konzentrationen von schlecht abbaubarem organischem Material hin. Die vorhandenen Chironomidenarten hingegen zeigen eine deutlich bessere Wasserqualität an. *Micropsectra radialis* und *Macropelopia nebulosa* gr., zwei Zeiger guter Wasserqualität und oligotropher Bedingungen, kommen vor.

Obwohl sich der Sauerstoffhaushalt des Bielersees durch Reduktionen im Phosphoreintrag über die letzten 20 Jahre stark verbessert hat, kann in der warmen Jahreszeit die Sauerstoffkonzentration unter 4 mg/L sinken (GBL 2010). Möglicherweise ist das Makrozoobenthos des Profundals durch diese saisonale Sauerstoffknappheit beeinflusst. Sowohl die vorkommenden, dominierenden Oligochaetenarten, wie auch die Chironomidengattung *Procladius* sp. sind allerdings an knappe Sauerstoffbedingungen angepasst.

In der mittleren Tiefe zeigen sowohl die Oligochaeten, wie auch die Chironomiden Bedingungen zwischen natürlichem und degradiertem Zustand an. Unter den Oligochaeten dominiert *Potamothrix vejdovski*, eine Art die an Standorten leichter Verschmutzung auftritt. Unter den Chironomidenlarven coexistieren Artengruppen die typischerweise unter hohen (*Procladius, Chironomus commutatus/bernensis*), mittleren (*Harnischia* sp., *Sergentia coracina*) und tiefen (*Macropelopia nebulosa, Micropsectra contracta* gr.) Nährstoffbelastungen vorkommen.



Im Bielersee wurden neben der tiefsten Stelle auch Sedimentproben in der mittleren Tiefe und im Sublitoral in der Nähe der St. Petersinsel entnommen.

Aufgrund des hohen Anteils an Artengruppen, die resistent gegenüber hohen Nährstoffbelastungen und Verschmutzungen sind (41 % Tubificinae ohne Haarborsten unter den Oligochaeten sowie die Präsenz von *Polypedilum nubeculosum*, *Procladius* sp. und *Harnischia* sp. unter den Chironomidenlarven) muss auch im Sublitoral von einer hohen organischen Belastung im Sediment ausgegangen werden. Dennoch sind Arten vorhanden, die unter sehr starker Belastung oder Verschmutzung nicht vorkommen würden (*Spirosperma velutinus, Piguetiella blanci, Specaria josinea, Psammoryctides barbatus*). Mit *Quistadrillus multisetosus* wurde an dieser Stelle eine Art gefunden, die bisher in keinem anderen Schweizer See beschrieben wurde.

Die Mollusken erreichen im Bielersee zum Teil sehr hohe Dichten und zeigen im Vergleich zum Brienzer- und Thunersee eine grosse Artenvielfalt. Auffallend ist die starke Präsenz zweier Neozoen im Sublitoral (*Dreissena polymorpha* und *Potamopyrgus antipodarum*).

Das organische Material, das sich im Sediment des Bielersees ablagert, stammt zu einem grossen Teil von terrestrischem Pflanzenmaterial. Der Beitrag der seeinternen Produktion ist dabei allerdings höher als im Brienzer- und Thunersee (C/N-Verhältnis zwischen 12.6 und 20.3, Meyers 1994).

Die Analyse der Oligochaeten zeigt, dass das Sediment des Bielersees eine grosse Kapazität hat, durch Mineralisierung grosse Mengen an organischem Material abbauen zu können (IOBL zwischen 14.4 und 19). Die kurze Wassererneuerungszeit von 54 Tagen unterstützt diesen Prozess.

Der Bielersee weist mit IQB-AL=2.18 den tiefsten Wert der drei Berner Grossseen auf, was auf eine höhere Nährstoffkonzentration und tiefere Qualität im Sediment hinweist. Doch auch dieser Wert liegt noch über dem IQB-AL, der für das westliche Becken des Genfersee 2009 berechnet wurde (1.3 +- 0.1 bis 1.42 +- 0.25) (Lods-Crozet 2009). Allerdings basiert der IQB des Bielersees auf einer kleineren Anzahl Probestellen als der Wert des Genfersees.

Arten, die bevorzugt in eutrophen Bedingungen vorkommen, sind stark im Sediment des Bielersees vertreten. Doch die Anwesenheit sensibler Arten weist darauf hin, dass das Benthal des Bielersees dennoch einen wertvollen und vielfältigen Lebensraum bietet.

		Bielersee			Thunersee			Brienzersee		
		10m	31m	74m	13m	135m	217m	21m	184m	259m
S_i	**Oligochaeten**									
	Psammoryctes barbatus									
	Spirosperma velutinus									
	Branchiura sowerbyi									
4	Spirosperma ferox									
	Quistadrilus multisetosus									
1	Limnodrilus hoffmeisteri									
	Vejdovskiella intermedia									
4	Uncinais uncinata									
3	Specaria josinae									
2	Aulodrilus pluriseta									
	Piguetiella blanci									
	Stylaria lacustris									
2	Potamothrix moldaviensis									
2	Potamothrix vejdovski									
	Ophidonais serpentina									
1	Potamothrix heuscheri									
*	Tubificinae ohne Haarborsten									
1	Tubifex tubifex									
1	Potamothrix hammoniensis									
*	Lumbriculidae									
	Dorydrilus michaelseni									
*	Tubificinae mit Haarborsten									
	Chironomidae									
	Ablabesmyia sp.									
2	Polypedilum nubeculosum									
	Pseudochironomus prasinatus									
2	Microtendipes pedellus gr.									
1	Cryptochironomus sp.									
	Cladotanytarsus mancus gr.									
	Parakiefferiella triquetra gr.									
	Psectrocladius sp.									
	Stempellinella sp.									
1	Chironomus commutatus									
2	Tanytarsus sp.									
1	Procladius (H.) spp.									
4	Micropsectra radialis gr.									
2	Harnischia sp.									
2	Stictochironomus rosenschoeldi gr.									
4	Macropelopia nebulosa gr.									
3	Micropsectra contracta gr.									
2	Sergentia coracina									
4	Paracladopelma nigritula.gr.									
	Mollusken									
	Corbicula fluminea									
	Unio tumidus									
	Potamopyrgus antipodarium									
	Lithoglyphus naticoides									
	Valvata cristata									
	Bithynia tentaculata									
	Gyraulus crista									
	Galba truncatula									
	Dreissena polymorpha									
	Radix balthica									
	Valvata piscinalis									
	Sphaeridae									

Artenvorkommen in den drei grossen Berner Seen. Der S_i wird zur Berechnung des IQB-AL benötigt (valeur de sensibilité), mit * sind Gruppen juveniler Individuen gekennzeichnet, die taxonomisch nicht weiter bestimmt werden können.

Seetiefe
<200m
100-200m
50-100m
30-50m
0-30m

3.6. Zusammenfassung zu den grossen Berner Seen

Die Nährstoffverfügbarkeit und physikalische Faktoren wie die Tiefe des Sees, die Wassertemperatur und die Wassererneuerungszeit scheinen limitierende Faktoren für den Makrozoobenthos der drei grossen Berner Seen zu sein.

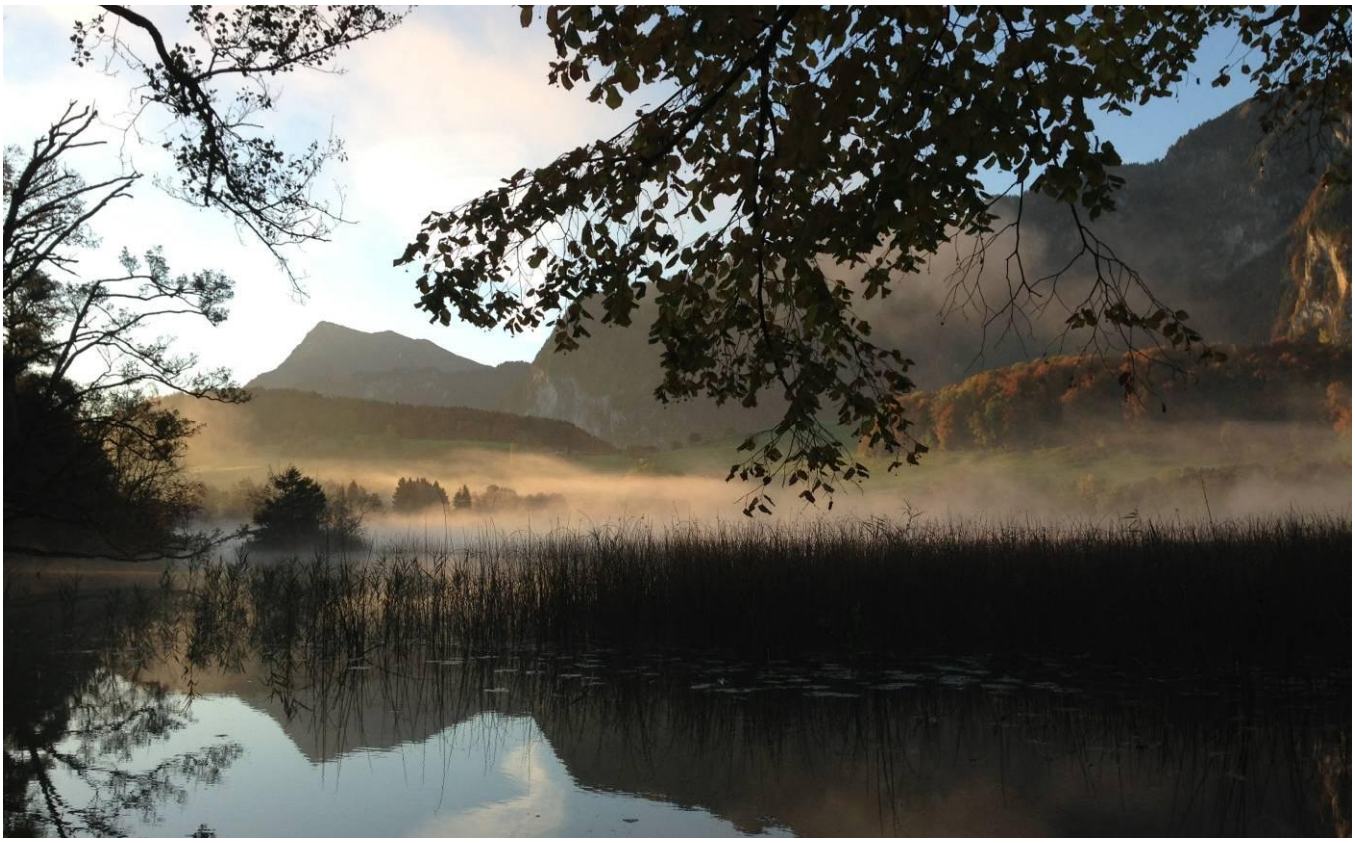
Im nährstoffarmen Brienzersee ist der Makrozoobenthos in allen Tiefen in geringen Dichten vertreten. Die vorhandenen Arten sind mehrheitlich Indikatoren oligotropher Bedingungen und guter Wasser- und Sedimentqualität.

Im Thunersee finden sich sowohl sensible Arten, wie auch Indikatoren nährstoffreicher Bedingungen. Dabei ist vor allem das Sublitoral dicht mit Benthosorganismen besiedelt, während in der Tiefe nur wenige Individuen vorhanden sind.

Unterschiede in der Makrozoobenthosbesiedlung im Bereich der Munitionsdeponie Merligen im Thunersee und der unbelasteten Vergleichsstelle gleicher Seetiefe sind vermutlich auf natürliche Varianzen im Sediment zurück zu führen. Aufgrund der Datenlage kann der Einfluss der versenkten Munition auf das Makrozoobenthos nicht beurteilt werden.

Das Makrozoobenthos des Bielersees ist dicht und artenreich. Die meisten vorhandenen Arten sind an die nährstoffreichen Bedingungen angepasst. Die Molluskenfauna ist, im Gegensatz zum Brienzer- und Thunersee, im Bielersee sehr dicht und weist 2 Neozooen auf.

Die Individuendichten, insbesondere in den grossen Tiefen des Brienzer- und Thunersees, sind sehr gering. Dies sollte bei der Gewichtung der Aussagen in Betracht gezogen werden. Weitere Untersuchungen des Makrozoobenthos in den drei grossen Berner Seen basierend auf mehr Probestellen und grösseren Sedimentmengen wären wünschenswert, um ein ganzheitlicheres Bild der Makrozoobenthosbesiedlung zu erhalten. Zudem wäre eine Probenahme im Frühling zu empfehlen. Insekten, die eine Generation pro Jahr bilden, schlüpfen im Sommer. In herbstlichen Proben ist deshalb ein grosser Prozentsatz juveniler Individuen zu finden, was die taxonomische Bestimmung erschwert (Solimini 2006).



In 10 der insgesamt über 100 Kleinseen des Kantons Bern wurden Makrozoobenthosuntersuchungen durchgeführt (Foto: Amsoldingersee, Noëmi Zweifel)

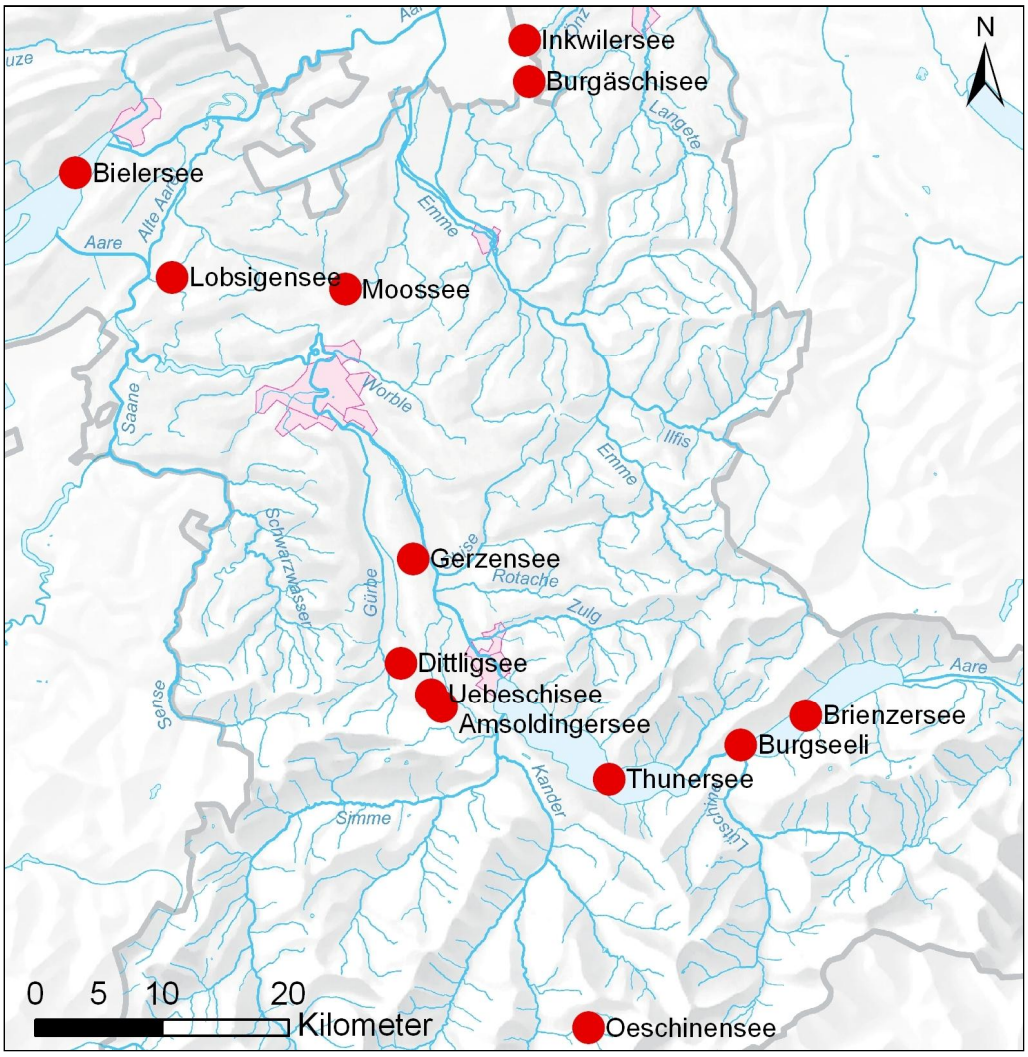
4. Die Kleinseen

4.1. Das Untersuchungsgebiet

Der Kanton Bern bietet mit seinen über 100 Kleinseen eine Vielfalt an stehenden Gewässern. Die hier präsentierte Studie knüpft an die kantonalen Kleinseenuntersuchungen 2003 und 2013 an, die chemische und biologische Messungen an 8 Kleinseen des Kantons Bern umfassen (GBL 2004). Dazu genommen wurden der Inkwiler- und der Burgäschisee, die durch das Gewässer- und Bodenschutzlabor des Kantons Bern in Zusammenarbeit mit dem Kanton Solothurn zweimal jährlich untersucht werden. Die Benthosfauna der Kleinseen wurde bislang nicht vom Kanton untersucht. Auch in der Literatur sind Kenntnisse darüber nur vereinzelt vorhanden.

Der Oeschinensee liegt als einziger der 10 untersuchten Kleinseen im subalpinen Raum. Da er sich in seiner Ökologie sehr stark von den anderen Kleinseen unterscheidet, wird er in diesem Bericht einzeln beschrieben. Die anderen Kleinseen liegen im Mittelland und sind geprägt durch ihre intensiv landwirtschaftlich genutzte Umgebung (Guthruf et al. 1999).

Lage der 10 untersuchten Kleinseen sowie der grossen Berner Seen.



4.2. Zustand der Kleinseen im Mittelland

Die Kleinseen des Mittellandes sind in den letzten zwei Jahrhunderten stark unter Druck geraten. Wasserstandsabsenkungen und Entsumpfungen zur Landgewinnung, das Eindolen und Kanalisieren von Zuflüssen, das Einleiten häuslicher Abwässer sowie der Nährstoffeintrag durch die umliegende intensive Landwirtschaft haben in vielen Kleinseen zu einer starken Eutrophierung geführt (Guthruf et al. 1999). Obwohl in den letzten Jahrzehnten durch Verbesserungen in der Siedlungsentwässerung und der landwirtschaftlichen Düngepraxis die Umstände geringfügig verbessert werden konnten, ist der Nährstoffeintrag in diese Seen nach wie vor sehr hoch (GBL 2004).

Der hohe Nährstoffeintrag bewirkt in vielen Kleinseen eine übermässige Algenproduktion in den oberflächennahen Wasserschichten. Die anfallende tote Biomasse wird unter Sauerstoffzehrung im Profundal abgebaut. In Phasen eingeschränkter Durchmischung während der warmen Jahreszeit können so anoxische Bedingungen im Tiefenwasser entstehen. Dazu kommt, dass unter den sauerstofffreien Bedingungen anaerobe Bakterien Sulfat zu Schwefelwasserstoff reduzieren, wodurch zum Teil hohe Konzentrationen des giftigen Schwefelwasserstoffs entstehen (Guthruf et al. 1999).

In 7 der 9 Kleinseen des Mittellandes stellt sich in der warmen Jahreszeit eine stabile Schichtung ein. In diesen stratifizierten Seen wurde sowohl das Profundal, wie auch das Litoral für die Analyse des Makrozoobenthos beprobt. Es sind dies das Burgseeli, der Amsoldingersee, der Uebeschisee, der Dittligsee, der Gerzensee, der Moossee und der Burgäschisee.

Der Lobsigensee und der Inkwilersee sind mit 2 m resp. 4 m zu seicht, als dass sich über eine längere Zeit eine stabile Temperaturschichtung ausbilden könnte. Sie sind polymiktisch, d.h. sie können auch während den Sommermonaten mehrmals mischen (Guthruf et al. 1999). Diese Kleinseen wurden ausschliesslich die tiefsten Stellen beprobt.

4.2.1. Die stratifizierten Kleinseen

Durch die stabile Schichtung wird während der warmen Jahreszeit kein sauerstoffreiches Oberflächenwasser in die tieferen Wasserschichten eingetragen. Während den Probenahmen im Oktober 2013 waren Sauerstoffwerte über 4 mg/L lediglich in den obersten 5.5-8.5 m der Wassersäule zu messen. Zudem roch das Tiefenwasser stark nach Schwefel, was auf die Produktion des giftigen Schwefelwasserstoffs hinweist. Zwischen 54 und 70 % der gesamten Sedimentfläche der Kleinseen sind während der warmen Jahreszeit sauerstofffrei und steht so für den Makrozoobenthos nicht als Lebensraum zur Verfügung.

Dies kommt in der Analyse des Makrozoobenthos klar zum Ausdruck. Keiner der 7 Kleinseen weist im Profundal eine Besiedlung durch Makroinvertebraten auf. Im Gegensatz zu frei schwimmenden Tiergruppen sind die Sedimentbewohner wenig mobil und breiten sich auch während der Mischungsphase nicht in die tieferen Wasserschichten aus. Ihr Vorkommen ist deshalb auf die sauerstoffreiche Uferzone beschränkt.

Kenndaten der untersuchten Kleinseen (Guthruf et al. 1999)

	SeeID	Fläche	maximale Tiefe	Volumen	Höhe des Seespiegels ü.M.	Fläche Einzugs-gebiet	Landwirtschaft am Einzugsgebiet
Burgseeli	BUR	0.05 km^2	19.1 m	449 638 m^3	613 m	0.72 km^2	27%
Amsoldingersee	AMS	0.38 km^2	13.9 m	2 552 682 m^3	641 m	4.2 km^2	72%
Uebeschisee	UEB	0.14 km^2	14.7 m	1 020 657 m^3	641 m	1.25 km^2	75%
Dittligsee	DIT	0.06km^2	16.4 m	412 562 m^3	652 m	0.39 km^2	60%
Gerzensee	GER	0.25 km^2	10.7 m	1 443 054 m^3	603 m	2.73 km^2	67%
Moossee	MOG	0.3 km^2	21.1 m	2 950 858 m^3	521 m	20.81 km^2	58%
Burgäschisee	BAE	0.2 km^2	30 m	2 784 114 m^3	465 m	3.83 km^2	55%
Lobsigensee	LOB	0.02 km^2	2.5 m	21 953 m^3	514 m	0.93 km^2	84%
Inkwilersee	INK	0.1 km^2	5 m	210 277 m^3	461 m	4.68 km^2	65%
Öschinensee	OES	1.15 km^2	56 m	37 420 336 m^3	1578 m	22.08 km^2	4%

Hingegen ist das sauerstoffreiche Litoral der Kleinseen zum Teil sehr dicht und vielfältig mit aquatischen Invertebraten besiedelt. Vorwiegend wurden Arten gefunden, die an die nährstoffreichen Bedingungen der Kleinseen angepasst sind.

Die höchste Artenvielfalt und eine der höchsten Individuendichten wurden im Litoral des Burgäschisees gefunden. Oligochaeten, Chironomiden und Mollusken kommen in ausgewogenem Verhältnis zueinander vor. Es ist anzunehmen, dass der Burgäschisee in seinem natürlichen mesotrophen Zustand in allen Tiefen Lebensräume für einen dichten und vielfältigen Makrozoobenthos geboten hätte. Durch den starken anthropogenen Einfluss aber ist ein Grossteil des Sees für diese Lebewesen als Lebensraum nicht mehr verfügbar. Die grosse Artenvielfalt und dichte Besiedlung im Litoral würden eine Wiederbesiedlung des Profundals erleichtern, sollte sich der See infolge von Verbesserungen im Nährstoffeintrag erholen.

Im Litoral des Dittlig-, Gerzen- und Moossees dominieren die Oligochaeten das Makrozoobenthos. In den Proben des Uebeschisees hingegen fehlt diese Tiergruppe gänzlich. Aufgrund der kleinen Probefläche kann nicht auf ein generelles Fehlen dieser Tiergruppe geschlossen werden. Die Probe wurde in einer Wassertiefe von 5.5 m genommen. Obwohl in dieser Tiefe zur Zeit der Probenahme Sauerstoffkonzentrationen über 4 mg/L gemessen wurden, lag die Probestelle im Sommer im sauerstofflosen Bereich des Sees. Möglich wäre, dass sich die wenig mobilen Oligochaeten noch nicht aus dem seichteren Litoral in die tieferen Seebereiche ausbreiten konnten.

Produktive Kleinseen (Bild: Uebeschisee) sind während den Sommermonaten oft stabil geschichtet, wodurch ein Sauerstoffdefizit im Tiefenwasser entsteht. (Foto: Noëmi Zweifel)

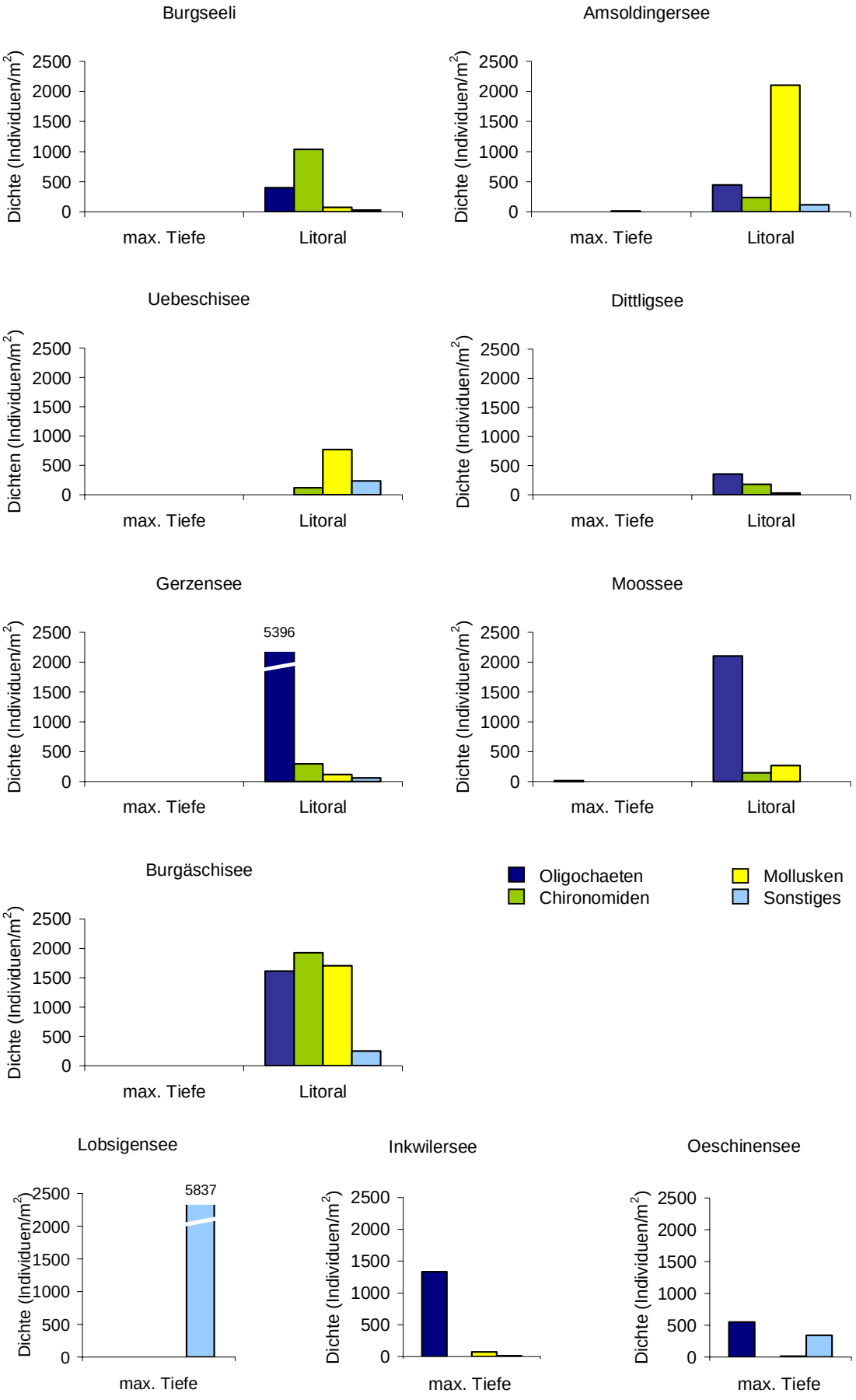
Mit Ausnahme des Dittligsees wurde im Litoral der Kleinseen eine grosse Vielfalt an Molluskenschalen gefunden. Das rezente Vorkommen dieser Mollusken konnte allerdings nur für wenige Arten durch lebende Individuen bestätigt werden. Im Amsoldinger- und Uebeschisee sind die Mollusken sowohl als lebende Individuen wie auch als Überreste stark vertreten. Während sich die heutige Population auf maximal vier Arten beschränkt, weisen die leeren Schalen auf eine ehemals vielfältige Population mit bis zu 11 Arten hin. Bereits 1938 wies Von Büren auf ein massenhaftes Vorkommen subfossiler Mollusken im Amsoldingersee hin. Lebende Molluskenindividuen wurden bereits damals lediglich als Einzelexemplare zweier Arten gefunden.

Im Gegensatz zu den anderen Kleinseen ist im Burgseeli nicht der Eintrag von Nährstoffen aus der Landwirtschaft der Grund für die lebensfeindlichen Bedingungen im Profundal, sondern eine natürliche Anreicherung von Karbonat, Phosphor und Stickstoff. Durch ihre hohen Konzentrationen im Tiefenwasser ist der See chemisch geschichtet, d.h. das über 5°C warme Tiefenwasser ist dichter als das darüber liegende 4°C kalte Wasser, was eine Durchmischung verhindert.

Artenvorkommen in den untersuchten Kleinseen

	Litoralproben							Profundalproben		
	BUR	AMS	UEB	DIT	GER	MOG	BAE	LOB	INK	OES
Tubificidae/Enchytraeidae										
Tubificidae mit Haarborsten										
Parachironomus arcuatus gr.										
Endochironomus albipennus										
Cladotanytarsus mancus										
Non-Pentaneurini										
Paratanytarsus penicillatus										
Dicrotendipes nervosus gr.										
Pseudochironomus prasinatus										
Einfeldia dissidens										
Cryptochironomus sp.										
Microtendipes pedellus/chloris gr.										
Polypedilum nubeculosum										
Cladopelma lateralis-type										
Procladius (Holotanypus)										
Chironomus sp.										
Tanypus kraatzi										
Tanypus punctipennis										
Tanytarsus spp.										
Heterotrissocladius marcidus-type										
Monodiamesa										
Paracladopelma nigritula.gr.										
Galba truncatula										
Haita acuta/heterostropha										
Bithynia tentaculata										
Menetus dilatatus										
Radix balthica										
Radix labiata										
Valvata cristata										
Valvata piscinalis										
Gyraulus laevis/parvus										
Gyraulus albus										
Gyraulus crista										
Acroloxus lacustris										
Sphaeridae										
Trichoptera										
Sialidae										
Ceraptogonidae										
Nematoden										

Dichte (Individuen/m^2)	
> 5000	
500 - 1000	
300 - 500	
100 - 300	
0 - 100	



Individuendichten der untersuchten Kleinseen. Durch die knappen Sauerstoffverhältnisse im Tiefenwasser, können sich im Profundal vieler Kleinseen keine Invertebraten-populationen bilden.

4.2.2. Die polymiktischen Kleinseen

Im Lobsigensee und im Inkwilersee kann sich trotz des periodischen Eintrags von sauerstoffhaltigem Wasser in die tiefen Schichten durch den Abbau der gewaltigen Algen- und Wasserpflanzenmassen eine sauerstofflose Schicht im Profundal ausbilden. Auch die Produktion des toxischen Schwefelwasserstoffs wurde in beiden Seen bereits festgestellt (Guthruf et al. 1999). Der Seegrund dieser Kleinseen ist denn auch nur spärlich durch Benthosorganismen besiedelt.

Der Inkwiler- (Bild) und der Lobsigensee sind zu seicht, als dass sich über längere Zeit eine stabile Schichtung einstellen könnte. (Foto: Sara Aellen)

Im Lobsigensee wurden ausser Nematoden keinerlei Vertreter von Makrozoobentos gefunden. Der häufige Wechsel zwischen sauerstoffreichen und –armen Bedingungen im Profundal kann die Besiedlung durch Invertebratengruppen mit langem Lebenszyklus erschweren. Nematoden, die sich mehrmals im Jahr fortpflanzen, können unter solchen Bedingungen eher Populationen bilden, als Oligochaeten oder Chironomiden. In diesem Kleinsee wurde zudem das Entstehen von Kalk-Faulschlamm durch biogene Entkalkung beobachtet (Guthruf et al. 1999). Sedimentbewohner, wie die Chironomidenlarven und die Oligochaeten, sind stark auf die Beschaffenheit des Sedimentes und seine chemische Zusammensetzung angewiesen. Die ungünstigen Bedingungen am Seegrund könnten die Bildung von Populationen dieser Tiergruppen zusätzlich erschweren.

Im Inkwilersee bilden Tubificidae den Hauptteil der Sedimentbewohner im Profundal. Sie sind an die nährstoffreichen Bedingungen angepasst und können kurze Phasen der Anoxie überstehen. Durch starke Sauerstoffzehrungen und die Produktion von toxischen chemischen Verbindungen ist es im Inkwilersee in den letzten Jahren zu mehreren grossen Fischsterben gekommen. Aufgrund des schlechten Zustandes haben sich die Standortgemeinden und Anrainerkantone auf ein Sanierungskonzept geeinigt. Als eine der geplanten Hauptmassnahmen wurde 2013 eine Tiefenwasserableitung verlegt. Durch die Ableitung des sauerstofflosen, nährstoffhaltigen Tiefenwassers sollte diese Massnahme zusammen mit weiteren Optimierungsschritten zur Stabilisierung des Seezustandes beitragen (GBL 2010).

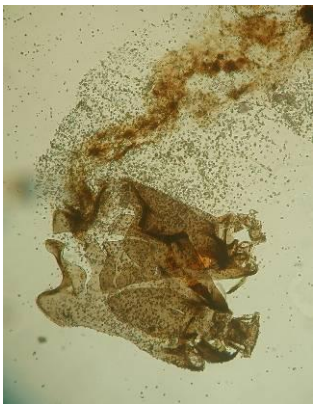
4.3. Der Oeschinensee

Der Oeschinensee ist der einzige in dieser Studie untersuchte See, der über 1000m.ü.M. liegt. (Foto: Vinzenz Maurer)

Der Oeschinensee ist der einzige in dieser Studie untersuchte See, der über 1000 m.ü.M liegt. Er unterscheidet sich in seiner Ökologie ganz wesentlich von den anderen Kleinseen. Sein Einzugsgebiet ist dominiert von Fels, Schutt und Gletscher. Extensive Landwirtschaft macht nur 4% des Einzugsgebietes aus. Der Nährstoffeintrag durch die Zuflüsse ist demnach auch sehr gering. Der Oeschinensee ist aufgrund des geringen Phosphor- und Stickstoffgehalts als oligotroph eingestuft. Die tiefen Temperaturen, die geringen Nährstoff-konzentrationen und die mineralische Trübung verhindern eine starke Biomasseproduktion. Durch die kühlen Temperaturen bildet sich auch über die Sommermonate keine stabile Sprungschicht aus. Erst im Herbst, wenn die Teilzirkulation einsetzt, ist eine deutliche Sprungschicht feststellbar (Guthruf et al. 1999).

Da im Profundal kaum organisches Material abgebaut wird, ist die Sauerstoffsättigung in allen Tiefen ungefähr gleich gross (Guthruf et al. 1999), was selbst auf 56 m Tiefe die Besiedelung des Sediments durch Benthosorganismen erlaubt. Sowohl Nematoden wie auch Tubificidae besiedeln den Seeboden.

Überreste von Chironomidenlarven weisen darauf hin, dass das die tiefste Stelle des Oeschinensees bis vor Kurzem dicht mit Chironomidenlarven besiedelt war. (Foto: Katrin Guthruf)



Eine besondere Situation wurde bezüglich der Chironomidenlarven vorgefunden. Es waren keinerlei lebende Larven in den Proben vorhanden. Die Präsenz von Larvenresten jedoch weist auf eine kürzliche, dichte Besiedlung des Seebodens durch Chironomiden hin. Solche Larvenreste bleiben einerseits als Exuvie nach der Häutung im Sediment zurück, andererseits zersetzt sich nach dem Tod der Larve die Haut langsamer, als das Innere. Überreste des Darmtraktes im Inneren der Überreste weisen darauf hin, dass es sich bei den gefundenen Exemplaren um verstorbene Larven handelt und nicht um Häutungsrückstände. Die Morphologie der stark chitinisierten und dadurch gut erhaltenen Kopfkapsel, erlaubt die Bestimmung der Individuen. Die im Oeschinensee vorhandenen Chironomidenrückstände gehören vorwiegend *Paracladopelma nigritula* gr. und der Gattung *Monodiamesa* an. Vertreter dieser Artengruppen sind gut an das Leben im Profundal kalter, oligotropher Gewässer angepasst.

Im Oktober 2013 wurden unterhalb von 52.5 m erstmals Sauerstoffkonzentration unter 4 mg/L festgestellt. Chironomidenarten, die bevorzugt in oligotrophen Seen vorkommen können sensibel auf Sauerstoffmangel reagieren, da sie nicht an diese

Bedingungen angepasst sind. Ob kurzzeitige Sauerstoffkonzentrationen unter 4 mg/L ausreichen um einen gesamten Chironomidenbestand auszulöschen oder ob andere Faktoren auf die Larven eingewirkt haben, kann aufgrund der vorhandenen Daten nicht beurteilt werden. Auch ist der Grund für die tiefen Sauerstoffkonzentrationen im Oeschinensee nicht bekannt.

Angaben zu Probenahme, Individuendichte (Individuen/m^2), Anzahl Taxa und C/N-Verhältnis im Sediment der untersuchten Kleinseen

	Probe	Datum Probenahme	Tiefe Probenahme (m)	Dichte Makrozoo-benthos	Anzahl Taxa	C/N-Verhältnis
Burgseeli	max. Tiefe	21.10.2013	19	0	0	20.04
	Litoral	21.10.2013	2	1526	11	6.77
Amsoldingersee	max. Tiefe	24.10.2013	13.9	15	1	15.93
	Litoral	24.10.2013	4	2904	8	7.52
Uebeschisee	max. Tiefe	24.10.2013	14.7	0	0	16.18
	Litoral	24.10.2013	5.5	1126	8	18.01
Dittligsee	max. Tiefe	22.10.2013	16.4	0	0	16.86
	Litoral	22.10.2013	4	563	4	18.70
Gerzensee	max. Tiefe	22.10.2013	10.7	0	0	14.55
	Litoral	22.10.2013	4.5	5867	6	18.87
Moossee	max. Tiefe	23.10.2013	21.1	15	1	12.70
	Litoral	23.10.2013	4.5	2519	7	17.11
Burgäschisee	max. Tiefe	24.09.2013	30	0	0	11.18
	Litoral	29.10.2013	4	5496	27	17.70
Lobsigensee	max. Tiefe	23.10.2013	2.5	5837	1	12.68
Inkwilersee	max. Tiefe	24.09.2013	4	1422	5	14.18
Öschinensee	max. Tiefe	21.10.2013	54.5	904	9	24.58

4.4 Zusammenfassung zu den Kleinseen

Dass die Populationen der Benthosfauna in den Kleinseen vor allem durch die Verfügbarkeit von Sauerstoff limitiert sind, kommt in der Analyse des Makrozoobenthos deutlich zum Ausdruck. Im Profundal, wo der Sauerstoffgehalt im Sommer und Herbst unter 4 mg/L sinkt, wurden in den Sedimentproben keine oder nur sehr wenige Invertebraten gefunden. Da diese Sauerstoffgrenze im Herbst (ausser im Oeschinensee) zwischen 5.5 m und 8.5 m unter der Wasseroberfläche zu liegen kommt, muss angenommen werden, dass rund 50 bis 70 % der gesamten Sedimentfläche der jeweiligen Kleinseen für Sedimentbewohner nicht als Lebensraum genutzt werden können. Die Uferbereiche, die ganzjährig mit sauerstoffreichem Wasser versorgt sind, zeigen eine grössere Individuendichte und eine Vielfalt von Arten. Ihr Artenreichtum lässt erahnen, welch wertvollen und vielfältigen Lebensraum ein intakter Kleinsee bieten würde.

Eine Verbesserung der Sauerstoffverhältnisse in den Kleinseen kann ausschliesslich durch eine Verringerung des Nährstoffeintrags erreicht werden. Trotz der Anstrengungen in der Landwirtschaft und der Siedlungsentwässerung, scheint sich in den letzten 20 Jahren der Zustand der untersuchten Kleinseen nicht wesentlich verbessert zu haben. Die Nährstoffdepots in den Seesedimenten sind riesig und können unter Sauerstoffentzug am Seegrund zu einer Rücklösung von Phosphat und damit zu einer seeinternen Düngung führen. Eine kurz- bis mittelfristige Verbesserung der schlechten Bedingungen in den untersuchten Kleinseen des Berner Mittellandes ist deshalb nicht zu erwarten (GBL 2004).

Danksagung

Herzlichen Dank an Brigitte Lods-Crozet (SESA, Epalinges) für die Ausleihe des Materials und besonders für das Teilen ihres Fachwissens bezüglich Feldarbeit, Bestimmung der Chrionomiden und der Datenauswertung.

Literaturverzeichnis

AFNOR (2005) Qualité de l'eau-Détermination de l'indice oligochète de bioindication lacustre (IOBL). Association française de normalisation (AFNOR), NF T90-391: 17 S.

BAFU (2010) Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer. Bundesamt für Umwelt, Bern: 57 S.

GBL (2004) Kleinseen 2003. Amt für Gewässerschutz und Abfallwirtschaft des Kantons Bern, Gewässer und Bodenschutzlabor, Bern: 52 S.

GBL (2007) Wie geht es dem Burgäschisee heute? 30 Jahre Tiefenwasserableitung. Amt für Gewässerschutz und Abfallwirtschaft des Kantons Bern, Gewässer und Bodenschutzlabor, Bern: 18 S.

GBL (2009) Seen im Kanton Bern. Amt für Gewässerschutz und Abfallwirtschaft des Kantons Bern, Gewässer und Bodenschutzlabor, Bern: 6 S.

GBL (2010) Zustand der Fliessgewässer und Seen im Kanton Bern – Auswertung der Gewässerdaten von 2002 bis 2010. Amt für Gewässerschutz und Abfallwirtschaft des Kantons Bern, Gewässer und Bodenschutzlabor, Bern: 23 S.

GBL (2013) Zustand der Fliessgewässer und Seen – 2011 und 2012, Schwerpunkt Emmental-Oberaargau. Amt für Gewässerschutz und Abfallwirtschaft des Kantons Bern, Gewässer und Bodenschutzlabor, Bern: 28 S.

Guthruf-Seiler J., Guthruf-Seiler K., Zeh M. (1999) Kleinseen im Kanton Bern. Amt für Gewässerschutz und Abfallwirtschaft des Kantons Bern, Bern: 229 S.

Lafont M. 2007 Interprétation de l'indice lacustre IOBL et son intégration dans un système d'évaluation de l'état écologique, Cemagref/MEDAD, Lyon, Frankreich: 18 S.

Lafont M., Tixier G., Marsalek J., Jézéquel C., Breil P., Schmitt L. (2012) From Research to Operational Biomonitoring of Freshwaters: A Suggested Conceptual Framework and Practical Solutions. Ecohydrology & Hydrobiology 12: 9-20

Lods-Crozet B. Évolution du Zoobenthos du Léman (Petit Lac). Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2010, 2011, 143-151

Meyers P.A. (1994) Preservation of elemental and isotopic source identification of sedimentary organic matter. Chemical geology 114: 289-302

Saether O.A. (1979) Chironomid communities as water quality indicators. Holarctic Ecology 2: 65-74

Solimini A.G., Free G., Donohue I., Irvine K., Pusch M., Rossaro B., Sandin L., Cardoso A. C. (2006) Using Benthic Macroinvertebrates to Assess Ecological Status of Lakes. Current Knowledge and Way Forward to Support WFD Implementation. European Commission, Joint Research Centre, Institute of Environment and Sustainability

Van Stujivenberg J., Schenker F. (2005) Gefährdungsabschätzung zu militärischen Munitionsversenkungen in Schweizer Seen. Zusammenstellung aller verfügbaren Daten bezüglich Brienzer-, Thuner- und Urnersee, sowie für das Gersauerbecken des Vierwaldstättersees. Generalsekretariat VBS, Schweiz: 78p.

Von Büren G. (1938) Der Amsoldingersee. Verlag Paul Haupt, Bern: 132 S.

Vivien R. (2014) Etat écologique des sédiments des lacs de Thoune, de Brienz et de Bienne. Application de l'Indice oligochètes de bioindication lacustre (IOBL). Expertenbericht

Walker I.R. (1987) Chironomidae (Diptera) in paleolimnology. Quaternary Science Reviews 6: 29–40

Walker I.R. (2006) Chironomid overview. In: Elias, S.A. (eds), Encyclopedia of Quaternary Science Vol 1, Elsevier, Amsterdam; pp. 360-366

Wiederholm T. (1980) Use of benthos in lake monitoring. Journal (Water Pollution Control Federation): 537-547

Anhang

Anhang A: Resultate zu den Untersuchungen des Gesamt N, Gesamt P, Gesamt C und des organischen C

		Gesamt N (g/kg TS)	Gesamt P (g/kg TS)	Gesamt C (% G/G)	C_{org} (g/kg TS)
Brienzersee	max. Tiefe	1.18	0.55	3.30	33.86
	mit. Tiefe	0.917	0.56	5.2	27.97
	Sublitoral	0.902	0.539	3.5	32.90
Thunersee	max. Tiefe	1.7	0.512	5.5	49.73
	mit. Tiefe	1.45	0.414	6.8	36.99
	Sublitoral	1.76	0.413	8.8	38.06
Bielersee	max. Tiefe	3.6	0.769	6.9	72.94
	mit. Tiefe	5.18	0.689	6.8	65.12
	Sublitoral	1.82	0.454	8.3	32.23

	Gesamt N (g/kg TS)	Gesamt P (g/kg TS)	Gesamt C (% G/G)	C_{org} (g/kg TS)
Munitionsdeponie	1.41	0.447	6.3	31.67
Vergleichsstelle	1.69	0.465	6.4	44.31

		Gesamt N (g/kg TS)	Gesamt P (g/kg TS)	Gesamt C (% G/G)	C_{org} (g/kg TS)
Burgseeli	max. Tiefe	13.4	0.701	21.4	268.56
	Litoral	79.4	0.602	39.8	537.88
Amsoldingersee	max. Tiefe	8.15	0.645	17.5	129.83
	Litoral	23.5	0.312	17.7	176.78
Uebeschisee	max. Tiefe	7.02	0.804	14.3	113.55
	Litoral	10.4	0.581	18.6	187.28
Dittligsee	max. Tiefe	9.49	1.02	18	160.00
	Litoral	12.4	0.9	23.1	231.84
Gerzensee	max. Tiefe	6.74	0.617	19.5	98.04
	Litoral	2.65	0.646	5.9	50.00
Moossee	max. Tiefe	8.35	1.9	9.8	106.02
	Litoral	5.89	0.818	10.6	100.79
Burgäschisee	max. Tiefe	9.94	1.12	12.3	111.11
	Litoral	8.1	0.491	15.2	143.40
Lobsigensee	max. Tiefe	17.6	1.21	17.3	223.16
Inkwilersee	max. Tiefe	10.3	1.07	13.8	146.02
Öschinensee	max. Tiefe	1.45	0.434	7.8	35.64

Impressum

Herausgeber
AWA Amt für Wasser und Abfall
Gewässer- und Bodenschutzlabor GBL
Reiterstrasse 11, 3011 Bern
Telefon 031 633 38 11
Telefax 031 633 38 50
info.awa@bve.be.ch / www.be.ch/awa

März 2014

Autorin
Noëmi Zweifel
noemizweifel@hotmail.com

Titelbild
Amsoldingersee