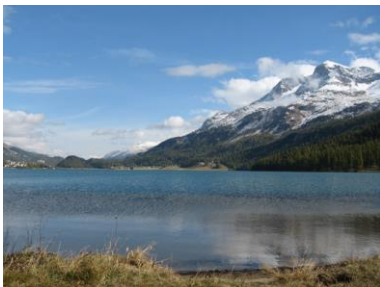


## Biologischer Zustand der Schweizer Seen



Evi Binderheim

Sponsolim Umweltconsulting

Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt, Bern

Januar 2021

Auftraggeber	Bundesamt für Umwelt Sektion Wasserqualität, Dr. Yael Schindler Wildhaber Abteilung Wasser 3003 Bern
Auftragnehmer	Sponsolim Umweltconsulting Dachslenbergstrasse 51 8180 Bülach 044 818 02 32 evi.binderheim@sponsolim.ch www.sponsolim.ch
Autorin	Dr. Evi Binderheim
Zitiervorschlag	Binderheim E., 2021: Biologischer Zustand der Schweizer Seen. 45 S.

Dieser Bericht wurde im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) verfasst. Für den Inhalt ist allein die Auftragnehmerin verantwortlich.

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Ausgangslage und Auftrag</b> .....	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Grundlagen</b> .....	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Zusammenfassung biologischer Zustand der Seen</b> .....	<b>7</b>
3.1	Plankton.....	7
3.2	Makrozoobenthos .....	8
3.3	Fische .....	9
<b>4</b>	<b>Kennblätter der grossen Schweizer Seen</b> .....	<b>10</b>
4.1	Ägerisee.....	10
4.2	Baldeggersee .....	11
4.3	Bielsee .....	13
4.4	Bodensee .....	15
4.5	Brienzersee .....	17
4.6	Genfersee.....	19
4.7	Greifensee .....	21
4.8	Hallwilersee.....	23
4.9	Lago di Lugano .....	25
4.10	Lago Maggiore .....	27
4.11	Murtensee .....	29
4.12	Neuenburgersee .....	31
4.13	Pfäffikersee .....	33
4.14	Sempachersee .....	35
4.15	Thunersee .....	37
4.16	Vierwaldstättersee .....	39
4.17	Walensee .....	41
4.18	Zugersee .....	43
4.19	Zürichsee .....	45

## **1 Ausgangslage und Auftrag**

Das BAFU publiziert seit 2004 Berichte zum Zustand des Grundwassers, berichtete regelmässig über NADUF, publizierte 2016 erstmals die NAWA-Resultate im Zustandsbericht Fliessgewässer und veröffentlichte letztmals 1994 einen Bericht in gedruckter Form zum Zustand der Seen. Neu soll die Berichterstattung zu all diesen Monitoringprogrammen in einem Bericht zusammengeführt und mit einem Reporting zum Stand der Umsetzung der wichtigsten Massnahmen im Gewässerschutz ergänzt werden. Dank den Möglichkeiten der Digitalisierung soll die Verlinkung zwischen Bericht und Onlinezugang zu möglichst aktuellen Daten sichergestellt werden.

Die Firma Sponsolim Umweltconsulting wurde vom BAFU beauftragt, als Grundlage für den Gewässerbericht Informationen zum biologischen Zustand der Schweizer Seen zusammenzutragen. Der vorliegende Bericht gibt basierend auf der vorhandenen Datenlage einen zusammenfassenden Überblick über den biologischen Zustand der grössten Schweizer Seen.

## 2 Grundlagen

Die Grundlagen für die Datenerhebung und die Zustandsbeurteilung von Seen bilden das Gewässerschutzgesetz (GSchG) und die Gewässerschutzverordnung (GSchV):

- Das GSchG bezweckt, die Gewässer vor nachteiligen Einwirkungen zu schützen und sie insbesondere als natürliche Lebensräume für die einheimische Tier- und Pflanzenwelt, als Fischgewässer und als Landschaftselemente zu erhalten (Art. 1 GSchG).
- Das GSchG verpflichtet Bund und Kantone, die Öffentlichkeit über den Gewässerschutz sowie den Zustand der Gewässer zu informieren (Art. 50 GSchG). Grundlage dafür sind umfassende Kenntnisse der Zusammenhänge zwischen den Einflussgrössen und dem Gewässerzustand. Auch für die Erfüllung vieler Aufgaben, z.B. der Revitalisierung von Gewässern, sind Untersuchungen über den Zustand der Gewässer nötig. Deshalb verpflichtet Artikel 57 Absatz 1 GSchG den Bund und Artikel 58 Absatz 1 GSchG die Kantone, gezielte Erhebungen über den Zustand der Gewässer durchzuführen. Weiter erlaubt eine Beobachtung des Gewässerzustandes zukünftige Herausforderungen frühzeitig zu erkennen und dient als zentrales Steuerungsinstrument der Gewässerschutzpolitik.

Die GSchV enthält ökologische Ziele für oberirdische Gewässer (Anhang 1 GSchV) und definiert zusätzliche Anforderungen an die Wasserqualität (Anhang 2 GSchV).

Unter anderem gelten folgende ökologische Ziele:

- Die Lebensgemeinschaften von Pflanzen, Tieren und Mikroorganismen oberirdischer Gewässer und der von ihnen beeinflussten Umgebung sollen naturnah und standortgerecht sein und eine Vielfalt und Häufigkeit der Arten aufweisen, die typisch sind für nicht oder nur schwach belastete Gewässer des jeweiligen Gewässertyps.
- Die Wasserqualität soll so beschaffen sein, dass Stoffe, die Gewässer verunreinigen können und die durch menschliche Tätigkeit ins Wasser gelangen können, keine unnatürlich hohe Produktion von Biomasse verursachen.

Unter anderem gelten folgende allgemeinen Anforderungen an die Wasserqualität:

- Die Wasserqualität muss so beschaffen sein, dass Stoffe, die durch menschliche Tätigkeit ins Wasser gelangen, die Fortpflanzung, Entwicklung und Gesundheit empfindlicher Pflanzen, Tiere und Mikroorganismen nicht beeinträchtigen.

Unter anderem gelten folgende zusätzliche Anforderungen an die stehenden Gewässer:

- Der Nährstoffgehalt darf höchstens eine mittlere Produktion von Biomasse zulassen; besondere natürliche Verhältnisse bleiben vorbehalten.
- Der Sauerstoffgehalt des Wassers darf zu keiner Zeit und in keiner Seetiefe weniger als 4 mg/l O<sub>2</sub> betragen. Besondere natürliche Verhältnisse bleiben vorbehalten.

Die in der GSchV aufgeführten ökologischen Qualitätsziele und -anforderungen für Seen sind – mit Ausnahme des Sauerstoffkriteriums - nur qualitativ/verbal beschrieben.

Für Seen existieren – im Gegensatz zu den Fliessgewässern – keine nationalen Monitoringprogramme. Deshalb ist die Datengrundlage zum biologischen Zustand der Seen sehr heterogen.

Die Grundlage für den vorliegenden Bericht bilden kantonale Untersuchungsprogramme, Programme der internationalen bzw. interkantonalen See-Kommissionen und wissenschaftliche Untersuchungen. Zudem existieren für Seen – im Gegensatz zu Fliessgewässern – bisher keine standardisierten Bewertungsmethoden analog zum Modul-Stufen-Konzept Fliessgewässer. Die Beurteilungen des biologischen

Zustandes der Seen sind deshalb sehr Seen spezifisch und basieren auf europäischen Methoden, wissenschaftlichen Einschätzungen und Expertenwissen. Numerische Zielwerte wurden in der Regel von den jeweiligen Kantonen bzw. Kommissionen und meist Seen spezifisch definiert und festgelegt.

Die Angaben zur Morphologie der Seeufer basieren je nach Verfügbarkeit auf Untersuchungen anhand verschiedener Methoden (Modul «Ökomorphologie Seeufer», Projet Lac).

Die in den Kennblättern zusammengetragenen Informationen sind je nach Kanton unterschiedlich im Umfang, was von den Monitoringaktivitäten der einzelnen Kantone abhängt. Die Daten und Bewertungen sind zudem nicht direkt vergleichbar, da keine standardisierten Methoden verwendet wurden.

### 3 Zusammenfassung biologischer Zustand der Seen

#### 3.1 Plankton

Als Folge der seit den 1980er Jahren stark gesunkenen Phosphorkonzentrationen hat die Algenmenge in den meisten Schweizer Seen abgenommen. In Seen, welche während der Eutrophierungsphase lediglich einen mesotrophen Zustand erreicht haben (z.B. Vierwaldstättersee, Walensee oder Brienzensee) entspricht heute nicht nur die Algenmenge sondern auch die Planktonzusammensetzung dem natürlichen Zustand. Andere Seen wie z.B. der Pfäffikersee weisen trotz der geringeren Algenmenge einen immer noch erhöhten Anteil an nährstoffliebenden Arten auf. Ihr Anteil hat jedoch in den letzten Jahren weiter abgenommen. Solche Tendenzen können in verschiedenen grösseren Seen beobachtet werden und bestätigen den langsamen fortschreitenden Reoligotrophierungsprozess.

Die Mehrheit der untersuchten Seen weist jedoch immer noch zu hohe Algenmengen auf. Ein Grund dafür sind die in gewissen Seen weiterhin zu hohen Phosphorkonzentrationen (z.B. Zugersee, Greifensee). In anderen Seen (z.B. im Hallwilersee) stagniert oder erhöhte sich kurzfristig die Algenmenge trotz stark abnehmenden Phosphorkonzentrationen im See. Ein Grund für dieses Phänomen ist eine dank gesunkener Phosphorkonzentrationen veränderte Algenzusammensetzung. Ein Rückgang der Grünalgen in den oberen Wasserschichten führte dazu, dass sich die produktive Schicht aufgrund verbesserter Lichtverhältnisse über eine grössere Tiefe ausgedehnt hat und somit wieder Algen wachsen konnten, die in tieferen Schichten vorkommen, wie z.B. die Blaualge *Planktothrix rubescens*.<sup>1</sup> Blaualgen profitieren zudem von klimabedingt veränderten Schichtungsverhältnissen<sup>2</sup>. Dies führte in verschiedenen Seen zu einer starken Zunahme von Blaualgen (z.B. Baldeggersee, Hallwilersee, Sempachersee, Zürichsee oder Bodensee) (Abbildung 1).

Da gewisse Blaualgen (z.B. *Planktothrix*) Toxine produzieren und damit gesundheitsschädlich sind, sind solche Algenblüten in Seen unerwünscht. Mit einem weiteren Rückgang der Nährstoffbelastung ist langfristig jedoch wieder mit einem Rückgang der Blaualgen zu rechnen, wie dies z.B. im Vierwaldstättersee bereits eingetreten ist und auch im Sempachersee und Hallwilersee beobachtet werden kann<sup>1</sup>.

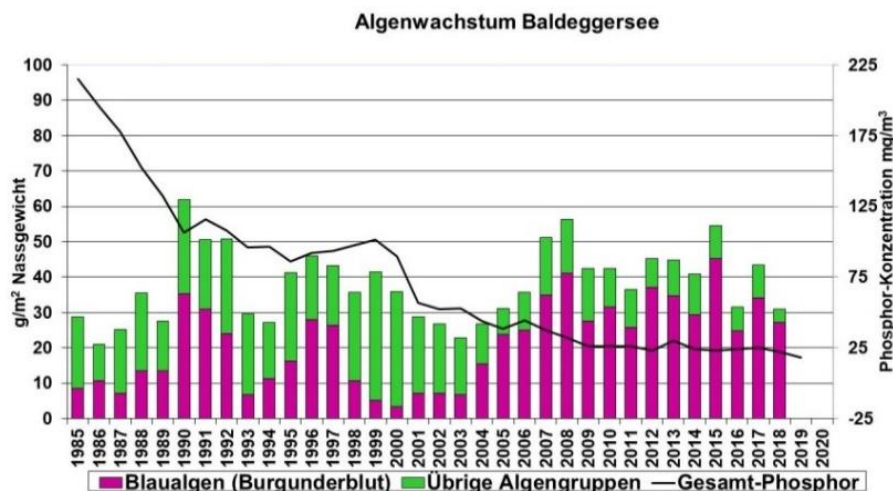


Abbildung 1: Entwicklung der Biomasse und Planktonzusammensetzung im Baldeggersee. Mit abnehmenden P-Konzentrationen hat der Anteil Blaualgen bei gleichbleibender Biomasse zugenommen. Die Biomasse der Blaualgen dürfte mit voranschreitender Sanierung langfristig wieder abnehmen (Umwelt und Energie uwe Kt. Luzern, Robert Lovas).

<sup>1</sup> Gutachten Eawag 2007: Begutachtung der Luzerner Seen 2007 wegen erhöhtem Algenwachstum und Algenblüten. 23 S

<sup>2</sup> Knapp D., Posch Th. 2021: Burgunderblutalge im Zürichsee. Populationsdynamik und Einfluss des Klimawandels. Aqua & Gas (4), S. 14 – 21.

### 3.2 Makrozoobenthos

Die Dichte und Vielfalt des Makrozoobenthos zeigt die Intaktheit des ökologischen Zustandes eines Sees und widerspiegelt u.a. die Sauerstoffverhältnisse in den Sedimenten. Nur für wenige Seen liegen Makrozoobenthosdaten vor. Einen guten Zustand weisen z.B. Thunersee und Brienersee aufgrund ihrer nährstoffarmen Verhältnisse auf. Die übrigen untersuchten Seen zeigen diesbezüglich immer noch Defizite, was auf die Auswirkungen der aktuellen und/oder früheren hohen Nährstoffbelastungen und ungenügenden Sauerstoffverhältnissen zurückzuführen ist. In diversen Seen (z.B. Hallwilersee, Baldeggersee, Sempachersee und Genfersee) sind aber deutliche Verbesserungen ersichtlich, die sich in einem Vordringen des Makrozoobenthos in grössere Tiefen äussern, was auf erfolgreiche Gewässerschutzmassnahmen und verbesserte Sauerstoffverhältnisse zurückzuführen ist (Abbildung 2).

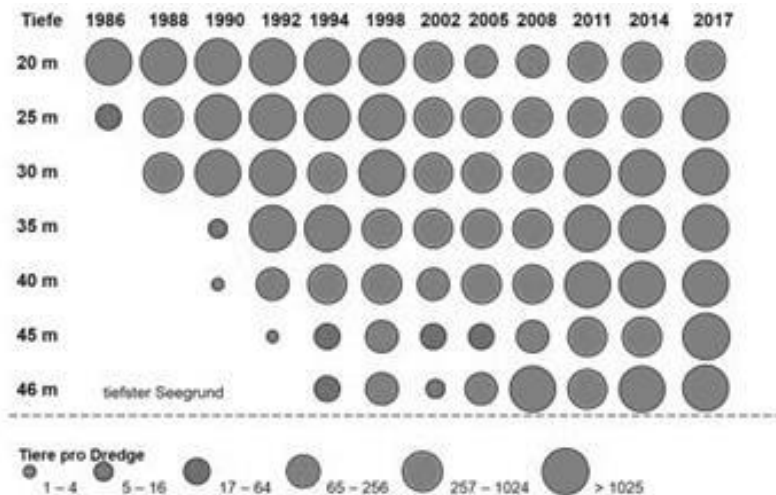
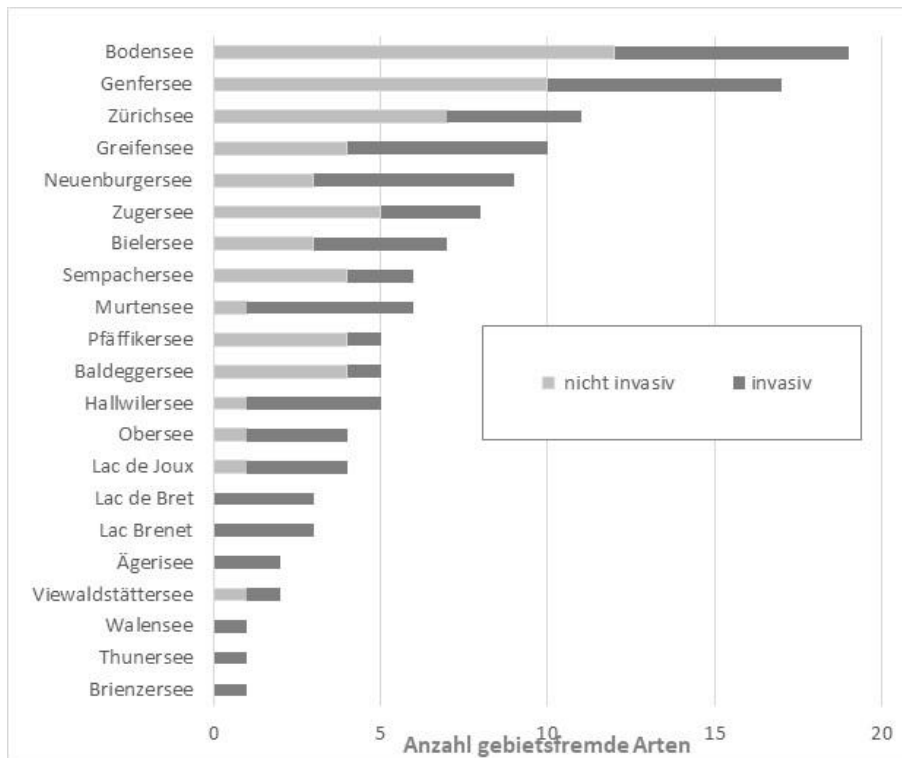


Abbildung 2: Besiedelung der Seesedimente durch Würmer (Oligochaeta) in verschiedenen Seetiefen des Hallwilersees seit Beginn der Seebelüftung 1985. (Quelle: Kanton Aargau BVU)

Etliche untersuchte Seen mit genügender Sauerstoffversorgung weisen eine hohe Vielfalt des Makrozoobenthos auf, die jedoch durch das Vorkommen und das vermehrte Auftreten von invasiven gebietsfremden Arten gefährdet ist.

Zu den am weitverbreitetsten invasiven Makrozoobenthosarten gehört die Wandermuschel (*Dreissena polymorpha*), welche sich in praktisch allen Seen etabliert hat. Sie gehört zu den ältesten gebietsfremden Gewässerarten und ist bereits 1850 über den Rhein eingewandert. Ebenfalls weit verbreitet sind die seit Neuerem eingewanderten invasiven Arten wie die asiatische Körbchenmuschel (*Corbicula fluminea*), Höckerflohkrebs (*Dikerogammarus villosus*) und der Kamberkrebs (*Oronectes limosus*). Die stark invasive Quaggamuschel (*Dreissena rostriformis*), welche erstmals 2006 im Rhein entdeckt worden ist, konnte bereits in 4 Seen (Bodensee, Genfersee, Neuenburgersee und Bielersee) nachgewiesen werden. Die aus dem Schwarzmeergebiet stammende Muschel stellt die Wasserversorger vor grosse Herausforderungen, da sie sehr schnell und bis in grosse Tiefen wachsen und dabei die Trinkwasserrohre verstopfen kann.





**Abbildung 3: Anzahl beobachtete gebietsfremde Wirbellose in den grösseren Schweizer Seen. Die Daten sind aus kantonalen Berichten zusammengetragen und daher nicht standardisiert erhoben (Stand 2019).**

### 3.3 Fische

Im Rahmen des «Projet Lac» wurden zwischen 2010 und 2019 ausgewählte Voralpenseen zum ersten Mal standardisiert befischt.

In allen untersuchten Schweizer Seen weicht die Zusammensetzung der Fischgesellschaften von ihrem jeweiligen natürlichen Referenzzustand ab, was auf ein Zusammenwirken mehrerer Ursachen zurückzuführen ist. Der wichtigste Grund dafür sind die unnatürlich hohen Nährstoffeinträge in der zweiten Hälfte des letzten Jahrhunderts, welche zu hoher Algenproduktion und Sauerstoffmangel im Tiefenwasser führten. Dadurch starben viele endemische Arten aus: Von den rund 41 in der Schweiz historisch vorgekommenen Felchenarten sind infolge der starken Nährstoffbelastung mindestens 15 Arten ausgestorben<sup>3</sup>. Weitere Gründe für eine Veränderung in der Fisch-Zusammensetzung sind verbaute Ufer und Zuflüsse, Lebensraumveränderungen aufgrund Seespiegelregulierung und stark schwankende Pegelstände durch Einflüsse von Wasserkraftwerken.

Weiter führt der Druck durch Befischung sowie das Vorkommen von invasiven gebietsfremden Arten zu einer Veränderung der Fischgesellschaften. Von den untersuchten Seen sind lediglich der Walensee und der Brienzersee frei von gebietsfremden Arten. In allen anderen untersuchten Seen kommen gebietsfremde Fische vor und die natürliche Artenzusammensetzung ist verändert. Zu den am weitverbreitetsten gebietsfremden Fischen zählen der Sonnenbarsch, der Zander, der Giebel und der Kaulbarsch. Der dreistachelige Stichling wurde nur in wenigen Seen nachgewiesen, ist jedoch z.B. im Bodensee stark invasiv und dominiert die Fischgesellschaft.

Trotz des teilweise hohen Artverlustes in vielen Schweizer Seen beherbergen zehn der untersuchten Seen nach wie vor endemische Arten – also Arten, die ausschliesslich in der Schweiz vorkommen – und weisen damit eine einzigartige Fischgesellschaft auf. Der nährstoffarme Thunersee weist mit 8 endemischen Arten die höchste endemische Artenzahl auf. Eine ebenfalls hohe endemische Artenzahl zeigen andere Seen, die auch in der Vergangenheit nur moderat mit Nährstoffen belastet waren (Brienzersee, Walensee und Vierwaldstättersee). Die Einzigartigkeit der Fischgesellschaften in Schweizer Seen hat aus Naturschutzsicht einen hohen Wert und es gilt sie zu bewahren.

<sup>3</sup> Vonlanthen P., 2020: Fischmonitorings in der Schweiz. Aqua viva 1/2020, 4-11.

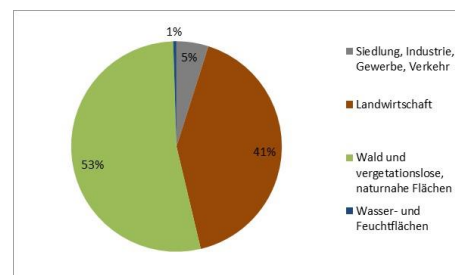
## 4 Kennblätter der grossen Schweizer Seen

### 4.1 Ägerisee

#### Kenndaten

Höhenlage (m ü. M.)	724
Seeoberfläche (km <sup>2</sup> )	7.3
Maximale Tiefe (m)	83
Mittlere Tiefe (m)	49
Verbauung der Ufer	59% natürlich / naturnah 41% beeinträchtigt/ verbaut

Einzugsgebiet (41 km<sup>2</sup>)



#### Nährstoff und Sauerstoffsituation

Die Phosphorkonzentrationen im Ägerisee erreichten in den 1970er Jahren einen Maximalwert von lediglich 25 mg P/m<sup>3</sup>, der See hat also nie einen eutrophen Status erreicht. Seit 1990 liegen die Phosphorkonzentrationen deutlich unterhalb von 10 mg P/m<sup>3</sup> und schwanken im Wertebereich zwischen 5 – 8 mg P/m<sup>3</sup>.

Die Sauerstoffkonzentrationen im Tiefenwasser unterschreiten zeitweise den gesetzlich geforderten Minimalwert von 4 mg/l, was auf die Sauerstoffzehrung der mit vorwiegend natürlichem organischem Material angereicherten Seesedimenten zurückzuführen ist.

#### Plankton

Kein Planktonmonitoring.

#### Makrozoobenthos

Keine Makrozoobenthosuntersuchungen.

Gemäss mündlicher Mitteilung der Gewässerschutzfachstelle des Kt. Zug werden zwei Neozoenarten regelmässig gesichtet (*Dreissena polymorpha*, *Oreogobius limosus*).

#### Fische

Im Rahmen des Projekt Lac wurden im Ägerisee 15 Fischarten gefangen. Davon sind 13 Arten standortgerecht und zwei Arten (*Gymnocephalus cernuus*, *Coregonus sp.*) standortfremd.

Die Fischartenzusammensetzung im Ägerisee wurde als leicht beeinträchtigt bewertet. Ursachen dafür sind das häufige Vorkommen des standortfremden Kaulbarsches und die teilweise ungenügende Habitatvernetzung aufgrund der starken Verbauung vieler Zuflüsse und teilweise verbauten Abschnitte des Uferbereichs.

#### Quellen

AfU Zug, 2013: Chemisch-physikalische Wasserqualität des Zugersees, Ägerisees und Wilersee seit Beginn der regelmässigen Messung von Tiefenprofilen bis Ende 2013.

Vonlanthen P., Kreienbühl T., Périat G., 2019: Standardisierte Befischung Ägerisee – Resultate der Erhebungen vom August 2018. Aquabios GmbH. Auftraggeber: Kanton Zug, Amt für Wald und Wild.

#### Internet

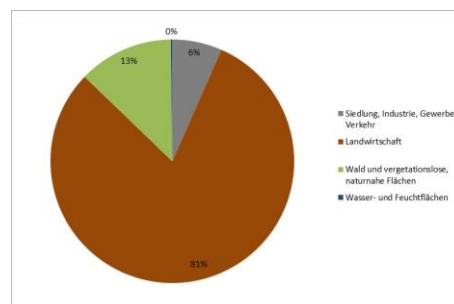
<https://www.zg.ch/behoerden/audirektion/amt-fuer-umwelt/wasser-gewaesser/oberflaechengewasser/zugersee?searchterm=zustand+zugersee>

## 4.2 Baldeggersee

### Kenndaten

Höhenlage (m ü. M.)	463
Seeoberfläche (km <sup>2</sup> )	5.2
Maximale Tiefe (m)	66
Mittlere Tiefe (m)	33
Ökomorphologie Seeufer	90% natürlich / naturnah 10% beeinträchtigt/ verbaut

Einzugsgebiet (68 km<sup>2</sup>)



### Nährstoff und Sauerstoffsituation

Aufgrund diverser See-externer und See-interner Gewässerschutzmassnahmen haben die Phosphorkonzentrationen im Baldeggersee von rund 500 mg P/m<sup>3</sup> in den 1970er Jahren stark abgenommen. Sie schwanken seit 2009 im Bereich von 20-25 mg P/m<sup>3</sup> und liegen unter dem ehemaligen kantonalen Zielwert von 30 mg P/m<sup>3</sup>. Nach neuesten Erkenntnissen kann die gesetzlich geforderte mittlere Algenproduktion im Baldeggersee jedoch erst unterhalb von 15 mg P/m<sup>3</sup> erreicht werden. Der neue kantonale Zielwert für Phosphor wurde deshalb auf 15 mg P/m<sup>3</sup> festgesetzt. Im Jahr 2019 lag die P-Konzentration bei 18 mg P/m<sup>3</sup>.

Die Sauerstoffkonzentrationen im Tiefenwasser unterschreiten aufgrund der hohen Zehrungsraten regelmässig den gesetzlich geforderten Minimalwert von 4 mg/l, obwohl der See seit 1983 künstlich belüftet wird.

### Plankton

Die Algenproduktion im Baldeggersee ist trotz abnehmenden Phosphorkonzentrationen immer noch zu hoch. Seit 2005 schwankt die Algenbiomasse zwischen 30 – 40 g/m<sup>2</sup> und ist dominiert durch die Burgunderblutalge (*Planktothrix rubescens*). Ihr Anteil an der Gesamtbiomasse beträgt rund ¾. Die Burgunderblutalge tritt in rund 10 m Tiefe auf, ist spezialisiert auf die Ausnützung von sogenannt grünem Schwachlicht, welches in dieser Tiefe vorkommt und kann sich mittels Gasvakuolen in dieser Tiefe einschichten. Das massive Auftreten der Burgunderblutalge war erst möglich, als die Konzentrationen der übrigen Algenarten in höheren Wasserschichten aufgrund des Nährstoffrückganges abnahmen, sodass genügend Licht in die tieferen Wasserschichten eindringen konnte. Seit 2003 haben die Konzentrationen der Burgunderblutalge bei gleichzeitig rückläufigen Konzentrationen der übrigen Algenarten zugenommen. Diese Entwicklung kann als positive Entwicklung im Reoligotrophierungsprozess des Baldeggersees gewertet werden. Mit weiter abnehmenden Phosphorkonzentrationen ist zu erwarten, dass sich auch die Konzentrationen der Burgunderblutalge auf einem tieferen Niveau einpendeln werden.

### Makrozoobenthos

Das Makrozoobenthos ist seit dem Maximum der Eutrophierung dank der Seenbelüftung und der dadurch verbesserten Sauerstoffverhältnisse wieder in grössere Tiefen vorgedrungen. Sedimentuntersuchungen aus dem Jahr 2017 zeigen eine artenarme Lebensgemeinschaft der Würmer, die sich aber bis unterhalb einer Tiefe von 60m ausbreiten konnten. Empfindlichere Tanzmückenlarven waren lediglich bis in eine Tiefe von 30m zu finden. Im Vergleich zu den Sedimentuntersuchungen aus den Jahren 1999 und 2006 hat die Ausbreitung der Tanzmückenlarven aufgrund der ungenügenden Sauerstoffbedingungen abgenommen.

Im Baldeggersee sind 5 Neozoenarten (*Potamopyrgus antipodarum*, *Haita acuta*, *Branchiura sowerbyi*, *Dugesia tigrina*, *Dreissena polymorpha*) gesichtet worden, davon eine invasive Art (*Dreissena polymorpha*).

### **Fische**

Eine standardisierte Erhebung der Fischgemeinschaften mit der ProjeT Lac-Methode ist für 2021/2022 vorgesehen.

### **Fazit**

Die Lebensgemeinschaften des Baldeggersees sind beeinträchtigt, was auf die immer noch zu hohe Nährstoffbelastung aus dem landwirtschaftlich intensiv genutzten Einzugsgebiet und die dadurch beeinträchtigten Sauerstoffbedingungen im See zurückzuführen ist. Die Belüftung des Sees trägt wesentlich zur Verbesserung der Lebensbedingungen für aquatische Organismen bei.

### **Quellen**

Gutachten Eawag 2007: Begutachtung der Luzerner Seen 2007 wegen erhöhtem Algenwachstum und Algenblüten. 23 S.

UWE, 2020: Jahresbericht Zustand der Mittellandseen. 15 S.

Lubini-Ferlin V., Knispel S, 2015: Biodiversität Wirbellose Kleintiere, Sempachersee, Surentahl, Wyental, Seetal. Im Auftrag des UWE, 48 S.

Weyhmüller M., 2015: Uferbewertung des Baldeggersees im Jahr 2015. Bericht im Auftrag des Kantons Luzern (LaWa). 45 S.

### **Internet**

<https://uwe.lu.ch/themen/gewaesser/gewaesserzustand/gewaesserbiologie>

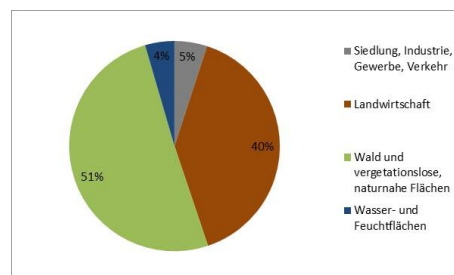
<https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wasser/fachinformationen/zustand-der-gewaesser/zustand-der-seen/wasserqualitaet-der-seen.html>

### 4.3 Bielersee

#### Kenndaten

Höhenlage (m ü. M.)	429
Seeoberfläche (km <sup>2</sup> )	37.8
Maximale Tiefe (m)	74
Mittlere Tiefe (m)	30
Ökomorphologie der Ufer	36% natürlich / wenig beeinträchtigt 64% beeinträchtigt / naturfremd/künstlich

Einzugsgebiet (8196 km<sup>2</sup>)



#### Nährstoff und Sauerstoffsituation

Die Phosphorkonzentrationen haben seit dem Maximum der Eutrophierung in den 1970er Jahren dank diverser Gewässerschutzmassnahmen von über 130 mg P/m<sup>3</sup> auf rund 20 mg P/m<sup>3</sup> abgenommen. Seit Mitte der 1990er Jahre schwanken die Konzentrationen zwischen 15 – 25 mg P/m<sup>3</sup> ohne dass sich eine Tendenz zu einer weiteren Abnahme zeigt. Die tieferen Phosphatgehalte im Freiwasser haben zu deutlichen Veränderungen der Wasserpflanzengemeinschaften geführt. So hat die Artenvielfalt zugenommen und das Artenspektrum hat sich vermehrt zu Arten hin verschoben, die geringere Nährstoffkonzentrationen bevorzugen. Zudem breiten sich die Wasserpflanzen aufgrund der verbesserten Lichtverhältnisse in grössere Tiefen aus.

Die Sauerstoffkonzentrationen im Tiefenwasser haben sich seit dem Maximum der Eutrophierung verbessert, unterschreiten jedoch immer noch zeitweise den gesetzlich geforderten Minimalwert von 4 mg O<sub>2</sub>/l.

#### Plankton

Die Algenbiomasse im Bielersee hat aufgrund des Rückgangs der Phosphorkonzentrationen seit 2007 deutlich abgenommen. Die produktive Schicht hat sich seit Ende der 1990er Jahre über eine grössere Tiefe ausgedehnt. Während das Algenwachstum bis Mitte der 1990er Jahre noch in einer Wasserschicht von 0 – 10 m Tiefe stattfand, hat sich die produktive Schicht aufgrund der besseren Lichtverhältnisse infolge abnehmender Algenkonzentrationen in eine Tiefe bis zu 20 m ausgedehnt. Die Algenzusammensetzung hat sich hin zu beweglicheren und oligotrophen Taxa verschoben. Der Anteil der hypotrophen und polytrophen Taxa hat deutlich abgenommen. Der Phyto-See-Index im Bielersee zeigt seit 2012 einen guten Zustand des Planktons an.

Die Gesamtabundanz des Crustaceenplanktons zeigt zwar noch keine abnehmende Tendenz. Jedoch findet man auch hier eine Verschiebung in der Artenzusammensetzung hin zu Arten, die weniger nährstoffreiche Gewässer bevorzugen.

#### Makrozoobenthos

Makrozoobenthosuntersuchungen im Bielersee im Jahr 2014 zeigten eine hohe Dichte und eine hohe Artenvielfalt in allen untersuchten Tiefen. Es wurden sowohl Arten nachgewiesen, die an nährstoffreiche Bedingungen angepasst sind wie auch solche, die nährstoffarme Bedingungen bevorzugen. Das Makrozoobenthos wurde anhand des Makrozoobenthosindex IQB-AL als gut beurteilt.

Bisher sind 7 wirbellose Neozoenarten (*Corbicula fluminea*, *Branchiura sowerbyi*, *Potamopyrgus antipodarum*, *Dreissena polymorpha*, *Dreissena rostriformis bugensis*, *Quistadrilus multisetosus*, *Oronectes limosus*) nachgewiesen worden, davon sind vier Arten (*Corbicula fluminea*, *Dreissena polymorpha*, *Dreissena rostriformis bugensis*, *Oronectes limosus*) invasiv.

## **Fische**

Im Rahmen des Projekt Lac wurden im Bielersee 25 Fischarten nachgewiesen. Davon sind 20 Arten standortgerecht und fünf Arten (*Lepomis gibbosus*, *Cobitis bilineata*, *Scardinius hesperidicus*, *Gasterosteus aculeatus*, *Sander lucioperca*) sind standortfremd.

Die Fischfauna im Bielersee ist arten- und individuenreich. Die Fischartenzusammensetzung im Bielersee befindet sich insgesamt in einem recht guten Zustand und entspricht weitgehend dem historischen Artenspektrum. Wenige Arten sind aufgrund der Auswirkungen der Eutrophierung und der beeinträchtigten Ufermorphologie verschwunden und wenige neue standortfremde Fischarten sind vorhanden.

## **Fazit**

Die verbesserten Nährstoffbedingungen hatten auf verschiedene Aspekte der Lebensgemeinschaften des Bielersees positive Auswirkungen. Ob sich diese positive Entwicklung fortsetzen wird, ist aufgrund des zunehmenden Einflusses des Klimawandels (Erwärmung, Zunahme extremer Wetterereignisse) ungewiss.

## **Quellen**

Vonlanthen P., Périat G., 2018: Standardisierte Befischung Bielersee – Resultate der Erhebungen vom September 2017. Aquabios GmbH. Auftraggeber: Amt für Landwirtschaft und Natur, Fischereinspektorat, 3110 Münsingen.

## **Internet**

[https://www.bve.be.ch/bve/de/index/direktion/organisation/awa/downloads\\_publicationen/weitere\\_berichte.assetref/dam/documents/BVE/AWA/de/Messdatenseite/Weitere%20Berichte/GBL\\_2014\\_Makrozoo\\_benthos\\_in\\_Berner\\_Seen\\_Praktikumsbericht.pdf](https://www.bve.be.ch/bve/de/index/direktion/organisation/awa/downloads_publicationen/weitere_berichte.assetref/dam/documents/BVE/AWA/de/Messdatenseite/Weitere%20Berichte/GBL_2014_Makrozoo_benthos_in_Berner_Seen_Praktikumsbericht.pdf)

[https://www.bve.be.ch/bve/de/index/direktion/organisation/awa/downloads\\_publicationen/weitere\\_berichte.assetref/dam/documents/BVE/AWA/de/Messdatenseite/Weitere%20Berichte/GBL\\_Wasserpflanzen\\_Bielersee\\_2015.pdf](https://www.bve.be.ch/bve/de/index/direktion/organisation/awa/downloads_publicationen/weitere_berichte.assetref/dam/documents/BVE/AWA/de/Messdatenseite/Weitere%20Berichte/GBL_Wasserpflanzen_Bielersee_2015.pdf)

[https://www.bve.be.ch/bve/de/index/direktion/organisation/awa/downloads\\_publicationen/weitere\\_berichte.assetref/dam/documents/BVE/AWA/de/Messdatenseite/Weitere%20Berichte/GBL\\_2009\\_Entwicklung\\_des\\_Phyto-\\_und\\_Crustaceenplanktons.pdf](https://www.bve.be.ch/bve/de/index/direktion/organisation/awa/downloads_publicationen/weitere_berichte.assetref/dam/documents/BVE/AWA/de/Messdatenseite/Weitere%20Berichte/GBL_2009_Entwicklung_des_Phyto-_und_Crustaceenplanktons.pdf)

[https://www.bve.be.ch/bve/de/index/wasser/wasser/gewaesserqualitaet.assetref/dam/documents/BVE/AWA/de/AWA\\_Publicationen/AWA-Fakten\\_GewBericht\\_dt\\_www\\_2017.pdf](https://www.bve.be.ch/bve/de/index/wasser/wasser/gewaesserqualitaet.assetref/dam/documents/BVE/AWA/de/AWA_Publicationen/AWA-Fakten_GewBericht_dt_www_2017.pdf)

[https://www.bve.be.ch/bve/de/index/direktion/organisation/awa/downloads\\_publicationen/weitere\\_berichte.assetref/dam/documents/BVE/AWA/de/AWA\\_Publicationen/GBL\\_2019\\_Planktonbericht.pdf](https://www.bve.be.ch/bve/de/index/direktion/organisation/awa/downloads_publicationen/weitere_berichte.assetref/dam/documents/BVE/AWA/de/AWA_Publicationen/GBL_2019_Planktonbericht.pdf)

[https://www.bve.be.ch/bve/de/index/direktion/organisation/awa/downloads\\_publicationen/weitere\\_berichte.html](https://www.bve.be.ch/bve/de/index/direktion/organisation/awa/downloads_publicationen/weitere_berichte.html)

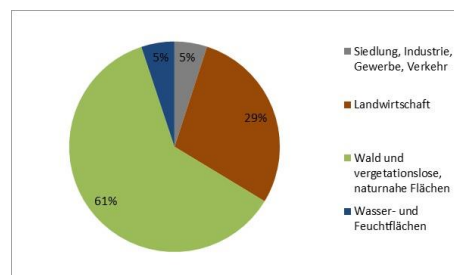
[https://www.bve.be.ch/bve/de/index/wasser/wasser/gewaesserqualitaet.assetref/dam/documents/BVE/AWA/de/AWA\\_Publicationen/awa-fakten\\_%C3%96komorphologie\\_der\\_Seeufer\\_im\\_Kanton\\_Bern\\_inklAnhang\\_2017.pdf](https://www.bve.be.ch/bve/de/index/wasser/wasser/gewaesserqualitaet.assetref/dam/documents/BVE/AWA/de/AWA_Publicationen/awa-fakten_%C3%96komorphologie_der_Seeufer_im_Kanton_Bern_inklAnhang_2017.pdf)

## 4.4 Bodensee

### Kenndaten

Höhenlage (m ü. M.)	395
Seeoberfläche (km <sup>2</sup> )	536
Maximale Tiefe (m)	254
Mittlere Tiefe (m)	90
Ökomorphologie Seeufer	40% natürlich / naturnah 60% beeinträchtigt/ verbaut

Einzugsgebiet (11461 km<sup>2</sup>)



### Nährstoff und Sauerstoffsituation

Die Phosphorkonzentration im Bodensee-Obersee hat seit dem Maximum der Eutrophierung in den 1970er Jahren dank diverser Gewässerschutzmassnahmen von über 80 mg P/m<sup>3</sup> auf rund 6 – 8 mg P/m<sup>3</sup> abgenommen und hat sich seit Mitte der 2000er Jahre in diesem Wertebereich eingependelt. Die Wasserqualität bezüglich Phosphor wird gemäss europäischer Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) als sehr gut bewertet. Im Untersee wird die trophische Entwicklung neben den P-Einträgen über die Zuflüsse auch von der variierenden P-Freisetzung aus den Sedimenten beeinflusst.

Die Sauerstoffkonzentrationen im Tiefenwasser des Obersees erfüllen die gesetzlichen Anforderungen vollumfänglich, während im Untersee der Zielwert für Sauerstoff zeitweise nicht erreicht wird.

### Plankton

Die Algenbiomasse im Bodensee-Obersee hat mit Verzögerung zur Abnahme der Phosphorkonzentration ebenfalls abgenommen. Die Planktonentwicklung im Obersee entspricht derjenigen eines oligotrophen Alpensees. Im Projekt SeeWandel werden Fragen zum Aufkommen der Burgunderblutalge (*Planktothrix rubescens*), welche seit 2014 in grösseren Mengen nachgewiesen worden ist, untersucht.

### Makrozoobenthos

Aktuell wurden 19 Neozoen im Bodensee festgestellt. Die IGKB (Internationale Gewässerschutzkommission des Bodensees) betreibt seit 2016 das Neozoenmonitoring im Bodensee.

### Fische

Im Rahmen des Projekt Lac wurden im Bodensee 29 Fischarten gefangen. Davon sind 24 Arten standortgerecht und fünf Arten (*Gasterosteus aculeatus*, *Gymnocephalus cernua*, *Oncorhynchus mykiss*, *Lepomis gibbosus*, *Sander lucioperca*) gebietsfremd.

Der Fischbestand und die Fischzusammensetzung im Bodensee befinden sich gemäss WRRL in einem guten Zustand. Die hohe Habitatvielfalt im Litoral und die natürlichen Pegelschwankungen wirken sich positiv auf die Fischfauna aus. Die Artenzusammensetzung weicht jedoch vom natürlichen Zustand ab, da Fischarten aufgrund der Folgen der Eutrophierung ausgestorben sind und gebietsfremde Arten wie z.B. der Stichling die Fischfauna dominieren.

### Fazit

Die Ergebnisse der Freiwasseruntersuchungen bestätigen den positiven Effekt der Gewässerschutzmassnahmen aller Länder und Kantone im Einzugsgebiet des Bodensees. Der starke Nutzungsdruck auf den See, die Einflüsse des Klimawandels und die Einwanderung von Neobiota rechtfertigen nach wie vor hohe Anforderungen an den Gewässerschutz.

### **Quellen**

Alexander T.J., Vonlanthen P., Périat G., Raymond J.C., Degiorgi F., Seehausen O., 2016: Artenvielfalt und Zusammensetzung der Fischpopulation im Bodensee. Projet Lac, Eawag, Kastanienbaum.

Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB), 2009: Limnologische Bewertung der Ufer- und Flachwasserzone des Bodensees – Bericht Nr. 55.

### **Internet**

<http://www.neozoen-bodensee.de/neozoen>

[https://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Abteilungen/fishec/projekte/Projet\\_Lac](https://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Abteilungen/fishec/projekte/Projet_Lac)

[https://www.igkb.org/fileadmin/user\\_upload/dokumente/publikationen/gruene\\_berichte/42\\_gb42gesamtbericht.pdf](https://www.igkb.org/fileadmin/user_upload/dokumente/publikationen/gruene_berichte/42_gb42gesamtbericht.pdf)

[https://seewandel.org/wp-content/uploads/2019/09/SeeWandel-Newsletter\\_01\\_Sep2019.pdf](https://seewandel.org/wp-content/uploads/2019/09/SeeWandel-Newsletter_01_Sep2019.pdf)

[https://www.igkb.org/fileadmin/user\\_upload/dokumente/publikationen/gruene\\_berichte/43\\_gb43gesamtbericht.pdf](https://www.igkb.org/fileadmin/user_upload/dokumente/publikationen/gruene_berichte/43_gb43gesamtbericht.pdf)

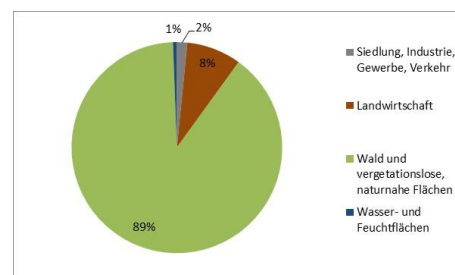


## 4.5 Brienersee

### Kenndaten

Höhenlage (m ü. M.)	564
Seeoberfläche (km <sup>2</sup> )	29.7
Maximale Tiefe (m)	259
Mittlere Tiefe (m)	173
Ökomorphologie der Ufer	23% natürlich / wenig beeinträchtigt 77% beeinträchtigt/ naturfremd/künstlich

Einzugsgebiet (1108 km<sup>2</sup>)



### Nährstoff und Sauerstoffsituation

Die Phosphorkonzentrationen im Brienersee liegen seit den 1990er Jahren nach einem kurzwährenden Anstieg in den 1970er und 80er Jahren in einem sehr tiefen Bereich von 1 – 3 mg P/m<sup>3</sup>. Die Phosphatkonzentrationen liegen im Bereich der Nachweisgrenze.

Die Sauerstoffkonzentrationen im Tiefenwasser des Brienersees erfüllen die gesetzlichen Anforderungen vollumfänglich.

### Plankton

Die Algenbiomasse im Brienersee hat parallel zum Rückgang der Phosphorkonzentrationen abgenommen und ist seit 2012 auf tiefem Niveau stabil geblieben. Im Vergleich zum Thunersee ist die Algenbiomasse im Brienersee etwas tiefer, was auf die geringere Primärproduktion aufgrund der tieferen Wassertemperaturen und der höheren Trübung durch mineralische Schwebstoffe zurückzuführen ist. Der Phyto-See-Index im Brienersee zeigt seit Mitte der 1990er Jahre einen sehr guten Zustand des Planktons an.

Die zeitliche Entwicklung der Crustaceenplanktonbiomasse zeigt keine deutlichen Veränderungen im Brienersee.

### Makrozoobenthos

Makrozoobenthosuntersuchungen im Brienersee aus dem Jahr 2014 zeigen eine dünne Makrozoobenthosbesiedlung in allen Tiefen, was auf die geringe Nährstoffzufuhr und die tiefen Wassertemperaturen zurückzuführen ist. Bemerkenswert ist der hohe Anteil an Arten, die nährstoffarme Verhältnisse bevorzugen und Indikatoren für unverschmutzte Gewässer sind. Das Makrozoobenthos wurde anhand des Makrozoobenthosindex IQB-AL als sehr gut beurteilt.

Bisher wurde lediglich eine wirbellose invasive Neozoenart (*Dreissena polymorpha*) im Brienersee beobachtet.

### Fische

Im Rahmen des Projekt Lac wurden im Brienersee 14 Fischarten nachgewiesen, darunter keine standortfremden Arten. Die Fischzusammensetzung entspricht weitgehend der natürlichen Zusammensetzung eines in den Voralpen gelegenen oligotrophen Felchensees. Zudem beherbergt der Brienersee 4 endemische Arten. Die leichte Abweichung vom Referenzzustand ist auf beeinträchtigte Uferhabitate aufgrund der starken Verbauung und der Kiesnutzung zurückzuführen.

### Fazit

Die Lebensgemeinschaften im Brienersee entsprechen weitgehend einem natürlichen Zustand. Ob dieser gute Zustand erhalten bleiben wird, ist aufgrund des zunehmenden Einflusses des Klimawandels (Erwärmung, Zunahme extremer Wetterereignisse) ungewiss.

## Quellen

Vonlanthen P., Périat G., 2013: Artenvielfalt und Zusammensetzung der Fischpopulation im Brienzersee. Projet Lac, Eawag. Kastanienbaum.

## Internet

[https://www.bve.be.ch/bve/de/index/direktion/organisation/awa/downloads\\_publicationen/weitere\\_berichte.assetref/dam/documents/BVE/AWA/de/Messdatenseite/Weitere%20Berichte/GBL\\_2014\\_Makrozoobenthos\\_in\\_Berner\\_Seen\\_Praktikumsbericht.pdf](https://www.bve.be.ch/bve/de/index/direktion/organisation/awa/downloads_publicationen/weitere_berichte.assetref/dam/documents/BVE/AWA/de/Messdatenseite/Weitere%20Berichte/GBL_2014_Makrozoobenthos_in_Berner_Seen_Praktikumsbericht.pdf)

[https://www.bve.be.ch/bve/de/index/direktion/organisation/awa/downloads\\_publicationen/weitere\\_berichte.assetref/dam/documents/BVE/AWA/de/Messdatenseite/Weitere%20Berichte/GBL\\_2009\\_Entwicklung\\_des\\_Phyto-und\\_Crustaceenplanktons.pdf](https://www.bve.be.ch/bve/de/index/direktion/organisation/awa/downloads_publicationen/weitere_berichte.assetref/dam/documents/BVE/AWA/de/Messdatenseite/Weitere%20Berichte/GBL_2009_Entwicklung_des_Phyto-und_Crustaceenplanktons.pdf)

[https://www.bve.be.ch/bve/de/index/wasser/wasser/gewaesserqualitaet.assetref/dam/documents/BVE/AWA/de/AWA\\_Publikationen/AWA-Fakten\\_GewBericht\\_dt\\_www\\_2017.pdf](https://www.bve.be.ch/bve/de/index/wasser/wasser/gewaesserqualitaet.assetref/dam/documents/BVE/AWA/de/AWA_Publikationen/AWA-Fakten_GewBericht_dt_www_2017.pdf)

[https://www.bve.be.ch/bve/de/index/direktion/organisation/awa/downloads\\_publicationen/weitere\\_berichte.assetref/dam/documents/BVE/AWA/de/AWA\\_Publikationen/GBL\\_2019\\_Planktonbericht.pdf](https://www.bve.be.ch/bve/de/index/direktion/organisation/awa/downloads_publicationen/weitere_berichte.assetref/dam/documents/BVE/AWA/de/AWA_Publikationen/GBL_2019_Planktonbericht.pdf)

[https://www.bve.be.ch/bve/de/index/direktion/organisation/awa/downloads\\_publicationen/weitere\\_berichte.html](https://www.bve.be.ch/bve/de/index/direktion/organisation/awa/downloads_publicationen/weitere_berichte.html)

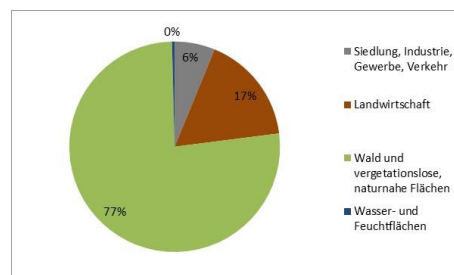
[https://www.bve.be.ch/bve/de/index/wasser/wasser/gewaesserqualitaet.assetref/dam/documents/BVE/AWA/de/AWA\\_Publikationen/awa-fakten\\_%C3%96komorphologie\\_der\\_Seeufer\\_im\\_Kanton\\_Bern\\_inklAnhang\\_2017.pdf](https://www.bve.be.ch/bve/de/index/wasser/wasser/gewaesserqualitaet.assetref/dam/documents/BVE/AWA/de/AWA_Publikationen/awa-fakten_%C3%96komorphologie_der_Seeufer_im_Kanton_Bern_inklAnhang_2017.pdf)

## 4.6 Genfersee

### Kenndaten

Höhenlage (m ü. M.)	372
Seeoberfläche (km <sup>2</sup> )	580
Maximale Tiefe (m)	310
Mittlere Tiefe (m)	153
Verbauung der Seeufer	30% natürlich / naturnah 70% beeinträchtigt/ verbaut

Einzugsgebiet (7419 km<sup>2</sup>)



### Nährstoff und Sauerstoffsituation

Die Phosphorkonzentration hat seit dem Maximum der Eutrophierung in den 1970er Jahren dank diverser Gewässerschutzmassnahmen von rund 90 mg P/m<sup>3</sup> auf rund 18 mg P/m<sup>3</sup> abgenommen mit weiterhin sinkenden Tendenzen. Der von der CIPEL (Commission internationale pour la protection des eaux du Léman) festgelegte Zielwert von 10 – 15 mg P/m<sup>3</sup> ist jedoch noch nicht ganz erreicht. Der Anteil der Armeleuchteralgen im See hat sich erhöht, was die Gesundung des Sees bezüglich seines Nährstoffgehaltes bestätigt.

Die Sauerstoffkonzentrationen im Tiefenwasser unterschreiten regelmässig den gesetzlich geforderten Zielwert von 4 mg O<sub>2</sub>/l.

### Plankton

Die Algenmenge und -zusammensetzung im Genfersee hat sich seit Mitte der 1970er leicht verbessert. Sie wurde jedoch in den letzten Jahren immer noch als unbefriedigend bis mässig bewertet. Der von der CIPEL festgesetzte Zielwert ist bei weitem noch nicht erreicht.

### Makrozoobenthos

Das Makrozoobenthos im Genfersee wurde in Abhängigkeit von der Tiefe als unbefriedigend bis gut bewertet. Im Litoral, wo ausreichend Sauerstoff zur Verfügung steht, zeigt auch das Makrozoobenthos einen guten Zustand. Mit zunehmender Tiefe und weniger guten Sauerstoffbedingungen verschlechtert sich der Zustand des Makrozoobenthos.

Bisher wurden 17 aquatische Neozoen im Genfersee nachgewiesen, wovon sieben Arten als invasiv gelten. Als besonders problematisch wird die Verbreitung der Quagga-Muschel (*Dreissena rostriformis bugensis*) und des Höckerflohkrebses (*Dikerogammarus villosus*) erachtet. Die CIPEL betreibt das Neozoenmonitoring im Genfersee.

### Fische

Im Rahmen des Projet Lac wurden im Genfersee 24 Fischarten gefangen. Davon sind 15 Arten standortgerecht und neun sind gebietsfremd (*Scardinius hesperidicus*, *Abramis brama*, *Barbus barbus*, *Leuciscus leuciscus*, *Coregonus sp.*, *Ictalurus melas*, *Lota lota*, *Gasterosteus sp.*, *Salaria fluviatilis*).

Erfreulicherweise sind 14 der 18 einheimischen Arten, die im Jahr 1904 von F.A. Forel beschrieben worden sind, im Genfersee noch vorhanden. Jedoch hat sich die ursprüngliche Fischartenzusammensetzung des Genfersees stark verändert. Gründe dafür sind die ausgedehnten Sauerstoffdefizite während der Eutrophierung, die zum Aussterben von zwei Felchenarten geführt haben. Ein weiterer Grund ist die nicht nachhaltige Befischung anfangs des 20. Jahrhunderts. Die bis heute anhaltenden Auswirkungen der Eutrophierung (Sauerstoffdefizite im Tiefenwasser), verbaute Litoralhabitate und verbaute Zuflüsse sowie regulierte Pegelstände beeinflussen die Fischgesellschaft von heute.

### **Fazit**

Die Bedingungen für die Lebensgemeinschaften im Genfersee verbessern sich stetig. Dieser Trend muss mit vermehrten Anstrengungen im Bereich Gewässerschutz beibehalten werden. Insbesondere, da der zunehmende Einfluss des Klimawandels diesem Trend in Zukunft entgegenwirken wird.

### **Quellen**

Vonlanthen P., Périat G., 2014: Etude du peuplement pisciaire du Lac Léman. Projet Lac, Eawag. Kastanienbaum.

### **Internet**

[https://www.cipel.org/wp-content/uploads/2019/11/TB\\_2019\\_low.pdf](https://www.cipel.org/wp-content/uploads/2019/11/TB_2019_low.pdf)

<https://www.cipel.org/le-leman/tableau-bord/>

<https://www.cipel.org/le-leman/etat-sante/>

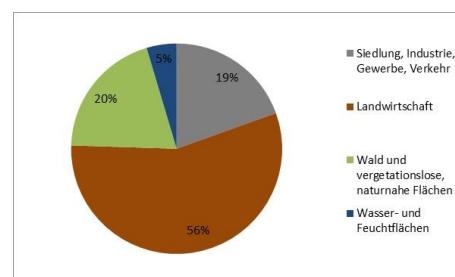
<https://www.cipel.org/le-leman/rapport-scientifique/>

## 4.7 Greifensee

### Kenndaten

Höhenlage (m ü. M.)	435
Seeoberfläche (km <sup>2</sup> )	8.5
Maximale Tiefe (m)	32
Mittlere Tiefe (m)	18
Ökomorphologie der Ufer	76% natürlich / wenig beeinträchtigt 24% beeinträchtigt/ naturfremd/künstlich

Einzugsgebiet (156 km<sup>2</sup>)



### Nährstoff und Sauerstoffsituation

Die Phosphorkonzentrationen haben seit dem Maximum der Eutrophierung in den 1970er Jahren dank diverser Gewässerschutzmassnahmen von ca. 500 mg P/m<sup>3</sup> auf rund 50 mg P/m<sup>3</sup> abgenommen. Seit Ende der 1990er Jahre schwanken sie im Bereich zwischen knapp 50 – 75 mg P/m<sup>3</sup>. Ursache der immer noch hohen P-Konzentrationen ist v.a. die hohe Eigendüngung des Sees aufgrund der sauerstofflosen Verhältnisse in den unteren Wasserschichten und der dadurch resultierenden Phosphorrücklösung aus den Sedimenten. Dieser Effekt wird klimabedingt verstärkt, da die Zirkulationsphase des Sees aufgrund der länger anhaltenden Dichteschichtung im Herbst verkürzt wird und dadurch weniger Sauerstoff ins Tiefenwasser eingemischt wird. Seit 2009 wird der Greifensee künstlich belüftet. Die gesetzlichen Anforderungen für Sauerstoff sind nicht erfüllt.

### Plankton

Die Algenbiomasse im Greifensee hat seit den 1970er Jahren deutlich abgenommen. Die mittleren Chlorophyll-Konzentrationen lagen in den 1980er Jahren noch deutlich über 10 µg/l und Algenmassenentwicklungen traten häufig auf. Im Zeitraum zwischen Mitte der 1990er bis 2012 haben die mittleren Chlorophyll-Konzentrationen auf 6 – 9 µg/l abgenommen und die Algenmenge wurde gemäss kantonalen Bewertungsmethoden als mässig beurteilt. Seit 2012 schwanken die mittleren Chlorophyll-Konzentrationen - mit Ausnahme eines Maximums im Jahr 2018, welches auf ein aussergewöhnlich hohes Wachstum von Grünalgen im Herbst zurückzuführen ist - im Bereich von 3 – 6 µg/l und die Algenmenge wird aktuell als gut beurteilt.

### Makrozoobenthos

Mit Makrozoobenthosuntersuchungen im Uferbereich des Greifensees im Jahr 2008 konnten 74 Taxa nachgewiesen werden.

Bisher sind 10 Neozoenarten (*Corbicula fluminea*, *Dikerogammarus villosus*, *Crangonyx pseudogracilis*, *Dugesia tigrina*, *Branchiura sowerbyi*, *Limnomysis benedeni*, *Potamopyrgus antipodarum*, *Dreissena polymorpha*) nachgewiesen worden, davon sind vier Arten invasiv (*Corbicula fluminea*, *Dikerogammarus villosus*, *Dreissena polymorpha*, *Limnomysis benedeni*). V.a. in den letzten Jahren hat sich der Neozoenbestand zunehmend erweitert.

Im Greifensee wurden ausserdem die invasiven Krebsarten Signalkrebs (*Pacifastacus leniusculus*) und Kamberkrebs (*Oronectes limosus*) nachgewiesen.

### Fische

Es liegt keine standardisierte Erhebung der Fischgemeinschaften für den Greifensee vor. Die Fischpopulation im Greifensee ist jedoch stark durch die ungenügenden Sauerstoffverhältnisse beeinträchtigt. Dank der seit 2009 in Betrieb genommenen Belüftungsanlage kann auch in tieferen Regionen des Sees ein örtlich begrenztes Fischrefugium mit erhöhten Sauerstoffkonzentrationen während der kritischen Sommermonate geschaffen werden.

### **Fazit**

Die Lebensgemeinschaften des Greifensees sind beeinträchtigt, was auf die Folgen der hohen Eutrophierung und der dadurch resultierenden ungenügenden Sauerstoffverhältnisse im See zurückzuführen ist. Anstrengungen zur weiteren Reduktion der Phosphoreinträge sowie zur Verminderung der Eigendüngung des Sees müssen weiter unternommen werden, was durch den stetig steigenden Nutzungsdrucks im Einzugsgebiet und der klimatischen Veränderungen erschwert wird.

### **Quellen**

AWEL 2018: Wasser und Gewässer 2018, Gesamtbericht. Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, 180 S.

Steinmann P., 2008: Makrozoobenthos und aquatische Neozoen im Greifensee und Pfäffikersee 2008. Im Auftrag des AWEL, 28 S.

AQUAPLUS 2019: Ökomorphologie Seeufer Kanton Zürich. Bearbeitungsbericht. Im Auftrag des AWEL. 27 S.

### **Internet**

<https://maps.zh.ch/>

<https://maps.zh.ch/?topic=AwelNeozoenZH&scale=320000&x=692000&y=252000&offlayers=bezirkslabels%2Caquatische-neozoen-labels>

<https://www.zh.ch/de/umwelt-tiere/wasser-gewaesser/gewaesserschutz/gewaesserqualitaet.html#875150450>

[https://www.hw.zh.ch/chemie/see/02\\_Be.pdf](https://www.hw.zh.ch/chemie/see/02_Be.pdf)

[https://www.hw.zh.ch/chemie/see/02\\_Ph.pdf](https://www.hw.zh.ch/chemie/see/02_Ph.pdf)

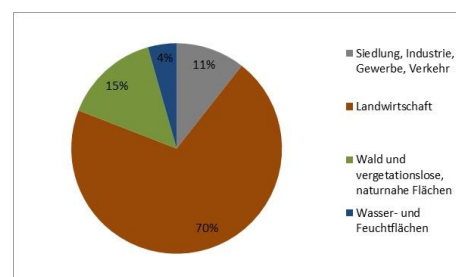
[https://www.hw.zh.ch/chemie/see/02\\_En.pdf](https://www.hw.zh.ch/chemie/see/02_En.pdf)

## 4.8 Hallwilersee

### Kenndaten

Höhenlage (m ü. M.)	449
Seeoberfläche (km <sup>2</sup> )	10.2
Maximale Tiefe (m)	47
Mittlere Tiefe (m)	28
Verbauung der Ufer	85% natürlich / naturnah 15% beeinträchtigt/ verbaut

Einzugsgebiet (129 km<sup>2</sup>)



### Nährstoff und Sauerstoffsituation

Seit den 1970er Jahren haben die Phosphorkonzentrationen aufgrund diverser See-externer und See-interner Gewässerschutzmassnahmen von 240 mg P/m<sup>3</sup> auf rund 10 - 20 mg P/m<sup>3</sup> abgenommen. Seit 2009 zeigt sich kein signifikanter Trend – die Konzentrationen schwanken in dieser Bandbreite und liegen unterhalb des ehemaligen kantonalen Zielwertes von 30 mg P/m<sup>3</sup>. Nach neuesten Erkenntnissen kann die gesetzlich geforderte mittlere Algenproduktion im Hallwilersee erst unterhalb von 10 mg P/m<sup>3</sup> erreicht werden. Der neue Zielwert für Phosphor wurde deshalb auf 10 mg P/m<sup>3</sup> festgesetzt. Dieser Wert wird aktuell immer noch überschritten. Der Hallwilersee wird nach wie vor künstlich belüftet. Der gesetzlich geforderte Zielwert von 4 mg/l O<sub>2</sub> wird trotzdem nicht eingehalten.

### Plankton

Die Algenbiomasse im Hallwilersee ist trotz der verbesserten Nährstoffsituation immer noch zu hoch. Die Algenmenge schwankt seit 2009 zwischen 15 – 30 g/m<sup>2</sup> und ist dominiert durch die Burgunderblutalge (*Planktothrix rubescens*). Das massive Auftreten der Burgunderblutalge war erst möglich, als die Konzentration der übrigen Algenarten in höheren Wasserschichten aufgrund des Nährstoffrückganges abnahmen, sodass genügend Licht in die tieferen Wasserschichten eindringen konnte. Die Burgunderblutalge schichtet sich in 10-15 m Tiefe ein. Sie wurde Ende der 1990er Jahre zur dominanten Alge im Hallwilersee. Seit 2003 nimmt nun auch die Menge der Burgunderblutalge wieder langsam ab. Ohne die Burgunderblutalge läge die Gesamtbiomasse der Algen bei rund 5 g/m<sup>2</sup>. Es ist zu erwarten, dass die Burgunderblutalge mit sinkenden Phosphorkonzentrationen ebenfalls weiter abnehmen wird.

### Makrozoobenthos

Das Makrozoobenthos ist seit dem Maximum der Eutrophierung dank verbesserter Nährstoffverhältnisse, der Seenbelüftung und Zirkulationshilfe und der dadurch verbesserten Sauerstoffverhältnisse wieder in grössere Tiefen vorgedrungen. Während der hocheutrophen Phase konnten keine Würmer oder Insektenlarven unterhalb einer Tiefe von 25 m nachgewiesen werden. Im Jahr 2017 war eine Besiedlung der Sedimente bis in eine Tiefe von 46 m Tiefe erfolgt (siehe auch Abb. 2, S. 7). Die Besiedlungsdichte ist sehr hoch, jedoch ist der Lebensraum für sauerstoffsensible Arten aktuell noch auf eine Tiefe von 20 m beschränkt.

Im Hallwilersee sind bisher 4 Neozoenarten (*Dikerogammarus villosus*, *Potamopyrgus antipodarum*, *Dreissena polymorpha*, *Corbicua fluminea*) nachgewiesen worden, davon sind drei Arten invasiv (*Dikerogammarus villosus*, *Dreissena polymorpha*, *Corbicua fluminea*).

Ausserdem wurde im Hallwilersee der invasive Kamberkrebs (*Oronectes limosus*) beobachtet.

### Fische

Im Rahmen des Proje Lac wurden 19 Fischarten im Hallwilersee nachgewiesen. Davon sind 16 Arten standortgerecht. Drei Arten (*Gymnocephalus cernuus*, *Lepomis gibbosus*, *Sander lucioperca*) wurden als standortfremd eingestuft.

Die Fischartenzusammensetzung im Hallwilersee entspricht heute derjenigen eines Cyprinidensees. Im Jahr 2012 konnten 11 Arten, welche früher im Hallwilersee beschrieben worden sind, nicht gefangen werden. Ein Vergleich mit dem Referenzzustand ist jedoch aufgrund fehlender historischer Daten nicht möglich. Aufgrund von Markierversuchen konnte festgestellt werden, dass eine Naturverlaichung der Felchen noch sehr stark eingeschränkt ist und damit das diesbezügliche Sanierungsziel bei weitem nicht erreicht ist.

### **Fazit**

Die Lebensgemeinschaften des Hallwilersees sind beeinträchtigt, was auf die immer noch zu hohe Nährstoffbelastung aus dem landwirtschaftlich intensiv genutzten Einzugsgebiet und die dadurch beeinträchtigten Sauerstoffbedingungen zurückzuführen ist. Die Belüftung des Sees trägt wesentlich zur Verbesserung der Lebensbedingungen für aquatische Organismen bei.

### **Quellen**

Gutachten Eawag 2007: Begutachtung der Luzerner Seen 2007 wegen erhöhtem Algenwachstum und Algenblüten. 23 S.

UWE, 2020: Jahresbericht Zustand der Mittellandseen 2019. 15 S.

Lubini-Ferlin V., Knispel S, 2015: Biodiversität Wirbellose Kleintiere, Sempachersee, Surentahl, Wyental, Seetal. Im Auftrag des UWE, 48 S.

Vonlanthen P., Périat G., Seehausen OP., Alexander T., 2014: Artenvielfalt und Zusammensetzung der Fischpopulation im Hallwilersee. Projet Lac, Eawag. Kastanienbaum.

Rey P., Ortlepp J., Werner S., Mürle U., Becker A., Hesselschwerdt J., 2013: Koordinierte biologische Untersuchungen an der Aare zwischen Bielersee und Rhein. Fachbericht zum Untersuchungsprogramm zuhanden der Gewässerschutz- und Fischereifachstellen der Kantone Aargau, Bern und Solothurn. 153 S.

### **Internet**

<https://uwe.lu.ch/themen/gewaesser/gewaesserzustand/gewaesserbiologie>

<https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wasser/fachinformationen/zustand-der-gewaesser/zustand-der-seen/wasserqualitaet-der-seen.html>

[https://www.ag.ch/de/bvu/umwelt\\_natur\\_landschaft/umwelt\\_1/oberflaechengewaesser/hallwilersee/zustand\\_hallwilersee/zustand\\_hallwilersee.jsp](https://www.ag.ch/de/bvu/umwelt_natur_landschaft/umwelt_1/oberflaechengewaesser/hallwilersee/zustand_hallwilersee/zustand_hallwilersee.jsp)

[https://www.ag.ch/media/kanton\\_aargau/bvu/dokumente\\_2/umwelt\\_natur\\_landschaft/umweltschutz/massnahmen\\_1/wasserqualitaet\\_1/UAG\\_58\\_13.pdf](https://www.ag.ch/media/kanton_aargau/bvu/dokumente_2/umwelt_natur_landschaft/umweltschutz/massnahmen_1/wasserqualitaet_1/UAG_58_13.pdf)

[https://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Abteilungen/fishec/projekte/Projet\\_Lac](https://www.eawag.ch/fileadmin/Domain1/Abteilungen/fishec/projekte/Projet_Lac)

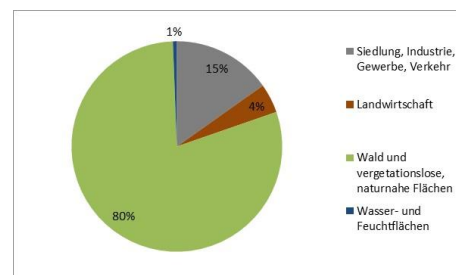


## 4.9 Lago di Lugano

### Kenndaten

Höhenlage (m ü. M.)	271
Seeoberfläche (km <sup>2</sup> )	49
Maximale Tiefe (m)	288
Mittlere Tiefe (m)	133
Ökomorphologie der Seeufer	20% natürlich 17% wenig beeinträchtigt 63% künstlich

Einzugsgebiet (560 km<sup>2</sup>)



### Nährstoff und Sauerstoffsituation

Die Phosphorkonzentration hat seit dem Maximum der Eutrophierung in den 1970er Jahren dank diverser Gewässerschutzmassnahmen von über 150 mg P/m<sup>3</sup> auf rund 10 - 30 mg P/m<sup>3</sup> im Nordbecken und auf 30 – 40 mg P/m<sup>3</sup> im Südbecken abgenommen und schwanken seit ca. 10 Jahren in diesem Bereich. Die Phosphorkonzentrationen im Nordbecken liegen unter dem von der CIPAIS (Commissione internazionale per la protezione delle acque italo-svizzere) festgelegten Zielwert von 30 mg P/m<sup>3</sup>, während diese im Südbecken den Zielwert noch leicht überschreiten. Die Phosphorkonzentrationen zeigen in beiden Seebecken leicht abnehmende Tendenz, sodass der Zielwert auch im Südbecken bald erreicht sein wird.

Die Sauerstoffkonzentrationen im Tiefenwasser unterschreiten den gesetzlich geforderten Minimalwert von 4 mg O<sub>2</sub>/l. Grund dafür ist die zu hohe Sauerstoffzehrung im Tiefenwasser.

### Plankton

Die Algenmenge im Lago di Lugano hat seit den 1980er Jahren stark abgenommen. Die aktuellen Chlorophyllkonzentrationen überschreiten jedoch immer noch die von der CIPAIS festgelegten Zielwerte in allen Seebecken. Die Algenzusammensetzung weist starke Schwankungen auf und unterscheidet sich in den einzelnen Seebecken. Der Anteil der Cyanobakterien hat im Jahr 2019 infolge einer Algenblüte von *Planktothrix rubescens* den Zielwert deutlich überschritten. Zielwertüberschreitungen traten in den letzten Jahrzehnten immer wieder sowohl im Nord- als auch im Südbecken auf. Diesbezüglich hat sich trotz abnehmenden Phosphorkonzentrationen keine wesentliche Besserung eingestellt. Das Phänomen von Blaualgenmassenentwicklungen wird aktuell eingehender untersucht.

### Makrozoobenthos

Keine Untersuchungen des Makrozoobenthos vorhanden.

### Fische

Im Rahmen des Projet Lac wurden 25 Fischarten im Lago di Lugano nachgewiesen. Davon sind 16 Arten standortgerecht und neun Arten sind standortfremd.

Die Fischgemeinschaft im Lago di Lugano ist aufgrund der Folgen der Eutrophierung, der starken Verbauung der Seeufer, der Wasserstandsregulierung und der ungenügenden Vernetzung mit den Zuflüssen beeinträchtigt. Die Vielfalt der endemischen Arten im See hat stark abgenommen. Zudem weist der See im Vergleich zu anderen Schweizer Seen einen hohen Anteil an standortfremden Arten auf, die aus Gebieten nördlich der Alpen eingeführt wurden. Insbesondere werden zwei endemische Arten (*Alburnus albonellus* und *Alosa agone*) zunehmend von eingeführten Arten (*Sander lucioperca* und *Rutilus rutilus*) verdrängt.

### **Fazit**

Die Bedingungen für die Lebensgemeinschaften im Lago di Lugano haben sich verbessert. Die Zielwerte sind jedoch noch nicht erreicht. Die Lebensgemeinschaften im Lago di Lugano haben noch keinen guten Zustand erreicht. Der Einfluss des Klimawandels dürfte sich in Zukunft ebenfalls negativ auf die Lebensgemeinschaften auswirken.

### **Quellen**

Istituto Scienze della terra (IST-SUPSI), 2020. Ricerche sull'evoluzione del Lago di Lugano. Aspetti limnologici. Programma triennale 2019 – 2021. Campagna 2019. Commissione Internazionale per la protezione delle acque italo-svizzere (Ed.), 80 pp.

Capelli C., 2020: Fioriture di *Planktothrix rubescens* (Cyanophyceae) nel Lago di Lugano, Bolletino della Società ticinese di scienze naturali 108, pp. 93 – 96.

CIPAIS 2020: Newsletter No 2.

CIPAIS 2019: Pannello di Controllo sullo stato e sull'evoluzione delle acque del Lago di Lugano.

Périat G., Vonlanthen P., Dagani D., 2014: Studio della fauna ittica del Lago Ceresio. Projet Lac, Eawag. Kastanienbaum.

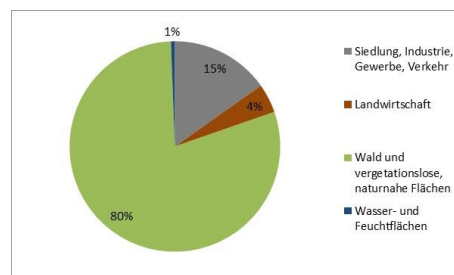
### **Internet**

## 4.10 Lago Maggiore

### Kenndaten

Höhenlage (m ü. M.)	193.5
Seeoberfläche (km <sup>2</sup> )	212
Maximale Tiefe (m)	370
Mittlere Tiefe (m)	177
Ökomorphologie der Seeufer	24% natürlich
	41% wenig beeinträchtigt
	35% künstlich

Einzugsgebiet (6389 km<sup>2</sup>)



### Nährstoff und Sauerstoffsituation

Die Phosphorkonzentration hat seit dem Maximum der Eutrophierung in den 1970er Jahren dank diverser Gewässerschutzmaßnahmen von rund 40 mg P/m<sup>3</sup> auf 8 – 10 mg P/m<sup>3</sup> in den 2000er Jahren abgenommen und hat gemäss Zielvorgaben der CIP AIS (Commissione internazionale per la protezione delle acque italo-svizzere) einen guten Zustand erreicht. Seit 2011 ist jedoch wieder ein leichter Anstieg der Phosphorkonzentrationen erkennbar. Dies ist auf eine Phosphorzunahme im Tiefenwasser aufgrund ungenügender Durchmischung infolge der Klimaerwärmung zurückzuführen. Seit 2011 schwanken die Phosphorkonzentrationen im Bereich von 11 – 12.5 mg P/m<sup>3</sup> und liegen damit über dem von der CIP AIS festgelegten Zielwert von 10 mg P/m<sup>3</sup>.

Die Sauerstoffkonzentrationen im Tiefenwasser erfüllen die gesetzlich geforderten Anforderungen vollumfänglich.

### Plankton

Die Algenmenge und -zusammensetzung im Lago Maggiore hat sich seit Mitte der 1970er Jahre verbessert. Die Algenmenge schwankt seit Mitte der 1990er Jahre im von der CIP AIS festgelegten Zielbereich und nur in einzelnen Jahren wird der Zielwert leicht überschritten. Auch die Algenzusammensetzung zeigt positive Tendenzen. So hat der Anteil der Cyanobakterien an der Gesamtalgenbiomasse seit Mitte der 1980er Jahre abgenommen und liegt seither unterhalb des Zielwertes.

### Makrozoobenthos

Erste Ergebnisse von Makrozoobenthosuntersuchungen werden ab 2021 vorliegen.

Bisher wurden 7 aquatische Neozoen in unterschiedlichen Abundanzen im Lago Maggiore gefunden (*Dreissena polymorpha*, *Corbicula fluminea*, *Sinandonta woodiana*, *Oronectes limosus*, *Procambarus clarkii*, *Pacifastacus leniusculus*). Eine neue invasive Neozoenart wurde (Moostierchen) kürzlich entdeckt, welche mit der Verzasca in den See eingetragen wurde.

### Fische

Es liegt keine standardisierte Erhebung der Fischgemeinschaften für den Lago Maggiore im Rahmen des Proje t Lac vor. Im Rahmen der Untersuchungen der Fischfauna durch CNR – ISE (Consiglio Nazionale delle Ricerche – Istituto per lo studio degli ecosistemi) und GRAIA (Gestione e Ricerca Ambientale Ittica Acque srl) wurden im Lago Maggiore 36 Fischarten gefangen. Davon sind 22 Arten standortgerecht und 14 gebietsfremd. Der Anteil standortfremder Arten ist hoch.

### Fazit

Die Bedingungen für die Lebensgemeinschaften im Lago Maggiore haben sich verbessert. Der trophische Zustand des Sees ist gut. Der Einfluss des Klimawandels hat jedoch bei verschiedenen trophischen Parametern zu Abweichungen von den Zielwerten geführt.

### **Quellen**

Boggero A., Minekus S., Garzoli L., Fontaneto D., 2020: Ricerca ed innovazione sul Lago Maggiore: Indicatori di qualità nel continuum acqua - rive. CIP AIS, Verbania.

CNR IESA. Sede di Verbania. 2020: Ricerche sull'evoluzione del Lago Maggiore. Aspetti limnologici. Programma triennale 2019 – 2021. Campagna 2019. Commissione Internazionale per la protezione delle acque italo-svizzere (Ed.), 110 pp.

CIP AIS 2020: Newsletter No 2.

CIP AIS: 2017: Specie Alloctone invasive nel bacino del Lago Maggiore (SPAM). Rapporto annuale sulle ricerche svolte nel 2016. pp. 1 – 25.

CIP AIS 2019: Pannello di Controllo sullo stato e sull'evoluzione delle acque del Lago Maggiore.

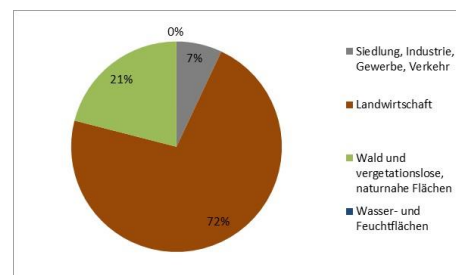
### **Internet**

## 4.11 Murtensee

### Kenndaten

Höhenlage (m ü. M.)	429
Seeoberfläche (km <sup>2</sup> )	22.7
Maximale Tiefe (m)	45
Mittlere Tiefe (m)	23
Ökomorphologie der Ufer	53% natürlich / wenig beeinträchtigt 47% beeinträchtigt, künstlich

Einzugsgebiet (690 km<sup>2</sup>)



### Nährstoff und Sauerstoffsituation

Die Phosphorkonzentrationen haben dank diverser Gewässerschutzmassnahmen seit dem Maximum von rund 200 mg P/m<sup>3</sup> im Jahre 1982 stark abgenommen. Seit den 2000er Jahren liegen die Phosphorkonzentrationen im Bereich von 16 - 33 mg P/m<sup>3</sup> und schwanken stark.

Die Sauerstoffkonzentrationen im Murtensee erfüllen die gesetzlichen Anforderungen nicht, da die Algenproduktion im See immer noch zu hoch ist und deshalb gegen Ende der Stagnation der Sauerstoff im Tiefenwasser aufgrund des Abbaus der Biomasse vollständig aufgebraucht wird.

### Plankton

Die Algenbiomasse im Murtensee hat seit 2010 aufgrund der tieferen Phosphorkonzentrationen deutlich abgenommen. Der Phyto-See-Index im Murtensee zeigt seit Mitte der 2000er Jahre einen mässigen Zustand, der sich seither stetig verbessert hat. 2018 wurde erstmals ein guter Zustand erreicht.

Die Zusammensetzung des Crustaceenplanktons entwickelt sich zu Arten hin, die weniger nährstoffreiche Bedingungen bevorzugen. Die Gesamtabundanz hat abgenommen.

### Makrozoobenthos

Makrozoobenthosuntersuchungen im Murtensee aus dem Jahr 2009, welche nach den Methoden IBQL (indice benthique Kt. VD) und IMOL (indice Mollusques français) durchgeführt wurden, zeigen einen schlechten Zustand des Makrozoobenthos an, was auf die ungenügenden Sauerstoffbedingungen in den Sedimenten zurückzuführen ist.

Bisher sind 6 wirbellose Neozoenarten (*Dikerogammarus villosus*, *Corbicula fluminea*, *Potamopyrgus antipodarum*, *Dreissena polymorpha*, *Pacifastacus leniusculus*, *Oronectes limosus*) nachgewiesen worden.

### Fische

Im Rahmen des Projet Lac wurden im Murtensee 22 Fischarten nachgewiesen. Davon sind 18 Arten standortgerecht und vier Arten sind standortfremd (*Carassius gibelio*, *Cobitis bilineata*, *Sander lucioperca*, *Scardinius hesperidicus*).

Die Fischzusammensetzung im Murtensee weicht deutlich vom natürlichen Zustand ab. Fast die Hälfte der ursprünglich einheimischen Arten kommen heute nicht mehr vor. Gründe dafür sind in erster Linie die negativen Auswirkungen der starken Eutrophierung auf den Sauerstoffhaushalt im Tiefenwasser sowie der hohe Verlust von Litoralhabitaten infolge der Jurakorrekturen. Zudem wirkt sich die starke Befischung negativ auf die Fischfauna aus.

### **Fazit**

Die Lebensgemeinschaften des Murtensees haben sich aufgrund der verbesserten Nährstoffbedingungen positiv entwickelt. Ob sich diese positive Entwicklung fortsetzen wird, ist aufgrund des zunehmenden Einflusses des Klimawandels (Erwärmung, Zunahme extremer Wetterereignisse) und der starken Invasion von Neozoen ungewiss.

### **Quellen**

Périat G., 2012: Etude du peuplement pisciaire du Lac de Morat. Projet Lac, Eawag. Kastanienbaum.

### **Internet**

[https://www.bve.be.ch/bve/de/index/direktion/organisation/awa/downloads\\_publicationen/weitere\\_berichte.assetref/dam/documents/BVE/AWA/de/Messdatenseite/Weitere%20Berichte/GBL\\_2009\\_Entwicklung\\_des\\_Phyto-\\_und\\_Crustaceenplanktons.pdf](https://www.bve.be.ch/bve/de/index/direktion/organisation/awa/downloads_publicationen/weitere_berichte.assetref/dam/documents/BVE/AWA/de/Messdatenseite/Weitere%20Berichte/GBL_2009_Entwicklung_des_Phyto-_und_Crustaceenplanktons.pdf)

[https://www.bve.be.ch/bve/de/index/direktion/organisation/awa/downloads\\_publicationen/weitere\\_berichte.assetref/dam/documents/BVE/AWA/de/AWA\\_Publicationen/GBL\\_2019\\_Planktonbericht.pdf](https://www.bve.be.ch/bve/de/index/direktion/organisation/awa/downloads_publicationen/weitere_berichte.assetref/dam/documents/BVE/AWA/de/AWA_Publicationen/GBL_2019_Planktonbericht.pdf)

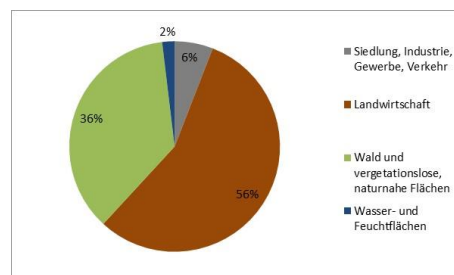
[https://www.vd.ch/fileadmin/user\\_upload/themes/environnement/eau/fichiers\\_pdf/DIREV\\_PRE/De\\_Source\\_S%C3%BBre\\_Lacs.pdf](https://www.vd.ch/fileadmin/user_upload/themes/environnement/eau/fichiers_pdf/DIREV_PRE/De_Source_S%C3%BBre_Lacs.pdf)

## 4.12 Neuenburgersee

### Kenndaten

Höhenlage (m ü. M.)	429
Seeoberfläche (km <sup>2</sup> )	242
Maximale Tiefe (m)	153
Mittlere Tiefe (m)	57.4
Ökomorphologie der Ufer	55% natürlich / wenig beeinträchtigt 45% beeinträchtigt, künstlich

Einzugsgebiet (2464 km<sup>2</sup>)



### Nährstoff und Sauerstoffsituation

Die Phosphorkonzentrationen haben dank diverser Gewässerschutzmassnahmen seit dem Maximum von rund 60 mg P/m<sup>3</sup> im Jahr 1982 stetig abgenommen. Seit den 2000er Jahren liegen die Phosphorkonzentrationen im Bereich von 10 mg P/m<sup>3</sup>. Der Rückgang der Phosphorkonzentrationen im Neuenburgersee zeigt sich auch in der Zusammensetzung der Armleuchteralgen, die auf einen nährstoffarmen Zustand hinweisen.

Die Sauerstoffkonzentrationen erfüllen die gesetzlichen Anforderungen vollumfänglich.

### Plankton

Die Algenbiomasse im Neuenburgersee hat aufgrund des Rückgangs der Phosphorkonzentrationen seit Mitte der 2000er Jahre abgenommen. Die produktive Schicht hat sich seit Ende der 1990er Jahre wegen der verbesserten Lichtverhältnisse infolge abnehmender Algenkonzentrationen über eine grössere Tiefe ausgedehnt. Die Probenahmetiefe wurde deshalb im Jahre 2012 von 0 – 20 m auf 0 – 40 m vergrössert, was zu einem Anstieg der Gesamtbiomasse geführt hat. Seit 2012 ist die Algenbiomasse stabil geblieben. Auffällig im Neuenburgersee ist das fast vollständige Verschwinden der Blaualge *Planktothrix rubescens*. Der Anteil der Algenarten, die oligotrophe und mesotrophe Bedingungen anzeigen, hat stark zugenommen. Der Phyto-See-Index im Neuenburgersee zeigt seit Mitte der 2000er Jahre einen guten Zustand des Planktons an.

Die Gesamtabundanz des Crustaceenplanktons zeigt keine abnehmende Tendenz. Man findet eine Verschiebung in der Artenzusammensetzung hin zu Arten, die weniger nährstoffreiche Gewässer bevorzugen.

### Makrozoobenthos

Makrozoobenthosuntersuchungen im Neuenburgersee aus dem Jahr 2013/14 zeigen eine hohe Dichte und Artenvielfalt in allen untersuchten Tiefen. Das Makrozoobenthos, welches nach den Methoden IBQL (indice benthique Kt. VD) und IMOL (indice Mollusques français) bewertet wurde, weist einen guten Zustand auf. Der Neuenburgersee beherbergt zudem eine grosse Anzahl Arten der roten Liste und ist deshalb ökologisch sehr wertvoll.

Bisher sind 9 wirbellose Neozoenarten (*Dikerogammarus villosus*, *Hemimysis anomala*, *Corbicula fluminea*, *Potamopyrgus antipodarum*, *Dreissena polymorpha*, *Dreissena rostriformis bugensis*, *Craspedacusta sowerbyi*, *Pacifastacus leniusculus*, *Oronectes limosus*) nachgewiesen worden, davon sind sechs Arten invasiv (*Dikerogammarus villosus*, *Corbicula fluminea*, *Dreissena polymorpha*, *Dreissena rostriformis bugensis*, *Pacifastacus leniusculus*, *Oronectes limosus*).

## **Fische**

Im Rahmen des Projet Lac wurden im Neuenburgersee 26 Fischarten nachgewiesen. Davon sind 21 Arten standortgerecht und fünf Arten sind standortfremd (*Cobitis bilineata*, *Lepomis gibbosus*, *Lucioperca*, *Scualius scualius*, *Scardinius hesperedicus*).

Die Artenverteilung der Fische im oberen Teil des Neuenburgersees entspricht wieder derjenigen, welche vor der Eutrophierungsphase in den 1940er Jahren beobachtet wurde und bestätigt die erfolgreiche Reoligotrophierung des Sees. Im unteren Seeteil weicht die Artenzusammensetzung vom Referenzzustand ab. Insgesamt sind während der letzten 150 Jahren 4 Arten ausgestorben. Die Abweichungen vom Referenzzustand sind auf eine veränderte Ufermorphologie aufgrund der Seespiegelabsenkung und Verbauungen der Ufer wie auch auf Veränderungen, welche durch die Eutrophierung in den 1980er stattgefunden haben, zurückzuführen.

## **Fazit**

Die Lebensgemeinschaften des Neuenburgersees sind in einem ziemlich guten Zustand, welcher mit geeigneten Massnahmen noch verbessert werden könnte. Insbesondere gilt es, die ökologisch wertvollen Bereiche zu schützen.

## **Quellen**

Périer G., Vonlanthen P., 2013: Etude du peuplement pisciaire du Lac de Neuchâtel. Projet Lac, Eawag, Kastanienbaum.

## **Internet**

[https://www.bve.be.ch/bve/de/index/direktion/organisation/awa/downloads\\_publicationen/weitere\\_berichte.assetref/dam/documents/BVE/AWA/de/Messdatenseite/Weitere%20Berichte/GBL\\_2009\\_Entwicklung\\_des\\_Phyto-\\_und\\_Crustaceenplanktons.pdf](https://www.bve.be.ch/bve/de/index/direktion/organisation/awa/downloads_publicationen/weitere_berichte.assetref/dam/documents/BVE/AWA/de/Messdatenseite/Weitere%20Berichte/GBL_2009_Entwicklung_des_Phyto-_und_Crustaceenplanktons.pdf)

[https://www.bve.be.ch/bve/de/index/direktion/organisation/awa/downloads\\_publicationen/weitere\\_berichte.assetref/dam/documents/BVE/AWA/de/AWA\\_Publicationen/GBL\\_2019\\_Planktonbericht.pdf](https://www.bve.be.ch/bve/de/index/direktion/organisation/awa/downloads_publicationen/weitere_berichte.assetref/dam/documents/BVE/AWA/de/AWA_Publicationen/GBL_2019_Planktonbericht.pdf)

[https://www.vd.ch/fileadmin/user\\_upload/themes/environnement/eau/fichiers\\_pdf/DIREV\\_PRE/De\\_Source\\_S%C3%BBre\\_Lacs.pdf](https://www.vd.ch/fileadmin/user_upload/themes/environnement/eau/fichiers_pdf/DIREV_PRE/De_Source_S%C3%BBre_Lacs.pdf)

[https://www.die3seen.ch/site/wp-content/files//2018/07/Neuchatel\\_Rapport\\_RIVELAC-2013-14.pdf](https://www.die3seen.ch/site/wp-content/files//2018/07/Neuchatel_Rapport_RIVELAC-2013-14.pdf)

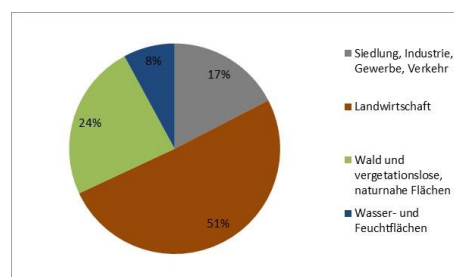


### 4.13 Pfäffikersee

#### Kenndaten

Höhenlage (m ü. M.)	537
Seeoberfläche (km <sup>2</sup> )	3.0
Maximale Tiefe (m)	35
Mittlere Tiefe (m)	19
Ökomorphologie der Ufer	79% natürlich / wenig beeinträchtigt 21% beeinträchtigt, künstlich

Einzugsgebiet (26 km<sup>2</sup>)



#### Nährstoff und Sauerstoffsituation

Die Phosphorkonzentrationen haben seit dem Maximum der Eutrophierung in den 1970er Jahren dank diverser Gewässerschutzmassnahmen von ca. 300 mg P/m<sup>3</sup> auf rund 20 mg P/m<sup>3</sup> abgenommen. Die Phosphorkonzentrationen liegen seit 2007 knapp unterhalb von 20 mg P/m<sup>3</sup> und werden nach kantonalen Bewertungsrichtlinien als gut beurteilt.

Der Sauerstoff im Tiefenwasser wird regelmässig gegen Ende der Stagnationsphase aufgezehrt. Die gesetzlichen Anforderungen bezüglich Sauerstoff werden nicht erfüllt. Jedoch haben sich die trophischen Verhältnisse soweit verbessert, dass der See seit 2011 nicht mehr künstlich belüftet wird. Die aufgrund der Klimaerwärmung verkürzten Zirkulationsphasen dürften sich jedoch langfristig negativ auf die Sauerstoffverhältnisse auswirken.

#### Plankton

Die Algenbiomasse im Pfäffikersee hat seit der Eutrophierung abgenommen. Seit 2008 hat sich die Algenmenge auf tiefem Niveau stabilisiert. Insbesondere traten seit 1997 keine herbstlichen Massentwicklungen mehr auf. Die mittleren Chlorophyllkonzentrationen schwanken seit 2008 im Bereich von 3 – 6 µg/l und werden nach kantonalen Bewertungsrichtlinien als gut beurteilt. Auch die Algenzusammensetzung änderte sich von nährstoffliebenden Arten hin zu Arten, die schwach nährstoffhaltige Gewässer bevorzugen.

#### Makrozoobenthos

Mittels Makrozoobenthosuntersuchungen im Uferbereich des Pfäffikersees im Jahr 2008 konnten 71 Taxa nachgewiesen werden.

Bisher sind 8 Neozoenarten (*Crangonyx pseudogracilis*, *Dugesia tigrina*, *Branchiura sowerbyi*, *Potamopyrgus antipodarum*, *Dreissena polymorpha*) nachgewiesen worden, davon eine invasive Art (*Dreissena polymorpha*). Erfreulicherweise wurde *Dikerogammarus villosus* im Pfäffikersee bisher (Stand 2018) nicht nachgewiesen und der See ist im Gegensatz zum benachbarten Zürichsee und Greifensee von Neozoeninvasion weitgehend verschont geblieben. Entsprechende Massnahmen zur Verhinderung der Einschleppung von Neozoen werden als Pilotprojekt am Pfäffikersee durchgeführt.

#### Fische

Es liegt keine standardisierte Erhebung der Fischgemeinschaften für den Pfäffikersee vor. Die Fischgemeinschaft im Pfäffikersee ist jedoch durch die immer noch ungenügenden Sauerstoffverhältnisse im Tiefenwasser beeinträchtigt.

### **Fazit**

Während sich die Planktongemeinschaft des Pfäffikersees langfristig hin zu einer naturnahen Zusammensetzung entwickelt, wird die Fischgemeinschaft immer noch durch ungenügende Sauerstoffverhältnisse im See beeinträchtigt. In Anbetracht der zunehmenden Bevölkerung im Einzugsgebiet, der Klimaerwärmung und den seit 15 Jahren stagnierenden Phosphorkonzentrationen dürfte das Halten des erreichten Zustands als Erfolg gewertet werden.

### **Quellen**

AWEL 2018: Wasser und Gewässer 2018, Gesamtbericht. Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, 180 S.

Steinmann P., 2008: Makrozoobenthos und aquatische Neozoen im Greifensee und Pfäffikersee 2008. Im Auftrag des AWEL, 28 S.

AQUAPLUS 2019: Ökomorphologie Seeufer Kanton Zürich. Bearbeitungsbericht. Im Auftrag des AWEL. 27 S.

### **Internet**

<https://maps.zh.ch/>

<https://maps.zh.ch/?topic=AwelNeozoenZH&scale=320000&x=692000&y=252000&offlayers=bezirkslabels%2Caquatische-neozoen-labels>

<https://www.zh.ch/de/umwelt-tiere/wasser-gewaesser/gewaesserschutz/gewaesserqualitaet.html#875150450>

[https://www.hw.zh.ch/chemie/see/03\\_Be.pdf](https://www.hw.zh.ch/chemie/see/03_Be.pdf)

[https://www.hw.zh.ch/chemie/see/03\\_Ph.pdf](https://www.hw.zh.ch/chemie/see/03_Ph.pdf)

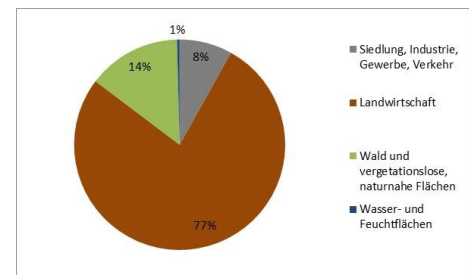
[https://www.hw.zh.ch/chemie/see/03\\_En.pdf](https://www.hw.zh.ch/chemie/see/03_En.pdf)

## 4.14 Sempachersee

### Kenndaten

Höhenlage (m ü. M.)	504
Seeoberfläche (km <sup>2</sup> )	14.4
Maximale Tiefe (m)	87
Mittlere Tiefe (m)	44
Verbauung der Ufer	73% natürlich / naturnah 27% beeinträchtigt/ verbaut

Einzugsgebiet (61 km<sup>2</sup>)



### Nährstoff und Sauerstoffsituation

Seit den 1970er Jahren haben die Phosphorkonzentrationen aufgrund diverser see-externer und see-interner Gewässerschutzmassnahmen von 165 mg P/m<sup>3</sup> auf rund 25 - 30 mg P/m<sup>3</sup> abgenommen. Seit 2003 liegen sie knapp unterhalb des ehemaligen kantonalen Zielwertes von 30 mg P/m<sup>3</sup>. Nach neuesten Erkenntnissen kann die gesetzlich geforderte Algenproduktion im Sempachersee erst unterhalb von 15 mg P/m<sup>3</sup> erreicht werden. Der neue kantonale Zielwert für Phosphor wurde deshalb auf 15 mg P/m<sup>3</sup> festgesetzt. Die aktuellen Phosphorkonzentrationen im Sempachersee liegen noch oberhalb des neuen Zielwertes.

Der Sauerstoff im Tiefenwasser wird immer noch gegen Ende der Stagnation aufgezehrt. Die gesetzlichen Anforderungen bezüglich Sauerstoff werden im Sempachersee nicht eingehalten. Er wird seit 1984 künstlich belüftet.

### Plankton

Die Algenbiomasse im Sempachersee ist aufgrund der verbesserten Nährstoffsituation seit 2005 stark zurückgegangen und beträgt aktuell ca. 10-20 g/m<sup>2</sup>. Der Anteil der Cyanobakterien (v.a. Burgunderblualge, *Planktothrix rubescens*), welche Ende der 1990er Jahre das Plankton noch dominiert hatten, ist stark zurückgegangen. Der Sempachersee weist im Vergleich zu seinen Nachbarseen (Baldeggersee und Hallwilersee) den besten Zustand bezüglich Planktonbiomasse auf, was auch mit seiner grossen Tiefe erklärt werden kann. Mit dem Einsetzen der Zirkulation im Winter werden die *Planktothrix*-Fäden ausgedünnt und in dunkle Tiefenzonen verfrachtet, wo sie zugrunde gehen. Die dort freiwerdenden Nährstoffe sind nicht mehr direkt algenverfügbar.

### Makrozoobenthos

Das Makrozoobenthos ist seit dem Maximum der Eutrophierung dank verbesserter Nährstoffverhältnisse, der Seenbelüftung und Zirkulationshilfe und der dadurch verbesserten Sauerstoffverhältnisse wieder in grössere Tiefen vorgedrungen.

Im Sempachersee sind 6 Neozoenarten (*Potamopyrgus antipodarum*, *Haita acuta*, *Branchiura sowerbyi*, *Dugesia tigrina*, *Dreissena polymorpha*, *Corbicula fluminea*) nachgewiesen worden, davon sind zwei Arten invasiv (*Dreissena polymorpha*, *Corbicula fluminea*).

### Fische

Im Rahmen des Projekt Lac wurden 20 Fischarten im Sempachersee nachgewiesen. Davon sind 15 Arten standortgerecht. Fünf Arten (*Gymnocephalus cernuus*, *Lepomis gibbosus*, *Sander lucioperca*, *Silurus glanis*, *Pseudorasbora parva*) wurden als standortfremd eingestuft.

Die Fischartenzusammensetzung im Sempachersee entspricht nicht dem naturnahen Zustand und wurde als beeinträchtigt eingestuft. Grund dafür sind die ungenügenden Sauerstoffverhältnisse im Tiefenwasser des Sees und die Auswirkungen der Seespiegelabsenkung im 19. Jht., wodurch die Länge der Uferlinie deutlich reduziert worden ist und wertvolle Fischhabitate verloren gegangen sind. Die räumliche Verteilung der Fische und die relativen Häufigkeiten der einzelnen Arten im See sind aber naturnäher,

als dies aufgrund des trophischen Zustands und der limnologischen Defizite zu erwarten wäre. Wahrscheinlich ist dies auf die see-internen Belüftungsmassnahmen zurückzuführen.

### **Fazit**

Die Lebensgemeinschaften des Sempachersees sind beeinträchtigt, was auf die immer noch zu hohe Nährstoffbelastung aus dem landwirtschaftlich intensiv genutzten Einzugsgebiet und die dadurch beeinträchtigten Sauerstoffbedingungen im Tiefenwasser zurückzuführen ist. Die Belüftung des Sees trägt wesentlich zur Verbesserung der Lebensbedingungen für aquatische Organismen bei.

### **Quellen**

Gutachten Eawag 2007: Begutachtung der Luzerner Seen 2007 wegen erhöhtem Algenwachstum und Algenblüten. 23 S.

UWE, 2020: Jahresbericht Zustand der Mittellandseen 2019. 15 S.

Lubini-Ferlin V., Knispel S, 2015: Biodiversität Wirbellose Kleintiere, Sempachersee, Surentahl, Wyental, Seetal. Im Auftrag des UWE, 48 S.

Vonlanthen P., Kreienbühl T., Périat G., 2019: Standardisierte Befischung Sempachersee – Resultate der Erhebungen vom September 2018. Aquabios GmbH. Auftraggeber: Kanton Luzern, Dienststelle Landwirtschaft und Wald, Sursee.

### **Internet**

<https://uwe.lu.ch/themen/gewaesser/gewaesserzustand/gewaesserbiologie>

<https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wasser/fachinformationen/zustand-der-gewaesser/zustand-der-seen/wasserqualitaet-der-seen.html>

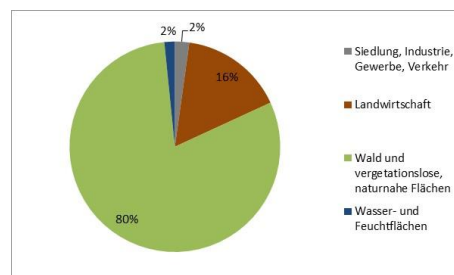
[https://uwe.lu.ch/themen/gewaesser/seen\\_und\\_fliessgewaesser/sempachersee](https://uwe.lu.ch/themen/gewaesser/seen_und_fliessgewaesser/sempachersee)

## 4.15 Thunersee

### Kenndaten

Höhenlage (m ü. M.)	558
Seeoberfläche (km <sup>2</sup> )	47.7
Maximale Tiefe (m)	217
Mittlere Tiefe (m)	135
Ökomorphologie der Ufer	17% natürlich / wenig beeinträchtigt 83% beeinträchtigt/ naturfremd/künstlich

Einzugsgebiet (2404 km<sup>2</sup>)



### Nährstoff und Sauerstoffsituation

Die Phosphorkonzentrationen liegen seit den 1990er Jahren in einem sehr tiefen Bereich von 2 – 8 mg P/m<sup>3</sup>, die Phosphatkonzentrationen liegen im Bereich der Nachweisgrenze.

Die Sauerstoffkonzentrationen im See erfüllen die gesetzlichen Anforderungen vollumfänglich.

### Plankton

Die Algenbiomasse im Thunersee hat parallel zum Rückgang der Phosphorkonzentrationen abgenommen und ist seit 2012 (seither wurde die Probenahmetiefe von 0 – 20m auf 0 – 40m vergrössert) auf tiefem Niveau stabil geblieben. Im Vergleich zum Brienzensee ist die Algenbiomasse im Thunersee etwas höher, was auf die höhere Primärproduktion aufgrund der höheren Wassertemperaturen und die niedrigere Trübung durch mineralische Schwebstoffe zurückzuführen ist. Der Phyto-See-Index im Thunersee zeigt seit 2010 einen sehr guten Zustand des Planktons an.

Die Crustaceenplanktonbiomasse hat im Thunersee abgenommen und seit 2013 traten keine Massentwicklungen einzelner Gruppen im Sommer auf.

### Makrozoobenthos

Makrozoobenthosuntersuchungen im Thunersee aus dem Jahr 2014 zeigen eine dichte und artenreiche Makrozoobenthosbesiedlung im Sublitoral jedoch eine dünne Besiedlung in grösseren Tiefen, was auf die geringe Nährstoffzufuhr und Dunkelheit zurückzuführen ist. Das Makrozoobenthos wurde anhand des Makrozoobenthosindex IQB-AL als gut bis sehr gut beurteilt.

Bisher wurde lediglich eine wirbellose invasive Neozoenart (*Dreissena polymorpha*) im Thunersee beobachtet.

### Fische

Im Rahmen des Proje Lac wurden im Thunersee 26 Fischarten nachgewiesen, davon zwei standortfremde Arten (*Scardinius hesperidicus*, *Coregonus sp.*). Die Fischzusammensetzung entspricht weitgehend der natürlichen Zusammensetzung und damit einem möglichen Referenzzustand für einen in den Voralpen gelegenen Felchensee. Zudem weist der Thunersee mit 8 endemischen Arten die höchste endemische Artenvielfalt aller im Rahmen des Proje Lac untersuchten Schweizer Seen auf.

### Fazit

Die Lebensgemeinschaften im Thunersee entsprechen weitgehend einem natürlichen Zustand. Ob dieser gute Zustand erhalten bleiben wird, ist aufgrund des zunehmenden Einflusses des Klimawandels (Erwärmung, Zunahme extremer Wetterereignisse) ungewiss.

## Quellen

Vonlanthen P., Périat G., Hellmann J., Alexander T.J., Seehausen O., 2015: Artenvielfalt und Zusammensetzung der Fischpopulation im Thunersee. Proje Lac, Eawag. Kastanienbaum.

Timothy A., Seehausen O. 2021: Diversity, distribution and community composition of fish in perialpine lakes. Proje Lac synthesis report (Entwurf).

## Internet

[https://www.bve.be.ch/bve/de/index/direktion/organisation/awa/downloads\\_publicationen/weitere\\_berichte.assetref/dam/documents/BVE/AWA/de/Messdatenseite/Weitere%20Berichte/GBL\\_2014\\_Makrozoobenthos\\_in\\_Berner\\_Seen\\_Praktikumsbericht.pdf](https://www.bve.be.ch/bve/de/index/direktion/organisation/awa/downloads_publicationen/weitere_berichte.assetref/dam/documents/BVE/AWA/de/Messdatenseite/Weitere%20Berichte/GBL_2014_Makrozoobenthos_in_Berner_Seen_Praktikumsbericht.pdf)

[https://www.bve.be.ch/bve/de/index/direktion/organisation/awa/downloads\\_publicationen/weitere\\_berichte.assetref/dam/documents/BVE/AWA/de/Messdatenseite/Weitere%20Berichte/GBL\\_2009\\_Entwicklung\\_des\\_Phyto-und\\_Crustaceenplanktons.pdf](https://www.bve.be.ch/bve/de/index/direktion/organisation/awa/downloads_publicationen/weitere_berichte.assetref/dam/documents/BVE/AWA/de/Messdatenseite/Weitere%20Berichte/GBL_2009_Entwicklung_des_Phyto-und_Crustaceenplanktons.pdf)

[https://www.bve.be.ch/bve/de/index/wasser/wasser/gewaesserqualitaet.assetref/dam/documents/BVE/AWA/de/AWA\\_Publikationen/AWA-Fakten\\_GewBericht\\_dt\\_www\\_2017.pdf](https://www.bve.be.ch/bve/de/index/wasser/wasser/gewaesserqualitaet.assetref/dam/documents/BVE/AWA/de/AWA_Publikationen/AWA-Fakten_GewBericht_dt_www_2017.pdf)

[https://www.bve.be.ch/bve/de/index/direktion/organisation/awa/downloads\\_publicationen/weitere\\_berichte.assetref/dam/documents/BVE/AWA/de/AWA\\_Publikationen/GBL\\_2019\\_Planktonbericht.pdf](https://www.bve.be.ch/bve/de/index/direktion/organisation/awa/downloads_publicationen/weitere_berichte.assetref/dam/documents/BVE/AWA/de/AWA_Publikationen/GBL_2019_Planktonbericht.pdf)

[https://www.bve.be.ch/bve/de/index/direktion/organisation/awa/downloads\\_publicationen/weitere\\_berichte.html](https://www.bve.be.ch/bve/de/index/direktion/organisation/awa/downloads_publicationen/weitere_berichte.html)

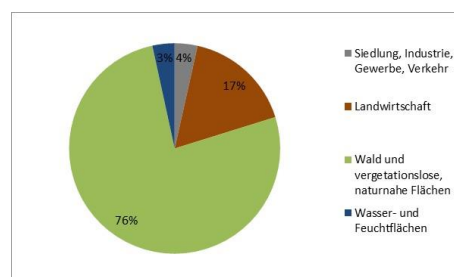
[https://www.bve.be.ch/bve/de/index/wasser/wasser/gewaesserqualitaet.assetref/dam/documents/BVE/AWA/de/AWA\\_Publikationen/awa-fakten\\_%C3%96komorphologie\\_der\\_Seeufer\\_im\\_Kanton\\_Bern\\_inklAnhang\\_2017.pdf](https://www.bve.be.ch/bve/de/index/wasser/wasser/gewaesserqualitaet.assetref/dam/documents/BVE/AWA/de/AWA_Publikationen/awa-fakten_%C3%96komorphologie_der_Seeufer_im_Kanton_Bern_inklAnhang_2017.pdf)

## 4.16 Vierwaldstättersee

### Kenndaten

Höhenlage (m ü. M.)	434
Seeoberfläche (km <sup>2</sup> )	114
Maximale Tiefe (m)	214
Mittlere Tiefe (m)	104
Ökomorphologie Seeufer	35% natürlich / naturnah 65% beeinträchtigt/ verbaut

Einzugsgebiet (1037 km<sup>2</sup>)



### Nährstoff und Sauerstoffsituation

Die Phosphorkonzentration hat seit dem Maximum der Eutrophierung in den 1970er Jahren dank diverser Gewässerschutzmassnahmen von knapp 30 mg P/m<sup>3</sup> auf rund 3 – 5 mg P/m<sup>3</sup> abgenommen. Seit Mitte der 1990er Jahre liegt sie in diesem Bereich. Damit entspricht sie heute den natürlichen, nährstoffarmen Verhältnissen eines Voralpensees.

Die Sauerstoffkonzentrationen im See erfüllen die gesetzlichen Anforderungen vollumfänglich.

### Plankton

Die Algenbiomasse im Vierwaldstättersee hat seit der Eutrophierung ebenfalls deutlich abgenommen. Die Dynamik der Planktonentwicklung hat sich abgeschwächt. Die Planktonzusammensetzung entspricht heute wieder derjenigen eines nährstoffarmen Voralpensees. Cyanobakterien, welche in Zeiten höherer Nährstoffkonzentrationen häufiger aufgetreten sind, sind sehr selten geworden.

Die Wechselwirkung zwischen Zoo- und Phytoplankton ist schwächer geworden. Die Planktongemeinschaft hat sich auf einem oligotrophen Niveau eingependelt.

### Makrozoobenthos

Das Makrozoobenthos im Vierwaldstättersee ist vielfältig. Bisher wurden zwei Neozoenarten im See nachgewiesen (*Dreissena polymorpha*, *Dugesia Tigrina*).

### Fische

Im Rahmen des Projekt Lac wurden im Vierwaldstättersee 21 Fischarten gefangen. Davon sind 18 Arten standortgerecht und drei Arten (*Gasterosteus aculeatus*, *Gymnocephalus cernuus*, *Sander lucioperca*) sind gebietsfremd.

Die Fischfauna im Vierwaldstättersee entspricht heute derjenigen eines oligotrophen Sees. Die Felchen sind im Vergleich mit anderen oligotrophen Seen, die nie eutrophiert waren, jedoch eher untervertreten. Weiter haben standortfremde Arten den See besiedelt. Die heutige Fischartenzusammensetzung weicht vom Referenzzustand ab.

### Fazit

Die Lebensgemeinschaften im Vierwaldstättersee entsprechen denjenigen eines nährstoffarmen Voralpensees und befinden sich in einem guten Zustand, den es zu bewahren gilt.

### **Quellen**

Hürlimann J., Wyss Silvia, 2013: Biologische Untersuchung der Mittelland-Reuss, Kleinen Emme und Unteren Lorze. Kurzbericht. Im Auftrag der Gewässerschutzstellen der Kantone Aargau, Luzern, Zug und Zürich.

Alexander T.J., Vonlanthen P., Périat G., Seehausen O., 2017: Artenvielfalt und Zusammensetzung der Fischgemeinschaft im Vierwaldstättersee. Projet Lac, Eawag. Kastanienbaum

### **Internet**

[http://www.4waldstaettersee.ch/Projekte\\_Plankton.php](http://www.4waldstaettersee.ch/Projekte_Plankton.php)

<http://www.4waldstaettersee.ch/pdf/vw-bericht-50-jahre-final-web.pdf>

[https://www.geo.lu.ch/doc/vierwaldstaettersee/04\\_WapflaVWS\\_Anhang\\_Meth&Daten\\_2013\\_02\\_13\\_Pr.pdf](https://www.geo.lu.ch/doc/vierwaldstaettersee/04_WapflaVWS_Anhang_Meth&Daten_2013_02_13_Pr.pdf)

[http://www.4waldstaettersee.ch/pdf/akv\\_bericht\\_seeuferbewertung\\_vws\\_2008\\_2010.pdf](http://www.4waldstaettersee.ch/pdf/akv_bericht_seeuferbewertung_vws_2008_2010.pdf)

[http://www.4waldstaettersee.ch/pdf/akv\\_faktenblatt\\_seeuferbewertung\\_2010.pdf](http://www.4waldstaettersee.ch/pdf/akv_faktenblatt_seeuferbewertung_2010.pdf)

[https://www.sz.ch/public/upload/assets/34457/160701\\_Wasserqualitaet\\_Vierwaldstaettersee.pdf](https://www.sz.ch/public/upload/assets/34457/160701_Wasserqualitaet_Vierwaldstaettersee.pdf)

[http://www.4waldstaettersee.ch/pdf/infomagazine/akv\\_magazin\\_2019\\_lay.pdf](http://www.4waldstaettersee.ch/pdf/infomagazine/akv_magazin_2019_lay.pdf)

[http://www.4waldstaettersee.ch/Pflanzen-und-Tiere\\_Kleintiere.php](http://www.4waldstaettersee.ch/Pflanzen-und-Tiere_Kleintiere.php)

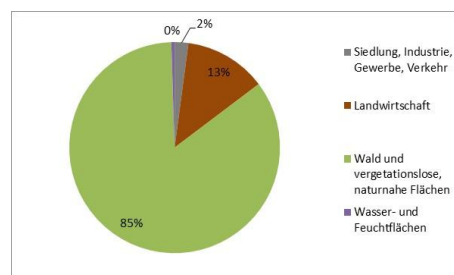


## 4.17 Walensee

### Kenndaten

Höhenlage (m ü. M.)	419
Seeoberfläche (km <sup>2</sup> )	24.1
Maximale Tiefe (m)	145
Mittlere Tiefe (m)	105
Verbauung der Ufer	74% natürlich / naturnah 26% beeinträchtigt/ verbaut

Einzugsgebiet (1037 km<sup>2</sup>)



### Nährstoff und Sauerstoffsituation

Die Phosphorkonzentrationen haben seit dem Maximum der Eutrophierung in den 1970er Jahren dank diverser Gewässerschutzmassnahmen von knapp 30 mg P/m<sup>3</sup> auf rund 3-4 mg P/m<sup>3</sup> abgenommen. Die Phosphorkonzentrationen liegen seit den 2000er Jahren unterhalb von 5 mg P/m<sup>3</sup>.

Die Sauerstoffkonzentrationen im See erfüllen die gesetzlichen Anforderungen vollumfänglich.

### Plankton

Die Algenbiomasse im Walensee hat seit der Eutrophierung ebenfalls deutlich abgenommen. Seit anfangs der 1990er Jahre ist kein Trend mehr ersichtlich. Die Algenmenge und –zusammensetzung im Walensee wird nach kantonalen Kriterien als gut beurteilt.

### Makrozoobenthos

Mittels Makrozoobenthosuntersuchungen im Uferbereich des Walensees im Jahr 2006 konnten 45 Taxa nachgewiesen werden. Mit Ausnahme der Wandermuschel (*Dreissena polymorpha*), welche vermutlich schon seit mehr als 20 Jahren im Walensee vorkommt, wurden keine invasiven Neozoen festgestellt.

### Fische

Im Rahmen des Projekt Lac wurden im Walensee 15 Fischarten gefangen, wobei keine eingeführten Arten festgestellt wurden.

Die Fischartenzusammensetzung im Walensee zeigt ein von einem nährstoffarmen, kühlen, mineralisch bedingt eher trüben, grossen und tiefen Voralpsees zu erwartendes Artenspektrum, was auf die gut erhaltene Ufermorphologie und den oligotrophen Zustand zurückzuführen ist. Vermutlich weicht das Artenspektrum jedoch vom natürlichen Referenzzustand ab, da der Bau des Linthkanals die Limnologie des Walensees stark verändert hat.

### Fazit

Die Lebensgemeinschaften im Walensee befinden sich in einem guten Zustand, den es zu bewahren gilt.

### Quellen

Schildknecht A., Köster O., Koss M., Rorster R., Leemann M., 2013: Gewässerzustand von Zürichsee, Zürichersee und Walensee. Wasserversorgung Zürich, 97 S.

Steinmann P. 2006: Abklärung von *Dikerogammarus villosus* – Vorkommen im Walensee und Aufnahme des Makrozoobenthos am Ufer. Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, Abt. Gewässerschutz; Jagd- und Fischereiverwaltung St. Gallen, 12 S.

Vonlanthen P., Périat G., 2014: Artenvielfalt und Zusammensetzung der Fischpopulation im Walensee. Projekt Lac, Eawag. Kastanienbaum

**Internet**

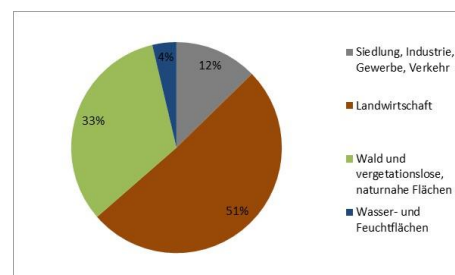
[https://www.sg.ch/umwelt-natur/wasser/seen---wei-her/gewaesserqualitaet/walensee/\\_jcr\\_content/Par/sgch\\_downloadlist/DownloadListPar/sgch\\_download.ocFile/GeUe\\_Seen2019\\_Walensee\\_KIM.pdf](https://www.sg.ch/umwelt-natur/wasser/seen---wei-her/gewaesserqualitaet/walensee/_jcr_content/Par/sgch_downloadlist/DownloadListPar/sgch_download.ocFile/GeUe_Seen2019_Walensee_KIM.pdf)

## 4.18 Zugersee

### Kenndaten

Höhenlage (m ü. M.)	414
Seeoberfläche (km <sup>2</sup> )	38.4
Maximale Tiefe (m)	198
Mittlere Tiefe (m)	83
Verbauung der Ufer	32% natürlich / naturnah 68% beeinträchtigt/ verbaut

Einzugsgebiet (212 km<sup>2</sup>)



### Nährstoff und Sauerstoffsituation

Die Phosphorkonzentrationen haben seit dem Maximum der Eutrophierung in den 1970er Jahren dank diverser Gewässerschutzmassnahmen von über 200 mg P/m<sup>3</sup> auf rund 80 mgP/m<sup>3</sup> abgenommen und schwanken seit 2013 in diesem Bereich. Der Zugersee weist im Vergleich zu allen anderen grossen Schweizer Seen die höchsten Phosphorkonzentrationen auf, welche aufgrund der hohen Wasseraufenthaltszeiten nur sehr langsam abnehmen. Insbesondere im Tiefenwasser sind die Phosphorkonzentrationen aufgrund der unvollständigen Durchmischung immer noch sehr hoch.

Die gesetzlichen Anforderungen bezüglich Sauerstoff sind im Zugersee aufgrund der hohen Sauerstoffzehrung im Tiefenwasser und der ungenügenden winterlichen Durchmischung nicht erfüllt.

### Plankton

Kein Planktonmonitoring.

### Makrozoobenthos

Bisher sind 8 Neozoenarten (*Corbicula fluminea*, *Dikerogammarus villosus*, *Dugesia tigrina*, *Branchiura sowerbyi*, *Barbronia weberi*, *Potamopyrgus antipodarum*, *Dreissena polymorpha*, *Quistadrilus multi-tisetosus*) nachgewiesen worden, davon drei invasive Art (*Corbicula fluminea*, *Dikerogammarus villosus*, *Dreissena polymorpha*).

### Fische

Im Rahmen des Projekt Lac wurden im Zugersee 18 Fischarten gefangen. Davon sind 16 Arten heimisch und zwei Arten (*Gymnocephalus cernuus*, *Lepomis gibbosus*) standortfremd.

Die Fischartenzusammensetzung im Zugersee weicht stark vom Referenzzustand eines typischen Vor-alpenrandsees ab. Der Hauptgrund dafür sind die Folgen der starken Eutrophierung bzw. die ungenügenden Sauerstoffverhältnisse im Tiefenwasser. Mindestens 2 Arten, die früher im Zugersee häufig vorgekommen sind, sind ausgestorben (Nase und Zuger Albeli). Zudem wirken sich die wenig strukturierten Litoralhabitate und die stark verbauten Ufer negativ auf die Fischfauna aus. Eine Naturverlächung von Felchen und Seesaibling ist nicht möglich.

### Fazit

Die Lebensgemeinschaften des Zugersees sind beeinträchtigt, was hauptsächlich auf die immer noch anhaltenden Folgen der Eutrophierung im letzten Jahrhundert zurückzuführen ist. Die Rückführung des Zugersees in den mesotrophen Zustand dauert sehr lange. Die als Folge des Klimawandels abnehmenden winterlichen Durchmischungstiefen dürften diesen Prozess zusätzlich verlangsamen.

### **Quellen**

Hürlimann J., Wyss Silvia, 2013: Biologische Untersuchung der Mittelland-Reuss, Kleinen Emme und Unteren Lorze. Kurzbericht. Im Auftrag der Gewässerschutzstellen der Kantone Aargau, Luzern, Zug und Zürich.

AfU Zug, 2013: Chemisch-physikalische Wasserqualität des Zugersees, Ägerisees und Wilersees seit Beginn der regelmässigen Messung von Tiefenprofilen bis Ende 2013.

Vonlanthen P., Périat G., 2015: Artenvielfalt und Zusammensetzung der Fischpopulation im Zugersee. Projet Lac, Eawag. Kastanienbaum.

Eawag 2016: Abnahme des Phosphorgehalts im Zugersee Stand 2016, Gutachten, S. 26, Kastanienbaum.

### **Internet**

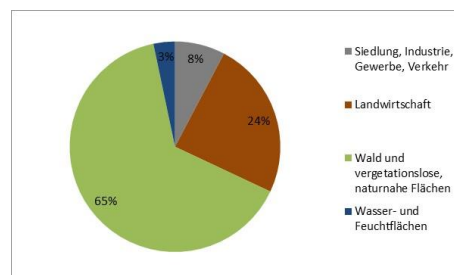
<https://www.zg.ch/behoerden/baudirektion/amt-fuer-umwelt/wasser-gewaesser/oberflaechengewaesser/zugersee?searchterm=zustand+zugersee>

## 4.19 Zürichsee

### Kenndaten

Höhenlage (m ü. M.)	406 m.ü.M.
Seeoberfläche (km <sup>2</sup> )	65.1
Maximale Tiefe (m)	136
Mittlere Tiefe (m)	52
Ökomorphologie der Ufer	18% natürlich / naturnah 82% beeinträchtigt/ verbaut

Einzugsgebiet (1757 km<sup>2</sup>)



### Nährstoff und Sauerstoffsituation

Die Phosphorkonzentrationen haben seit dem Maximum der Eutrophierung in den 1970er Jahren dank diverser Gewässerschutzmassnahmen von über 100 mg P/m<sup>3</sup> auf rund 25 mg P/m<sup>3</sup> abgenommen und liegen seit 1995 in diesem Bereich. Seit 2009 hat der See klimabedingt nie mehr vollständig zirkuliert, weshalb das Wasser in den untersten Schichten durchgehend anoxisch geblieben ist. Dies führte zu einer verstärkten Rücklösung von Phosphor aus den Sedimenten, was wiederum eine leichte Zunahme der Phosphorkonzentrationen im See bewirkt hat.

Die gesetzlichen Anforderungen bezüglich Sauerstoff werden im Tiefenwasser des Zürichsees nicht eingehalten.

### Plankton

Die Algenbiomasse im Zürichsee ist trotz der verbesserten Nährstoffsituation immer noch zu hoch. Seit 1985 haben die jährlichen Höchstwerte der Algenbiomasse zwar abgenommen und Algenblüten sind seltener aufgetreten. Mit den abnehmenden Phosphorkonzentrationen zwischen 1970 bis 1996 ist der Anteil der nährstoffliebenden Grünalgen stark gesunken. Gleichzeitig haben die Anteile der Kieselalgen und der Burgunderblutalge zugenommen. Die Algenzusammensetzung wurde in den letzten Jahrzehnten immer stärker durch die Burgunderblutalge (*Planktothrix rubescens*) dominiert. Diese schichtet sich in 10 – 15 m Tiefe ein, wo nun aufgrund der geringeren Algendichte in höheren Wasserschichten genügend Licht vorhanden ist, damit sie sich vermehren kann. Zudem profitiert diese Blaualge von den klimabedingten Veränderungen der chemisch-physikalischen Strukturen des Sees. Die Algenmenge über die gesamte Wassersäule wird nach kantonalen Richtlinien seit 1996 als unbefriedigend bis schlecht beurteilt.

### Makrozoobenthos

Mittels Makrozoobenthosuntersuchungen im Uferbereich des Zürichsees in den Jahren 2006/2007 konnten 65 Taxa nachgewiesen werden.

Bisher sind 11 Neozoenarten (*Corbicula fluminea*, *Dikerogammarus villosus*, *Dugesia tigrina*, *Dendrocoelum lacteum*, *Branchiura sowerbyi*, *Jaera istri*, *Limnomysis benedeni*, *Physella acuta*, *Potamopyrgus antipodarum*, *Dreissena polymorpha*, *Viviparus ater*) nachgewiesen worden, davon sind vier Arten invasiv (*Corbicula fluminea*, *Dikerogammarus villosus*, *Dreissena polymorpha*, *Limnomysis benedeni*). V.a. in den letzten Jahren wurden immer wieder „Neuzugänge“ von Neozoen verzeichnet.

### Fische

Im Rahmen des Proje Lac wurden im Obersee 18 Fischarten gefangen. Davon sind 17 Arten heimisch und eine Art (*Gymnocephalus cernuus*) ist standortfremd. Im Untersee wurden 20 Fischarten nachgewiesen, wovon 16 heimisch und 4 (*Gymnocephalus cernuus*, *Lepomis gibbosus*, *Cyprinus caprio*, *Scardinius hesperidicus*) standortfremd sind.

Die Fischartenzusammensetzung im Obersee ist aufgrund der grösseren litoralen Habitatvielfalt naturnäher als im Untersee. Im Untersee ist das Litoral stark verbaut und zudem sind die Sauerstoffverhältnisse ungenügend, was die Fischfauna beeinträchtigt.

Der Anteil der gebietsfremden Arten, welche im Zürichsee beobachtet wurden, hält sich in Grenzen. Es konnte keine Invasion einzelner Arten festgestellt werden.

### **Fazit**

Die Lebensgemeinschaften des Zürichsees sind beeinträchtigt, was einerseits auf die ungenügenden Sauerstoffverhältnisse infolge der Eutrophierung im letzten Jahrhundert zurückzuführen ist. Andererseits wirken sich die klimabedingten veränderten Zirkulationsverhältnisse zusätzlich negativ auf die Sauerstoffverhältnisse und damit auch auf die Lebensgemeinschaften aus. Dieser Effekt dürfte sich in Zukunft noch verschärfen.

### **Quellen**

AWEL 2018: Wasser und Gewässer 2018, Gesamtbericht. Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, 180 S.

Alexander T.J., Vonlanthen P., Périat G., Selz O.M., Feulner, PGD., Seehausen O., 2017: Artenvielfalt und Zusammensetzung der Fischgemeinschaft im Zürichsee. Projet Lac, Eawag, Kastanienbaum.

Steinmann P., 2006: Dikerogammarus villosus im Zürichsee und in der Limmat. Im Auftrag des AWEL, 22 S.

Steinmann P., 2008: Dikerogammarus villosus im Zürichsee und in der Limmat: Bestandesmonitoring 2007. Im Auftrag des AWEL, 28 S.

AQUAPLUS 2019: Ökomorphologie Seeufer Kanton Zürich. Bearbeitungsbericht. Im Auftrag des AWEL. 27 S.

Sigmaplan AG 2019: Ökomorphologie Seeufer. Kantone GL, SG, SZ. Im Auftrag des Amtes für Wasser und Energie SG, Amtes für Umweltschutz SZ und der Abteilung Umweltschutz und Energie GL. 17 S.

Knapp D., Posch Th. 2021: Burgunderblutalge im Zürichsee. Populationsdynamik und Einfluss des Klimawandels. Aqua & Gas (4), S. 14 – 21.

### **Internet**

<https://maps.zh.ch/>

[https://www.hw.zh.ch/chemie/see/01\\_Ph.pdf](https://www.hw.zh.ch/chemie/see/01_Ph.pdf)

[https://www.hw.zh.ch/chemie/see/01\\_Be.pdf](https://www.hw.zh.ch/chemie/see/01_Be.pdf)

<https://maps.zh.ch/?topic=AwelNeozoenZH&scale=320000&x=692000&y=252000&offlayers=bezirkslabels%2Caquatische-neozoen-labels>

<https://www.zh.ch/de/umwelt-tiere/wasser-gewaesser/gewaesserschutz/gewaesserqualitaet.html#875150450>