



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

Bundesamt für Umwelt BAFU

Abteilung Wasser
Tel.: +41 58 46 269 69
Fax: +41 58 46 303 71
wasser@bafu.admin.ch
<http://www.bafu.admin.ch>

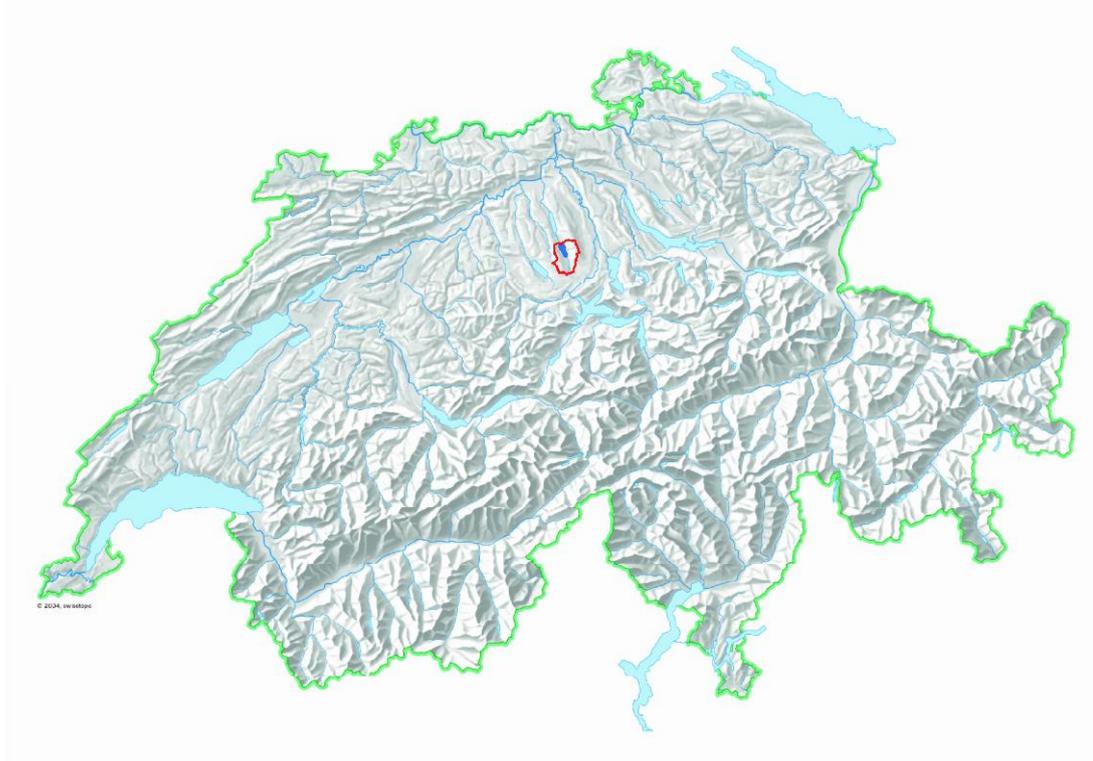
Faktenblatt

Datum

1. Juli 2016

Der Baldeggersee

Zustand bezüglich Wasserqualität



Lage des Baldeggersees (blau) und seines Einzugsgebiets (rot)

1 Entstehung, Morphologie und Kenndaten

Der Baldeggersee liegt im Seetal der Kantone Luzern und Aargau. Er verdankt seine Gestalt einer tektonisch bedingten Bruchform des felsigen Untergrundes (Sandsteine und Mergel der oberen Süsswassermolasse) und der Erosion des Reussgletschers, der sich nach der letzten Eiszeit vor rund 15'000 Jahren zurückzog. Der Gletscher hinterliess einen Stirnmoränenkranz bei Ermensee. Östlich und westlich ist der Baldeggersee von zwei Seitenmoränen, die bis auf 850 m.ü.M. reichenden Hügelzüge Lindenberg und Erlösen, umgeben. Dies bewirkt eine windgeschützte Lage, die im Winter eine Vollzirkulation des Sees verhindern kann.

Das hydrographische Einzugsgebiet des Baldeggersees umfasst 68 km² und wird hauptsächlich landwirtschaftlich intensiv genutzt (Abbildung 1). Mit 0.6 GVE/ha (2.2 GVE/ha landwirtschaftliche Nutzfläche) weist der Baldeggersee den zweithöchsten Viehbestand aller Schweizer Seen auf.

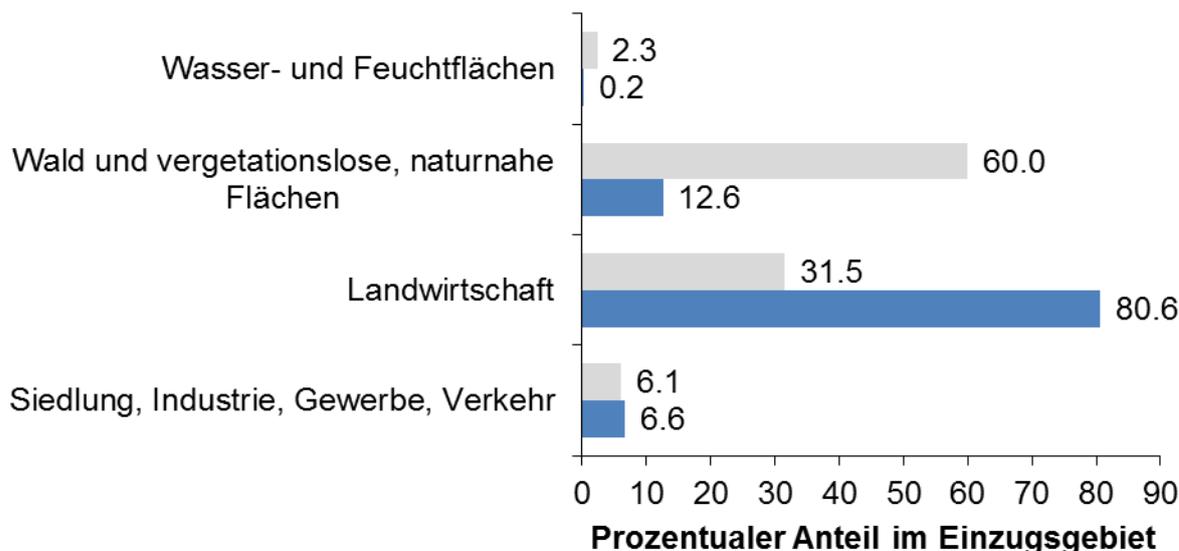


Abbildung 1: Bodennutzung im Einzugsgebiet des Baldeggersees (blaue Balken) und Bodennutzung als Mittelwert der grössten Schweizer See-Einzugsgebiete (graue Balken) (Stand 2006, Datengrundlagen: EEA (2010), BAFU (2013)).

Eine Tabelle mit detaillierten Angaben zur Seemorphologie und zu den Einzugsgebietsparametern befindet sich im Anhang.

2 Die Entwicklung des Seezustandes

2.1 Phosphorgehalt und -frachten

Mittels Sedimentanalysen und anhand der Kieselalgenzusammensetzung in den einzelnen Sedimentschichten konnten die P-Konzentrationen bis vor 1885 rekonstruiert werden (Lotter & Birks 1997, Lotter 1998). Vor 1885 lagen die P-Konzentrationen unterhalb von 30 µg/l. 1870 wurde ein gehäuftes Auftreten der Burgunderblutalge dokumentiert, was als erstes Anzeichen der Eutrophierung gedeutet wurde (Bachmann 1897). Zwischen 1885 – 1905 konnten P-Konzentrationen von ca. 30 µg/l rekonstruiert werden. Ab 1905 – 1910 stieg die P-Konzentration im See infolge der Industrialisierung von Hochdorf und dem damit verbundenen Abwassereintrag rasant auf 100 µg/l an und der Baldeggersee wurde zu einem eutrophen See (Tabelle 1, Abbildung 2; Stadelmann et al. 2002).

Seit den ersten Messungen im Jahre 1950 bis 1974 nahmen die P-Konzentrationen im See aufgrund der starken Belastung durch Abwassereinleitungen und P-Einträgen aus der Landwirtschaft von 80 µg/l auf 520 µg/l weiter zu und der Baldeggersee erreichte einen polytrophen Zustand (Abbildung 2). Die Folgen waren hohe Algendichten, das Aufkommen von toxischen Blaualgen, Fischsterben und völliger Sauerstoffschwund im Tiefenwasser mit Bildung von Fäulnisprodukten. Die Algenproduktion erreichte Höchstwerte von 420 gC/m² a - mehr als doppelt so viel wie in nährstoffarmen Seen (Stadelmann et al. 2002). Die Trübung nahm zu und die Sichttiefen nahmen auf 0.8 m ab. Die

Burgunderblutalge verschwand um 1965 und dominierte erst ab 1985 wieder die Phytoplankton-Zusammensetzung (Züllig 1982).

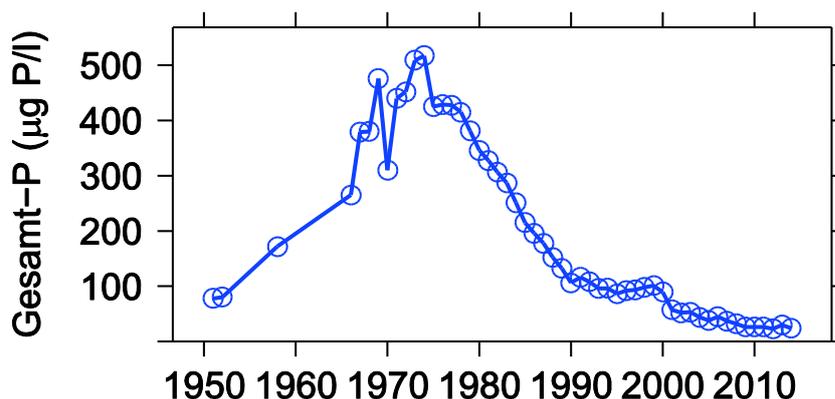


Abbildung 2: Jahresmittelwerte der Phosphorkonzentrationen im Baldeggersee.

Seit 1974 nahmen die P-Konzentrationen im See dank der kombinierten Wirkung des Ausbaus der Abwassersanierung mit Simultanfällung und Flockungsfiltration und Phosphatverbot in Waschmitteln stetig ab und erreichten bereits 1990 Werte von rund 100 µg/l (Tabelle 1, Abbildung 2). Während die Abwassersanierungsmassnahmen und das Phosphatverbot in Waschmitteln die P-Einträge reduzierten, bewirkte die Zirkulationshilfe einen erhöhten P-Austrag. Dank der Zirkulationshilfe erfolgte die Durchmischung des Sees bereits im November und Dezember, was dazu führte, dass der im Hypolimnion angereicherte Phosphor in die obersten Wasserschichten transportiert wurde und sich die P-Konzentrationen im Epilimnion und damit auch im Abfluss erhöhten. Dies reduzierte den P-Vorrat und trug auch einen Teil zur Abnahme der P-Konzentrationen im See bei (Stadelmann et al. 2002).

Die Reduktion der P-Einträge durch Abwassersanierungsmassnahmen wurde durch die Intensivierung der Landwirtschaft und den damit verbundenen erhöhten Nährstoffeinträgen aus landwirtschaftlich genutzten Flächen jedoch teilweise kompensiert. Deshalb hat die algenverfügbare P-Belastung seit 1985/87 nicht im erhofften Ausmass abgenommen (Liechti 1994). Erst Massnahmen in der Landwirtschaft und der erhöhte Export von Hofdünger aus dem Einzugsgebiet des Sees in andere weniger belastete Regionen bewirkten eine weitere Abnahme der P-Konzentrationen im See (Tabelle 1, uwe 2014b). Seit 2009 liegen die P-Konzentrationen unterhalb von 30 µg/l. Dies sollte für die aktuelle P-Belastung aus dem Einzugsgebiet in der Höhe von rund 4.5 t/a algenverfügbarem Phosphor dem Gleichgewicht entsprechen, d.h. dass sich bei gleichbleibender Belastung die P-Konzentration konstant bleiben sollte (Müller et al. 2012).

Die Phosphorflüsse im Einzugsgebiet des Sees sind jedoch nach wie vor zu hoch. Zur Sanierung des Sees, insbesondere eine ausreichende Versorgung des Tiefenwassers mit Sauerstoff, müssten der P-Eintrag in den See auf höchstens 2.2 t/a gesenkt werden (Müller et al. 2012). Zur Erreichung dieses Reduktionsziels müssen vor allem die Einträge aus der Landwirtschaft verringert werden, da diese 60% bis 80% des Gesamteintrags des algenverfügbaren Phosphors ausmachen.

2.2 Sauerstoffgehalt

Untersuchungen an 55 Sedimentkernen zeigten, dass sauerstofffreie Bedingungen im See im Jahr 1885 in einer Tiefe von 65 m, 1945 in einer Tiefe von 45 m und 1970 in einer Tiefe von 10 m auftraten (Niessen & Sturm 1987). Ursprünglich (vor 1885) war demnach praktisch das gesamte Tiefenwasser mit Sauerstoff versorgt.

Die aus den Sedimentuntersuchungen abgeleiteten Sauerstoffverhältnisse im Tiefenwasser des Baldeggersees wurden durch Sauerstoff- und Schwefelwasserstoffmessungen bestätigt: Seit 1921 wurde jeweils im Herbst am Ende der Stagnation unterhalb einer Tiefe von 50 m kein Sauerstoff mehr nachgewiesen (Adam & Birrer 1943) und über Grund wurden bis zu 2 mg/l Schwefelwasserstoff gemessen. Im September 1974 war der Sauerstoff ab 15 m Tiefe verschwunden und die Schwefelwasserstoffkonzentrationen über Grund lagen bei 6 mg/l.

Seit der Inbetriebnahme der künstlichen Belüftung und Zirkulationshilfe im Jahr 1983 haben sich die Sauerstoffverhältnisse wesentlich verbessert (Abbildung 3). Der Sauerstoffeintrag von 4.5 t/d ins Tiefenwasser brachte 1983 erstmals ganzjährig aerobe Verhältnisse im See. Im Herbst 1984 wurde auch in grösseren Tiefen erstmals - seit Messungen vorliegen - genügend Sauerstoff festgestellt. Schwefelwasserstoff und Methan waren nicht mehr nachzuweisen, Ammonium und Mangan nur noch in geringen Mengen. Würmer und Insektenlarven drangen in grössere Tiefen vor und wahrscheinlich wurden auch Dauerzellen von Algen und Cysten von tierischem Plankton im Sediment wieder zum Leben erweckt (Stadelmann et al. 2002). Zudem konnte dank verbesserter Sauerstoffverhältnisse wieder ein Felchenbestand aufgebaut werden (Muggli 2000) – die Naturverlaichung ist aber weiterhin nicht möglich.

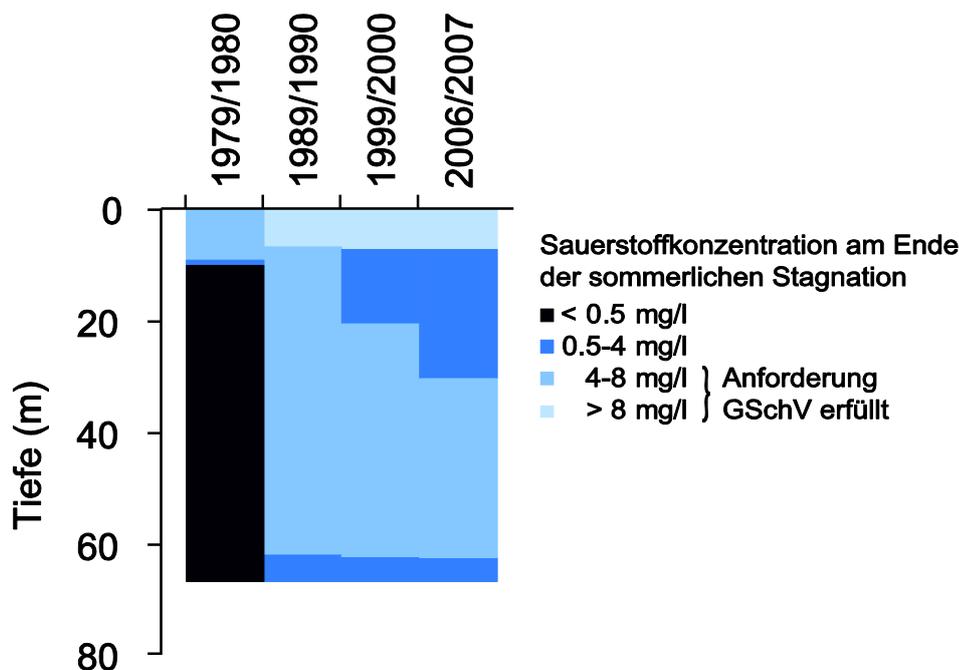


Abbildung 3 Sauerstoffkonzentrationen im Baldeggersee

Trotz der Belüftungsanlage sinken die Sauerstoffkonzentrationen dennoch regelmässig am Ende der Stagnationsperiode unter den Zielwert von 4 mg/l (uwe 2014b). Die Sauerstoffzehrung im Sommer bleibt trotz sinkender P-Konzentration hoch. Damit stellt sich die Frage, wann die Primärproduktion und damit die Sedimentation von organischem Material als Folge der sinkenden P-Konzentration soweit abnehmen, dass die während der Zirkulationsphase vom See aufgenommene Sauerstoffmenge für dessen aeroben Abbau ausreicht und zusätzlich die aus dem Sediment heraus diffundierenden reduzierten Substanzen oxidiert werden können. Die Frage, wie lange die Seen noch belüftet werden müssen, hängt daher einerseits von der künftigen Entwicklung der Primärproduktion und andererseits vom Abbau des sauerstoffzehrenden Einflusses der Sedimente ab. Wegen der langdauernden Phase der hocheutrophen Bedingungen nach Mitte des letzten Jahrhunderts sind letztere aber sehr bedeutend und werden noch über mehrere Jahrzehnte zur Sauerstoffzehrung beitragen. Beim Baldeggersee beträgt der Anteil des Sediments an der Sauerstoffzehrung aktuell etwa 40% (Müller et al. 2012).

Tabelle 1: Die Geschichte des Baldeggersees im Überblick (Liechti 1994, Stadelmann et al. 2002, GVBH 2000).

Chronik	
1806	Erste Seespiegelabsenkung um etwa 35 cm
1870	Zweite Seespiegelabsenkung um 115 cm und gehäuftes Auftreten der Burgunderblutalge
Ab 1905	Industrialisierung von Hochdorf und Einleitung von ungereinigten Abwässern aus Industrie und Siedlungen
1940	Zusammenbruch des Felchenbestandes
1942	Verkauf des Sees an Pro Natura (früher Schweizerischer Bund für Naturschutz)
1956	Grosses Fischsterben
Ab 1960	Starke Zunahme der Besiedelung ¹
1961	Grosses Fischsterben
1963	Grosses Fischsterben
Ab 1965	Intensivierung der Landwirtschaft und Erhöhung der Schweinebestände mit Folgen einer Überdüngung der Böden und einem erhöhten Eintrag von Nährstoffen in die Gewässer
Ab 1967	Beginn der Abwassersanierung mit Inbetriebnahme ARA Hochdorf
1978	Grosses Fischsterben
1980	Inbetriebnahme der ARA Moosmatten, womit die Abwassersanierung im Einzugsgebiet des Baldeggersees abgeschlossen war. Seither werden die Abwässer der nördlichen Gemeinden vom Baldeggersee ferngehalten.
1980	Einbau einer Flockungfiltrationsstufe in der ARA Hochdorf
1983	Inbetriebnahme der künstlichen Belüftung ²
2000	Sanierungsprojekt zur Verhinderung der Abschwemmung und Auswaschung von Stoffen aus landwirtschaftlich genutzten Flächen ³
In Zukunft geplant	Weitere Reduktion des P-Eintrags auf ein für den See langfristig zuträgliches Mass: Massnahmen in der Landwirtschaft, Zusammenschluss der ARA Moosmatten und ARA Hochdorf mit ARA Hallwilersee wird längerfristig geprüft

¹ Zwischen 1960 und 2006 nahm auch die Bevölkerung im Einzugsgebiet des Baldeggersees von 9'100 auf 16'700 Einwohner zu.

² Nach einer Testphase im Jahre 1982 wurde die Anlage (TANYTARSUS, Ingenieurbüros Jungo/ Schaffner) 1983 voll in Betrieb genommen. Durch Einblasen von Druckluft wird die Zirkulation im Winter bis Frühjahr und somit die Aufnahme von Luftsauerstoff und dessen Verteilung im See verbessert. Im Sommer wird feinblasig reiner Sauerstoff in die untersten Wasserschichten eingetragen.

³ Artikel 62a des Gewässerschutzgesetzes sieht vor, dass der Bund Abgeltungen an Massnahmen der Landwirtschaft zur Verhinderung der Abschwemmung und Auswaschung von Stoffen leisten kann, wenn die Massnahmen zur Erfüllung der Anforderungen an die Wasserqualität der ober- und unterirdischen Gewässer erforderlich sind. Im Januar 2000 hat die Dienststelle Landwirtschaft und Wald (lawa) des Kantons Luzern ein Gesuch für die Sanierung des Einzugsgebietes des Baldeggersees eingereicht. Das Bundesamt für Landwirtschaft hat im April 2000 einem Sanierungsprojekt zugestimmt, das bis auf weiteres fortgesetzt wird.

3 Fazit

Die Phosphorkonzentration im Baldeggersee ist seit 1973 um 95% zurückgegangen. Das vom Kanton Luzern vorgegebene Zwischenziel von weniger als 30 µg/l wurde erreicht (Tabelle 2). Die Primärproduktion und die Sauerstoffzehrung der Sedimente sind jedoch immer noch zu hoch, sodass der gesetzlich geforderte Zielwert für Sauerstoff regelmässig unterschritten wird. Zirkulationshilfe, Belüftung und die Massnahmen in der Landwirtschaft müssen deshalb solange fortgesetzt werden, bis sich der See in einem stabilen Zustand befindet. Dieser kann erst erreicht werden, wenn der algenverfügbare P-Eintrag permanent unter 2.2 t/a liegt (Tabelle 2). Da auch Jahre mit schlechten Bedingungen (Meteorologie, Mischungsverhalten) immer wieder vorkommen, wäre eine Reduktion unter 1.6 t/a eine noch bessere Garantie für die Gesundheit des Sees (Müller et al. 2012).

Da über Abnahmeverträge ein sehr grosser Teil der im Einzugsgebiet umgesetzten Hofdünger vom See ferngehalten werden, muss auch längerfristig – falls die Abgeltungen nach Gewässerschutzgesetz Artikel 62a nicht mehr an die Landwirte abgegeben werden – dafür gesorgt werden, dass dieser grosse Phosphoranteil nicht mehr in den See gelangen kann.

Tabelle 2: Für den Baldeggersee gültige Qualitätsziele, welche in der Reihenfolge der Priorität der Zielerreichung aufgeführt sind.

Kriterium	Ziel	Grundlage
P-Konzentrationen	< 30 µg/l	Stadelmann et al. 2002
Algenblüten	Keine oder nur Ausnahmsweise	uwe 2015 (schriftl. Mitt.)
O ₂ -Konzentration	> 4 mg/l zu jeder Zeit an jedem Ort mit Belüftung	Anhang 2 GSchV
P-Eintrag	2.2 t/a	Stadelmann et al. 2002
O ₂ -Konzentration	> 4 mg/l zu jeder Zeit an jedem Ort ohne Belüftung im Sommer, nur Zirkulationshilfe im Winter	uwe 2015 (schriftl. Mitt.)
Sediment	Sauerstoff im Sediment vorhanden	uwe 2015 (schriftl. Mitt.)
Felchen	Natürliche Entwicklung von Felcheneiern	uwe 2015 (schriftl. Mitt.)

4 Literatur

Adam E., Birrer A., 1943: Biologische und chemische Studien am Baldeggersee 1938/39. Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft Luzern 14, 21-98.

Bachmann, H. 1897: Das Burgunderblut im Baldeggersee. Biologische Centralblätter 7, 230-241.

BAFU 2013: Einzugsgebietsgliederung Schweiz EZGG-CH, Bundesamt für Umwelt, Bern.
<http://www.bafu.admin.ch/wasser/13462/13496/15009/index.html>.

BFS 2010: Betriebszählung 2008. Branchenporträt Landwirtschaft. BFS Aktuell. Bundesamt für Statistik, Neuchâtel, 18 S.
www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/infothek/erhebungen_quellen/blank/blank/bzs1z/01.html.

BFS 2011: Statistik der Bevölkerung und der Haushalte 2011 (STATPOP2011), Bundesamt für Statistik, Neuchâtel.

Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer (Gewässerschutzgesetz, GSchG) vom 24. Januar 1991. SR 814.20.

EEA 2010: CORINE Land Cover Project, Europäische Kommission, Kopenhagen.

Gewässerschutzverordnung (GSchV) vom 28. Oktober 1998. SR 814.201.

GVBH 2000: Phosphorprojekt Baldeggersee zur Verminderung der Phosphorbelastung von oberirdischen Gewässern aus der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung gemäss Artikel 62a des Gewässerschutzgesetzes. Gemeindeverband Baldegger- und Hallwilersee, 53 S. und Anhang.

Liechti P., 1994: Der Zustand der Seen in der Schweiz. Schriftenreihe Umwelt Nr. 237. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, 163 S.

Lotter A. F., Birks H. J. B., 1997: The Separation of the influence of nutrients and climate on the varve time-series of Baldeggersee, Switzerland. Aquatic Sciences 59/4, 362-375.

Lotter A.F., 1998: The recent eutrophication of Baldeggersee (Switzerland) as assessed by fossil diatom assemblages. The Holocene 8, 395-405.

Muggli J., 2000: Baldeggersee: Fischereiliche Standortbestimmung. Kantonale Fischerei- und Jagdverwaltung Luzern, 14 S.

Müller B., Och L., Wüest A., 2012: Entwicklung des Phosphorhaushalts und der Sauerstoffzehrung im Sempacher- und Baldeggersee, Eawag, Kastanienbaum, 46 S.

Niessen E., Sturm M., 1987: Die Sedimente des Baldeggersees (Schweiz) – Ablagerungsraum und Eutrophierungsentwicklung während der letzten 100 Jahre. Archiv für Hydrobiologie 108, 365-383.

Stadelmann P., Lovas R., Butscher E., 2002: 20 Jahre Sanierung und Überwachung des Baldeggersees. Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft Luzern 37, 113-164.

UWE 2014a: Algenwirksame Phosphoreinträge in den Baldeggersee. Dienststelle Umwelt und Energie des Kantons Luzern. https://uwe.lu.ch/-/media/UWE/Dokumente/Themen/Gewaesser/Seen_und_Fliessgewaesser/Baldegger_und_Sempachersee/phosphoreintraege_in_baldeggersee.pdf?la=de-CH (abgerufen am 25.8.2014).

UWE 2014b: Wasserqualität Baldeggersee. Dienststelle Umwelt und Energie des Kantons Luzern. https://uwe.lu.ch/-/media/UWE/Dokumente/Themen/Gewaesser/Seen_und_Fliessgewaesser/Baldegger_und_Sempachersee/wqbaldeggersee.pdf?la=de-CH (abgerufen am 21.8.2014).

Züllig H. 1982: Untersuchungen über die Stratigraphie von Carotinoiden im geschichteten Sediment von 10 Schweizer Seen zur Erkundung früherer Plankton-Entfaltungen. Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie 44/1, 1-98.

5 Auskünfte

wasser@bafu.admin.ch

6 Internet

<http://www.bafu.admin.ch/wasser/13465/13483/14095/index.html>

7 Anhang: Charakterisierung des Baldeggersees und seines Einzugsgebietes

Morphologie See

Seefläche	5.2 km ²
Volumen	0.173 km ³
Meereshöhe Seespiegel	463.0 m
Uferlänge.....	12.9 km
maximale Länge	4.7 km
maximale Breite.....	1.6 km
maximale Tiefe	66 m
mittlere Tiefe.....	33 m
mittlerer Abfluss.....	1.4 m ³ /s
theoretische Aufenthaltszeit.....	3.9 Jahre
Anteil Wasserfläche des Sees im Ausland	0 %

Physiogeographie des Einzugsgebiets

Mittlere Meereshöhe	592 m
Maximale Meereshöhe.....	861 m

Bodenbedeckung und -nutzung im Einzugsgebiet (Stand: 2006, EEA 2010, BAFU 2013)

Gesamtfläche ohne Seefläche	68 km ²
Flächenanteil des EZG in der Schweiz.....	100.0 %
Siedlungsfläche, Städte, Parks	6.0 %
Industrie, Verkehr, Gewerbe	0.6 %
Ackerfähiges Land.....	77.6 %
Dauergrünland.....	0.0 %
Dauerkulturen, Reben, Obst	3.0 %
Wälder, Strauchvegetation.....	12.6 %
Vegetationslose naturnahe Flächen	0.0 %
Wasser- und Feuchtflächen ⁴	0.2 %

Einwohner (Stand: 2011, BFS 2011)

Einwohner im EZG in Tausend	13.8
-----------------------------------	------

Landwirtschaft (Landw. Betriebsstrukturerhebung, BFS 2010)

Talzone	75.6 %
Hügelzone	24.4 %
Bergzone I.....	0.0 %
Bergzone II.....	0.0 %
Bergzone III.....	0.0 %
Bergzone IV.....	0.0 %
Sömmerungsgebiet.....	0.0 %
GVE im Einzugsgebiet (ohne See).....	0.643 ha ⁻¹

⁴ Fläche Baldeggersee ausgenommen