



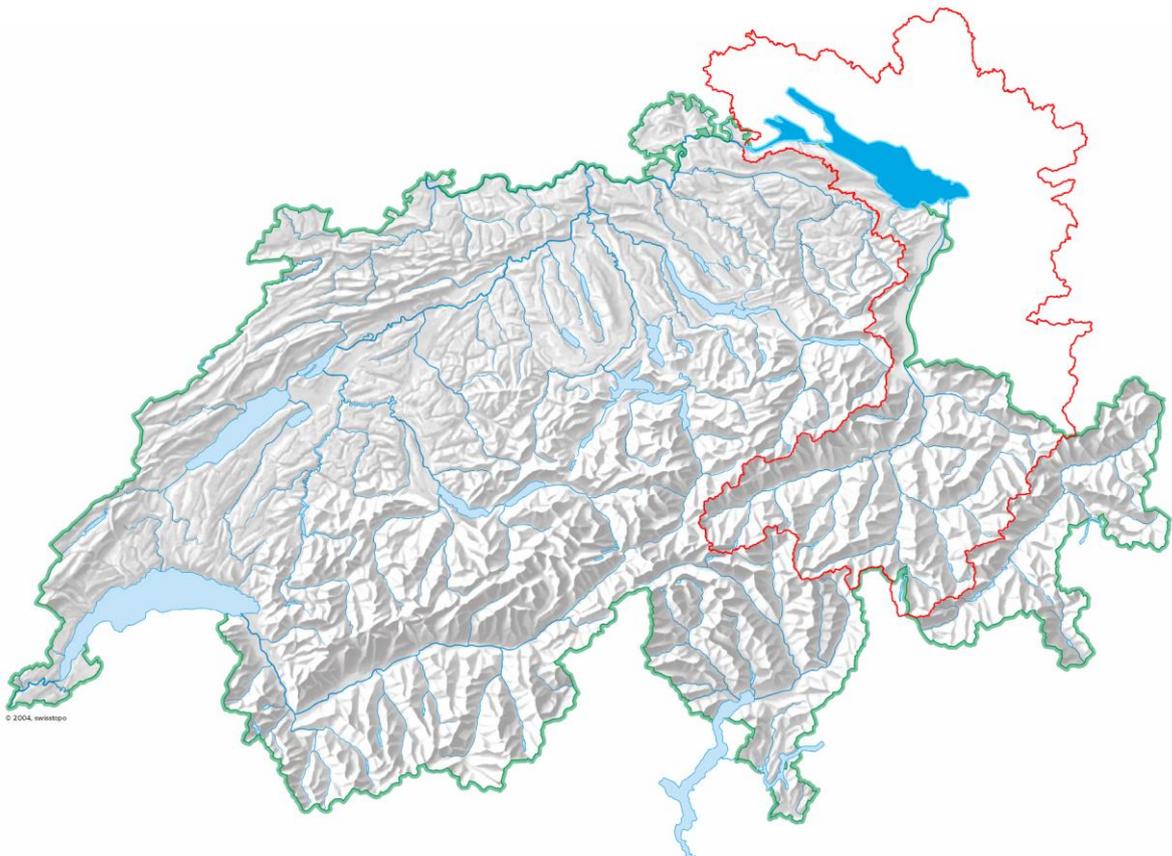
Faktenblatt

Datum

1. Juli 2016

Der Bodensee

Zustand bezüglich Wasserqualität



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

1 Entstehung, Morphologie und Kenndaten

Das Becken des Bodensees wurde durch den Rheingletscher während der Riss- und Würmeiszeit geformt. Vor rund 14'000 Jahren erstreckte sich der Bodensee als so genannter „Rheintalsee“ bis weit hinauf ins Alpenrheintal und besass eine im Vergleich zu heute etwa doppelt so grosse Wasserfläche. Der obere Teil des Sees verlandete während 4'000 Jahren durch die vom Rhein herangeführten Feststoffe und der Bodensee nahm seine heutige Form an (Hydra 2004). Der Bodensee ist der volumenmässig zweitgrösste See Westeuropas. Anrainerstaaten sind die Bundesrepublik Deutschland, Österreich und die Schweiz.

Der Bodensee besteht aus zwei Seeteilen – dem grossen und 254 Meter tiefen Obersee inkl. Überlingersee und dem 45 Meter tiefen dreigeteilten Untersee (http://www.igkb.org/fileadmin/user_upload/bilder/der_bodensee/seespiegelkarte_gross.jpg).

Der Hauptzufluss des Bodensees ist der Alpenrhein, welcher rund 60% des Wassers bringt (Hydra 2004). Weitere wichtige Zuflüsse sind Bregenzerach, Argen, Rheintal-Binnenkanal, Schussen und Dornbirnerach, welche in den Obersee fliessen und nochmals rund 26% des Zuflusses liefern. Der Abfluss des Bodensees wird nicht reguliert. Hochwasserereignisse puffert der See mit seinen Überflutungsflächen ab, welche rund 13 km² betragen (Hydra 2004).

Der Obersee zirkuliert aufgrund seiner grossen Tiefe nicht jedes Jahr vollständig. In den letzten 25 Jahren wurde infolge klimatisch bedingter Änderungen der Temperaturverhältnisse in den Wintermonaten eine Abschwächung des Tiefenwasseraustausches festgestellt (IGKB 2013). Der weniger tiefe Untersee mischt hingegen regelmässig zweimal im Jahr, wobei sich in warmen Wintern keine stabile Winterstagnation mehr bildet und der See über längere Zeit in der Zirkulationsphase verbleibt.

Das hydrologische Einzugsgebiet des Bodensees umfasst eine Fläche von rund 11'500 km² und erstreckt sich über fünf Staatsgebiete: Schweiz und Liechtenstein (49%), Deutschland (28%), Österreich (22%) und Italien (0.5%). Etwa die Hälfte der Einzugsgebietsfläche liegt über 1800 m Höhe (Liechti 1994). Die Nutzung des Einzugsgebietes des Bodensees entspricht in etwa dem Mittel aller grossen Schweizer Seen (Abbildung 1).

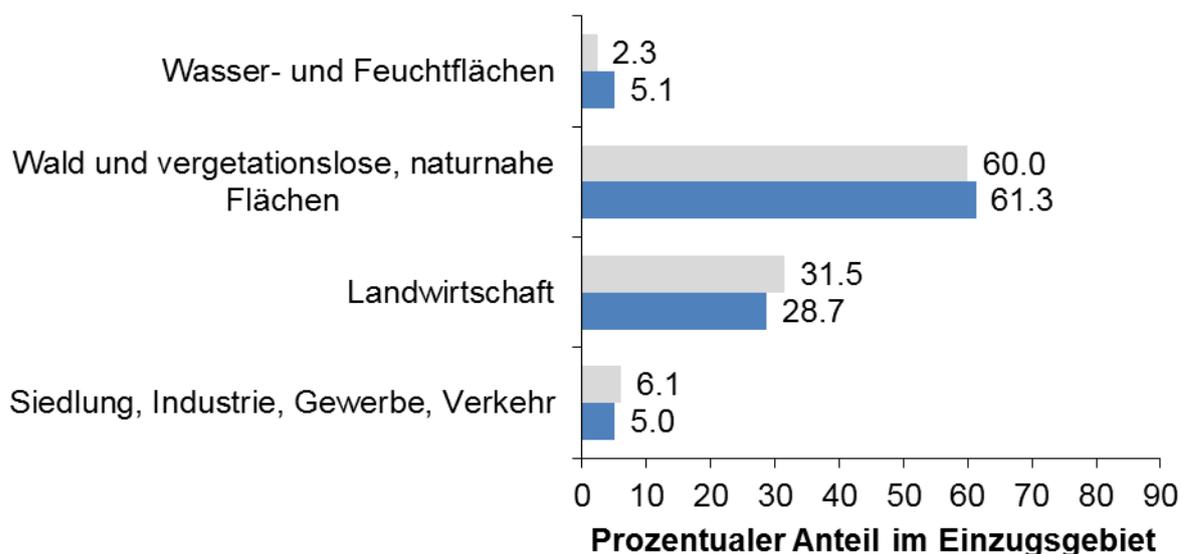


Abbildung 1: Bodennutzung im Einzugsgebiet des Bodensees (blaue Balken) und Bodennutzung als Mittelwert der grössten Schweizer See-Einzugsgebiete (graue Balken) (Stand 2006, Datengrundlagen: EEA (2010), BAFU (2013)).

Der Bodensee dient heute rund 5 Mio. Menschen als Trinkwasserreservoir (IGKB 2014b). Gleichzeitig nimmt der Bodensee das gereinigte Abwasser von 1.64 Mio. Einwohnern auf (schriftl. Mitt. Kt. TG 2015).

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

2 Die Entwicklung des Seezustandes

2.1.1 Phosphorgehalt und -frachten

Vor 1936 lagen die mittleren P-Konzentrationen unter der damaligen Nachweisgrenze und der Obersee befand sich in einem oligotrophen Zustand (Liechti 1994; IGKB 2013). Infolge der zunehmenden Nährstoffbelastung in den 1950er- bis 1970er-Jahre durch ungereinigte Abwässer stiegen die P-Konzentrationen bis Ende der 1970er-Jahre auf 84 µg/l an (Abbildung 2) und der Obersee erreichte damit einen eutrophen Zustand. Im Untersee stiegen die P-Konzentrationen sogar auf 115 µg/l an und beförderten diesen ebenfalls in einen eutrophen Zustand.

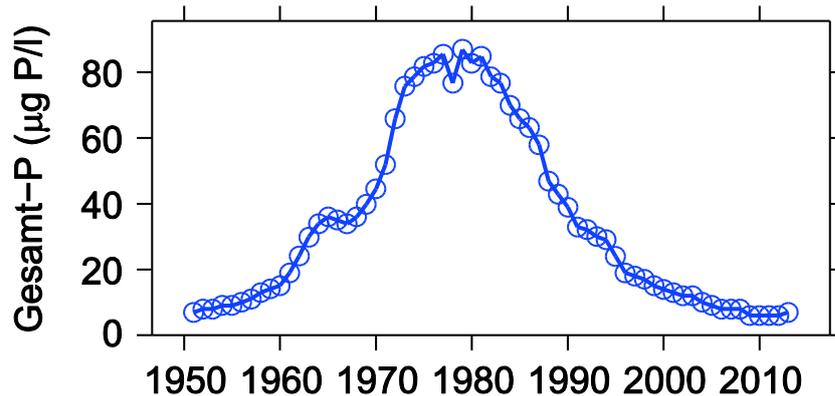


Abbildung 2: Jahresmittelwerte der Phosphorkonzentrationen im Bodensee-Obersee.

Insbesondere dank dem Bau von Abwasserreinigungsanlagen mit einer Phosphatfällung im gesamten Einzugsgebiet des Bodensees und dem Phosphatverbot in Waschmitteln sind die P-Konzentrationen seit Ende der 1970er Jahre deutlich gesunken (Abbildung 2, Tabelle 1).

Im Jahr 2014 waren 97.9 % der Einwohner im Einzugsgebiet des Bodensees an eine zentrale ARA angeschlossen. 1.7 % der Einwohner entsorgen ihre Abwässer ordnungsgemäss dezentral über eigene kleine ARAs, abflusslose Gruben oder Güllegruben. 6'600 Einwohner im Einzugsgebiet des Bodensees entsorgen ihr Abwasser nicht ordnungsgemäss (Daten 2015, schriftl. Mitt. Kt. TG 2015).

Der bioverfügbare P-Eintrag in den Obersee lag in den Jahren 1971/72 bei rund 1'300 Tonnen pro Jahr. Dank den Massnahmen zur P-Reduktion konnte diese Menge deutlich gesenkt werden. Seit Mitte der 1990'er Jahre liegt der P-Eintrag innerhalb der natürlichen Schwankungsbreiten bei rund 100 bis 110 t/a (IGKB 1976, IGKB 2012, IGKB 2014). Bei aussergewöhnlichen Hochwasserereignissen wie bspw. 1999 kann der Eintrag allerdings massiv höher sein.

Die P-Konzentrationen im Obersee haben sich heute bei rund 6 bis 7 µg/l eingependelt und liegen in einem Bereich wie in der ersten Hälfte des vorigen Jahrhunderts und damit nahe dem natürlichen oligotrophen Zustand (IGKB 2013).

Im Untersee sind die P-Konzentrationen aufgrund der verminderten P-Belastung ebenfalls gesunken und lagen in den Jahren 2010 bis 2015 je nach Becken zwischen 7 – 16 µg/l. Er befindet sich bezüglich der P-Konzentrationen, je nach Seebecken in einem meso- bis oligotrophen Zustand. Die im Vergleich zum Obersee langsamere Reoligotrophierung ist, neben den Zufluss-Einträgen, insbesondere auf die von Jahr zu Jahr variierenden Phosphoreserven der Sedimente zurückzuführen, wobei die P-Freisetzung aus den Sedimenten rückläufig ist (IGKB 2014a, schriftl. Mitt. Kt. TG 2015).

Die Verringerung der P-Konzentrationen bewirkte eine Verschiebung der Artenzusammensetzung im Phytoplankton in Richtung eines dem Seetyp entsprechenden natürlichen Zustandes (IGKB 2014a). Auch die Fische zeigen wieder die für einen nährstoffarmen Voralpensee typische Artenzusammensetzung (IGKB 2013). Im Weiteren reflektieren Untersuchungen der Makrophyten die Veränderung der trophischen Bedingungen im Litoral des Sees. So konnte eine Verschiebung sowohl

im Obersee als auch im Untersee von eutraphenten Arten mit hohem Nährstoffbedarf hin zu Arten mit niedrigem Nährstoffbedarf beobachtet werden (IGKB 2014). Auch die Wenigborsterfauna zeigt eine Verschiebung des Artenspektrums zugunsten anspruchsvollerer Arten und einen Rückgang der Individuendichte (Hydra 2004).

2.1.2 Sauerstoffgehalt

Die Sauerstoffkonzentrationen im Tiefenwasser des Obersees wiesen anfangs der 1970er-Jahre Tiefstwerte von nur noch 2 mg/l auf. Infolge des Reoligotrophierungsprozesses verbesserten sich die Sauerstoffverhältnisse im Tiefenwasser. Ende der 1980er-Jahre erreichten die Sauerstoffkonzentrationen im Tiefenwasser wieder Werte von 4 mg/l und stiegen von da an allmählich wieder an (Abbildung 3). Beim heutigen oligotrophen Trophiegrad unterschreiten die Sauerstoffkonzentration auch bei mehreren aufeinander folgenden Jahren ohne Vollzirkulation den Wert von 6 mg/l nicht (IGKB 2006, IGKB 2012, IGKB 2014a). Die klimatisch bedingte Verringerung der Tiefenwassererneuerung könnte allenfalls diesem positiven Trend entgegenwirken (IGKB 2014a).

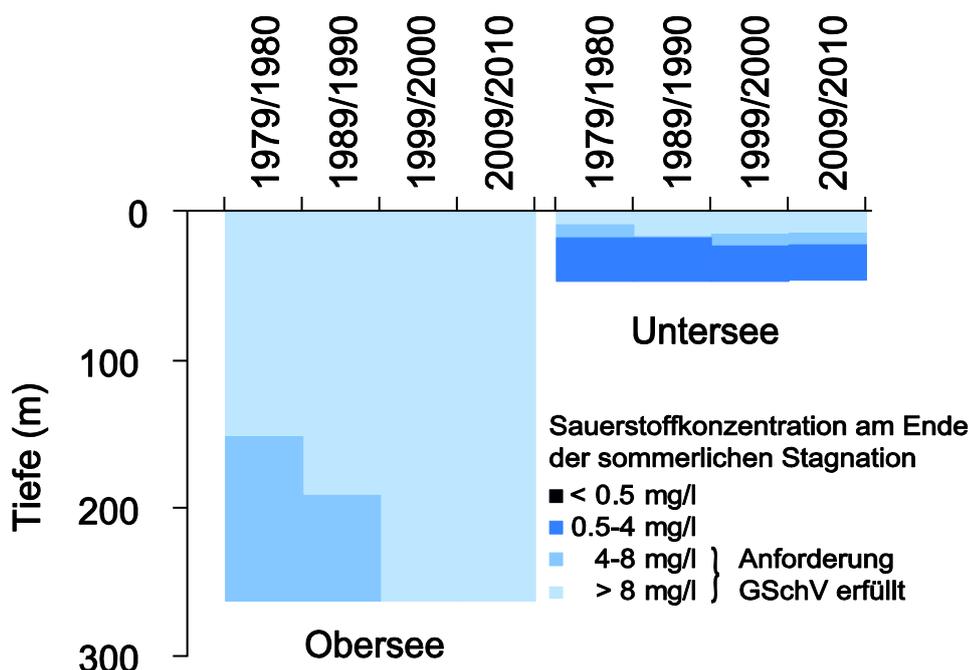


Abbildung 3 Sauerstoffkonzentrationen im Bodensee. Die numerische Anforderung von mehr als 4 mg O₂/l gilt nur für den Obersee, da das Tiefenwasser des Untersees aufgrund natürlicher Verhältnisse tiefe Sauerstoffkonzentrationen aufweist.

Im Vergleich zum Obersee waren und sind die Sauerstoffzyklen im Untersee ausgeprägter und stark von der variierenden Freisetzung reduzierter Substanzen aus den Sedimenten beeinflusst (IGKB 2014a). Seit den ersten Sauerstoffmessungen in den 1960er-Jahren wurde und wird der Sauerstoff in den tiefen Wasserschichten regelmässig gegen Ende der Stagnationsperiode fast oder sogar vollständig aufgebraucht. Die aus den Ammoniumkonzentrationen abgeleitete Sauerstoffzehrung im Tiefenwasser, hat jedoch seit den 1990er- und 2000er-Jahren im Untersee deutlich abgenommen, was auf die ablaufende Reoligotrophierung zurückzuführen ist (IGKB 2006, IGKB 2014a). Ein leicht abnehmender Trend der Ammoniumkonzentrationen ist seit 2005 zu verzeichnen (IGKB 2014a). Aufgrund des heutigen Kenntnisstandes dürften im Untersee gegen Ende der Sommermonate die Sauerstoffkonzentrationen natürlicherweise tiefer als 4 mg/l sein (schriftl. Mitt. KT TG 2015).

Tabelle 1: Die Geschichte des Bodensees im Überblick (Liechti 1994; IGKB 2014b; Hydra 2004).

Chronik	
Mitte 19.Jhdt.	Starkes Bevölkerungswachstum und Intensivierung der Nutzungen und Belastungen des Bodensees.
1900	Begradigung und Verlegung des Rheins zwecks Förderung des Geschiebetransportes.
Ab 1920	Aufschwung von Tourismus und Naherholung im Einzugsgebiet.
Ab 1950	Ausbau der Uferzone für Freizeiteinrichtungen und Verkehrsverbindungen.
1959	Gründung der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB). Mitglieder der IGKB sind die Anrainerstaaten und das Fürstentum Liechtenstein. Die IGKB empfiehlt den Mitgliedsländern Massnahmen und koordiniert diese, um das Ökosystem Bodensee in einem guten, intakten Zustand zu halten.
Ab 1960	Bau und Ausbau der ARAs im Einzugsgebiet des Bodensees.
10.11.1961	In Kraft treten des Übereinkommens über den Schutz des Bodensees gegen Verunreinigungen.
1967	Erarbeitung der Richtlinien zur Reinhaltung des Bodensees.
Ab 1990	Rückgang des Viehbestandes und Hofdüngereinsatzes im Einzugsgebiet des Bodensees.
1993	Erstellung eines Modells zur Abschätzung der tolerierbaren Phosphorfracht für den Bodensee- Obersee (IGKB 1993)
1995	Entwicklung des Bodensee-Leitbildes der Internationalen Bodenseekonferenz (IBK 1995).
1999	Erarbeitung eines Massnahmenplans zu Landwirtschaft und Gewässerschutz im Bodenseeraum.
2002	Anpassung des Modells zur Abschätzung der tolerierbaren Phosphorfracht für den Bodensee-Obersee (IGKB 2002)
2009	Erarbeitung eines Leitfadens zu Uferrenaturierungen des Bodensees (IGKB 2009)

3 Fazit

Der Obersee ist dank der erfolgreichen Abwassersanierung im Einzugsgebiet wieder in einem natürlich nährstoffarmen Zustand. Die numerischen Anforderungen an die Wasserqualität der GSchV (Anhang 2) werden eingehalten (Tabelle 2). Im Untersee haben die bisherigen Massnahmen zur Reduktion der P-Belastung im Einzugsgebiet die Nährstoffverhältnisse wesentlich verbessert und sie nähern sich ihrem Gleichgewicht an. Die in den letzten Jahren rückläufige P-Freisetzung aus den Sedimenten im Untersee bestätigt die anhaltende positive Entwicklung. Der gesetzlich geforderte Zielwert für Sauerstoff im Tiefenwasser des Untersees wird immer noch jedes Jahr regelmässig unterschritten, was jedoch den natürlichen Verhältnissen entspricht.

Welches Trophieniveau sich bei aktueller P-Belastung im Untersee einstellen wird, ist nicht absehbar. Aufgrund der morphologischen Gegebenheiten und seiner Lage unterhalb des Obersees werden einzelne Bereiche des Untersees immer nährstoffreicher bleiben als der Obersee (IGKB 2006).

Das Ziel des zukünftigen Gewässerschutzes besteht darin, den Bodensee in einem langfristig stabilen ökologischen Zustand mit für den See typischen Tier- und Pflanzenarten zu erhalten und die vielfältigen menschlichen Nutzungen des Sees (z.B. Trinkwasser, Freizeit, Fischerei) langfristig sicherzustellen (IGKB 2013). Insbesondere angesichts des starken Nutzungsdrucks und der Einflüsse des Klimawandels auf die Tiefenwassererneuerung gilt weiterhin, die erreichten Erfolge im Gewässerschutz nachhaltig zu sichern (IGKB 2014a). In diesem Zusammenhang werden weitere Massnahmen zur Reduktion bzw. Fernhaltung von Mikroverunreinigungen aus dem Einzugsgebiet

vorangetrieben. Zudem sollen die strukturellen Defizite am Seeufer, in Flachwasserzonen und an Zuflüssen durch deren Renaturierung und Vernetzung behoben werden (IGKB 2009).

Tabelle 2: Für den Bodensee gültige Qualitätsziele.

Kriterium	Ziel	Grundlage
O ₂ -Konzentration	> 4 mg/l zu jeder Zeit an jedem Ort > 6 mg/l ganzjährig über Grund	Anhang 2 GSchV Hydra 2004
Trophiegrad	Erhalt des oligotrophen Zustandes im Ober- und Untersee	IGKB 2013 (Faktenblatt Phosphor), IGKB 2014a
Ufer und Flachwasser	Naturnaher Zustand, Vernetzung von Lebensräumen	IGKB 2009 (Renaturierungsleitfaden)
Freiwasser	Gewährleistung einwandfreier Wasserqualität	GSchV WRRL 2000
Sedimente	Naturnaher Zustand, keine Schadstoffanreicherung	GSchV WRRL 2000
Einzugsgebiet	Naturnahe Zuflüsse, Abflussverhältnisse und Feststoffregime Minimierung der Einträge durch Mikroverunreinigungen	GSchV WRRL 2000

4 Literatur

BAFU 2013: Einzugsgebietsgliederung Schweiz EZGG-CH, Bundesamt für Umwelt, Bern.

<http://www.bafu.admin.ch/hydrologie/01835/11452/index.html>.

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.

Hydra 2004: Der Bodensee: Zustand – Fakten – Perspektiven. Bericht zuhanden der IGKB, Bregenz, 177 S.

WRRL 2000: Europäische Wasserrahmenrichtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Massnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik.

IBK 1995: Bodenseeleitbild. Internationale Bodenseekonferenz, Kommission Öffentlichkeitsarbeit, Meersburg.

IGKB 1976: Die Belastung des Bodensees mit Phosphor-, Stickstoff- und organischen Verbindungen im Seejahr 1971/72. Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee, Blauer Bericht Nr. 17, 55 S.

IGKB 2006: Zur limnologischen Entwicklung des Bodensee-Untersees von 1969-2005. Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee, Blauer Bericht Nr. 57, 17 S.

IGKB 2012: Limnologischer Zustand des Bodensees 2010/2011. Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee, Grüner Bericht Nr. 39, 95 S.

IGKB 2013: Faktenblatt „Phosphor im Bodensee“. Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee, 5 S.

IGKB 2014: Submerse Makrophyten des Bodensees – Kartierung in den Jahren 2006 – 2010. Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee, Blauer Bericht Nr. 58, 153 S.

IGKB 2014a: Limnologischer Zustand des Bodensees 2012/2013. Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee, Grüner Bericht Nr. 40, 112 S.

IGKB 2014b: Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee. <http://www.igkb.org/der-bodensee/der-see> (abgerufen am 12.8.2014).

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

IGKB 2009: Renaturierungsleitfaden Bodenseeufer. Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee, 94 S.

IGKB 2002: Tolerierbare Phosphor-Fracht des Bodensee-Obersees, 2. Auflage. Blauer Bericht Nr. 54, 81 S.

IGKB 1993: Dynamische Simulation des Bodensee-Obersees und tolerierbare Phosphor-Fracht. Blauer Bericht Nr. 44, 53 S.

5 Auskünfte

wasser@bafu.admin.ch

6 Internet

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

7 Anhang: Charakterisierung des Bodensees und seines Einzugsgebietes.

Morphologie See

Seefläche	536.0	km ²
Volumen	48	km ³
Meereshöhe Seespiegel	395.0	m
Uferlänge	355.1	km
maximale Länge	65.0	km
maximale Breite	14.0	km
maximale Tiefe	254	m
mittlere Tiefe	90	m
mittlerer Abfluss	372	m ³ /s
theoretische Aufenthaltszeit	4.1	Jahre
Anteil Wasserfläche des Sees im Ausland	68	%

Physiogeographie des Einzugsgebiets

Mittlere Meereshöhe	1632	m
Maximale Meereshöhe	3605	m

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

Gesamtfläche ohne Seefläche	11461	km ²
Flächenanteil des EZG in der Schweiz	47.4	%
Siedlungsfläche, Städte, Parks	4.6	%
Industrie, Verkehr, Gewerbe	0.4	%
Ackerfähiges Land	6.6	%
Dauergrünland	15.2	%
Dauerkulturen, Reben, Obst	6.9	%
Wälder, Strauchvegetation	46.6	%
Vegetationslose naturnahe Flächen	14.7	%
Wasser- und Feuchtflächen ¹	5.1	%

Einwohner (Stand: 2011, BFS 2011)

Einwohner im EZG in Tausend	455.0
-----------------------------------	-------

Landwirtschaft (Landw. Betriebsstrukturerhebung, BFS 2010)

Talzone	9.6	%
Hügelzone	1.4	%
Bergzone I	2.6	%
Bergzone II	4.3	%
Bergzone III	10.4	%
Bergzone IV	7.4	%
Sömmerungsgebiet	61.2	%
GVE im Einzugsgebiet (ohne See)	0.024	ha ⁻¹

¹ Fläche Bodensee ausgenommen