



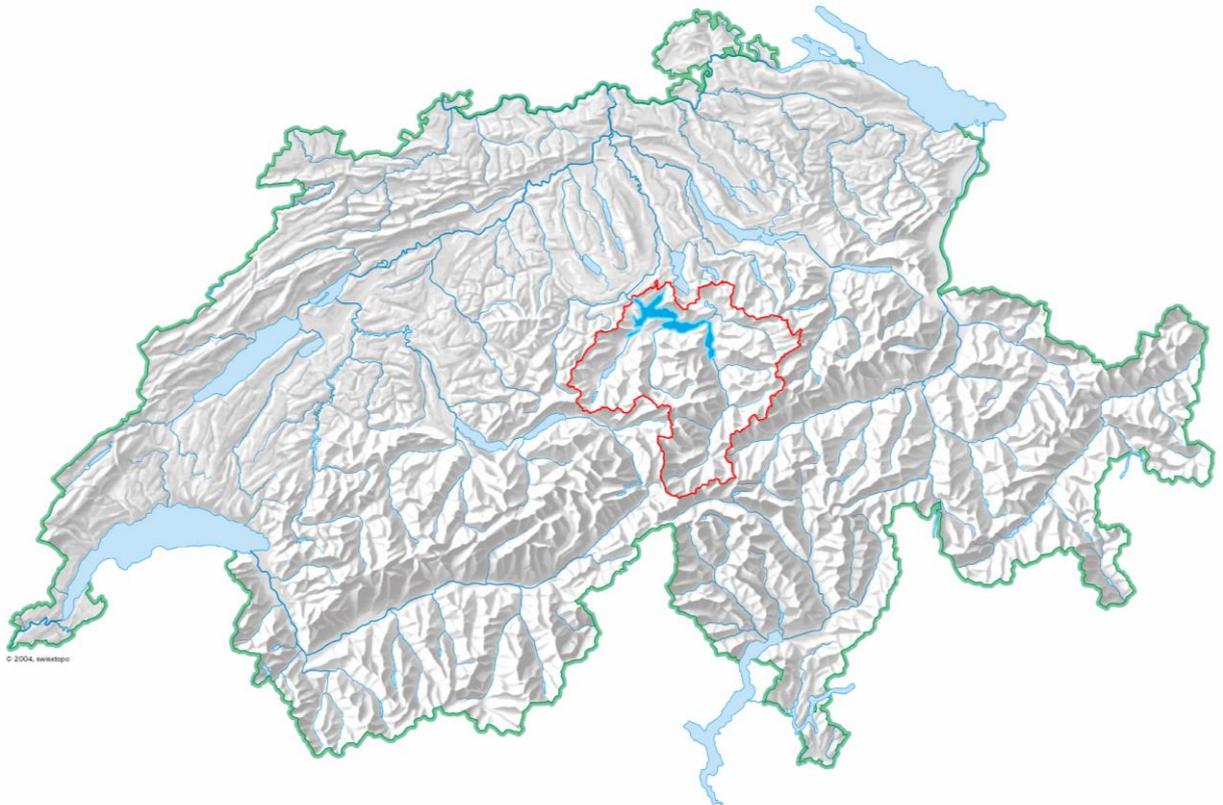
Faktenblatt

Datum

1. Juli 2016

Der Vierwaldstättersee

Zustand bezüglich Wasserqualität



Lage des Vierwaldstättersees (blau) und seines Einzugsgebietes (rot)

1 Entstehung, Morphologie und Kenndaten

Der Vierwaldstättersee wurde während der letzten Eiszeit vom Reussgletscher geformt. Der See selbst bildete sich als Gletscherrandsee am Ende der letzten Eiszeit vor rund 12'000 Jahren.

Der Vierwaldstättersee besteht aus 7 hintereinander liegenden Seebecken (http://4waldstaettersee.ch/04.2_see.html). Im Gersauerbecken befindet sich die mit 214 m tiefste Stelle des Vierwaldstättersees.

Die Reuss als Hauptzufluss des Vierwaldstättersees zwischen Flüelen und Seedorf (Kt. UR) trägt mehr als 40% zum gesamten Seedurchfluss bei. Die drei weiteren wichtigsten Zuflüsse – Muota in Brunnen (Kt. SZ), Engelberger Aa in Buochs (Kt. NW) und Sarner Aa bei Alpnachstad (Kt. OW) - bringen nochmals rund 40% des gesamten Seeabflusses (Stadelmann 2007). Der Seeabfluss wird durch ein Nadelwehr in der Stadt Luzern künstlich reguliert.

Durch den Föhn und den Reusszufluss sind die Tiefenbereiche im Urnersee gut durchmischt, besser belüftet und wärmer als im Gersauerbecken. Dieser Temperaturunterschied treibt die Wassermassen in riesigen Wasserfällen vom Gersauer- ins Urnerbecken. Ähnliche Tiefenwasserströmungen gibt es auch vom Alpnachersee über den Kreuztrichter und das Vitznauerbecken in das Gersauerbecken. Das Wasser fliesst dort in Grundnähe entgegengesetzt zur Oberflächenströmung (AKV 2014). Wegen der windgeschützten Lage des Gersauer- und Vitznauerbeckens durch die angrenzenden Berge erfolgt nur alle paar Jahre eine Vollzirkulation (Müller et al. 2010). Der Alpnachersee mischt aufgrund seiner geringen Tiefe und der guten Windexposition regelmässig jedes Jahr.

Der Vierwaldstättersee ist mit einer Oberfläche von 114 km² der zweitgrösste ganz in der Schweiz liegende See. Rund 80'000 Menschen aus der Stadt Luzern und den Gemeinden Küssnacht, Weggis und Horw beziehen ihr Trinkwasser aus dem See.

Das hydrologische Einzugsgebiet des Vierwaldstättersees umfasst eine Fläche von 2'186 km² und weist einen sehr hohen Anteil von vegetationslosen, naturnahen und bewaldeten Flächen auf (Abbildung 1). Damit gehört der Vierwaldstättersee zu den wenig anthropogen beeinflussten Seen der Schweiz.

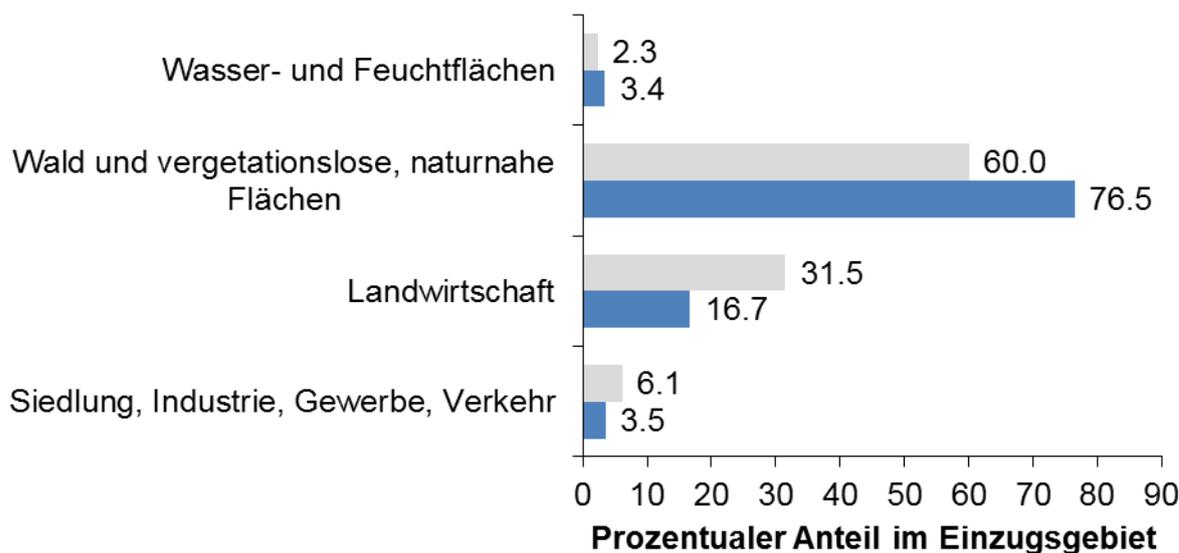


Abbildung 1: Bodennutzung im Einzugsgebiet des Vierwaldstättersees (blaue Balken) und Bodennutzung als Mittelwert der grössten Schweizer See-Einzugsgebiete (graue Balken) (Stand 2006, Datengrundlagen: EEA (2010), BAFU (2013)).

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

2 Die Entwicklung des Seezustandes

2.1 Phosphorgehalt und -frachten

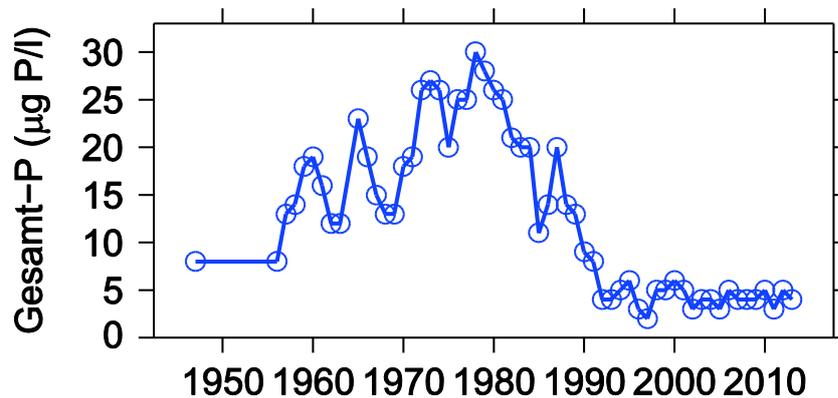


Abbildung 2: Jahresmittelwerte der Phosphorkonzentrationen im Vierwaldstättersee.

Seit 1950 hat die Nährstoffbelastung des Vierwaldstättersees infolge der zunehmenden Bevölkerungsdichte und der damit einhergehenden vermehrten Abwassereinleitungen zugenommen. Die P-Konzentrationen stiegen von rund 7 µg/l anfangs der 1950er Jahre auf knapp 30 µg/l bis anfangs der 1980er Jahre an (Abbildung 2). Der Vierwaldstättersee erreichte damit einen mesotrophen Zustand. Rechtzeitig eingeleitete externe Massnahmen insbesondere der Bau und Ausbau der ARAs im Einzugsgebiet des Vierwaldstättersees, die P-Eliminierung in den ARAs und das 1986 in Kraft getretene Phosphatverbot in Waschmitteln führten zu einer schnell ablaufenden Reoligotrophierung des Sees (Ambühl 1987). Seit Mitte der 1990er Jahre schwanken die P-Konzentrationen im Vierwaldstättersee im Bereich von 3 – 5 µg/l und der See befindet sich wieder in einem oligotrophen Zustand. Die algenverfügbaren P-Frachten über die grösseren Zuflüsse wurden von 100 t/a in den Jahren 1976/77 auf 14 t/a im Jahr 1989 verringert (Stadelmann 2007). Heute sind im Einzugsgebiet des Vierwaldstättersees 97% der Haushaltungen an eine öffentliche ARA angeschlossen. Die übrigen 3% haben eine kleine eigene ARA oder leiten ihre Abwässer zulässigerweise in abflusslose Gruben oder Güllegruben ein. Nur vereinzelte Haushaltungen insbesondere Ferienwohnungen in Berggebieten, welche nicht das ganze Jahr über bewohnt sind, lassen ihre Abwässer ungereinigt im Boden versickern.

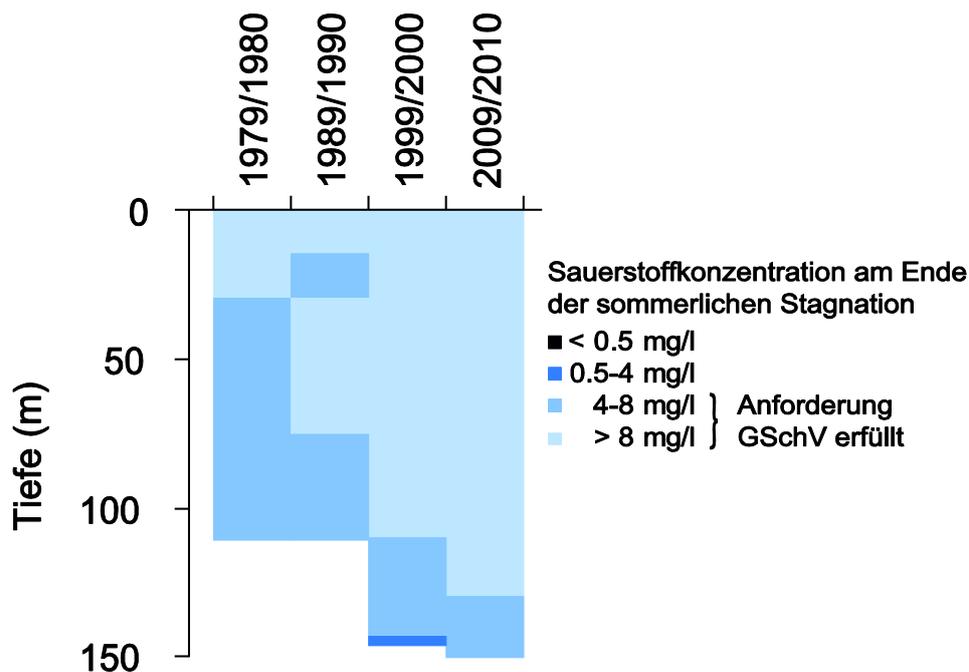


Abbildung 3 Sauerstoffkonzentrationen im Vierwaldstättersee (unterschiedliche Tiefen aufgrund verschiedener Untersuchungsstellen)

Der Alpachersee, der als Flachsee auf Nährstoffeinträge wesentlich empfindlicher reagiert als tiefere Seen, machte eine entsprechend stärkere Eutrophierungsphase durch (Liechti 1994).

2.2 Sauerstoffgehalt

Die Sauerstoffkonzentrationen in den verschiedenen Becken des Vierwaldstättersees waren und sind immer noch sehr unterschiedlich, was auf die unterschiedlichen Windverhältnisse zurückzuführen ist (Liechti 1994).

In allen Seebecken trat um 1950 eine Verschlechterung der Sauerstoffverhältnisse in den sedimentnahen Wasserschichten auf, was auf die zunehmende Eutrophierung zurückzuführen war (Staub 1981). Im Gersauerbecken wurde der Zielwert für Sauerstoff (Tabelle 2) zwischen 1965 und 1973 während 47 Monaten unterschritten. Im Kreuztrichter war dies zwischen 1972 und 1980 während 15 Monaten der Fall (Liechti 1994). Im Vitznauerbecken führten die geringen Sauerstoffkonzentrationen über Grund wegen der anaeroben Prozesse im Sediment sogar zu einer Rücklösung des Phosphors. Im Urnersee, Luzernersee und in der Horwerbuch wurde der gesetzlich geforderte Zielwert für Sauerstoff nie unterschritten, was auf die starke Windexposition und die guten Mischungsverhältnisse aufgrund der topografischen Gegebenheiten zurückzuführen ist.

Mit der Abnahme der Primärproduktion nach 1988 haben sich die Sauerstoffverhältnisse in allen Seebecken verbessert (Liechti 1994). Kritische Sauerstoffkonzentrationen von <4 mg/l treten heute nur noch in den ungenügend durchmischten Vitznauer- und Gersauerbecken auf (Müller et al. 2010,

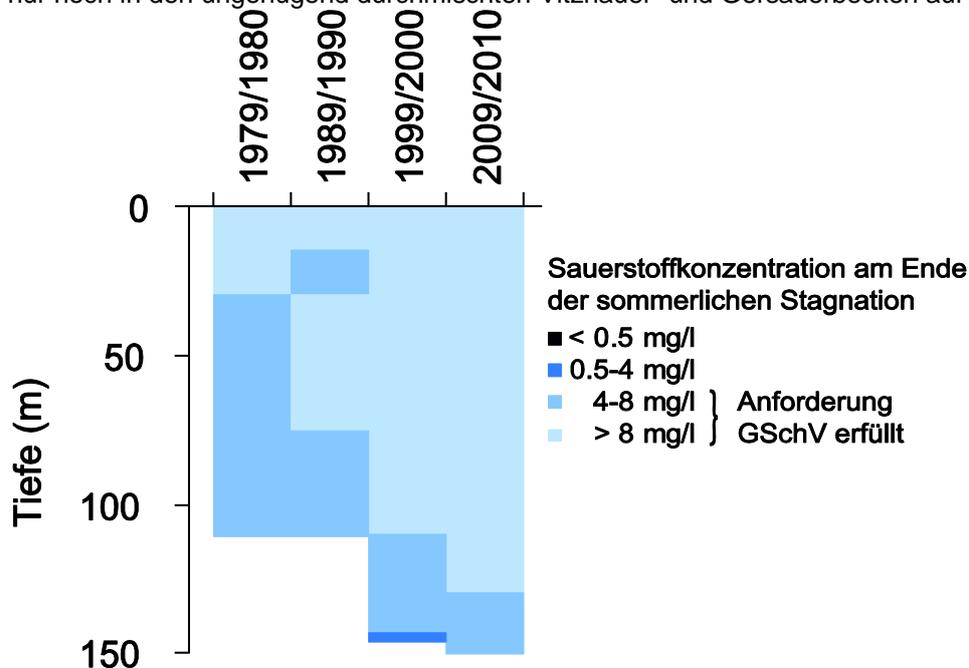


Abbildung 3). Dies war zwischen 1999 und 2004 im Vitznauerbecken in 147 m Tiefe zu beobachten, weil die Vollzirkulation über mehrere Jahre ausgeblieben ist (Stadelmann 2007).

Tabelle 1: Die Geschichte des Vierwaldstättersees im Überblick (Stadelmann 2007).

Chronik	
19. Jahrhundert	Starke Zunahme der Bevölkerung und Aufkommen des Tourismus
Ende 19. Jhd.	Aufstieg Luzerns zur internationalen Touristenmetropole. Ausbau des Kanalisationssystems und Einleitung der Abwässer in die Fließgewässer und in den See
1931	Bau der ersten mechanischen ARA in der Stadt Luzern
1945 - 1960	Versenkung von 3'330 t Munition im Urner- und Gersauerbecken
Ab 1971	Bau und Ausbau der ARAs im Einzugsgebiet des Vierwaldstättersees

1972	Gründung der Aufsichtskommission Vierwaldstättersee (AKV) aus Vertretern aller Anrainerkantone (NW, SZ, OW, LU, UR) mit dem Ziel, den Gewässerschutz im ganzen Einzugsgebiet des Sees und die Einführung der P-Eliminationsstufen in den ARAs zu koordinieren.
1974	Inbetriebnahme der ARA Luzern und Umgebung mit 180'000 Einwohnern
Ab 1974	Bau und Ausbau von ARAs im Einzugsgebiet des Vierwaldstättersees
1985	Neuformulierung der AKV-Vereinbarung, mit dem Ziel, nachteilige Veränderungen des Ökosystems Vierwaldstättersees zu verhindern und die Gewässer als Lebensräume, Trinkwasserlieferanten und Landschaftselemente langfristig zu schützen.
1993	Erstellung einer Richtlinie für die Nutzung durch Schifffahrt und einer interkantonalen Vereinbarung über die private Schifffahrt.
2013	Erstellung einer Onlinekarte auf der Website www.4waldstaettersee.ch mit Darstellung der Seeuferbewertung (2008) der Erhebung Wasserpflanzen (2012) und Integration der früheren Schutz- und Nutzungskarte für den Vierwaldstättersee (2003) durch AKV.

3 Fazit

Die bisherigen Massnahmen zur Reduktion der P-Belastung im Einzugsgebiet des Vierwaldstättersees waren erfolgreich und der See befindet sich heute wieder in einem oligotrophen Zustand. Die numerischen Anforderungen an die Wasserqualität der GSchV (Anhang 2) werden eingehalten.

Diese Erfolgsgeschichte im qualitativen Gewässerschutz darf nicht dazu verleiten, anzunehmen, dass es zur Bewahrung eines gesunden Sees keiner weiteren Anstrengungen mehr bedarf. Im Fokus der zukünftigen Schutzmassnahmen im Vierwaldstättersee stehen die Aufwertung und Renaturierung der Ufer und Flachwasserzonen sowie der Zuflüsse, welche aufgrund ihrer starken Verbauung und der mangelnden Vernetzung von Lebensräumen starke Defizite aufweisen (Stadelmann 2007). Gerade die Flachwasserzonen mit ihren Pflanzenbeständen erfüllen wichtige ökologische Funktionen, indem sie wesentlich zur Aufrechterhaltung der Nahrungsnetze im See und zur Selbstreinigung des Wassers beitragen.

Ein weiterer Schwerpunkt im zukünftigen Gewässerschutz liegt in der Überwachung von Mikroverunreinigungen, deren Hauptquellen die kommunalen ARAs und die Landwirtschaft sind und deren Auswirkungen auf die Wasser- und Trinkwasserqualität erfasst werden müssen.

Im Sinne eines gesamtheitlichen Gewässerschutzes soll langfristig sichergestellt werden, dass der Vierwaldstättersee nach wie vor eine wertvolle Natur- und Kulturlandschaft, ein Erlebnis- und Erholungsraum, ein Trinkwasserreservoir, ein Lebensraum für standorttypische Pflanzen und Tiere und ein nutzbares Fischgewässer bleibt.

Tabelle 2: Für den Vierwaldstättersee gültige Qualitätsziele.

Kriterium	Ziel	Grundlage
O ₂ -Konzentration	> 4 mg/l zu jeder Zeit an jedem Ort	Anhang 2 GSchV
P-Konzentration	Erhalt des tiefen P-Gehaltes von 3 - 5 µg/l	Stadelmann (2007)
Trophiegrad	Erhalt des erreichten oligotrophen Zustandes	Stadelmann (2007)
Trinkwasser	Erhalt einer guten Wasserqualität	Stadelmann (2007)
Fische	Erhalt der natürlichen Fischbestände	Stadelmann (2007)

Natur- und Kulturlandschaft	Erhalt eines intakten Ökosystems und einer intakten Natur- und Kulturlandschaft	Stadelmann (2007)
Lebensraum	Erhalt des Lebensraumes für standorttypische Pflanzen und Tiere	Stadelmann (2007)

4 Literatur

AKV 2014: Aufsichtskommission Vierwaldstättersee. Kantone Luzern, Nidwalden, Obwalden, Schwyz und Uri. http://www.4waldstaettersee.ch/04.2_see.html (abgerufen am 12.3.2014)

Ambühl H. 1987: Seenrestaurierung in Theorie und Praxis: Eine Aufgabe des modernen Gewässerschutzes. Gas-Wasser-Abwasser 67, 433 – 439.

BAFU, 2013: Einzugsgebietgliederung Schweiz EZGG-CH, Bundesamt für Umwelt, Bern. <http://www.bafu.admin.ch/hydrologie/01835/11452/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.

Fedier M., Walker M, Uhlmann C., 2008: Gewässer- und Hochwasserschutz im Urner Talboden. Veränderungen der Kulturlandschaft von 1850 bis heute aufgrund baulicher Massnahmen. Projektarbeit Basisjahr D-BAUG FS. Institut für Kartografie ETH Zürich.

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

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

Müller B., Müller R., Schäffer E., Stierli R., Taverna A., Illi R., 2010: Der Vierwaldstättersee, Früherkennungsprogramm. Eawag, Kastanienbaum, 12 S.

Stadelmann P., 2007: Vierwaldstättersee: Lebensraum für Pflanzen, Tiere und Menschen, Rex Verlag, Brunner, ISBN 978-3-03727-010-3.

Staub E. A., 1981: Diagenese im rezenten Sediment des Vierwaldstättersees und ihre Veränderung durch die Eutrophierung; Tiefenprofile biologisch chemischer Parameter in Sediment und Porenwasser. Dissertation ETH Zürich Nr. 6841.

5 Auskünfte

wasser@bafu.admin.ch

6 Internet

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

7 Anhang: Charakterisierung des Vierwaldstättersees und seines Einzugsgebietes

Morphologie See

Seefläche	114.0 km ²
Volumen	11.8 km ³
Meereshöhe Seespiegel	434.0 m
Uferlänge	150.8 km
maximale Länge	39.2 km
maximale Breite	3.3 km
maximale Tiefe	214 m
mittlere Tiefe	104 m
mittlerer Abfluss.....	107 m ³ /s
theoretische Aufenthaltszeit	3.5 a
Anteil Wasserfläche des Sees im Ausland	0 %

Physiogeographie des Einzugsgebiets

Mittlere Meereshöhe	1528 m
Maximale Meereshöhe	3623 m

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

Gesamtfläche ohne Seefläche	2186 km ²
Flächenanteil des EZG in der Schweiz	100.0 %
Siedlungsfläche, Städte, Parks	3.1 %
Industrie, Verkehr, Gewerbe	0.4 %
Ackerfähiges Land	1.4 %
Dauergrünland	14.5 %
Dauerkulturen, Reben, Obst	0.8 %
Wälder, Strauchvegetation	50.2 %
Vegetationslose naturnahe Flächen	26.3 %
Wasser- und Feuchtflächen ¹	3.4 %

Einwohner (Stand: 2011, BFS 2011)

Einwohner im EZG in Tausend	214.7
-----------------------------------	-------

Landwirtschaft (Landwirtschaftliche Betriebsstrukturerhebung, BFS 2010)

Talzone	3.1 %
Hügelzone	3.1 %
Bergzone I	4.8 %
Bergzone II	9.3 %
Bergzone III	7.7 %
Bergzone IV	3.6 %
Sommerungsgebiet	65.1 %
GVE im Einzugsgebiet (ohne See)	0.048 ha ⁻¹

¹ Fläche des Vierwaldstättersees ausgenommen