



Faktenblatt

Datum

1. Juli 2016

Der Zugersee

Zustand bezüglich Wasserqualität



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

1 Entstehung, Morphologie und Kenndaten

Das Becken des Zugersees ist durch einen tektonischen Bruch entstanden und wurde durch die Ur-Reuss/Muota vertieft und erweitert. Anschliessend haben glaziale Erosionen während der letzten Eiszeit die heutige Morphologie des Seebeckens geformt.

Der Zugersee ist durch eine Einschnürung bei Chiemen in den flachen und breiten Untersee und in den 198 m tiefen, bergumrahmten Obersee (Walchwiler Becken) geteilt. Trotz dieser Verengung ist der Stoff- und Wassertransport kaum eingeschränkt. Die Austauschzeit zwischen den beiden Seebecken beträgt wegen interner Wellen, starken Strömungen und der grossen Tiefe vor dem „Chiemen“ maximal 30 Tage (Liechti 1994).

Mit einer hydraulischen Wasseraufenthaltszeit von knapp 17 Jahren gehört der Zugersee neben dem Sempachersee und Genfersee zu den wenig durchflossenen Seen der Schweiz. Die Lorze (Kt. ZG) als Hauptzufluss spendet dem Zugersee 38% des Wassers. Sie durchfliesst den See auf einem kurzen Stück im Norden. Sie mündet westlich von Zug in den See und verlässt ihn wieder in 2.6 km Entfernung bei Cham, was zu einer schlechten Durchspülung in Längsrichtung führt. Wichtigster Zufluss des Walchwiler-Beckens im Süden ist die Rigiaa (Kt. SZ), welche in Arth in den See mündet.

Der Zugersee zirkuliert aufgrund seiner topografischen Lage, seiner grossen Tiefe und der ausgeprägten Dichteschichtung nicht vollständig sondern nur bis in eine Tiefe von ca. 100 m (Liechti 1994, Keller 2003).

Das hydrologische Einzugsgebiet des Zugersees umfasst eine Fläche von 212 km² und weist einen relativ hohen Anteil landwirtschaftlich intensiv genutzter Flächen und Siedlungsflächen auf (Abbildung 1). Er gehört damit zu den stark anthropogen beeinflussten Seen der Schweiz.

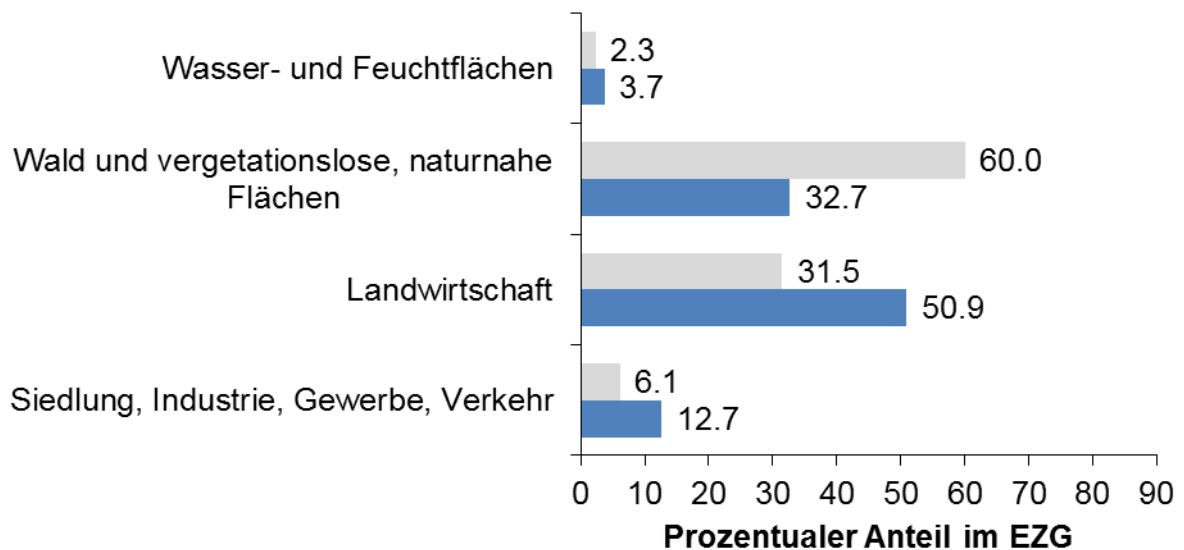


Abbildung 1: Bodennutzung im Einzugsgebiet des Zugersees (blaue Balken) und Bodennutzung als Mittelwert der grössten Schweizer See-Einzugsgebiete (graue Balken) (Stand 2006, Datengrundlagen: EEA (2010), BAFU (2013)).

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

Mittels Sedimentanalysen und anhand der Kieselalgenzusammensetzung in den einzelnen Sedimentschichten konnten die P-Konzentrationen im Zugersee bis 1550 rekonstruiert werden (AquaPlus 2001). Die Untersuchungen zeigten, dass sich der Zugersee von 1550 bis 1810 in einem stabilen schwach mesotrophen Zustand befand mit P-Konzentrationen von rund 20 µg/l. Anfangs des 19. Jahrhunderts durchlief der Zugersee aufgrund der beginnenden Industrialisierung, Bau der Eisenbahn, des aufkommenden Tourismus und der vermehrten Einleitung von ungereinigtem Abwasser (Tabelle 1) einen ersten Eutrophierungsschub und die P-Konzentrationen stiegen in den Jahren ca. 1870 – 1885 auf rund 50 – 70 µg/l an. Der zweite Eutrophierungsschub erfolgte ab 1910 und führte zu deutlich erkennbaren gewässerökologischen Veränderungen. So wurde 1898 das Auftreten der Burgunderblutalge dokumentiert. Die Gesamt-P-Konzentrationen stiegen von rund 30 µg/l um 1930 bis auf über 200 µg/l anfangs der 1980er Jahre an (Abbildung 2). Ab 1960 befand sich der Zugersee bereits in einem hypereutrophen Zustand. Dieser letzte massive Eutrophierungsschub wurde durch die grosse Bevölkerungszunahme, die Einführung der Waschmaschinen mit phosphorhaltigen Waschmitteln und durch die Intensivierung der Landwirtschaft verursacht (Tabelle 1).

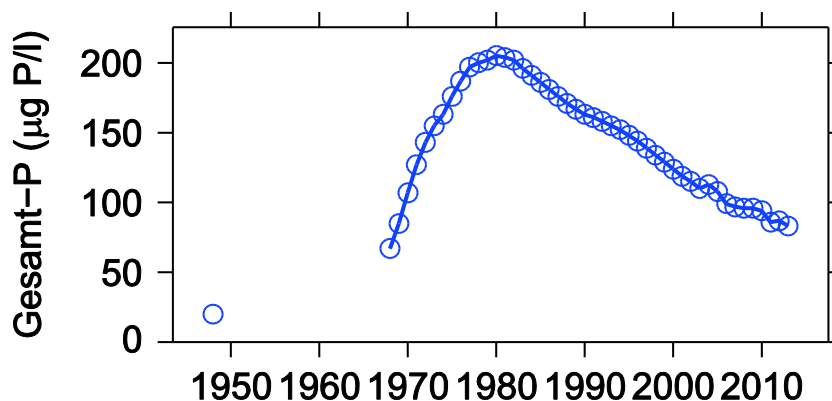


Abbildung 2: Jahresmittelwerte der Phosphorkonzentrationen im Zugersee.

Seit 1982 haben die P-Konzentrationen im Zugersee von 200 µg/l auf rund 80 µg/l im Jahr 2013 abgenommen (Abbildung 2). Diese Trendumkehr kann auf zwei umfassende see-externe Sanierungsmassnahmen zurückgeführt werden:

1. Abwassersanierung im Einzugsgebiet

1977 wurde die ARA Schönau (Cham, Kt. ZG) erstellt und mit dem Bau der Ringleitung um den Zugersee begonnen, an welche alle Gemeinden im Einzugsgebiet des Zugersees sukzessive angeschlossen wurden (Tabelle 1). Von Bedeutung ist, dass die ARA Schönau das gereinigte Abwasser in die Untere Lorze ausserhalb des Einzugsgebiets des Zugersees einleitet. Seit 1991 gelangt praktisch alles Siedlungsabwasser im Einzugsgebiet des Zugersees in die ARA Schönau. Nur bei starken Niederschlägen gelangt noch ungereinigtes Abwasser über die Hochwasserentlastungen in den Zugersee. Der Anschlussgrad der Einwohner im Einzugsgebiet des Zugersees beträgt heute nahezu 100%. Nur wenige Dutzend Haushalte sammeln ihre Abwässer in abflusslosen Gruben oder reinigen es in einer Kleinkläranlage. Die Landwirtschaftsbetriebe mit einem erheblichen Tierbestand verwerten ihr häusliches Abwasser zusammen mit der Gülle auf ihren Nutzflächen.

Seit dem Ausbau der ARA Schönau 1992 – 1998 erfolgt die Abwasserbehandlung 4-stufig und ist bezüglich P-Elimination auf dem neuesten Stand der Technik.

2. Massnahmen in der Landwirtschaft

Sanierungsmassnahmen, Düngenvorschriften und Extensivierungen im Bereich der Landwirtschaft wie auch der vom Kanton verlangte und subventionierte Ausbau der Kapazitäten für die Lagerung von Hofdünger trugen ebenfalls zu dieser positiven Entwicklung bei (Tabelle 1).

Mit diesen beiden Massnahmen konnte die P-Belastung des Zugersees von ca. 100 t/a im Zeitraum 1970 - 1977 (Liechti 1994, AquaPlus 2004) auf ca. 10 t/a algenverfügbaren Phosphor reduziert werden (schriftl. Mitt. AfU Zug 2014; Wüest & Müller 2010). 4% der heutigen P-Fracht stammt aus Regenüberläufen, ca. 7 % aus der atmosphärischen Deposition und ca. 89% aus der Landwirtschaft (schriftl. Mitt. AfU Zug 2014).

Bei gleich bleibender P-Belastung wird sich gemäss Modellrechnungen im Jahr 2040 eine P-Konzentration von ca. 50 µg/l einstellen (Wüest & Müller 2010).

2.2 Sauerstoffgehalt

Erste Klagen über den Rückgang des im Zugersee typischerweise vorkommenden Zuger-Rötels, einer Seesaiblingart, sind im Jahr 1903 dokumentiert. Der Rückgang ist wahrscheinlich die Folge der ungenügenden Sauerstoffversorgung der Laichgründe.

Sedimentuntersuchungen des Zugersees weisen darauf hin, dass im Zugersee ab ca. 1920 anoxische Verhältnisse im Tiefenwasser auftraten (AquaPlus 2001). Erste Sauerstoffmessungen im See ab 1950 ergaben Konzentrationen von weniger als 2 mg/l unterhalb einer Tiefe von 180 m. Ab 1970 wurden in derselben Tiefe weniger als 1 mg/l gemessen und ab 1980 war das Tiefenwasser unterhalb 180 m während 10 Monaten im Jahr sauerstofffrei (Liechti 1994, Abbildung 3).

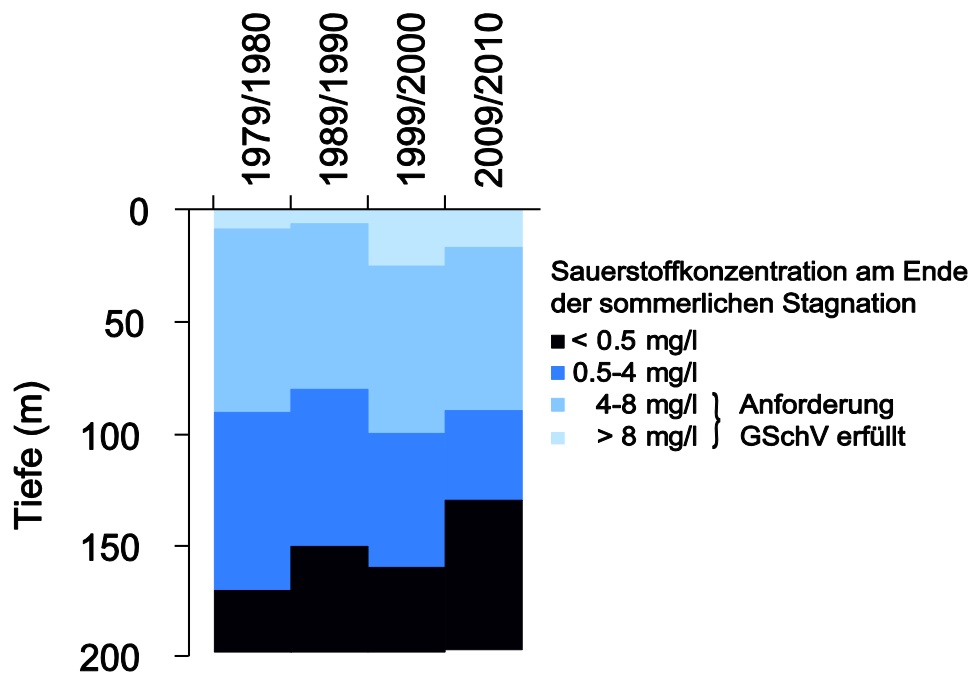


Abbildung 3 Sauerstoffkonzentrationen im Zugersee

Die aktuellen Messungen zeigen, dass in rund 80 – 120 m Tiefe noch 4 mg/l Sauerstoff vorhanden sind. In Tiefen unterhalb von 160 m ist der Zugersee ganzjährig praktisch sauerstofffrei (AquaPlus 2004, schriftl. Mitt. AfU Zug 2014).

Diese ungünstigen Sauerstoffverhältnisse im Tiefenwasser des Zugersees sind einerseits auf die zu hohe Algenproduktion und die dadurch bedingte hohe Mineralisation von Biomasse zurückzuführen. Andererseits mischt der Zugersee aufgrund seiner grossen Tiefe und der chemischen Dichteschichtung im Tiefenwasser nur bis in eine Tiefe von ca. 100 m regelmässig. Die Wasserschichten unterhalb von 100 m Tiefe sind von den jährlich stattfindenden Zirkulationsprozessen ausgenommen und Sauerstoff gelangt nur via Diffusion aus den oberen Wasserschichten in die Tiefe. Interessant war die Wirkung des Sturmes Lothar Ende Dezember 1999,

welcher eine verstärkte Mischung des Oberflächenwassers mit dem Tiefenwasser bewirkte und kurzfristig die Sauerstoffverhältnisse im Zugersee deutlich verbesserte.

Eine nachhaltige Verbesserung der Sauerstoffverhältnisse kann erst erreicht werden, wenn die jährliche Sauerstoffzehrung im Tiefenwasser den Wert von 1.9 mg/l pro Jahr unterschreitet. Dann liegt nämlich die Sauerstoffzehrung der mineralisierten Algenmenge der jeweils aktuellen Saison im Bereich der durch Diffusion ins Hypolimnion nachgelieferten Sauerstoffmenge (Imboden et al. 1994). Um dies zu erreichen, müsste die Primärproduktion weiter gesenkt werden.

Tabelle 1: Die Geschichte des Zugersees im Überblick (Liechti 1994, AquaPlus 2001, schriftl. Mitt. AfU Zug 2014).

Chronik	
1830 – 1860	Bau der ersten Fabriken
Ab 1850	Starke Bevölkerungszunahme ¹
Ab 1860	Fortschreitende Industrialisierung, Bau der Eisenbahn, zunehmender Tourismus
1898	Auftreten der Burgunderblutalge als erstes Anzeichen einer beginnenden Eutrophierung
1903	Erste Klagen über Rückgang der Rötelerträge
Ab 1940er	Intensivierung der Landwirtschaft im Einzugsgebiet
Ab 1950	Sehr starke Bevölkerungszunahme ² und Zunahme der Tierbestände ³
1953	Bau der ARA Zug mit 1. und 2. Reinigungsstufe
1968	Ausbau der ARA Zug mit 3. Reinigungsstufe (Phosphatfällung)
1973 – 1977	Bau der ARA Schönau unterhalb des Zugersees
1977 – 1991	Bau der Ringleitung um den Zugersee mit stufenweisem Anschluss von 13 Gemeinden und Bezirk Küsnacht, die ihre Abwässer in die ARA Schönau leiteten
Ab 1980	Rückgang des Schweine- und Rindviehbestandes und Rückgang des Verbrauches an Mineraldünger
1986 – 1995	Kantonale Beiträge für Sanierung und Erweiterung von Jauchegruben und Entmüstungsanlagen im Einzugsgebiet des Zugersees.
Ab 1992	Laufender Ausbau der ARA Schönau auf den neuesten Stand der Technik
Ab 1993	Neuorientierung der Landwirtschaft zur integrierten Produktion
Ab 1999	Ökologisierung der Landwirtschaft durch Einführung des ökologischen Leistungsnachweises
1999	Revidiertes kantonales Gesetzes über die Gewässer (GewG) ⁴
2011	Regierungsratsbeschluss über Lagerdauer von Hofdünger ⁵

¹ Die Bevölkerung im Kt. Zug hat mit einer Wachstumsrate von 248 Einw./a zwischen 1850 – 1950 von knapp unter 20'000 auf über 40'000 Einwohner zugenommen.

² Die Bevölkerung im Kt. Zug hat mit einer Wachstumsrate von 1136 Einw./a zwischen 1950 – 1999 von rund 43'000 auf knapp 100'000 Einwohner zugenommen.

³ Zwischen 1950 – 1980 hat der Schweinebestand im Kt. Zug von rund 6'000 auf rund 32'000 und der Rindviehbestand von rund 16'000 auf rund 25'000 stark zugenommen.

⁴ Mit dem GewG wurde die gesetzliche Grundlage für Düngevorschriften und –einschränkungen geschaffen.

⁵ Bestehende Landwirtschaftsbetriebe mit Nutztierhaltung müssen über Lagereinrichtungen verfügen, die für mindestens 4 bzw. 5 Monate (bei Betrieben unterhalb bzw. oberhalb 600 m. ü. M. liegen) ausreichen. Neuanlagen müssen über

3 Fazit

Die bisherigen Massnahmen zur Reduktion der P-Belastung im Einzugsgebiet des Zugersees zeigen bisher noch nicht die erhoffte Wirkung. Aufgrund der langen Aufenthaltszeit des Wassers, der schlechten Durchspülung in Längsrichtung und der schlechten Durchmischung mit dem Tiefenwasser reagiert der Zugersee sehr langsam auf die Reduktion der Nährstoffeinträge.

Die Umsetzung von see-internen Massnahmen (Tiefenwasserableitung, die Spülung des Zugersees mit wenig belastetem Wasser aus dem Vierwaldstättersee oder eine künstliche Belüftung des Tiefenwassers), welche den Sanierungsprozess beschleunigen könnten, wurden aufgrund zu hoher Kosten und nachteiliger Auswirkungen auf die Reuss verworfen. Der Zuger Regierungsrat entschied im Jahr 1991, die Sanierung des Zugersees mittels see-externer Massnahmen (Ausbau Abwasserreinigung, Nährstoffrückhalt in Landwirtschaft) fortzuführen.

Die P-Konzentrationen des Zugersees konnten mit see-externen Massnahmen seit Mitte der 1990er Jahre zwar deutlich reduziert (halbiert) werden; der See befindet sich jedoch heute immer noch in einem eutrophen Zustand und erfüllt weder die numerischen Anforderungen der GSchV (Anhang 2) noch die von der wissenschaftlichen Begleitkommission zur Sanierung des Zugersees festgelegten gelockerten Sanierungsziele – weder bezüglich Sauerstoff noch bezüglich Phosphor (Tabelle 2). Gemäss Modellrechnungen könnte bei gleichbleibender P-Belastung eine P-Konzentration von ca. 40 - 60 µg/l im Jahre 2040 erreicht werden (Wüest & Müller 2010). Ob und wann der Zugersee seinen natürlichen mesotrophen Zustand erreichen wird, kann zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht abgeschätzt werden. Dies hängt einerseits stark davon ab, wie effektiv und effizient die Massnahmen zur Reduktion des P-Eintrages in der Landwirtschaft und Siedlungsentwässerung umgesetzt werden können. Andererseits beeinflussen auch die Sedimentationsprozesse, die Entwicklung der Stratifikation und die Wasseraufenthaltszeit im See die zukünftige Entwicklung der P-Konzentrationen im See. Aufgrund dieser Unsicherheiten ist vorgesehen, die Datengrundlage des Phosphorhaushaltes des Zugersees zu verbessern und die Berechnung der P-Bilanz zu in den nächsten Jahren zu wiederholen (schriftl. Mitt. AfU Zug 2014).

Es ist unverkennbar, dass für den Gesundungsprozess des Zugersees aufgrund seiner langen Wasseraufenthaltszeiten genügend Zeit eingeräumt werden muss. In diesem Zeitraum werden die bisherigen Anstrengungen zur Reduktion der P-Belastung in der Landwirtschaft und Siedlungsentwässerung weitergeführt und optimiert.

Tabelle 2: Für den Zugersee gültige Qualitätsziele

Kriterium	Ziel	Grundlage
O ₂ -Konzentration	> 4 mg/l zu jeder Zeit an jedem Ort; ob dieses Ziel aufgrund der grossen Seetiefe ganzjährig auch im Südbecken erreicht werden kann, ist bei Erreichen des mesotrophen Zustands zu prüfen.	Anhang 2 GSchV
P-Konzentration	mesotropher Zustand; zur Zeit wird eine P-Konzentration < 40 µg/l angestrebt.	Anhang 2 GSchV

4 Auskünfte

wasser@bafu.admin.ch

5 Internet

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

Lagereinrichtungen für flüssigen Hofdünger verfügen, die mindestens 5 bzw. 6 Monate ausreichen (bei Betrieben unterhalb bzw. oberhalb 600 m. ü. M. liegen).

6 Literatur

AquaPlus 2001: Entwicklung des Gesamtphosphors im Zugersee anhand der im Sediment eingelagerten Kieselalgen. Bericht zuhanden des Amtes für Umweltschutz des Kantons Zug, 48 S.

AquaPlus 2004: Untersuchung der Fliessgewässer und Seen im Kanton Zug und im Einzugsgebiet des Zugersees. Bericht zuhanden des Amtes für Umweltschutz des Kantons Zug, 86 S.

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.

Gesetz über die Gewässer (GewG) vom 25. November 1999, 731.1

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

Imboden D., Wehrli B., Wüest A., 1994: Grundlagen für die Saneirung des Zugersees. Untersuchungen des Stoffhaushaltes von Tiefenwasser und Sediment. Eawag-Auftrag 37-4840.

Keller P., 2003: Die Wasserqualität in den Zuger Gewässern von 1997 bis 2000. Blickpunkt Umwelt Nr. 20, 4 – 17.

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

Wüest A., Müller B., 2010: Abnahme des Phosphorgehalts im Zugersee – Stand 2010. Eawag report 2010, 003, 24 S.

7 Anhang: Charakterisierung des Zugersees und seines Einzugsgebietes

Morphologie See

Seefläche	38.4 km ²
Volumen	3.2 km ³
Meereshöhe Seespiegel	414.0 m
Uferlänge	43.8 km
maximale Länge	14.6 km
maximale Breite	4.3 m
maximale Tiefe	198 m
mittlere Tiefe	83 m
mittlerer Abfluss.....	6 m ³ /s
theoretische Aufenthaltszeit.....	16.7 a
Anteil Wasserfläche des Sees im Ausland	0 %

Physiogeographie des Einzugsgebiets

Mittlere Meereshöhe	738 m
Maximale Meereshöhe	1797 m

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

Gesamtfläche ohne Seefläche	212
Flächenanteil des EZG in der Schweiz	100.0 %
Siedlungsfläche, Städte, Parks	11.6 %
Industrie, Verkehr, Gewerbe	1.1 %
Ackerfähiges Land	25.6 %
Dauergrünland	23.5 %
Dauerkulturen, Reben, Obst	1.8 %
Wälder, Strauchvegetation	32.7 %
Vegetationslose naturnahe Flächen	0.0 %
Wasser- und Feuchtflächen ⁶	3.7 %

Einwohner (Stand: 2011, BFS 2011)

Einwohner im EZG in Tausend	102.2
-----------------------------------	-------

Landwirtschaft (Landwirtschaftliche Betriebsstrukturerhebung, BFS 2010)

Talzone	28.3 %
Hügelzone	13.0 %
Bergzone I	22.1 %
Bergzone II	22.3 %
Bergzone III	0.3 %
Bergzone IV	0.3 %
Sommerungsgebiet	10.3 %
GVE im Einzugsgebiet (ohne See)	0.192 ha ⁻¹

⁶ Fläche Zugersee ausgenommen