



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>

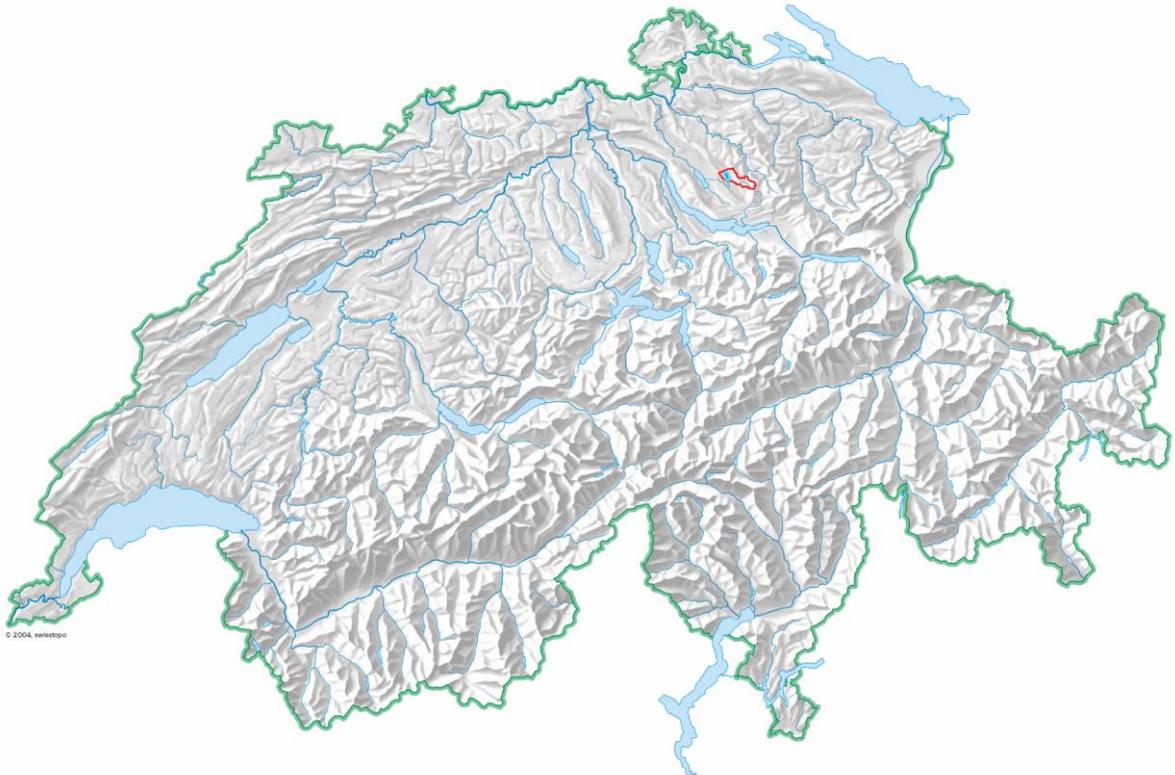
Faktenblatt

Datum

1. Juli 2016

Der Pfäffikersee

Zustand bezüglich Wasserqualität



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

1 Entstehung, Morphologie und Kenndaten

Der Pfäffikersee ist nach der Würm-Eiszeit vor rund 15'000 Jahren nach dem Rückzug des Linthgletschers entstanden. Er reichte zunächst weiter talauf- und talabwärts bis an die Endmoränenwälle. Durch das Geschiebe des Kämpfnerbaches – des Hauptzuflusses – wurde der Pfäffikersee nach und nach zu einem Restsee zugeschüttet.

Der Pfäffikersee liegt in einer flachen Mulde. Eine stabile Temperaturschichtung kann oft bereits im März beobachtet werden (Liechti 1994). Natürlicherweise mischt er trotz seiner geringen Tiefe von 35 m nur ca. jedes zweite Jahr vollständig bis zum Grund (Matzinger et al. 2008).

Das hydrologische Einzugsgebiet des Pfäffikersees umfasst 26 km². Wie beim Greifensee ist das Einzugsgebiet stark anthropogen beeinflusst und weist einen hohen Anteil landwirtschaftlich intensiv genutzter Flächen und Siedlungsflächen auf (Abbildung 1). Der Pfäffikersee weist nach dem Greifensee den zweithöchsten Siedlungsanteil im Einzugsgebiet aller grossen Schweizer Seen auf.

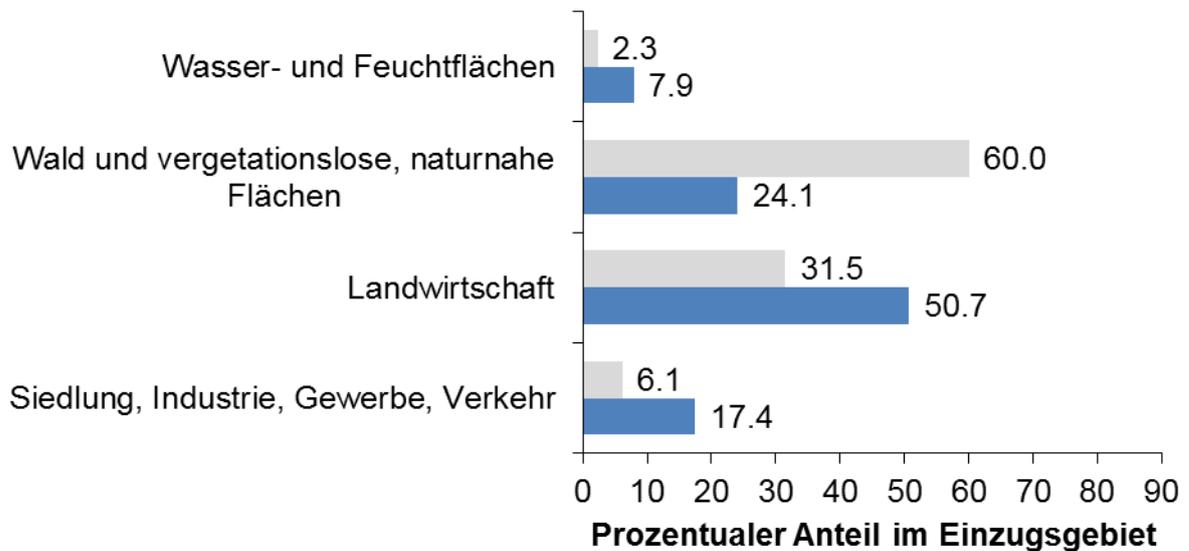


Abbildung 1: Bodennutzung im Einzugsgebiet des Pfäffikersees (blaue Balken) und Bodennutzung als Mittelwert der grössten Schweizer See-Einzugsgebiete (graue Balken) (Stand 2006, Datengrundlagen: EEA (2010), BAFU (2013)).

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 bis 1700 rekonstruiert werden (AquaPlus 2001). Seit ca. 1710 befand sich der Pfäffikersee in einem oligotrophen bis mesotrophen Zustand, durchlief jedoch bis heute drei Eutrophierungsschübe mit maximalen P-Konzentrationen von 40 – 300 µg/l, welche in die Zeiträume um 1750, 1840 und 1960 fielen. Die Ursachen dafür waren der intensive Torfabbau ab 1715 und damit verbundene erhöhte Nährstoffeinträge durch Entwässerungsgräben, die beginnende Industrialisierung im 19. Jahrhundert und die rasant zunehmende Besiedelung und damit verbundene erhöhte Einträge von ungereinigten Abwässern nach dem 2. Weltkrieg (Tabelle 1). Der letzte Eutrophierungsschub war auch der stärkste und beförderte den Pfäffikersee in einen hypereutrophen Zustand, der bis Mitte der 1980er Jahre anhielt.

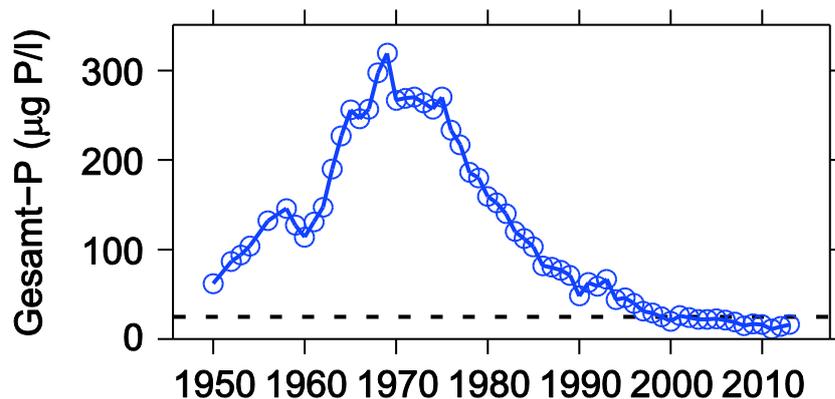


Abbildung 2: Jahresmittelwerte der Phosphorkonzentrationen im Pfäffikersee. Die gestrichelte Linie illustriert den kantonalen Zielwert von 25 µg/l.

Die Eutrophierung des Sees im 20. Jahrhundert konnte auch mit P-Messungen belegt werden. Seit den ersten Messungen im Jahre 1952 nahmen die Jahresmittelwerte der P-Konzentrationen bis in die 1970er Jahre von ca. 80 µg/l auf rund 300 µg/l zu (Abbildung 2). Aufgrund der verschiedenen Sanierungsmassnahmen – Ausbau der Siedlungsentwässerung, Verbesserung der Reinigungsleistung der ARAs, Verbot von phosphathaltigen Waschmitteln und verstärkte Ausrichtung der Landwirtschaft auf integrierte und biologische Produktion – sanken die P-Konzentrationen im Pfäffikersee seit Beginn der 1970er Jahre rasch ab und erreichten 1999 den kantonalen Zielwert von 25 µg/l (Abbildung 2). Parallel verlaufend zu den P-Konzentrationen hat auch die Algenmenge seit 1980 im Pfäffikersee abgenommen und weist auf einen Rückgang der Algenproduktion bzw. die Gesundheit des Pfäffikersees hin (Känel et al. 2012). Seit 2007 haben die P-Konzentrationen nochmals leicht abgenommen und pendeln im Bereich von 15 µg/l (schriftliche Mittl. AWEL), was vermutlich auf die Aufhebung der ARA Bäretswil und den Zusammenschluss mit der ARA Wetzikon zurückzuführen ist (Tabelle 1).

2.2 Sauerstoffgehalt

Sedimentuntersuchungen zeigten, dass im Pfäffikersee ab ca. 1910 sauerstofflose Verhältnisse im Tiefenwasser auftraten (Matzinger et al. 2008, AquaPlus 2001). Die Sauerstoffzehrung im Tiefenwasser nahm mit der fortschreitenden Eutrophierung des Pfäffikersees massiv zu. Mitte der 1950er bis Ende der 1970er Jahre dehnte sich die sauerstofffreie Zone im Sommer regelmässig vom Grund bis 3.5 m unter die Seeoberfläche aus (Abbildung 3). Somit standen den Fischen und anderen Lebewesen lediglich die obersten 3.5 m als Lebensraum zur Verfügung. Im Zuge dieser Eutrophierung sind die Felchen im Pfäffikersee um 1930 ausgestorben. Mit Besatzmassnahmen wurde über mehrere Jahrzehnte vergeblich versucht, die Felchen wieder anzusiedeln.

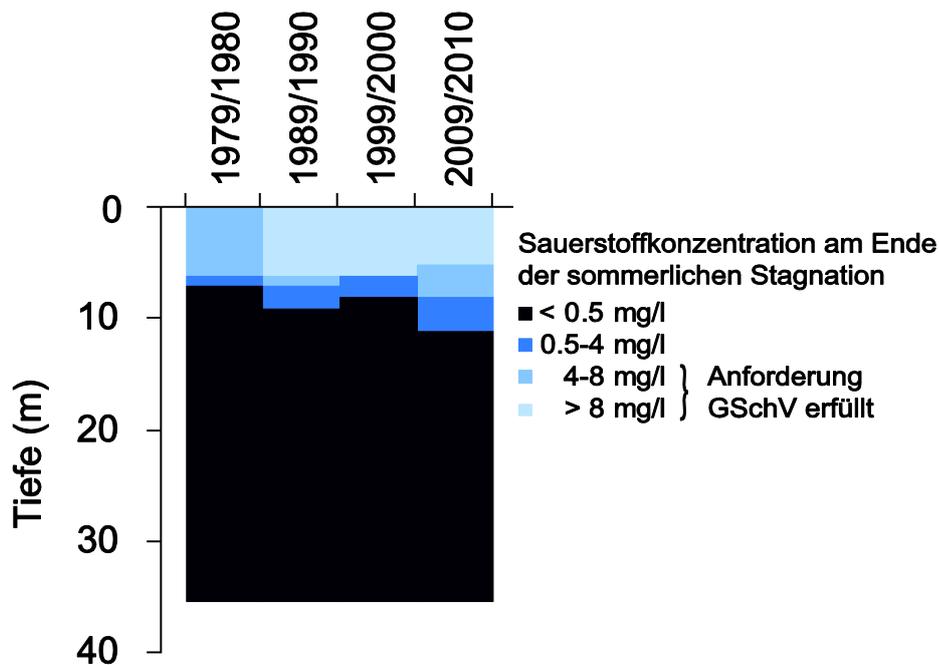


Abbildung 3: Sauerstoffkonzentrationen im Pfäffikersee.

Erst nachdem die P-Frachten durch gezielte Gewässerschutzmassnahmen (Tabelle 1) stark reduziert worden sind und damit die Sauerstoffverhältnisse verbessert wurden, waren auch die Besatzmassnahmen der Felchen erfolgreich und die Bestände erholten sich seit Mitte der 1980er Jahr wieder.

1992 wurde eine Zirkulationsunterstützungsanlage in Betrieb genommen. Die Anlage bewirkte eine jährlich stattfindende Vollzirkulation des Sees, wodurch das Tiefenwasser jedes Jahr mit Sauerstoff angereichert wurde. Dies und weitere Massnahmen zur Reduktion der P-Belastung und Algenproduktion führten dazu, dass sich die Sauerstoffverhältnisse im See weiter verbesserten. Die Zehrungsraten im Tiefenwasser haben abgenommen und das herbstliche Sauerstoffdefizit im Tiefenwasser ist von ca. 7 mg/l (1985 – 1992) auf ca. 4 mg/l (1993 – 2007) zurückgegangen (Matzinger et al. 2008). Zudem ist seit 2003 auch kein für eutrophe Gewässer typisches metalimnisches Sauerstoffminimum mehr aufgetreten. Die Wasserschicht mit genügend hohen Sauerstoffkonzentrationen (>4 mg/l) während der Stagnationsphase hat sich von 3.5 m auf 8.5 m vergrössert. Die Lebensbedingungen für die Felchen haben sich weiter verbessert. Aufgrund der Verschlammung des Seegrundes und der noch zu hohen Sauerstoffzehrung über Grund, können sich Felchen nach wie vor in weiten Teilen des Pfäffikersees noch nicht natürlich fortpflanzen. Schätzungsweise liegt die Naturverlaichung der Felchen heute bei höchstens 1% (Andreas Hertig, Fischereiverwaltung Kt. ZH, mündl. Mitt.). Sollte sich jedoch gemäss den Modellrechnungen ein Zustand, wie er vor 1910 geherrscht hatte, einstellen, so könnte die Naturverlaichung der Felchen im Pfäffikersee wieder möglich werden.

Trotz der verbesserten Sauerstoffverhältnisse im See können die gesetzlichen Anforderungen für Sauerstoff von 4 mg/l zu jeder Zeit an jedem Ort nicht eingehalten werden. Der Sauerstoff in tieferen Wasserschichten wurde Ende der 2000er Jahre nach wie vor aufgebraucht und das Sauerstoffdefizit lag im Bereich von 4 bis 5 mg/l. Der Grund dafür liegt zu einem grossen Teil im sauerstoffzehrenden Einfluss der Sedimente, welcher auf frühere Ablagerungen teilweise aus der hypereutrophen Phase des Pfäffikersees zurückzuführen ist (Matzinger et al. 2008). Matzinger et al. (2008) schätzten den Anteil der Sauerstoffzehrung durch Abbau organischen Materials aus den Sedimenten auf 44% bzw. den Anteil der Zehrung als Folge der Primärproduktion der jeweils aktuellen Saison auf 56%. Zudem ergaben ihre Modellrechnungen eine anzustrebende P-Konzentration von 17 µg/l, bei welcher die aktuelle Algenproduktion unter aeroben Bedingungen abgebaut werden kann. Bei einer P-Konzentration von 12 µg/l würde sogar der gesetzlich geforderte Sauerstoffwert von 4 mg/l eingehalten. Um dieses Ziel zu erreichen, müsste die ermittelte P-Belastung von rund 1.3 t/a nochmals um ca. 40% gesenkt werden.

Prognosen ergaben, dass der Pfäffikersee mit zunehmender Abnahme des Sauerstoffbedarfes der Sedimente und bei erwartetem Rückgang der P-Belastung um ca. 10% einen Zustand erreichen wird, bei welchem längere sauerstofflose Perioden im Tiefenwasser nicht mehr auftreten werden, d.h. ein Zustand, welcher um 1910 herrschte, erreicht wird (Matzinger et al. 2008). Gestützt auf diese positiven Prognosen wurde die sanierungsbedürftige Zirkulationsunterstützung 2011 eingestellt.

Tabelle 1: Die Geschichte des Pfäffikersees im Überblick (AquaPlus 2001, AWEL 2014).

Chronik	
Ab 1715	Torfabbau in Pfäffikon
Ab 1740	Torfabbau in Seegräben und Robenhauser Riet
1860	Künstliche Absenkung des Sees und Regulierung des Seeausflusses
1896	Bau der Kanalisation Pfäffikon, Einleitung des ungereinigten Abwassers in den See
1. Weltkrieg	Intensives Torfstechen
1935	Grosses Fischsterben
2. Weltkrieg	Intensives Torfstechen
1948	Erlass der Schutzverordnung durch Regierungsrat des Kantons Zürich
1950	Inbetriebnahme der ARA Pfäffikon (1. vollbiologische ARA von Europa)
1950 – 1960	Die letzten Torfgräber stellen ihre Arbeit ein
1958 – 1962	Versuche mit künstlicher Belüftung während des Sommerhalbjahres
1968	Erweiterung der ARA Pfäffikon (Volumenvergrösserung)
1973	Inbetriebnahme der ARA Bäretswil
1980	Inbetriebnahme der Kleinkläranlage Ghöch
1981	Erweiterung der ARA Pfäffikon, 4. Stufe
1982	Erweiterung der ARA Bäretswil, Filtration
16.11.1992	Inbetriebnahme der Zirkulationsunterstützungsanlage
1994	Erweiterung und Sanierung der ARA Pfäffikon
23.9.1999	Grosses Felchensterben
2004	Aufhebung der ARA Bäretswil, Anschluss an ARA Wetzikon
4.4.2011	Einstellung des Betriebs der Zirkulationsunterstützungsanlage

3 Fazit

Die bisherigen Massnahmen zur Reduktion der P-Belastung im Einzugsgebiet des Pfäffikersees waren erfolgreich. Die P-Konzentrationen liegen heute unterhalb des kantonalen Zielwertes (

Tabelle 2). Bezüglich Sauerstoffkonzentration konnte der gesetzlich geforderte Wert noch nicht erreicht werden. Ursache dafür ist die hohe Sauerstoffzehrung der Sedimente, welche zu einem grossen Teil von den organischen Ablagerungen früherer Jahre verursacht wird. Zur Erreichung von sauerstoffhaltigem Wasser in allen Seetiefen muss der Phosphorgehalt nochmals um 10 % reduziert werden. Dieses Ziel dürfte mittelfristig erreichbar sein.

Falls die Prognosen der Modellrechnungen für den Pfäffikersee zutreffen, könnte mittelfristig ein Zustand mit ganzjährig sauerstoffhaltigen Verhältnissen im Tiefenwasser erreicht werden, wie das vor 1910 der Fall war.

Tabelle 2: Für den Pfäffikersee gültige Qualitätsziele.

Kriterium	Ziel	Grundlage
O ₂ -Konzentration	> 4 mg/l zu jeder Zeit an jedem Ort	Anhang 2 GSchV
P-Konzentration	< 25 µg/l für Zielerreichung See höchstens mesotroph	Känel et al. (2012)
P-Konzentration	17 µg/l für Zielerreichung O ₂ > 0 mg/l	Matzinger et al. 2008
P-Konzentration	12 µg/l für Zielerreichung O ₂ > 4 mg/l	Matzinger et al. 2008

4 Literatur

AquaPlus 2001: Entwicklung des Gesamtphosphors im Pfäffikersee anhand der im Sediment eingelagerten Kieselalgen. Bericht zuhanden des Amtes für Abfall, Wasser, Energie und Luft des Kantons Zürich.

AWEL 2014: Seen: Auswertung nach Kenngrössen. Amtes für Abfall, Wasser, Energie und Luft des Kantons Zürich.

www.awel.zh.ch/internet/audirektion/awel/de/wasserwirtschaft/gewaesserqualitaet/seen_kenngruessen.html (abgerufen am 10.1.2014).

BAFU, 2013: Einzugsgebietsgliederung 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.

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

Känel B., Steinmann P., Sinniger J., Niederhauser P., 2012: Zürcher Gewässer, Entwicklung - Zustand – Ausblick. Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft des Kantons Zürich, Zürich, 105 S.

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

Matzinger A. et al. 2008: Zirkulationsunterstützung im Türlensee und Pfäffikersee. Evaluation von Betrieb und Messprogramm. Bericht Eawag, 70 S.

5 Auskünfte

wasser@bafu.admin.ch

6 Internet

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

7 Anhang: Charakterisierung des Pfäffikersees und seines Einzugsgebietes.

Morphologie See

Seefläche.....	3.0	km ²
Volumen.....	0.0571	km ³
Meereshöhe Seespiegel.....	537.0	m
Uferlänge.....	8.5	km
maximale Länge.....	2.8	km
maximale Breite.....	1.5	km
maximale Tiefe.....	35	m
mittlere Tiefe.....	19	m
mittlerer Abfluss.....	0.7	m ³ /s
theoretische Aufenthaltszeit.....	2.4	Jahre
Anteil Wasserfläche des Sees im Ausland.....	0	%

Physiogeographie des Einzugsgebiets

Mittlere Meereshöhe.....	674	m
Maximale Meereshöhe.....	1079	m

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

Gesamtfläche ohne Seefläche.....	26	km ²
Flächenanteil des EZG in der Schweiz.....	100.0	%
Siedlungsfläche, Städte, Parks.....	16.9	%
Industrie, Verkehr, Gewerbe.....	0.5	%
Ackerfähiges Land.....	45.4	%
Dauergrünland.....	0.1	%
Dauerkulturen, Reben, Obst.....	5.2	%
Wälder, Strauchvegetation.....	24.1	%
Vegetationslose naturnahe Flächen.....	0.0	%
Wasser- und Feuchtflächen ¹	7.9	%

Einwohner (Stand: 2011, BFS 2011)

Einwohner im EZG in Tausend.....	13.9
----------------------------------	------

Landwirtschaft (Landw. Betriebsstrukturerhebung, BFS 2010)

Talzone.....	44.4	%
Hügelzone.....	41.7	%
Bergzone I.....	12.9	%
Bergzone II.....	0.9	%
Bergzone III.....	0.0	%
Bergzone IV.....	0.0	%
Sommerungsgebiet.....	0.0	%
GVE im Einzugsgebiet (ohne See).....	0.056	ha ⁻¹

¹ Fläche Pfäffikersee ausgenommen