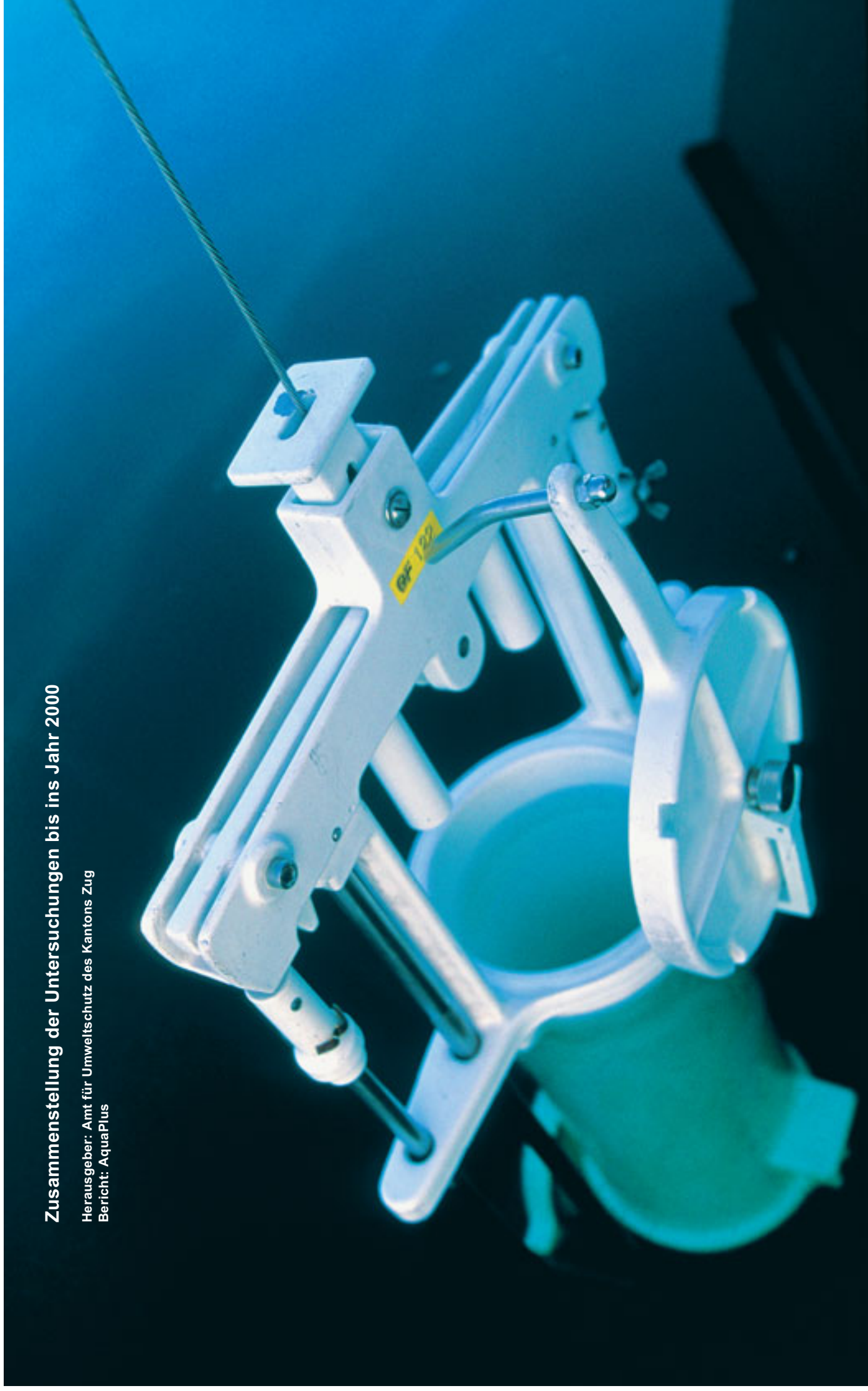


Untersuchung der Fliessgewässer und Seen im Kanton Zug und im Einzugsgebiet des Zugersees

Zusammenstellung der Untersuchungen bis ins Jahr 2000

Herausgeber: Amt für Umweltschutz des Kantons Zug
Bericht: AquaPlus



Titelbild: Schöpfflasche für die Entnahme von Wasserproben aus Seen.

Untersuchung der Fliessgewässer und Seen im Kanton Zug und im Einzugsgebiet des Zugersees

Zusammenstellung der Untersuchungen
bis ins Jahr 2000

Herausgeber

Amt für Umweltschutz des Kantons Zug, Aabachstrasse 5, Postfach, 6301 Zug

Berichterstellung

AquaPlus Elber Hürlimann Niederberger, Bundesstrasse 6, 6300 Zug

Zug, April 2004

Inhalt

	Seite
1 Einleitung	2
2 Untersuchungsprogramme	3
2.1 Seen	3
2.2 Fliessgewässer	8
3 Rechtliche Anforderungen und Datenauswertung	12
3.1 Seen	12
3.2 Fliessgewässer	13
4 Lebensraum See	21
5 Untersuchungsergebnisse Seen	29
5.1 Zugersee	29
5.2 Ägerisee	32
5.3 Wilersee	34
6 Eutrophierung und Sanierung des Zugersees	36
7 Eutrophierung und Sanierung des Wilersees	43
8 Lebensraum Fliessgewässer	47
9 Untersuchungsergebnisse Fliessgewässer	55
9.1 Zuflüsse in den Zugersee	56
9.2 Zuflüsse in den Ägerisee	56
9.3 Zuflüsse in den Wilersee	57
9.4 Übrige Fliessgewässer	66
9.5 Die Lorze im Fliess- und Zeitverlauf	67
9.6 Der Gesamtposphor ausgewählter Seezuflüsse	71
10 Ausblick	73
11 Glossar	75
12 Bildnachweis, Grafiken und Kartengrundlagen	80
13 Literatur	82

Einleitung

Die Gewässer des Kantons Zug sind von ganz unterschiedlicher Grösse, landschaftlicher Prägung und Bedeutung. Während der Zugersee und der Ägerisee zusammen rund ein Fünftel der Kantonsfläche einnehmen und damit das Bild der Landschaft des Kantons Zug bedeutend mitbestimmen, wirken Kleinseen wie der lieblich eingebettete Wilersee in der Moränenlandschaft von Menzingen oder der von Wald umgebene und von Spaziergängern vielbesuchte Steinhäuser Waldweiher trotz Kleinheit nicht minder auf uns Menschen. Die Zuger Gewässer charakterisieren und strukturieren unseren Lebensraum ganz wesentlich, auch wenn dies im Alltag nicht immer zum Vorschein kommt. So gibt es nur wenige Standorte im Kanton Zug, von welchen aus nicht entweder der Zugersee, der Ägerisee oder eines der grossen Fliessgewässer Lorze, Reuss oder Sihl wahrgenommen werden kann. Alle 11 Zuger Gemeinden liegen an mindestens einem dieser fünf erwähnten grössten Gewässer des Kantons Zug. Die Wahrnehmung der Zuger Gewässer in der Bevölkerung dürfte aber sehr unterschiedlich intensiv und aus verschiedenen Sichtweisen erfolgen. Während die einen täglich Zuger Gewässer aufsuchen, sei es aus beruflichen Gründen oder in der Freizeit, und damit ein sehr enges und bewusstes Verhältnis zu Zuger Gewässern haben, sind sich wahrscheinlich viele Bewohner des Kantons Zug nicht bewusst, über welchen Gewässerreichtum und über welche Gewässerqualität ihr Kanton verfügt.

Mit dem Zuger Gewässerbericht wollen die Vollzugsbehörden der Bevölkerung die Zuger Gewässer im Allgemeinen, die Lebensräume See und Fliessgewässer sowie deren chemische Wasserqualität im Speziellen vorstellen. Der Bericht erläutert zudem die im Rahmen des Vollzuges erhobenen chemischen Messwerte, wobei die Beurteilung der Gewässer erstmals auf den Anforderungen der neuen Gewässerschutzverordnung (GSchV) basiert. Im Bericht werden auch die Sanierungsbemühungen zur Verbesserung des Zugersees und des Wilersees, die langjährige Entwicklung des Nährstoffgehaltes sowie die Sanierungsziele dargelegt. Im Weiteren wird auf wichtige gewässerspezifische Probleme, Erkenntnisse und gesetzliche Anforderungen hingewiesen, die künftig die Untersuchungsprogramme und -intensitäten in den Kantonen mitbestimmen werden. Dabei dürften in Zukunft neben den laufenden chemischen Erhebungen gemäss Modul-Stufen-Konzept des Bundes zusätzlich andere Verfahren eingesetzt werden. Diese verfolgen das Ziel, die Qualität der Zuger Gewässer möglichst umfassend, d.h. auch hinsichtlich der Qualität des Lebensraumes sowie der Organismenzusammensetzung darzustellen.

Die Veröffentlichung des Zuger Gewässerberichtes entspricht zudem der Orientierungspflicht, welche Bund und Kantone gemäss Artikel 50 des Gewässerschutzgesetzes und Artikel 49 der GSchV haben. **Eine 14-seitige Kurzfassung des vorliegenden Berichtes erschien im Zuger Informationsmagazin *Blickpunkt Umwelt* (Nr. 20) und kann auf der Website des Amtes für Umweltschutz (www.zug.ch/afu) in der Rubrik Drucksachen bezogen werden.**

2 Untersuchungsprogramme

2.1 Seen

Die regelmässige Überwachung der Seen führt im Kanton Zug das Kantonale Amt für Lebensmittelkontrolle im Auftrag des Kantonalen Amtes für Umweltschutz durch. Es werden monatlich der Zugersee, der Ägerisee und der Wilersee untersucht. Dazu werden über der tiefsten Stelle in verschiedenen Seetiefen mit einer Multisonde die Wassertemperatur, der Sauerstoffgehalt, die Leitfähigkeit und der pH-Wert des Wassers gemessen. Zur Bestimmung der Nährstoffe Phosphor und Stickstoff sowie weiterer chemischer Parameter wie Eisen, Mangan, Methan und Sulfid werden mit einer Schöpfflasche aus den gleichen Tiefenstufen Wasserproben entnommen und im Labor analysiert. Die morphologischen und hydrologischen Kenndaten wie auch die Einzugsgebiete des Zuger und Ägerisees sowie das Untersuchungsprogramm mit der Parameterliste befinden sich in der folgenden Abbildung 1 sowie in den Tabellen 1 und 2.

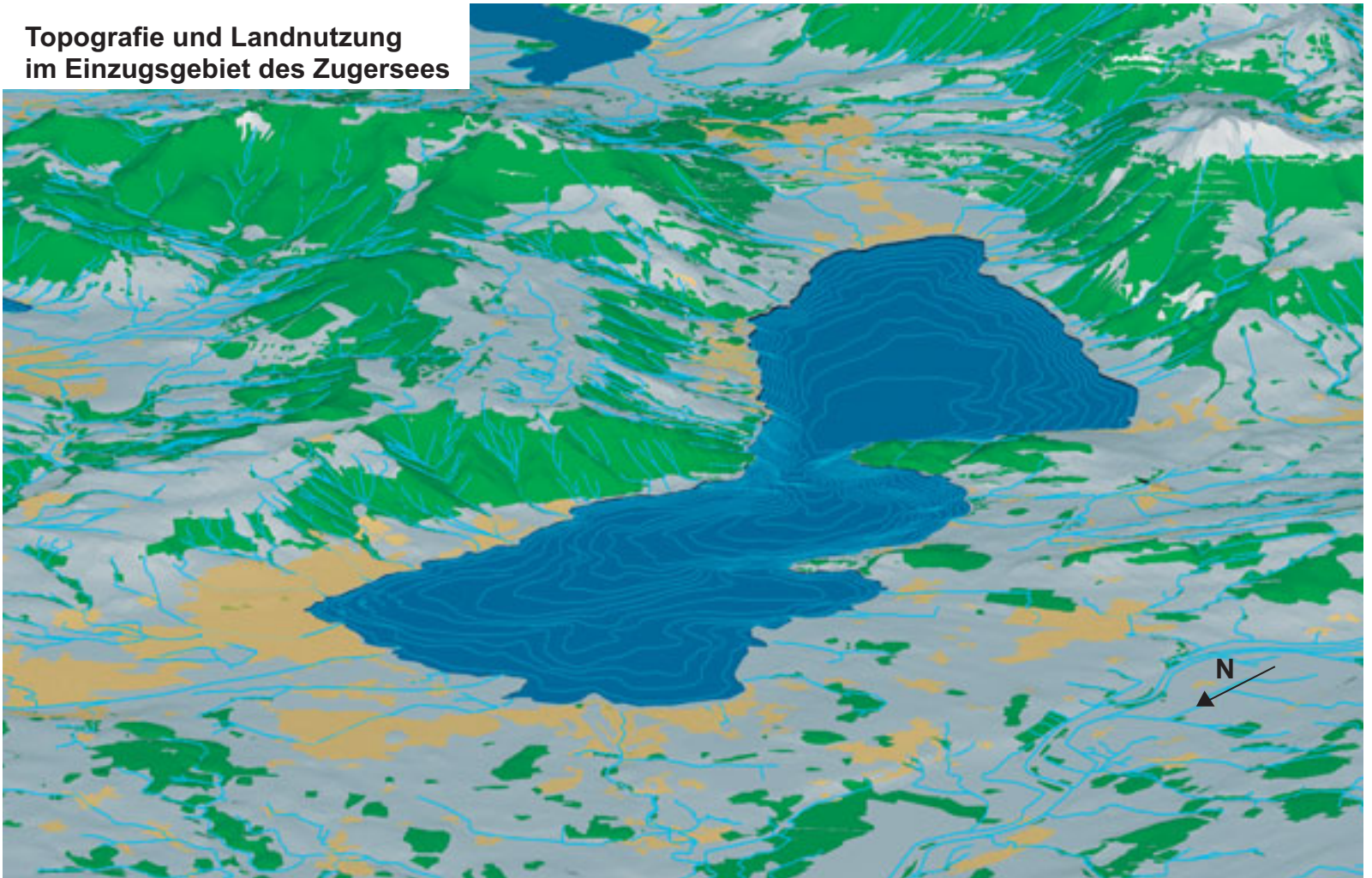
Die erhobenen Daten und Auswertungen erlauben den Gewässerzustand und dessen Entwicklung aufzuzeigen. Sie dienen somit auch der Erfolgskontrolle der durchgeführten internen und externen Sanierungsmassnahmen.

Tabelle 1:
Morphologische
und hydrologische
Kenndaten des Zu-
ger-, Ägeri- und
Wilersees sowie
Charakterisierung
der Einzugsgebiete

Kennwert	Einheit	Zugersee*	Ägerisee	Wilersee
Seeoberfläche	[ha]	3'844	730	3
Nordbecken	[ha]	2'230		
Südbecken	[ha]	1'590		
Maximale Länge	[km]	13.8	5.4	0.21
Maximale Breite	[km]	4.7	1.9	0.19
Maximale Tiefe	[m]	198	83	20.8
Mittlere Tiefe	[m]	83.2	48.9	12.3
Nordbecken	[m]	52		
Südbecken	[m]	127		
Seevolumen	[km ³]	3.2	0.36	0.00037
Nordbecken	[km ³]	1.2		
Südbecken	[km ³]	2.0		
Mittlere Abflussmenge	[m ³ /s]	7.1	1.5	0.003-0.004
Maximum 1970	[m ³ /s]	10.3		
Minimum 1949	[m ³ /s]	3.1		
Mittlere Aufenthaltszeit	[Jahre]	14.7	6.8	2.2
Höhe über Meer	[m. ü. M.]	414	724	729
Fläche des Einzugsgebietes**	[ha]	16'321	4'068	58
Anteil Wald	[%]	27.3	48.8	1.7
Anteil Siedlung	[%]	11.4	4.1	1.6
Anteil Übriges v.a. (Landwirtschaft)	[%]	61.4	47.1	96.7

* Einzugsgebietsfläche ohne Einzugsgebiet Ägerisee, ** Einzugsgebietsfläche ohne Seefläche.

**Topografie und Landnutzung
im Einzugsgebiet des Zugersees**



Siedlungsgebiet



Wald



Übriges Gebiet

**Topografie und Landnutzung
im Einzugsgebiet des Ägerisees**

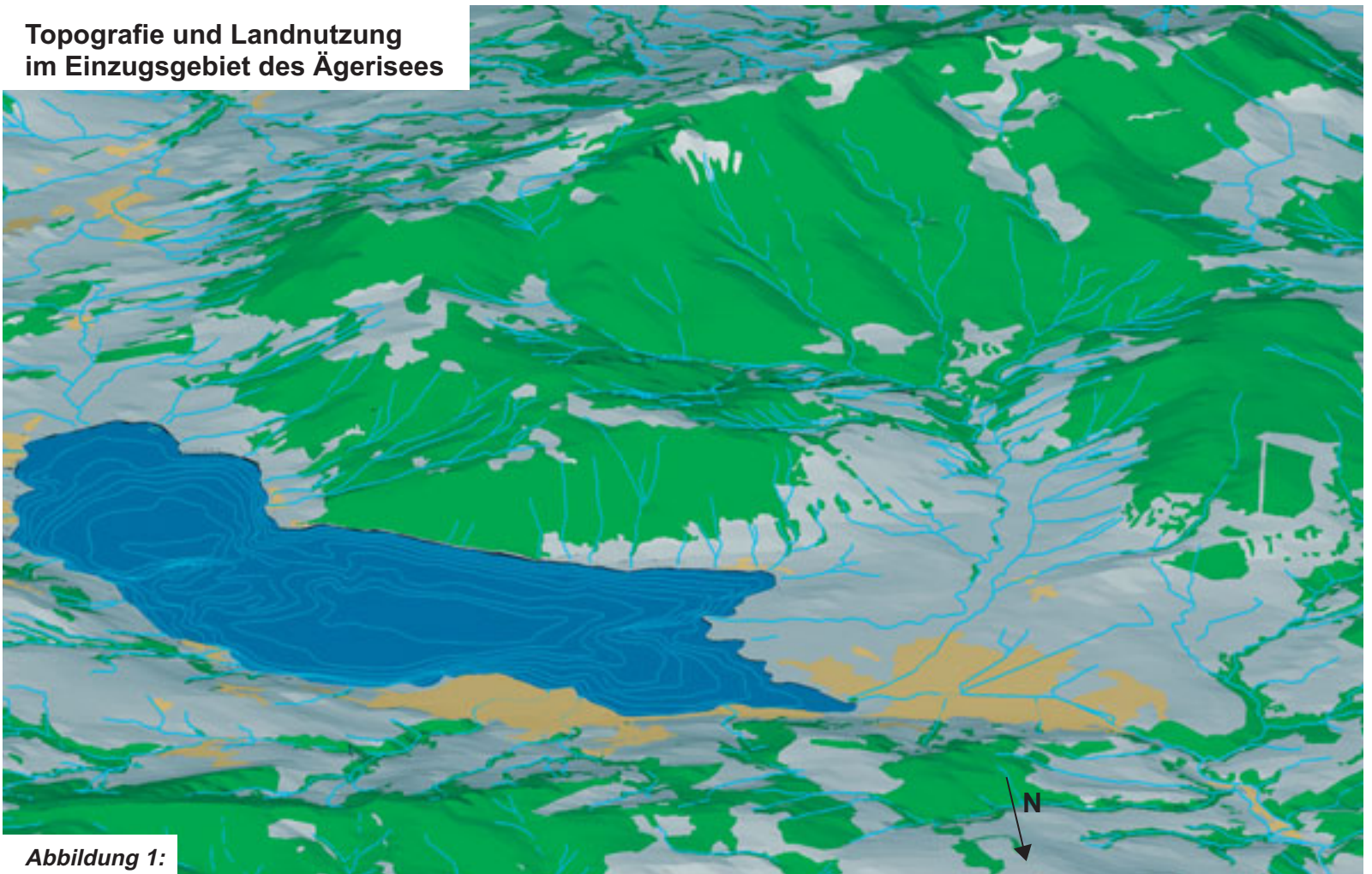


Abbildung 1:

Morphologie

Das Seebecken des **Zugersees** ist das Ergebnis verschiedener geologischer Prozesse. Das Becken entstand durch einen tektonischen Bruch, welches durch die Ur-Reuss/Muota vertieft und erweitert wurde. Anschliessend haben glaziale Erosionen während der letzten grossen Vereisungsphase die heutige Morphologie des Seebeckens geformt. Der Zugersee ist durch eine Einschnürung beim Chiemen in den Zuger Untersee (Nordbecken) und den Obersee (Südbecken) unterteilt (Abbildung 2). Im Nordbecken senkt sich der Seeboden von der Stadt Zug aus bis zur Einschnürung auf 120 m Tiefe ab. Im trichterförmigen Südbecken befindet sich die tiefste Stelle von 198 m. Trotz der Einschnürung beim Chiemen sind der Stoff- und Wassertransport kaum eingeschränkt. Die Austauschzeit zwischen den beiden Seebecken beträgt nicht mehr als 30 Tage. Der Wasserspiegel des Zugersees wird reguliert und gemessen.

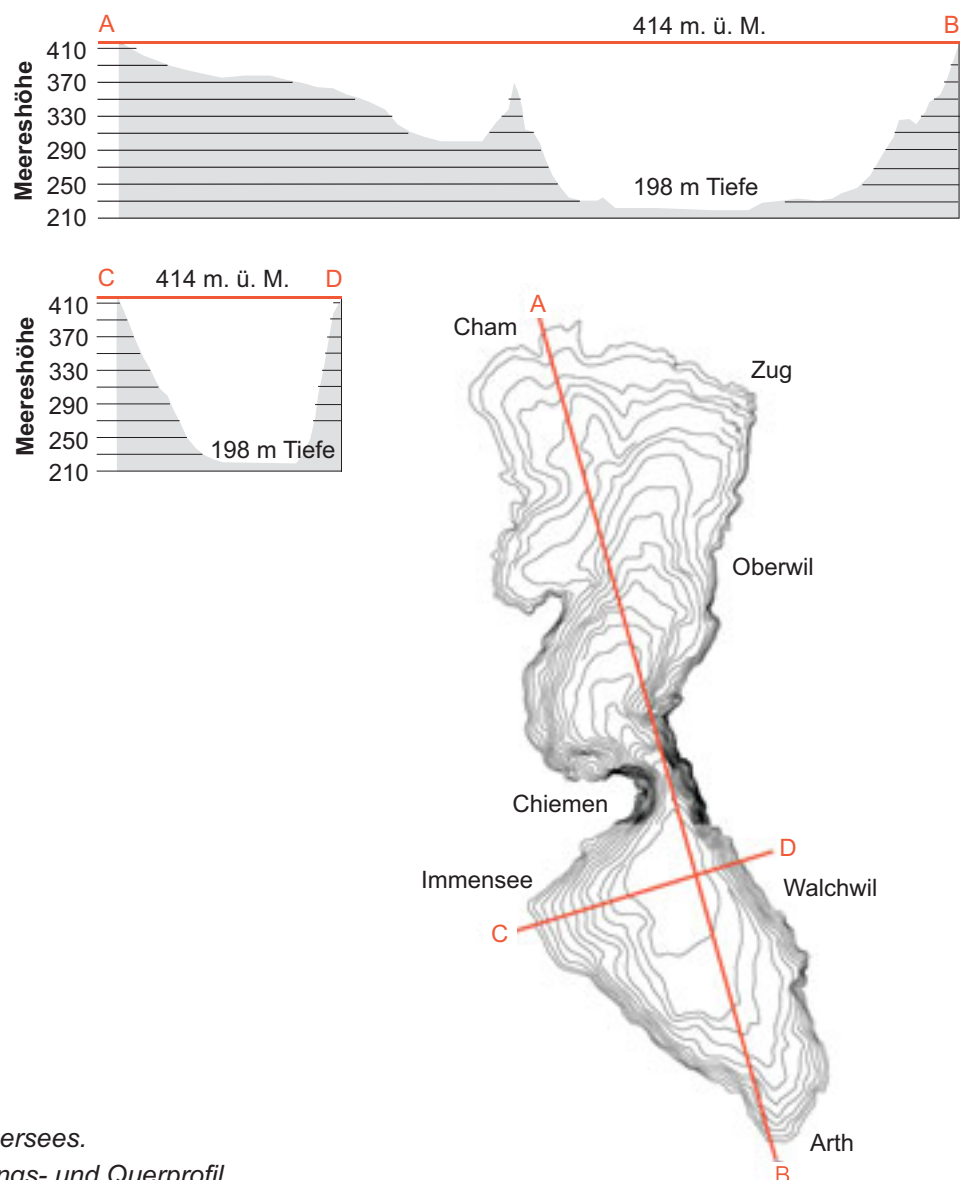


Abbildung 2:

Morphologie des Zugersees.

Tiefenkarte sowie Längs- und Querprofil

Das Seebecken des **Ägerisees** wurde durch einen Seitenarm des Muota/Reuss-Gletschers während der Spätwürm-Eiszeit vor etwa 120'000 bis 10'000 Jahren ausgehoben. Beim Abschmelzen des Gletscherarms während des Bremgarten-Stadiums trennten sich im Becken Toteisblöcke ab, die anschließend zum Ur-Ägerisee abschmolzen. Gleichzeitig wurde von Morgarten eine Schotterflur in den werdenden See eingetragen.

Der Ägerisee besteht heute aus zwei Becken, deren U-Form für Seebecken typisch ist, die durch Gletscherauskolung entstanden sind (Abbildung 3). Die beiden Unterbecken weisen maximale Tiefen von 83 m und 81 m auf. Sie sind durch eine Molasserippe getrennt, die bis in 60 m Tiefe hinaufreicht. Der Wasserspiegel des Ägerisees wird reguliert und gemessen.

Der **Wilersee** liegt in der Moränenlandschaft von Menzingen und entstand nach der letzten Eiszeit in einer abflusslosen Geländemulde. Er stellt ein Toteissee dar. Der Wilersee weist eine maximale Tiefe von 20.8 m auf, welche ungefähr in der Mitte des Sees liegt. Der Wasserspiegel des Wilersees wird beim Abfluss, welcher sich im Osten des Sees befindet, reguliert und gemessen.

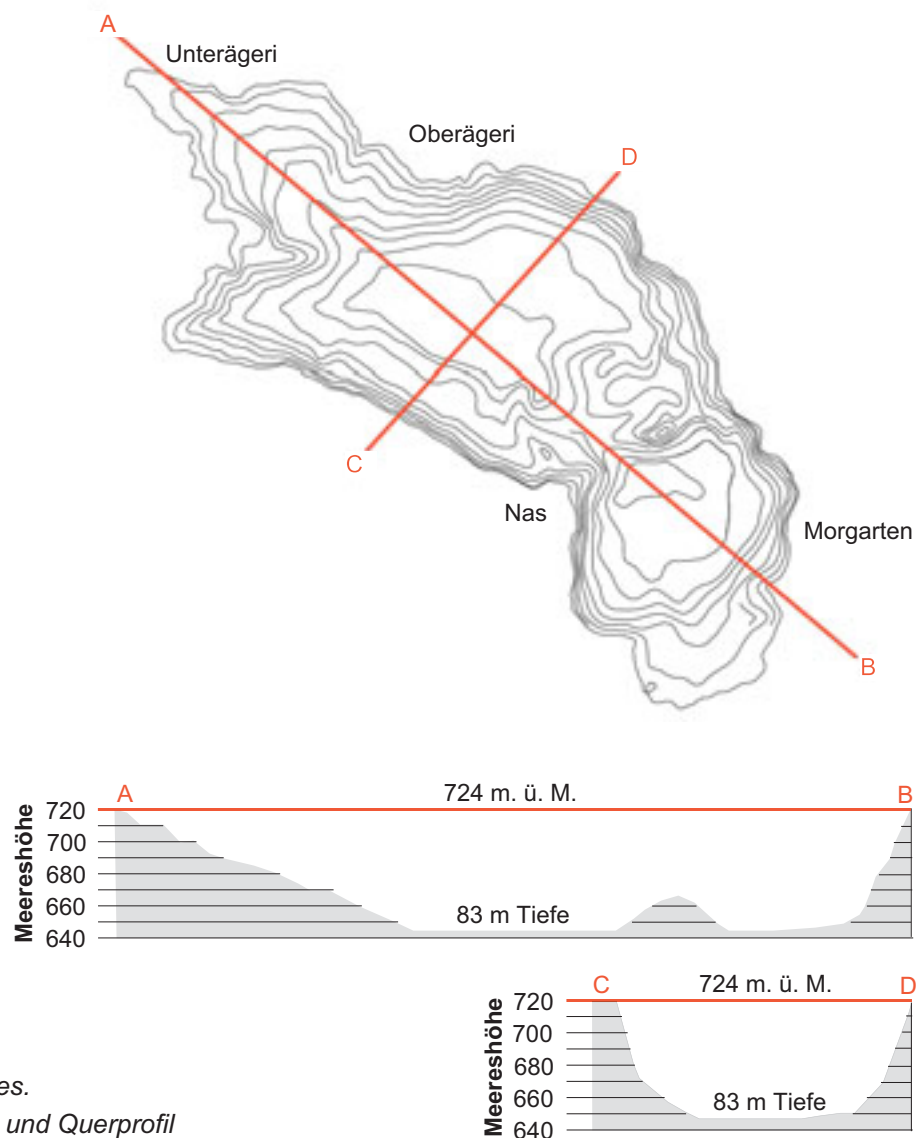


Abbildung 3:
Morphologie des Ägerisees.
Tiefenkarte sowie Längs- und Querprofil

Einzugsgebiete

Die Einzugsgebiete (EZG) des Zuger-, Ägeri- und Wilersees unterscheiden sich bezüglich ihrer Grösse stark. Während das EZG des Zugersees (inkl. EZG Ägerisee) mit einer Fläche von 204 km² fast der ganzen Fläche des Kantons Zug entspricht, ist dasjenige des Ägerisees rund fünf mal und jenes des Wilersees rund 350 mal kleiner. Das EZG des Zugersees wie auch dasjenige des Ägerisees ist aber nur vier bis sechs mal grösser als die betreffende Seeoberfläche. Das EZG des Wilersees hingegen ist 19 mal so gross wie die Oberfläche des Wilersees.

In Abbildung 1 befindet sich eine dreidimensionale Darstellung der Topografie der EZG des Zugersees und Ägerisees. Darin sind die in Tabelle 1 aufgeführten Anteile Wald, Siedlung und übriges Gebiet (hauptsächlich Landwirtschaft, ebenfalls Strassen ausserhalb der Siedlung, unproduktive Flächen, Fels, etc.) mit verschiedenen Farben dargestellt. Während das EZG des Ägerisees fast zu 50 % aus **Wald** besteht, nimmt der Wald im EZG des Zugersees (exkl. Ägerisee) 27 % und im EZG des Wilersees bloss 2 % der Fläche ein. Demgegenüber hat das EZG des Zugersees einen deutlich höheren Anteil an **Siedlungsflächen**, als die beiden anderen EZG (Zugersee: 11 %, Ägerisee: 4 %, Wilersee: 2 %). Den höchsten Anteil an **landwirtschaftlich genutzten Flächen** weist der Wilersee auf. Praktisch sein ganzes EZG untersteht dieser Nutzung. Im EZG des Zugersees nimmt der Anteil der Landwirtschaft (inkl. Übriges) rund 60 % und im EZG des Ägerisees 47 % ein.

Allen drei EZG ist gemeinsam, dass gereinigtes **Abwasser** aus der Siedlungsentwässerung nicht in die Seen eingeleitet wird. Das Abwasser aus dem EZG des Ägeri- und Zugersees wird gesammelt, in der Kläranlage Schönau gereinigt und anschliessend der Unteren Lorze zugeführt. Im EZG des Wilersees befinden sich keine grösseren Siedlungen.

Tabelle 2:
Untersuchungs-
programm Seen

Messparameter	Symbol	Bedeutung	Einheit	Messintervall
Temperatur	T	Durchmischung	°C	monatlich, ganzjährig
Leitfähigkeit (25 °C)	L	Ionengehalt	µS/cm	monatlich, ganzjährig
Sauerstoff	O ₂	Organismen	mg/l	monatlich, ganzjährig
pH-Wert	pH	Organismen	-	monatlich, ganzjährig
Silikat	SiO ₂	Nährstoff	mg/l	monatlich, ganzjährig
Phosphat	PO ₄ -P	Nährstoff	mg/l P	monatlich, ganzjährig
Filtrierter Phosphor	P-filtr.	bio verfügbarer P	mg/l P	monatlich, ganzjährig
Gesamtposphor	P-roh	inkl. P in Biomasse	mg/l P	monatlich, ganzjährig
Nitrat	NO ₃ -N	Nährstoff	mg/l N	monatlich, ganzjährig
Nitrit	NO ₂ -N	Nährstoff	mg/l N	monatlich, ganzjährig
Ammonium	NH ₄ -N	Nährstoff	mg/l N	monatlich, ganzjährig
Eisen total	Fe-tot	Redox/O ₂ -Zehrung	mg/l	monatlich, ganzjährig
Eisen gelöst	Fe-gel	Redox/O ₂ -Zehrung	mg/l	monatlich, ganzjährig
Mangan	Mn	Redox/O ₂ -Zehrung	mg/l	monatlich, ganzjährig
Methan	CH ₄	Redox/O ₂ -Zehrung	mg/l	monatlich, Sommermonate
Sulfid	S ²⁻	Redox/O ₂ -Zehrung	mg/l	monatlich, Sommermonate

2.2 Fliessgewässer

Die Untersuchung der Fliessgewässer führt im Kanton Zug das Kantonale Amt für Umweltschutz durch. Die Wasserproben werden im Kantonalen Laboratorium des Amtes für Lebensmittelkontrolle analysiert. Die chemischen und physikalischen Erhebungen erfolgen an 36 Fliessgewässer im Abstand von zwei Wochen und gruppenweise alternierend im Turnus von drei Jahren. An den Messstellen Obere Lorze (Letzi) und Untere Lorze (Frauental) werden kontinuierlich abflussmengenproportional Proben entnommen und als Eintages- (= 24 Stundenmischprobe) oder Mehrtagesprobe (= Mischprobe) analysiert. Zur Berechnung der Stofffrachten in den Zugersee sind an der Oberen Lorze (Letzi), an der Rigi-Aa (Oberarth) und am Aabach (Oberrisch) Abflussmessungen installiert. Ebenso befinden sich an den zwei Zuflüssen in den Wilersee Abflussmessgeräte, welche Frachtberechnungen erlauben.

Die erhobenen Fliessgewässerdaten dokumentieren den Gewässerzustand und dienen der Erfolgskontrolle der laufenden Gewässerschutzmassnahmen. Sie sind zudem eine wichtige Grundlage für die Planung weiterführender Massnahmen.

Die Lage der untersuchten Fliessgewässer sowie die Position der Untersuchungsstellen sind aus Abbildung 4 ersichtlich. Das Untersuchungsprogramm mit den Messparametern und den Messintervallen ist in den Tabellen 3 und 4 zusammengestellt.

Tabelle 3:
Untersuchungs-
programm
Fliessgewässer

Messparameter	Symbol	Bedeutung	Einheit	Messintervall
Temperatur	T	Organismen	°C	zweiwöchentlich
Leitfähigkeit (25 °C)	L	Ionengehalt	µS/cm	zweiwöchentlich
pH-Wert	pH	Organismen	-	zweiwöchentlich
Phosphat	PO ₄ -P	Nährstoff/Belastungszeiger	mg/l P	zweiwöchentlich
Filtrierter Phosphor	P-filtr.	bioverfügbarer Phosphor	mg/l P	zweiwöchentlich
Gesamtphosphor	P-roh	inkl. Phosphor in Biomasse	mg/l P	zweiwöchentlich
Nitrat	NO ₃ -N	Nährstoff/Belastungszeiger	mg/l N	zweiwöchentlich
Nitrit	NO ₂ -N	Nährstoff/Belastungszeiger	mg/l N	zweiwöchentlich
Ammonium	NH ₄ -N	Nährstoff/Belastungszeiger	mg/l N	zweiwöchentlich
Bor	B	Belastungszeiger	mg/l	zweiwöchentlich
Chlorid	Cl	Belastungszeiger	mg/l	zweiwöchentlich
DOC	C	Belastungszeiger	mg/l	zweiwöchentlich

Tabelle 4:

Charakterisierung der im Bericht ausgewerteten Zuger Fließgewässer.

- * Bei den Messstationen Obere Lorze (Letzi) und Untere Lorze (Frauental) werden die Wasserproben automatisch abflussproportional entnommen. Das heisst, dass die Menge Lorzenwasser, die in ein Probenahmegefäß geschöpft wird, in Abhängigkeit des Abflusses steht. Diese Art von Probenahme wird zur Berechnung von Stofffrachten verwendet.
 24 Stunden Sampler = Probenahmegefäß wird nach 24 Stunden ausgewechselt und das Wasser dann analysiert.
 Kontinuierlicher Sampler = Probenahmegefäß wird nach 5-9 Tagen ausgewechselt und das Wasser dann analysiert.
 EZG Fläche des Einzugsgebietes. Lage der Einzugsgebiete sowie der Messstellen siehe Abbildung 4.

Nr	Fließsgewässer	Lokalität	Mess- stellen- nummer	Koordinaten		EZG [ha]	Anzahl Probenahmen			
							1997	1998	1999	2000
Einzugsgebiet Zugersee										
1	Aabach	Risch	Nr. 1010	677'600	218'850	1'499		28	24	25
2	Alte Lorze	Koller	Nr. 1720	679'075	225'750	-			26	
3	Bachtalenbach	Blickensdorf	Nr. 1610	681'550	228'470	252			26	
4	Dersbach	Seemündung	Nr. 1030	677'000	224'370	188	17		1	24
5	Dürnbach	Bethlehem	Nr. 1050	685'670	225'720	-		25		
6	Edlibach	Edlibach Dorf	Nr. 1056	685'750	226'320	289		25		
7	Grienbach	Inwil	Nr. 7720	683'100	226'100	212			26	
8	Lissibach	Deinikon	Nr. 1520	683'680	229'250	162	24			24
9	Littibach	Deinikon	Nr. 1510	683'670	229'250	473	24			24
10	Obere Lorze	Unterägeri	Nr. 1404	686'870	221'250	-		26	24	25
11	Obere Lorze*	Letzi (24 Stunden Sampler)	Nr. 1403	680'500	225'900	10'718	12	12	12	12
	Obere Lorze*	Letzi (kontinuierlicher Sampler)	Nr. 1403	680'500	225'900	10'718	45	52	45	45
12	Lotenbach	Walchwil	Nr. 7103	680'575	218'725	405		28	23	
13	Mühlebach	Oberwil	Nr. 7202	681'500	221'863	223	27	28		
14	Dorfbach	Steinhausen	Nr. 1710	679'300	226'900	381			26	
15	Rämselbach	Sagenmattli	Nr. 1031	685'500	222'170	840		25		
16	Rigi-Aa	Oberarth	Nr. 1109	683'650	212'820	1'864		30	24	25
17	Rufibach	Walchwil	Nr. 7017	682'300	216'025	476	22		1	25
18	Schwarzenbach	Allenwinden	Nr. 7710	684'700	225'030	223			26	
19	Sijentalbach	Zwijern	Nr. 1012	677'100	222'370	158	17			24
20	Teuftännlibach	Neuägeri	Nr. 1032	685'420	222'500	203		25		
21	Walterswilerbach	Deinikon	Nr. 1530	683'750	229'020	228	24			24
Einzugsgebiet Ägerisee										
22	Bietenberggrusenbach	Eierhals Morgarten	Nr. 4022	691'170	219'100	88		25		
23	Dorfbach	Oberägeri	Nr. 4025	689'470	221'500	634		26	24	25
24	Hüribach	Camping	Nr. 4026	687'500	220'300	1'282		26	24	25
25	Sulzmattbach	Oberägeri (Seemündung)	Nr. 4024	690'480	220'300	75			26	
26	Trombach	Morgarten	Nr. 4021	690'870	217'450	270		25		
Einzugsgebiet Wilersee										
27	Erlenmoosbach	Kiesfang (Kantonsstrasse)	Nr. 8102	689'375	224'975	29		24	23	24
28	Zulauf Sennhütte	Sennhütte	Nr. 8001	689'400	225'150	31		26	24	25
Einzugsgebiet Reuss										
29	Binnenkanal	Stadelmatt	Nr. 6012	672'950	231'200	-	17			24
30	Untere Lorze	Cham	Nr. 6	677'550	225'920	24'963		26	24	25
31	Untere Lorze*	Frauental (24 Stunden Sampler)	Nr. 6001	674'700	229'850	-	12	12	12	12
	Untere Lorze*	Frauental (kontinuierlicher Sampler)	Nr. 6001	674'700	229'850	-	42	53	43	46
32	Steintobelbach	Binzmühleweiher	Nr. 3001	674'800	221'600	371	17			24
33	Tobelbach	Hagendorn	Nr. 6011	675'520	228'550	581	17			24
Einzugsgebiet Sihl										
34	Auslauf Wilersee	Seeauslauf (inkl. Tiefenwasserabl.)	Nr. 8003	689'550	225'050	-		26	24	25
35	Winzenbach	Sarbach (ob ARA Neuheim)	Nr. 9062	686'920	229'070	504		25	24	25
36	Sihl	Sihlbrugg	Nr. 9001	686'620	230'300	-		25		

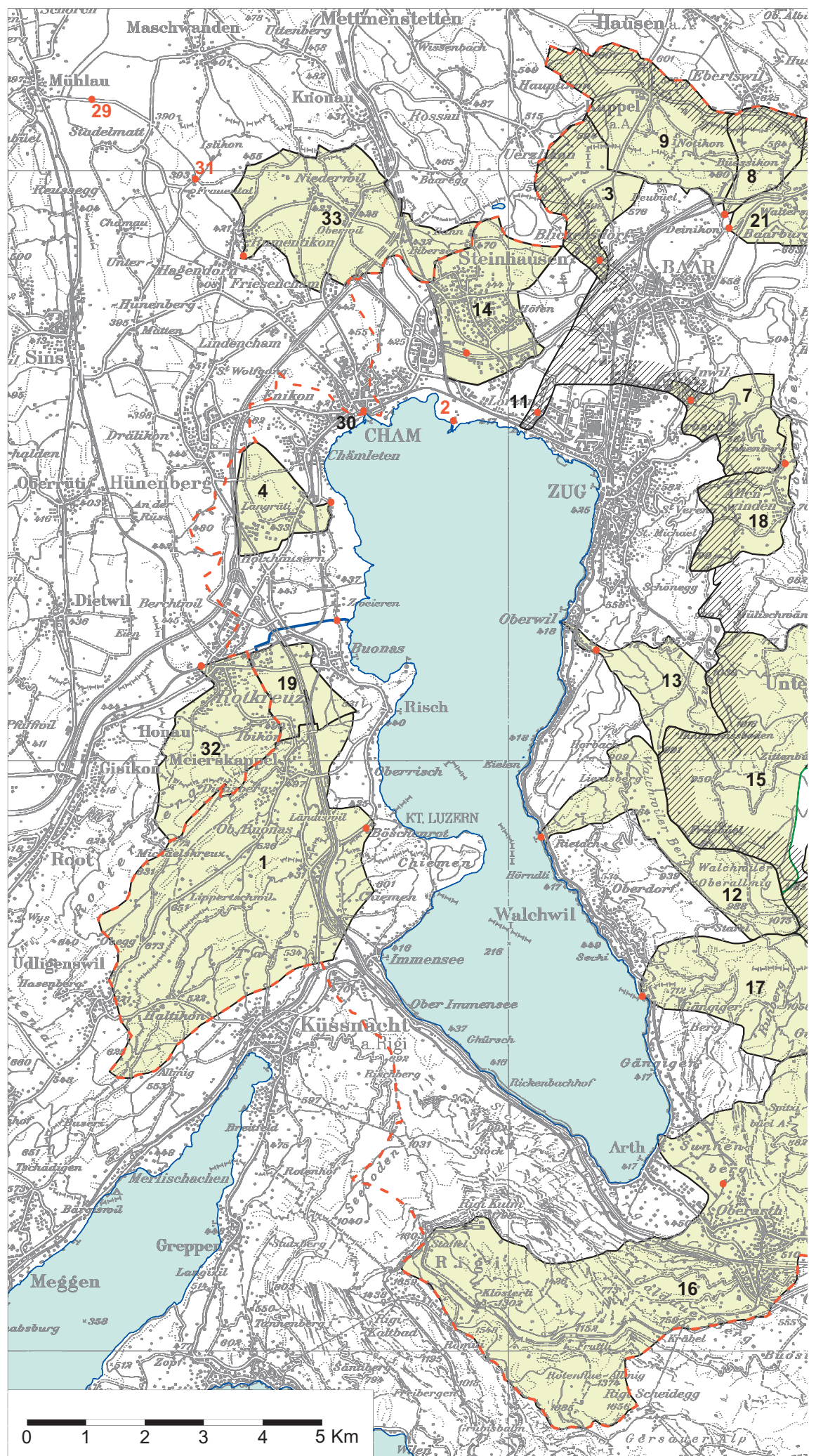
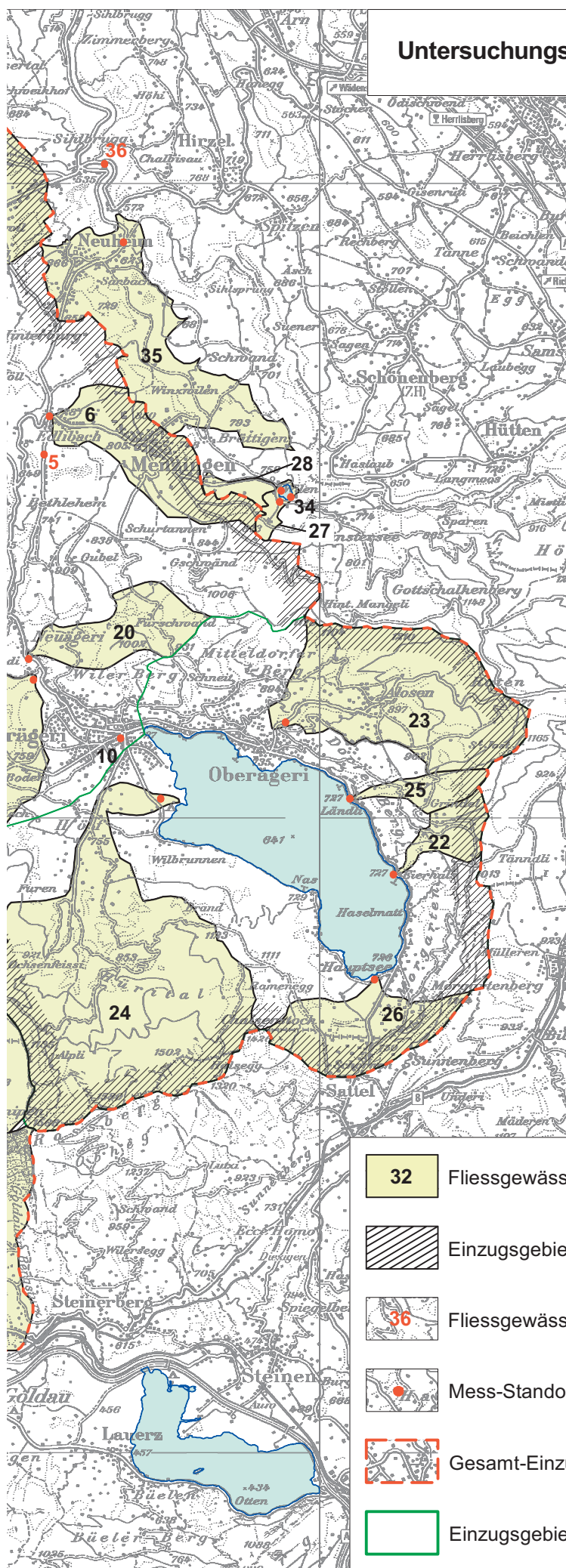


Abbildung 4:

Untersuchungsstellen und Einzugsgebiete



- 1 Aabach
- 2 Alte Lorze
- 3 Bachtalenbach
- 4 Dersbach
- 5 Dürrbach
- 6 Edlibach
- 7 Grienbach
- 8 Lissibach
- 9 Littibach
- 10 Obere Lorze (Unterägeri)
- 11 Obere Lorze (Letzi)
- 12 Lotenbach
- 13 Mühlebach
- 14 Dorfbach Steinhausen
- 15 Rämselfach
- 16 Rigi-Aa
- 17 Rufibach
- 18 Schwarzenbach
- 19 Sijentalbach
- 20 Teuftännlibach
- 21 Walterswilerbach
- 22 Bietenberggrusenbach
- 23 Dorfbach Oberägeri
- 24 Hürbach
- 25 Sulzmattbach
- 26 Trombach
- 27 Erlenmoosbach
- 28 Zulauf Sennhütte
- 29 Binnenkanal
- 30 Untere Lorze (Cham)
- 31 Untere Lorze (Frauental)
- 32 Steintobelbach
- 33 Tobelbach
- 34 Auslauf Wilersee
- 35 Winzenbach
- 36 Sihl

32

Fließgewässer mit Angabe des Einzugsgebietes



Einzugsgebiet Obere Lorze



Fließgewässer ohne Angabe des Einzugsgebietes



Mess-Standorte



Gesamt-Einzugsgebiet des Zugersees



Einzugsgebiet des Ägerisees

3 Rechtliche Anforderungen und Datenauswertung

3.1 Seen

Anforderungen an stehende Gewässer

Der Zuger-, Ägeri- und Wilersee werden im Rahmen des Vollzugs regelmässig chemisch untersucht. Im Vordergrund stehen dabei die Prüfung der in der neuen Gewässerschutzverordnung (GSchV vom 28. Oktober 1998) im Anhang 2 unter Ziffer 13 aufgeführten zusätzlichen Anforderungen an stehende Gewässer im Vordergrund (siehe unten). Da die GSchV für Seen mit Ausnahme der minimalen Sauerstoffkonzentration nur qualitative und keine numerischen Anforderungen macht, wurden für die drei Seen spezifische numerische Anforderungen durch den Kanton festgelegt. Sie sind in der Tabelle 5 aufgeführt.

Gewässerschutzverordnung (vom 28. Oktober 1998)

Anhang 2, Ziffer 13
Zusätzliche Anforderungen an stehende Gewässer

- 1 Durch Terrainveränderungen (z. B. Ausbaggerungen, Verlagerung von Baggergut innerhalb des Gewässers, Uferabgrabungen und -aufschüttungen, Uferbefestigungen und -eindämmungen) dürfen die Morphologie und die Funktion des Seebodens, die zur Erhaltung der für das Überleben der Lebensgemeinschaften von Pflanzen, Tieren und Mikroorganismen genügenden Wasserqualität notwendig sind, nicht dauernd nachteilig verändert werden.
- 2 Der Nährstoffgehalt darf höchstens eine mittlere Produktion* von Biomasse zulassen; besonders natürliche Verhältnisse bleiben vorbehalten.
- 3 Für Seen gilt ausserdem:
 - a. Durch Seeregulierungen, Wassereinleitungen und -entnahmen, Kühlwassernutzung und Wärmenutzung dürfen im Gewässer die natürlichen Temperaturverhältnisse, die Nährstoffverteilung sowie, insbesondere im Uferbereich, die Lebens- und Fortpflanzungsbedingungen für die Organismen nicht nachteilig verändert werden.
 - b. Der Sauerstoffgehalt des Wassers darf zu keiner Zeit und in keiner Seetiefe weniger als 4 mg/l O₂ betragen; er muss zudem ausreichen, damit wenig empfindliche Tiere wie Würmer den Seegrund ganzjährig und in einer möglichst natürlichen Dichte besiedeln können. Besondere natürliche Verhältnisse bleiben vorbehalten.

* Mittlere Produktion bedeutet für Schweizer Seen Mesotrophie, d. h. maximal 0.03 mg/l Gesamtphosphor während der Frühjahreszirkulation.

Tabelle 5:
Eidgenössische
und kantonale
Qualitätsziele für
den Zuger-, Ägeri-
und Wilersee

Parameter	Qualitätsziele		
	Zugersee	Ägerisee	Wilersee
Sauerstoff	< 4 mg/l O ₂ nur in Tiefen > 140 m	> 4 mg/l O ₂ in allen Tiefen und immer	< 4 mg/l O ₂ nur in Tiefen von > 15m im Spätsommer
Gesamtphosphor während Frühjahrszirkulation	< 0.04 mg/l P	< 0.01 mg/l P Zustand halten	< 0.03 mg/l P
Sichttiefe als Secchi-Tiefe	-	-	> 3 m im Jahresdurchschnitt

3.2 Fließgewässer

Anforderungen an Fließ- gewässer

Die Beurteilung und Bewertung der vom Kanton Zug erhobenen Fließgewässermessdaten orientieren sich grundsätzlich an den Anforderungen an die Wasserqualität gemäss der neuen GSchV (Anhang 2) sowie an zusätzlichen Zielvorgaben gemäss dem Modul Chemie des Modul-Stufen-Konzepts des BU-WAL. Im folgenden werden diese gesetzlichen Anforderungen und zusätzlichen Zielvorgaben aufgeführt:

Gewässerschutzverordnung (vom 28. Oktober 1998)

Anhang 2, Ziffer 12

Zusätzliche Anforderungen an Fließgewässer

- 1 Die Wasserqualität muss so beschaffen sein, dass:
 - a. sich in der Gewässersohle keine von blossen Auge sichtbaren Eisensulfidflecken bilden; besondere natürliche Verhältnisse bleiben vorbehalten;
 - b. die Nitrit- und Ammoniak-Konzentrationen die Fortpflanzung und Entwicklung empfindlicher Organismen, wie Salmoniden, nicht beeinträchtigen.
- 2 Der Sauerstoffgehalt in der Gewässersohle darf nicht nachteilig verändert werden durch:
 - a. eine erhöhte Sauerstoffzehrung infolge eines unnatürlichen Überangebotes an oxidierbaren Stoffen;
 - b. eine verminderte Durchlässigkeit der Sohle infolge unnatürlich hoher Sedimentation feiner Partikel (Kolmation) oder künstlicher Abdichtung.
- 3 Durch Wasserentnahmen, Wassereinleitungen und bauliche Eingriffe dürfen die Hydrodynamik, die Morphologie und die Temperaturverhältnisse des Gewässers nicht derart verändert werden, dass dessen Selbstreinigungsvermögen vermindert wird oder die Wasserqualität für das Gedeihen der für das Gewässer typischen Lebensgemeinschaften nicht mehr genügt.
- 4 Die Temperatur eines Fließgewässers darf durch Wärmeeintrag oder -entzug gegenüber dem möglichst unbeeinflussten Zustand um höchstens 3 °C, in Gewässerabschnitten der Forellenregion um höchstens 1.5 °C, verändert werden; dabei darf die Wassertemperatur 25 °C nicht übersteigen. Diese Anforderungen gelten nach weitgehender Durchmischung.
- 5 Die nachfolgenden numerischen Anforderungen gelten bei jeder Wasserführung nach weitgehender Durchmischung des eingeleiteten Abwassers im Gewässer; besondere natürliche Verhältnisse wie Wasserzufluss aus Mooren, seltene Hochwasserspitzen oder seltene Niederwasserereignisse bleiben vorbehalten.

Parameter	Anforderungen
Biochemischer Sauerstoffbedarf (BSB ₅)	2 bis 4 mg/l O ₂ , bei natürlicherweise wenig belasteten Gewässern gilt der untere Wert
Gelöster organischer Kohlenstoff (DOC)	1 bis 4 mg/l C, bei natürlicherweise wenig belasteten Gewässern gilt der untere Wert
Ammonium (Summe von NH ₄ ⁺ -N und NH ₃ -N)	Bei Temperaturen: > 10 °C: 0.2 mg/l N, < 10 °C: 0.4 mg/l N
Nitrat (NO ₃)	Für Fließgewässer, die der Trinkwassernutzung dienen: 5.6 mg/l N (entspricht 25 mg/l Nitrat)
Blei (Pb)	0.01 mg/l Pb (gesamt) ¹ , 0.001 mg/l Pb (gelöst)

Parameter	Anforderungen
Cadmium (<i>Cd</i>)	0.2 µg/l Cd (gesamt) ¹ , 0.05 µg/l Cd (gelöst)
Chrom (<i>Cr</i>)	0.005 mg/l Cr (gesamt) ¹ , 0.002 mg/l Cr (III und VI)
Kupfer (<i>Cu</i>)	0.005 mg/l Cu (gesamt) ¹ , 0.002 mg/l Cu (gelöst)
Nickel (<i>Ni</i>)	0.01 mg/l Ni (gesamt) ¹ , 0.005 mg/l Ni (gelöst)
Quecksilber (<i>Hg</i>)	0.03 µg/l Hg (gesamt) ¹ , 0.01 µg/l Hg (gelöst)
Zink (<i>Zn</i>)	0.02 mg/l Zn (gesamt) ¹ , 0.005 mg/l Zn (gelöst)
Organische Pestizide (Pflanzenschutzmittel nach Anhang 4.3 StoV, Holz- schutzmittel, Antifoulings, usw.)	0.1 µg/l je Einzelstoff. Vorbehalten bleiben andere Werte auf Grund von Einzelstoff- beurteilungen im Rahmen des Zulassungs- verfahrens.

¹ Massgebend ist der Wert für die gelöste Konzentration. Wird der Wert für die gesamte Konzentration eingehalten, ist davon auszugehen, dass auch der Wert für die gelöste Konzentration eingehalten ist.

BUWAL Modul Chemie (Entwurf)

Im Modul Chemie des Modul-Stufen-Konzepts des BUWAL, welches noch in Bearbeitung ist, werden Anforderungen an die Wasserqualität, die in der GSchV nur verbal festgelegt sind, mit sogenannten Zielvorgaben konkretisiert. Es handelt sich um folgende Parameter:

Parameter	zusätzliche Zielvorgaben
Gesamtstickstoff (N_{tot})	7 mg/l N
Nitrit	0.05 mg/l N
Phosphat (PO_4)	0.04 mg/l P
Gesamtphosphor (P_{tot})	0.05 mg/l P filtriert 0.07 mg/l P unfiltriert
Totaler organischer Kohlenstoff (TOC)	3.0 - 5.0 mg/l C bei natürlicherweise wenig belasteten Gewässern gilt der kleinere Wert

Ergänzende und abweichende Zielvorgaben des Kantons Zug

Da das Modul Chemie des Modul-Stufen-Konzepts des BUWAL zur Zeit der Bearbeitung dieses Berichtes nur als Entwurf vorliegt und diese Zielvorgaben noch ändern können, wurden für diesen Bericht bezüglich Gesamtphosphor, Chlorid, Ammonium und Nitrit die bis anhin im Kanton Zug vorhandenen Zielvorgaben benutzt. Es betrifft die folgenden Parameter:

Parameter	Zielvorgaben Kanton Zug
Gesamtphosphor (P_{tot})	0.10 mg/l P im Einzugsgebiet von Seen 0.15 mg/l P bei allen anderen Messstellen
Chlorid	100 mg/l (Wert der alten Abwasserverordnung)
Ammonium (Summe von NH_4^+ -N und NH_3 -N)	0.3 mg/l N (Mittelwert der temperatur- abhängigen numerischen Anforderung).
Nitrit (die Toxizität von Nitrit ist geringer bei hoher Chloridkonzentration)	0.02 mg/l N sofern Chlorid < 10 mg/l 0.05 mg/l N sofern Chlorid ≥ 10 und ≤ 20 mg/l 0.10 mg/l N sofern Chlorid > 20 mg/l

Statistische Kennwerte und deren Darstellung

Da die Messgrößen Schwankungen unterschiedlichster Art unterworfen sind, gilt es mittels statistischer Kenngrößen die Lage und die Bandbreite der Messresultate möglichst vollständig zu beschreiben. Es werden dazu die Extremwerte Minimum und Maximum, die 20%- und 80%-Perzentile sowie der Median in sogenannten **Box-Plots** dargestellt (Abbildung 5).

Minimum, Maximum

Die während einer Messperiode aufgetretenen Extremwerte **Minimum** und **Maximum** einer Messgröße geben Auskunft über die maximale Bandbreite der Stoffkonzentrationen. Sogenannte Ausreisser, d. h. einzelne Messungen, die ausserhalb der übrigen Messgröße liegen, werden durch das Minimum und das Maximum erfasst. Messtechnisch kann das Minimum nicht kleiner sein als die methodische Erfassungsgrenze (z. B. bei Nitrit 0.001 mg/l N). Messwerte deren Konzentration unter der Erfassungsgrenze lagen, wurden auf 1/10 der Erfassungsgrenze gesetzt (Nitrit: 0.0001 mg/l N).

Median

Der **Median** ist der Wert, für den 50 % aller Messwerte darunter und 50 % aller Messwerte darüber liegen. Den Median nennt man darum auch Zentralwert. Der Median entspricht in vielen Fällen besser der Vorstellung von der Mitte einer Messdatenwolke als dies der arithmetische Mittelwert vorgibt. Er ist unempfindlich gegenüber Ausreissern, d. h. er ist eine robuste statistische Grösse und eignet sich darum besonders für zeitliche Vergleiche.

20 %- und 80 %- Perzentile

Das **20 %-Perzentil** ist der Wert, für den 20 % aller Messwerte darunter und 80 % aller Messwerte darüber liegen. Analog ist das **80 %-Perzentil** der Wert, für den 80 % aller Messwerte darunter und 20 % aller Messwerte darüber liegen. Die beiden Perzentile beschreiben die Bandbreite der Messdaten, wobei Ausreisser nicht berücksichtigt werden. Das 90 %-Perzentil ist analog definiert.

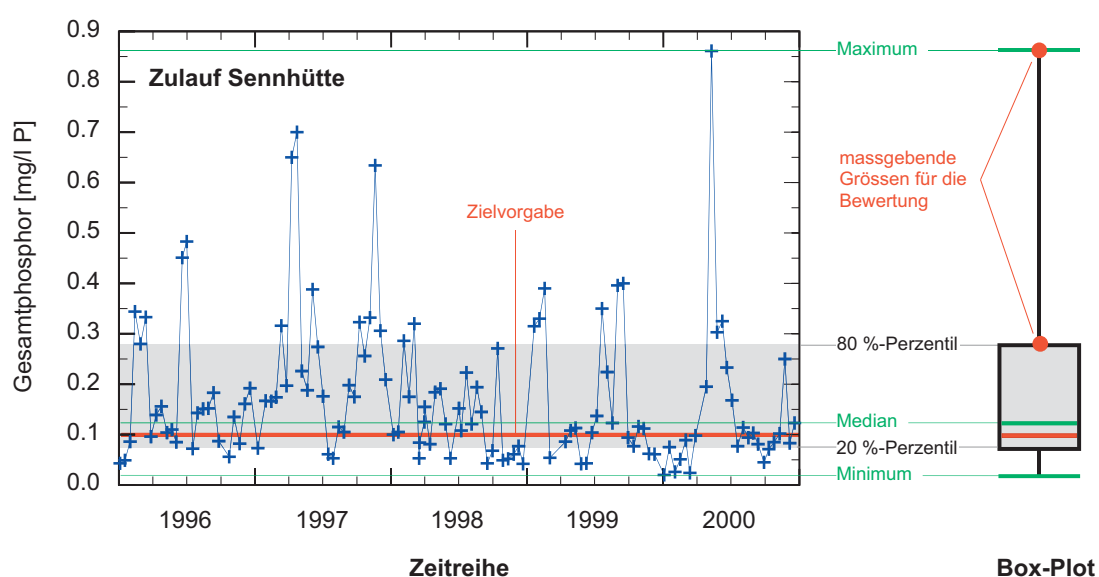


Abbildung 5:

Beispiel einer Zeitreihe mit statistischen Kennwerten und Schema eines Box-Plots

Bewertung

Die numerischen Anforderungen der GSchV und die zusätzlichen Zielvorgaben gelten grundsätzlich bei jeder Wasserführung. Ausgenommen sind seltene Hochwasserspitzen und Niederwasserereignisse oder besondere natürliche Verhältnisse. Im weiteren können probenahme- oder analysebedingt Messwerte auftreten, die als Ausreisser einzustufen sind. Sie stellen erhöhte oder zu tiefe Messwerte dar, die vermutlich nicht der tatsächlichen Belastung entsprechen. Bei der **Bewertung** eines Gewässers muss dieser Sachverhalt berücksichtigt werden. Es muss daher nicht zwingend jeder Messwert kleiner als die numerischen Anforderungen oder die Zielvorgaben sein. Die Bewertung erfolgt gemäss dem Modul Chemie des Modul-Stufen-Konzepts des BUWAL (Entwurf Oktober 2001) auf Basis eines normierten statistischen Verfahrens unter Berücksichtigung der Anzahl Messungen. Es muss ein repräsentativer Wert, der sogenannte **Schätzwert**, eruiert werden. Gemäss Verfahren nach BUWAL entspricht bei 12-23 Stichproben der 80 %-Perzentilwert und bei mehr als 23 Stichproben der 90 %-Perzentilwert diesem Schätzwert. Im Box-Plot sind die für den Vergleich mit den numerischen Anforderungen an die Wasserqualität oder der Zielvorgaben gemäss Modul Chemie des Modul-Stufen-Konzepts des BUWAL massgebenden Grössen mit roten Punkten markiert (Abbildung 5). Es sind dies im vorliegenden Bericht das 80 %-Perzentil und der Maximalwert.

Zustandsklassen

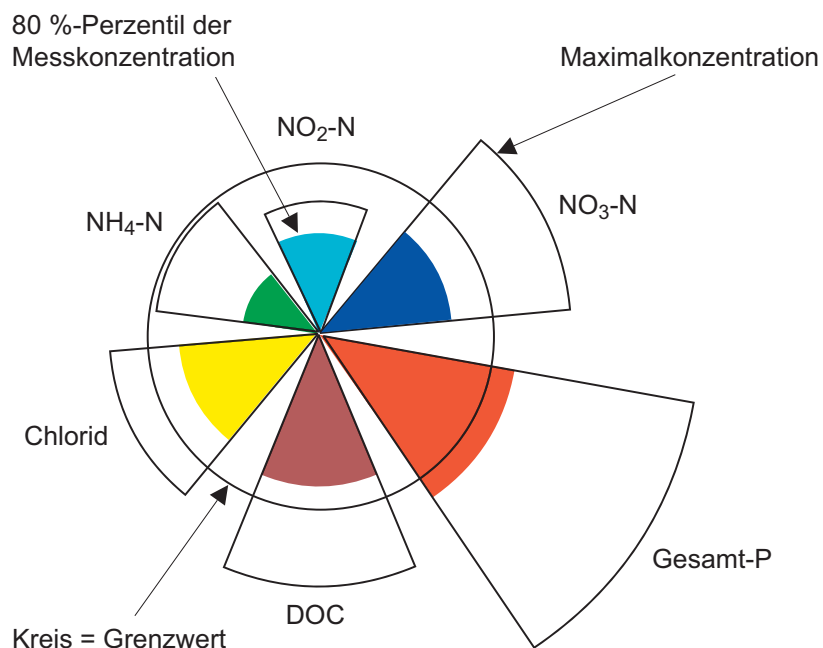
Für die qualitative Charakterisierung der Wasserqualität wird eine Klassierung gemäss Modul-Stufen-Konzept Chemie des BUWAL (Entwurf 2001) vorgenommen. Es gelten demnach die folgenden vier Zustandsklassen:

Zustandsklasse	zu erfüllende Bedingung
unbelastet	der Schätzwert ist kleiner als die halbe Zielvorgabe und der gemessene Maximalwert ist kleiner als die Zielvorgabe
schwach belastet	der Schätzwert ist kleiner als die Zielvorgabe und der gemessene Maximalwert ist kleiner als die doppelte Zielvorgabe
deutlich belastet	der Schätzwert ist kleiner als die doppelte Zielvorgabe oder der Maximalwert ist grösser als die doppelte Zielvorgabe
stark belastet	der Schätzwert ist grösser oder gleich gross wie die doppelte Zielvorgabe.

Kreis-sektor-diagramm

Mit einem **Kreis-sektordiagramm** (auch **Flügeldiagramm** genannt) können die Messresultate verschiedener Stoffparameter und die jeweiligen Qualitätszielsetzungen (Anforderungen gemäss GSchV, Zielvorgaben des BUWAL und des Kantons: kurz Grenzwert genannt) zusammenfassend dargestellt werden. Diese Darstellungsform eignet sich besonders für die Visualisierung der Wasserqualität auf Übersichtskarten. Im Kreis-sektordiagramm repräsentiert jede Sektorrichtung einen anderen Stoffparameter. Für alle Stoffparameter werden die jeweiligen Grenzwerte auf einen Kreis normiert. Für jeden Stoffparameter wird der Schätzwert (z.B. der 80%-Perzentilwert) und der Maximalwert als Sektorfläche in der jeweiligen Sektorrichtung angegeben (siehe Abbildung 6). Für den Vergleich des Schätzwerts bzw. des Maximalwertes mit dem Grenzwert müssen die jeweiligen Sektorflächen miteinander verglichen werden. Wird beispielsweise

Abbildung 6:
Schema eines
Kreissektor-
diagrammes



se der Grenzwert um das Doppelte überschritten, so ist die Fläche des Sektors ausserhalb des Einheitskreises gleich gross wie die Fläche innerhalb des Einheitskreises. Kreissektordiagramme haben den Vorteil, dass auch sehr grosse Grenzwertüberschreitungen kompakt dargestellt werden können.

Parameter- beschreibung

Im folgenden werden die einzelnen im Bericht dargestellten Parameter (Messgrössen, Substanzen) kurz erläutert. In der Tabelle 6 sind die für diesen Bericht gültigen numerischen Anforderungen und Zielvorgaben (Qualitätsziele) für jedes untersuchte Fließgewässer und für jeden Parameter aufgeführt.

DOC

Der DOC (Dissolved Organic Carbon, gelöster organischer Kohlenstoff) ist ein Mass für die Belastung eines Gewässers mit gelösten organischen Substanzen aus natürlichen und zivilisatorischen Quellen. Der DOC erfasst als Summenparameter die Belastung eines Gewässers mit sowohl leicht als auch weniger gut abbaubaren gelösten organischen Stoffen. Die organischen Stoffe sind entweder natürlicher Herkunft (Bodenabschwemmung, Stoffwechsel- und Abbauprodukte von Tieren und Pflanzen, Huminstoffe (Gelbstoffe aus Mooren)), oder sie stammen von gereinigten oder ungereinigten Abwässern. Um die numerischen Anforderungen gemäss GSchV (1 bis 4 mg/l C) prüfen zu können, wird im Kanton Zug jedem Fließgewässer unter Berücksichtigung des Einzugsgebietes (Wald, Moor, Wiese, etc.) eine DOC-Zielvorgabe (<1, <2, <3 oder <4 mg/l C) zugeordnet.

Ammonium

Kommunale Abwässer und landwirtschaftliche Dünger, namentlich Gülle und Kunstdünger, enthalten Ammonium-Stickstoff ($\text{NH}_4\text{-N}$). Bei hohen pH-Werten und erhöhten Temperaturen in Gewässern kann sich das Ammonium zum fischtoxischen Ammoniak umwandeln. Die numerischen Anforderungen in der GSchV sind daher abhängig von der Temperatur (> 10 °C: < 0.2 mg/l N, < 10 °C: < 0.4 mg/l N). Im Kanton Zug erfolgt die Beurteilung vereinfacht aufgrund des Mittelwertes von 0.3 mg/l N.

Nitrit

Nitrit ($\text{NO}_2\text{-N}$) kommt in unbelasteten Gewässern nur in Spuren vor. Höhere Nitrit-Konzentrationen können z. B. unterhalb von ARA-Einleitungen gemessen werden, wenn Ammonium noch nicht vollständig zu Nitrat umgewandelt wurde. Nitrit ist stark fischgiftig. Die Toxizität hängt von der Chloridkonzentration ab. Bei höheren Chloridkonzentrationen nimmt die Giftigkeit des Nitrits ab. Da die GSchV keine numerischen Anforderungen gibt, gelten im Kanton Zug grundsätzlich die von wissenschaftlicher Seite vorgeschlagenen chloridabhängigen Zielvorgaben:

- < 0.02 mg/l $\text{NO}_2\text{-N}$ bei Chloridkonzentrationen unter 10 mg/l
- < 0.05 mg/l $\text{NO}_2\text{-N}$ bei Chloridkonzentrationen von 10 bis 20 mg/l
- < 0.10 mg/l $\text{NO}_2\text{-N}$ bei Chloridkonzentrationen über 20 mg/l

Im Kanton Zug wird jedem Fliessgewässer unter Berücksichtigung des Chloridgehaltes eine der drei Zielvorgaben für Nitrit zugeordnet.

Nitrat

Nitrat ($\text{NO}_3\text{-N}$) ist bei guten Sauerstoffverhältnissen in Fliessgewässern mengenmässig die wichtigste Stickstoffverbindung. Hohe Nitrat-Konzentrationen (> 1.5 mg/l N) in Gewässern gelten als Indikator für die Einleitung von gereinigten Abwässern sowie für Abschwemmungen und Auswaschungen von überdüngten Böden. Die Auswaschung von Nitrat aus landwirtschaftlich genutzten Böden kann zu einer erhöhten Nitratbelastung des Grundwassers führen. Zu hohe Nitratwerte im Trinkwasser können die Gesundheit des Menschen gefährden. Die numerischen Anforderungen betragen gemäss GSchV für Nitrat < 5.6 mg/l N.

Chlorid

Chlorid ist am biologischen Stoffhaushalt der Gewässer kaum beteiligt und weist in unbelasteten Gewässern Konzentrationen um 2 bis 4 mg/l auf. Erhöhte Chlorid-Konzentrationen in den Fliessgewässern sind durch zivilisatorische Einflüsse verursacht. Bei hohen Konzentrationen (> 200 mg/l) ist Chlorid toxisch für Pflanzen, insbesondere für Algen. Chloride werden in Abwasserreinigungsanlagen weder abgebaut noch eliminiert. Hauptquellen sind Koch- und Strassensalze, tierische und menschliche Exkremente sowie Salze aus Industrieabwässern, Abwasseraufbereitung und Kehrlichtverbrennungsanlagen (Rauchgasreinigungsanlagen). Als Zielvorgabe gilt im Kanton Zug für Chlorid < 100 mg/l Cl (gemäss der nicht mehr gültigen Abwasserverordnung).

Gesamtphosphor

Phosphor wird punktuell durch kommunale und industrielle Abwässer sowie diffus durch Ausschwemmungen aus intensiv gedüngten landwirtschaftlichen Flächen und in geringerem Mass durch die Auswaschung aus extensiv genutzten Böden in die Gewässer eingetragen. Phosphor ist derjenige Nährstoff, welcher normalerweise das Ausmass des Algen- und Wasserpflanzenwachstums in Gewässern bestimmt. Eine Überdüngung mit Phosphor führt zu einem unerwünschten Wachstum von Plankton und Algen in Seen. Der Phosphor ist ein guter Indikator für die zivilisationsbedingte Belastung von Seen und Flüssen. Der Ausbau der Kläranlagen und das 1986 in Kraft getretene Phosphatverbot in Textilwaschmitteln haben zu einer Reduktion des Phosphateintrages in die Oberflächengewässer geführt. Es gelten abweichend zum Entwurf des Moduls Che-

mie die bis anhin im Kanton Zug angewendeten Qualitätszielvorgaben, nämlich < 0.1 mg/l P für Fliessgewässer im Einzugsgebiet eines Sees und < 0.15 mg/l P für alle anderen Fliessgewässer.

Auswertperiode

Der vorliegende Bericht umfasst für die Fliessgewässer eine Auswertungsperiode von mindestens zwei Jahresdatensätzen. Es wurden Messdaten der Jahre 1997 bis 2000 verwendet. Die bei den einzelnen Fliessgewässern verwendeten Jahresdatensätze sind in Tabelle 4 aufgeführt.

Tabelle 6:
Numerische Anforderungen gemäss GschV Anhang 2 und Zielvorgaben des Kantons Zug

Ammonium: < 0.3 mg/l N

Nitrat: < 5.6 mg/l N

Chlorid: < 100 mg/l

* Anforderungen für
Nitrit, Gesamtphosphor und DOC in Abhängigkeit des Fliessgewässers

Nr.	Fliessgewässer	Lokalität	Nitrit* [mg/l N]	Gesamtphosphor* [mg/l P]	DOC* [mg/l C]
Einzugsgebiet Zugersee					
1	Aabach	Risch	< 0.05	< 0.10	< 2
2	Alte Lorze	Koller	< 0.05	< 0.10	< 3
3	Bachtalenbach	Blickensdorf	< 0.05	< 0.10	< 2
4	Dersbach	Seemündung	< 0.05	< 0.10	< 2
5	Dürrbach	Bethlehem	< 0.02	< 0.10	< 3
6	Edlibach	Edlibach Dorf	< 0.02	< 0.10	< 2
7	Grienbach	Inwil	< 0.02	< 0.10	< 2
8	Lissibach	Deinikon	< 0.05	< 0.10	< 2
9	Littibach	Deinikon	< 0.05	< 0.10	< 4
10	Obere Lorze	Unterägeri	< 0.02	< 0.10	< 2
11	Obere Lorze*	Letzi (24 Stunden Sampler)	< 0.02	< 0.10	< 3
	Obere Lorze*	Letzi (kontinuierlicher Sampler)	< 0.02	< 0.10	< 3
12	Lotenbach	Walchwil	< 0.02	< 0.10	< 4
13	Mühlebach	Oberwil	< 0.02	< 0.10	< 3
14	Dorfbach	Steinhausen	< 0.05	< 0.10	< 3
15	Rämselbach	Sagenmattli	< 0.02	< 0.10	< 4
16	Rigi-Aa	Oberarth	< 0.02	< 0.10	< 2
17	Rufibach	Walchwil	< 0.02	< 0.10	< 3
18	Schwarzenbach	Allenwinden	< 0.05	< 0.10	< 4
19	Sijentalbach	Zwijern	< 0.10	< 0.10	< 2
20	Teuftännlibach	Neuägeri	< 0.02	< 0.10	< 2
21	Walterswilerbach	Deinikon	< 0.05	< 0.10	< 2
Einzugsgebiet Ägerisee					
22	Bietenberggrusenbach	Eierhals Morgarten	< 0.02	< 0.10	< 4
23	Dorfbach	Oberägeri	< 0.02	< 0.10	< 3
24	Hüribach	Camping	< 0.02	< 0.10	< 3
25	Sulzmattbach	Oberägeri (Seemündung)	< 0.02	< 0.10	< 3
26	Trombach	Morgarten	< 0.02	< 0.10	< 3
Einzugsgebiet Wilersee					
27	Erlenmoosbach	Kiesfang (Kantonsstrasse)	< 0.02	< 0.10	< 3
28	Zulauf Sennhütte	Sennhütte	< 0.10	< 0.10	< 3
Einzugsgebiet Reuss					
29	Binnenkanal	Stadelmatt	< 0.02	< 0.15	< 2
30	Untere Lorze	Cham	< 0.02	< 0.15	< 2
31	Untere Lorze*	Frauental (24 Stunden Sampler)	< 0.05	< 0.15	< 2
	Untere Lorze*	Frauental (kontinuierlicher Sampler)	< 0.05	< 0.15	< 2
32	Steintobelbach	Binzmühleweiher	< 0.05	< 0.15	< 2
33	Tobelbach	Hagendorn	< 0.05	< 0.15	< 3
Einzugsgebiet Sihl					
34	Auslauf Wilersee	Seeauslauf (inkl. Tiefenwasserabl.)	< 0.10	< 0.15	< 4
35	Winzenbach	Sarbach (ob ARA Neuheim)	< 0.02	< 0.15	< 3
36	Sihl	Sihlbrugg	< 0.02	< 0.15	< 3

Tiefenmessung



Vorbereitung Entnahme



Wasserprobe



Laboruntersuchung



Untersuchung der Gewässer durch
das kantonale Labor

4

Lebensraum See

Ein See stellt mit seinem Wasserkörper, seinem Uferverlauf und Seeboden ein Lebensraum für sehr viele pflanzliche und tierische Organismen dar. Die Art und Weise, die Beschaffenheit und Qualität dieses Lebensraumes wird ganz wesentlich von seeinternen aber auch durch seeexterne Gegebenheiten und Faktoren, wie z. B. durch das Einzugsgebiet des Sees, geprägt. So spielen die Jahreszeiten mit ihren regelmässig ablaufenden Licht-, Temperatur- und Niederschlagsabfolgen, der Typ des Einzugsgebietes (Anteil an Gletscher, Fels, Wald, Moor, Siedlung, Landwirtschaft, etc.) sowie seespezifische Nutzungen eine bedeutende Rolle. Der Mensch vermag zudem mit seinen Tätigkeiten in das Geschehen und Funktionieren eines Sees und damit auch in seine Entwicklung als Lebensraum einzugreifen.

Im Folgenden werden charakteristische seespezifische Abläufe erläutert. Damit wird der Lebensraum See im allgemeinen beschrieben und zugleich werden Kenntnisse vermittelt, die zum Verständnis der anschliessend aufgeführten Untersuchungsergebnisse beitragen.

Lebensraum

Der Lebensraum See ist morphologisch in die vier Teillebensräume **Seeufer**, belichtetes und unbelichtetes **Freiwasser** und **Seeboden** in der Tiefe unterteilt. Die Ausdehnung dieser Teillebensräume hängt von der Beckenmorphologie und dem Eindringen des Lichtes in die Tiefe ab. Beim Teillebensraum Seeufer wird im wesentlichen zwischen **Flach-** und **Steilufer** unterschieden, wobei die Flachwasserzonen natürlicherweise see- wie landseitig räumlich sehr ausgedehnt sind. Die Flachwasserzonen stellen einen vielseitig besiedelten, einzigartigen Lebensraum dar, welcher vielen Organismen (Jungfische, Vögel, wirbellose Tiere) Nahrung und Schutz bietet.

Temperaturschichtung

Die Wassertemperatur spielt in einem See für die chemischen und physikalischen wie auch biologischen Prozesse eine ganz wichtige Rolle. Die Erwärmung des Wassers erfolgt durch die Sonneneinstrahlung über die Seeoberfläche.

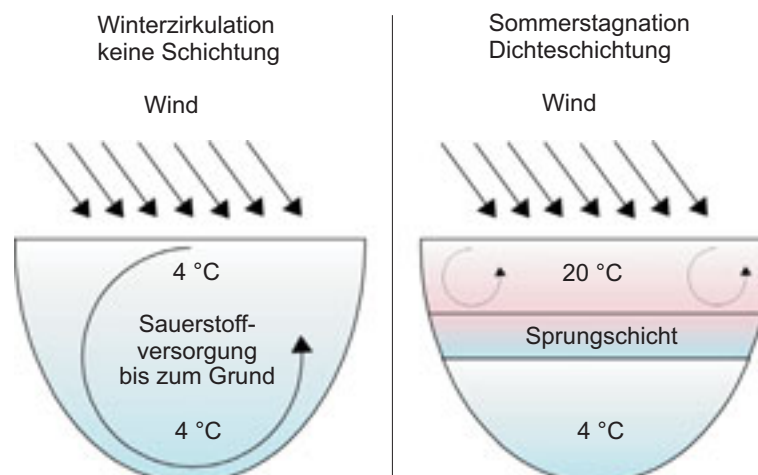


Abbildung 7:
Temperaturschichtung in einem See



Libelle



Blesshuhn



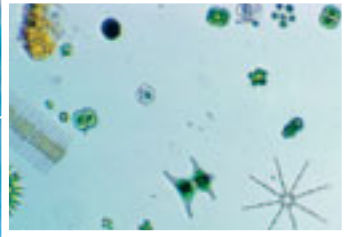
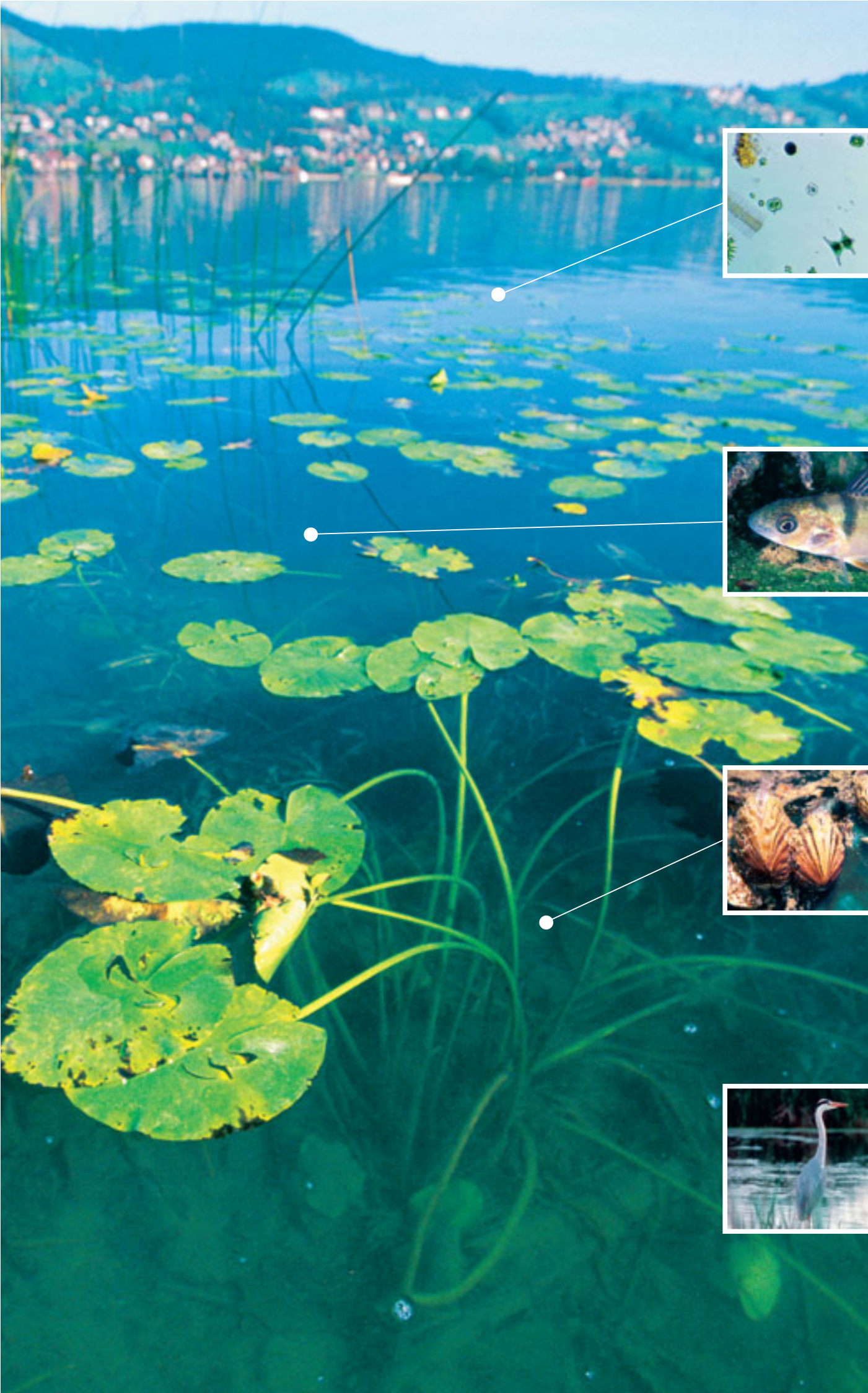
Steinkrebs



Wasserschnecke



Lebensraum See



Phytoplankton



Egli



Wandermuscheln



Graureiher

che. Die Verteilung dieses erwärmten Oberflächenwassers in tiefere Zonen des Sees übernimmt dann der Wind, welcher Strömungen und von Auge nicht wahrnehmbare vertikale Umwälzungen von Wasserschichten auslöst. Diesen Umlagerungen sind aber physikalische Grenzen gesetzt. So weist 4 °C kaltes Wasser die höchste Dichte auf, so dass sich Wasser mit dieser Temperatur normalerweise am Seegrund befindet. Solange der gesamte See nur um 4 °C kaltes Wasser aufweist, wie dies typischerweise in unseren Seen im Frühling und im Herbst vorkommt, vermag der Wind bei vielen Seen den ganzen Wasserkörper bis auf den Seegrund umzuwälzen. Es wird dann von **Vollzirkulation** gesprochen. Erfolgt die Umwälzung des Wasserkörpers nicht bis auf den Gewässergrund hinab, handelt es sich um eine **Teilzirkulation**. Eine Teilzirkulation, wie sie im Zugersee auftritt, kann verschiedene Ursachen haben, so z. B. infolge der grossen Tiefe oder der windgeschützten Lage des Sees, wegen erhöhter Dichte des Tiefenwassers durch hohe Nährstoff- und Salzkonzentrationen oder infolge schwebender Trübstoffe.

Erfolgt dann im Sommerhalbjahr an der Seeoberfläche eine Erwärmung des 4 °C kalten Wassers, so schichtet sich dieses wärmere Wasser infolge geringerer Dichte über dem 4 °C kalten Wasser ein. Wasserpakete mit grossen Temperaturunterschieden weisen auch grosse Dichteunterschiede auf. Deshalb sind sie untereinander trotz starkem Wind kaum bis nicht vermischbar. Diese Situation tritt in unseren Seen jedes Jahr im Sommerhalbjahr ein. Man spricht dann von der **Sommerstagnation**. Als badende Person nimmt man diese Temperaturschichtung beim Abtauchen sehr gut wahr. Im Zustand der Stagnation sind vertikale Stoffaustauschprozesse weitgehend unterbunden.

Durch die im Sommer vorhandene Temperaturschichtung wird das Freiwasser (Pelagial) des Lebensraumes See in drei wichtige Zonen unterteilt. Es sind dies die warmen oberflächennahen Schichten (**Epilimnion**), die Übergangszone (**Sprungschicht** oder **Metalimnion**) und das kalte Tiefenwasser (**Hypolimnion**). Die Sprungschicht ist im Sommer während der ausgeprägten Stagnation nur wenige Meter mächtig und die Temperaturunterschiede betragen in der vertikalen Achse normalerweise mehr als 0.5 °C pro Meter. Solange ein See eine solche Sprungschicht aufweist, stellt diese für gelöste Stoffe wie Sauerstoff oder Nährstoffe (Phosphor, Stickstoff) eine nicht überwindbare thermische Grenzschicht dar. Sauerstoffreiches Oberflächenwasser gelangt somit nicht in die Tiefe und mit Nährstoff angereichertes Tiefenwasser kann nicht an die Oberfläche kommen.

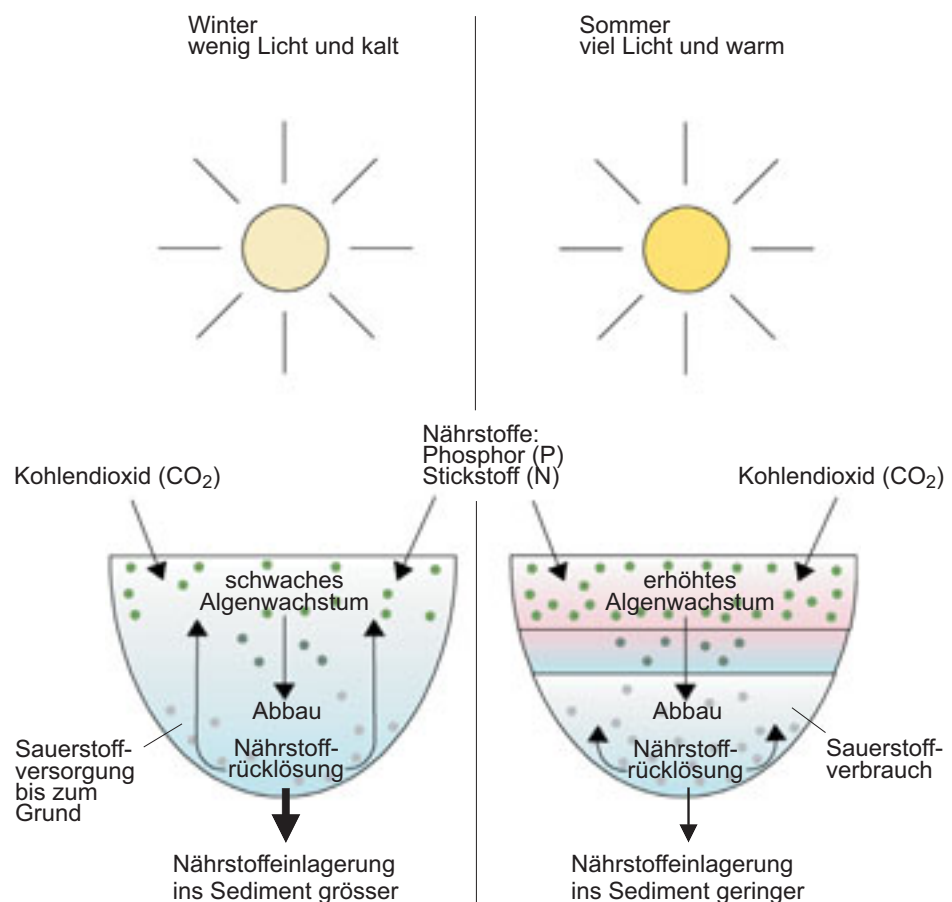
Nährstoffe und Algenwachstum

Eine weitere für einen See ganz charakteristische Grösse ist der Nährstoffgehalt und das damit verbundene Algenwachstum. Nährstoffe stammen natürlicherweise aus dem Einzugsgebiet und gelangen über die Fliessgewässer und entlang dem Seeufer in den See. Zivilisationsbedingt gelangen zusätzlich grosse Mengen an Nährstoffen aus der Siedlungsentwässerung (Abwasser) und aus der Landwirtschaft (Düngemittel, Abschwemmung) in den See. Für pflanzliche Organismen - im See vorwiegend die mikroskopisch kleinen im Freiwasser schwebenden Algen - sind neben **Spurenelementen** der **Kohlenstoff**, der **Stickstoff** und der **Phosphor** von grosser Bedeutung. Sie werden zum Aufbau der Algenbiomasse benötigt. Werden einem See all diese Nährstoffe dauernd

und in genügender Menge zugeführt, vermehren sich die Algen unter Ausnützung der Sonnenenergie (Licht) ebenfalls stetig. Als Folge sind die oberflächennahen, lichtdurchfluteten Wasserschichten trüb oder in extremen Situationen sogar gefüllt mit einer sehr dichten Algenmasse. Solche hohen Algendichten gibt es regelmässig auch im Zugersee und im Wilersee. Das Algenwachstum wird dann normalerweise nur infolge Eigenbeschattung oder durch Frass gebremst, da die Algen auch Nahrung für tierische Organismen sind. Am stärksten ist das Algenwachstum jeweils im Frühling und Vorsommer im oberflächennahen Freiwasser durch mikroskopisch kleine pflanzliche Organismen (**Phytoplankton**). Zu diesem Zeitpunkt ist das Oberflächenwasser aufgrund der Zirkulation vom Tiefenwasser her reichlich mit Nährstoffen versorgt, die Lichtintensitäten sind bereits hoch und pflanzenfressende tierische Organismen (**Zooplankton**) sind noch in zu geringer Dichte vorhanden, um die Algenbiomasse zu reduzieren.

Eine Begrenzung des Algenwachstums respektive ein möglichst geringes Aufkommen von Algen ist von entscheidender Bedeutung für die Sauerstoffverhältnisse im Tiefenwasser. Da sich abgestorbene Algen im Wasserkörper nicht mehr aktiv in Schwebelage halten können, sinken sie auf den Gewässerboden. Auf dem Weg zum Gewässerboden findet unter **Sauerstoffverbrauch** einzumindest teilweiser Abbau dieser Biomasse statt. Der nicht abgebaute Teil der Biomasse und weitere organische und mineralische Stoffe bilden dann zusammen das Sediment.

Abbildung 8:
Nährstoffhaushalt,
Algenwachstum und
Sauerstoffversorgung



Die Begrenzung des Algenwachstums in unseren Seen ist am wirksamsten, wenn der **Phosphorgehalt** tief gehalten wird. Das heisst, dass das Algenwachstum nur erfolgt, solange im Wasser für die Algen verfügbarer Phosphor vorhanden ist. Deshalb wird Phosphor als limitierender Stoff (**Minimumsstoff**) bezeichnet. Basierend auf dem mittleren Gesamtposphorgehalt des Seewassers während der Frühjahrszirkulation kann jedem See ein bestimmter Nährstoff-Typus (**Trophiegrad**) zugeordnet werden. In Tabelle 7 ist der Nährstofftypus eines Sees in Abhängigkeit der Phosphorkonzentration aufgelistet.

Algenwachstum und Sauerstoff- verhältnisse

Mit den folgenden Ausführungen soll der Zusammenhang zwischen Nährstoffgehalt und Sauerstoffsituation im See veranschaulicht werden. Mit 1 Kilogramm Phosphor können 114 Kilogramm Algen-Trockensubstanz respektive 1 Tonne lebende Algenbiomasse produziert werden. Dieser Produktionsvorgang - auch **Photosynthese** genannt - generiert am Ort des Wachstums (Seeoberfläche) 140 Kilogramm Sauerstoff. In einem Liter Wasser sind bei 10 °C maximal 11.2 mg Sauerstoff gelöst. Somit sind 140 Kilogramm Sauerstoff in 12'500 m³ Wasser gelöst. Der Abbau dieser Algenbiomasse geschieht durch Bakterien, welche dazu am Ort der Zersetzung wiederum 140 Kilogramm Sauerstoff bzw. 12'500 m³ sauerstoffgesättigtes Wasser benötigen. Da das Wachstum und die Zersetzung in einem See normalerweise nicht am selben Ort stattfinden und die Temperaturschichtung im Sommer einen vertikalen Sauerstofftransport in die Tiefe unterbindet, steht der an der Oberfläche photosynthetisch produzierte Sauerstoff der bakteriellen Zersetzung im Tiefenwasser nicht zur Verfügung. Der Abbau der abgestorbenen Algenbiomasse verbraucht daher im Tiefenwasser Sauerstoff, ohne dass dieser genügend schnell nachgeliefert werden kann. Eine Nachlieferung von Sauerstoff ist erst wieder möglich, wenn die Temperaturschichtung aufgehoben ist, also im Winterhalbjahr. Als Konsequenz davon werden während der Sommermonate in nährstoffreichen Seen die Sauerstoffreserven des Tiefenwassers aufgezehrt. Damit ist auch die Nutzung des Tiefenwassers als Lebensraum für tierische Organismen stark eingeschränkt bis verunmöglicht. Fischlaich von Felchen oder Seesaiblingen (Zuger Röteli), welcher am Seegrund abgelegt wird, stirbt wegen Sauerstoffmangel ab. Der Ausfall des Laichs muss mittels Aussetzen von Fischbrütlingen künstlich kompensiert werden.

Die Sauerstoffarmut des Tiefenwassers hat zudem zur Folge, dass aufgrund von biochemischen Abläufen bereits ins Sediment eingelagerter Phosphor ins Tiefenwasser rückgelöst wird. Diese **Phosphorrücklösung** wird auch als seeinterne Düngung bezeichnet. Sie erfolgt vor allem bei geringen Sauerstoffkonzentrationen.

Tabelle 7:
Mittlerer Gesamt-
phosphorgehalt im
See und abgeleiteter
Nährstoff-Typus

P-Konzentration*	Nährstoff-Typus	Biologische Produktion
< 0.005 mg/l P	ultra-oligotroph (= äusserst nährstoffarm)	sehr gering
0.005 bis 0.01 mg/l P	oligotroph (= nährstoffarm)	gering
0.010 bis 0.03 mg/l P	mesotroph (= mittel nährstoffreich)	mittel**
0.030 bis 0.10 mg/l P	eutroph (= nährstoffreich)	hoch
> 0.1 mg/l P	hypereutroph (= äusserst nährstoffreich)	sehr hoch

* während der Frühjahrszirkulation

** Ziel der GSchV: entspricht einer mittleren P-Konzentration von maximal 0.03 mg/l P.

trationen oder fehlendem Sauerstoff am Seegrund. Damit häuft sich im Tiefenwasser gelöster Phosphor an, welcher bei der nächsten Voll- oder Teilzirkulation an die Oberfläche gelangt und dort das Algenwachstum zusätzlich fördert.

Gewässer- sanierung

Die Folgen einer zu grossen Nährstoffzufuhr - nämlich regelmässige Algenblüten, hohe Trübungen und Verfärbungen, Verschlechterung der Wasserqualität, ausgedehnte Sauerstoffarmut, wiederkehrende Fischsterben, Bildung von toxischen Substanzen und Verarmung der Artenzusammensetzung - sind für den Lebensraum See drastisch und ohne Sanierungsmassnahmen unwiderruflich. Auch die menschliche Nutzung des Lebensraumes See, wie es die Fischerei, die Erholung, der Wassersport, der Tourismus oder die Trinkwassergewinnung darstellen, ist unter solchen Umständen stark eingeschränkt bis unmöglich. Es gilt daher, im Rahmen von Seesanieungsmassnahmen prioritär die Nährstoffzufuhr so umfassend wie möglich zu reduzieren. Die Massnahmen müssen bei den Verschmutzungsquellen 'Siedlungsentwässerung' und 'Landwirtschaft' ansetzen (= seeexterne Massnahmen). In manchen Fällen können technische Massnahmen im See wie zum Beispiel die Ableitung von Tiefenwasser oder die Seenbelüftung (= seeinterne Massnahmen) unterstützend wirken.



Siedlungs-
entwässerung



Erholung



Brauchwasser



Schifffahrt



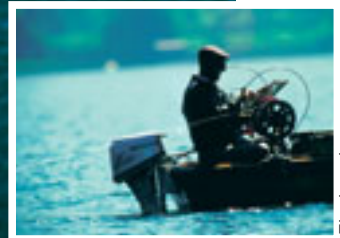
Trinkwasser



Wassersport



Wasserkraft



Fischerei

Nutzung der Gewässer

5 Untersuchungsergebnisse Seen

Tiefenprofile werden im Zuger- und Ägerisee seit 1974, im Wilersee seit 1981 regelmässig untersucht. Die in verschiedenen Seetiefen gemessenen Stoffkonzentrationen können je nach Fragestellung ausgewertet und grafisch dargestellt werden. Geht es darum, den **gesamten Stoffinhalt** in einem See darzustellen, werden aus den gemessenen Stoffkonzentrationen in jeder Wassertiefe Schichtinhalte berechnet und diese über die gesamte Seetiefe aufsummiert. Geht es darum, die **Verteilung der Stoffe** im See zu zeigen, werden aus den Messdaten Linien gleicher Stoffkonzentrationen (Isoplethen) berechnet.

5.1 Zugersee

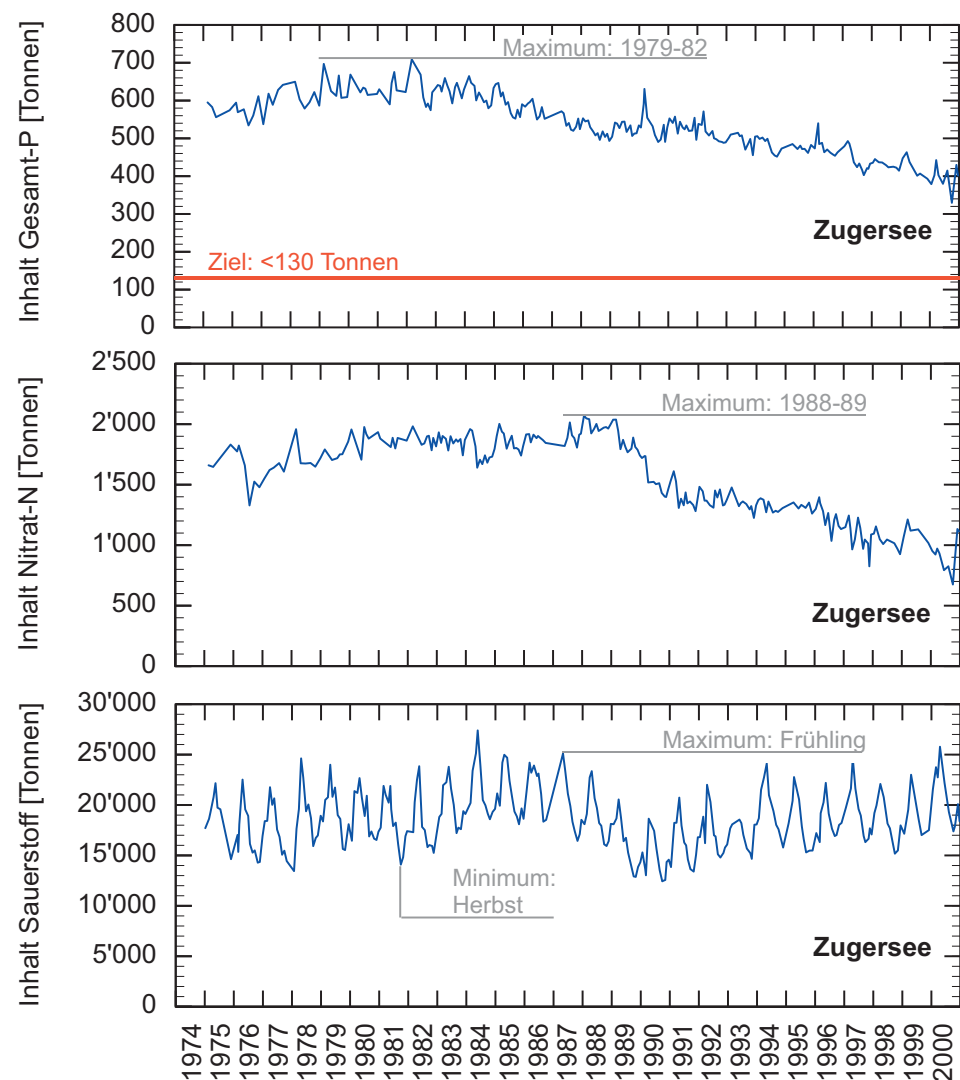
Im Zugersee erreicht der **Sauerstoffinhalt** im Frühling jeweils das Maximum und im Herbst das Minimum (Abbildung 10). Dies ist typisch für grosse Seen, die im Winterhalbjahr zirkulieren, aber selten gefrieren. Da das Tiefenwasser wegen den vielen Nährstoffen eine höhere Dichte aufweist als die oberen Wasserschichten, vermag die winterliche Umwälzung den Grund nicht zu erreichen. Die **Sauerstoffkonzentration** des oberflächennahen lichtdurchfluteten Wassers liegt im Zugersee seit 1991 immer zwischen 8 und über 10 mg/l (Abbildung 9). Die höchsten Konzentrationen werden vom Frühling bis zum Vorsommer infolge der regelmässig auftretenden Algenblüten erreicht. Die Algen geben den photosynthetisch produzierten Sauerstoff ins umliegende Wasser ab, so dass es auch zur Sauerstoffübersättigung kommen kann. Mit zunehmender Seetiefe nimmt die Algendichte und damit auch die Sauerstoffkonzentration ab. In rund 80 m bis 120 m Tiefe ist noch 4 mg/l Sauerstoff vorhanden. Damit wird das für den Zugersee in Tabelle 5 aufgeführte Qualitätsziel bezüglich Sauerstoff nicht eingehalten. In Tiefen unter 160 m ist der Zugersee ganzjährig praktisch sauerstofflos. Interessant ist die Wirkung des Sturmes Lothar Ende Dezember 1999 auf die Sauerstoffversorgung in der Seetiefe. Dieser Sturm bewirkte eine verstärkte Mischung des Oberflächenwassers mit dem Tiefenwasser, so dass sich im Jahr 2000 die Sauerstoffverhältnisse in den grossen Tiefen des Zugersees deutlich verbesserten.

Die Stickstoffverbindungen **Nitrat und Ammonium** nehmen zusammen mit dem Phosphor eine zentrale Stellung im Stoffhaushalt eines Sees ein. Sie sind wichtige Pflanzennährstoffe und geben Auskunft über den Belastungszustand eines Sees. Der Stickstoffhaushalt ist eng mit dem Sauerstoff gekoppelt. Im Zugersee treten erhöhte Ammoniumkonzentrationen von mehr als 0.1 mg/l N ganzjährig erst ab einer Tiefe von rund 160 m auf (Abbildung 10). In diesem sauerstoffarmen Tiefenwasser wird abgesunkene tote organische Substanz bakteriell abgebaut. Noch vorhandenes Nitrat wird dabei zu Ammonium umgewandelt, welches sich hier anreichert. An der Seeoberfläche wird der als Nitrat vorliegende Stickstoff im Sommerhalbjahr von den wachsenden Algen aufgenommen, so dass die Nitratkonzentration im Oberflächenwasser abnimmt. Innerhalb und unmittelbar unterhalb der Sprungschicht (Metalimnion) werden im

Zugersee die höchsten Nitratkonzentrationen festgestellt. Hier findet infolge des fehlenden Lichtes kein Wachstum der Algen und somit auch keine Nitrataufnahme statt. Da die Sauerstoffkonzentration noch hoch ist, wird vorhandenes Ammonium in Nitrat umgewandelt. Der Nitratingehalt nimmt gemäss Abbildung 9 in der Langzeitentwicklung seit 1990 kontinuierlich ab. Während der Nitratingehalt bis 1989 im Bereich von nicht ganz 2000 Tonnen Nitrat-N lag (= mittlere Konzentration von 0.6 mg/l N), betrug er im Jahr 2000 noch knapp die Hälfte. Sowohl beim Nitrat als auch beim Ammonium ist die Tiefenwirkung des Sturmes Lothar deutlich ersichtlich (Abbildung 10).

Die Messgrösse **Gesamtphosphor** fasst den gelösten und partikulären Phosphor sowie die Polyphosphate zusammen. Der Phosphor ist in unseren Seen in der Regel der wachstumslimitierende Faktor. Es gilt demnach, mit gezielten Sanierungsmassnahmen die Phosphorkonzentration zu senken. Im Zugersee wird dies gemäss Abbildung 9 auch mit Erfolg erreicht. So sank der Gesamtphosphorinhalt von maximal rund 700 Tonnen in den Jahren 1979 bis 1982 kontinuierlich auf rund 400 Tonnen im Jahr 2000. Damit wird die Zielvorgabe von 130 Tonnen Phosphor Seeinhalt, was einer mittleren Gesamtphosphorkonzentration von 0.04 mg/l P entspricht, noch nicht erreicht. Die Gesamtphosphorkonzentra-

Abbildung 9:
Gesamtphosphor-,
Nitrat- und Sauerstoffinhalt im
Zugersee von
1974-2000



tion betrug im Zugersee während der Frühjahrszirkulation (Ende Februar bis anfangs März), im Jahr 2000 rund 0.125 mg/l P. Im Laufe des Sommers wird der Phosphor im Oberflächenwasser durch die Algen aufgenommen. Die Phosphorkonzentration sinkt daher im Oberflächenwasser auf weniger als 0.03 mg/l P. Im Tiefenwasser nimmt die Phosphorkonzentration infolge des mikrobiellen Abbaus abgestorbener Biomasse und der Phosphorrücklösung aus dem Sediment stark zu. Im Vergleich zum Oberflächenwasser sind die Werte unterhalb 160 m Tiefe um mehr als das 10-fache höher. Mit Beginn der Herbstzirkulation wird der Phosphor aus dem Tiefenwasser wieder an die Seeoberfläche transportiert. Dieser Phosphor steht dann dem pflanzlichen Wachstum des nächsten Jahres wieder zur Verfügung.

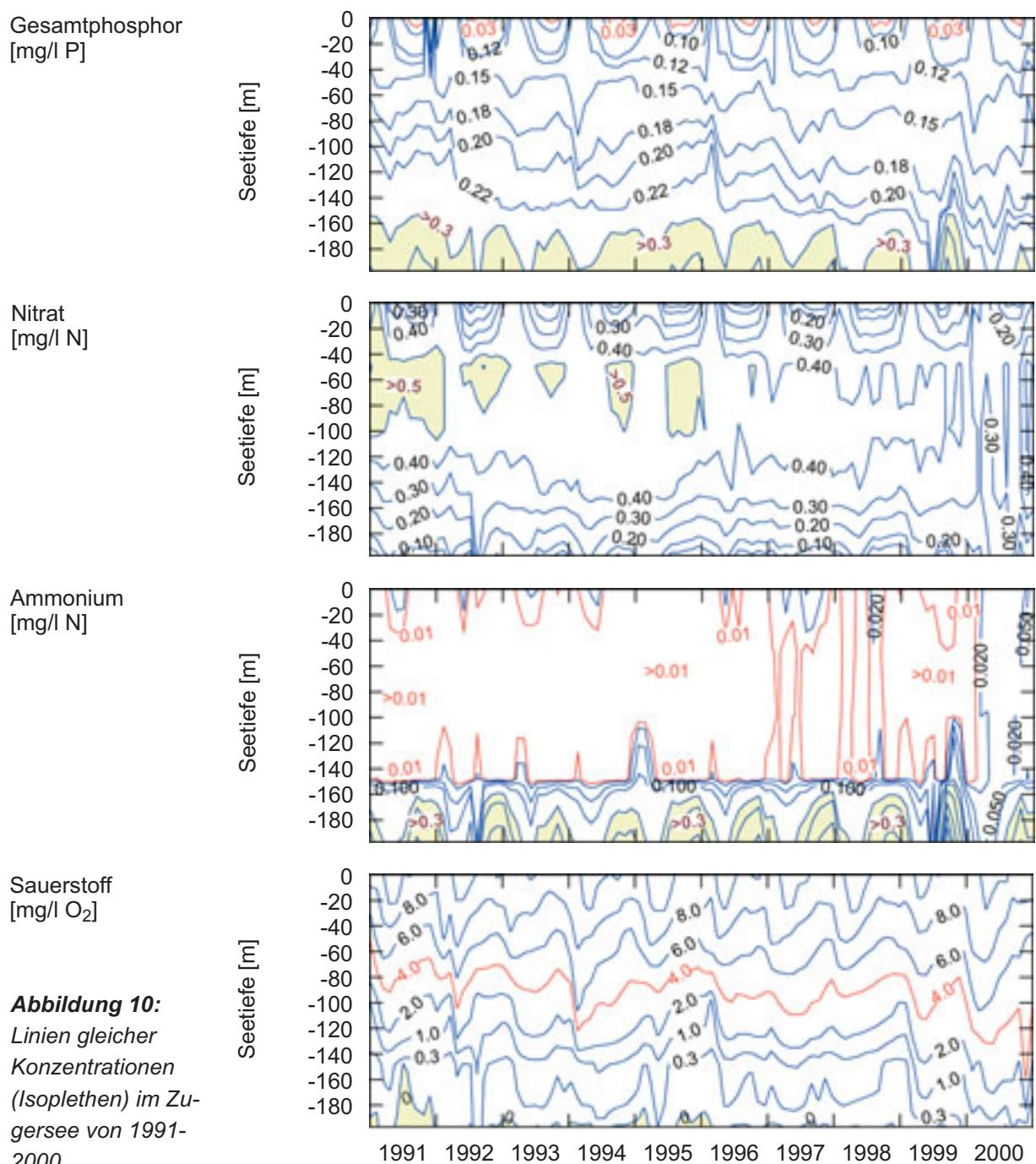
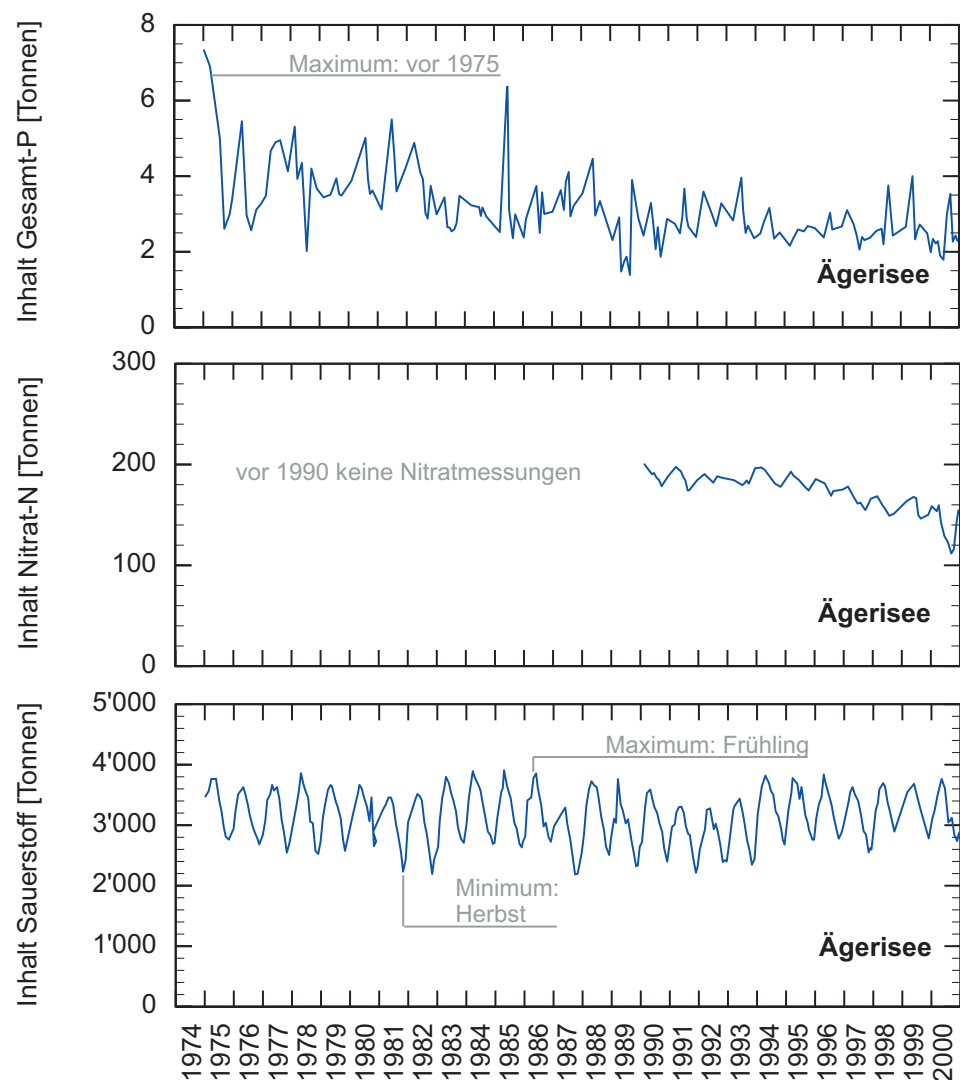


Abbildung 10:
Linien gleicher
Konzentrationen
(Isoplethen) im Zu-
gersee von 1991-
2000

5.2 Ägerisee

Der Ägerisee weist im Vergleich zum Zugersee und Wilersee deutlich geringere Stoffkonzentrationen und weniger ausgeprägte Unterschiede im Tiefenprofil und Jahresverlauf auf. Dies ist eine Folge der heute sehr geringen Nährstoffbelastung aus dem Einzugsgebiet. Zwar erfuhr auch der Ägerisee wie viele Schweizer Seen auch in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts infolge Eintrag von Phosphor und Stickstoff aus der Siedlungsentwässerung und der Landwirtschaft eine Nährstoffanreicherung. So lag der **Phosphorinhalt** gemäss Abbildung 11 im Jahre 1975 noch bei knapp 8 Tonnen, was einer mittleren Phosphorkonzentration von etwas mehr als 0.02 mg/l P entsprach. Dank dem Anschluss von Oberägeri, Alosen und der Siedlungen entlang des Sees bis Morgarten im Jahre 1972 an die Kanalisationsleitung gelangen heute fast keine häuslichen Abwässer mehr in den Ägerisee. Als Folge davon hat sich der Phosphorinhalt seit 1975 mehr als halbiert. Er liegt heute dauernd und deutlich unter 4 Tonnen, und die Phosphorkonzentration während der Frühjahreszirkulation

Abbildung 11:
Gesamtphosphor-,
Nitrat- und Sauerstoffinhalt im
Ägerisee von
1974-2000



liegt unter 0.01 mg/l P. Der Ägerisee wird daher als nährstoffarmer (oligotropher) See bezeichnet. Die geringen Phosphorkonzentrationen haben zur Folge, dass im lichtdurchfluteten Oberflächenwasser auch wenig pflanzliches Wachstum möglich ist und daher auch nur eine geringe Biomasse im Tiefenwasser bakteriologisch abgebaut werden muss.

Obwohl der Ägerisee eine geringe Produktion von Biomasse aufweist, wird im Herbst der **Sauerstoff** über Grund an der tiefsten Stelle vollständig aufgezehrt (Abbildung 12). Diese hohe Sauerstoffzehrung erfolgt im organisch angereicherten Sediment und ist ein Effekt (Altlast) der früheren Nährstoffbelastung. Damit wird das in Kapitel 3 aufgeführte Qualitätsziel von 4 mg/l Sauerstoff in allen Tiefen noch nicht erfüllt. Während der Mischung im Winterhalbjahr, welche regelmässig bis in die maximale Seetiefe von 83 m vordringt, wird dann das Tiefenwasser wieder mit Sauerstoff angereichert.

Die Messwerte für **Ammonium und Nitrat** sind im Ägerisee unproblematisch tief. Der im Jahr 2000 vorgefundene Nitratinhalt von rund 150 Tonnen entspricht während der Frühjahreszirkulation einer mittleren Nitratkonzentration von rund 0.45 mg/l N. Zur selben Zeit beträgt die Ammoniumkonzentration 0.02 mg/l N.

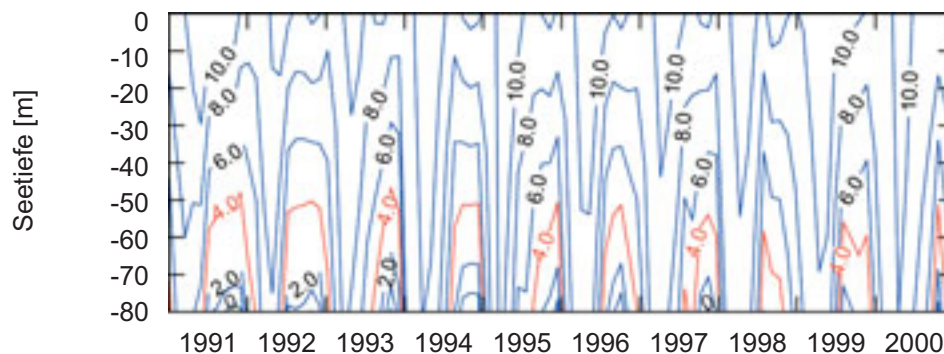
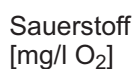
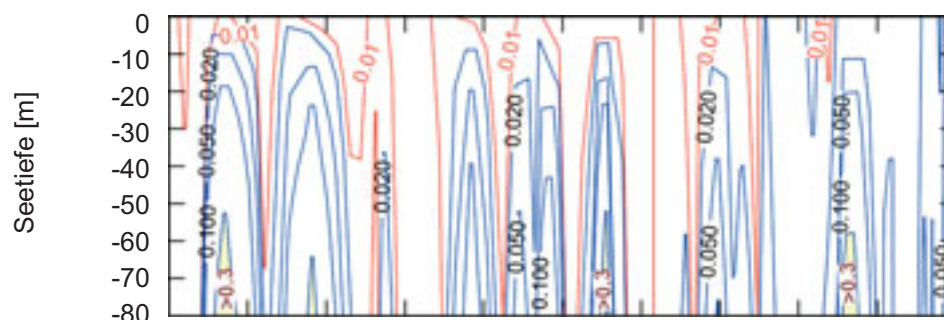
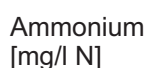
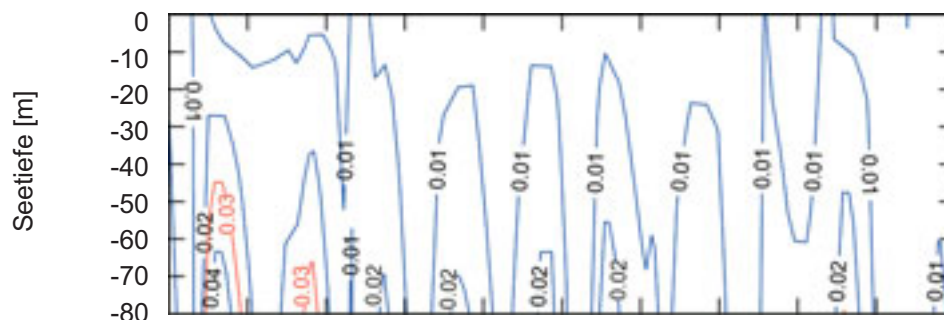
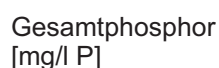


Abbildung 12:
Linien gleicher
Konzentrationen
(Isoplethen) im
Ägerisee von
1991-2000

5.3

Wilersee

Der Wilersee ist der kleinste See unter den drei Zuger Seen. Sein Einzugsgebiet, welches weitgehend landwirtschaftlich genutzt ist, ist aber im Verhältnis zur Seeoberfläche sehr gross. Die flächenwirksamen Tätigkeiten im Einzugsgebiet des Wilersees (z.B. Düngung) müssen daher in einem verträglichen Ausmass und in Abstimmung mit dem kleinen und daher auf Nährstoffbelastungen rasch reagierenden See durchgeführt werden. Obwohl im Wilersee schon seit langem seeexterne und -interne Sanierungsmassnahmen umgesetzt werden, sind die vorgegebenen Qualitätsziele wegen der nach wie vor zu hohen Nährstoffzufuhr aus dem Einzugsgebiet noch nicht erreicht (vgl. Kapitel 7). Seit 1994 schwankt der **Gesamtphosphorgehalt** zwischen 10 und 25 kg, was mittleren Konzentrationen zwischen 0.025 und 0.06 mg/l P entspricht. Das angestrebte Ziel von 11 kg Gesamtphosphor bzw. 0.03 mg/l P kann auch mit den laufenden technischen Sanierungsmassnahmen nicht ständig erreicht werden.

Die Messgrössen **Nitrat** und **Ammonium** weisen im Wilersee einen ausgeprägten Jahresverlauf auf. Da Nitrat bei Sauerstoffmangel mikrobiell zu Ammonium

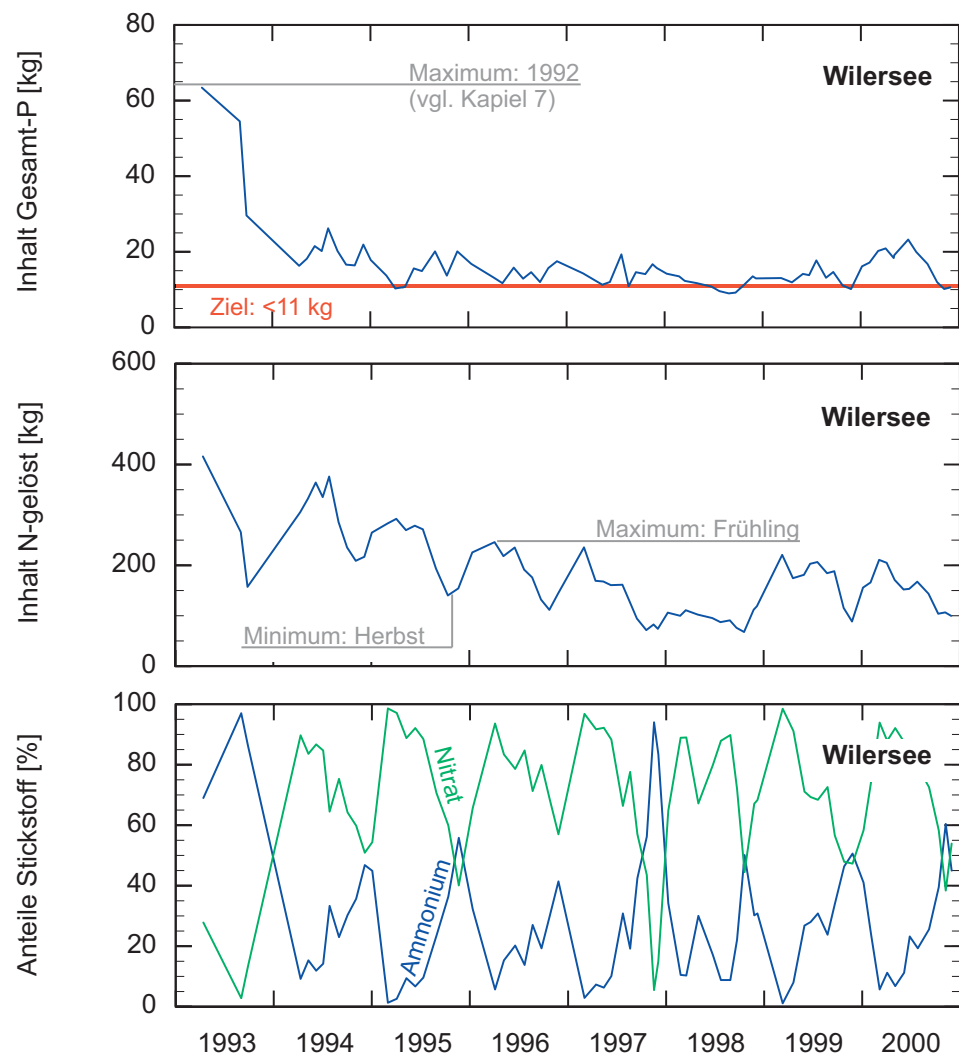


Abbildung 13:
Gesamtphosphor,
gelöster Stickstoff
und dessen Anteile
im Wilersee von
1993-2000

umgewandelt wird, erscheinen Ammoniumkonzentrationen über 0.3 mg/l N nur im Tiefenwasser und im Sommerhalbjahr. Demgegenüber tritt Nitrat mit Konzentrationen über 0.5 mg/l N über das ganze Tiefenprofil verteilt regelmässig im Winter und Frühling auf. Die Sanierungsbemühungen haben dazu geführt, dass der Inhalt an gelöstem Stickstoff (Summe von Nitrat, Nitrit und Ammonium) kontinuierlich abnimmt. Er betrug im Jahr 2000 mit 100 bis 200 kg Stickstoff noch rund halb so viel wie im Jahr 1993.

Bezüglich **Sauerstoffgehalt** werden die vorgegebenen Qualitätsziele noch nicht erreicht. Die zeitliche und räumliche Ausdehnung des sauerstofflosen Bereichs über Seegrund ist aber deutlich zurückgegangen. Dank der Zirkulationsunterstützung im Winter gelangt jedes Jahr genügend Sauerstoff in die Tiefe.

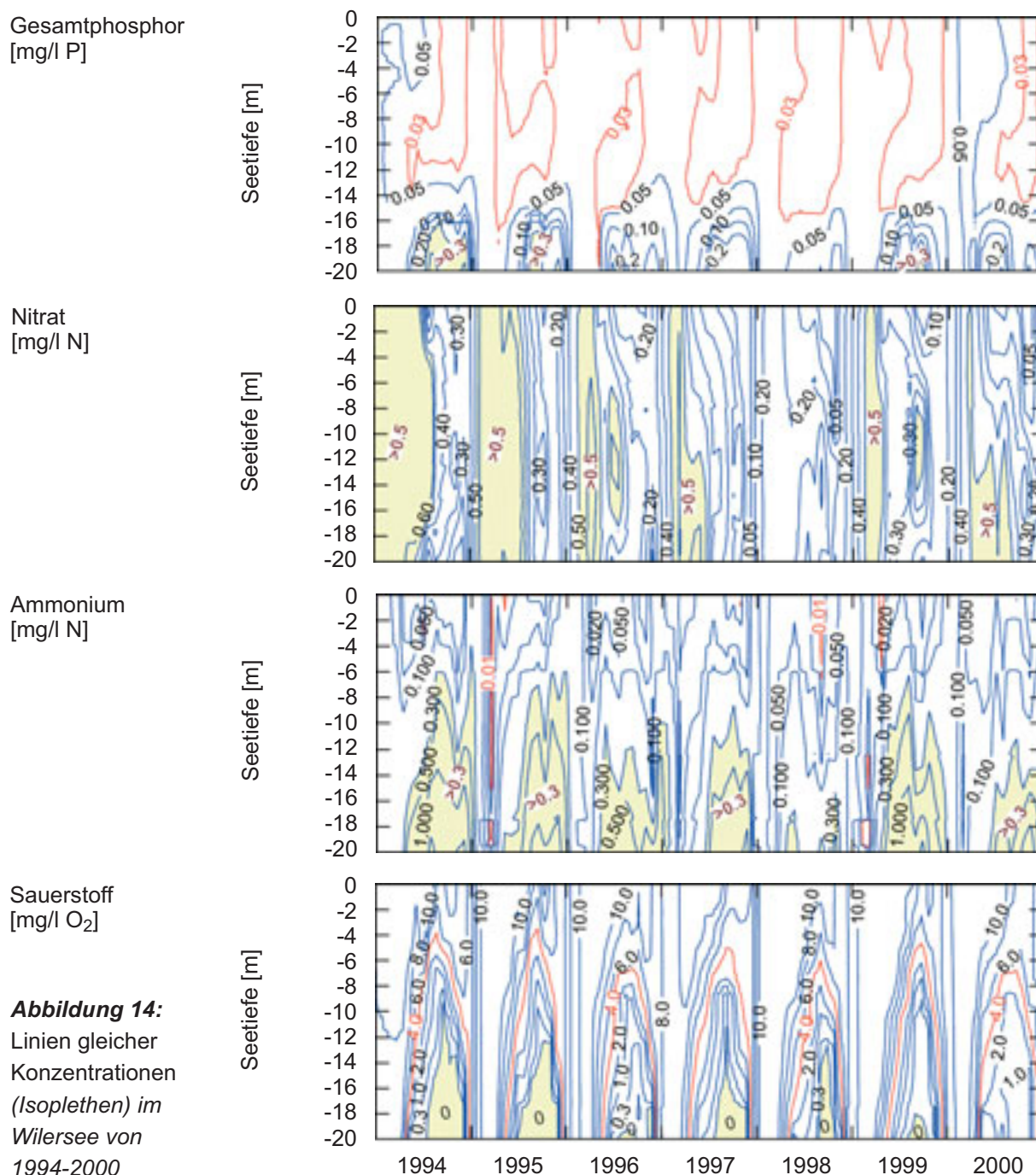


Abbildung 14:
Linien gleicher
Konzentrationen
(Isoplethen) im
Wilersee von
1994-2000

6

Eutrophierung und Sanierung des Zugersees

Die Belastung des Zugersees mit Abwasser und Nährstoffen ist schon lange als Problem erkannt und seit rund einem Jahrhundert immer wieder Thema in Politik, Wissenschaft, Presse und Bevölkerung. Im Folgenden werden die Entwicklung dieser Belastung (Eutrophierung) in der Vergangenheit, die Sanierungsziele sowie die Sanierungsmassnahmen und die Erfolgskontrolle vorgestellt.

Eutrophierungsgeschichte

Regelmässige chemische Messungen der Wasserqualität wurden im Zugersee erst ab den 1970er-Jahren durchgeführt. Die Nährstoffverhältnisse aus der Zeit, wo noch keine chemischen Messungen durchgeführt wurden, können anhand der im Seeboden (Sediment) eingelagerten Schalen von toten Kieselalgen rekonstruiert werden. Diese Schalen enthalten Silikate, welche in den Seesedimenten über Jahrhunderte erhalten bleiben. Aus der Form der Schalen kann auf die entsprechende Kieselalgenart und auf die zur Lebenszeit der Algen herrschenden Nährstoffverhältnisse geschlossen werden. Für die zeitliche Zuordnung ist die Datierung der Sedimentablagerungen Voraussetzung.

Im Zugersee konnte mit einem rund 1 m langen Sedimentkern die Nährstoffgeschichte der letzten 450 Jahre rekonstruiert werden (Abbildung 15). Aufgrund dieser Untersuchungen wurde erkannt, dass sich der Zugersee von 1550 bis 1810 in einer stabilen, eher schwachen mesotrophen (= mittel nährstoffreich, siehe Tabelle 7) Zustand befand. Die rekonstruierten Gesamtposphorwerte betrugen über diese Zeitperiode von rund 260 Jahren im Mittel um 0.02 mg/l P. Anfangs des 19. Jahrhunderts erhöhte sich dann der Gesamtposphor langsam, so dass um ca. 1850 Konzentrationen um 0.03 bis 0.04 mg/l P vorlagen. Der Trophiegrad erreichte dann um 1880 mit einem beachtlichen Eutrophierungsschub einen ersten Maximalwert von 0.05 bis 0.07 mg/l P und damit deutlich eutrophe (= nährstoffreiche) Verhältnisse. Dieser gewässerökologisch schlechte Zustand dürfte durch die Industrialisierung (Bevölkerungszunahme), die erhöhte Mobilität (Dampfschiffahrt, Eisenbahnbau verursachten z. B. erhöhten Tourismus) und die fehlende Abwasserreinigung verursacht worden sein.

Ab 1910 begann dann eine zweite Eutrophierungsphase, welche bis Ende der 1970er Jahre dauerte. Dieser zweite Nährstoffschub machte sich auch mit deutlich erkennbaren gewässerökologischen Veränderungen bemerkbar. So wurde 1898 erstmals das Auftreten der Burgunderblutalge (*Planktothrix* (früher: *Oscillatoria*) *rubescens*) dokumentiert und 1903 traten die ersten Klagen über den Rückgang der Röteli-Erträge ein. Um ca. 1960 überschritten die Gesamtposphorwerte die Marke von 0.1 mg/l P, was hypereutrophe (= äusserst nährstoffreiche) Verhältnisse bedeutet. Diese massive Verschlechterung des Trophiegrades wurde einerseits durch die Bevölkerungszunahme und andererseits durch die Intensivierung der Landwirtschaft verursacht. Ende der 1970er und anfangs der 1980er Jahre traten im Zugersee aufgrund der Rekonstruktion Gesamtposphorwerte von rund 0.25 mg/l P auf (chemisch gemessen im selben Zeitraum: 0.2 mg P/l). Die seit rund 20 Jahren greifenden Sanierungsmassnahmen bewirkten eine deutliche Verminderung der Gesamtposphorkonzentration (rekonstruiert: 0.13 mg/l P, gemessen: 0.12 mg/l P). Damit liegen heute im Vergleich zu 1980 deutlich bessere Nährstoffverhältnisse vor. Die heutigen

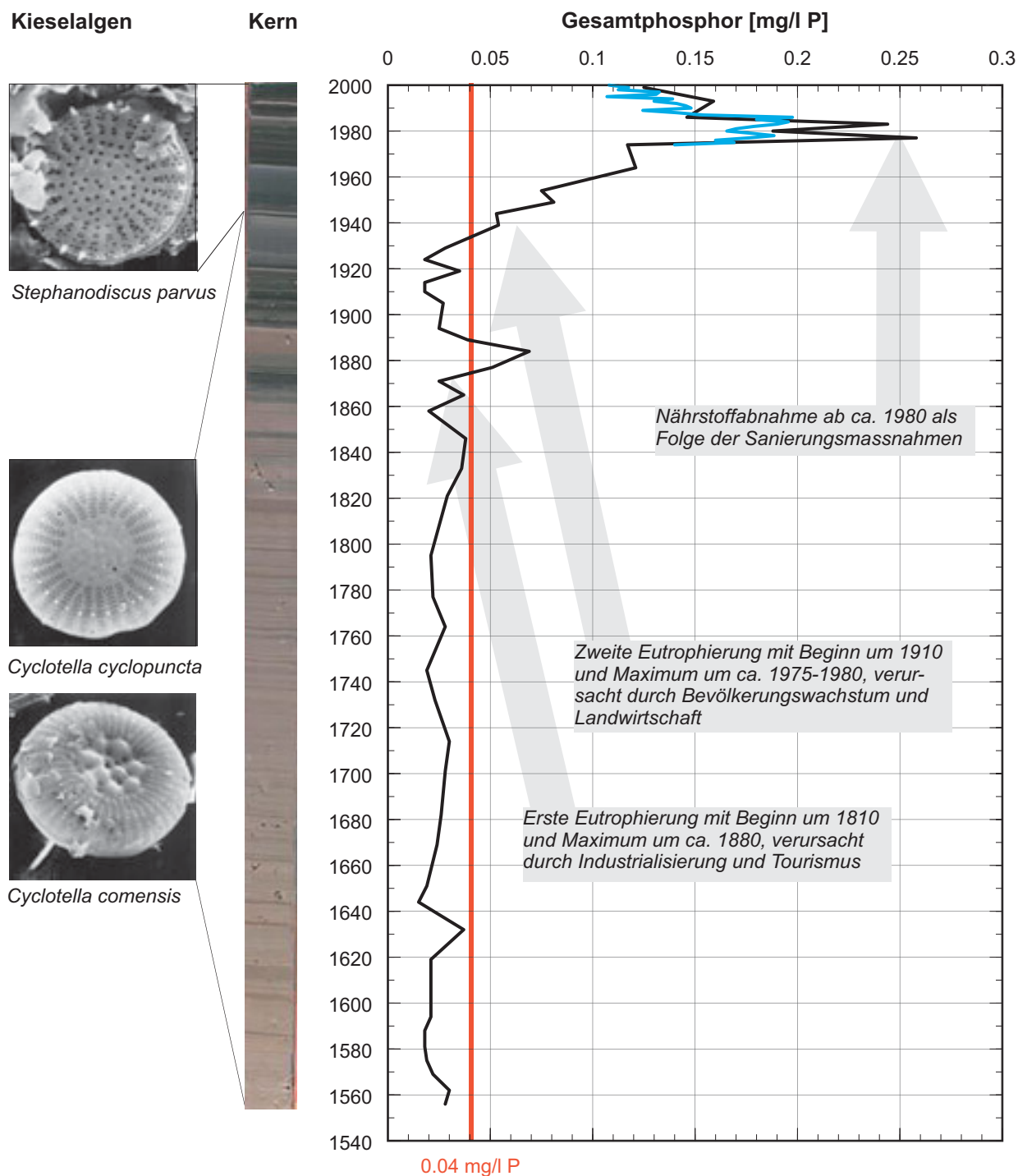


Abbildung 15: Die Entwicklung des Gesamtphosphors im Zugersee basierend auf im Sediment eingelagerten Kieselalgen (Phosphor-Rekonstruktion im Jahr 2000).

Linke Bildhälfte: Zugerseesediment und darin enthaltene wichtige Kieselalgen der Gattungen *Stephanodiscus* und *Cyclotella* (rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen, Durchmesser der Algen ca. 0,005 bis 0,01 mm). Rechte Bildhälfte: Schwarze Linie = rekonstruierter Gesamtphosphor, blaue Linie = gemessener Gesamtphosphor im Epilimnion (0-5 m) während der Frühjahreszirkulation, rote Linie = Sanierungsziel für den Zugersee.

Phosphorkonzentrationen entsprechen aber noch nicht den für den Zugersee natürlichen Verhältnissen.

Sanierungs- massnahmen

Der Rückgang der Nährstoffe im Zugersee ab den 1980er-Jahren ist im wesentlichen auf umfassende seeexterne Sanierungsmassnahmen zurückzuführen, welche im Bereich der **Siedlungsentwässerung** (Fernhalten von Abwasser) sowie in der **Landwirtschaft** ansetzten. Die bedeutendste Massnahme im Bereich der Siedlungsentwässerung ist der Bau der zentralen Kläranlage Schönauf im Jahr 1977, welche das gereinigte Abwasser in die Untere Lorze ausserhalb des Einzugsgebietes des Zugersees abgibt. Die Kläranlage Schönauf löste eine Vielzahl von kleinen Kläranlagen mit ungenügender Leistung im Einzugsgebiet des Zugersees ab. Über eine Ringleitung (Vollendung 1991) um den Zugersee werden heute alle Abwässer im Einzugsgebiet des Zugersees gesammelt und der Kläranlage Schönauf zugeführt. Einen weiteren Beitrag zur Verbesserung der Wasserqualität leistete der vom Kanton Zug verlangte und subventionierte Ausbau der Kapazitäten für die Lagerung von Hofdünger.

Die Sanierungsbemühungen erfolgten kantonsübergreifend zusammen mit den Kantonen Schwyz und Luzern, welche ebenfalls Flächen im Einzugsgebiet des Zugersees besitzen. Für die Umsetzung der Massnahmen in der Siedlungsentwässerung und der Landwirtschaft wurden der GVRZ (Gewässerschutzverband der Region Zugersee-Küssnachtersee-Ägerisee, Gründung 1970) sowie die interkantonale Koordinationskommission Zugersee (Gründung 1995) geschaffen. In Zusammenhang mit der Sanierung des Zugersees wurden neben den erwähnten seeexternen Massnahmen intensiv und über lange Zeit auch mehrere seeinterne Installationen diskutiert und planerisch erarbeitet. Es waren dies, verknüpft mit einer gleichzeitigen Erhöhung der Abflusskapazität zur Optimierung der Seepegelregulierung im wesentlichen folgende Ansätze:

- **Tiefenwasserableitung:** Bau eines Abflusstollens, welcher sauerstoffarmes und nährstoffreiches Tiefenwasser in die Reuss ableiten soll,
- **Überleitungstollen:** Überführen von sauerstoffreichem und nährstoffarmem Wasser aus dem höher gelegenen Vierwaldstättersee (Küssnachterbecken) in den Zugersee bei Immensee.
- **Sauerstoffeintrag:** Künstlicher Eintrag von Sauerstoff in das sauerstoffarme Tiefenwasser mit einer Belüftungsanlage.

Bis heute wurde aber keine der vorgeschlagenen seeinternen Sanierungsmassnahmen umgesetzt. Die Ableitung des stark nährstoffhaltigen Tiefenwassers aus dem Zugersee in die Reuss hätte während Jahren zu einer markanten Belastung des Fliessgewässers geführt. Eine Überleitung von Wasser aus dem Vierwaldstättersee in den Zugersee wäre mit einem verminderten Abfluss in der Reuss bei Luzern verbunden gewesen. Dies hätte möglicherweise Folgen für die Grundwasserverhältnisse im Reusstal gehabt. Der Regierungsrat des Kantons Zug hat daher im Jahre 1991 entschieden, auf see-interne Massnahmen zu verzichten und die Sanierung des Zugersees mittels see-externen Massnahmen fortzuführen.

Sanierungsziele

Laut den Anforderungen der GschV darf der Nährstoffgehalt in einem See höchstens eine mittlere Produktion von Biomasse ermöglichen (vgl. Kapitel 3.1). Vorbehalten bleiben Gewässer mit natürlicherweise hohen Nährstoffgehalten. Solche Seen müssen nicht saniert werden. Für den früher mesotrophen (= mittel nährstoffreichen) Zugersee wurden von der wissenschaftlichen Begleitkommission zur Sanierung des Zugersees folgende Werte und Zustände definiert:

- Mittlere Gesamtposphorkonzentration von maximal 0.04 mg/l P während der Frühjahreszirkulation,
- Jahres-Phosphorfracht von maximal 10 Tonnen Gesamtphosphor, bzw. 8 Tonnen bioverfügbarem Phosphor,
- Sauerstoffzehrung weniger als 1.9 g/m³ und Jahr,
- ausreichende Besiedlung der Sedimente durch Würmer und Insektenlarven bis in eine Seetiefe von 160 m,
- ausreichende Sauerstoffverhältnisse für die Naturverlaichung der Zuger-Rötel.

Zur **Erfolgskontrolle** wird regelmässig der Nährstoffinhalt im See als auch die Nährstoffbelastung aus dem Einzugsgebiet gemessen.

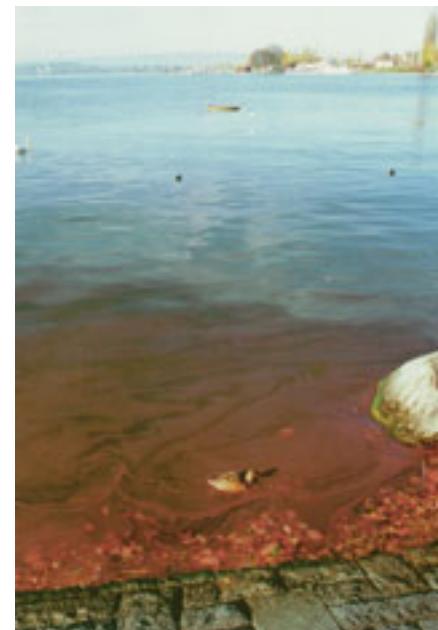
Nährstoffbilanz

Nährstoffreiche Seen wie der Zugersee, die früher nachgewiesenermassen viel geringere Nährstoffinhalte aufwiesen, müssen mit geeigneten Massnahmen in einen höchstens mittel nährstoffreichen Zustand zurückgeführt werden. Der Nährstoffinhalt im Seewasser ist abhängig von der Nährstoffmenge, die über die Bäche und entlang dem Ufer in den See fliesst, und von der Nährstoffmenge, die über den Abfluss sowie über die Einlagerung ins Sediment aus dem See



Abbildung 16:
Starke Veralgungen
im Zugersee

Grünalge *Cladophora glomerata*,
aufgenommen in Cham (1998).



Burgunderblutalge (= Blaualge) *Planktothrix (Oscillatoria) rubescens*,
aufgenommen in Zug (1996).

gelangt (Abbildung 17). Sanierungsmassnahmen können prinzipiell sowohl auf der Zufuhrseite, wie auch auf der Seite des Nährstoffaustrags ergriffen werden. Im Fall des Zugersees wurde auf see-interne Massnahmen wie Tiefenwasserableitung oder Seebelüftung verzichtet. Alle bereits erfolgten und noch laufenden Sanierungsbemühungen zielen auf die Verringerung der Nährstoffzufuhr ab.

Die Nährstoffbelastung des Zugersees stammt heute neben der natürlichen Auswaschung aus Waldböden und Extensivflächen hauptsächlich von Abschwemmungen und Auswaschungen aus landwirtschaftlichen Produktionsflächen sowie in geringerem Mass aus der Siedlungsentwässerung. Die gesamte Nährstoffzufuhr in den Zugersee setzt sich aus den folgenden Beiträgen zusammen:

- Fliessgewässer, die in den See münden,
- Entlastungen der Schmutzwasserkanalisation bei starken Niederschlägen,
- diffuse Einträge entlang dem Seeufer,
- trockene und nasse Deposition aus der Atmosphäre.

Der Nährstoff, welcher die biologische Produktion im See steuert ist Phosphor (P). Die mittlere jährliche Bilanz für die Phosphorbelastung des Zugersees in den Jahren 1998 bis 2002 ist in Tabelle 7 aufgelistet. Gemäss dem Gutachten der Eidgenössischen Anstalt für Abwasserreinigung und Gewässerschutz (EA-WAG) aus dem Jahre 1994 sollte sich im Zugersee bei einer jährlichen Zufuhr von 10 bis 20 Tonnen an totalem Phosphor nach rund 40 Jahren eine mittlere Phosphorkonzentration von 0.04 bis 0.08 mg/l P einstellen. Die Auswertung der laufenden Messungen hat ergeben, dass heute der bioverfügbare Anteil der Gesamtfracht an Phosphor rund 10 Tonnen beträgt. Nach neuer Berechnung

Tabelle 7:
Mittlere jährliche
Phosphorbilanz
im Zugersee der
Jahre 1998-2002

Phosphorfracht in den Zugersee (Gesamtfracht)		Inhalt im See (Jahr 2000)	Austrag über Lorze in Cham	Nettosedimentation im See
Bioverfügbarer P	Totaler P	Totaler P	Totaler P	Totaler P
ca. 10 Tonnen	ca. 15 Tonnen	392 Tonnen bzw. 0.123 mg/l	ca. 15.5 Tonnen pro Jahr	ca. 10.6 Tonnen pro Jahr

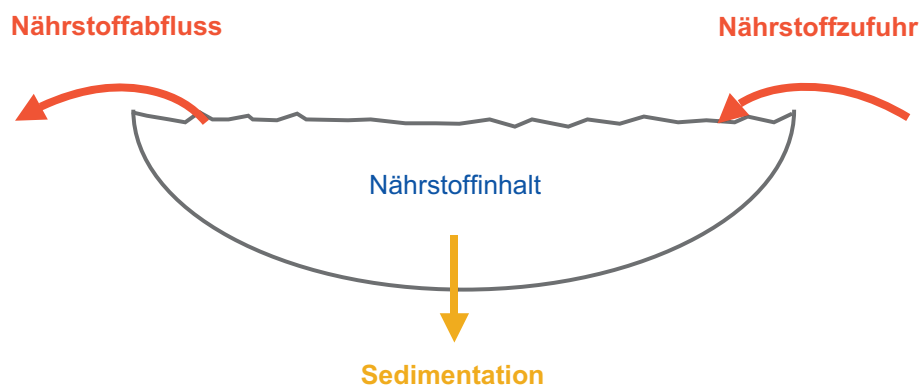


Abbildung 17:
Schematische Darstellung der für die Nährstoffbilanz wichtigen Grössen

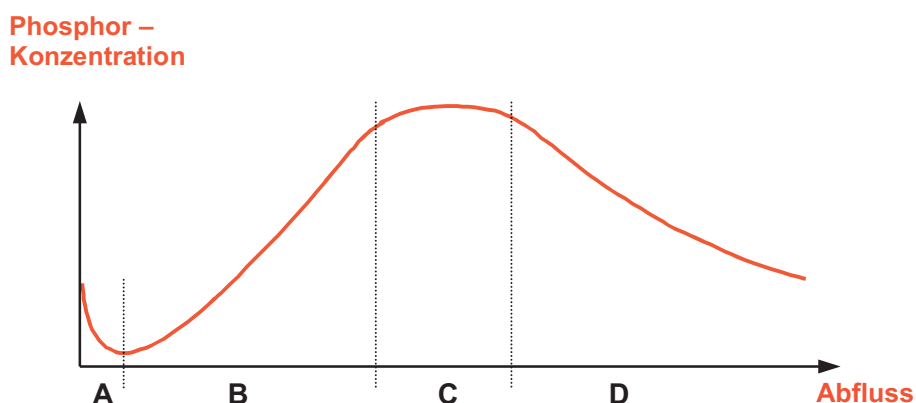
der EAWAG wird sich im Zugersee bei gleich bleibendem Phosphoreintrag bis in 50 Jahren eine Phosphorkonzentration von ca. 0.05 mg/l P einstellen. Damit kann das Sanierungsziel für die mittlere Gesamtposphorkonzentration von maximal 0.04 mg/l P ohne zusätzliche Verminderung der Phosphorfracht in den See nicht erreicht werden. Inwiefern die auf der Verbesserung der Sauerstoffverhältnisse ausgerichteten Sanierungsziele in Zukunft erreicht werden, ist zum heutigen Zeitpunkt schwierig zu beurteilen.

Nährstofffrachten

Für die Bestimmung der Jahresfracht an Phosphor, die über die Fliessgewässer in den Zugersee gelangt, müssen aufwändige Messungen und Berechnungen angestellt werden. Stofffrachten können prinzipiell nur bestimmt werden, wenn lückenlose Abflussmessungen vorliegen. Am Zugersee wird der Abfluss der drei grössten Zuflüsse – die Lorze in Zug, die Rigi-Aa in Oberarth und der Aabach in Böschenrot – in den Messstationen der Landeshydrologie und des Amtes für Umweltschutz gemessen. Weiter muss die Konzentration des Phosphors im Wasser bekannt sein. Die Phosphorfracht zu einem bestimmten Zeitpunkt (Momentanfracht) berechnet sich aus dem Produkt des Momentanabflusses und der zum selben Zeitpunkt gemessenen Phosphorkonzentration im Wasser. Weil die Phosphorkonzentration in Abhängigkeit des Abfluss und auch jahreszeitlich stark schwankt, muss die Momentankonzentration entweder kontinuierlich gemessen oder mit aufwändigen Berechnungen näherungsweise bestimmt werden.

Die folgende Abbildung 18 zeigt schematisch die Veränderung der Nährstoffkonzentration in Abhängigkeit zur Abflussmenge Q am Beispiel des Phosphors: Bei kleinen Abflüssen sind die Phosphorkonzentrationen in der Regel tief. Gibt es oberhalb der Messstelle punktförmige Einleitungen von Nährstoffen (z.B. durch Lecks in Schmutzwasserkanalisationen), so werden diese bei steigendem Abfluss verdünnt (Bereich A). Bei Niederschlägen und weiter ansteigendem Abfluss wird verstärkt Phosphor aus dem Einzugsgebiet ins Fliessgewässer abgeschwemmt (Bereich B). Bei starken Niederschlagsereignissen ergeben sich sehr hohe Phosphorabschwemmungen in die Fliessgewässer (Bereich C). Lang anhaltende Niederschläge mit Hochwasserabfluss führen wegen der allmählichen Auswaschung des Bodens und der starken Verdünnung wieder zu einer Abnahme der Phosphorkonzentration im Fliessgewässer (Bereich D).

Abbildung 18:
Schematischer
Verlauf der Phosphorkonzentration
in Abhängigkeit
des Abflusses



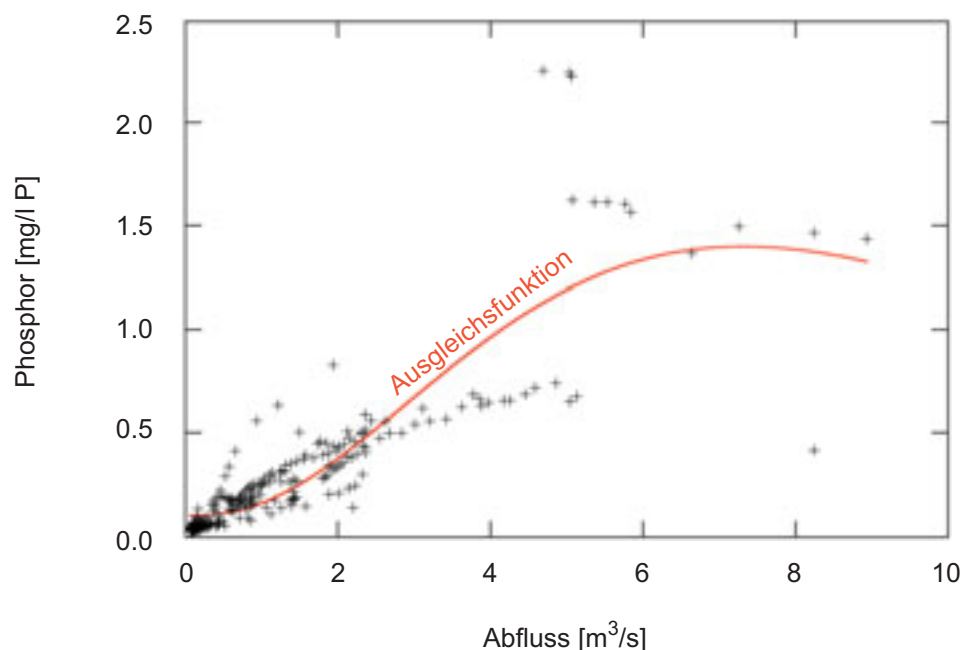
Frachtberechnung an der Lorze

Ein automatischer Probennehmer, welcher durch die Abflussmessenanlage gesteuert wird, sammelt proportional zur Abflussmenge Wasserproben in einem gekühlten Behälter. Die Stofffracht wird aus dem Produkt der Mischkonzentration im Gefäss und dem Abfluss während der Sammelzeit berechnet. Die abflussproportionale Entnahme von Sammelproben ermöglicht eine sehr genaue Frachtberechnung.

Frachtberechnung an der Rigiaa und am Aabach

Bei diesen beiden Messstationen wird alle zwei Wochen eine Wasserprobe im Bach entnommen. Da der Abfluss kontinuierlich gemessen wird, kann für jede dieser Wasserproben der dazugehörige Abfluss angegeben werden. Die Abfluss/Phosphor-Wertepaare werden im Abfluss/Phosphor-Diagramm zusammen mit den Wertepaaren der Vorjahre aufgetragen. Durch die Wertepaare wird sodann eine Ausgleichsfunktion gelegt, die für jeden Abflusswert eine geschätzte Phosphorkonzentration angibt. Die Abfluss/Phosphor-Messwerte und die daraus abgeleitete Ausgleichsfunktion für den Aabach sind in der folgenden Abbildung dargestellt. Geschätzte Minutenfrachten und schliesslich die geschätzte Jahresfracht erhält man, indem mit Hilfe der Ausgleichsfunktion für jeden Minutenabfluss eine geschätzte Minutenkonzentration berechnet und diese mit dem Minutenabfluss multipliziert wird. Die Berechnung von Stofffrachten über Ausgleichsfunktionen ist mit einem grossen statistischen Fehler behaftet.

Abbildung 19:
Phosphorkonzentrationen bei unterschiedlichem Abfluss im Aabach und daraus abgeleitete Ausgleichsfunktion



7**Eutrophierung und Sanierung des Wilersees**

Wie der Zugersee ist auch der Wilersee ein sanierungsbedürftiges Gewässer. Im Folgenden werden die zeitliche Entwicklung der Nährstoffbelastung (Eutrophierung) während der letzten rund 130 Jahre, die Sanierungsmassnahmen sowie die Sanierungsziele und Erfolgskontrollen dargestellt.

**Eutrophierungs-
geschichte**

Regelmässige chemische Messungen der Wasserqualität erfolgten im Wilersee erst ab den 1980er-Jahren. Die Nährstoffentwicklung im Wilersee konnte aber wie beim Zugersee auch mittels der im Sediment eingelagerten Kieselalgen-schalen rekonstruiert werden (Abbildung 20). Aufgrund dieser Untersuchung wurde erkannt, dass sich der Wilersee am Ende des 19. Jahrhunderts bis anfangs der 1930er-Jahre in einem stabilen mesotrophen (= mittel nährstoffreich, siehe Tabelle 7) Zustand (0.02 bis 0.03 mg/l P) befand. Danach begann die Eutrophierung, welche sich zwischen 1950 und 1970 zusehends verstärkte. In diesen Zeitraum gehören auch die von dem Zuger Kantonschemiker K.H. Eschmann beschriebenen Beobachtungen vom 3. August 1961. Er fand im Wilersee Massenentwicklungen von Algen, tote Fische und Schaumbildung beim Einlauf der Kanalisationsrinne von der Käserei her und beschrieb die Seeoberfläche als milchkaffeeartig braun. Mitte der 1975er Jahre wies der Wilersee gemäss Rekonstruktion mittlere Gesamtphosphorkonzentrationen von über 0.1 mg/l P und Spitzenwerte bis knapp 0.2 mg/l P auf. Zu diesem Zeitpunkt befand sich der Wilersee in einem hoch eutrophen (= nährstoffreichen) bis hypereutrophen (= äusserst nährstoffreichen) Zustand. Anschliessend verbesserte sich die Nährstoffsituation aufgrund der eingeleiteten Sanierungsmassnahmen. Allerdings sind die Sanierungsziele auch beim Wilersee noch nicht erreicht.

Der Vergleich der Phosphorrekonstruktion mit den gemessenen Phosphorkonzentrationen der letzten rund 20 Jahre zeigt, dass die Rekonstruktion den Wilersee etwas nährstoffreicher einstuft, als er in Wirklichkeit ist. Der Grund dafür liegt wahrscheinlich bei den in den 1980er und 1990er Jahren zahlreich aufgetretenen Sedimentaufwirbelungen (z.B. Installation und Betrieb der Zirkulationshilfe, Taucharbeiten zur Revision der Tiefenwasserableitung). Solche Aufwirbelungen bewirken Störungen der chronologisch abgelagerten Sedimentschichten, so dass sich die abgelagerten Kieselalgen früherer Jahre mit denen späterer Jahre vermischen.

**Ursachen der
Eutrophierung**

Die Ursache der Eutrophierung des Wilersees ist die Einleitung von Abwasser aus der Käserei Wilen und die landwirtschaftliche Nutzung im Einzugsgebiet des Sees. So setzte die Eutrophierung anfangs der 30er-Jahre ein, also wenige Jahre nach dem Bau der Schweinestallung bei der Sennhütte Wilen anno 1925. Käsereibetrieb und Schweinehaltung sind heute nicht mehr in Betrieb. Dennoch sind die biologische Produktion und der Nährstoffgehalt im See immer noch zu hoch. Die dafür verantwortliche Nährstoffbelastung stammt hauptsächlich aus landwirtschaftlichen Drainagen des Teileinzugsgebietes Chrüzegg, welche über das Meteorwassersystem der Kantonsstrasse in den Wilersee entwässern.

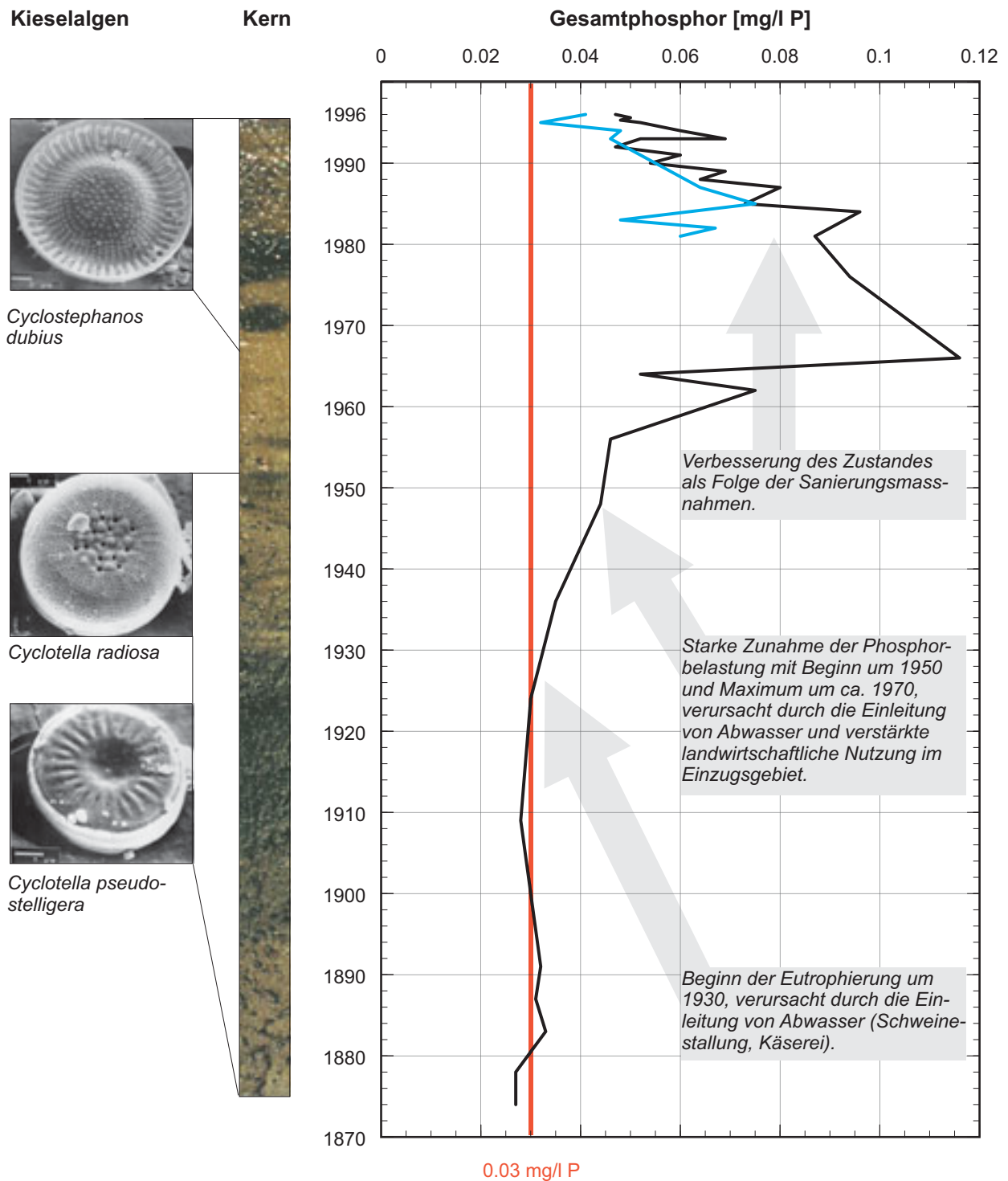


Abbildung 20: Die Entwicklung des Gesamtphosphors im Wilersee basierend auf im Sediment eingelagerten Kieselalgen (Phosphor-Rekonstruktion im Jahr 1996).

Linke Bildhälfte: Wilerseesediment und darin enthaltene wichtige Kieselalgen der Gattungen *Cyclostephanos* und *Cyclotella* (rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen, Durchmesser der Algen ca. 0.005 bis 0.01 mm). Rechte Bildhälfte: Schwarze Linien = rekonstruierter Gesamtphosphor, blaue Linie = gemessener Gesamtphosphor im Epilimnion (0-6 m) während der Frühjahreszirkulation, rote Linie = Sanierungsziel für den Wilersee.

Sanierungs- massnahmen

Zur Sanierung der zu hohen Nährstoffgehalte und zur Verbesserung der Sauerstoffverhältnisse im Wilersee sind folgende Sanierungsmassnahmen ergriffen worden:

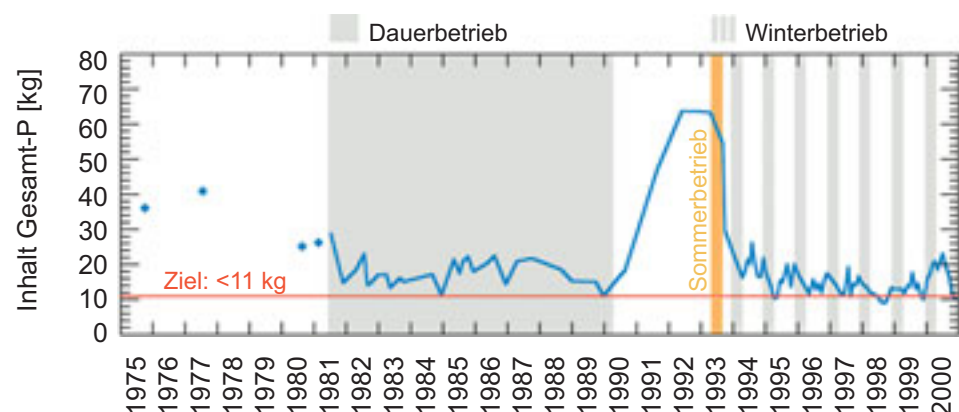
Seeinterne Sanierungsmassnahmen

- **Tiefenwasserableitung (hydraulischer Heber):** Ableitung von sauerstoffarmem und nährstoffreichem Tiefenwasser während der Sommermonate; Inbetriebnahme am 17. Januar 1963.
- **Tiefenwasserbelüftung System 'Bergbach':** Anheben von sauerstoffarmem Tiefenwasser an die Oberfläche zur Anreicherung mit Luftsauerstoff und Rückführung des sauerstoffhaltigen Wassers in die Tiefe. Die Anlage installierte und betrieb die Firma Locher zu Versuchszwecken vom 15. Mai 1981 bis zum 31. März 1990. Der Betrieb war ganzjährig möglich.
- **Zirkulationsunterstützung im Winterhalbjahr ab 1993:** Eintrag von Luftsauerstoff in das sauerstoffarme Tiefenwasser zwischen Dezember und März zur Unterstützung der Zirkulation und Verhinderung der Eisbildung. Dadurch verfügt das Tiefenwasser über maximale Sauerstoffvorräte für das Sommerhalbjahr.

Seeexterne Sanierungsmassnahmen

- **ARA Bostadel:** Anschluss von Wilen und der Sennhütte an die Kläranlage Bostadel im Jahre 1978.
- **Sanierung von landwirtschaftlichen Abwasseranlagen** auf den umliegenden Bauernhofbetrieben.
- **Ausscheiden des Naturschutzgebietes Wilersee mit Düngeverbot** im Nahbereich des Sees (1993).
- **Erstellen des Erlenmoosbachtiches** als Nährstoffrückhaltebecken (1996).
- **Zufuhr von sauberem Meteorwasser** aus dem Gewerbegebiet Moos in Menzingen über eine neue Leitung (in Planung). Mit dem Bau dieser Leitung wird gleichzeitig die Entwässerung der Kantonsstrasse so umgebaut, dass das mit Nährstoffen aus landwirtschaftlichen Drainagen belastete Strassenwasser nicht mehr in den See gelangt.

Abbildung 21:
Seebelüftung
und Phosphor-
rücklösung



Betrieb der technischen Massnahmen

Die spontane Rücklösung von Phosphor aus dem Sediment zurück ins Tiefenwasser erfolgt vor allem dann, wenn am Seegrund kein Sauerstoff mehr vorhanden ist. Dieser Effekt der 'Selbstdüngung' war im Wilersee nach der Entfernung der Anlage zur Tiefenwasserbelüftung im Frühling 1990 eindrücklich feststellbar (Abbildung 21). In den beiden darauf folgenden Jahren ohne Belüftung stieg der Phosphorgehalt im Seewasser um das Vierfache an. Mit der heute re-

gelmässig im Winterhalbjahr laufenden Zirkulationsunterstützung ist die Zeit mit verstärkter Phosphorrücklösung aus dem Sediment auf das Sommerhalbjahr eingeschränkt. Während dieser Zeit kann das stark belastete Wasser am Seegrund mit der Tiefenwasserableitung abgeführt werden. Ab 1995 schwankt der Phosphorgehalt im Seewasser zwischen 10 und 20 kg (Sanierungsziel: 11 kg P bzw. 0.03 mg/l P). Dieser Zustand kann nur dank dem Betrieb der Tiefenwasserableitung und der Zirkulationsunterstützung gehalten werden.

Sauerstoffkollaps vom Sommer 1993

Von besonderer Tragweite für die Organismen des Wilersees war die Inbetriebnahme der neuen Zirkulationsunterstützung zwischen Mai und September 1993 (Abbildung 21: gelber Balken). Da die Zirkulationsunterstützung nicht für den Sommerbetrieb geeignet ist, war dieser Fehlbetrieb mitverantwortlich für den Sauerstoffkollaps im See im Sommer 1993. Als Folge mehreren Ursachen (Betrieb der neuen Anlage während der Sommermonate und damit Aufwärmung des Tiefenwassers und Förderung von nährstoffreichem Tiefenwasser an die Seeoberfläche, plötzlicher Witterungseinbruch im September und damit Abkühlung des Oberflächenwassers, Jaucheunfall und damit zusätzliche Förderung der Sauerstoffzehrung) wies der Wilersee im September 1993 von der Oberfläche bis zum Seegrund keinen Sauerstoff mehr auf. Dank der sofort eingeleiteten Notmassnahmen wie dem Versprühen von Oberflächenwasser mittels Feuerwehropumpen und der Zuleitung von sauerstoffreichem Bachwasser konnte das Fisch- und Krebssterben in Grenzen gehalten werden (Abbildung 22).

Abbildung 22:
Notmassnahmen im Wilersee im September 1993: Das sauerstofflose Wasser des Wilersees wird durch versprühen von Oberflächenwasser belüftet.



Schlussfolgerungen

Mit der Extensivierung der landwirtschaftlichen Nutzung im nahen Einzugsgebiet des Sees konnte ein Teil der früheren Nährstoffbelastung behoben werden. Trotzdem sind heute die Nährstoffabschwemmungen von landwirtschaftlich genutzten Flächen immer noch zu gross für den Wilersee. Die technischen Massnahmen vermögen zwar die Phosphoranreicherung im See zu begrenzen, mit ihnen allein kann aber der vom Gewässerschutzgesetz verlangte mittelnährstoffreiche Seezustand nicht erreicht werden (vgl. Kap. 3.1).

Zur Erreichung der Sanierungsziele (vgl. Tabelle 5 auf Seite 12) ist die weitere Verminderung der Nährstoffzufuhr aus dem Einzugsgebiet unumgänglich. Mit der in Planung stehenden Abkoppelung der Strassenentwässerung, welche mit Drainagenwasser aus dem Landwirtschaftsgebiet belastet ist, kann die heute grösste Nährstoffquelle vom Wilersee fern gehalten werden.

8

Lebensraum Fließgewässer

Der Lebensraum Fließgewässer ist geprägt durch die Qualität, die Menge und die Dynamik des fließenden Wassers sowie durch die morphologischen und topografischen Gegebenheiten. Im natürlichen und naturnahen Zustand ist der Lebensraum vielfältig strukturiert und sein Aussehen wandelt sich im Fließverlauf, also von der Quelle bis zur Mündung in ein Stehgewässer, sowie im Jahresverlauf. Die Qualität dieses Lebensraumes wird ganz wesentlich von der Beschaffenheit des Fließgewässers (Ökomorphologie), vom Abflussregime (Nieder- und Hochwasser) sowie der Wasserqualität gestaltet. Der Mensch greift mit seinen Tätigkeiten und Nutzungen zum Teil sehr stark in das Geschehen und Funktionieren eines Fließgewässers ein.

Im folgenden werden der Lebensraum Fließgewässer im Allgemeinen beschrieben und charakteristische fließgewässerspezifische Abläufe erläutert.

Lebensraum

Ein Fließgewässer bietet drei **Teillebensräume**, die sich entlang der drei Raumdimensionen ausdehnen (Abbildung 23). Es sind dies die **Gewässersohle** (vertikaler Übergang zwischen Oberfläche und Grundwasser), das **Ufer** (laterale Verzahnung zwischen Land und Wasser) und das frei **fließende Wasser** in Längsrichtung (longitudinal im Fließverlauf). Als weitere Dimension des Lebensraumes Fließgewässer kommt auch der **Zeit** mit ihren tages- und jahreszeitlichen Veränderungen eine grosse Bedeutung zu (temporale Dimension).

Die **Gewässersohle**, auch Interstitial genannt, bietet den festsitzenden und ortsansässigen Organismen (Benthos) eine grosse Vielfalt an Nischen und ist Refugium während Hochwasserereignissen. Die Gewässersohle wird zudem von vielen Jungtieren als schützender Aufenthaltsort benutzt. Sie ist auch der Ort, an welchem bakterielle Abbauvorgänge von organischem Material, wie z.B. Laub oder abwasserbürtigen Stoffen, stattfindet.

Das **Ufer** enthält aquatische, amphibische und terrestrische Bereiche und nimmt wichtige Funktionen ein. So bietet der Uferstreifen Nahrung (Falllaub, Insektenfall), Schatten und Unterstand für die im Wasser lebenden Organismen. Ein breit angelegter Uferstreifen vermag zudem als Puffergürtel zwischen Wasser und Land das Hinterland vor Erosion zu schützen und Nährstoffe aufzuneh-

Abbildung 23:
Räumliche Dimensionen eines
Fließgewässers:
- in Fließrichtung
- Wasser-Land
- Gewässersohle





Bachflohkrebse



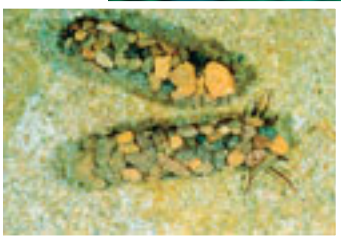
Wasseramsel



Bachforelle



Köcherfliegenlarven



Lebensraum Fließgewässer



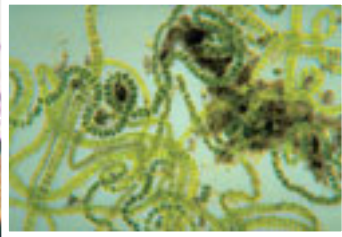
Eintagsfliege



Grasfrosch



Groppe



Grünalgen

men. Er ist zudem Lebensraum für amphibische Organismen oder temporäre Wasserbewohner.

Das frei **fließende Wasser** ist der Lebensraum für Organismen, die entweder passiv mit der Strömung abwärts getrieben werden (abdriftende Organismen) oder sich aktiv in der Strömung halten (z. B. Fische). Im Längsverlauf treten natürlicherweise Veränderungen in hydrologischer, chemischer, physikalischer sowie biologischer Hinsicht auf.

Diese Teillebensräume sind durch das Einzugsgebiet und somit durch die Geologie, die Topografie, die Niederschlagsverhältnisse, die Vegetation und die Tätigkeiten des Menschen geprägt. **Örtliche natürliche Besonderheiten** wie z. B. ein Auenwald, ein Felsabsturz, Stromschnellen oder ein natürlicher Stau, Versickerungen, Ufererosionen entlang eines Prallhanges oder Auflandungsstrecken ändern im Längsverlauf immer wieder die Gestalt eines Fließgewässers. Die Kraft des fließenden Wassers formt zusammen mit dem transportierten Geschiebe und Schwemmgut diese Teillebensräume ständig um, wobei diese Umgestaltung besonders während Hochwasserereignissen erfolgt.



Abbildung 24:
Beeinträchtigungen in Zuger
Fließgewässern,
Aufnahmen aus
dem Kanton Zug

Funktionen eines Fließgewässers

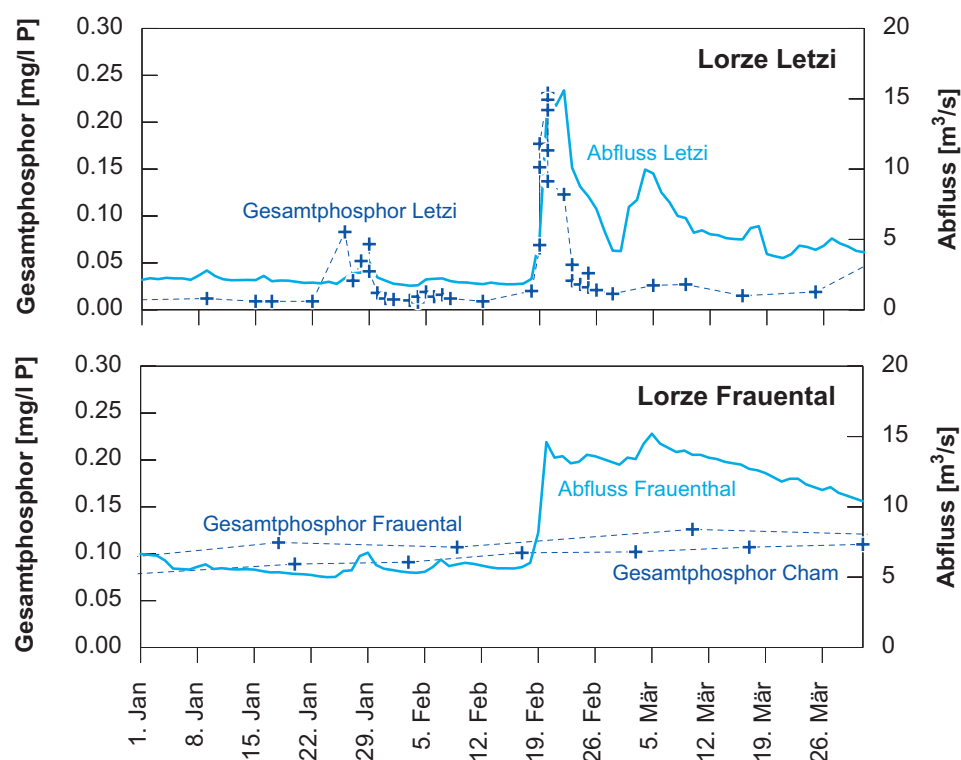
Die Fließgewässer nehmen in unserer Landschaft ganz unterschiedliche **Funktionen** wahr. Als wichtigste natürliche Funktionen sind neben dem Anbieten von Lebensräumen der Transport aber auch der Rückhalt von Wasser, Stoffen, Schwemmgut (z. B. Totholz) und Geschiebe sowie die Mitgestaltung unserer Landschaft zu nennen. Durch den Menschen kamen weitere Funktionen und Ansprüche dazu, wobei die Nutzung der Fließgewässer zur Gewinnung von Brauch- und Trinkwasser, die Entwässerung von Feuchtgebieten (Drainage, Melioration) und auch von versiegelten Flächen, die Stromerzeugung, die Stauhaltung, die Abführung und Reinigung von Abwasser sowie die Stabilisierung und Verbauung der Fließgewässer zur Sicherung von Mensch, Objekt und Landschaft (Hochwasserschutz) die Wesentlichsten sein dürften. Diese zivilisationsbedingten Eingriffe in unsere Flüsse und Bäche sind für die Gewässerökologie schwerwiegend und haben viele unserer Fließgewässer bezüglich Linienführung, Querschnitt, Abfluss und Wasserqualität sehr stark verändert (Abbildung 24).

Dynamik eines Fließgewässers

Ein Fließgewässer ist ein sehr **dynamisches Ökosystem**, wobei der Abfluss und das Geschiebe diese Dynamik prägen. Während die Wasserführung und der Geschiebetrieb im Wildbach unmittelbar und sehr schnell und heftig auf Starkniederschläge ansprechen und im Extremfall in einen Murgang übergehen, reagiert ein Seeausfluss wie beispielsweise die Untere Lorze bei Frauental, abgeschwächt, zeitlich verzögert oder im Extremfall mit langandauernden Überschwemmungen.

Organismen die den Lebensraum Fließgewässer besiedeln, benötigen somit ganz spezifische Anpassungen, damit sie mit dieser Dynamik leben können. So treten in sehr schnell fließenden Bächen v. a. Organismen auf, die sich am Untergrund mit Saugnäpfen oder anderen Haftorganen gut festhalten können. An-

Abbildung 25:
Abfluss (Tagesmittel) und Gesamtphosphor in der Oberen (Letzi) und Unteren Lorze (Frauental)



dere Organismen wie gewisse Krustenalgen oder die Zuckmückenlarven haben als sogenannte Pionierarten ihre Stärke im schnellen Besiedeln der Gewässersohle nach Hochwasserereignissen, die normalerweise die Individuendichte der Gewässersohle stark dezimieren. Vor allem Auenlandschaften sind von der hydrologischen und morphologischen Dynamik stark geprägte Lebensräume, die sich und die umliegende Landschaft ständig neu präsentieren. Während die jährlich wiederkehrenden Hochwasserereignisse das Flussbett neu zu gestalten vermögen, üben die selteneren Hochwasserereignisse im unverbauten Zustand landschaftsgestalterische Kräfte aus.

Die hydrologische Dynamik hat auch grosse Auswirkungen auf die Stoffkonzentrationen und damit auf die **Stofffracht**, die ein Fließgewässer führt. In Zusammenhang mit Hochwasserabflüssen erhöhte Stoffkonzentrationen resultieren v. a. bei denjenigen Stoffen, die aus dem Einzugsgebiet oberflächlich ausgeschwemmt werden können. Es ist dies z. B. der Phosphor, welcher auch aus landwirtschaftlich genutzten Flächen stammt. Dabei gilt es aber den Fließgewässertyp und die Herkunft des Wassers zu beachten. Während die Obere Lorze (Letzi) als Seezufluss mit niederschlagsbedingt erhöhtem Abfluss deutlich höhere Phosphorgehalte aufweist, führt die Untere Lorze bei Cham als Seeausfluss keine abflussabhängigen Phosphorkonzentrationen (Abbildung 25).

Wasserqualität

Unter dem Begriff '**Wasserqualität**' wird die chemische, physikalische und hygienische Qualität des Wassers verstanden. Die Anforderungen an die Wasserqualität eines Fließgewässers sind je nach Bedürfnis und Nutzung ganz unterschiedlich. So sind die Anforderungen aus Sicht der Fließgewässer-Organismen und der Trinkwassererzeugung ganz anders als diejenigen der Stromerzeugung oder der landwirtschaftlichen Bewässerung. Während Trinkwasser klar, geruch- und geschmacklos, nicht toxisch und hygienisch einwandfrei sein muss, benötigt die Stromerzeugung v. a. Wasser mit geringem Trübstoffgehalt, keinem Geschwemmsel und wenig korrosiven Stoffen.

Einleitung von Abwasser

Die punktuelle Einleitung von Abwasser stellt eine der klassischen **Gewässerverschmutzungen** dar. Während früher die häuslichen und industriellen Abwässer ohne oder mit ungenügender Reinigung in die Gewässer gelangten, werden heute im Kanton Zug die Abwässer der Region Ägerisee, Zugersee und Küssnachtsee in einer Ringleitung gesammelt und der Kläranlage Schönau in Friesenham zugeführt. Das gereinigte Abwasser gelangt nach der Klärung bei Hagendorn in die Untere Lorze. Seit der Endausbau der Kläranlage Schönau abgeschlossen ist, hat die Belastung der Unteren Lorze durch die Zufuhr von

Tabelle 8:
Gemeldete
Gewässer-
verunreinigungen

Art der Gewässerverschmutzung (dem AfU Zug gemeldete Unfälle)	Anzahl der gemeldeten Unfälle			
	1997	1998	1999	2000
Abwasser	5	5	5	3
Chemikalien	0	1	0	3
Hofdünger	6	6	5	0
Mineralöl, etc.	10	3	6	5
restlichen Verschmutzungen	7	10	1	3
Total	28	25	17	14
Fischvergiftungen (amtlich registrierte)	-	2	1	2

geklärtem Abwasser deutlich abgenommen. Das Abwasser der Gemeinde Neuheim wird in der Kläranlage Neuheim gereinigt und anschliessend in die Sihl geleitet.

Wird unvollständig gereinigtes oder gar ungereinigtes Abwasser in ein Fließgewässer eingeleitet, dann bewirkt die Abwasserbelastung beachtliche und von Auge erkennbare Beeinträchtigungen des Lebensraumes sowie der Lebensgemeinschaften. So können geruchliche Belastungen, stabiler weisser Schaum, Schlammablagerungen, Trübungen, Verfärbungen, schwarze Ausfällungen von Eisensulfid auf den Steinunterseiten, heterotropher Bewuchs (Pilze, Bakterien, Wimpertierchen), Veralgungen oder eine spezifische Abwasserfauna bestehend aus Schlammröhrenwürmern, Zuckmückenlarven, Egelten oder Asseln auftreten. Gelegentlich treten im Zusammenhang mit Abwassereinleitungen infolge geringem Sauerstoffgehalt oder dem Vorhandensein von fischtoxischen Substanzen auch Fischvergiftungen auf (Tabelle 8).

Entwässerung versiegelter Flächen

Die **Versiegelung** des Bodens hat zur Folge, dass nach Niederschlägen von diesen Flächen beachtliche Wassermengen abfliessen. Aufgrund des neuen Gewässerschutzgesetzes muss dieses Wasser wo möglich zurückgehalten (Retention) und versickert werden. Je nach Flächennutzung kann dieses Wasser stark belastet sein. Z. B. enthält das Abwasser stark befahrener Strassen neben Trübstoffen, Salzen (Winterdienst) und Schwermetallen auch eine Vielfalt an Kohlenwasserstoffen (Benzinzusätze, Pneu- und Bremsbelagabrieb, Taumittel, etc.). Im Kanton Zug werden daher an stark befahrenen Strassen (Kantonsstrassen, Nationalstrassen) zum Schutz unserer Gewässer die bereits vorhandenen Ölabscheider mit sogenannten **Strassenabwasserbehandlungsanlagen** (SABA), z. B. Retentionsfilterbecken, ergänzt (Abbildung 27). In diesen Retentionsfilterbecken wird das anfallende verunreinigte Wasser zurückgehalten und mittels Bodenpassage gereinigt. Erst anschliessend fliesst das von Trüb- und Schwebstoffen gereinigte Wasser einem nächstgelegenen Bach zu.

Landwirtschaft

Die landwirtschaftliche Nutzung nimmt im Kanton Zug einen hohen Prozentsatz der Gesamtfläche ein. Sie kann daher bei unsachgemässer Anwendung und je nach Intensivierungsgrad Fließgewässer und Seen beeinträchtigen. Offensichtlich und bekannt sind die unmittelbar erkennbaren Beeinträchtigungen bei zu intensivem und gewässernahem **Düngen**. Das Wasser verfärbt sich, riecht nach Jauche und es bildet sich insbesondere nach Abstürzen (Schwellen) stabiler Schaum. Im weiteren vermögen fischtoxische Stoffe unmittelbar Fischsterben hervorzurufen. Grosse Bedeutung haben auch die nicht von Auge erkennbaren Beeinträchtigungen, wie das Auswaschen von Substanzen und die daraus re-

Abbildung 26:
Retentionsfilter-
becken Talacher.
Strassenabwas-
serbehandlungs-
anlage in Bau
(links und im Be-
trieb (rechts))



sultierende Belastung von Oberflächen- und Grundwasser (z. B. Phosphat, Nitrat, Pestizide). Stoffe wie **Pestizide** (z. B. Atrazin), vermögen z. T. schon mit sehr geringen Konzentrationen (Mikroverunreinigungen) die Gewässer und damit auch die darin vorhandenen Organismen über lange Zeit zu schädigen. Die Vielfalt an möglichen Mikroverunreinigungen ist enorm, sind doch in der Schweiz rund 350 Pestizidwirkstoffe für den landwirtschaftlichen Einsatz zugelassen. In Anbetracht, dass viele dieser Stoffe schwer abbaubar sind und damit lange im Boden und Gewässer bleiben (Persistenz), ist es umso wichtiger, den Einsatz von Pestiziden auf das notwendige Minimum zu beschränken.

Als weitere vielfach auf die landwirtschaftliche Nutzung zurückzuführenden Beeinträchtigungen fallen entlang von Bächen die fehlenden Uferbestockungen, Eindolungen und flächendeckenden Entwässerungen von Feuchtgebieten (**Drainage**, Melioration) auf. Diesen morphologischen Beeinträchtigungen wird heute im Rahmen des neuen Gewässerschutzgesetzes genauso Bedeutung zugeordnet wie bisher den klassischen Gewässerverunreinigungen. So sollen Bäche wo möglich wieder ausgedolt, Ufer bestockt und begradigte Bachläufe wieder in einen natürlichen Lauf versetzt werden. Mit diesen sogenannten **Renaturierungsmassnahmen** wird der heute stark eingeengte **Raum** der Fließgewässer wieder vergrössert.

Hochwasserschutz

Im Rahmen des Hochwasserschutzes wurde früher der Gewässerraum vieler unserer Fließgewässer wesentlich eingeengt. Der Einbau von **Schwellen**, der **Verbau der Ufer** und die **Begradigung** der Gerinne sind die am häufigsten anzutreffenden Beeinträchtigungen. Mit diesen Massnahmen konnte vielerorts die Hochwassersicherheit hergestellt werden. Der Lebensraum Fließgewässer wurde aber ökologisch massiv entwertet und landschaftlich entstellt. Es resultierten strukturlose Gerinne mit grosser Artenarmut und fehlender Durchgängigkeit für Organismen.

Demgegenüber ist der heute praktizierte Hochwasserschutz ökologischer und orientiert sich viel mehr an den natürlichen Funktionen eines Fließgewässers. Es wird versucht, der Überschwemmungsgefahr mittels einem ausreichenden Gewässerraum zu begegnen und damit eine natürliche räumliche Entwicklung des Gewässers zu ermöglichen.

Wasserkraft

Im Kanton Zug wird die Lorze über weite Strecken zur Energieerzeugung genutzt. Mit der Entnahme von Wasser aus dem Hauptgerinne entsteht beim Ausleitwehr eine Störung der Durchgängigkeit für Organismen (z.B. wandernde Fische) und für den natürlichen Geschiebetrieb. Unterhalb der Wasserentnahme verbleibt dann im Fluss eine stark verminderte Wassermenge (**Restwasserstrecke**). Der aquatische Lebensraum wird dadurch stark eingeschränkt. Zudem kann die Grundwasserspeisung eingeschränkt und die Wasserqualität infolge geringerer Verdünnung verschlechtert werden. Restwassersanierungen sind in gewissen Fällen aus rechtlichen Gründen nur beschränkt möglich. Die Förderung der umweltgerechten Nutzung der Wasserkraft erhofft man sich seit einigen Jahren mit dem Produzieren von sogenanntem **Ökostrom**¹.

¹ Ökostrom ist ein Sammelbegriff für ökologisch produzierter Strom. Ein in der Schweiz bekanntes Ökostromlabel ist z. B. 'naturemade star'. Es ist ein zertifiziertes Label des VUE (Verein für umweltgerechte Elektrizität, siehe auch www.naturemade.ch).

Im folgenden werden die Ergebnisse der chemischen Untersuchung der Fliessgewässer im Einzugsgebiet des Zugersees, Ägerisees und Wilersees sowie diejenigen, die in die Sihl oder die Reuss münden mittels statistischen Kenngrössen dargestellt und besprochen. Die Lage der Einzugsgebiete sowie die Position der Messstellen können der Karte auf den Seiten 10 und 11 (Abbildung 4) entnommen werden. Die Messstellen befinden sich in der Regel vor der Mündung in ein anderes Gewässer. Da die Messwerte Schwankungen unterschiedlichster Art unterworfen sind, gilt es, mittels statistischen Kenngrössen die Lage und die Bandbreite der Messresultate möglichst gut zu beschreiben. Dazu werden die im Kapitel 3 beschriebenen Extremwerte Minimum und Maximum, die 20%- und 80%-Perzentilwerte sowie der Median in sogenannten Box-Plots dargestellt. In der kartographischen Darstellung auf den Seiten 58 und 59 wurden zur Erstellung der Kreissektordiagramme (Flügeldiagramme) der 80%-Perzentilwert sowie der Maximalwert verwendet (Abbildung 27).

Die **Bewertung** der Fliessgewässer schliesslich erfolgte gemäss Modul Chemie (Stufe S) des Modul-Stufen-Konzepts des BUWAL (Entwurf 2001). Die Bewertung aller untersuchten Fliessgewässer ist in der Tabelle 9 auf Seite 60 zusammengestellt. Es gelten demnach für jeden einzelnen Stoffparameter vier Belastungsklassen. Die Zuordnung ist abhängig vom Maximalwert, dem Schätzwert (80%-Perzentil) und der Zielvorgabe. Die vier Belastungsklassen sind folgendermassen definiert:

unbelastet	Der Schätzwert ist kleiner als die halbe Zielvorgabe und der Maximalwert ist kleiner als die Zielvorgabe.
schwach belastet	Der Schätzwert liegt zwischen der halben Zielvorgabe und der Zielvorgabe und der gemessene Maximalwert ist kleiner als die doppelte Zielvorgabe.
deutlich belastet	Der Schätzwert liegt zwischen der Zielvorgabe und der doppelten Zielvorgabe oder der Maximalwert ist grösser als die doppelte Zielvorgabe.
stark belastet	Der Schätzwert ist grösser oder gleich gross wie die doppelte Zielvorgabe.

Die höchste Belastungsklasse der Messparameter ist für die Gesamtbelastung des Fliessgewässers massgebend. Die Gesamtbelastung der Fliessgewässer erfolgte unter Berücksichtigung der Messgrössen Ammonium, Nitrit, Nitrat und Gesamtphosphor, wobei im Einzelfall Extremwerte (Ausreisser) gestrichen wurden. Die Parameter Chlorid und DOC werden zur Eruierung der Gesamtbelastung weggelassen und im Folgenden nur in ausgewählten Fällen besprochen. Gemäss Tabelle 10 sind rund 60 % der 36 Messstellen unbelastet oder schwach belastet. Sie erfüllen damit die Zielvorgaben. Die restlichen Messstellen (40 %) sind deutlich oder stark belastet und erfüllen die Zielvorgaben nicht.

9.1 Zuflüsse in den Zugersee

Mehr als die Hälfte aller untersuchten Fließgewässer liegen im Einzugsgebiet des Zugersees (Abbildung 4 auf den Seiten 10/11). Die Messstellen befinden sich entlang der Oberen Lorze (**Rämselbach, Teuftännlibach, Schwarzenbach, Dürrbach, Edlibach, Grienbach, Walterswilerbach, Lissibach, Littibach** und **Bachtalenbach**) sowie rund um den Zugersee (**Rigiaa, Rufibach, Lotenbach, Mühlebach, Obere Lorze, Alte Lorze, Dorfbach Steinhausen, Dersbach, Sijentalbach, Aabach**). Von diesen 21 Messstellen wiesen 3 einen unbelasteten, 11 einen schwach belasteten, 6 einen deutlich belasteten und 1 einen stark belasteten Zustand auf (Tabelle 9 auf Seite 60).

Bezüglich der Messgrößen Ammonium, Nitrit, Nitrat und Gesamtphosphor **unbelastet** zeigten sich der Rufibach in Walchwil, der Teuftännlibach in Neuägeri sowie die Lorze in Unterägeri. Einen **schwach belasteten Zustand** hatten die Obere Lorze in Zug (Letzi) sowie vorwiegend Bäche aus bewaldetem und landwirtschaftlich wenig genutztem Einzugsgebiet.

Ein **deutlich belasteter Zustand** wurde an Bächen der Ebene (Aabach bei Risch, die Alte Lorze, Dorfbach bei Steinhausen, Sijentalbach bei Zwijeren) sowie beim Lotenbach und Bachtalenbach vorgefunden. Sie entwässern alle landwirtschaftlich genutzte Flächen. Als **stark belastet** muss der Dersbach in Hünenberg taxiert werden. Seine Belastung war insbesondere bezüglich Gesamtphosphor und DOC sehr hoch. So lagen beim Dersbach mehr als die Hälfte aller erhobenen Gesamtphosphorwerte und sämtliche DOC-Werte über der Zielvorgabe.

9.2 Zuflüsse in den Ägerisee

Rund um den Ägerisee wurden fünf Zuflüsse untersucht, nämlich der **Bietenbergergrusenbach** beim Eierhals, der **Dorfbach** in Oberägeri, der **Hüribach** in Unterägeri, der **Sulzmattbach** beim Ländli und der **Trombach** bei Morgarten. Diese Fließgewässer wiesen bezüglich der Stickstoffparameter Ammonium und Nitrat sowie Chlorid immer Konzentrationen auf, die deutlich unter den Zielvorgaben lagen. Bezüglich Nitrit traten nur im Hüribach und im Trombach bei Morgarten je ein Wert knapp über der Zielvorgabe auf. Hinsichtlich Gesamtphosphor überschritten der Dorfbach in Oberägeri, der Hüribach und der Trombach vereinzelt die Zielvorgaben. Da sich aber 80% der Messwerte unter der Zielvorgabe von 0.1 mg/l P befanden, handelte es sich nur um wenige Überschreitungen. Ein schlechteres Bild ergab sich bezüglich des gelösten Kohlenstoffes (DOC). Die zum Teil sehr hohen Konzentrationen traten in vier der fünf untersuchten Bächen jedoch nur vereinzelt auf. Einzig im Bietenbergergrusenbach waren mehr als die Hälfte aller Messwerte über der Zielvorgabe. Diese starke Überschreitung dürfte beim Bietenbergergrusenbach aber weniger auf zivilisatorische Belastungen (Abwasser, Düngung) zurückzuführen sein. Da ein beachtlicher Teil seines Einzugsgebietes aus Wald besteht, dürfte es sich dabei

um einen natürlicherweise erhöhten DOC-Gehalt handeln (Bodenabschwemmung, Stoffwechsel- und Abbauprodukte von Tieren und Pflanzen, Huminstoffe).

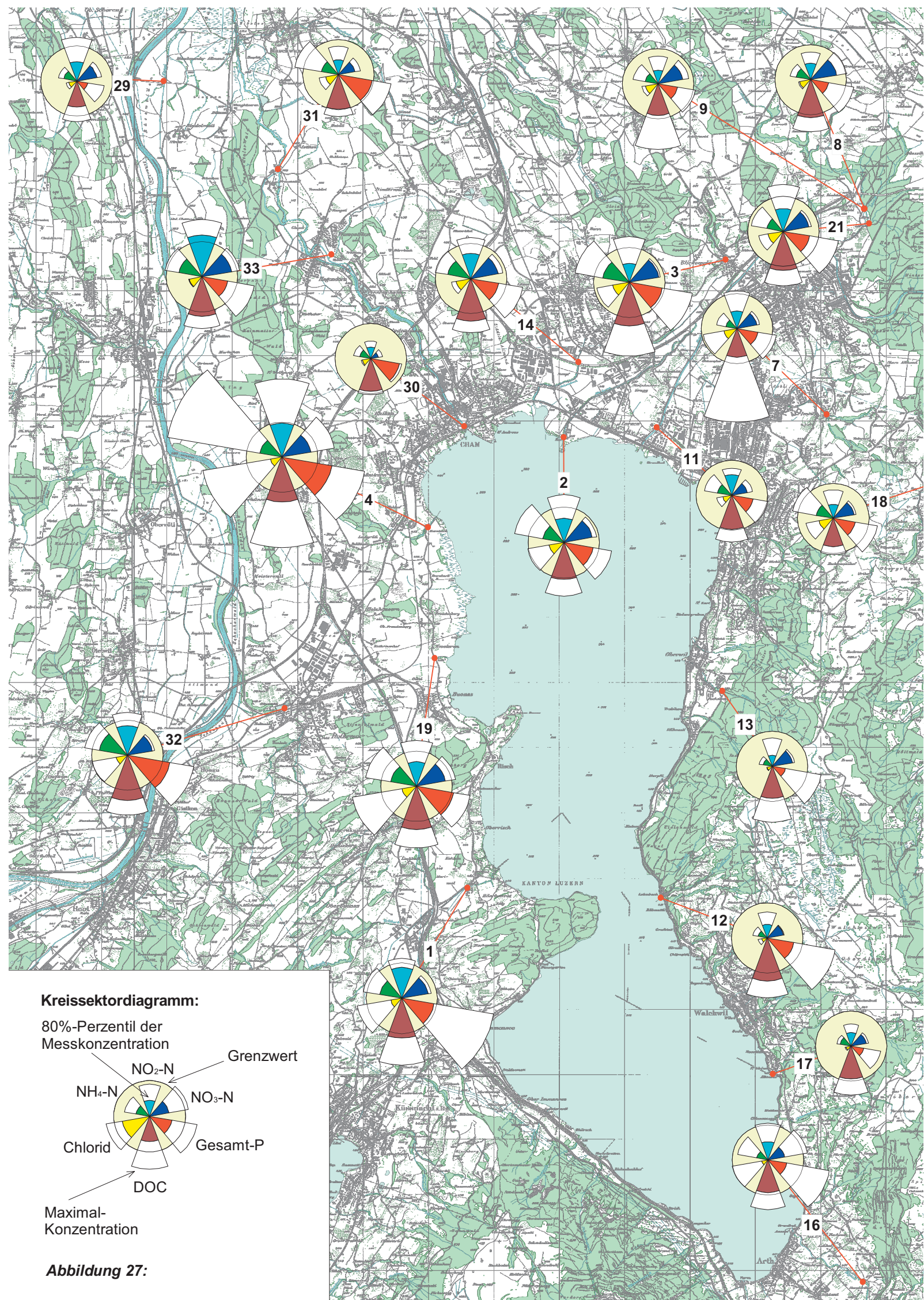
Die zusammenfassende Klassierung der Gesamtbelastung ergab für 2 der untersuchten in den Ägerisee mündenden Zuflüsse einen **unbelasteten** und für 3 einen **schwach** belasteten Zustand (Tabelle 9). Sie erfüllen damit die Zielvorgaben. Die geringe Nährstoffbelastung aus dem Einzugsgebiet widerspiegelt sich auch im nährstoffarmen Zustand des Ägerisees.

9.3 Zuflüsse in den Wilersee

Im Einzugsgebiet des Wilersees wurden zwei Zuflüsse untersucht. Es sind dies der **Erlenmoosbach** und der **Zulauf Sennhütte**. Der Zulauf Sennhütte erhält sein Wasser zum grössten Teil aus der Entwässerung der Kantonsstrasse zwischen Chrüzegg und Wilen sowie aus dem Drainagesystem des landwirtschaftlich genutzten Gebiets Chrüzegg. Der Erlenmoosbach entwässert ebenfalls landwirtschaftlich genutztes Einzugsgebiet. Für den Rückhalt der Nährstoffe aus seinem Einzugsgebiet wurde ein Teich erstellt. In diesem werden die eingebrachten Nährstoffe von Algen und höheren Wasserpflanzen aufgenommen. Jedes Jahr können mehrere Zentner an Biomasse (Wasserpflanzen) aus dem Teich entfernt und kompostiert werden. Die Nährstofffracht aus dem Einzugsgebiet Erlenmoos in den Wilersee wird durch diese Massnahme verringert. Trotzdem ist der Erlenmoosbach ein **deutlich belastetes** Fliessgewässer.

Beide Zuflüsse in den Wilersee wiesen hinsichtlich Ammonium, Nitrit, Gesamtphosphor und DOC oft Konzentrationen auf, die weit über den Zielvorgaben lagen. Insbesondere der Zulauf Sennhütte erwies sich dabei als **stark belastetes** Gewässer. Die Drainagen des Gebietes Chrüzegg stellen heute die wesentliche Nährstoffbelastung des Wilersees dar. Zudem gelangen von der Kantonsstrasse infolge Strassensalzung teilweise sehr hohe Chloridfrachten in den See. Der Zulauf Sennhütte ist daher eines der am stärksten belasteten Fliessgewässer im Kanton Zug.

Die Belastungssituation jedes untersuchten Fliessgewässers ist in Abbildung 27 als **Kreisdiagramm** für die Parameter Ammonium ($\text{NH}_4\text{-N}$), Nitrit ($\text{NO}_2\text{-N}$), Nitrat ($\text{NO}_3\text{-N}$), Gesamtphosphor (Gesamt-P), gelöster organischer Kohlenstoff (DOC) und Chlorid zusammengefasst. Dargestellt ist das 80%-Perzentil der Messkonzentrationen, die Maximalkonzentration sowie der Grenzwert für die erwähnten Parameter.



Wasserqualität in den Fliessgewässern

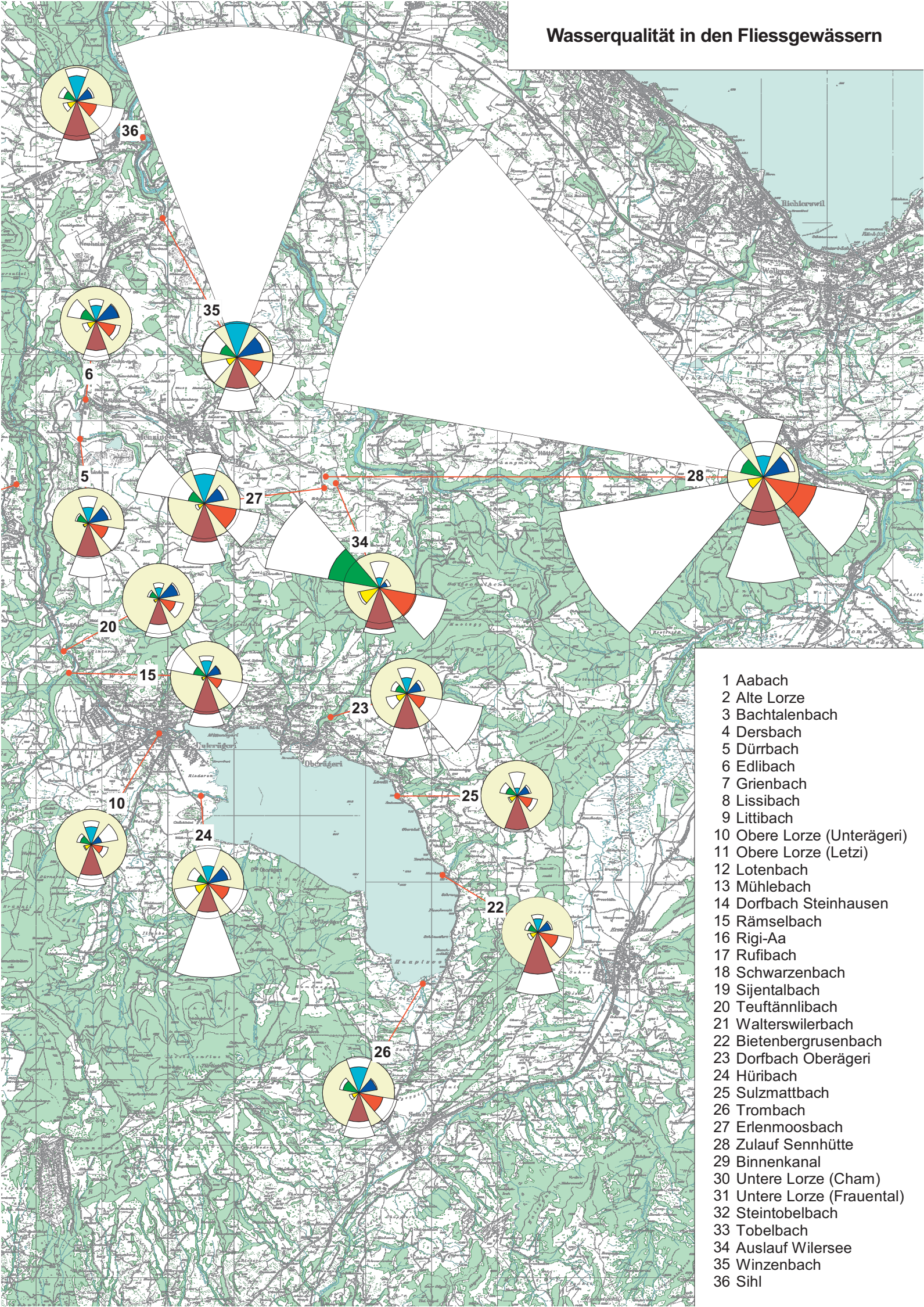


Tabelle 9:

Chemische Belastung der Zuger Fließgewässer in den Jahren 1997-2000.

Klassierung gemäss Modul Chemie (Stufe S), Modul-Stufen-Konzept BUWAL (Entwurf 2001).

** Höchste Klassierung und Gesamtbelastung (ohne Chlorid und DOC) sowie Gesamtbelastung in wenigen Fällen mit Ausschluss der Extremereignisse. Prozentuale Anteile siehe Tabelle 10 auf Seite 66.*

Belastungsklasse

	unbelastet
	schwach belastet
	deutlich belastet
	stark belastet

Nr. Gewässername	Ammonium	Nitrit	Nitrat	Gesamtphosphor	Chlorid	DOC	höchste Klassierung*	Gesamtbelastung*
Einzugsgebiet Zugersee								
1 Aabach / Risch								
2 Alte Lorze / Koller								
3 Bachtalenbach / Blickensdorf								
4 Dersbach / Seemündung								
5 Dürrbach / Bethlehem								
6 Edlibach / Edlibach Dorf								
7 Grienbach / Inwil								
8 Lissibach / Deinikon								
9 Littibach / Deinikon								
10 Obere Lorze / Unterägeri								
11 Obere Lorze* / Letzi (24 Stunden Sampler)								
Obere Lorze* / Letzi (kontinuierlicher Sampler)								
12 Lotenbach / Walchwil								
13 Mühlebach / Oberwil								
14 Dorfbach / Steinhausen								
15 Rämselfach / Sagenmatti								
16 Rigi-Aa / Oberarth								
17 Rufibach / Walchwil								
18 Schwarzenbach / Allenwinden								
19 Sijentalbach / Zwiern								
20 Teuftännlibach / Neuägeri								
21 Walterswilerbach / Deinikon								
Einzugsgebiet Ägerisee								
22 Bietenbergrusenbach / Eierhals Morgarten								
23 Dorfbach / Oberägeri								
24 Hüribach / Camping								
25 Sulzmattbach / Oberägeri (Seemündung)								
26 Trombach / Morgarten								
Einzugsgebiet Wilersee								
27 Erlenmoosbach / Kiesfang (Kantonsstrasse)								
28 Zulauf Sennhütte / Sennhütte								
Einzugsgebiet Reuss								
29 Binnenkanal / Stadelmatt								
30 Untere Lorze / Cham								
31 Untere Lorze* / Frauental (24 Stunden Sampler)								
Untere Lorze* / Frauental (kontinuierlicher Sampler)								
32 Steintobelbach / Binzmühleweiher								
33 Tobelbach / Hagendorn								
Einzugsgebiet Sihl								
34 Auslauf Wilersee / Seeauslauf inkl. Tiefenwasserabl.								
35 Winzenbach / Sarbach (ob ARA Neuheim)								
36 Sihl / Sihlbrugg								

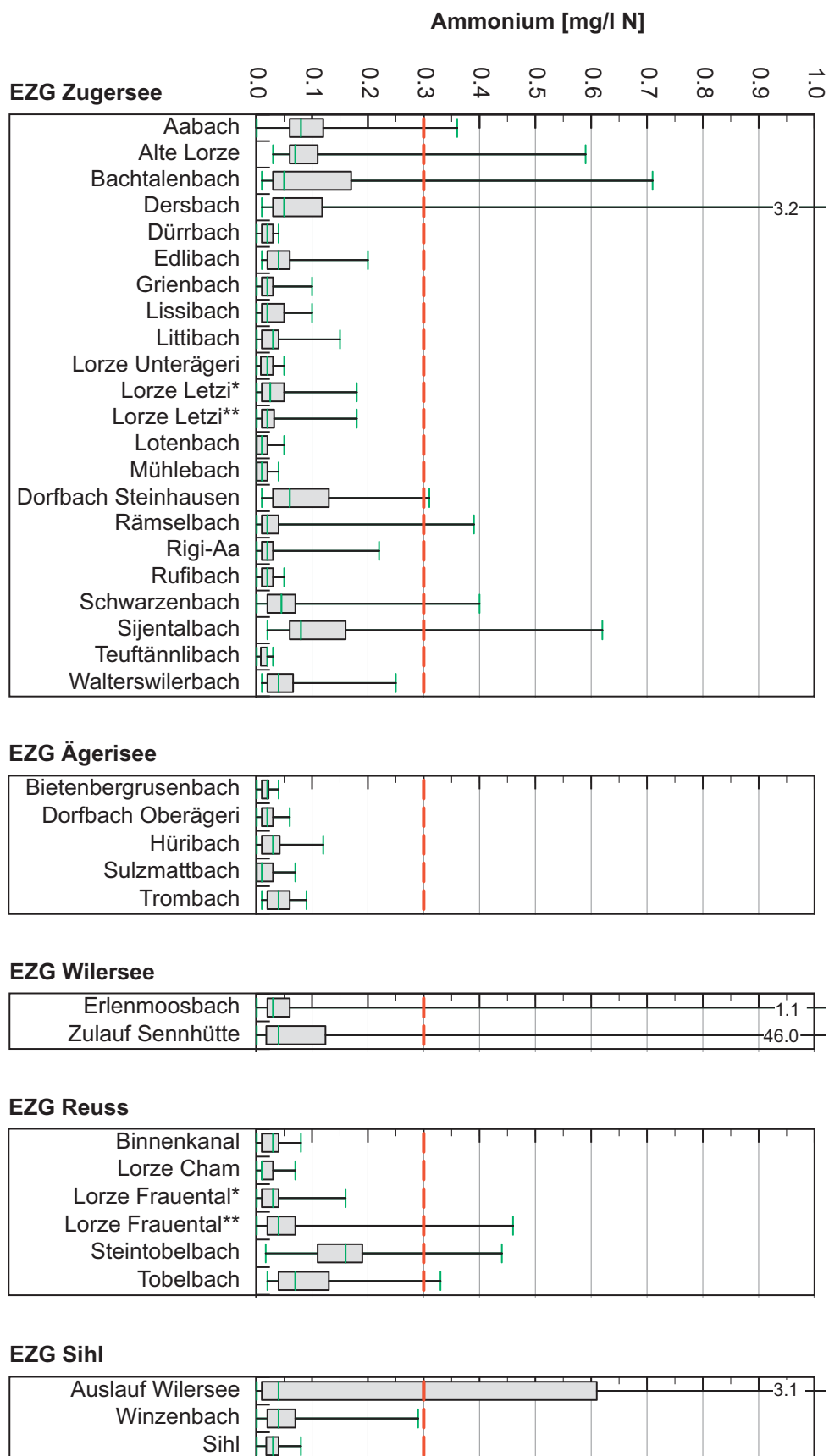


Abbildung 28: Boxplots Ammonium. Erläuterungen siehe Kapitel 3.

EZG = Einzugsgebiet, * = 24-Std- / ** = 5-9 Tage-Sammelproben, | Zielvorgabe

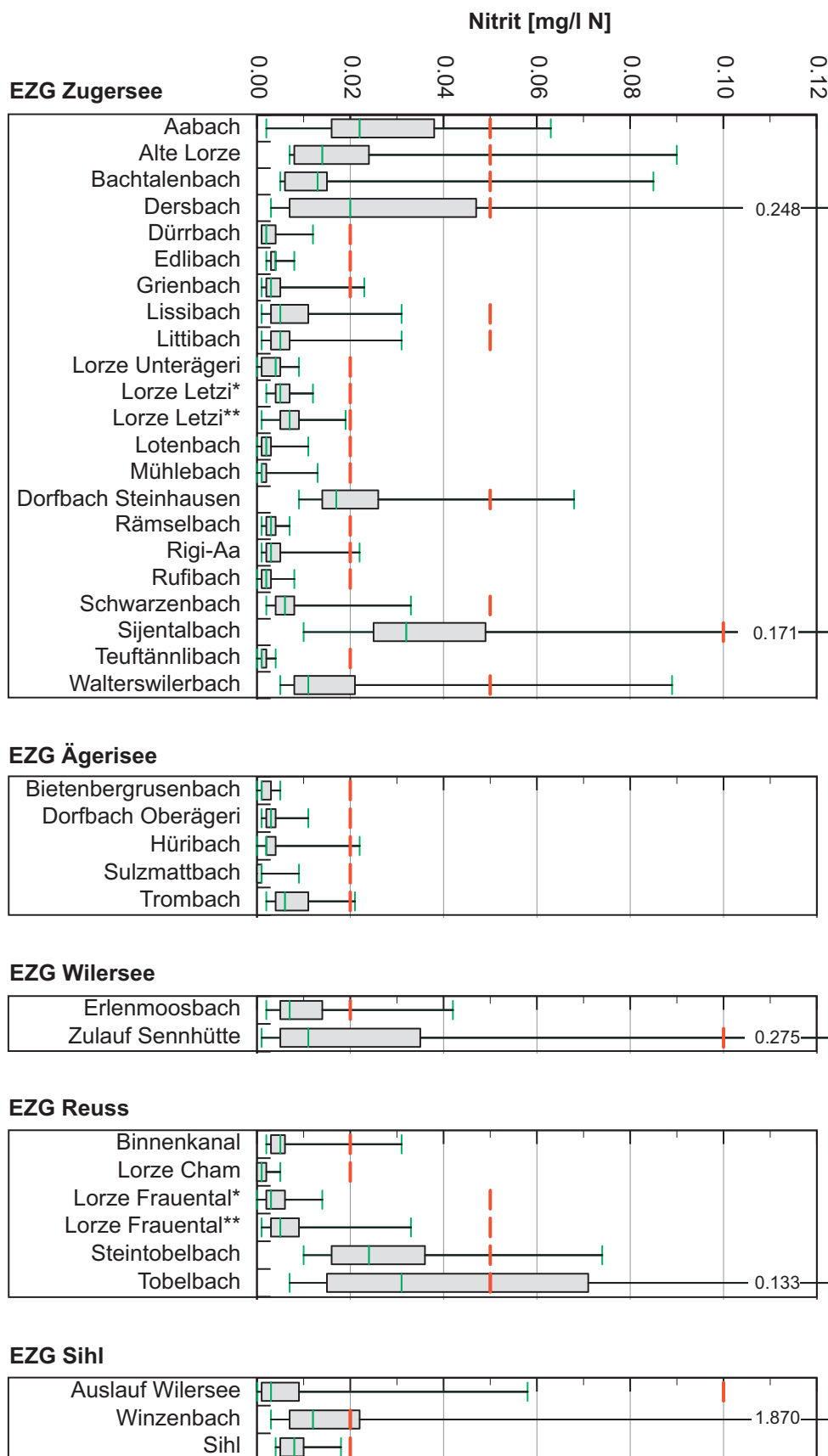


Abbildung 29: Boxplots Nitrit. Erläuterungen siehe Kapitel 3.

EZG = Einzugsgebiet, * = 24-Std- / ** = 5-9 Tage-Sammelproben, | Zielvorgabe

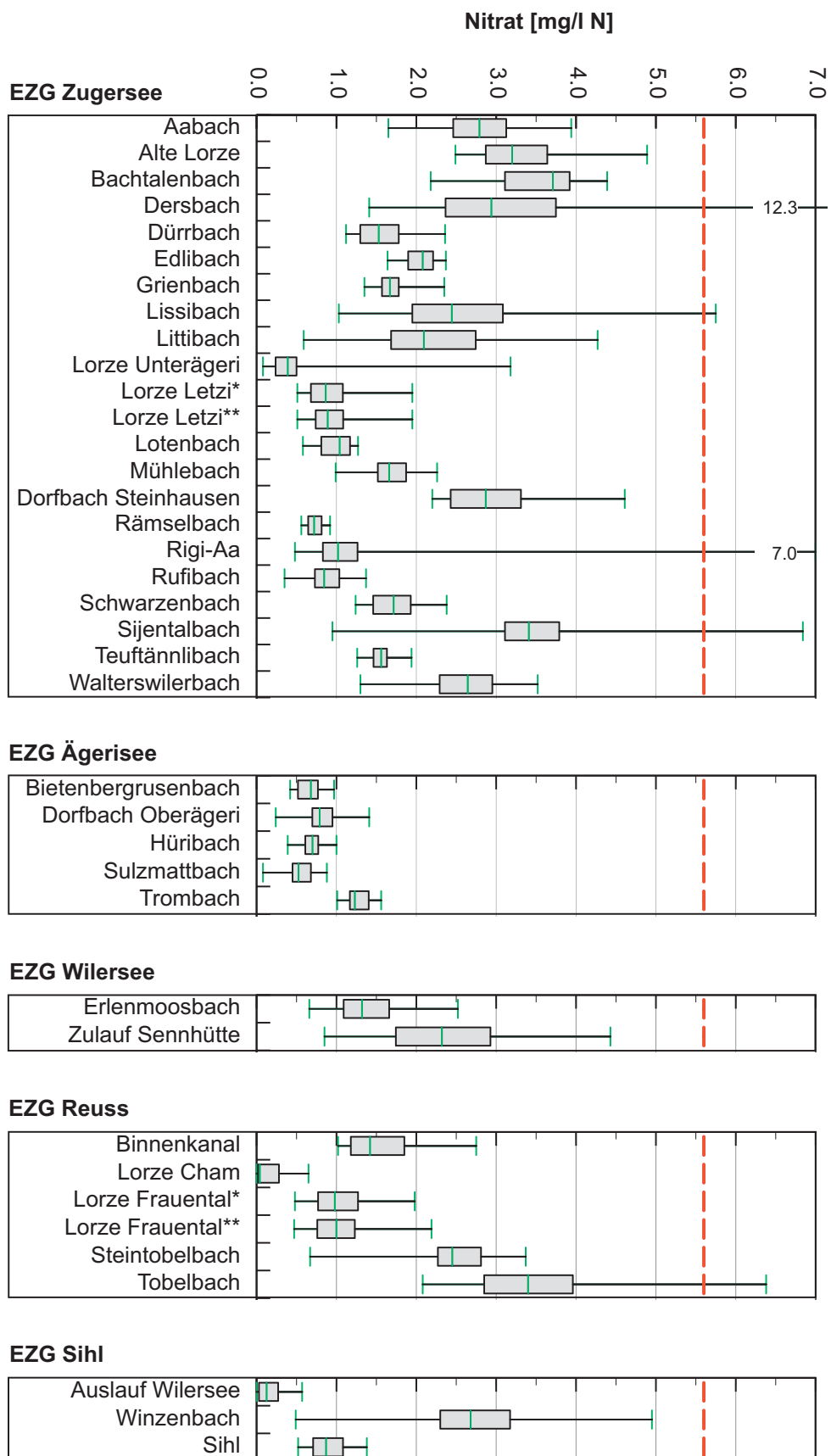


Abbildung 30: Boxplots Nitrat. Erläuterungen siehe Kapitel 3.
 EZG = Einzugsgebiet, * = 24-Std- / ** = 5-9 Tage-Sammelproben, | Zielvorgabe

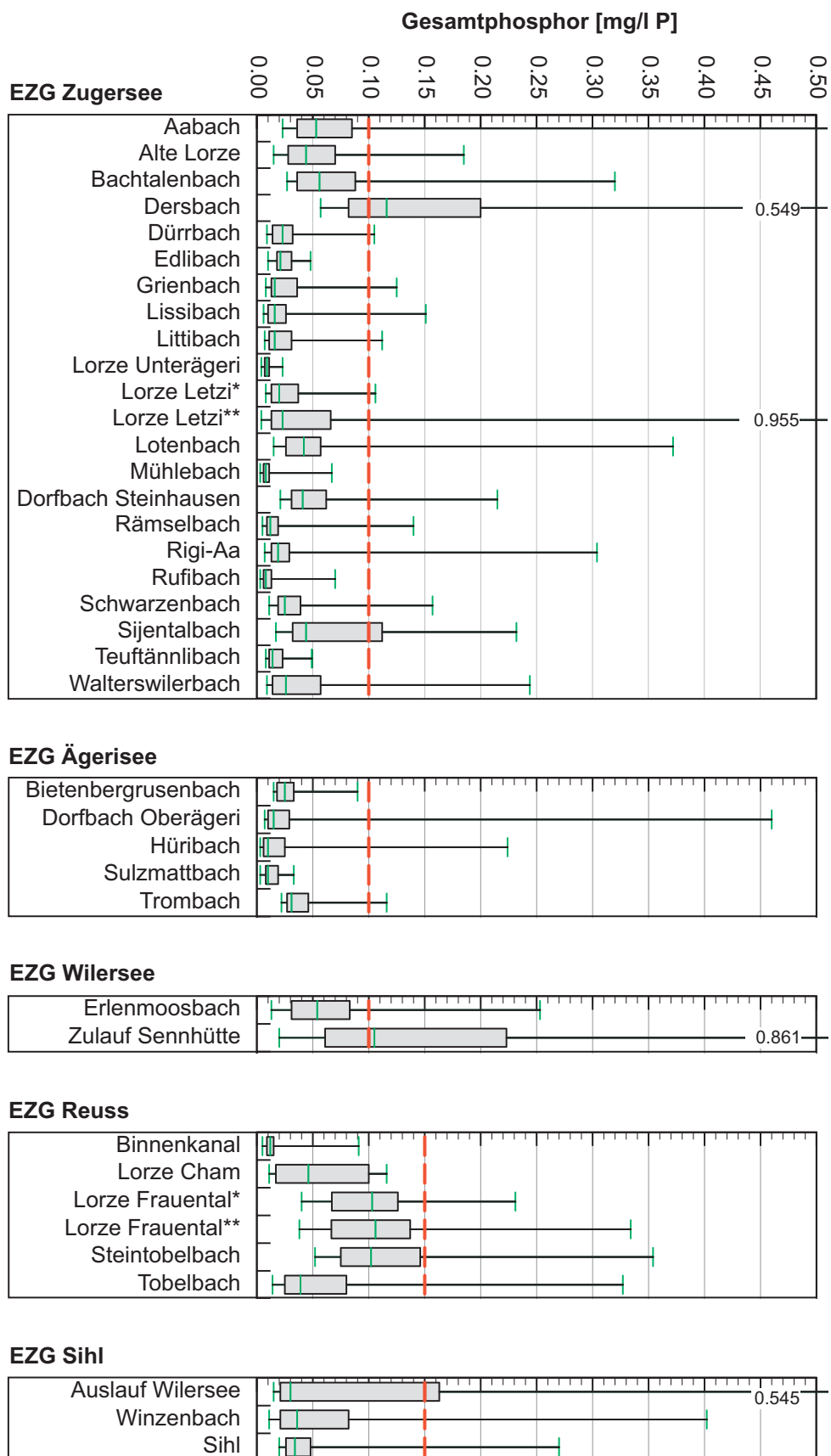


Abbildung 31: Boxplots Gesamtphosphor. Erläuterungen siehe Kapitel 3.
 EZG = Einzugsgebiet, * = 24-Std- / ** = 5-9 Tage-Sammelproben, | Zielvorgabe

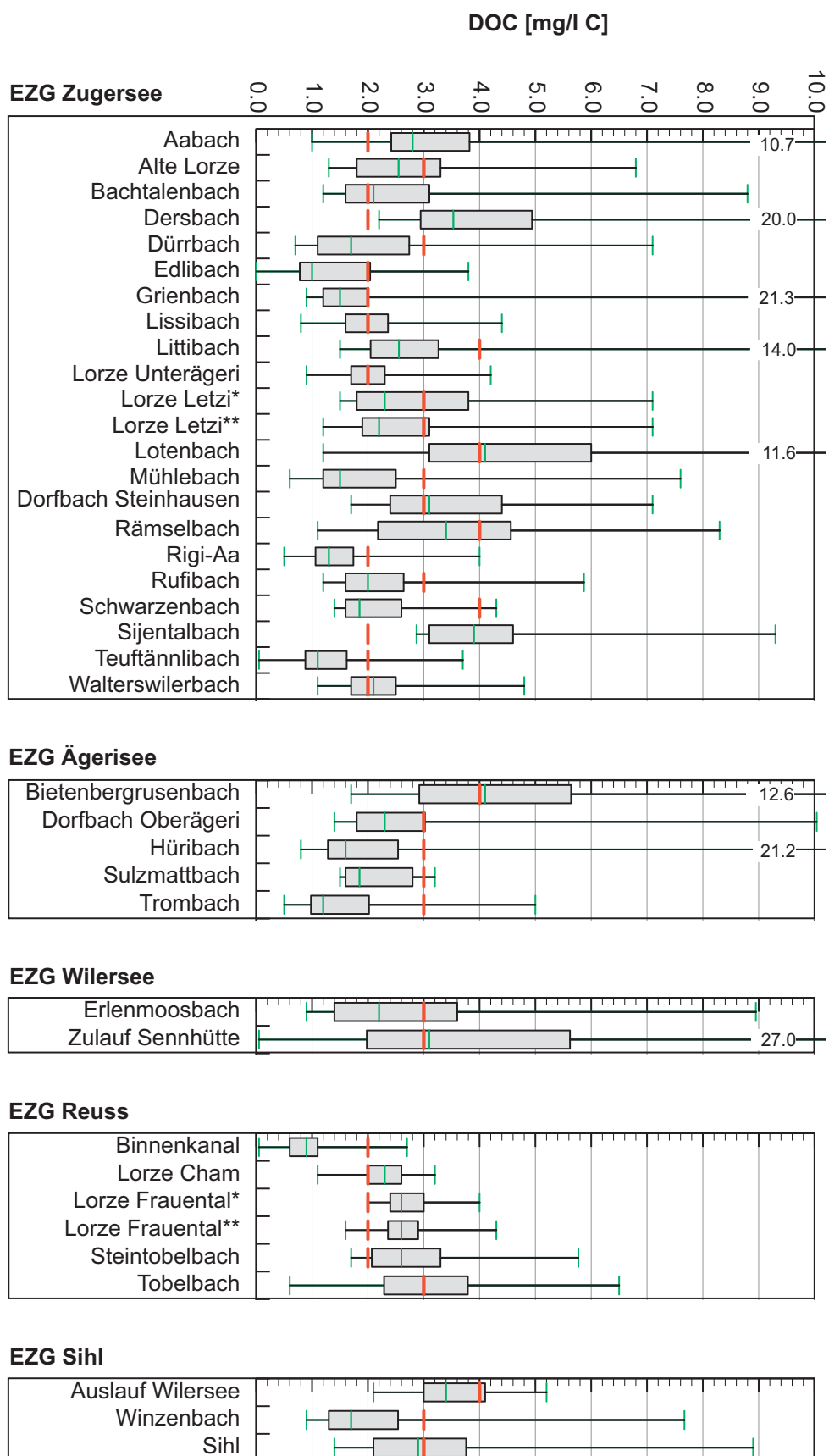


Abbildung 32: Boxplots DOC (gelöster organischer Kohlenstoff. Erläuterungen siehe Kapitel 3. EZG = Einzugsgebiet, * = 24-Std- / ** = 5-9 Tage-Sammelproben, | Zielvorgabe

9.4 Übrige Fließgewässer

Bei der **Unteren Lorze**, beim **Steintobelbach** beim Binzmühleweiher, beim **Tobelbach** bei Hagendorn und beim **Binnenkanal** bei Stadelmatt handelt es sich um Fließgewässer, welche direkt oder indirekt via Untere Lorze in die Reuss münden.

Die Lorze bei Cham und der Binnenkanal, welcher parallel zur Reuss fließt, erwiesen sich als **schwach belastet** Fließgewässer. Obwohl der Binnenkanal ein landwirtschaftlich intensiv genutztes Einzugsgebiet hat, ist seine Wasserqualität gut. Dies daher, weil er sein Wasser grösstenteils über das Grundwasser von der Reuss (Reussinfiltrat) erhält. Die Untere Lorze bei Frauental wie auch der Tobelbach und der Steintobelbach werden als **deutlich belastet** taxiert. Es gilt aber zu beachten, dass die Untere Lorze in Frauental seit der Fertigstellung des Endausbaus der Kläranlage Schönau im Jahr 1998 eine wesentliche Verbesserung der Wasserqualität erfahren hat (siehe Kapitel 9.5). Die Messgrößen Ammonium, Nitrit, Nitrat und Chlorid liegen seither mehrheitlich unter der Zielvorgabe. Einzig beim Gesamtphosphor und beim DOC sind Überschreitungen der Zielvorgaben vorhanden. Diese Überschreitungen treten aber bezüglich den beiden Messparametern bereits in Cham und somit oberhalb der Kläranlage Schönau auf. Der nährstoffreiche und produktive Zugersee trägt demnach wesentlich zur Gesamtphosphor- und DOC-Belastung der Unteren Lorze bei.

Im Einzugsgebiet der **Sihl** wurden an drei Messstellen chemische Erhebungen durchgeführt. Es sind dies die **Sihl bei Sihlbrugg**, der **Winzenbach** bei Sarbach oberhalb der Kläranlage Neuheim und der **Seeauslauf des Wilersees**. Während die Sihl aufgrund der Messgrößen Ammonium, Nitrit, Nitrat und Gesamtphosphor als **schwach belastet** gilt, weisen der Winzenbach eine **deutliche** und der Seeausfluss des Wilersees eine **starke Belastung** auf. Beim Winzenbach fällt vor allem der zeitweise hohe Nitritgehalt auf, so dass eine fischtoxische Wirkung angenommen werden muss. Diese Nitritbelastung steht im Zusammenhang mit der Einleitung des gereinigten Abwassers aus einer Schilfkläranlage.

Der hauptsächliche Grund für die starke Belastung des Wilersee-Auslaufes stellt das stark nährstoff- und ammoniumreiche Tiefenwasser des Sees dar, welches auch via Tiefenwasserentnahme in den Seeauslauf gelangt.

Tabelle 10:
Prozentualer Anteil
der Messstellen
pro Belastungs-
klasse und Ein-
zugsgebiet

Belastungsklasse gemäss Tab. 9	Messstellen im Einzugsgebiet [% aller Messstellen]					
	Zugersee	Ägerisee	Wilersee	Reuss	Sihl	Total
 unbelastet	8	6	0	0	0	14
 schwach belastet	31	8	0	6	3	47
 deutlich belastet	17	0	3	8	3	31
 stark belastet	3	0	3	0	3	8
Anteil Messstellen [%]	58	14	6	14	8	100
Anzahl Messstellen	21	5	2	5	3	36

9.5 Die Lorze im Fließ- und Zeitverlauf

Die **Obere Lorze** ist das grösste und längste Fließgewässer des Kantons Zug und daher von grosser Bedeutung. Das Einzugsgebiet der Oberen Lorze (inkl. Ägerisee) beträgt 107.2 km² und nimmt damit rund 43 % des gesamten Einzugsgebietes des Zugersees ein. Die Obere Lorze war zu der Zeit, als der Hüribach bei Unterägeri noch direkt in die Lorze mündete, ein stark geschiebeführender Fluss. Er schüttete die ganze Schwemmebene zwischen Baar, Steinhäusern und Zug auf¹. Mit der Umleitung des Hüribaches in den Ägerisee um 1665 wurde der Abflusscharakter der Lorze ab Unterägeri wesentlich verändert. Heute ist die Obere Lorze ein Seeausfluss mit gedämpftem Abflussregime. Die Obere Lorze wird regelmässig an zwei Stellen chemisch untersucht:

- Unterägeri: nährstoffarmer Seeausfluss, zweiwöchentliche Stichproben,
- Zug Letzi: vor der Mündung in den Zugersee, abflussproportionale Sammelproben unterschiedlicher Dauer, zudem monatlich eine 24-Stunden Sammelprobe.

Die **Untere Lorze** entwässert den Zugersee und ein relativ kleines Einzugsgebiet zwischen Zugersee und Reuss. In Hagendorn kommt zudem das gereinigte Abwasser aus der Kläranlage Schönau dazu. Die Untere Lorze wird an den folgenden Stellen regelmässig chemisch untersucht:

- Cham: nährstoffreicher Seeausfluss und oberhalb Kläranlage Schönau, zweiwöchentliche Stichproben,
- Frauental: unterhalb Kläranlage Schönau, abflussproportionale Sammelproben unterschiedlicher Dauer, zudem monatlich eine 24-Stunden Sammelprobe.

Die Aufzeichnung der Messkonzentrationen von Ammonium, Nitrit und Gesamtphosphor in den Jahren 1992 bis 2000 zeigt, wie sich die chemische Wasserqualität im Fließverlauf und zeitlich veränderte (Abbildungen 33 bis 35). Daraus ist ersichtlich, dass ganz verschiedene Faktoren die Wasserqualität in der Lorze bestimmen.

In **Unterägeri** weist die **Obere Lorze** einen unbelasteten Zustand auf, welcher über den ganzen Untersuchungsraum hinweg den Zielvorgaben entsprach. Die Obere Lorze repräsentiert hier den nährstoffarmen Zustand des Ägerisees (Abbildung 34).

In der **Letzi bei Zug** sind die Verhältnisse im Vergleich zur Messstelle bei Unterägeri geringfügig schlechter. Aufgrund der erhöhten Nährstoffkonzentrationen wird die Obere Lorze hier als schwach belastet eingestuft. Die Zielvorgaben werden zwar bezüglich Ammonium und Nitrit erfüllt, nicht aber hinsichtlich Gesamtphosphor. Die Stoffkonzentrationen sind erkennbar höher als noch in Unterägeri gemessen und im Jahresverlauf sind sie vor allem durch Niederschlags-

¹ Der Name Lorze bedeutet 'Geröll und Geschiebe führender Fluss'. Weitere Angaben siehe Dittli, B. (1992): Orts- und Flurnamen im Kanton Zug: Typologie, Chronologie, Siedlungsgeschichte. Beiträge zur Zuger Geschichte, Band 10, 434 Seiten, Bücher Balmer Verlag, Zug.

ereignisse geprägt. Regelmässige jahreszeitliche Konzentrationsänderungen konnten nicht festgestellt werden. Die während Regenereignissen erhöhten Stoffkonzentrationen sind die Folge von Abschwemmungen (landwirtschaftlich genutzte Böden, Wald, Moor, versiegelte Flächen) und von Regenüberläufen der Siedlungsentwässerung. Der grösste Teil der Stofffracht gelangt während Starkniederschlagsereignissen (Hochwasser) in den Zugersee.

Die **Untere Lorze** unterhalb des Zugersees bei **Cham** weist eine schwach Belastung auf. Die Zielvorgaben werden alle erfüllt. Im Vergleich zur Messstation

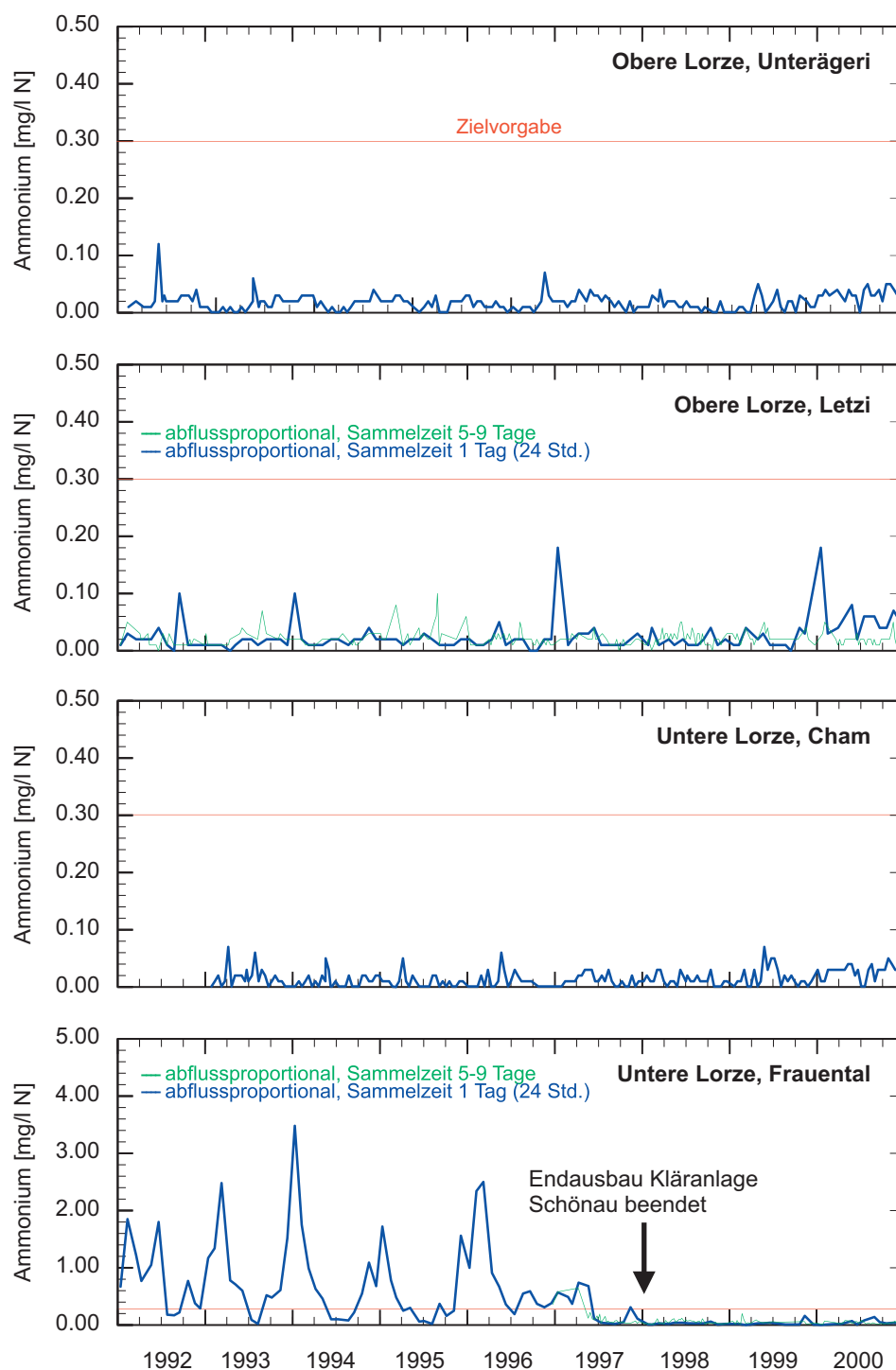


Abbildung 33:
Ammoniumgang-
linien der Oberen
und Unteren Lorze
an den Stellen
Unterägeri*, Letzi*,
Cham* und Frau-
ental*

* abflussproportionale
Mischprobe
+ zweiwöchentliche
Stichprobe

Letzi an der Oberen Lorze sind in Cham die Ammonium- und Nitritkonzentration tiefer und die hochwasserbedingten Belastungsspitzen fehlen. Infolge Retention der Zuflüsse im Zugersee treten Hochwasserspitzen in der Unteren Lorze nur gedämpft auf. Zudem sind die Stoffkonzentrationen in der Unteren Lorze wesentlich durch die Vorgänge im Zugersee geprägt. Beim Gesamtphosphor bei der Messstelle Cham ist der Einfluss des Zugersees besonders gut ersichtlich. Die Stoffkonzentrationen ändern sich mit grosser Regelmässigkeit im Jahresverlauf (Abbildung 35). Während im 1. Quartal des Jahres (Frühjahreszirkulati-

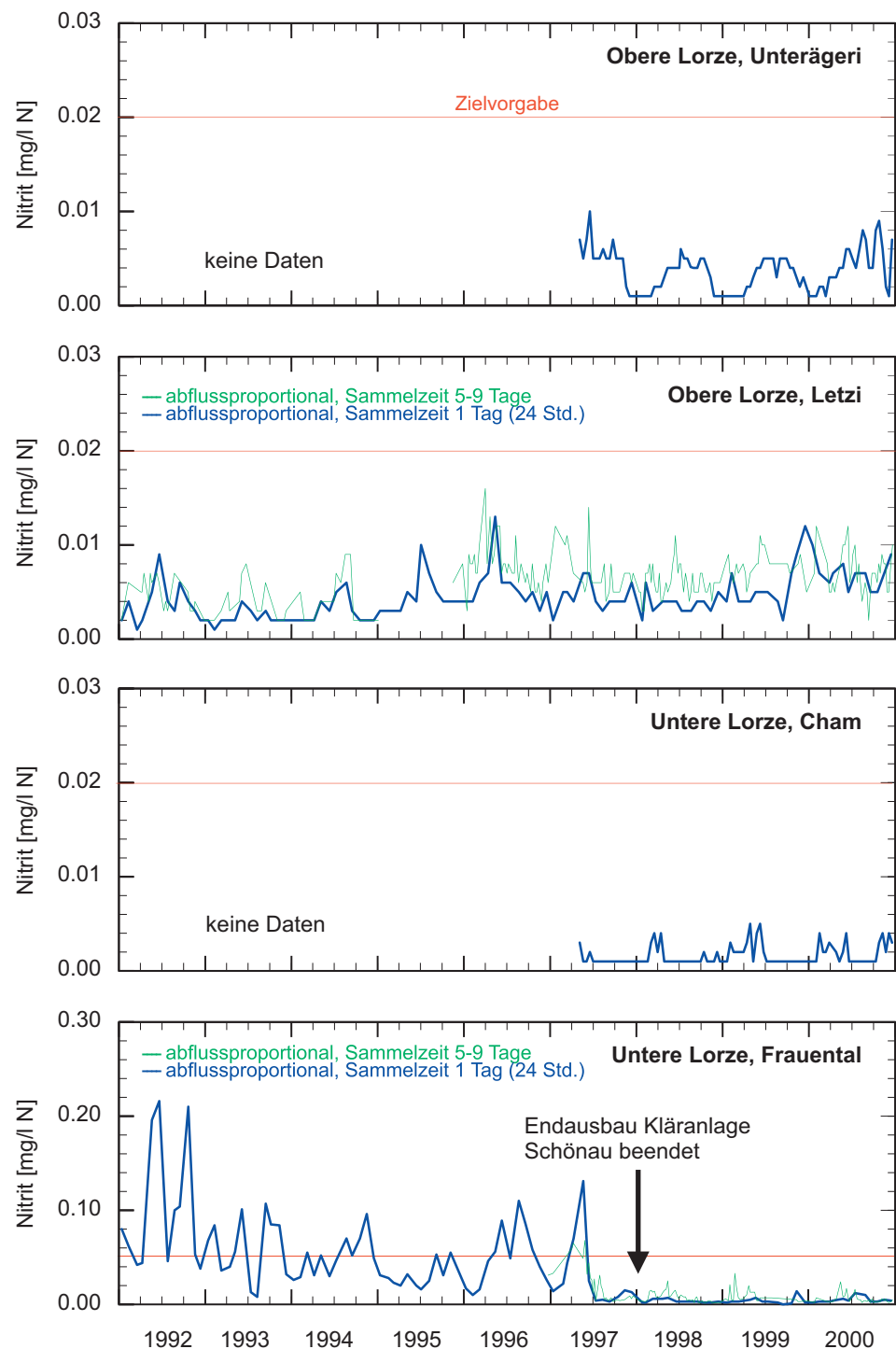


Abbildung 34:
Nitritganglinien der
Oberen und Unte-
ren Lorze an den
Stellen Unterägeri*,
Letzi*, Cham* und
Frauental*

* abflussproportionale
Mischprobe
+ zweiwöchentliche
Stichprobe

on) die Konzentrationen jeweils Maximalwerte von über 0.1 mg/l P erreichen, sinken diese im Sommerhalbjahr stetig und erreichen im 3. Quartal (vor Beginn Herbstzirkulation) den Minimalwert von rund 0.02 mg/l P. Seit 1992 hat sich zudem der Phosphor-Maximalwert infolge des Nährstoffrückgangs im Zugersee von rund 0.14 mg/l P auf etwa rund 0.11 mg/l P gesenkt.

Bei der Messstelle in **Frauental** verdeutlichen die Ganglinien der Messgrößen Ammonium, Nitrit und Gesamtphosphor sehr eindrücklich, dass die Untere Lorze bis 1998 wesentlich von der ungenügenden Reinigungsleistung der Kläranla-

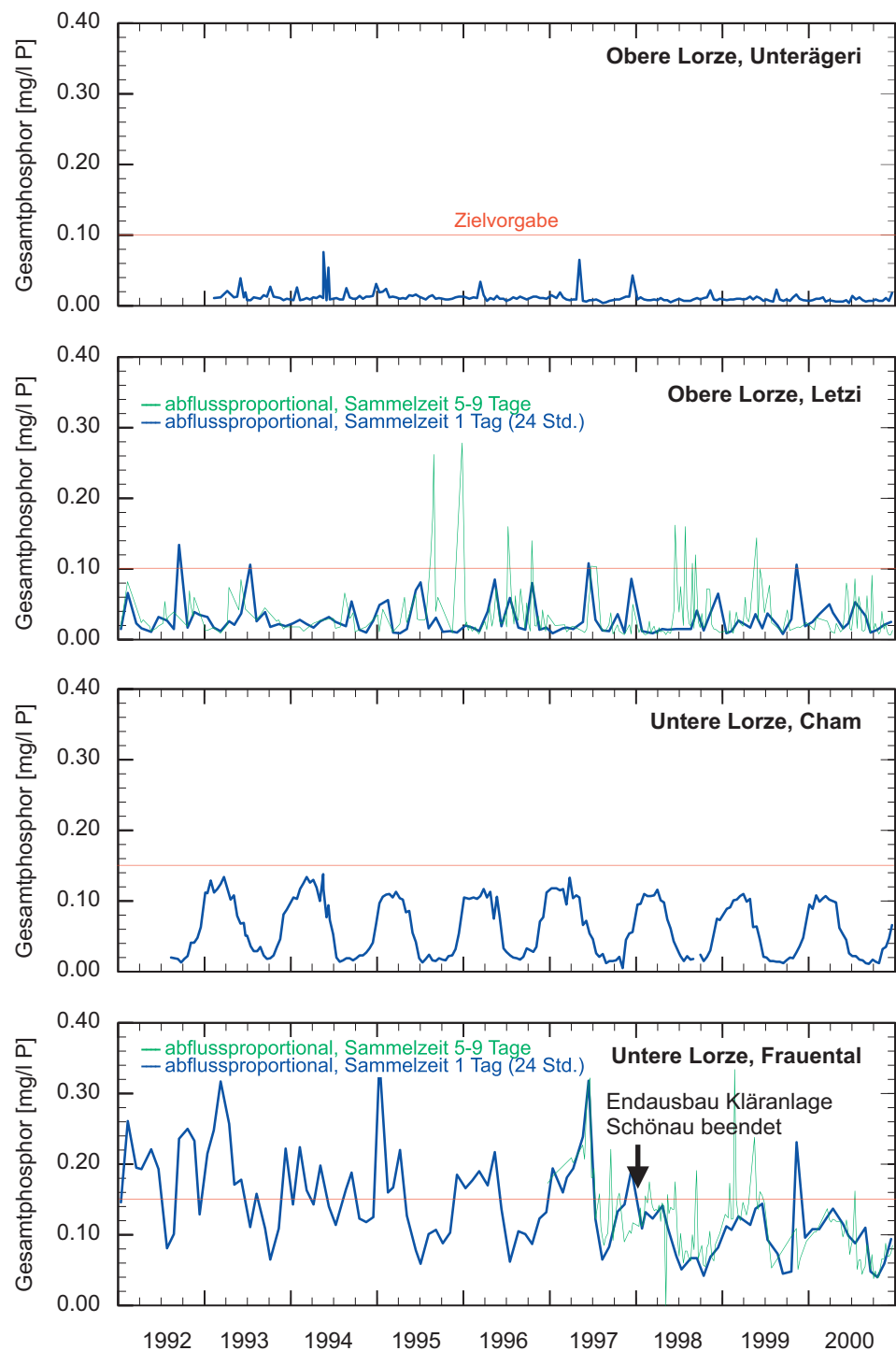


Abbildung 35:
Gesamtphosphor-
ganglinien der
Oberen und Unte-
ren Lorze an den
Stellen Unterägeri*,
Letzi*, Cham* und
Frauental*

* abflussproportionale
Mischprobe
+ zweiwöchentliche
Stichprobe

ge Schönau belastet wurde. An diese Kläranlage sind alle zugerischen Gemeinden ausser Neuheim sowie die Gemeinden Arth, Küsnacht, Greppen und Meierskappel angeschlossen. Die Abwasserreinigung (inkl. Industrie und Gewerbe) erfolgt für rund 125'000 Einwohnergleichwerte (EWG). Mit dem Fertigstellen des **Endausbaus der Kläranlage Schönau** im Jahre 1998 wurden die Untere Lorze und damit auch die Reuss stark entlastet. Sowohl die Ammonium- wie auch die Nitritkonzentrationen liegen seither klar unterhalb der Zielvorgaben. Vor dem Endausbau wurden in der Unteren Lorze unterhalb der Kläranlage vielfach fischtoxische Ammonium- und Nitritkonzentrationen festgestellt (Abbildungen 33 und 34). Wie die Messungen zeigen, treten diese nun in Frauental nicht mehr auf. Die Ganglinie des Gesamtphosphors hat sich infolge des Endausbaus ebenfalls deutlich verändert (Abbildung 35). Während vor 1998 basierend auf den 24-Stunden-Sammelproben immer wieder und teilweise länger andauernd sehr hohe Konzentrationen auftraten, liegen diese seit 1998 meistens unterhalb der Zielvorgabe. Wie die 5 bis 7 Tage dauernden Sammelproben zeigen, wird die Zielvorgabe für Phosphor zeitweise immer noch überschritten. Die Ursache dieser hohen Phosphorwerte sind Regenentlastungen des Kläranlagenzulaufs unmittelbar oberhalb der Kläranlage Schönau in die Untere Lorze.

9.6

Der Gesamtphosphor ausgewählter Seezuflüsse

Da der Gesamtphosphor im Nährstoffhaushalt unserer Seen eine zentrale Rolle einnimmt, sind in Abbildung 36 exemplarisch für die Zuflüsse Aabach und Rigi-Aa (beide münden in den Zugersee), Hüribach (Ägerisee) und Zulauf Sennhütte (Wilersee) die Phosphorganglinien der Jahre 1992 bis 2000 dargestellt. Es gilt zu beachten, dass die Messwerte aus zweiwöchentlichen Stichproben stammen (keine abflussproportionale Probenahme). Mit Stichproben werden Hochwasserereignisse nur zufällig beprobt und Belastungsmaxima deshalb nur selten erfasst.

Die **Rigi-Aa** und der **Hüribach** führen nur sporadisch hohe Phosphorkonzentrationen, die über der Zielvorgabe liegen. Diese hohen Konzentrationen stehen vermutlich in Zusammenhang mit Starkniederschlägen (Hochwasserereignissen). In der Rigi-Aa dürften die hohen Gesamtphosphorkonzentrationen von 0.2 bis 0.4 mg/l P während Starkniederschlägen insbesondere durch die Siedlungsentwässerung (Regenüberläufe) bedingt sein. Demgegenüber kann beim schwach besiedelten Einzugsgebiet des Hüribaches, welches im Unterlauf intensiv landwirtschaftlich genutzt wird, angenommen werden, dass die hohen Gesamtphosphorkonzentrationen die Folge von Abschwemmung aus landwirtschaftlich genutzten Böden sind.

Im Vergleich zum Hüribach und der Rigi-Aa, weisen der **Aabach** und der **Zulauf Sennhütte** einen deutlich abweichenden Stoffhaushalt auf. Bei beiden Bächen treten sehr oft hohe Gesamtphosphorkonzentrationen auf, welche deutlich über der Zielvorgabe von 0.1 mg/l P liegen. Der Grund für die hohen Konzentratio-

nen sind bei beiden Bächen im Wesentlichen die intensive landwirtschaftliche Nutzung im Einzugsgebiet und die daraus resultierende Abschwemmung von Nährstoffen in die Gewässer. Im Zulauf Sennhütte kommen Belastungsspitzen sowohl bei Trocken- wie auch bei Regenwetter vor. Es besteht die Vermutung, dass für die Belastung auch undichte oder falsch gewartete Hofdüngeranlagen verantwortlich sind.

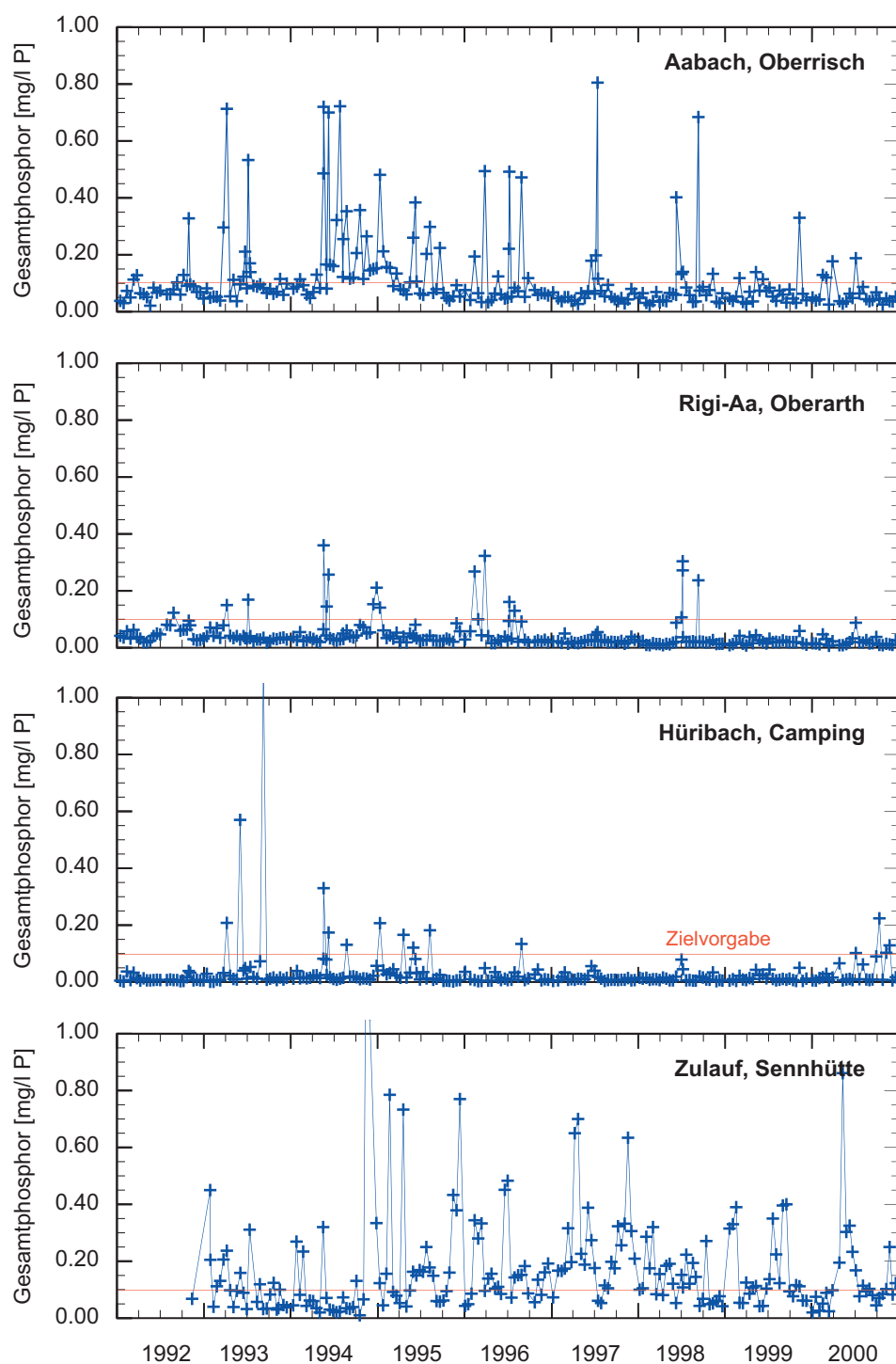


Abbildung 36:
Gesamtphosphorganglinien von Zuflüssen in den Zugersee (Aabach, Rigi-Aa), in den Ägerisee (Hüribach) und in den Wilersee (Zulauf Sennhütte)

Neue Gewässerschutzaufgaben

Seit den 1960er Jahren hat sich die Wasserqualität der Fliessgewässer und Seen dank der Reinigung des Siedlungsabwassers und den Massnahmen zur Verringerung der Abschwemmung landwirtschaftlicher Hofdünger stark verbessert. Zur Behebung der Überdüngung unserer Gewässer waren in der Schweiz Milliarden-Investitionen notwendig. Nachdem nun das einstige Hauptproblem, die zu grosse Nährstoffbelastung der Gewässer, im Grossen und Ganzen als gelöst betrachtet werden kann, richtet sich der Fokus der Gewässerschutzanstrengungen vermehrt auf die noch bestehenden Gewässerbeeinträchtigungen. Zu diesen gehören:

- die bestehende massive Verbauung der Fliessgewässer und Seeufer mit den negativen Folgen für die aquatische Tier- und Pflanzenwelt,
- die überaus starke Beanspruchung der Fliessgewässer durch die Gewässernutzung (Wasserentnahmen, intensive Erholungsnutzung),
- die zunehmende Verschmutzung der Gewässer durch Spurenstoffe mit Auswirkungen auf die Lebensgemeinschaften.

So ist es die Zielsetzung des Gewässerschutzes, nach Möglichkeit früher verbaute Gewässer zu renaturieren, damit diese ihre ursprüngliche Funktion als artenreiche Lebensräume für die Tier- und Pflanzenwelt wieder vermehrt wahrnehmen können. Die Erfahrungen aus den Überschwemmungs-Katastrophen der letzten Jahre haben zudem gezeigt, dass technische Massnahmen allein nicht ausreichen, um das Siedlungsgebiet wirkungsvoll vor den Hochwassergefahren zu schützen. Vielmehr muss der Mensch seine Raumnutzung in Zukunft den Naturgefahren anpassen und bestehenden Risiken ausweichen. Den vielerorts eingeeengten Fliessgewässern muss wieder mehr Raum zur Verfügung gestellt werden.

Ebenso müssen für die heute noch nicht sanierten Restwasserstrecken an der Oberen und Unteren Lorze ökologisch sinnvolle Dotierwassermengen festgelegt werden. In diesem Zusammenhang ist auch die Wiederherstellung der freien Fischwanderung zwischen Restwasserstrecke und dem Fliessgewässer oberhalb der Wasserfassung von grosser Bedeutung. Die für den Gewässerschutz zuständigen kantonalen Fachstellen haben die Absicht, die Staustufen an der Unteren Lorze zwischen Reuss und Zugersee mit Fischaufstiegshilfen auszustatten und so die Gewässer für Wanderfische aufzuwerten.

Sorgen bereiten den Gewässerschutzfachstellen auch die zunehmende Belastung mit synthetischen chemischen Verbindungen. Substanzen wie Pflanzenschutzmittel oder gewisse Medikamente sind in den Kläranlagen kaum abbaubar und wirken auf die Wasserorganismen selbst in kleinsten Konzentrationen ähnlich wie Hormone. Diese führen beispielsweise bei Fischen zu Entwicklungsstörungen (Verweiblichung männlicher Fische). Die Kenntnisse über diese Mikroverunreinigungen und hormonaktiven Stoffe sind aber heute noch lückenhaft. Es ist daher absehbar, dass die Kantone - sei es im Rahmen der Mithilfe bei Forschungsprojekten oder im Bereich der Analytik - in diesem Bereich noch mehr gefordert sein werden.

Modul-Stufen-Konzept des Bundes

Die Bestimmungen in der Gewässerschutz-, Fischerei- und Wasserbaugesetzgebung verfolgen einen **ganzheitlichen Gewässerschutz**. So müssen nicht nur die numerischen Anforderungen an die Wasserqualität erfüllt sein, sondern auch der naturnahe Lebensraum und die Wasserführung haben auf Grund ihrer grossen ökologischen Bedeutung rechtlich verankerte Anforderungen erhalten. Die zentralen Themen in diesem Zusammenhang heissen *Ökotoxizität, Restwasser, Revitalisierungen, Raumbedarf, Ökomorphologie, Organismen-Durchgängigkeit, fremde Tier- und Pflanzenarten* und *einheimische gefährdete Tier- und Pflanzenarten*.

Um diesen Gewässerschutzaufgaben gerecht zu werden, erarbeitet der Bund das Modul-Stufen-Konzept Fliessgewässer, welches verschiedene Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer in der Schweiz enthält. Das Konzept beschreibt die Untersuchungsmethoden, mit welchen allfällige Defizite in den beschriebenen Bereichen festgestellt werden können. Das Modul-Stufen-Konzept Fliessgewässer umfasst die **Module Hydrologie, Ökomorphologie, Äusserer Aspekt, Wasserpflanzen, Kieselalgen, Wasserwirbellose, Fische, Wasserchemie** und **Ökotoxikologie**. Zum heutigen Zeitpunkt sind die Module Ökomorphologie (Stufe F) sowie Kieselalgen (Stufe F) bereit für die Anwendung. Bei den restlichen Modulen ist der Bearbeitungsstand unterschiedlich, wobei die Module Äusserer Aspekt, Chemie (Stufen F und S), Wasserwirbellose (Stufe F) und Fische (Stufe F) in Entwürfen vorliegen. Der Bearbeitungsstand der Module ist auf der Website des Bundes (http://www.umwelt-schweiz.ch/buwal/de/fachgebiete/fg_gewaesser/gewaesserrubrik1/unterseite17/index.html) abrufbar.

Zukünftige Gewässeruntersuchungen im Kanton Zug

Auch bei der Gewässerbeobachtung im Kanton Zug ist vorgesehen, die Module des Modul-Stufen-Konzepts nach ihrer Fertigstellung anzuwenden. Die Ergebnisse aus diesen Untersuchungen werden mit den rechtlichen Vorgaben verglichen und daraus die notwendigen Gewässerschutzmassnahmen abgeleitet. Auch die im Rahmen des Modul-Stufen-Konzepts erhobenen Daten werden regelmässig in Berichten veröffentlicht.

Abflussregime

Als Abflussregime bezeichnet man den Gang der mittleren monatlichen Abflussmengen von Flüssen, d.h. das Auftreten von Niedrig- und Hochwasser während eines Jahres. Das Abflussregime wird vom jeweiligen Klima und von der Art des → Einzugsgebietes bestimmt (→ nivopluviales Abflussregime).

aerobe Organismen

Pflanzen und Tiere, die zum Leben Sauerstoff benötigen.

anthropogen

Durch den Menschen beeinflusst oder verursacht.

ARA

Abwasser-Reinigungs-Anlage, Kläranlage.

Biomasse

Die durch Lebewesen hervorgerufene Masse (Gewicht).

Box-Plot

Grafik zur gemeinsamen Darstellung der Extremwerte (Minimum, Maximum), der → Perzentile (20 %-Perzentil, 80 %-Perzentil) und des → Medians einer Messreihe.

BSB₅

Biochemischer Sauerstoffbedarf in 5 Tagen. Ein Mass für die organische Belastung eines Gewässers.

Cl

Chlorid

Denitrifikation

Umwandlung von Nitrat (NO₃) in Stickstoff (N₂).

DOC

Gelöste organische Kohlenstoffverbindungen (Dissolved Organic Carbon). Ein Mass für die Belastung eines Gewässers durch gelöste organische Verbindungen.

Einwohnergleichwert

Die Belastung von Kläranlagen durch unbehandelte kommunale oder industrielle Abwasser wird oft in Einwohnergleichwerten beziffert. Ein Einwohnergleichwert (oder Einwohnerwert) entspricht einer organisch-biologisch abbaubaren Belastung mit einem biochemischen Sauerstoffbedarf in 5 Tagen (→ BSB₅) von 60 g Sauerstoff pro Tag.

Einzugsgebiet

Das gesamte von einem Fluss mit all seinen Nebenflüssen ober- und unterirdisch entwässerten Gebiet bildet sein Einzugsgebiet. Unter dem Einzugsgebiet versteht man nach DIN 4049 das Gebiet, aus dem das Wasser einem bestimmten Ort zufließt.

eutroph

Nährstoffreich (0.03 - 0.1 mg/l P); Gewässer mit hoher organischer Produktion.

Eutrophierung

Zunahme der → Primärproduktion in einem Gewässer; meistens verursacht durch die Zufuhr von Nährstoffen (→ Phosphor). Die Eutrophierung erhöht den → Trophiegrad eines Gewässers.

Flügeldiagramm

Grafik zur kombinierter Darstellung mehrerer Messgrößen und dem Vergleich mit ihren Grenzwerten, Richtwerten, Qualitätszielen, etc. → Kissektordiagramm

Ganglinie

Grafik des zeitlichen Verlaufes einer Messgröße.

Geschiebe

Von einem Fließgewässer transportierte Menge Feststoffe (Sand, Kies, Geröll).

Gewässergüte

Qualitativer Zustand eines Gewässers; umfasst neben der chemischen Wasserqualität auch biologische, hydrologische, gewässermorphologische und ökotoxikologische Aspekte.

Gewässermorphologie

Teilgebiet der Fließgewässerkunde, das sich mit den morphologischen Formen der Gewässer, deren Entstehen und Veränderungen befasst.

hypereutroph

äußerst nährstoffreich (>0.1 mg/l P); Gewässer mit äußerst hoher organischer Produktion.

Jahresmedian

Der → Median einer Jahresreihe.

Kissektordiagramm

→ Flügeldiagramm

Median

Der mittlere Wert einer Messreihe. 50% aller Messwerte sind kleiner als der Median und die übrigen 50% sind größer als der Median.

mesotroph

mittel nährstoffreich (0.01-0.03 mg/l P); Gewässer mit mittlerer organischer Produktion.

mg/l

Milligramm pro Liter = 1/1000 Gramm pro Liter

mittlerer Abfluss

Mittelwert des Abflusses während einem bestimmten, i. A. längeren Zeitraum.

mittlerer Hochwasserabfluss

Mittelwert der höchsten jährlichen Abflüsse

NH₄

Ammonium

Nitrifikation

Umwandlung von Ammonium (NH₄) über die Zwischenstufe Nitrit (NO₂) in Nitrat (NO₃) (→ Denitrifikation).

nivopluviales Abflussregime

Das → Abflussregime eines Flusses, das von Schneeschmelze und Regen in gleichem Masse abhängt. Hohe Wasserstände treten also nach der Schneeschmelze und nach der Zeit der als Regen fallenden Niederschläge auf.

NO₂

Nitrit

NO₃

Nitrat

O₂

Sauerstoff

oligotroph

Nährstoffarm (<0.1 mg/l P); Gewässer mit geringer organischer Produktion.

Ortho-Phosphat

PO₄ (genauer PO₄³⁻); biologisch leicht verfügbare, anorganische Form des Phosphors; im vorliegenden Bericht wird unter Phosphat immer Ortho-Phosphat verstanden.

P

Phosphor; biologischer Minimumstoff (= limitierender Stoff) für das pflanzliche Wachstum in unseren Gewässern.

PO₄

→ Ortho-Phosphat

Persistenz

Die Langlebigkeit einer Chemikalie in der Umwelt.

Perzentil

Das 80 %-Perzentil ist jener Wert aus einer Menge von Messwerten, für den 80 % aller Messwerte kleiner und die restlichen 20 % grösser sind. Analog ist das 20 %-Perzentil definiert.

Pestizide

Chemikalien zur Vernichtung unerwünschter Pflanzen (Herbizide, Algizide), Pilze (Fungizide) und Tiere (z. B. Insektizide).

Phosphat

→ Ortho-Phosphat

Photosynthese

Stoffwechselreaktion der grünen Pflanzen, bei der mit Licht aus Kohlendioxid (CO₂) und Wasser (H₂O) energiereiche pflanzliche Stoffe (z.B. Glukose, CH₂O) sowie Sauerstoff (O₂) gebildet werden; chemische Verhältnisformel:

**pH-Wert**

Masszahl für die Wasserstoff-Ionenkonzentration und den sauren oder alkalischen Charakter einer Wasserprobe. Proben mit einem pH-Wert unter 7 sind sauer, solche über 7 sind alkalisch.

Plankton

Als Plankton bezeichnet man alle im Wasser schwebenden pflanzlichen (Phytoplankton) und tierischen (Zooplankton) Lebewesen, die keine oder nur eine geringe Eigenbewegung haben, so dass Ortsveränderungen ausschliesslich oder überwiegend durch Wasserströmungen erfolgen.

Phytoplankton

→ Plankton

Primärproduktion

Der Zuwachs an Pflanzenbiomasse während einer bestimmten Zeit.

Q₃₄₇

Abflussmenge, die mindestens, gemittelt über 10 Jahre, durchschnittlich während 347 Tagen des Jahres erreicht oder überschritten wird und durch Stauung, Entnahme oder Zuleitung von Wasser nicht wesentlich beeinflusst ist.

Qualitätszielsetzung

Die im vorliegenden Bericht verwendeten numerischen Anforderungen für die Stoffe Nitrit, Chlorid, Gesamtphosphor und Phosphat (in der Gewässerschutzverordnung nicht oder nur qualitativ formuliert).

Restwassermenge

Abflussmenge eines Fließgewässers, das nach einer oder mehreren Entnahmen von Wasser verbleibt. (→ Dotierwassermenge).

Saprobie

Ein Mass für den Abbau organischer Substanzen; Komplementärbegriff zur → Trophie.

Trophie, Trophiegrad

Ein Mass für die pflanzenbedingte Produktion (→ Primärproduktion); → oligotroph, → mesotroph, → eutroph, → hypereutroph.

Wasserqualität

Qualität von Wasser hinsichtlich seiner Belastung durch Fremdstoffe.

Zooplankton

→ Plankton

12

Bildnachweis, Grafiken und Kartengrundlagen

Bild:	Beschreibung:	Bildnachweis:
Titelbild	Schöpfflasche für Entnahme von Seewasser-Proben	Pascal Schumacher, Fotograf
Abbildung 1	Topografie und Landnutzung am Zuger- und Ägerisee	Clemens Oberholzer, GIS-Fachstelle Kt. Zug
Abbildung 2	Längs- und Querprofil des Zugersees	Clemens Oberholzer, GIS-Fachstelle Kt. Zug
Abbildung 3	Längs- und Querprofil des Ägerisees	Clemens Oberholzer, GIS-Fachstelle Kt. Zug
Abbildung 4	Einzugsgebiete der untersuchten Fliessgewässer	Clemens Oberholzer, GIS-Fachstelle Kt. Zug
Abbildung 7	Temperaturschichtung in einem See	AquaPlus, gemäss Blickpunkt Umwelt Nr. 10 (1998), S.12/13
Abbildung 8	Nährstoffhaushalt, Algenwachstum und Sauerstoff	AquaPlus, gemäss Blickpunkt Umwelt Nr. 10 (1998), S.12/13
Abbildung 15	Entwicklung des Gesamtphosphor im Zugersee - Kieselalgen (Rasterelektro-nenmikroskopie) - Sedimentkern	Rolf Klee, Bay. Landesamt für Wasserwirtschaft, Wielenbach Alois Zwyssig, EAWAG
Abbildung 16	Starke Veralgungen - Grünalgen Cham 1998 - Blaualgen Zug 1996	Amt für Umweltschutz Zug AquaPlus, Zug
Abbildung 20	Entwicklung des Gesamtphosphor im Wilersee - Kieselalgen (Rasterelektro-nenmikroskopie) - Sedimentkern	Walter Güttinger, Pura Alois Zwyssig, EAWAG
Abbildung 22	Notmassnahmen Wilersee	Zuger Nachrichten und Amt für Umweltschutz Zug
Abbildung 23	Räumliche Dimensionen eines Fliessgewässers - Obere Lorze beim Jöchler	AquaPlus, Zug
Abbildung 24	Beeinträchtigungen in Zuger Fliessgewässern - alle Aufnahmen	AquaPlus, Zug
Abbildung 26	Strassenabwasserbehandlungsanlage Talacher	AquaPlus, Zug
Abbildung 27	Wasserqualität in den Fliessgewässern	Clemens Oberholzer, GIS-Fachstelle Kt. Zug
Bildseite S. 20	Probenahmen und Laboruntersuchung - alle Aufnahmen	Pascal Schumacher, Fotograf
Bildseite S. 22/23	Lebensraum See - Ägerisee (Hintergrundbild) - Libelle Wasserjungfer - Blesshuhn - Steinkrebs - Wasserschnecke - Phytoplankton - Egli - Wandermuscheln - Graureiher	Pascal Schumacher, Fotograf Pascal Schumacher, Fotograf Pascal Schumacher, Fotograf Pascal Schumacher, Fotograf Hansjürg Caprez, Tauch-Treff Zug Hans Rudolf Bürgi, EAWAG Hansjürg Caprez, Tauch-Treff Zug Hansjürg Caprez, Tauch-Treff Zug Pro Natura Schweiz
Bildseite S. 28	Gewässernutzungen - Taucherin - alle übrigen Aufnahmen	Hansjürg Caprez, Tauch-Treff Zug Pascal Schumacher, Fotograf

Bild:	Beschreibung:	Bildnachweis:
Bildseite S. 48/49	Lebensraum Fliessgewässer - Hüribach (Hintergrundbild) - Bachflohkrebse - Wasserramsel - Bachforelle - Köcherfliegenlarven - Eintagsfliege - Grasfrosch - Groppe - Grünalge <i>Ulothrix</i> sp.	Pascal Schumacher, Fotograf Pro Natura Schweiz Pro Natura Schweiz Pro Natura Schweiz Pro Natura Schweiz Pro Natura Schweiz Pro Natura Schweiz Hansjürg Caprez, Tauch-Treff Zug Dr. Angela von Känel, GBL Bern

Gestaltung der Bildseiten

Frau Christine Suter, Visuelle Gestalterin HFG, Untermüli 1, 6300 Zug

Kartengrundlagen und Copyright Landeskarten

DV 023014, 2003 © Bundesamt für Landestopographie

DV 902, 2003 © Bundesamt für Landestopographie

Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer (Gewässerschutzgesetz, GSchG) vom 24.1.1991, SR 814.20.

Gewässerschutzverordnung (GSchV) vom 28.10.1998, SR 814.201.

Verordnung über Abwassereinleitungen vom 8.12. 1975, SR 814.225.21.

Die Wasserqualität in den Zuger Fliessgewässern und Seen. Blickpunkt Umwelt Nr. 10 (1998), S. 4-19, Amt für Umweltschutz Zug.

Die Wasserqualität in den Zuger Gewässern von 1997 bis 2000. Blickpunkt Umwelt Nr. 20 (2003), S. 4-17, Amt für Umweltschutz Zug.

Reussbericht 1994 - 1998: Untersuchung der Reuss sowie der Zuflüsse Kleine Emme und Lorze in den Jahren 1994 - 1998. Zusammenstellung der Untersuchungen der Kantone Aargau, Luzern und Zug.

Abwasser. Wohin fliesst unser Abwasser? Gewässerschutzverband der Region Zugersee-Küssnachtersee-Ägerisee (GVRZ, 1998), 36 Seiten.

Stickstofftoxizität für Fische und herzuleitende Grenzwerte. R. Müller, EAWAG News 30 (1990), S. 33-36.

Einfluss externer physikalischer Faktoren auf das Sauerstoffregime des Ägerisees. D.M. Livingstone, Dissertation Universität Zürich (1988), 273 Seiten.

Entwicklung des Gesamtphosphors im Wilersee. Rekonstruktion seit der Jahrhundertwende mittels im Sediment eingelagerten Kieselalgen. AquaPlus Zug, Untersuchungen im Auftrag des Amtes für Umweltschutz des Kantons Zug (September 1998).

Entwicklung des Gesamtphosphors im Zugersee anhand der im Sediment eingelagerten Kieselalgen. Rekonstruktion seit ca. 1550. AquaPlus Zug, Untersuchungen im Auftrag des Amtes für Umweltschutz des Kantons Zug (Juni 2001).

Gutachten über die Sanierung des Zugersees mit besonderer Berücksichtigung des Projektes zur Seeregulierung. EAWAG, Gutachten im Auftrag der Baudirektion des Kantons Zug (1984), Auftrag Nr. 4663.

Massnahmenpaket betreffend Sanierung und Regulierung des Zugersees. Bericht und Antrag des Regierungsrates vom 23. Januar 1990. Kanton Zug, Vorlage Nr. 6927, 91 S.

Grundlagen für die Sanierung des Zugersees. Untersuchungen des Stoffhaushaltes von Tiefenwasser und Sediment. EAWAG, Gutachten im Auftrag der Baudirektion des Kantons Zug (Juli 1994), Auftrag Nr. 37 - 4840.

Phosphorhaushalt des Zugersees. EAWAG, Gutachten im Auftrag des Amtes für Umweltschutz des Kantons Zug (August 2003), 3 Seiten.

Modul Chemie, chemisch-physikalische Erhebungen Stufen F & S. Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer in der Schweiz, Entwurf des Jahres 2001.

