



Nährstoff-Typus der Seen in Abhängigkeit des Phosphorgehalts
*Anforderung der Gewässerschutzverordnung (entspricht einer Phosphorkonzentration von maximal 0.03 mg/l P)

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

Die Nährstoffgeschichte des Zugersees

Der alte Zustand als Vision

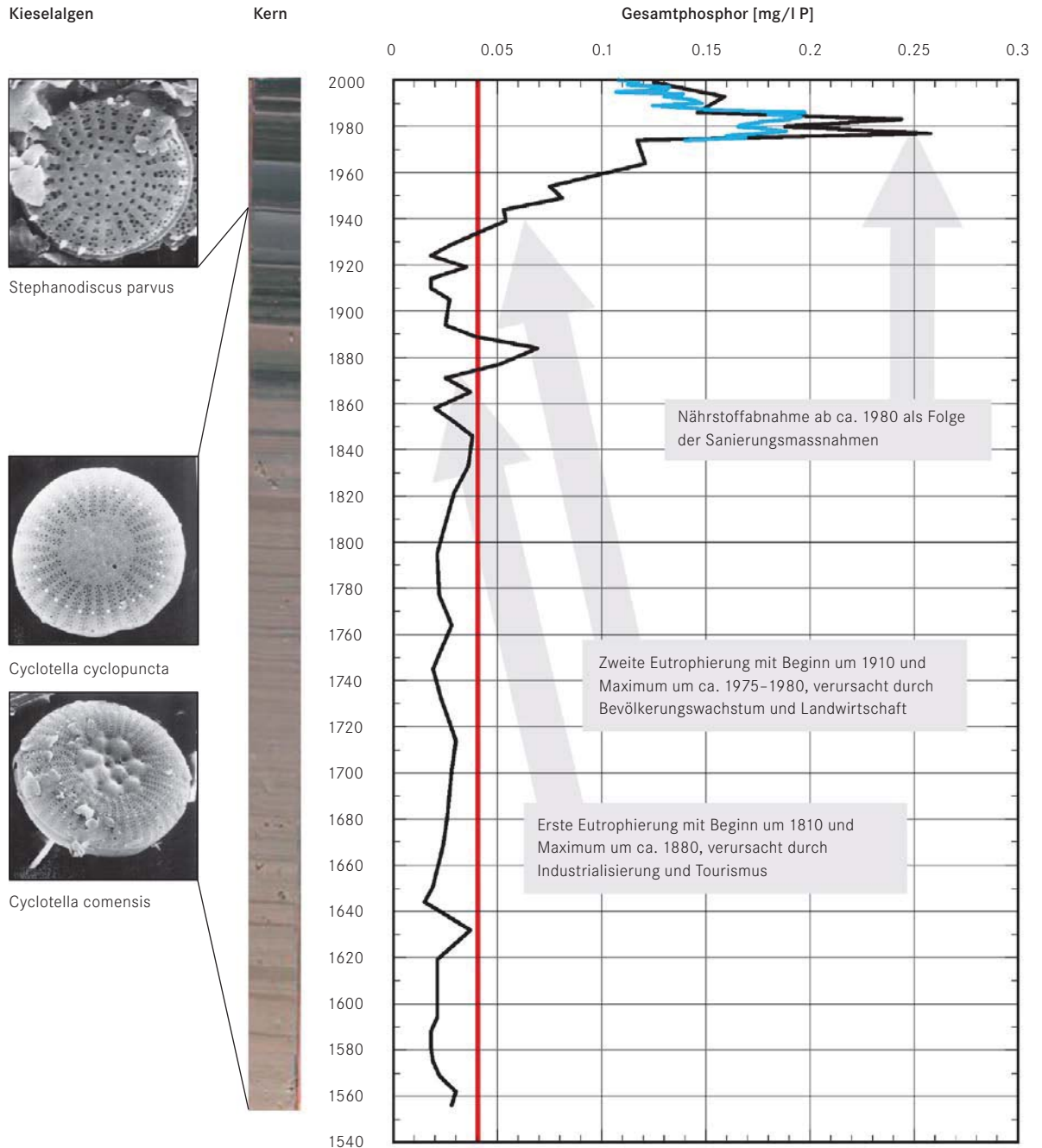
Den Nährstoffgehalt des Zugersees in einen naturnahen Zustand zurückzuführen ist das erklärte Ziel der Anrainerkantone Zug, Schwyz und Luzern. In unseren Seen wird das Ausmass der biologischen Produktion durch den Phosphorgehalt im Seewasser bestimmt. Die Begleitkommission Zugersee hat 1994 für den mittleren Phosphorgehalt im Zugersee eine Zielgrösse von maximal 0.04 mg/l festgelegt. Die Gewässerschutzverordnung aus dem Jahr 1998 bezeichnet den «mittelnährstoffreichen (mesotrophen) Zustand» als Ziel für alle diejenigen Schweizer Seen, die bei naturnahen Verhältnissen diesen Zustand auch effektiv aufgewiesen haben. Im Zugersee erfolgen die regelmässigen chemischen Messungen des Nährstoffgehalts erst seit 1975. Deshalb war eine Rekonstruktion der Nährstoffverhältnisse bis in die weitere Vergangenheit zurück notwendig, damit ein fachlich begründeter Zielzustand für den Nährstoffgehalt angegeben werden kann.

Der Seeboden als Archiv

Die Nährstoffgeschichte des Zugersees über die vergangenen 450 Jahre ist heute aufgrund der im Jahr 2000 durchgeführten Phosphor-Rekonstruktion gut bekannt (siehe Abbildung S. 11). Mit der Untersuchung von archivierten Kieselalgenschalen in Sedimentkernen und der Datierung der Sedimentschichten konnte gezeigt werden, dass sich der See bis Anfang des 19. Jahrhunderts in einem stabilen, eher schwachen mesotrophen (= mittel nährstoffreichen) Zustand befand. Die rekonstruierten

Gesamtposphorwerte lagen damals um 0.02 mg/l. Zu Beginn des 19. Jahrhunderts erhöhte sich dann der Gesamtposphor allmählich, so dass um etwa 1850 Konzentrationen zwischen 0.03 bis 0.04 mg/l vorlagen. Nach einem beachtlichen Eutrophierungsschub erreichte der Trophiegrad um 1880 einen ersten Maximalwert von 0.05 bis 0.07 mg/l und damit deutlich eutrophe (= nährstoffreiche) Verhältnisse. Diese Nährstoffanreicherung im See wurde durch den zunehmenden Schmutzwasseranfall als Folge der Bevölkerungszunahme, der Industrialisierung und einer erhöhten Mobilität (Dampfschiffahrt, Eisenbahnbau, Tourismus) verursacht.

Ab ungefähr 1900 begann dann die zweite, viel stärkere Eutrophierungsphase; sie dauerte bis zum Maximum der Phosphorbelastung Ende der 1970er-Jahre. Der zweite Nährstoffschub machte sich auch mit deutlich erkennbaren gewässerökologischen Veränderungen bemerkbar. So wurde 1898 erstmals das Auftreten der Burgunderblutalge (Planktothrix rubescens) dokumentiert, und 1903 traten die ersten Klagen über den Rückgang der Rötel-Erträge ein. Um ca. 1960 überschritten die Gesamtposphorwerte die Marke von 0.1 mg/l, was hypereutrophe (= äusserst nährstoffreiche) Verhältnisse bedeutet. Die weitere Bevölkerungszunahme und die Intensivierung der Landwirtschaft führten zu dieser massiven Verschlechterung des Trophiegrades. Ende der 1970er- und anfangs der 1980er-Jahre traten im Zugersee aufgrund der Rekonstruktion maximale Gesamtposphorwerte von rund 0.25 mg/l auf. Danach



Entwicklung des Phosphorgehalts im Wasserkörper des Zugersees mit Sedimentuntersuchungen im Jahr 2000

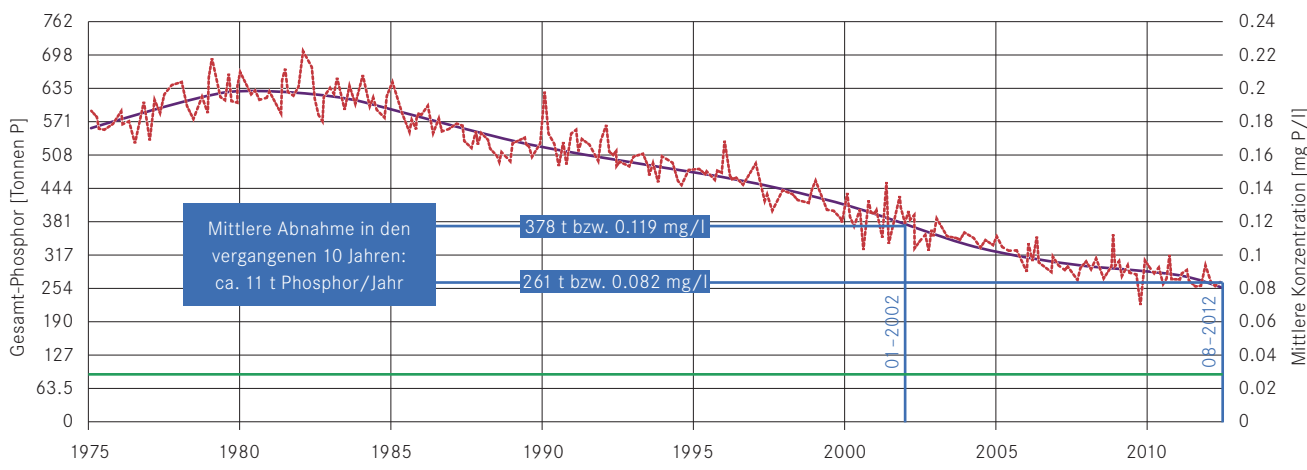
— Rekonstruierte Phosphorwerte — Messwerte im See — Sanierungsziel der Begleitkommission Zugersee (0.04 mg/l P)

fürten die nunmehr seit rund 30 Jahren greifenden Sanierungsmassnahmen zur deutlichen Verminderung der Gesamtphosphorkonzentration auf heute rund 0.08 mg/l. Seit 1975 wird der Phosphorgehalt im Zugersee chemisch gemessen; die Grafik auf S. 12 zeigt den Verlauf dieser monatlichen Messungen bis heute.

«Karies» am Seeboden

Der Nährstoffgehalt des Seewassers beeinflusst auch die Sauerstoffverhältnisse am Seegrund und damit die chemische Zusammensetzung der Sedimente. Totes biologisches Material sinkt auf den Seegrund und wird dort unter Sauerstoffverbrauch mineralisiert; je höher der Nährstoffgehalt des See-

wassers, desto stärker die biologische Produktion und umso grösser die Sauerstoffzehrung am Seegrund. Wenn der Sauerstoff an der Sedimentoberfläche vollständig aufgebraucht ist, lagert sich dort schwarzes Eisensulfid ab. Die Fotografie des aufgeschnittenen Sedimentkerns in der Abbildung oben zeigt eindrücklich den Wechsel der Sauerstoffverhältnisse am Grund des Zugersees: Die weitgehend hellbraune Färbung der Sedimentschichten zeigt, dass bis ungefähr 1860 meistens ganzjährig gelöster Sauerstoff bis zum Seegrund vorhanden war. Danach bildeten sich mit der zunehmenden Eutrophierung an der Sedimentoberfläche und im Tiefenwasser längere sauerstofflose Zeitabschnitte. Ab ungefähr 1900 bis heute ist dort praktisch ganzjährig kein Sauerstoff mehr vorhanden.



Verlauf des gemessenen Phosphorgehalts im Zugersee von 1975 bis August 2012

--- Verlauf der monatlichen Messungen — Regression — Grenzwert Gewässerschutzgesetz (mesotropher Zustand) = 0.03 mg P/l

Der Zugersee gesundet langsam

Der Rückgang des Nährstoffgehalts im Zugersee ab den 1980er-Jahren ist im Wesentlichen auf umfassende seeexterne Sanierungsmassnahmen zurückzuführen. Sie setzten vor allem im Bereich der Siedlungsentwässerung (Fernhalten von Abwasser) sowie in der Landwirtschaft an. Die bedeutendste Massnahme im Bereich der Siedlungsentwässerung ist der Bau der zentralen Kläranlage Schönau im Jahr 1977, welche das gereinigte Abwasser in die Untere Lorze ausserhalb des Einzugsgebietes des Zugersees abgibt. Die ARA Schönau löste eine Vielzahl von kleinen Kläranlagen mit ungenügender Leistung im Einzugsgebiet des Zugersees ab. Über eine Ringleitung um den Zugersee (Vollendung 1991) wird heute alles Siedlungsabwasser im Einzugsgebiet des Zugersees gesammelt und der Kläranlage Schönau zugeführt. Einen weiteren Beitrag zur Verbesserung der Wasserqualität leisteten der vom Kanton Zug verlangte und subventionierte Ausbau der Kapazität für die Lagerung von Hofdünger sowie der Vollzug der Düngervorschriften in der Landwirtschaft (ausgeglichene Nährstoffbilanz, Düngeverbot im Nahbereich der Gewässer).

Seesanieung als Langzeitaufgabe

Trotz der grossen Anstrengungen in den vergangenen Jahrzehnten sind im Zugersee die Auswirkungen der früheren übermässigen Nährstoffbelastung noch immer im Algenwachstum sichtbar. Die Rückführung des Zugersees zum mittelnährstoffreichen Zustand ist ein langwieriger Prozess, bei dem nicht nur

Geduld sondern auch regelmässige Erfolgskontrollen und Standortbestimmungen erforderlich sind. Das Amt für Umweltschutz beauftragte deshalb im Jahr 2010 die Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (EAWAG) mit der Abklärung, ob das von der Begleitkommission Zugersee festgelegte Sanierungsziel für den mittleren Phosphorgehalt im See von maximal 0.04 mg/l bei der heutigen und der zukünftig zu erwartenden Belastungssituation erreicht werden kann. Gemäss der EAWAG-Studie wird sich im Zugersee bis in 30 Jahren bei gleichbleibender Nährstoffbelastung aus dem Einzugsgebiet eine Phosphorkonzentration zwischen 0.04 bis 0.06 mg/l einstellen. Diese grosse Spannbreite in der Prognose entsteht durch die Komplexität der Stofftransporte in Seen und die systembedingten Grenzen der Datenerhebung. Die prognostizierte Abnahme entspricht im günstigen Fall einer Halbierung des heutigen Gehalts im See.

Aufgrund des aktuellen Kenntnisstandes wird auch in 30 Jahren das Ziel der Gewässerschutzverordnung für einen mesotrophen See (maximale mittlere Phosphorkonzentration von 0.03 mg/l) noch nicht erfüllt sein. Die erneute Überprüfung der P-Bilanz in 15 bis 20 Jahren wird Aufschluss geben, ob für die Erreichung des Sanierungsziels zusätzliche Gewässerschutzmassnahmen notwendig sein werden.

Peter Keller