

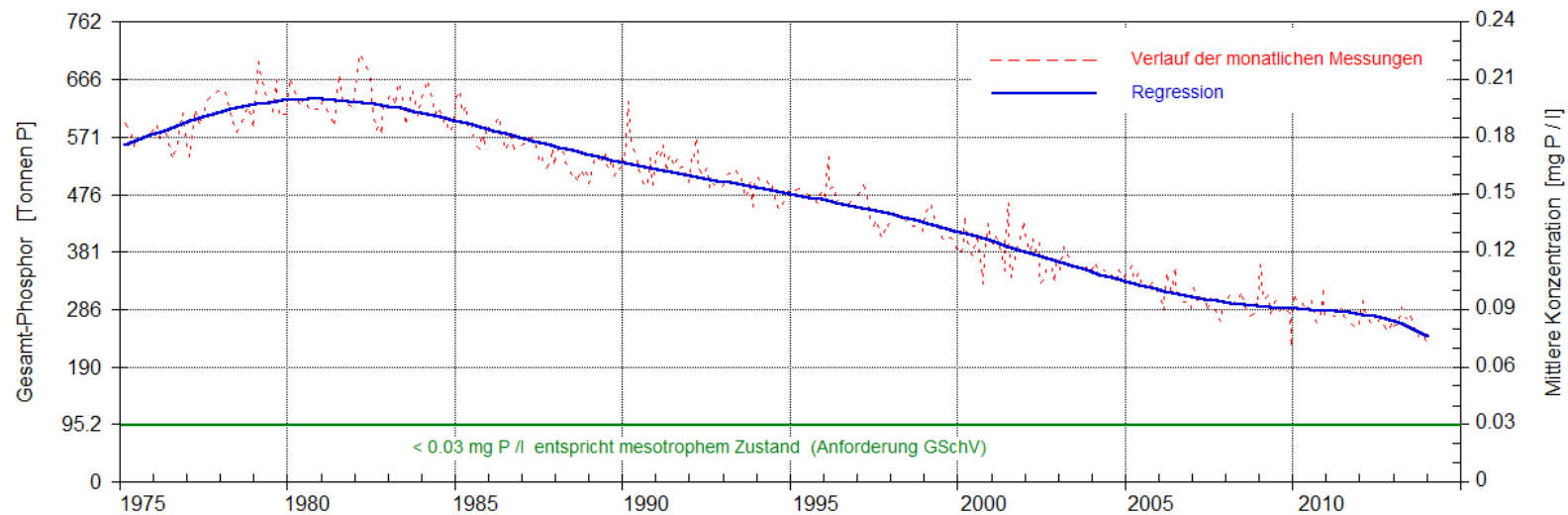
## Factsheet

# Chemisch-physikalische Wasserqualität des Zugersees, Ägerisees und Wilersees seit Beginn der regelmässigen Messung von Tiefenprofilen bis Ende 2013

## a. Zugersee

### Entwicklung des Phosphor-Gehalts im Zugersee von 1975 bis 2013

Der Zugersee mit einem aktuellen mittleren Phosphor-Gehalt von 0.077 mg P/l ist nährstoffreich (eutroph) und deshalb sanierungsbedürftig. Mit der Untersuchung von archivierten Kieselalgenschalen im Sediment konnte gezeigt werden, dass sich der Zugersee bis zu Beginn des 19. Jahrhunderts in einem stabilen, mittel nährstoffreichen (mesotrophen) Zustand befand. Die rekonstruierten Gesamtphosphorwerte lagen damals um 0.02 mg P/l. Durch die Einleitung von ungenügend gereinigtem Siedlungsabwasser und durch Nährstoffeinträge aus der Landwirtschaft erreichte der Phosphorgehalt um 1980 ein Maximum um 0.2 mg/l P. Der Rückgang des Nährstoffgehalts ist im Wesentlichen auf umfassende seeexterne Sanierungsmassnahmen im Bereich der Siedlungsentwässerung zurückzuführen. Er verläuft verglichen mit anderen Seen relativ langsam. Gründe dafür sind die grosse Seetiefe von 200 m, die lange hydraulische Aufenthaltszeit von 15 Jahren, die chemische Dichteschichtung im Tiefenwasser und die räumliche Nähe des grössten Zuflusses Obere Lorze in Zug und des Seeabflusses in Cham.

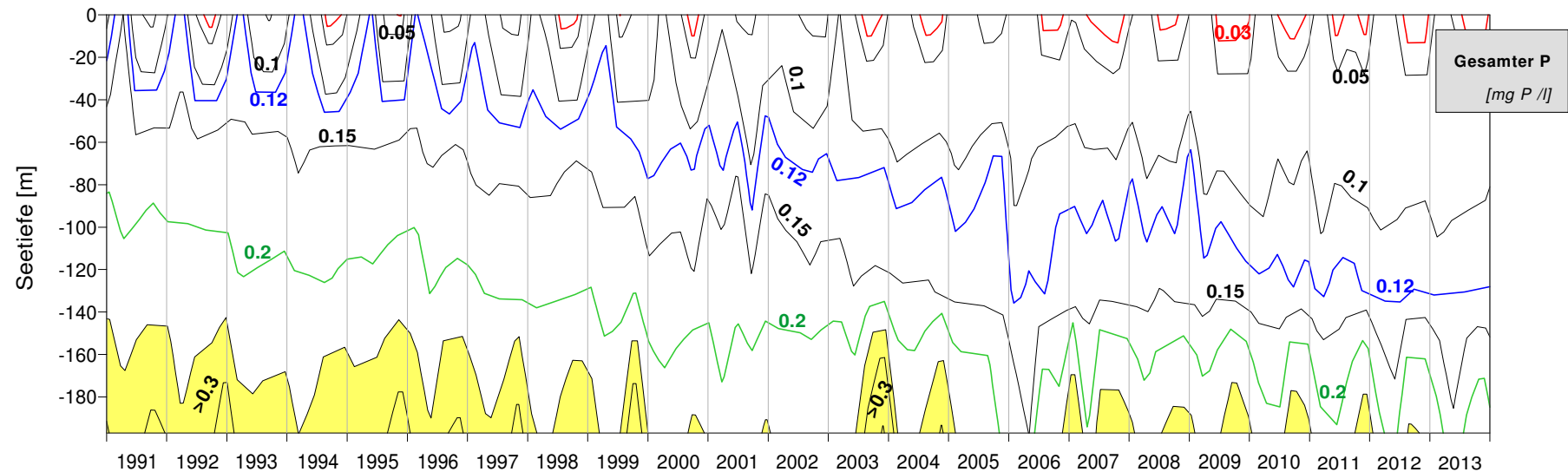


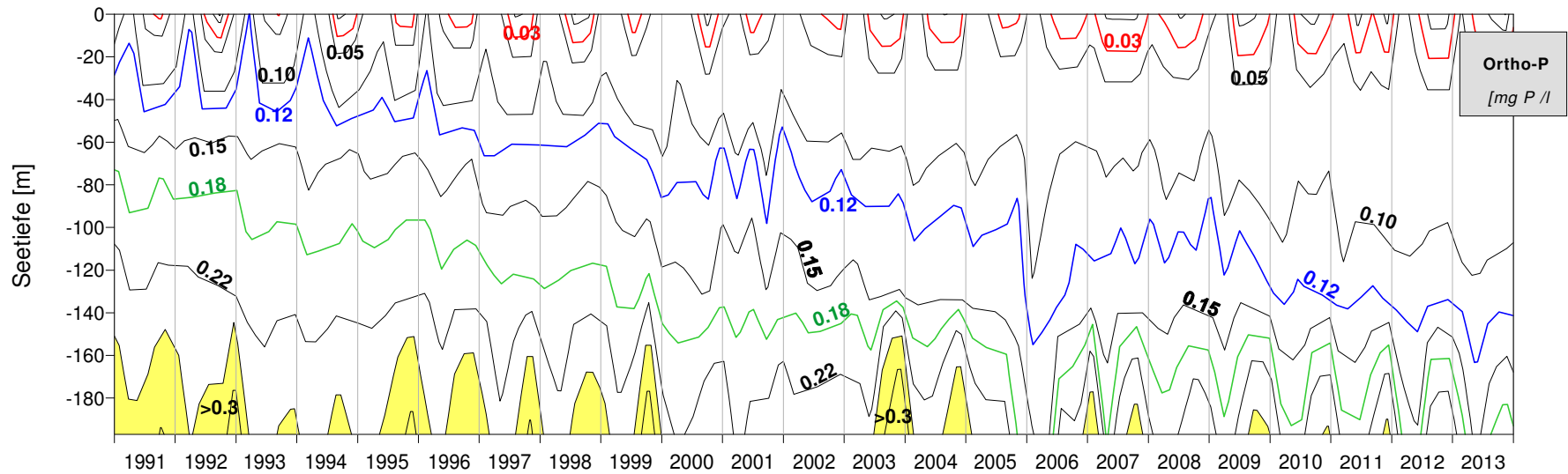
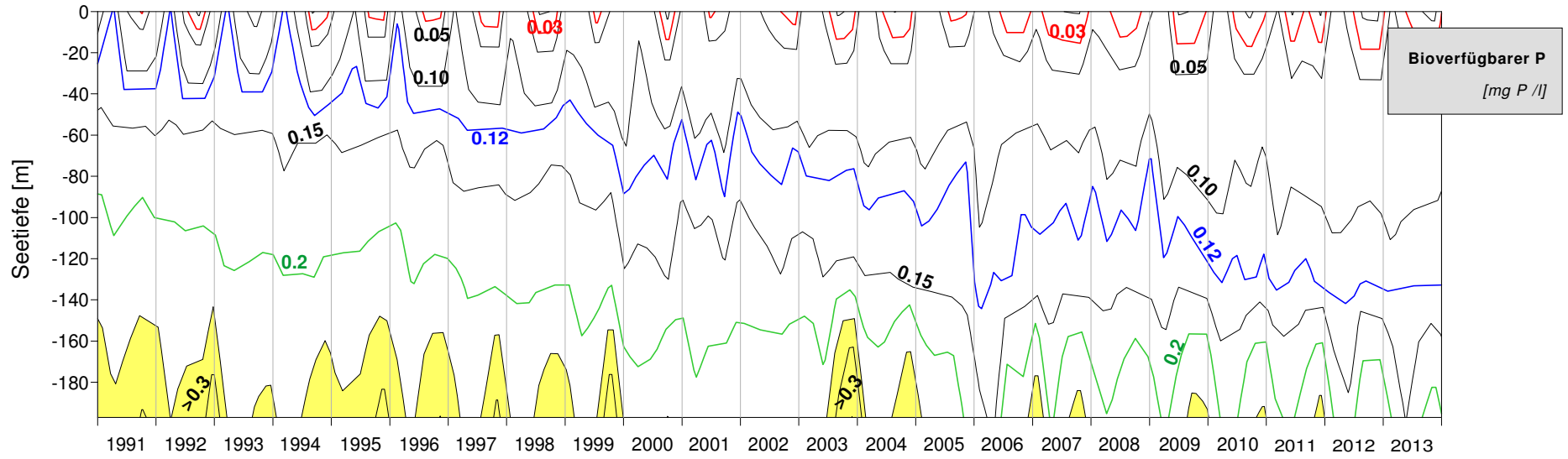
Gemäss der Anforderung in der Gewässerschutzverordnung (GSchV Anh.2 Ziff.13 Abs. 2) darf der Nährstoffgehalt des Seewassers höchstens eine mittlere Produktion von Biomasse zulassen. Der mittelnährstoffreiche (mesotrophe) Zustand ist bei einem Gesamtphosphorgehalt von  $\leq 0.03$  mg P/l erreicht. Gemäss dem Gutachten der EAWAG aus dem Jahr 2010 wird dies im Zugersee bis zum Jahr 2040 noch nicht der Fall sein.

### Tiefenabhängige und zeitliche Verteilung der Stoffkonzentrationen im Zugersee (Isoplethe = Linie gleicher Konzentration)

#### Phosphor-Verteilung (Gesamtphosphor, Bioverfügbare Phosphor, Orthophosphat)

Aufgrund der grossen Seetiefe und der hohen Nährstoffgehalte im Tiefenwasser besteht im Zugersee eine chemische Dichteschichtung. Der Verlauf der Phosphor-Isoplethen zeigt deutlich, dass im Zugersee keine vollständige Mischung stattfindet (Meromixis). Über den Zeitverlauf ist der Rückgang der Phosphorbelastung im Abtauchen der P-Isoplethen deutlich erkennbar. So lag die 0.2 mg P/l - Grenze für Gesamtphosphor im Jahr 1991 in rund 90 m und im Jahr 2013 in rund 180 m Seetiefe. Auch die P-Konzentration in der Oberflächenschicht hat seit den 1990er-Jahren deutlich abgenommen.



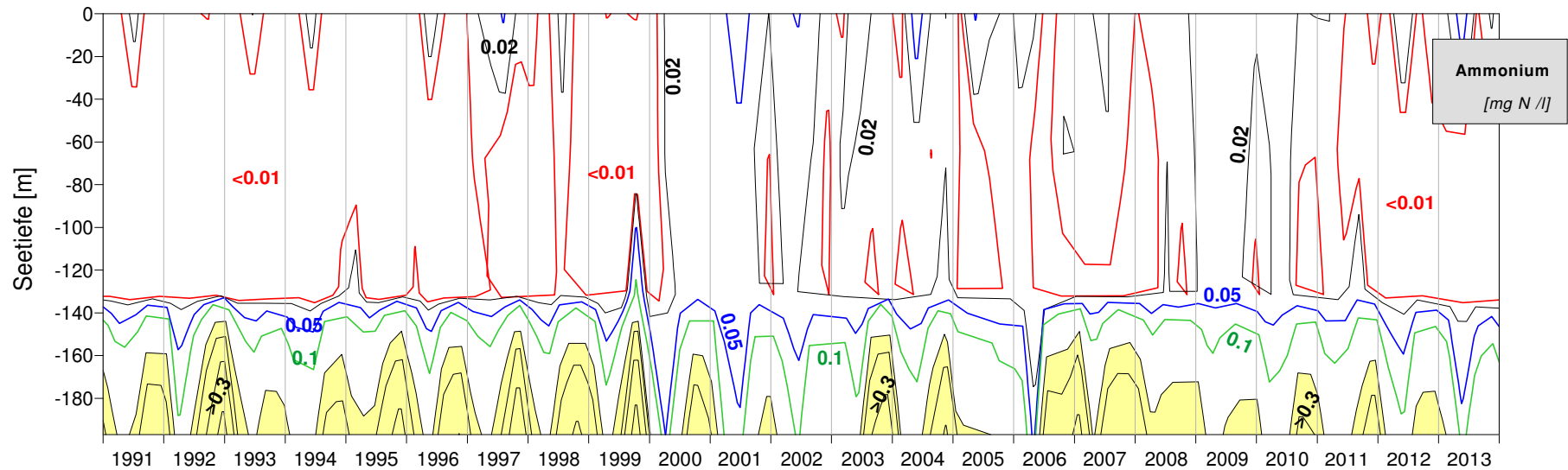


## Ammonium- und Nitrat - Verteilung

Ob Stickstoff im Seewasser als Ammonium oder Nitrat vorliegt, hängt von der Sauerstoffkonzentration ab: unter anoxischen Bedingungen und bei sehr tiefen Sauerstoffkonzentrationen liegt vorwiegend Ammonium vor. Seit den 1990er-Jahren zeigen sich im Zugersee insgesamt stabile Verhältnisse in der Verteilung von Ammonium und Nitrat.

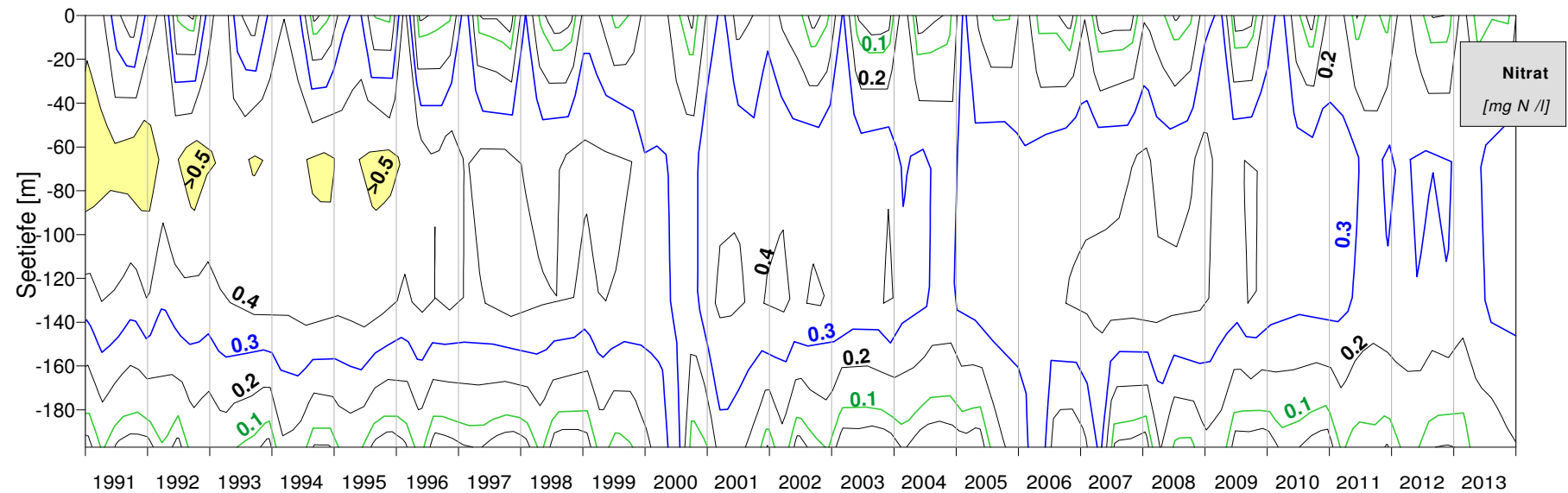
### Ammonium:

Die Ammonium-Konzentration nimmt ab einer Tiefe von ca. 130 m kontinuierlich bis zum Seegrund zu und dokumentiert die chemische Dichteschichtung im Tiefenwasser. Die Teilzirkulation des Sees im Winterhalbjahr bewirkt jeweils eine kurzfristige Abnahme der hohen Ammonium-Konzentrationen am Seegrund.



**Nitrat:**

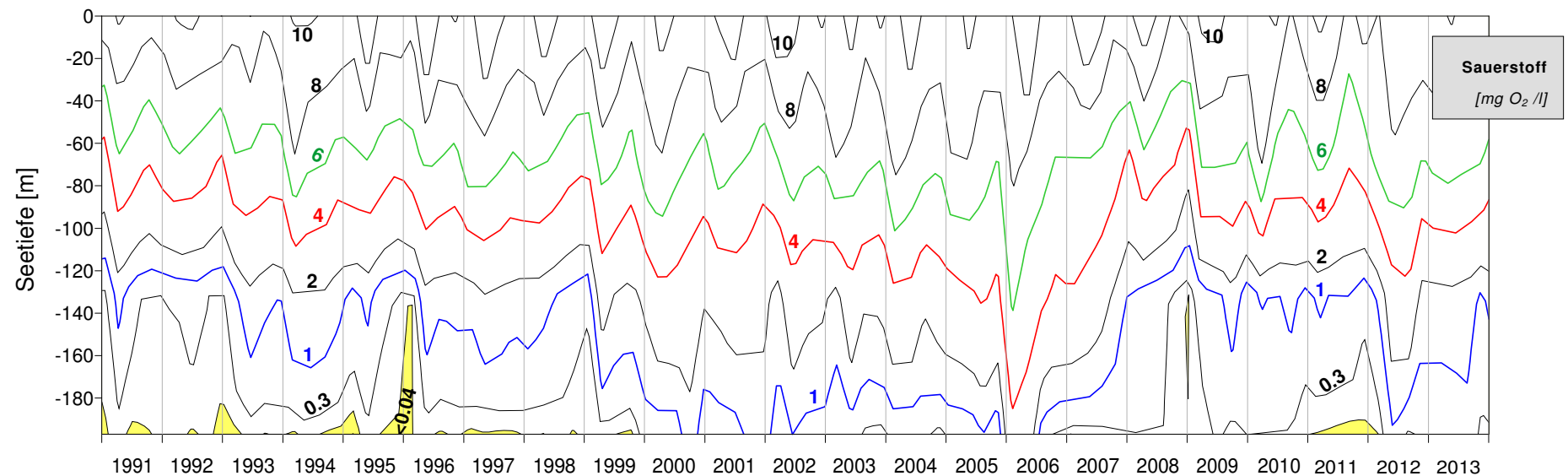
Die maximalen Nitrat-Konzentrationen liegen in Tiefen zwischen 60 m bis 130 m; in grösseren Tiefen wird Nitrat zu Ammonium reduziert, in der oberflächennahen Schicht erfolgt Nitrat-Zehrung durch die Primärproduktion. Auffallend sind markante kurzfristige 'Störungen' dieses Bildes bei einer verbesserten Sauerstoffversorgung der Seetiefe als Folge kalter Winter mit Stürmen. So fand im Frühling 2000 als Folge des Orkans Lothar (26.12.1999) eine Sauerstoffanreicherung bis zum Seegrund statt, wodurch über die ganze Seetiefe Ammonium zu Nitrat oxidiert wurde. Ähnliches fand im Winterhalbjahr 2005/2006 statt.



## Sauerstoff-Verteilung

Gemäss der Anforderung in der Gewässerschutzverordnung (GSchV Anh.2 Ziff.13 Abs. 3) darf die Sauerstoffkonzentration im Seewasser - unter Vorbehalt besonderer natürlicher Verhältnisse - zu keiner Zeit und in keiner Tiefe weniger als 4 mg O<sub>2</sub>/l betragen. Im Zugersee ist dies nicht erfüllt; die 4 mg O<sub>2</sub>/l-Isoplethe liegt mit Ausnahme von Einzelereignissen zwischen 80 m und 120 m Tiefe. Obwohl heute beim Zugersee im Winter eine vollständige Zirkulation bis in die grössten Tiefen (noch) nicht stattfindet, führt die Mischung im Winter zu einer Sauerstoffanreicherung. Die ist in der jahreszeitlichen Schwankung der Sauerstoff-Isoplethen ersichtlich.

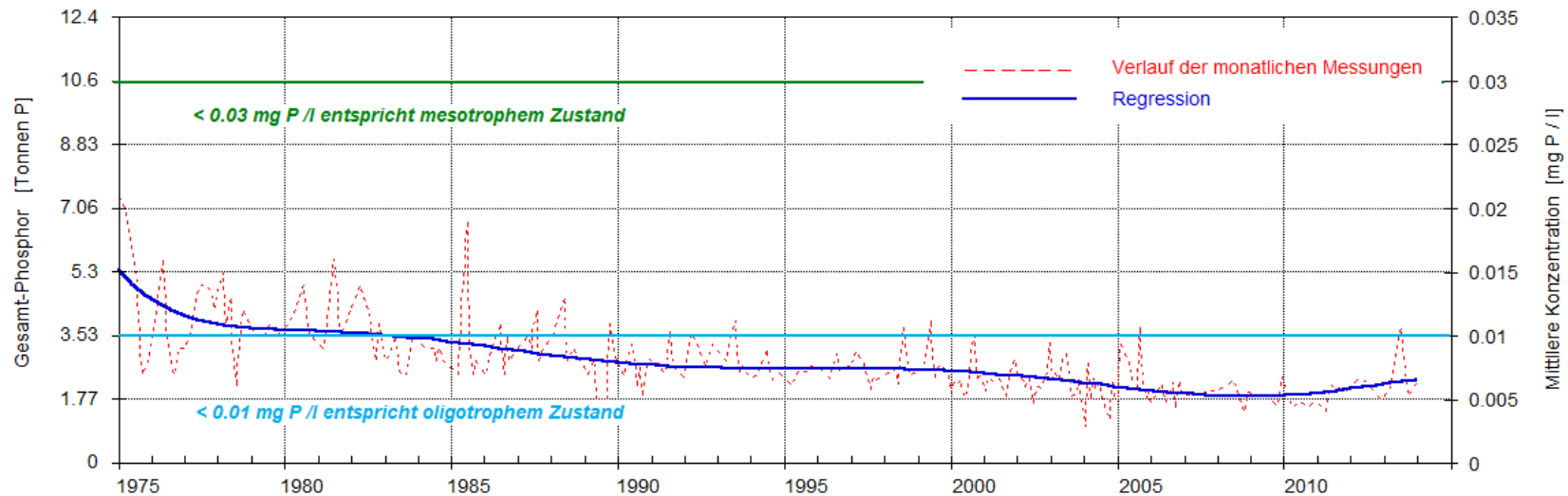
Das Aufbrechen der chemischen Dichteschichtung durch die in den See eingetragene kinetische Energie des Orkans Lothar (26.12.1999) führte dazu, dass sich im Jahr 2000 und 2001 die Sauerstoffsituation im Tiefwasser verbesserte (in maximaler Seetiefe 1 mg O<sub>2</sub>/l). Im Winter 2005/2006 fand wiederum eine stärkere Mischung mit Sauerstoffanreicherung bis zur maximalen Seetiefe statt.



## b. Ägerisee

### Entwicklung des Phosphor-Gehalts im Ägerisee von 1975 bis 2013

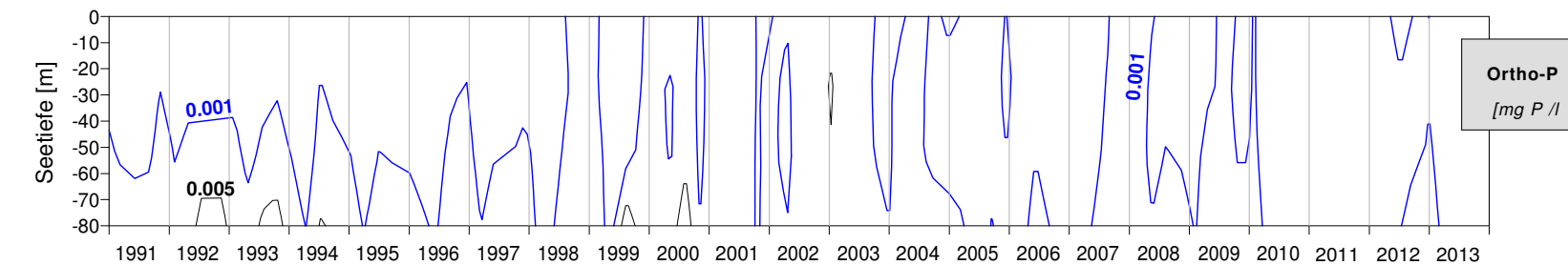
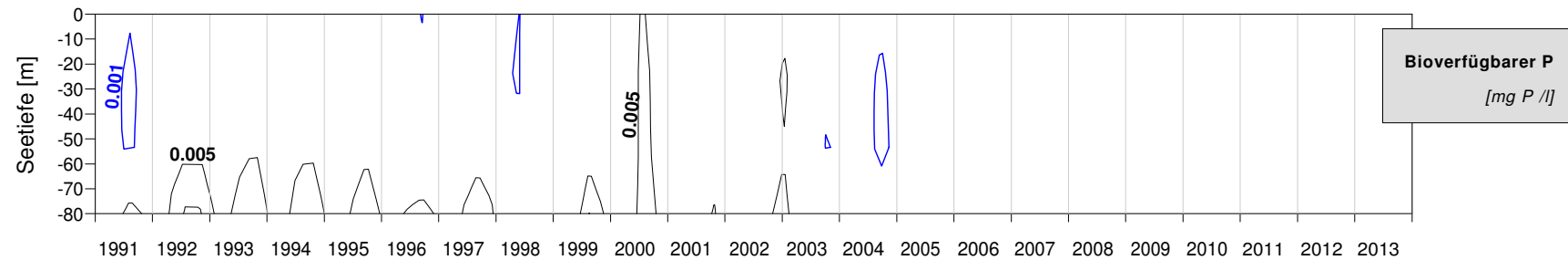
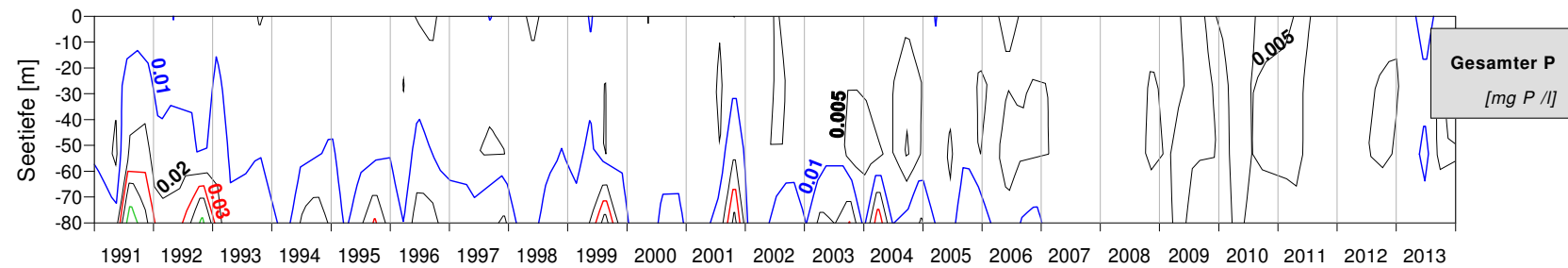
Der Ägerisee weist heute einen mittleren Phosphor-Gehalt von deutlich weniger als 0.01 mg P/l auf und ist damit ein nährstoffarmes (oligotrophes) Gewässer. Der Grund dafür sind die geringen Nährstofffrachten aus dem walddreichen und landwirtschaftlich vorwiegend extensiv genutzten Einzugsgebiet. Auch der Ägerisee erfuhr in der Vergangenheit eine Nährstoffanreicherung aus der Siedlungsentwässerung. So lag der Phosphor-Gehalt zu Beginn der regelmässigen chemischen Messungen im Jahre 1975 noch bei knapp 8 Tonnen, was einer mittleren Phosphorkonzentration von etwas mehr als 0.02 mg/l P entspricht. Seit Oberägeri, Alosen und die weiteren Siedlungen entlang des Sees im Jahre 1972 an die Kanalisation angeschlossen wurden, gelangt praktisch kein häusliches Abwasser mehr in den Ägerisee. Als Folge davon hat sich der Phosphor-Gehalt seit 1975 mehr als halbiert und liegt heute bei rund 0.006 mg P/l. Aufgrund der niedrigen biologischen Produktion präsentiert sich der Ägerisee als klares und algenarmes Gewässer.



## Tiefenabhängige und zeitliche Verteilung der Stoffkonzentrationen im Ägerisee (Isoplethe = Linie gleicher Konzentration)

### Phosphor-Verteilung (Gesamtphosphor, Bioverfügbare Phosphor, Orthophosphat)

Der Ägerisee zeichnet sich durch einen sehr niedrigen Phosphorgehalt in allen Seetiefen aus. Selbst beim Gesamtphosphor kommen Werte über 0.01 mg P/l heute praktisch nicht mehr vor. Der oligotrophe See befindet sich nährstoffmässig in einem Gleichgewichtszustand.



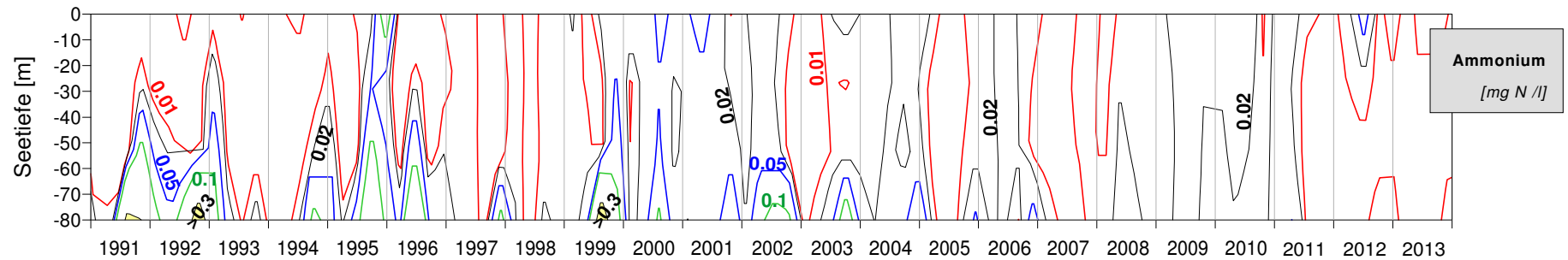


## Ammonium- und Nitrat - Verteilung

Ob Stickstoff im Seewasser als Ammonium oder Nitrat vorliegt, hängt von der Sauerstoffkonzentration ab: unter oxischen Bedingungen liegt Stickstoff vorwiegend als Nitrat vor. Im Ägerisee dominiert Nitrat auf Grund der weitgehend ganzjährig genügenden Sauerstoffversorgung.

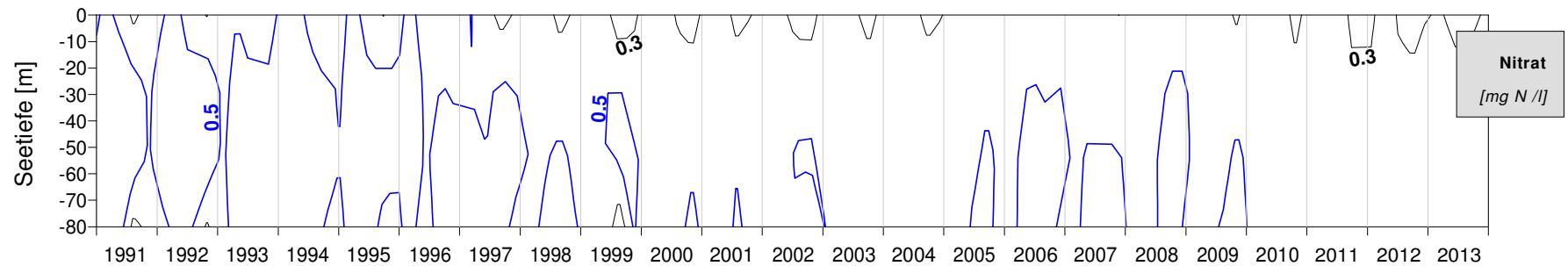
Ammonium:

Bis zu Beginn der 2000er-Jahre wurden im Ägerisee in der grössten Seetiefe im Sommer zweizeitweise leicht erhöhte Ammoniumkonzentrationen ( $> 0.1$  mg N/l) gemessen. Dieser Befund korreliert mit der Sauerstoffabnahme im selben Zeitraum. Ab 2004 tritt dies nicht mehr auf.



Nitrat:

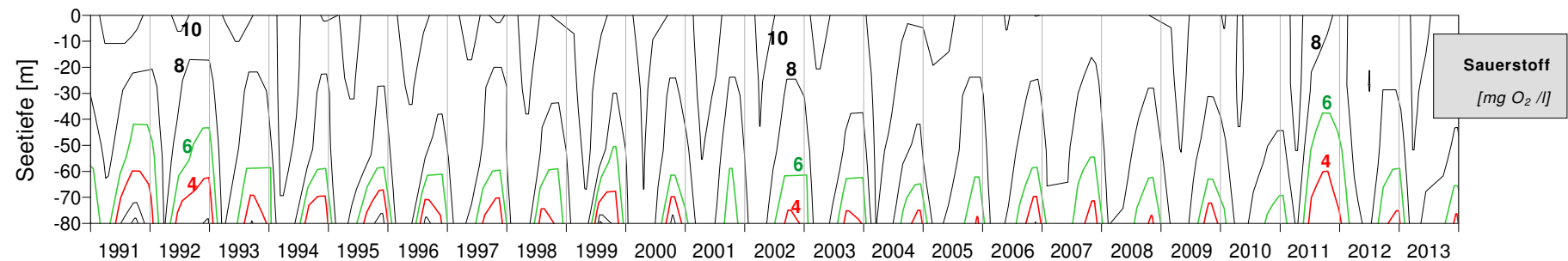
Im Ägerisee liegen Nitratkonzentrationen zwischen 0.3 bis 0.5 mg N/l vor.



## Sauerstoff-Verteilung

Gemäss der Anforderung in der Gewässerschutzverordnung (GSchV Anh.2 Ziff.13 Abs. 3) darf die Sauerstoffkonzentration im Seewasser - unter Vorbehalt besonderer natürlicher Verhältnisse - zu keiner Zeit und in keiner Tiefe weniger als 4 mg O<sub>2</sub>/l betragen. Im Ägerisee ist dies im Sommer in den untersten 20 m Seetiefe natürlicherweise nicht immer erfüllt. Im Sommer reichert sich im Tiefenwasser des nährstoffarmen Sees bemerkenswerterweise auch etwas Methan an, das zur Sauerstoffzehrung beiträgt. Die Methanproduktion erfolgt durch die Mineralisierung von organischem Material in den Deltaschottern des Hüribachs und Dorfbachs; diskutiert aber nicht nachgewiesen ist ein geogener Anteil des Auftretens von Methan im Ägerisee.

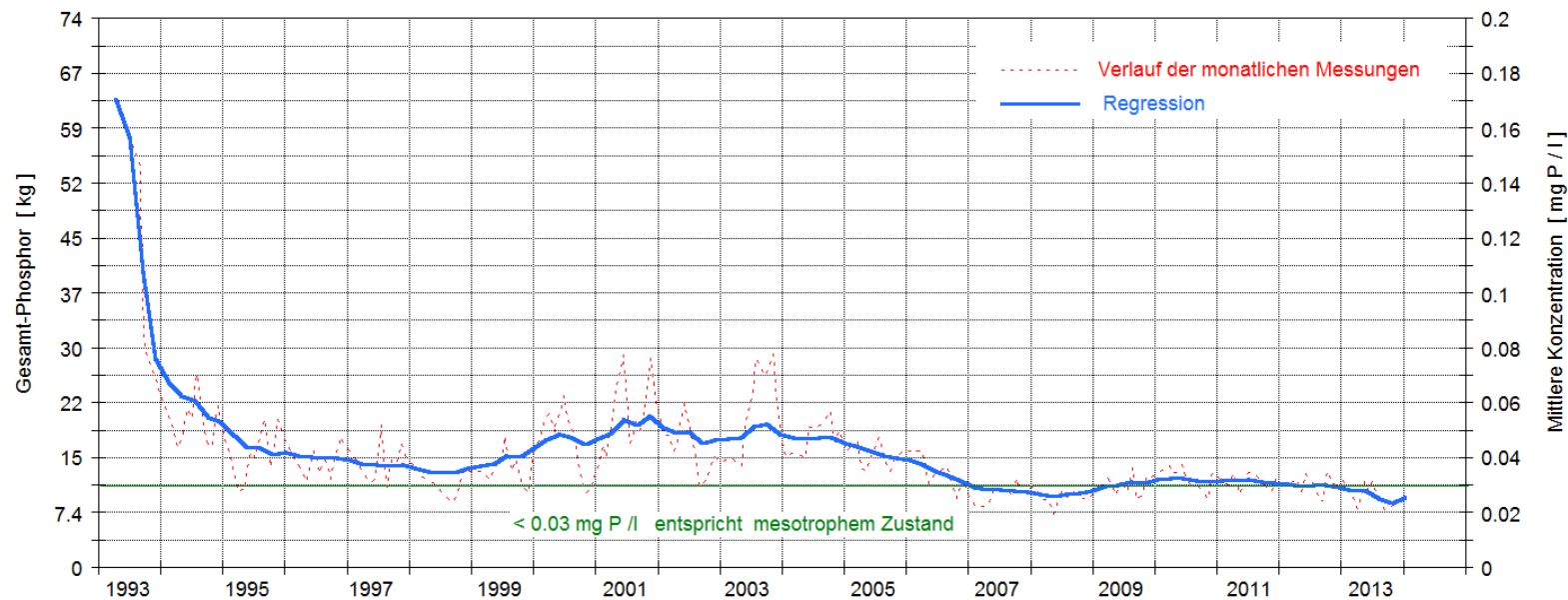
Auf Grund seiner Höhenlage (Seespiegel 724 m ü.M.) bildet sich im Winter auf dem Ägerisee - in früheren Jahrzehnten häufiger als heute - eine Eisschicht, welche die Zirkulation des Wasserkörpers in den Wintermonaten verhindert. Eine kurze Eisbedeckung (<10 Tage) beeinflusst die Sauerstoffkonzentration im Frühjahr nur geringfügig, während eine längere Eisbedeckung (>2 Monate) die Sauerstoffanreicherung im Seewasser beträchtlich vermindert.



## c. Wilersee

### Entwicklung des Phosphor-Gehalts im Wilersee von 1993 bis 2013

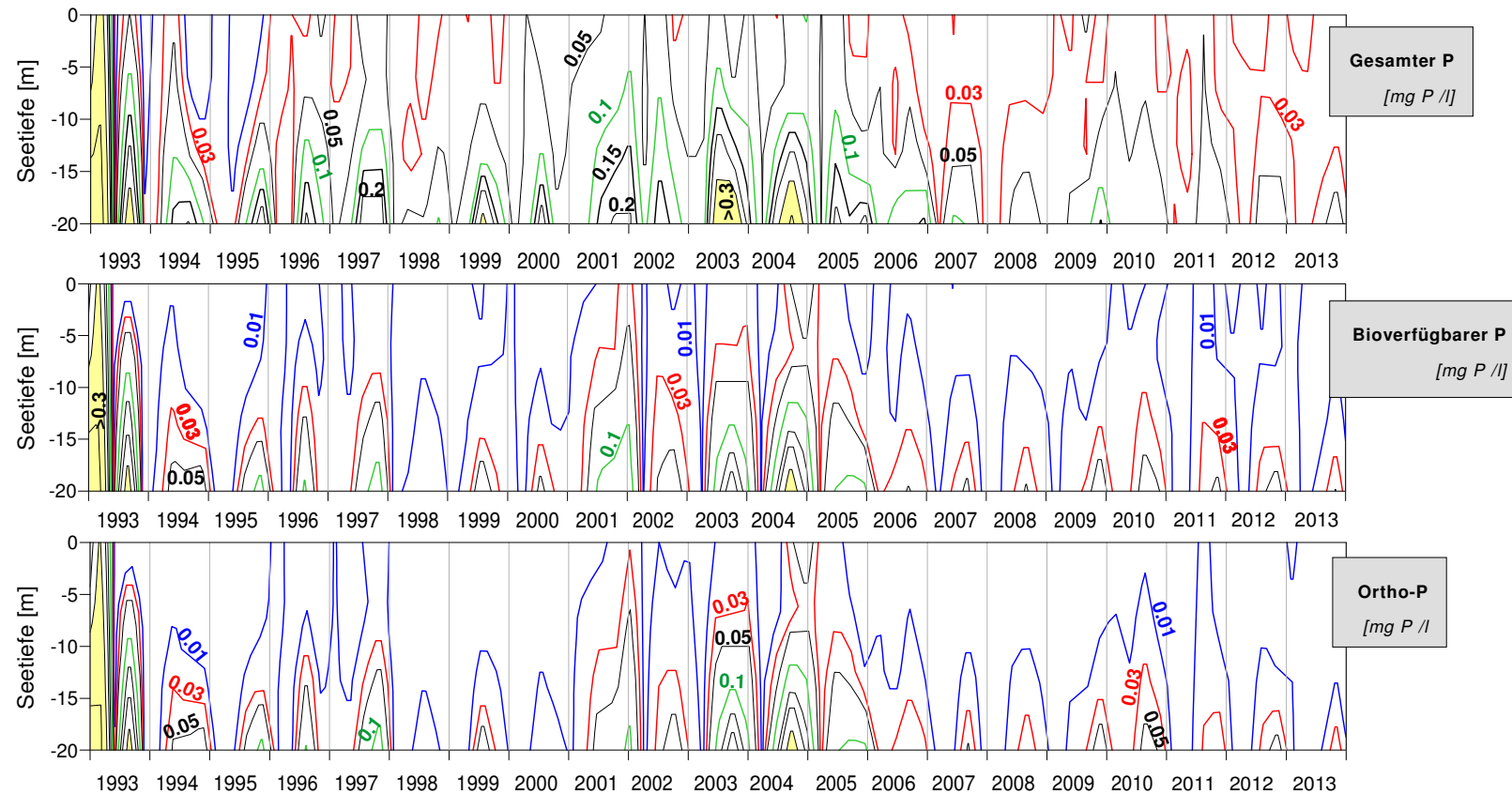
Der Wilersee ist der kleinste See unter den drei Zuger Seen. Sein Einzugsgebiet wird weitgehend landwirtschaftlich genutzt und ist im Verhältnis zur Seeoberfläche relativ gross. Die flächenwirksamen Tätigkeiten im Einzugsgebiet des Wilersees (z.B. Düngung) müssen daher in einem verträglichen Ausmass und in Abstimmung mit dem auf Nährstoffbelastungen sehr rasch reagierenden See erfolgen. Der Phosphor-Gehalt im Wilersee ist in den letzten 20 Jahren als Folge von seeinternen und seeexternen Massnahmen deutlich zurückgegangen. So sank dieser von 63 kg bzw. 0.17 mg P/l im Jahr 1993 auf heute rund 10 kg bzw. 0.026 mg P/l. Auch die früher ausgeprägten kurzfristigen Schwankungen des Phosphor-Gehalts haben deutlich abgenommen. Seit 2007 liegen im Wilersee wieder praktisch mesotrophe (=mittelnährstoffreiche) Verhältnisse vor.



## Tiefenabhängige und zeitliche Verteilung der Stoffkonzentrationen im Wilersee (Isoplethe = Linie gleicher Konzentration)

### Phosphor-Verteilung (Gesamtphosphor, Bioverfügbare Phosphor, Orthophosphat)

In den Sedimenten des Wilersees lagern auf Grund der früheren hohen Nährstoffbelastung durch die landwirtschaftliche Nutzung im Einzugsgebiet und der einstigen Abwassereinleitung einer Käserei relativ hohe Nährstoffmengen, die im Sommer bei anoxischen Verhältnissen ins Tiefenwasser rückgelöst werden. Seit 1963 wird mit einer Heberleitung belastetes Tiefenwasser abgeleitet. Im Verlauf der Phosphor-Isoplethen sind die Anreicherung ab Fröhsommer durch die Rücklösung aus dem Sediment und die Abnahme im Herbst durch den Betrieb der Tiefenwasserableitung deutlich erkennbar.

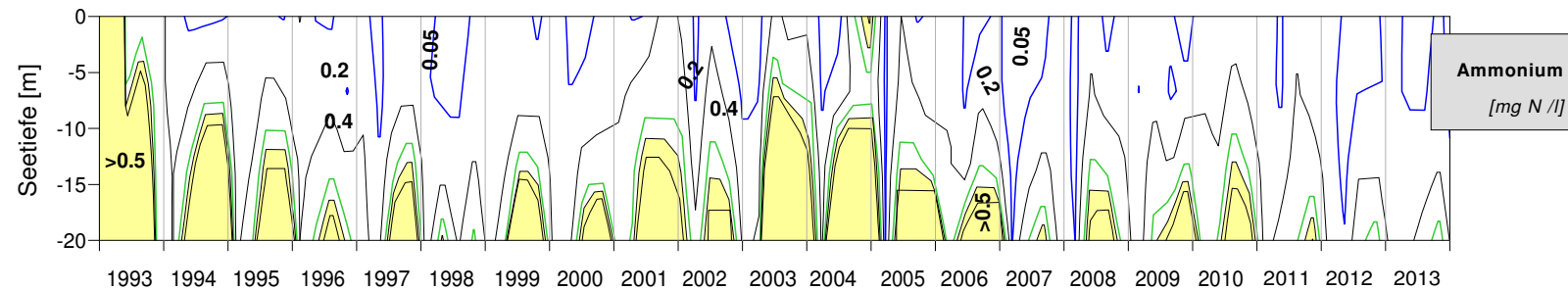


## Ammonium- und Nitrat - Verteilung

Ob Stickstoff im Seewasser als Ammonium oder Nitrat vorliegt, hängt von der Sauerstoffkonzentration ab: unter oxidischen Bedingungen liegt Stickstoff vorwiegend als Nitrat vor, unter anoxischen Bedingungen und bei sehr tiefen Sauerstoffkonzentrationen liegt vorwiegend Ammonium vor. Im Wilersee zeigen die Nitrat- und Ammoniumkonzentrationen einen ausgeprägten Jahresverlauf. Die Zirkulationsunterstützung des Seewassers mit einer seeinternen Druckluftbelüftung führt im Winterhalbjahr zur Sauerstoffanreicherung und raschen Umwandlung von Ammonium zu Nitrat. Im Sommerhalbjahr wandelt sich bei Sauerstoffmangel Nitrat wieder zu Ammonium um. Von 1993 bis heute hat der gesamte Stickstoffinhalt des Wilersees als Folge der Sanierungsmassnahmen um die Hälfte abgenommen.

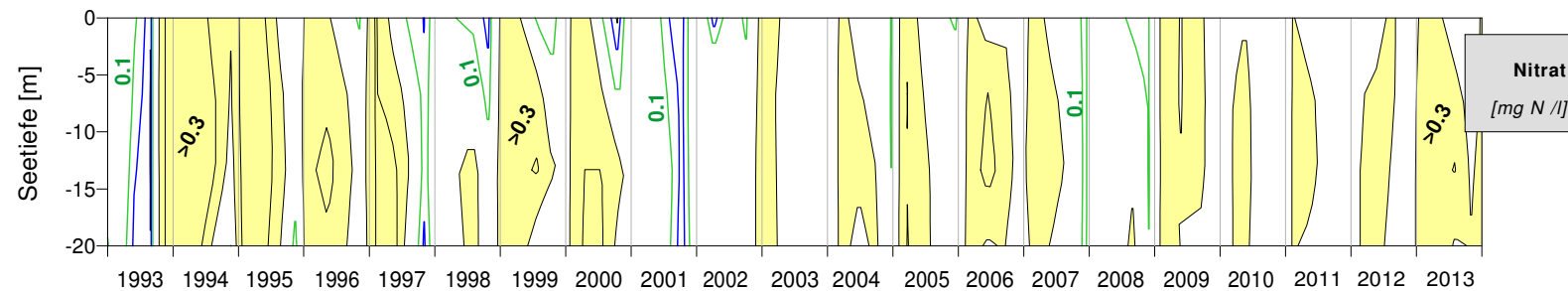
Ammonium:

Jeweils im Sommerhalbjahr steigen die Ammoniumkonzentrationen im Tiefenwasser als Folge der Mineralisierung von organischem Material deutlich an.



Nitrat:

Während der winterlichen Zirkulation des Seewassers liegt der gelöste Stickstoff hauptsächlich als Nitrat vor.



## Sauerstoff-Verteilung

Gemäss der Anforderung in der Gewässerschutzverordnung (GSchV Anh.2 Ziff.13 Abs. 3) darf die Sauerstoffkonzentration im Seewasser - unter Vorbehalt besonderer natürlicher Verhältnisse - zu keiner Zeit und in keiner Tiefe weniger als 4 mg O<sub>2</sub>/l betragen. Im Wilersee ist dies im Sommerhalbjahr nicht erfüllt. Aufgrund der grossen Sedimentoberfläche im Verhältnis zum Seevolumen und der grossen Menge von im Sediment vorhandenem organischem Material wird der im Tiefenwasser gelöste Sauerstoff im Frühling rasch aufgezehrt.

Zur Förderung der Wasserzirkulation im Winterhalbjahr wird an der tiefsten Stelle des Wilersees seit 1993 Druckluft eingeleitet. Dadurch bleibt im Winter ein Teil der Seeoberfläche eisfrei und der Wasserkörper wird durch die Zirkulation mit Sauerstoff aus der Atmosphäre angereichert. Das Tiefenwasser verfügt so für den Sommer über einen maximalen Sauerstoffvorrat, der die Bedingungen für die sauerstoffbedürftigen aquatischen Lebewesen verbessert.

