

Interpretation der AWEL-Daten des Pfäffikersees 2010

Heinrich Bühler

Temperatur:

Die Daten haben in probater Manier¹ eine Lücke bis Mitte März. Die wirklichen Temperaturen lagen mit Sicherheit tiefer als 3 °C. Die Temperatur grösster Dichte ist beim Pfäffikersee 3.837°C. Die 5°C Isoplethe zeigte im April eine interne Welle (Seiche) an. Dies ist die einzig vernünftige Erklärung des Sinkens der Temperatur in 25 m Tiefe vom April bis zum Mai, resp. des zu grossen Anstiegs im April. Der Sommer 2010 war relativ kühl.

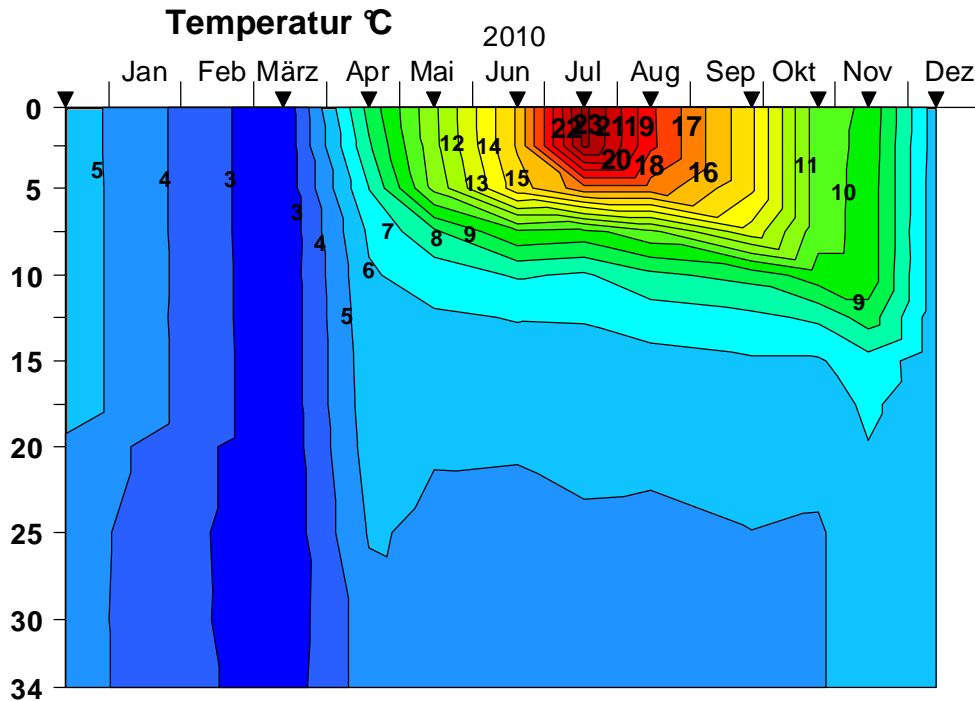


Abb. 1: Temperatur °C

Sauerstoff:

Die Erholung des Sauerstoffgehalts lief wahrscheinlich schneller ab, als durch die Isoplethen dargestellt. Im März wurde 84% Sättigung erreicht. Von April bis September waren an der Oberfläche 100% Sättigung überschritten.

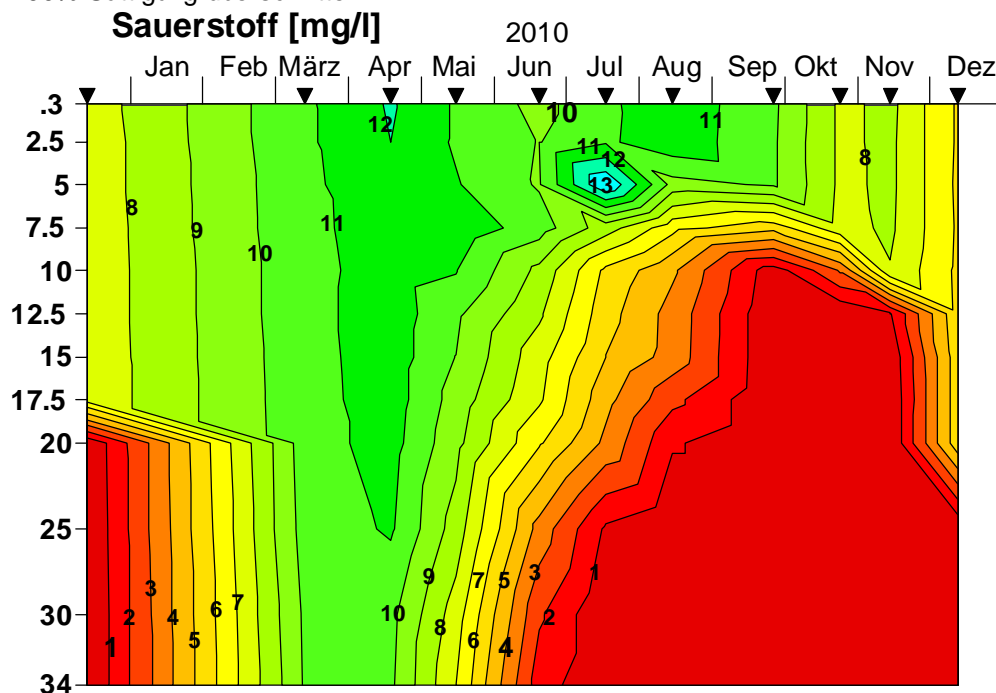


Abb. 2: Sauerstoff

¹ im Winter lassen sich im Pfäffikersee nur dann Proben nehmen, wenn entweder die Eisdecke trägt, oder kein Eis vorhanden ist.

Der Wert von über 13 mgO₂/l im Juli in 5 m Tiefe (156% Sättigung²) ist auf Algen zurückzuführen. Schon Mitte Juli war der Sauerstoff in der grössten Tiefe erschöpft.

Der Sauerstoff kann nur zusammen mit den sauerstoffzehrenden Substanzen genauer diskutiert werden; dazu gehören Schwefelwasserstoff, Methan, Nitrit und Ammonium. All diese Substanzen werden von Bakterien gefressen und brauchen zur Oxidation Sauerstoff. Der sogenannte Restsauerstoff ist der Sauerstoff-Gehalt nachdem die oben erwähnten Substanzen oxydiert sind. Dabei ergeben sich rechnerisch Werte, die weit unter Null liegen. Ende 2009 waren es weniger als -30 mg O₂ pro Liter in der grössten Tiefe. Das heisst, dass dieses Wasser bis zum April mehr als 40 mg Sauerstoff aufgenommen haben muss. Die Darstellung der Isoplethen zeigt, dass dieser theoretische Wert auch praktisch Sinn macht. Nun sind die Plateaus in der Darstellung des Sauerstoffs durch tiefe Löcher ersetzt, die kontinuierlich weiter gehen.

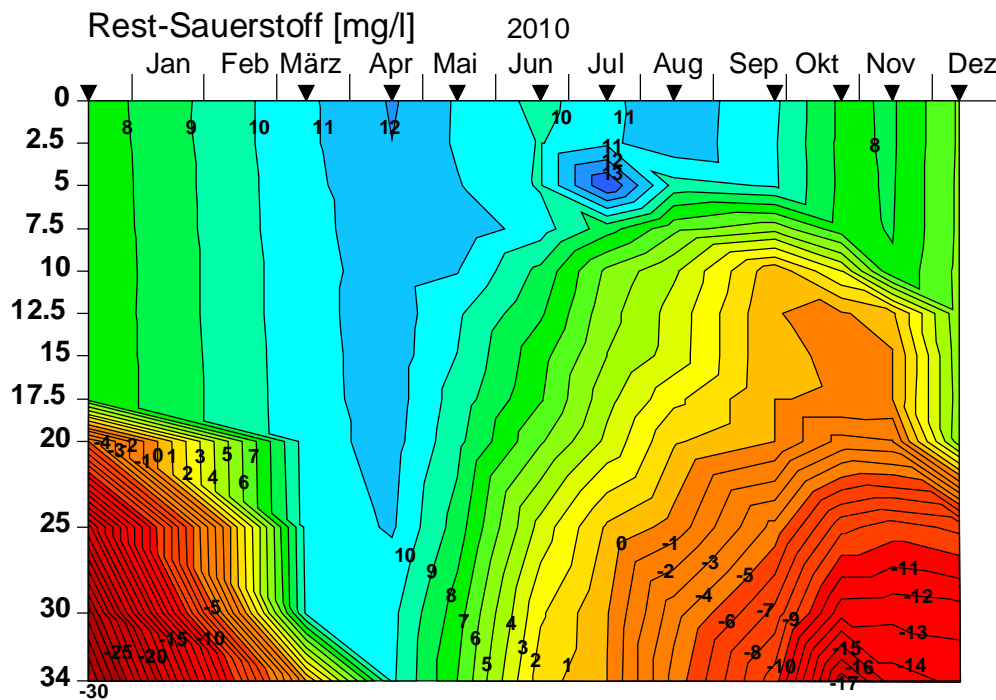


Abb. 3: Rest-Sauerstoff

Der Lebensraum der Felchen wird im Sommer eingeschränkt. Von oben ist es die Temperatur von 20°. Von unten ist es der fehlende Sauerstoff. Felchen haben mit weniger als 4 mg O₂/l grosse Mühe³. Weil der Sommer recht kühl war, war die Einschränkung durch die Temperatur nur etwa ein Monat lang; und der Sauerstoffschwund aus der Tiefe erstreckte sich erst nach dem August auf weniger als 10 m Tiefe. Die Bedingungen waren also recht gut.

² Die Sättigung wird für die See-Oberfläche berechnet, da nur diese im Austausch mit der Atmosphäre steht.

³ Im Luganersee sind Felchen bekannt, welche unterhalb einer dicken sauerstofflosen Schicht schwammen. Es wurde vermutet, dass diese Population ein Teil der Oberflächenpopulation war. Die Fische müssen irgendwie eine Möglichkeit gefunden haben zwischen der oberen und unteren Schicht hin und her zu schwimmen. Auch die Temperaturlimite ist nicht in Stein gemeisselt: Bachforellen haben ähnliche Ansprüche an die Temperatur. Aber wenn sich schmackhaftes Futter an Stellen befindet, wo die Temperaturen von höher als 25°C sind, schnappen sie sich diese Beute (Kühlwasserfahne von Beznau) ohne Mühe. Im Greifensee starben grosse Felchen vor den kleinen in zu warmem Wasser. Es wurde vermutet, dass dies mit dem Abtransport der Wärme zusammenhängt.

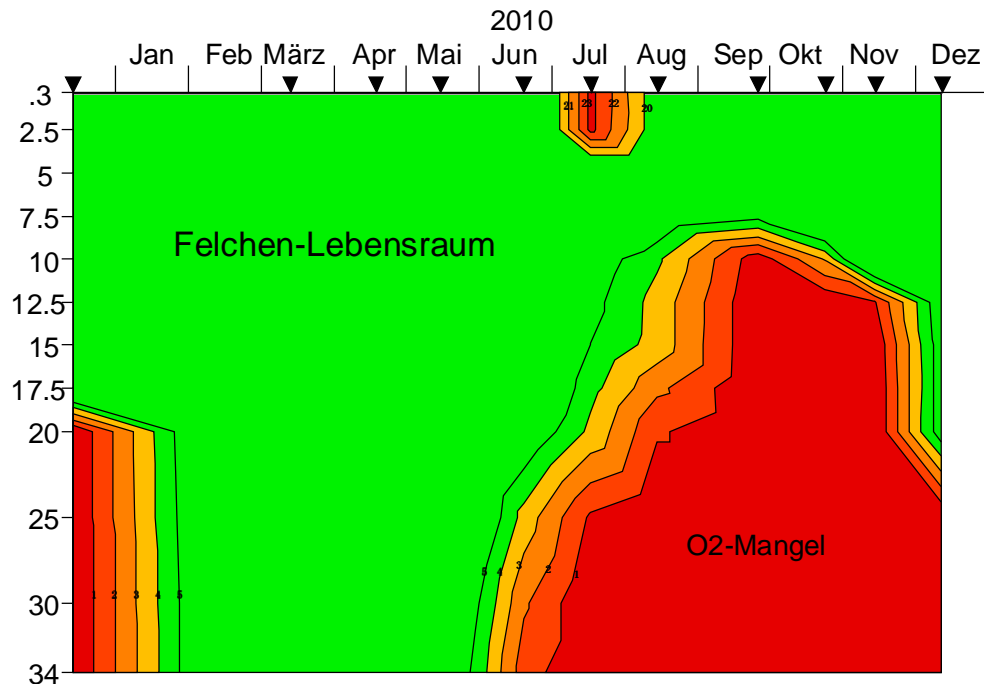


Abb. 4: Lebensraum für Felchen 2010

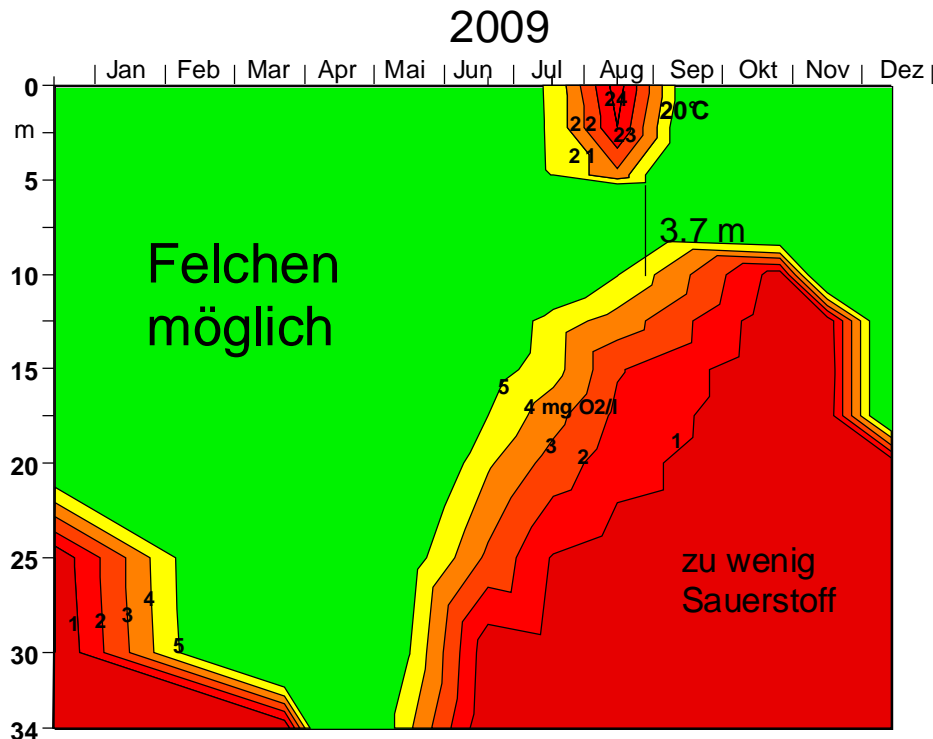


Abb. 5: Lebensraum für Felchen 2009

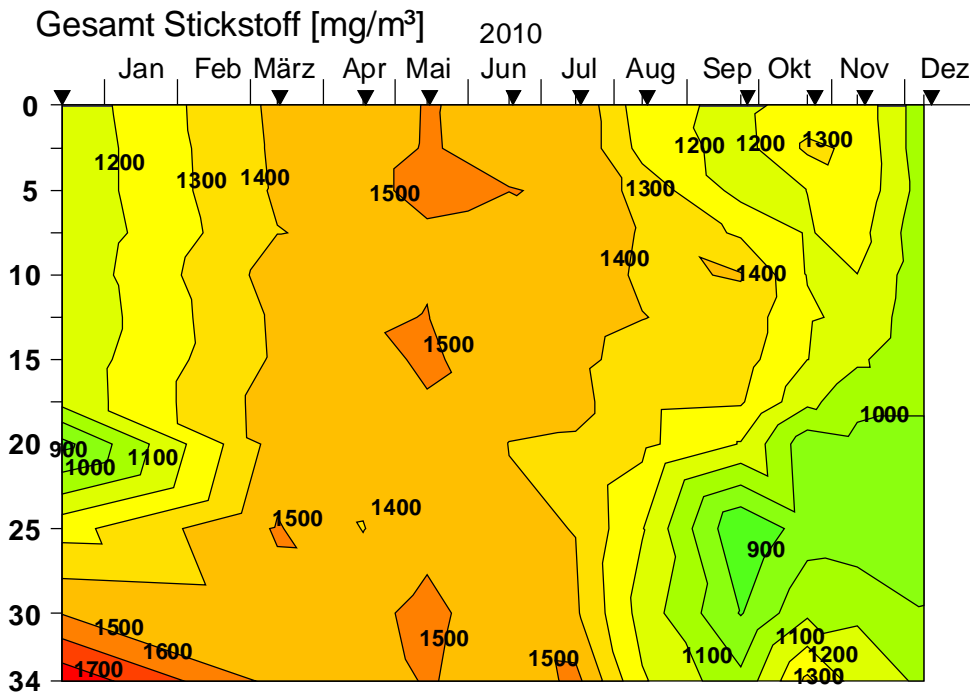


Abb. 6: Gesamt-Stickstoff

Der Gesamtstickstoff ist die Summe der chemisch gebundenen Stickstoff-Komponenten ohne Gase. Die Löcher in 20 m Tiefe und mehr, sind auf Denitrifikation zurückzuführen. Die Denitrifikations-Leistung des Pfäffikersees war beachtlich. Sie war immerhin 32%, d.h. 28 t von Mai bis Dezember. Dabei entsteht neben Stickstoff (N_2) auch Lachgas (N_2O), welche nicht analysiert wurden. Der normale Gehalt an molekularem Stickstoff beträgt bei 10°C zirka 17 400 mg/m^3 , also ein Mehrfaches der Werte der Isoleten in Abb. 6.. Aus den folgenden 3 Darstellungen wird ersichtlich, welche Stickstoff-Komponente wann wieviel zur Summe beigetragen hat.

In den anoxischen Regionen ist es das Ammonium; in den oxischen das Nitrat und das Nitrit liegt dazwischen. Ammonium wird auch durch dichte Algenmassen in Gegenwart von Sauerstoff freigesetzt. Aus dem Fehlen eines Ammonium-Maximums in 2.5 m Tiefe darf daher geschlossen werden, dass sich im Lauf des Jahres nie übermässige Algenkonzentrationen im See befunden haben.

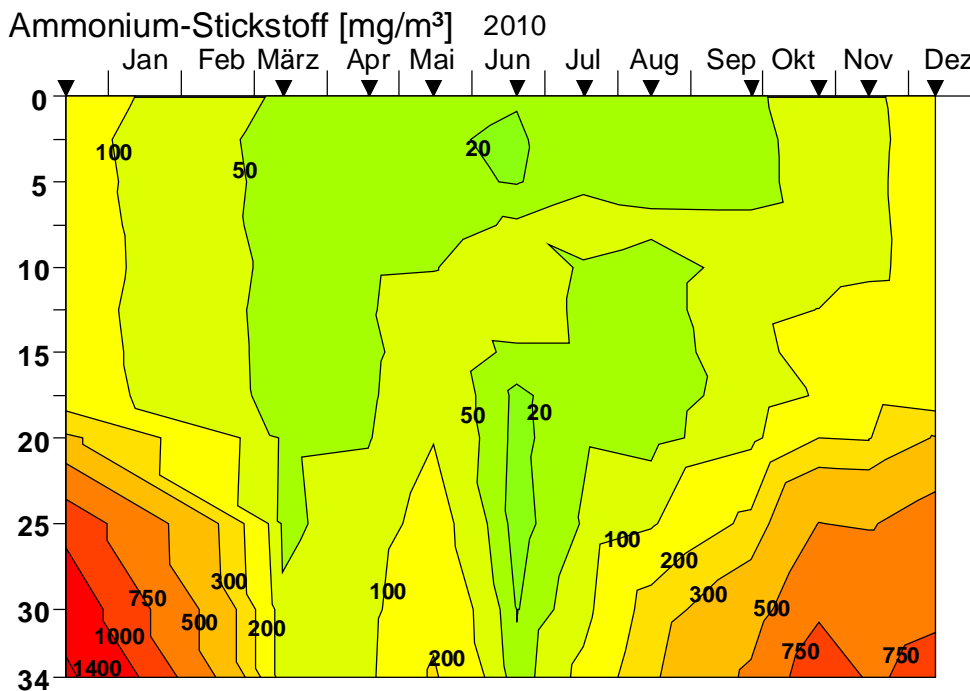


Abb. 7: Ammonium Stickstoff

Zur Erinnerung, Gülle als Hofdünger hat Ammonium-Stickstoffgehalte von mehr als 1 g/l, also das Tausendfache des Sees.

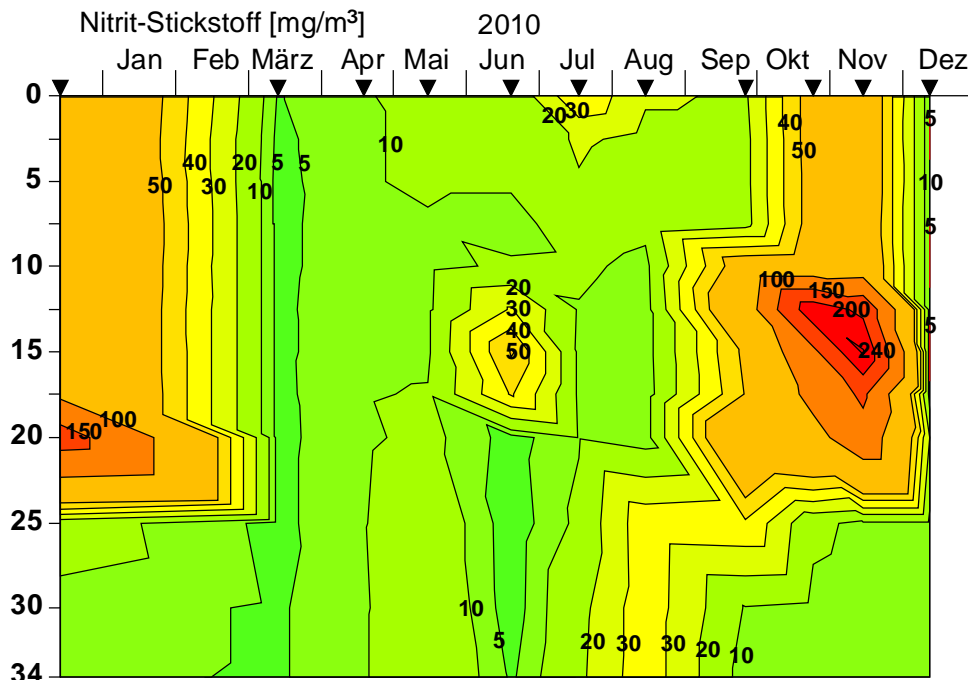


Abb. 8: Nitrit Stickstoff

Die Nitritmaxima befinden sich in der scharfen Sprungschicht in 12.5 m Tiefe im Oktober bis November. Sie zeigen das Fortschreiten der Belüftung des Sees mit Sauerstoff aus der Luft. Der Mangel an Sauerstoff verschreckt die Fische, die durch so hohe Nitritkonzentrationen vergiftet werden könnten.

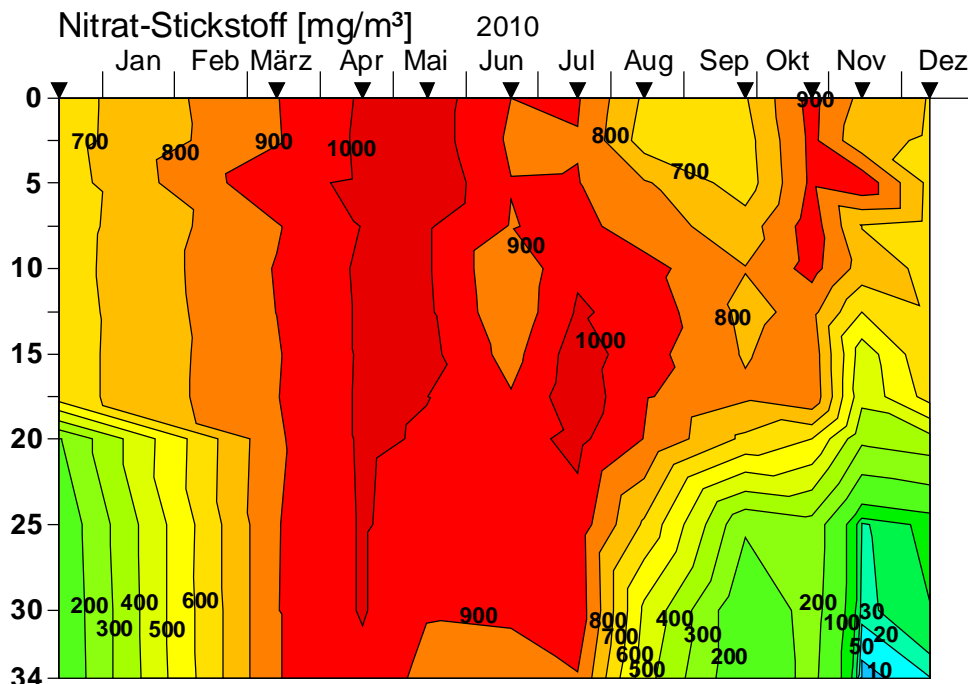


Abb. 9: Nitrat-Stickstoff

Nitrat kann als Elektronendonator bei Redox-Prozessen verwendet werden (sog. Nitrat-Atmung). Es existieren Bakterien, die dies auch bei 100% iger Sauerstoffsättigung machen. Die Abwesenheit von Sauerstoff ist also nicht notwendig, aber hilfreich für den Schwund von Nitrat. Nitrat haltiges Trinkwasser ist berüchtigt als giftig für Säuglinge. Allerdings liegt der Grenzwert bei 5 600 mg/m^3 , also weit höher als der maximale Gehalt des Seewassers.

Phosphor ist **der** limitierende Nährstoff für das Wachstum der Algen im Pfäffikersee. Im ursprünglich oligotrophen Zustand des Sees haben verschiedene Komponenten zu verschiedenen Zeiten das Wachstum begrenzt. Der Phosphor-Gehalt wurde durch gezielte Massnahmen des Gewässerschutzes immer weiter reduziert, wodurch der Phosphorgehalt immer wichtiger wurde.

Die grössten Ausschläge der Phosphorkonzentration sind auf das Sediment zurückzuführen. Sie hängen zusammen mit der Redox-Situation am Sediment (Eisen, Schwefel, Phosphate mit einigen chemischen Prozessen, die meist durch Bakterien katalysiert sind. Allerdings spielen vermutlich auch sehr langsame Prozesse, wie die Kristallisation von Pyrit eine Rolle). Dies sind Nachwirkungen der früheren Eutrophierung. Die Phosphormenge, die im Laufe des Herbstes vom Sediment freigesetzt wird verschwindet im Laufe des Winters wieder im Sediment. Im Sommer ist der See meist leer „gefressen“.

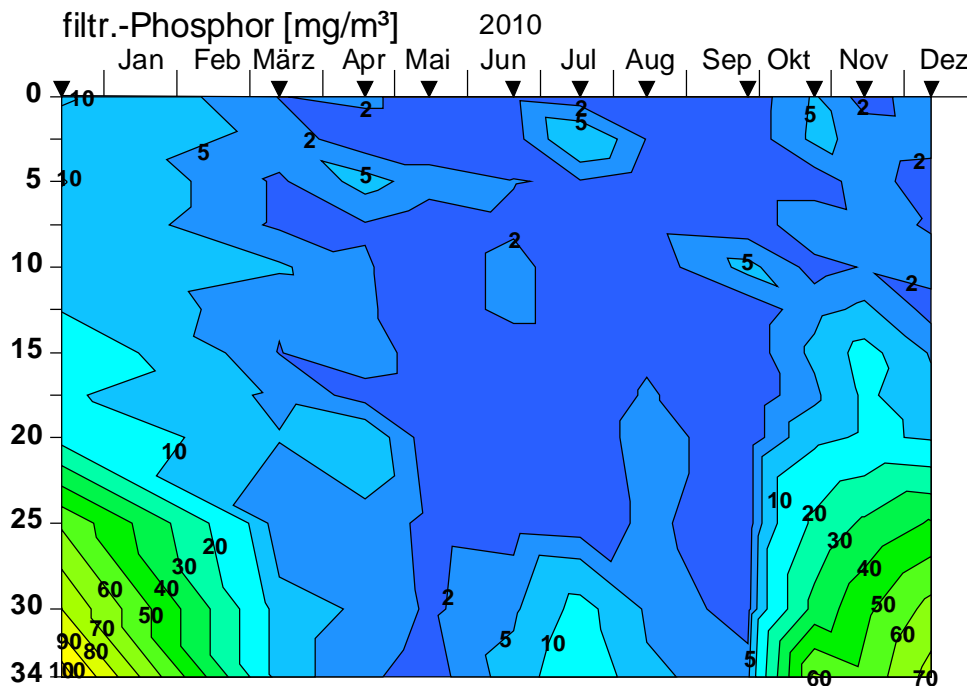


Abb 10: Phosphor im Filtrat

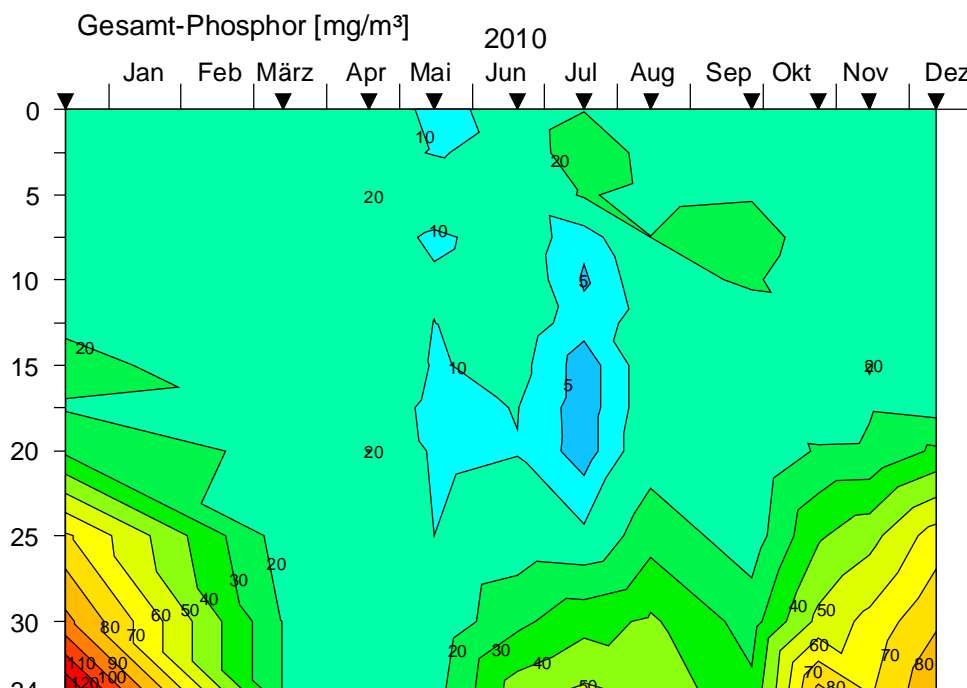


Abb. 11: Gesamt-Phosphor

Die volumengewichteten Mittelwerte waren im Mai 10.4, Juni 13.4, Juli 11.8 mg P/m³.

Zusammenfassung

Das Jahr 2010 war ein Jahr ohne grosse Ausreisser, ein weiteres Jahr auf dem Weg zur „Genesung“ des Pfäffikersees. Der Lebensraum für Felchen wird Jahr für Jahr grösser. Es geht langsam voran, aber es wird noch lange dauern, bis die Naturvermehrung der Felchen (ein wichtiges Sanierungskriterium) erreicht sein wird. Sanierungen von Seen brauchen einen sehr langen Atem.