

Diss. ETH Nr. 7830

UNTERSUCHUNG VERTIKALER MISCHUNGSPROZESSE MIT CHEMISCH-PHYSIKALISCHEN
TRACERN IM HYPOLIMNION DES EUTROPHEN BALDEGGERSEES

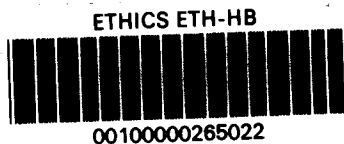
Abhandlung
zur Erlangung des Titels eines
DOKTORS DER NATURWISSENSCHAFTEN
der
EIDGENOESSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZUERICH

vorgelegt von
Thomas Alphons Richard Joller
dipl. natw. ETH

geboren am 23.6.1952
von Dallenwil Nidwalden

Angenommen auf Antrag von:
Privatdozent Dr.D.Imboden, Referent
Professor Dr.H.Ambühl, Korreferent

1985



KURZFASSUNG

In den Jahren 1978 bis 1980 wurden im eutrophen Baldeggersee (Oberfläche 5.2 km², maximale Tiefe 66 m) Radon und die klassischen limnologischen Parameter Temperatur, Methan, Ammonium, Eisen, Mangan und totaler Phosphor gemessen um Auskunft über Mischungsprozesse im Hypolimnion zu erhalten. Die Interpretation der gemessenen Grössen erfolgt mit Hilfe von mathematischen Modellen; die, auf dem Konzept der turbulenten Diffusion beruhend, aus der allgemeinen Transportgleichung abgeleitet werden.

Aus der Verteilung der Temperatur und des Radons können vertikale und im Falle des Radons horizontale turbulente Diffusionskoeffizienten im Bereich von 0.1 bis 10 m²d⁻¹ respektive von 1000 bis 10000 m²d⁻¹ ermittelt werden. Die Verteilung Sediment-bürtiger Stoffe (Methan, Ammonium, Phosphat) wird von der vertikalen Mischung im Sommer in vernachlässigbarem Ausmass beeinflusst. Die beobachtbare vertikale Struktur in diesen Stoffverteilungen ist durch die Stärke der Sedimentflüsse und dem Verhältnis der Sedimentfläche pro Wasservolumen gegeben. Die gegenüber den vertikalen viel grössere horizontale Mischungsintensität führt zu der für langlebige Stoffe und die Temperatur charakteristischen horizontal homogenen Verteilung im Hypolimnion.

Im Winter sind die Verhältnisse komplizierter. Mit Hilfe der reduzierten Stoffe Methan und Ammonium lassen sich im tiefen Hypolimnion vertikale turbulente Diffusionskoeffizienten in der Grösse von 1 bis 35 m²d⁻¹ bestimmen. Die Dynamik der Temperaturverteilung zeigt aber deutlich den Einfluss nicht-lokaler Mischungsprozesse. Anhand einer Abfolge von vertikalen Temperaturprofilen im Januar und Februar 1978 kann gezeigt werden, dass im tiefen Hypolimnion Wasser nicht-lokal ausgetauscht wird. Modellrechnungen ergeben für den Wasseraustausch Werte von 0.005 bis 0.03 d⁻¹. Diese Werte werden durch die Auswertung des 3He-Alters bezüglich der Mischungsintensität bestätigt. Eine eindeutige Identifikation physikalischer Prozesse, die zu nicht-lokalem Austausch führen, ist nicht möglich. Abschätzungen zeigen, dass die Grösse der Wasserführung des Hauptzuflusses genügend gross ist, um beim Abtauchen des Flusswassers ins Hypolimnion zum beobachteten Mischungseffekt zu führen. Seeinterne Prozesse können aber nicht ausgeschlossen werden.

Die Mischung im Winter erwies sich als zu wenig intensiv um eine Sauerstoffsättigung im ganzen Seevolumen zu erreichen. Dabei zeigt sich deutlich der Einfluss der Wind-geschützten Lage und der grossen Tiefe des Seebekens. In der Abkühlphase führt, neben einzelnen Wind-induzierten Mischungseignissen, vorallem die durch die Temperaturabkühlung verursachte konvektive Turbulenz zu einer allerdings nur die oberen Wasserschichten erfassenden Mischung.

Eine chemische Stabilisierung der Wassermassen bewirkt, dass die Mischung häufig in einer Tiefe von 40 bis 50 m stecken bleibt. Einzig das Zusammen-treffen von Ereignissen erhöhter Windgeschwindigkeiten und minimaler Schichtungsstabilität führt kurzfristig zu tiefgreifender Mischung. Es zeigt sich aber, dass auch bei geringen Schichtungsstabilitäten die durch den Wind eingetragene kinetische Energie wegen der Tiefe der Sprungschicht nur zu einem geringen Teil für die weitere Absenkung der Sprungschicht zur Verfügung steht. Die chemische Stabilisierung ist biogen induziert und hauptsächlich durch die Ionen des Kalziumkarbonates verursacht.

Aus den Mischungsverhältnissen und den Stoffverteilungen im See können Sedimentflüsse bestimmt werden. Sie betragen für das Methan (0.015 ± 0.002) Molm⁻²d⁻¹, für das Ammonium (0.003 ± 0.0004) Molm⁻²d⁻¹, und für das Phosphat (0.0004 ± 0.0002) Molm⁻²d⁻¹.

Im Baldeggersee entspricht das Stoffverhältnis der Sedimentflüsse demjeni-

gen der sedimentierenden Partikel.

Die Massenbilanz der reduzierten Stoffe zeigt den Eingriff von Methan, Ammonium und Sulfid in den Sauerstoffhaushalt. Am Ende der Stagnationsphase ergeben sich Defizite von rund 2800 t Sauerstoff.

Die chemische Schichtung bewirkt, da sie die Nährstoffzufuhr in den See durch die interne Düngung erhöht, über einen positiven Rückkopplungseffekt eine Verstärkung / Zunahme der Eutrophierung. Die im Baldeggersee und andern Seen vorgeschlagenen bzw. verwirklichten Anlagen zur internen Seesanierung haben zum Ziel, diesen Verstärkungseffekt zu unterbrechen. Die ersten Resultate aus der Sanierung des Baldeggersees bestätigen die Gültigkeit der beschriebenen Mechanismen.

Summary

In the years 1978 to 1980, radon-222 and the classical limnological parameters temperature, methane, ammonium, iron, manganese and total phosphorus were measured in the eutrophic lake Baldegg (surface 5.2 km², maximum depth 66 m). The measurements are interpreted with mathematical models based on the turbulent diffusion concept and derived from a general transport equation. The distributions of temperature and radon give vertical and, in the case of radon, horizontal eddy diffusion coefficients in the range 0.1 to 10 m²d⁻¹ and 1000 to 10000 m²d⁻¹ respectively.

During the summer, vertical mixing has little influence on the distribution of substances diffusing from the sediment into the watercolumn (methane, ammonium, phosphat). The observable structure in the vertical distributions is determined by the flux intensity and the ratio of sediment surface to water volume. The much faster horizontal mixing leads to horizontal homogeneity in the hypolimnion. This is typical for tracers with long half-lives and for temperature. During the winter, when the situation is more complicated, the turbulent diffusion coefficients can be determined using the reduced substances methane and ammonium to lie in the range of 1 to 35 m²d⁻¹. The dynamic behavior of the temperature distribution clearly demonstrates the influence of non-local mixing processes. A sequence of vertical temperature profiles in January and February 1978 documents the non-local exchange of water in the deep hypolimnion. Model calculations give water exchange intensities between 0.005 and 0.03 d⁻¹. These values can be confirmed by the helium method. An identification of physical processes, leading to non-local exchange is not possible. However, calculations show that the observed mixing could be caused by the main inlet to the lake if during this particular episode all the river water would sink to the hypolimnion. Yet, other mechanisms, like lake-internal processes, may also exist.

The mixing intensity in wintertime was too low to achieve oxygen saturation in the whole water column, the lake is well protected against the wind and, for its surface area, quite deep. In fall, the convective turbulence produced by the cooling of the surface water mainly induces mixing in the upper part of the lake volume.

Mixing often comes to a halt at 40 to 50 m depth due to a chemical stabilization of the water. Only the coincidence of strong wind events with weak stabilization leads to mixing events down to the bottom of the lake. The chemical stability is linked to the trophogenic state of the lake and mainly caused by the Ca(HCO₃)₂-ions.

From the vertical distribution and known mixing processes sediment fluxes can be determined (methane: 0.015 ± 0.002 Mol m⁻² d⁻¹; ammonium: 0.003 ± 0.004 Mol m⁻² d⁻¹; phosphat: 0.0004 ± 0.0002 Mol m⁻² d⁻¹).

The ratios of the sediment fluxes correspond to the ratio of the substances in settling particles.

The mass balance of the reduced substances shows the influence of methane, ammonium and sulfid in the oxygen balance. At the end of the stagnation period a oxygen deficit of 2800 t can be observed. The chemical stratification, indirectly the result of the high productivity, causes a nutrient supply to the lake through internal P-loading. This is a positive feedback situation.

In lake Baldegg and other lakes installations for internal lake restoration are designed to break this positive feedback. First results from the restoration of lake Baldegg confirm the importance of internal loading mechanisms and their successful suppression by internal lake restoration. availability of the described mechanisms.