



Doctoral Thesis

Ein physikalisch-biochemisches Seemodell Anwendung auf das Nordbecken des Luganersees

Author(s):

Karagounis, Ion

Publication Date:

1992

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-000644144> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH Nr. 9711

Ein physikalisch-biochemisches Seemodell

Anwendung auf das Nordbecken des Luganersees

Abhandlung
zur Erlangung des Titels

Doktor der Naturwissenschaften

der
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZÜRICH

Vorgelegt von

Ion Roland Karagounis
Dipl. Natw. ETH
geboren am 2. März 1964
von Zürich

Angenommen auf Antrag von

Prof. Dr. D. Vischer, Referent
Prof. Dr. D. Imboden, Korreferent
Dr. J. Trösch, Korreferent

Zürich 1992

ZUSAMMENFASSUNG

Im Nordbecken des Luganersees, einem schweizerisch-italienischen Grenzgewässer, hat sich die Wasserqualität wegen der übermässigen Nährstoffzufuhr bis zum Beginn der Achtzigerjahre andauernd verschlechtert. Dank Sanierungsmassnahmen, die während der letzten 20 Jahre durchgeführt wurden, konnte die Wasserqualität des Sees in den letzten Jahren stabilisiert und teilweise verbessert werden. Der See befindet sich allerdings immer noch in einem besorgniserregenden Zustand. Als Besonderheit weist er eine ganzjährig bestehende chemische Schichtung auf. Die winterliche Durchmischung erreicht nur eine Tiefe von etwa 60 - 80 m des bis zu 288 m tiefen Seebeckens. Dies führt zu einer hohen Nährstoffkonzentration und zu einem grossen Sauerstoffbedarf im Tiefenwasser unterhalb von 100 m. Die oberflächennahe Phosphorkonzentration und die Primärproduktion sind im Gegensatz zu anderen eutrophen Seen verhältnismässig gering, da die chemische Schichtung eine Selbstdüngung verhindert.

Zur Untersuchung der chemischen Schichtung und zur Durchführung von Prognoseberechnungen wurde das eindimensional vertikale Modell LIMMOD entwickelt, das physikalische und biochemische Prozesse gekoppelt berechnet. Abgestützt auf die physikalische Seeentwicklung (Modellgrössen Temperatur und Leitfähigkeit) wird ein Nährstoffkreislauf mit Phosphor als limitierenden Nährstoff berechnet (Modellgrössen POC, Sauerstoff, gelöster und partikulärer Phosphor). Mit der Kopplung wird berücksichtigt, dass biochemische Prozesse von physikalischen Prozessen getrieben werden, dass aber mit einem physikalischen Modell allein keine Aussagen über den Gesundheitszustand und die künftige Entwicklung eines Sees gemacht werden können. Zudem werden zwei der wichtigsten Einflüsse des Nährstoffkreislaufs auf die physikalische Struktur des Sees berücksichtigt: 1. Die Lichtextinktion durch die Biomasse beeinflusst den Wärmeeintrag in den See. 2. Durch die Sedimentation partikulären Materials werden Karbonate und andere Stoffe in das Tiefenwasser des Sees transportiert, was sich auf die Leitfähigkeit und somit auf die Dichtestruktur und die chemische Schichtung des Sees auswirkt. Als Basis für das neue Modell dienten ein vereinfachtes MIT-Wind-Mixing-Modell (Wüest, 1987) und das Nährstoffmodell SEEMOD (Imboden und Gächter, 1978).

Die Modelleichung über ein Jahr und die Modellvalidierung über mehrere Jahre ergeben gute Resultate. Die chemische Schichtung im Nordbecken des Luganersees kann dank dem Einbezug biochemischer Prozesse zufriedenstellend nachvollzogen werden. Der für rein physikalische Modelle typische Konzentrationsausgleich der Leitfähigkeit über die Tiefe mit fortschreitender Berechnungsdauer tritt im gekoppelten Modell nicht mehr auf.

Auf vereinfachte Annahmen abgestützte Prognoseberechnungen zeigen, wie sich verschiedene Sanierungsmassnahmen grundsätzlich auf das Nordbecken des Luganersees auswirken: falls die Phosphorbelastung auf dem heutigen Stand von 31 t/Jahr bleibt, ist in den nächsten Jahren nur mit einer geringen Verbesserung des Seezustands zu rechnen. Eine umfassende Verbesserung des Seezustands, die sich auf den ganzen Nährstoffkreislauf - Phosphor, Primärproduktion und Sauerstoff - auswirkt, kann nur durch eine Reduktion der Nährstoffbelastung erreicht werden. Die Verbesserung erfolgt aber wegen der chemischen Schichtung und wegen der grossen Wasser-aufenthaltszeit nur langsam. Interne Seesanieungsmassnahmen wirken sich nur auf einen Teilbereich des Nährstoffkreislaufs positiv aus. Eine Belüftung erhöht den Sauerstoffgehalt des Sees, weitere Verbesserungen sind ungewiss. Eine Zirkulationshilfe verbessert zwar die mittleren Phosphor- und Sauerstoffverhältnisse im See, führt dafür aber zu einer Selbstdüngung und zu einem Produktionsanstieg. Zudem erhöht sie die Belastung des unterhalb liegenden Südbeckens. Eine Tiefenwasserableitung verbessert die Verhältnisse im See, führt aber ebenfalls zu einer vergrösserten Belastung des Südbeckens, falls die Ableitung dorthin erfolgt.

RIASSUNTO

Nel Bacino Nord del Lago di Lugano, un lago sul confine italo-svizzero, la qualità dell'acqua è peggiorata fin dall' inizio degli anni ottanta a causa dell'eccessivo carico di sostanze nutritive. Grazie agli interventi di risanamento, che sono stati realizzati negli ultimi 20 anni, la qualità dell'acqua ha potuto essere stabilizzata e parzialmente migliorata. Il lago infatti si trova sempre in uno stato preoccupante. Come particolarità presenta una stratificazione chimica durante tutto l'anno. La circolazione invernale raggiunge solamente una profondità di 60 - 80 m nel bacino che ha una profondità massima di 288 m. Questo porta ad un'alta concentrazione di sostanze nutritive e ad una grande richiesta di ossigeno nelle acque profonde al di sotto di 100 m. La concentrazione di fosforo superficiale e la produzione primaria sono abbastanza basse contrariamente ad altri laghi eutrofici, perchè la stratificazione chimica impedisce una autonutrizione.

Per studiare la stratificazione chimica e fare calcoli previsionali è stato sviluppato il modello monodimensionale verticale LIMNMOD, che calcola processi fisici e biochimici accoppiati. Basandosi sull'evoluzione fisica del lago (variabili temperatura e conducibilità) viene calcolato un ciclo nutritivo con il fosforo quale sostanza nutriente limitante (variabili POC, ossigeno, fosforo disciolto e particolato). Nell'accoppiamento si tiene conto che i processi biochimici sono provocati da processi fisici e che, d'altra parte, solo con un modello fisico non si possono fare previsioni sullo stato attuale e sul futuro sviluppo di un lago. Inoltre vengono considerati due dei più importanti effetti del ciclo nutritivo sulla struttura fisica del lago: 1. L'estinzione della luce per la biomassa influenza l'assorbimento di calore del lago. 2. Per la sedimentazione delle particelle, carbonati ed altre sostanze vengono trasportati nell'ipolimnio del lago, cosa che influenza la conducibilità e quindi la struttura della densità e la stratificazione chimica. Come base per il nuovo modello vengono usati un MIT-Wind-Mixing-Model semplificato (Wüest, 1987) ed il modello per sostanze nutritive SEEMOD (Imboden e Gächter, 1978).

I risultati della calibrazione durante un anno e la verifica durante diversi anni sono buoni. La stratificazione chimica nel Bacino Nord del Lago di Lugano può essere calcolata soddisfacentemente grazie all'inclusione dei processi biochimici. La compensazione della conducibilità sull'intera profondità con l'aumento del tempo di simulazione, un effetto tipico dei modelli fisici, non si presenta più.

Calcoli previsionali, basati su ipotesi semplificate, mostrano come il Bacino Nord del Lago di Lugano reagisce sostanzialmente a diversi interventi di risanamento: Se il carico di fosforo rimarrà allo stato attuale di 31 t/a, ci si deve aspettare solamente un lento miglioramento negli anni prossimi. Un completo miglioramento dello stato del lago, che include l'intero ciclo nutritivo - fosforo, produzione primaria ed ossigeno - si potrà raggiungere solamente con una riduzione del carico nutritivo. Senza dubbio ciò avverrà lentamente a causa della stratificazione chimica e del grande tempo di residenza dell'acqua. Interventi interni si ripercuotono positivamente solo su una parte del ciclo nutritivo. Una ossigenazione aumenta il contenuto di ossigeno del lago, ma altri miglioramenti non sono certi. Una circolazione forzata migliora le situazioni medie del fosforo e dell'ossigeno, ma provoca una autonutrizione ed un aumento della produzione primaria. Inoltre aumenta il carico addotto nel sottostante Bacino Sud. Una derivazione delle acque ipolimniche migliora la situazione nel lago, ma porta ad un carico elevato nel Bacino Sud, se l'acqua viene scaricata in esso.

(Nota: le conclusioni di questo lavoro sono tradotte in italiano nei capitoli 7.4 - 7.6).

ABSTRACT

In the Northern Basin of Lake Lugano, a Swiss-Italian border lake, the water quality has continuously decreased until the beginning of the eighties, caused by an excessive nutrient loading. Due to protective measures carried out during the last two decades the water quality was stabilized and even partially improved. Nevertheless, the water is still in a grave condition. As particularly, the lake is chemically stratified throughout the year. The mixing layer in winter has a thickness of approximately 60 - 80 meters, whereas the maximum depth of the basin is 288 meters. This leads to a high concentration of nutrients and to a high demand of oxygen below 100 meters depth. The primary production and the near-surface concentration of phosphorus are relatively low in comparison with other eutrophic lakes since the chemical stratification prevents a self-nutrition.

To investigate the chemical stratification and for prognostic calculations, the one-dimensional vertical model LIMNMOD was developed to calculate linked physical and biochemical processes. Based on the physical processes (state variables are temperature and conductivity) a cycle of nutrients is calculated with phosphorus as limiting nutrient (state variables are POC, oxygen, dissolved and particular phosphorus). By linking, it is considered that biochemical processes are driven by physical ones but, on the other hand, with a physical model alone, no statements regarding the quality of the water and the future development of the lake can be made. In addition, two of the most important influences of the nutrient cycle on the physical structure of the lake are considered: 1. the extinction of light by the biomass is influencing the heattransfer into the lake and 2. through the sedimentation of the particular material carbonates and other substances are carried to the hypolimnion. Thus the conductivity is increased and, consequently, the density structure and the chemical stratification are influenced. A simplified MIT-Wind-Mixing-Model (Wüest, 1987) and the nutrient model SEEMOD (Imboden and Gächter, 1978) are the basis of the new model.

The results obtained by the model calibration over one year and the validation over several years are good. The chemical stratification in the Northern Basin of Lake Lugano can be simulated satisfactorily due to the inclusion of the biochemical processes. The equalization of conductivity over the depth with progressive time of simulation - a typical effect of mere physical models - no longer occurs in the linked model.

Forecast simulations based on simplified assumptions show how different measures basically influence the Northern Basin of Lake Lugano: if the phosphorus loading remains on the actual level of 31 t/y, the improvement of the water quality will be minimal. A extensive improvement of the water condition of Lake Lugano, affecting the whole nutrient cycle - phosphorus, primary production and oxygen - can only be obtained by the reduction of nutrient loading. But the improvement will only proceed very slowly due to the chemical stratification and the long residence time of the water. Internal measures will effect the nutrient cycle only partially. An input of oxygen increases its content in the lake but other improvements are uncertain. An artificial mixing does improve the average phosphorus and oxygen situation but it also leads to a self-nutrition and so to an increase of the primary production. Moreover, it increases the loading of the downstream situated Southern Basin of Lake Lugano. A drainage of hypolimnic water can improve the situation of the lake but at the same time it would enlarge the loading of the Southern Basin if it were led there.