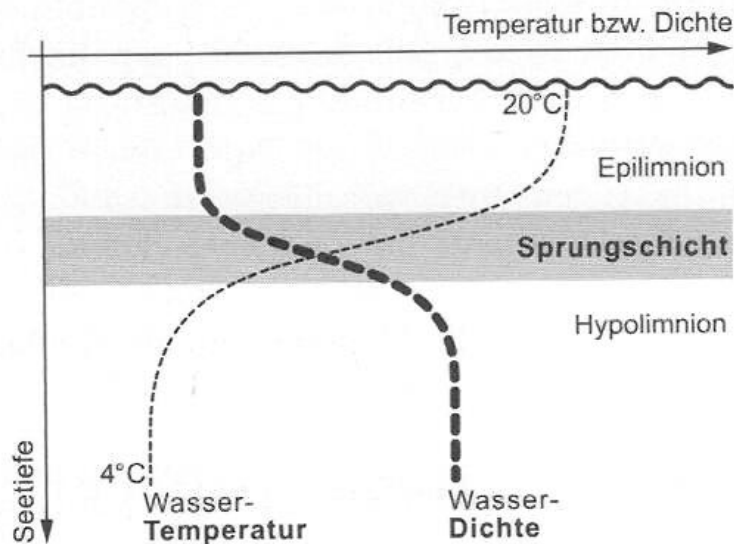


## Aufgabe 1: Phosphorverschmutzung im geschichteten See mit ActiveObjects

Süßwasserseen werden im Sommer thermisch geschichtet. Warmes, leichtes Wasser (Epilimnion) schwimmt oben auf kaltem, schweren Tiefenwasser (Hypolimnion) welches immer 4°C kalt ist (da hat Wasser die größte Dichte). Als Folge dieser Temperaturverteilung bildet sich eine sogenannte Sprungschicht zwischen diesen beiden Schichten, welche die vertikale Wasserzirkulation stark dämpft.



Bei dem Modell zur Seeverschmutzung aus der Vorlesung (Folie S. 40) wurde die Annahme gemacht, daß der See vollständig durchmischt ist – eine zu grobe Vereinfachung, wie man nun sieht. Deshalb soll nun ein Zweischichtenmodell erstellt werden. Nehmen Sie dazu folgende Annahmen an:

- die Zeiteinheit aller folgenden zeitbezogenen Angaben ist der Monat
- jede Schicht hat eine eigne, einheitliche (d.h. vollständig durchmischte) Konzentration an Phosphor:  $C_E$  (Epilimnion) und  $C_H$  (Hypolimnion) für die jeweils eine Differentialgleichung aufgestellt werden soll.
- jede Schicht hat ein konstantes Volumen:  $V_E$  (Epilimnion):  $50 \times 10^6$  und  $V_H$  (Hypolimnion):  $100 \times 10^6$
- der Ausfluß aus dem See hat die Konzentration des Epilimnions, der Einfluß mit Durchflußrate  $Q = 0.34 \times 10^6$  mit Phosphorkonzentration  $C_{in} : 320$  fließt ins Epilimnion. Mit der gleichen Rate fließt Wasser aus dem See über die Epilimnionschicht heraus
- jede Schicht hat eine eigene Phosphorabbaurate:  $k_{r,E}$  (Epilimnion): 0.02 und  $k_{r,H}$ : 0.002 (Hypolimnion)
- zwischen den Schichten gibt es einen Austausch mit der Durchflußrate  $Q_{ex} : 0.5 \times 10^6$  welche in beide Richtungen (von unten nach oben und umgekehrt) gleich ist.

a) (2 Pkte)

Gehen Sie vom Modell der Vorlesung (S.40) aus und erweitern Sie es entsprechend der obigen Angaben. Modularisieren Sie dabei das Modell in AnyLogic mit ActiveObjects – eins für jede Schicht. Simulieren Sie das System in AnyLogic.

b) (1 Pkt)

Berechnen Sie den Gleichgewichtszustand und vergleichen Sie das Resultat mit der Simulation aus a). Ist das Gleichgewicht stabil?

c) (1.5 Punkte)

bei genauerer Betrachtung stellt sich heraus, daß das obige Zweischichtenmodell im Winter nicht mehr besteht: es ist realistischer, dann das bisherige Einschichtenmodell (vollständig durchmischter See) zu verwenden. Nehmen Sie an, dass das Einschichtenmodell von Januar bis einschliesslich April besteht, vom Mai bis Dezember das Zweischichtenmodell besteht. Die Übergänge zwischen den beiden Modellen sind so zu modellieren, dass beim Übergang von der Einschichtenphase zur Zweischichtenphase die beiden Konzentrationen des Epi- und des Hypolimnions gleich groß sind, und zwar gleich der Endkonzentration des Einschichtenmodells. Beim Übergang vom Zweischichtenmodells zum Einschichtenmodell berechnen Sie die einheitliche Konzentration des zur Zeit  $t$  (plötzlich) vollkommen durchmischten Sees wie folgt:

$$C^0 = (C_E(t) \cdot V_E + C_H(t) \cdot V_H) / (V_E + V_H) \quad (\text{gewichteter Mittelwert})$$

Modellieren Sie dieses Modell in Anylogic mit nunmehr drei Komponenten (ActiveObjects). Simulieren Sie das Modell. Was kann man bezüglich der in b) bestimmten Gleichgewichtszustände sagen?

Abgabe:

Deliverables: a) Modelldatei (\*.alp) und Beschreibung der Beobachtungen der Simulation  
b) Gleichgewichtswerte, und Experiment zur Aussage über Stabilität  
c) Modelldatei, Beschreibung der Beobachtungen der Simulation und Antwort auf die Frage