

Phosphate, Phytoplankton und Fische

1. Die Bedeutung des Phosphors für den Bodensee

Phosphor - das ist derjenige Nährstoff, um den sich am Bodensee seit Jahrzehnten alles zu drehen scheint. Alljährlich wird in den Medien darüber berichtet, wie sich seine Konzentration im See entwickelt hat - gleichsam wie die Fieberkurve eines Patienten. In der Tat war der Phosphor über lange Jahre hinweg das wichtigste »Krankheitszeichen«, mit dem sich die »Gesundung« des Bodensees von der Überdüngung der 70er Jahre nachvollziehen ließ. (...) Rückblende: Mitte des vergangenen Jahrhunderts schlugen die Seenforscher Alarm. Sie stellten fest, dass immer mehr Nährstoffe in den Bodensee gelangten. Vor allem ungereinigte Abwässer sorgten in den 1950er und 1960er Jahren für eine zunehmende Belastung des Sees und insbesondere auch seiner Ufer. Bei manchen Wetterlagen sammelten sich die menschlichen Hinterlassenschaften am Strand - ein weder für das Auge noch für die Nase angenehmes Erlebnis. Damals ersetzten nämlich zunehmend bequeme Wassertoiletten die alten Plumpsklos, gleichzeitig fehlten noch weitgehend Kläranlagen. Darüber hinaus traten die Waschmaschinen ihren Siegeszug an - und mit den Waschmitteln gelangten auch große Mengen an Phosphaten über die Zuflüsse in den See. Auch in der Landwirtschaft wurde immer mehr gedüngt und die Tierhaltung intensiviert, weshalb zunehmend nährstoffreiche Gülle anfiel, die auf die Felder aufgebracht wurde und von dort oft genug in die Fließgewässer gelangte und damit letztlich in den See geschwemmt wurde. Hier sammelten sich die Nährstoffe, allen voran Phosphorverbindungen. Der See begann zu eutrophieren, wie die Seenkundler diese Nährstoffanreicherung nennen. (...)

Gesamt-Phosphor im Bodensee-Obersee während der Durchmischungsphase

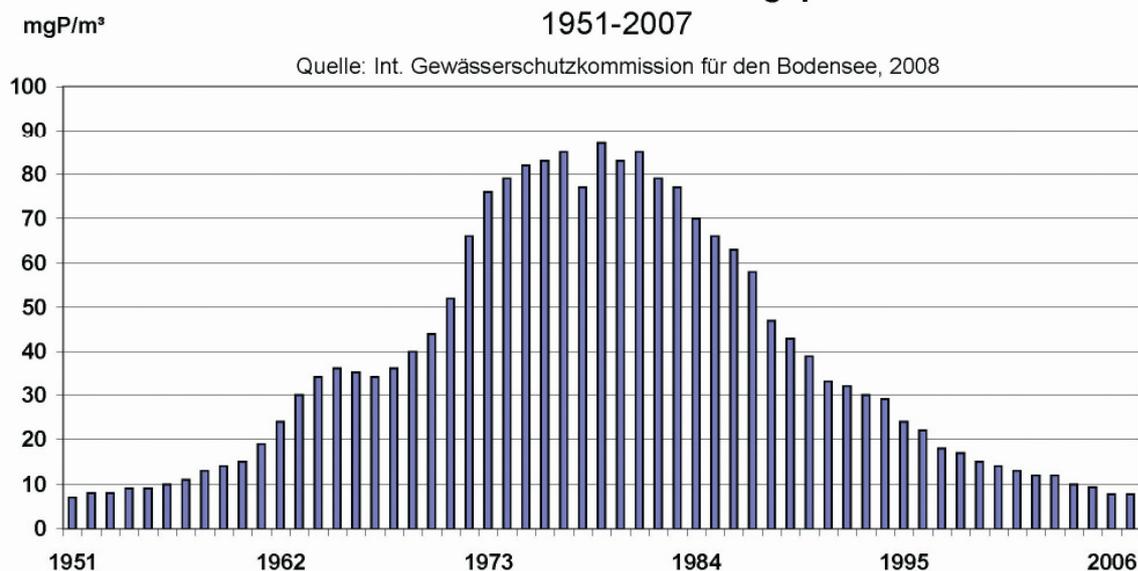


Abbildung 1 (Bild 22): Entwicklung des Phosphorgehalts im Bodensee. (Quelle: Dr. Berg)

Im Bodensee ist Phosphor nämlich von Natur aus Mangelware, die Seenkundler sprechen vom Minimumfaktor. Je weniger Phosphor im See ist, desto weniger haben die Algen das entscheidende »Futter« zum Wachsen - da spielt es dann auch keine Rolle, wenn andere wichtige Nährstoffe wie Stickstoff und Kohlenstoff in ausreichendem Maße oder sogar im Überfluss vorhanden sind. Mithin ist das Angebot an Phosphor also der begrenzende Faktor für das Algenwachstum.

Planktonalgen und Wasserpflanzen - wie auch Tiere und Mikroorganismen - nehmen Phosphor als anorganisches Phosphat auf. Benötigt wird er für den Aufbau der Erbsubstanz DNA. Darüber hinaus spielt eine phosphorhaltige Verbindung, das sogenannte Adenosintriphosphat (ATP), für sämtliche Lebewesen eine entscheidende Rolle als Energieträger.

Von Natur aus sind phosphorhaltige Gesteine im Einzugsgebiet die wichtigste Phosphorquelle für die Lebewesen in einem See. Doch die ist in aller Regel nicht allzu ergiebig, weil aus phosphathaltigen Böden meist nur wenig Phosphat ausgeschwemmt wird; es ist stark an die Bodenpartikel gebunden. Viel bedeutsamer ist nach dem Zweiten Weltkrieg die zunehmende Belastung der Flüsse und Seen mit ungereinigtem Abwasser geworden. (...)

Eine der größten Gefahren einer solchen Überdüngung mit dem damit verbundenen starken Algenwachstum ist der wachsende Sauerstoffbedarf am Seegrund. Die in den Tiefenwasserbezirk sinkenden, abgestorbenen Pflanzen und Tiere werden dort von Mikroorganismen zersetzt, wozu Sauerstoff benötigt wird. Der resultierende Sauerstoffschwund hat auch für den Phosphorkreislauf entscheidende Konsequenzen. Normalerweise wird Phosphat nämlich aus dem Nährstoffkreislauf eliminiert, weil es zusammen mit Kalkkristallen nach unten sinkt, sich an Sedimentteilchen anlagert oder mit Eisen reagiert und dann als Eisenphosphat ausfällt. Einmal im Sediment angekommen, steht der solchermaßen gebundene Phosphor für Algen und Wasserpflanzen nicht mehr zur Verfügung. Dies gilt aber nur solange, wie Sauerstoff vorhanden ist. Sauerstoffhaltiges Wasser bildet nämlich eine Art Barriere über dem Sediment, durch die das Phosphat kaum hindurch diffundieren kann. Ist das Wasser über dem Seegrund jedoch sauerstofflos, dann kann sich der Phosphor wieder aus dem Sediment lösen und im Tiefenwasser anreichern. Bei der nächsten Zirkulation gelangt er dann wieder ins Oberflächenwasser, um dort den Pflanzen erneut für deren Wachstum zur Verfügung zu stehen. Sobald also ein See über Grund sauerstofflos wird, beschleunigt dieser auch interne Düngung genannte Vorgang die Nährstoffanreicherung (Eutrophierung) noch zusätzlich. Dieser Vorgang sorgt unter anderem dafür, dass im nährstoffreicheren und flacheren Untersee mehr Phosphor enthalten ist als im tieferen und nährstoffärmeren Obersee. (...)

Mit Spannung warten daher die Seenexperten alljährlich im Frühjahr auf die aktuellen Phosphorkonzentrationen im See. Die sogenannten volumengewichteten Phosphorwerte geben Auskunft, wie sich dieser Nährstoff während der Vollzirkulation im See verteilt. Das ist die Zeit, in welcher der See von oben bis unten mehr oder weniger gleiche Temperaturwerte aufweist und auch das Tiefenwasser sozusagen mit Sauerstoff »volltankt«. Nun findet nicht in jedem Jahr eine Vollzirkulation statt, der See wird also nicht völlig durchmischt. Gleichwohl gilt der Phosphor-Wert in der Zeit von Februar bis April als guter Indikator, welche Menge dieses wichtigen Nährstoffs während der kommenden Vegetationsperiode den Algen und Wasserpflanzen im See zur Verfügung stehen wird. Damit ist er auch ein wichtiger Maßstab für den Erfolg der Sanierungsmaßnahmen. *(Quelle: Herbert Löffler & Hans Gerd Schröder, Der Bodensee. Ein Naturraum im Wandel, Jan Thorbecke Verlag 2009, S.60-64)*

Arbeitsaufträge

1. Erläutern Sie die Bedeutung des Phosphors für die Ökologie des Bodensees!
2. Beschreiben und erklären Sie die Statistik!

2. Die Nahrungskette im See

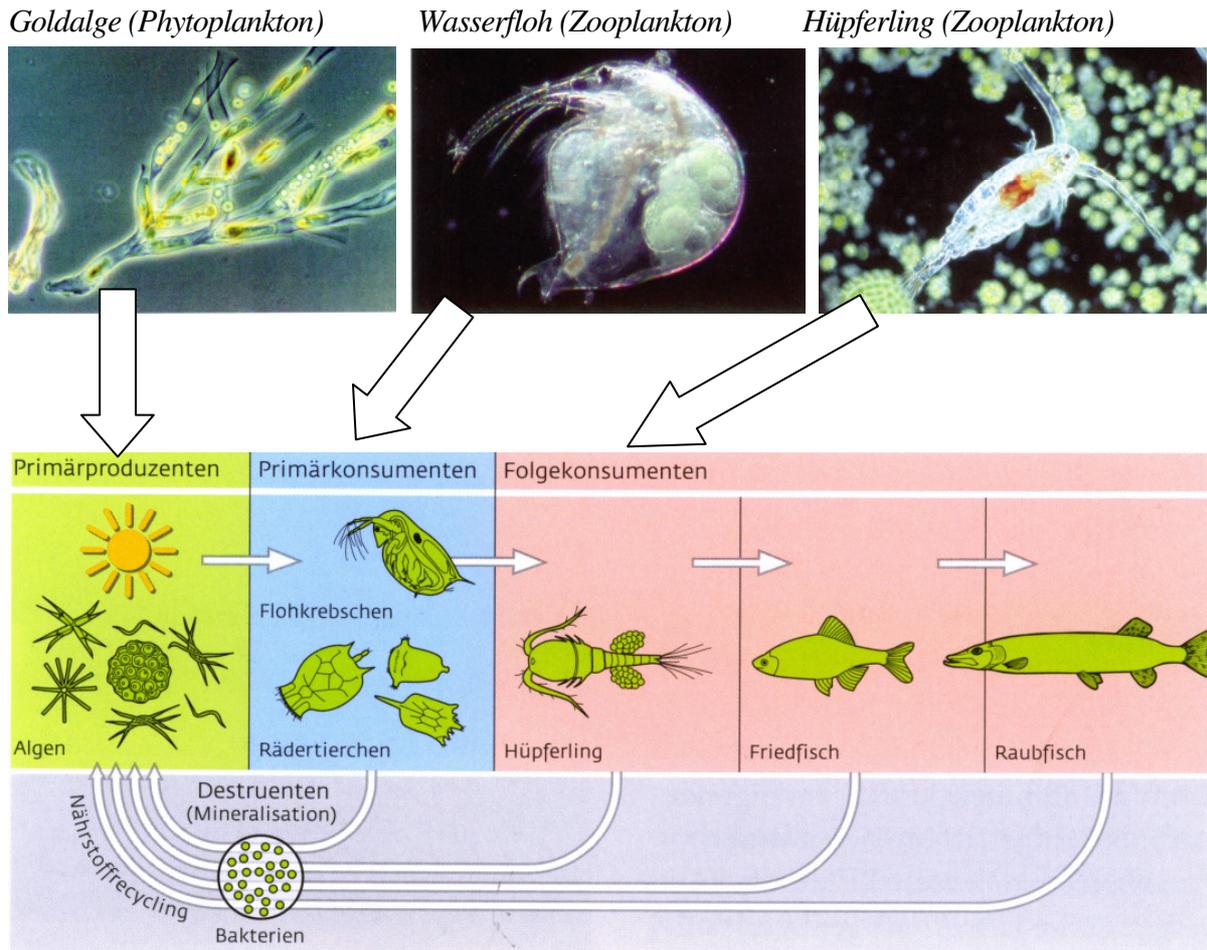


Abbildung 2 (Bild 23): Nahrungskette im See. (Fotos & Grafiken: Löffler/ Schröder)

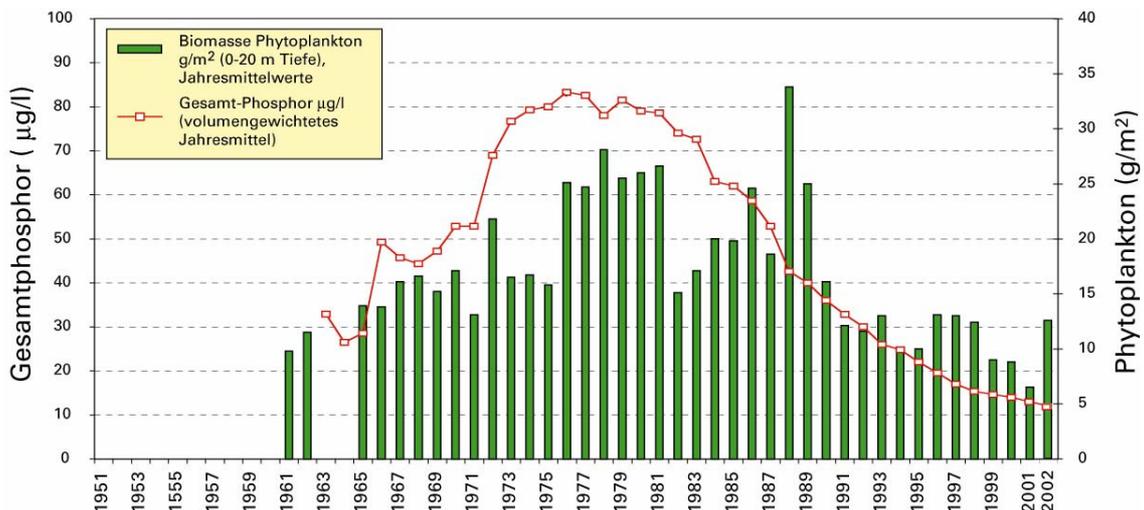


Abbildung 3 (Bild 24): Verhältnis von Gesamt-Phosphor und Wachstum von Phytoplankton. (Dr. Berg)

Arbeitsaufträge

1. Erläutern Sie die Nahrungskette des Sees am Beispiel von Abbildung 2!
2. Beschreiben und erklären Sie Abbildung 3!
3. Erklären Sie die Folgen des erhöhten Phosphoreintrages auf die Nahrungskette!

3. Der Wärmehaushalt des Sees

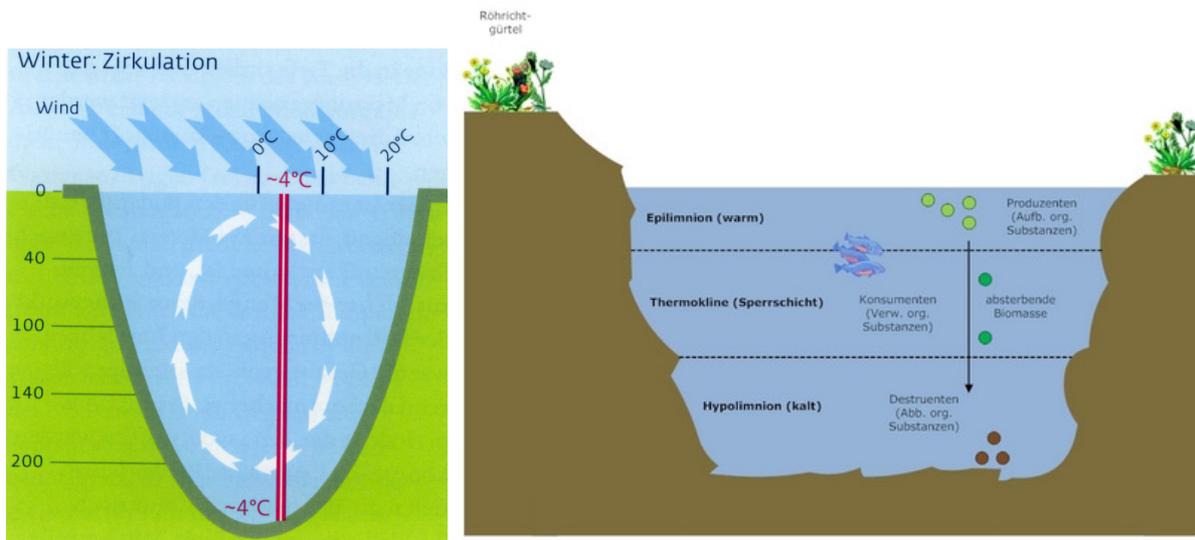


Abbildung 4 (Bild 25): Winterzirkulation und Sommerschichtung. (Grafiken: Löffler & Schröder)

Wer sich an einem sonnigen Tag im Mai zu einem Bad in einem kleinen See verlocken lässt, wird sie schnell am eigenen Leib erleben: die sogenannte Sprungschicht. Die tagsüber schon recht kräftige Sonne hat die oberflächennahen Wasserschichten auf angenehme Badetemperaturen erwärmt. Darunter jedoch wird es schnell ziemlich kalt - die Sprungschicht macht ihrem Namen alle Ehre. Das ist leicht zu spüren, wenn man die Beine in etwas tiefere Wasserregionen hinunterstreckt. Doch nicht nur in flachen, auch in jedem tieferen See - und damit auch im Bodensee - gibt es eine solche Region, bei der im Sommerhalbjahr die Temperatur sprunghaft fällt. Thermokline nennen die Seenkundler diese Zwischenschicht, welche die obere Wasserschicht, das Epilimnion, vom lichtlosen Tiefenwasserbezirk trennt, dem Hypolimnion. Pro Meter kann der Temperaturabfall in der Sprungschicht in einem kleineren oberschwäbischen See durchaus 4 Grad Celsius betragen. Auch beim weitaus größeren Bodensee kann die Sprungschicht recht scharf ausgebildet sein, die Wassertemperatur kann innerhalb von 4 bis 5 Metern durchaus um 8 bis 10 Grad sinken. (...)

Die Tiefenschicht ist während der Sommerstagnation wegen der dann herrschenden stabilen Schichtung vom oberen Teil des Sees regelrecht abgeschottet. Ganz anders sieht es im Winterhalbjahr aus, weil dann das gleichmäßig kalte und damit etwa gleich dichte Wasser bis in tiefe Zonen durchmischt werden kann. (...)

Allerdings sind am Obersee nicht jedes Jahr die meteorologischen Voraussetzungen vorhanden, dass sich das Wasser bis zum Seegrund hinab durchmischen kann - also eine Vollzirkulation stattfindet. So braucht der See im Herbst ausreichend Zeit, um sich an der Oberfläche abkühlen zu können - es muss für eine vollständige Durchmischung also schon früh im Winterhalbjahr kalt werden. Hilfreich ist es auch, wenn der See während eines kalten Winters dann weiter auskühlen kann. (...) Dabei führen verhältnismäßig warme Winter meist zu einer unzureichenden Durchmischung - und solche unvollständigen Zirkulationen werden im Zuge der Klimaerwärmung immer wahrscheinlicher.

(Quelle: Herbert Löffler & Hans Gerd Schröder, *Der Bodensee. Ein Naturraum im Wandel*, Jan Thorbecke Verlag 2009, S.60-64)

Arbeitsaufträge

1. Erklären Sie, wie es zur Schichtung des Sees kommt!
2. Erläutern Sie die Bedeutung der winterlichen Durchmischungsphase des Sees!
3. Erörtern Sie, welche Folgen ein hoher Phosphateintrag und der Treibhauseffekt für die Ökologie des Sees haben!