

## Lösungshinweise zu den Materialien des Artikels

„N-Kreislauf im stehenden Gewässer

- Stoffumsetzungen und Auswirkungen menschlichen Handelns verstehen“

in Unterricht Biologie 447 (2019)

zu Material 1:

1. Das sommerliche Temperaturprofil zeigt eine deutliche Schichtung. Der Bereich warmen Oberflächenwassers (Epilimnion) reicht von 0 bis 7 m Tiefe, die Temperatursprungschicht (Metalimnion) von 7 bis ca. 17 m, der Bereich kalten Tiefenwassers (Hypolimnion) von 17 bis 45 m. Aufgrund der temperaturabhängigen Dichteunterschiede des Wassers bleibt dieses Temperaturprofil in den Sommermonaten stabil: Der Wasserkörper stagniert. Die relativ hohe Temperatur des Wassers am Grund des Talsperrenbeckens wird durch das Ablassen kalten Tiefenwassers verursacht.
2. Das Profil des Sauerstoffgehaltes ist auf die zugrundeliegenden Stoffwechselprozesse zurückzuführen. Oberhalb der waagerechten Linie (Kompensationstiefe) übersteigt die Sauerstoffbildung (durch Fotosynthese) den Sauerstoffverbrauch, unterhalb übersteigt der Verbrauch (durch Zellatmung) die Sauerstoffbildung.  
Das Maximum des Sauerstoffgehaltes in 9 m Tiefe resultiert aus a) der hier gegebenen günstigen Lichtintensität, b) der von der Viskosität des Wassers (und damit auch von der Temperatur) abhängigen Algendichte und c) der Temperaturabhängigkeit der Sauerstofflöslichkeit: a) An der Wasseroberfläche herrschen oft zu hohe und damit für die Fotosyntheseleistung ungünstige Lichtintensitäten. b) Die Viskosität des Wassers steigt mit dem Abfall der Temperatur. Daher wird die Sedimentation der Phytoplanktonorganismen in Bereich der Temperatursprungschicht abgebremst. c) Die Sauerstofflöslichkeit steigt mit dem Abfall der Temperatur.  
Die einheitlichen Konzentrationen im Epilimnion ergeben sich durch Zirkulation (vgl. die einheitliche Wassertemperatur des Epilimnions). Zellatmungsprozesse (u.a. der Destruenten) und der Rückgang der Fotosyntheseleistung lassen den Sauerstoffgehalt ab 11 m Tiefe immer weiter absinken.
3. Der Chlorophyllgehalt des Wassers gibt Auskunft über die vorhandene Biomasse des Phytoplanktons: Nicht abgebautes Chlorophyll lässt auf die Anwesenheit lebenden Phytoplanktons schließen. Auch in größeren Tiefen lässt sich sedimentiertes Phytoplankton nachweisen. Aufgrund der Abnahme der Lichtintensität mit der Tiefe nimmt die Menge lebenden Phytoplanktons ab.
4. Das Hauptbecken der Sorpetalsperre kann aufgrund der Chlorophyll- und Phosphatwerte (4 µg/l Chlorophyll und 14 µg/l Gesamtphosphat im Epilimnion) als oligotrophes, also mineralstoffarmes Gewässer eingestuft werden.

zu Material 2:

1. Im Vorbecken fällt durch die Nitratabmonifikation unter anaeroben Verhältnissen Ammonium in höheren Konzentrationen an. Im Hauptbecken ist dies nicht zu beobachten, da das Wasser in allen Tiefenschichten relativ sauerstoffreich ist. Hier kommt es zur Nitrifikation.
2. Im Hauptbecken fällt kaum Ammoniak an, da hier nur geringe Ammoniumkonzentrationen vorliegen. Im Vorbecken sind der für die Ammoniakbildung erforderliche Ammoniumgehalt, als auch der entsprechende pH-Wert gegeben. Z.B. resultiert in 2 m Tiefe bei einer eher geringen Ammoniumkonzentration eine hohe Ammoniakkonzentration, da der pH-Wert hier sehr hoch ist. In 8 m Tiefe fällt bei deutlich geringerem pH eine fast ebenso hohe Ammoniakkonzentration an, da hier eine hohe Ammoniumkonzentration vorliegt. (Der Einfluss der Temperatur wurde bei der Berechnung der Ammoniakwerte berücksichtigt, wird hier aber – im Sinne der didaktischen Reduktion – nicht thematisiert.)  
Die Unterschiede beim pH-Profil des Vorbeckens resultieren aus höheren Stoffwechselaktivitäten. Im

Oberflächenwasser liegt eine hohe Algendichte vor. Die Fotosyntheseaktivität dieser Algen verursacht die höheren pH-Werte. Im Tiefenwasser des Vorbeckens fällt viel Biomasse an, die durch Destruenten zersetzt wird. Die Zellatmungsaktivität der Destruenten verursacht die niedrigeren pH-Werte.

3. siehe Text
4. Die Sauerstoffzehrung im Vorbecken deutet darauf hin, dass hier Biomasse in großen Mengen anfällt und unter Sauerstoffverbrauch zersetzt wird. Dazu passt, dass das Wasser trüb und grün-bräunlich gefärbt ist, da die Produktion hoch ist. Im Hauptbecken ist die Produktion dagegen niedriger, so dass das Wasser auch eher klar ist. Die hohe Produktion des Vorbeckens ist v.a. auf hohe Mineralstoffgehalte zurückzuführen. Diese ermöglichen ein intensives Wachstum des Phytoplanktons. Also muss ein hoher Mineralstoffeintrag über die Zuflüsse erfolgen.

zu Material 5:

1. Das Vorbeckenwasser enthält mehr anorganische Stickstoffverbindungen als das Hauptbeckenwasser (Abb. 1). Außerdem ist zu bedenken, dass im Vorbecken (bezogen auf das Wasservolumen) auch noch mehr Stickstoff in Biomasse festgelegt ist als im Hauptbecken.  
Der hohe durchschnittliche Gehalt an Ammonium ist eine Folge der sommerlichen Ammonium-Bildung im Tiefenwasser des Vorbeckens. Unter Sauerstoffverbrauch wird hier die Biomasse des Phyto- und Zooplanktons abgebaut. Bei anaeroben Verhältnissen wird Nitrat in Ammonium und dieses wiederum in den giftigen Ammoniak umgewandelt. Im Hauptbecken dominiert dagegen das Nitrat als anorganische Stickstoffverbindung. Hier wird anfallendes Ammonium unter aeroben Bedingungen nitrifiziert. Die Nitritgehalte sind unter aeroben und anaeroben Bedingungen niedrig, da Nitrit in beiden Fällen schnell weiter umgesetzt wird.  
Das durch den hohen Mineralstoffgehalt verursachte größere Wachstum des Phytoplanktons im Vorbecken zeigt die Abb. 2. Die Entwicklung der Chlorophyllgehalte im Jahresverlauf kann durch die Populationsentwicklungen des Phyto- und Zooplanktons erklärt werden (Räuber-Beute-Beziehungen).
2. Der durchschnittliche Gehalt der zuführenden Bäche, Hesse und Sorpe-Amecke, an N-Verbindungen ist den Zuständen „wenig belastet“ bzw. „mäßig belastet“ zuzuordnen (Abb. 3). Hierbei ist jedoch zu beachten, dass Spitzenwerte höhere Belastungszustände anzeigen. Die Ammoniumgehalte in Hesse und Sorpe-Amecke sind direkt auf den Eintrag organischer Stoffe durch die Gülledüngung zurückzuführen. Die deutlich niedrigeren Mineralstoffkonzentrationen des abführenden Baches Sorpe-Langscheid (Abb. 3), sind darauf zurückzuführen, dass ein Großteil der zugeführten Mineralstoffe in der Talsperre verbleibt. Das abfließende Wasser besitzt also – im Hinblick auf die Aufbereitung als Trinkwasser – höhere Qualität.
3. Im Sommer kommt es durch die Zersetzung abgestorbenen Planktons zu einer erhöhten Sauerstoffzehrung im Tiefenwasser des Vorbeckens. Dies führt zur Minderung der Nitrifikation und zu verstärkter Ammonifikation. Daher sinkt der Nitratgehalt, während der Gehalt des Ammoniaks steigt. Mit Einsetzen der Herbstzirkulation steigt die Sauerstoffsättigung des Tiefenwassers. Nun geht die Ammonifikation zurück und die Nitrifikation wird verstärkt.