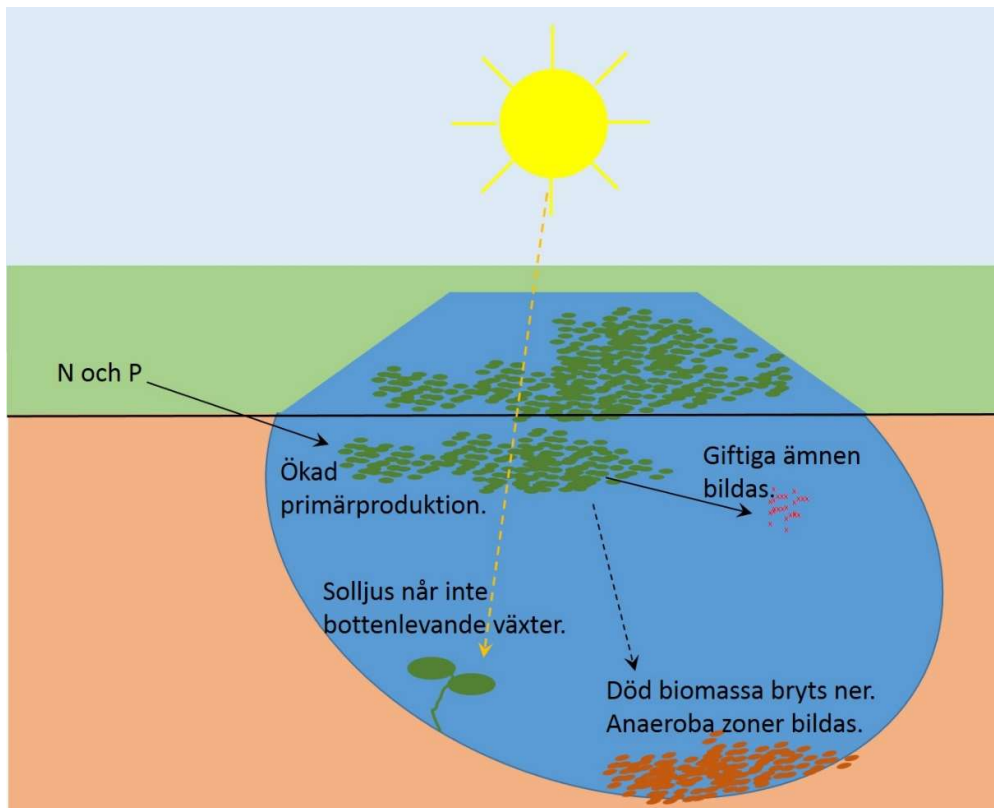


3. NÄRINGSÄMNET

Vanligtvis när vi pratar om näringsämnen menar vi alla de olika ämnen som organismer behöver för att överleva. När det gäller vattenkvalitet är dock begreppet mycket mera specifikt. Här betyder näringsämnen kväve (N) och fosfor (P). Dessa två grundämnen är oftast begränsande för tillväxten av fotosyntetiska bakterier, alger och växter. På grund av att de är så viktiga för växter är de också den huvudsakliga beståndsdel av gödningsmedel. När för stora mängder N och P släpps ut i vattendrag kan det leda till ett miljöproblem som kallas eutrofiering.

3.1 Vad är eutrofiering?

Eutrofiering, även kallad övergödning, uppstår när excess av näringsämnen (N och/eller P) leder till kraftig tillväxt av fytoplankton i vattendrag, sjöar eller hav (Figure 3-1). Fytoplankton är en term som innefattar flera grupper av fotosyntetiska organismer, framför allt cyanobakterier och alger. När kraftig blomning av fytoplankton sker kan det få allvarliga konsekvenser för vattenmiljön. Vattnet blir grumligt och solljus kan inte penetrera till undervattensväxter som därför dör. Vissa cyanobakterier kan producera gifter som kan vara skadliga för växter, djur och människor. De kan även producera ämnen som leder till att vattnet luktar och smakar illa. Detta gör det otrevligt eller rent av farligt att bada i vattnet. Det kan också göra det omöjligt att använda vattendraget som råvatten för dricksvattenproduktion och boskap som dricker vattnet kan dö. Efter blomningen sjunker fytoplanktonen till botten där de bryts ner av mikroorganismer. Detta leder till att syre konsumeras och syrefria, så kallade döda zoner bildas, vilket i sin tur leder till att fisk och bottenlevande djur dör ut.¹



Figur 3-1. Effekter av eutrofiering (övergödning).

Normalt begränsas tillväxten av fytoplankton av tillgången på N eller P. I snitt innehåller fytoplankton 16 N-atomer för varje P-atom. Den här 16/1 kvoten kallas för Redfield-ratio efter Alfred Redfield som upptäckte den år 1934 när han studerade fytoplankton i haven. Generellt kan man därför säga att om N/P kvoten i en vattenmassa är betydligt större än 16 så är P begränsande för tillväxten och om N/P-kvoten är betydligt mindre än 16 så är N begränsande. Behovet av N och P varierar dock för olika organismer. Flera arter cyanobakterier är också kapabla att använda kvävgas från luften som N-källa.

Detta kallas kvävefixering och gör det möjligt för dessa bakterier att växa oberoende av tillgången till lösta kväveföreningar i vattnet.

Eutrofiering är ett stort problem i världen och i Sverige är eutrofieringen av Östersjön ett välkänt faktum. Östersjön gränsar till 9 länder och 85 miljoner människor bor inom avrinningsområdet. Jordbruk, industri och andra aktiviteter bidrar till utsläpp av N och P. År 2010 uppskattades det att Östersjön tog emot cirka 977 000 ton N och 38 300 ton P.² Eutrofieringen av Östersjön har uppmärksammats sedan 1960-talet och kraftiga blomningar av fytoplankton är ett återkommande problem under sommarmånaderna.

3.2 Vad är kväve och varifrån kommer det?

Kväve är ett grundämne med atomnummer 7 i det periodiska systemet. I naturen förekommer kväve i många olika former (Tabell 3-1). Den vanligaste formen är kvävgas (N_2). Luft innehåller cirka 78% N_2 . De kväveföreningar som är av störst relevans för vattenkvalitet är markerade med kursiv stil i Tabell 1. Dessa är:

- *Organiskt kväve*: Många organiska föreningar innehåller kväve. Kväve utgör ungefär 7-12% av massan i prokaryoter (vatten borrhänt).⁴ Proteiner har ett högt kväveinnehåll på cirka 16%. Urea ($CO(NH_2)_2$) är en organisk kväveförening som finns i urin.
- *Ammonium (NH_4^+) och ammoniak (NH_3)*: När organiska kväveföreningar bryts ner frigörs ammonium (NH_4^+) eller ammoniak (NH_3). NH_4^+/NH_3 är ett syra-bas par som har ett pKa-värde på cirka 9,3. Det betyder att vid ett pH på 9,3 så är koncentrationerna av NH_4^+ och NH_3 exakt lika stora i en vattenlösning. Om pH är under 9,3 så dominerar NH_4^+ och om pH är över 9,3 så dominerar NH_3 . NH_4^+ är ett näringsämne som t.ex. kan tas upp av växter. NH_3 är dock ett giftigt ämne. Även låga koncentrationer på några få mg/L kan vara dödliga för fisk.³
- *Nitrit (NO_2^-)*: Under aeroba förhållanden kan vissa mikroorganismer leva genom att oxidera NH_4^+ till NO_2^- . NO_2^- kan också bildas när andra mikroorganismer reducerar NO_3^- till NO_2^- .
- *Nitrat (NO_3^-)*: Under aeroba förhållanden kan vissa mikroorganismer leva genom att oxidera NO_2^- till NO_3^- . Både NO_2^- och NO_3^- kan också bildas när NO och NO_2 reagerar med vatten i atmosfären. Detta leder även till surt regn.

Kväveföreningar i vatten kommer från flera olika källor. Avrinning av gödningsmedel från åkermark och avföring från boskap är diffusa källor som kan vara svåra att kontrollera. Gödningsmedel innehåller ofta kväve både i form av NH_4^+ och NO_3^- . Ofta föredrar man ofta att tillsätta kväve i form av nitrat. Det är en jon som lätt kan tas upp och omvandlas till organiskt kväve av växter. Dessutom finns risk att NH_4^+ omvandlas till NH_3 vilket kan avgå som gas. Kommunalt och industriellt avloppsvatten kan innehålla höga halter kväveföreningar, till största delen i form av NH_4^+ och organiskt kväve. Dessa kan dock till stor del avskiljas från vattnet i moderna reningsverk. Förbränningsprocesser bidrar också till kväveföreningar. Kväveoxider (NO och NO_2) bildas. Trafiken orsakar det mesta av utsläppen. I atmosfären reagerar kväveoxiderna med vatten vilket leder till surt regn innehållande nitrit- och nitratjoner.

Tabell 3-1. Olika former av kväve i naturen.

Kväveförening	Oxidationstal
Organiskt kväve	-3
Ammonium (NH_4^+)	-3
Ammoniak (NH_3)	-3
Hydrazin (N_2H_4)	+1
Kvävgas (N_2)	0
Lustgas (N_2O)	+1
Kvävemonoxid (NO)	+2
Nitrit (NO_2^-)	+3
Kvävedioxid (NO_2)	+4
Nitrat (NO_3^-)	+5

När vi mäter koncentrationer av kväveföreningar i vatten kan vi mäta:

- TN ("total nitrogen"): totala koncentrationen kväveföreningar
- TAN ("total ammonia nitrogen"): totala koncentrationen av NH_4^+ and NH_3 . Om vi vet vattnets pH så kan vi räkna ut koncentrationerna för NH_4^+ respektive NH_3 .
- NO_2^- : Nitritkoncentrationen
- NO_3^- : Nitratkoncentrationen
- TIN ("total inorganic nitrogen"): $TIN = TAN + NO_2^- + NO_3^-$
- TKN ("total Kjeldahl nitrogen"): Koncentrationen TAN plus koncentrationen organiskt kväve. Metoden för att mäta mängden kväve i organiskt material utvecklades av den danske kemisten Johan Kjeldahl år 1883, därav namnet TKN.

När man mäter koncentrationen kväve i vatten är det viktigt att vara tydlig med enheterna. T.ex. kan koncentrationen nitrat i vatten antingen anges som mg NO_3^-/L , mg NO_3^- -N/L eller mM. Om vi antar att vi har en nitrat koncentration på 1 mM så motsvarar detta en koncentration på 62 mg NO_3^-/L eftersom NO_3^- har en molmassa på 62 g/mol. Det motsvarar också en koncentration på 14 mg NO_3^- -N/L eftersom N har en molmassa på 14 g/mol.

3.3 Vad är fosfor och varifrån kommer det?

Fosfor (P) är ett grundämne med atomnummer 15 i det periodiska systemet. I naturen förekommer P främst i form av fosfater (PO_4^{3-}) eftersom grundämnetsformen (P) är mycket reaktiv. Fosfaterna är ofta bundna i mineraler, t.ex. apatit. För levande organismer spelar fosfat en viktig roll. P utgör ungefär 2-3% av massan i prokaryoter (vatten borträknat).⁴ Den molekyl som främst används i levande celler för att lagra energi kallas adenosintrifosfat (ATP) och innehåller tre fosfatgrupper. När en av fosfatgrupperna dissocierar från ATP-molekylen blir energi tillgänglig för cellen. Fosfat är också en beståndsdel av DNA.

Som vattenförening förekommer P som fria fosfatjoner eller bundet till organiskt material eller mineraler. P kommer från ungefär samma källor som N, dvs avrinning av gödningsmedel från jordbruk och avloppsvatten. Till skillnad från N så är P inte speciellt volatil, så nederbörd bidrar inte mycket till P-föreningar. När det t.ex. gäller inflödet av näringsämnen till Östersjön så bidrog nederbörden med 22% av N och cirka 5% av P år 2010.²

Vi mäter antingen koncentrationen fosfatjoner (PO_4^{3-}) eller totalfosfor (TP). PO_4^{3-} kallas också ortofosfat. I vatten kan det förekomma som fosfat (PO_4^{3-}), vätefosfat (HPO_4^{2-}), divätefosfat (H_2PO_4^-), och fosforsyra (H_3PO_4). Vid neutralt pH dominerar formerna HPO_4^{2-} och H_2PO_4^- . När vi mäter fosfatkoncentrationen i vatten är det viktigt att vara tydlig med enheterna. Koncentrationen kan anges som mg $\text{PO}_4^{3-}/\text{L}$, mg $\text{PO}_4^{3-}\text{P}/\text{L}$ och mM. Om vi har en koncentration på 1 mM så motsvarar detta 95 mg $\text{PO}_4^{3-}/\text{L}$ eftersom PO_4^{3-} har en molmassa på 95 g/mol. Det motsvarar också 31 mg $\text{PO}_4^{3-}\text{P}/\text{L}$ eftersom P har en molmassa på 31 g/mol. TP inkluderar allt P som finns i vattnet. De reningskrav som gäller för avloppsvatten avser vanligtvis TP-koncentrationen.

Referenser

1. Chislock, M. F., Doster, E., Zitomer, R. A. Wilson, A. E. (2013). Eutrophication: causes, consequences, and controls in aquatic ecosystems. Nature Education Knowledge 4(4): 10.
2. Helcom (2015). Updated Fifth Baltic Sea pollution load compilation (PLC-5.5). Baltic Sea Environment Proceedings No. 145.
3. Randall, D. J. Tsui, T. K. N. (2002). Ammonia toxicity in fish. Marine Pollution Bulletin 45(1–12): 17-23.
4. Rittmann, B. E. McCarty, P. L. (2001). Environmental biotechnology: Principles and applications. New York, McGraw-Hill.

3. ÖVNINGAR

Ö3-1. Varför ökar tillväxten av fytoplankton vid utsläpp av kväve och fosfor till vattnet?

Ö3-2. Antag att i en sjö är TN-koncentrationen 12 mg/L och TP-koncentrationen 0.2 mg/L. Vilket näringsämne är troligtvis begränsande för tillväxten av fytoplankton?

Ö3-3. I en sjö är TN-koncentrationen 8 mg/L och TIN-koncentrationen 6,5 mg/L. Vad är koncentrationen organiskt kväve i vattnet?

Ö3-4. Ungefär hur mycket kväve och fosfor finns bundet i 25 kg torkade alger?

Ö3-5. Nitritkoncentrationen i ett vatten är 25 $\mu\text{g NO}_2^-/\text{L}$. Ange koncentrationen i μM och $\mu\text{g NO}_2^-/\text{L}$.

Ö3-6. Fosfatkoncentrationen i ett vatten är 23 $\mu\text{g PO}_4^{3-}\text{-P}/\text{L}$. Ange koncentrationen i μM och $\mu\text{g PO}_4^{3-}/\text{L}$.

Ö3-7. Varför tror du att övergödning är ett mindre problem på västkusten jämfört med i Östersjön?

FACIT

3. ÖVNINGAR

Ö3-2. Svar: Fosfor (jämför med Redfield ratio)

Ö3-3. Svar: 1,5 mg/L

Ö3-4. Svar: Ungefär 1,75-3,0 kg N och 0,5-0,75 kg P (om vi antar att alger har ungefär samma N- och P-innehåll som prokaryoter).

Ö3-5. Svar: 0,54 μM eller 7,6 $\mu\text{g NO}_2\text{-N/L}$.

Ö3-6. Svar: 0,74 μM eller 70 $\mu\text{g PO}_4\text{³⁻/L}$.