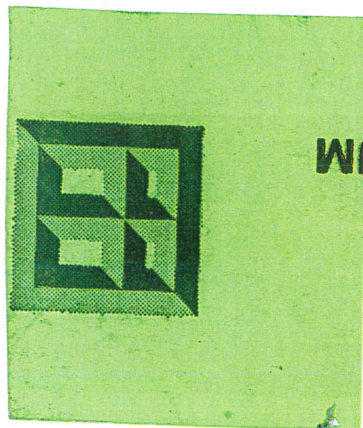


NATURSYN – ØKOLOGI FOR VALGHOLD

Bent Rasmussen



NUCLEUS



ter som sandart (en aborreslægtning) og ørred.

Set med en lystfiskers øjne er den oligotrofe sø en ideel sportsfiskersø da der er de rigtige fisk, og der skal arbejdes for at fange dem; der er nemlig langt imellem dem. Den oligotrofe søs organismer er så fåtalige at oxygenmængden i vandet er rigelig til at klare nedbrydningen af dem når de dør og synker til bunden. Anaerobe tilstande ses derfor sjældent i sådanne søer. Når nu næringsstofferne er så få, er det vigtigt at der økonomiseres med dem, derfor genbruges de i stor stil. Hvordan naturen holder hus med næringsstofferne i den oligotrofe sø vil vi nu se nærmere på, med fosfor som eksempel.

Fosforkredsløbet

Fosfor er et vigtigt grundstof idet det indgår i ATP og i alle organismers arvemateriale, DNA. Fosfor må derfor være til stede, og nødvendigvis genbruges, se figur 31. I naturen findes fosfor i form af *fosfat*, PO_4^{3-} . Dette er en ion der kan bindes i både organiske og uorganiske forbindelser. Fosfat findes opløst i små mængder i vandet hvorfra planterne optager det, og indbygger det i sit eget plantevæv. Fosfaten er dermed bundet så længe den er i organismen. Ædes planten af en herbivor indbygges fosfaten blot på samme måde i den nye organisme som del af DNA eller i knoglerne. Først når en plante eller et dyr dør og nedbrydes af bakterier, frigøres fosfaten atter til vandet, og en ny cyklus kan begynde.

Fosfaten kan dog også bindes som et tungtopløseligt salt på søbunden hvorfra det så senere kan frigøres. I en oligotrof sø er der ligevægt mellem det fosfat der bindes i bunden, og det der frigøres. Derved kan plantemængden blive den samme fra år til år.

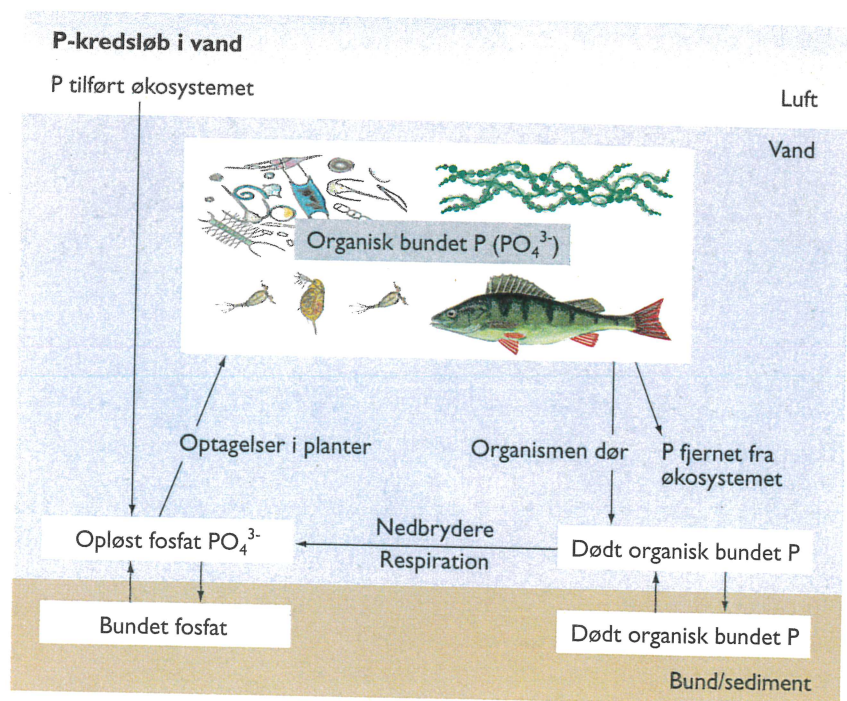
Døde blade o.l. fra skovens træer kan tilføre søen mere fosfat, mens fiskeren, fiskehejren eller isfuglen til gengæld fjerner noget med de fisk de fjerner fra økosystemet.

Da der er flest planter ved bunden af den oligotrofe sø, sker mineraliseringsprocesserne især her. Dvs. at næringssaltene hovedsagelig frigøres ved bunden, og de optages derfor også mest af bundplanterne. Der er kun få næringssalte tilovers til de encellede alger i de frie vandmasser, og det er årsagen til de få alger samt til en stor sigtddybe.

Som det ses, er den oligotrofe sø kendetegnet ved en stor grad af stofcirkulation inden for økosystemets egne rammer. Søen tilføres kun ganske få næringsstoffer enten direkte eller indirekte i form af nedfaldne blade fra omgivelserne.

Ligeledes fjernes kun få næringsstoffer fra søen i form af fangede fisk eller ved ud-

Figur 31. Fosforkredsløbet i en oligotrof sø. I bunden er fosfat bundet som tungtopløselige uorganiske salte fx $FePO_4$. Disse stoffer er især tungtopløselige under aerobe forhold. Ikke mineraliserede døde dyr og planter der udgør en del af slammet indeholder en del fosfor bundet i DNA og knogler, dette kaldes dødt organisk bundet fosfor.



vaskning. Disse betragtninger gælder også for N-kredsløbet som gennemgås senere.

Den oligotrofe søtype er i dag meget sjælden i Danmark, men kan dog stadig opleves. Lav fx en udflugt til Slåen Sø, se figur 32, Hampen Sø eller Madum Sø og læg mærke til det klare vand og livet i og omkring dem. Søer i nåleskove er ofte *dystrofe* en sjælden søtype i Danmark, der ikke berøres nærmere.

Opgave 2.17

Forklar P-kredsløbet for dig selv.

Opgave 2.18

Se på et kort, evt. de kort med naturstier der er udgivet af Skov- og Naturstyrelsen over Hampen sø og Slåen sø og beskriv søomgivelsernes til- og fraløb, og forklar hvorfor disse søer stadig er oligotrofe. Skaf jer følgende foldere på biblioteket: Vandreture i statsskovene nr. 99 og 12 (Palsgårdskov og Slåen sø; fås på biblioteket eller tlf. 39272000 evt. www.sns.dk).

Figur 32. En god dag ved Slåen Sø.



Og det mindre rene vand

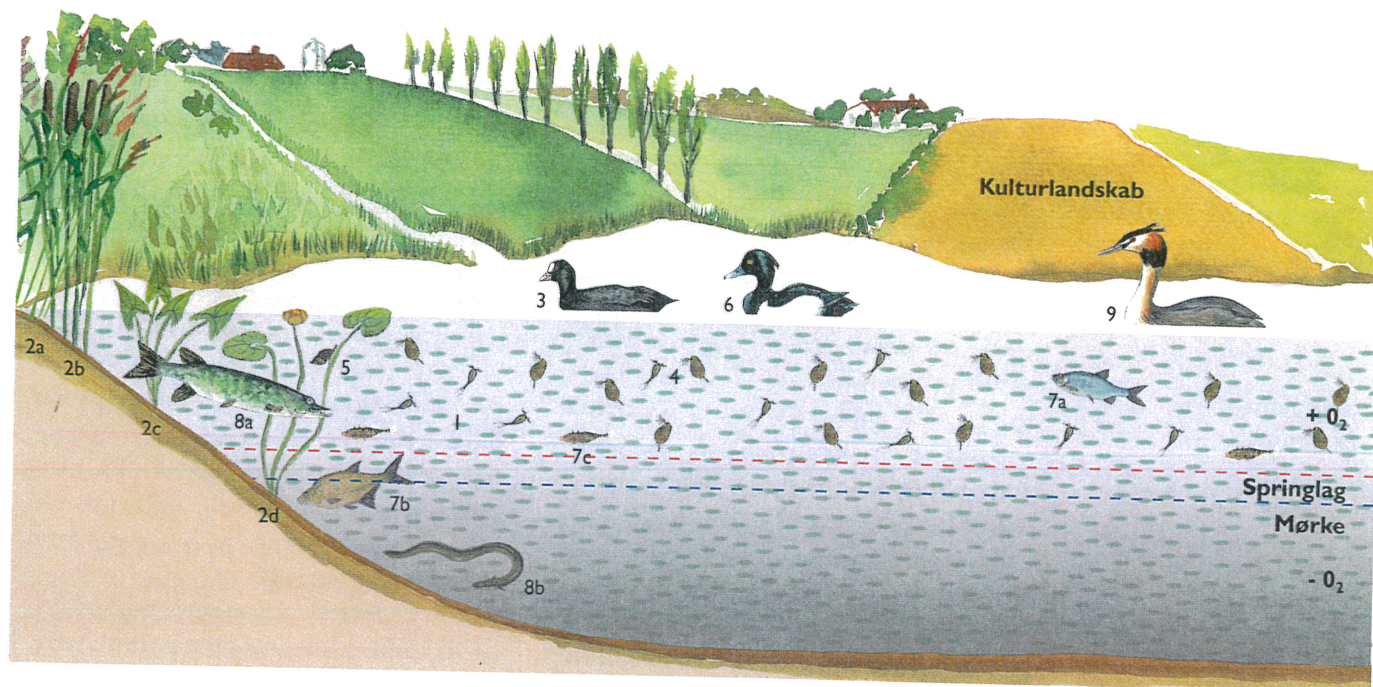
Når vi dyrker marker følges dette af en større eller mindre udvaskning af næringsalte især nitrat. Nitraten følger drænvandet og grundvandets bevægelser mod vandløb og søer. Når søer og vandløb tilføres næringsalte, siger man at de eutrofieres, deraf navnet den *eutrofe* sø. Er næringsstoftilførslen lille, som den fx var i stenalderen, betyder det blot at der bliver flere af alle de typiske rentvandsorganismer, og stenalderbonden fik den sidegevinst at han kunne fange flere fisk i søen. I vore dage dyrker vi markerne permanent, og der gødes kraftigt med det resultat at vi kan høste større afgrøder. Der er dog også den sideeffekt at langt større mængder næringsalte udvaskes og tilføres søer og vandløb. Da menneskelig aktivitet i husholdninger og industri også producerer næringsrige affaldsprodukter som havner i de ferske vande, belastes vandmiljøet således mere eller mindre af alle danskere.

Den middel eutrofe sø

Får algerne tid til at udnytte de ekstra tilførte næringsalte, formerer de sig kraftigt. Flere alger i søerne betyder selvfølgelig mere mad til sekundærproducenterne og dermed flere fisk til sportsfiskere og andre. Det er tilsyneladende meget godt da alle får et større udbytte.

Der dukker dog hurtigt problemer op, idet algerne om foråret formerer sig meget hurtigere end både zooplankton, insekter og fisk. Der opstår derfor et algeoverskud som ikke kan spises væk. Når disse overskudsalger dør, synker de mod bunden hvor de som sædvanlig modtages af sultne nedbrydere (bakterier og svampe) som går i gang med at omsætte de døde alger. Til dette kræves oxygen.

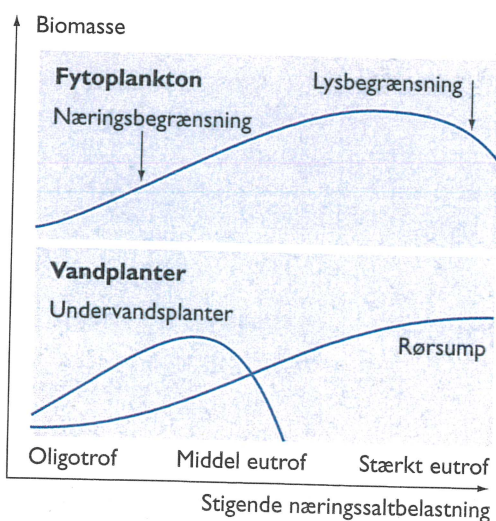
Jo flere døde alger, jo mere oxygen bru-



ges. På et tidspunkt er oxygenet brugt op, og må fornyes oppefra. I søer og vandløb optræder denne situation normalt nogle få mm nede i sedimentet, bundlaget, idet oxygen let med vandets omrøring når bunden, men kun langsomt diffunderer ned i sedimentet.

Befinder vi os i en sø hvor vandet er meget roligt, kan den anaerobe zone være flere cm over bunden. Det betyder at de alger der synker ned efter bundvandet er blevet anaerobt kun kan nedbrydes ved gæringsprocesser med produktion af sumpgasser og sort bundslam til følge. Helt galt bliver det hvis søen er dyb nok til at der om sommeren kan dannes et springlag. Da er oxygenfornyelsen fra overfladen forhindret hele sommeren. De nedre vandmasser kan i lange perioder være helt anaerobe. I disse perioder er alle oxygenkrævende insekter og fisk afskåret fra at leve der, se figur 33.

Den eutrofe søtype er kendetegnet ved flere alger og i det hele taget flere dyr, men de er fordelt på færre arter end i oligotrofe søer. De mange alger skygger for lyset som derved ikke formår at trænge så langt ned, det går så ud over bundplanterne som forsvinder på større dybder, se figur 34.



Figur 33. En forenklet fremstilling af dyr, plantevækst og oxygenforhold i en middel eutrof sø, som er dyb nok til dannelse af springlag. Bemærk at sigtddybden er aftaget, og der er anaerobe forhold ved bunden.

1. Alger. 2. Kant- og bundplanter a. tagrør, b. dunhammer, c. pileblad, d. åkande. 3. Blishøne. 4. Zooplankton. 5. Snegl. 6. Troldeand. 7. Zooplanktonædende rovfisk a. skalle, b. brasen, c. hundestejle. 8. Rovfisk a. Gedde, b. Ål. 9. Toppet lappedykker.

Figur 34. Fordeling af alger, grøde- og bundplanter under stigende eutrofiering.

Efter Sand-Jensen, 1991.

Med de ændrede lys-, grøde-, oxygen- og bundforhold følger selvfølgelig også en ændring i faunaen, se figur 33. Forureningstolerante typer klarer sig, mens dyr med krav om rent vand fortrænges. For fiskenes vedkommende betyder det bl.a. at ørred og laks, som især jager ved hjælp af synet, hæmmes i deres aktiviteter da de får sværere ved at se deres bytte. De får vanskeligere ved at klare sig i konkurrencen med fisk som aborre og gedde som ikke jager i samme grad ved synet, men står stille i grøden og venter på at byttet svømmer forbi (sammenlign fiskenes camouflagefarver på figur 33 eller 6).

Opgave 2.19

Diskuter figur 33 og 34. Hvilken konsekvens har de mange alger i den eutrofe sø for bundplanterne, zooplankton og ørrederne?

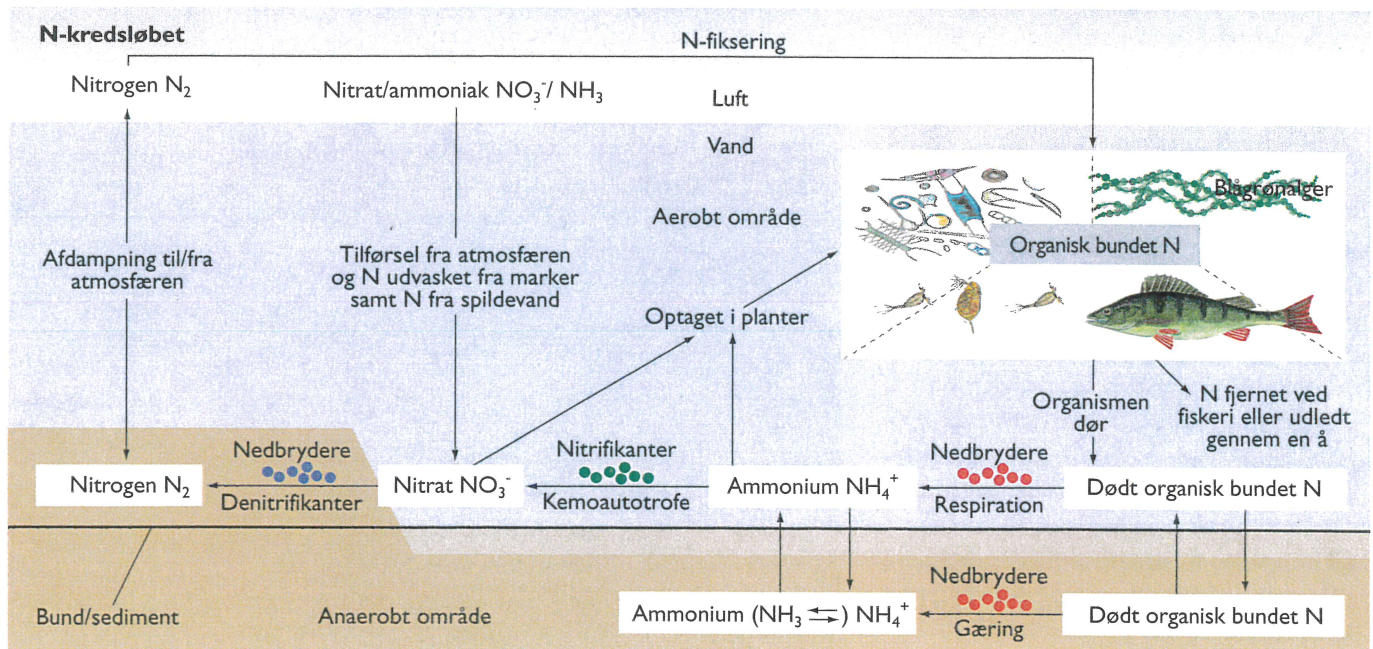
Figur 35. Nitrogenkredsløb i en eutrof sø. Se teksten for forklaring.

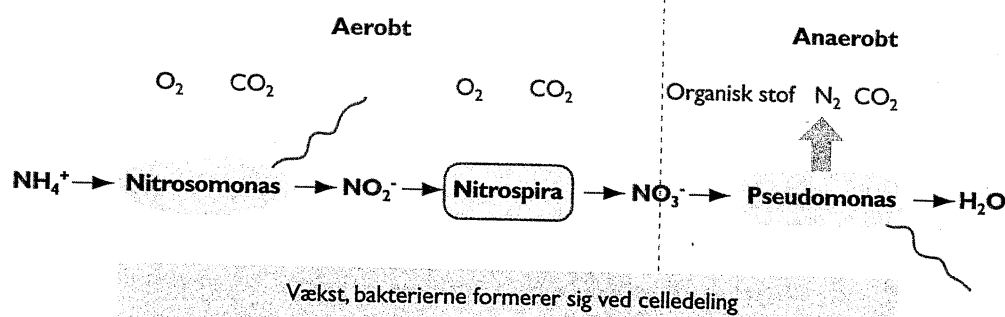
Nitrogenkredsløbet i den eutrofe sø

Nitrogen N er et grundstof som indgår i mange af organismens vigtige stoffer, bl.a. protein, ATP og DNA. I modsætning til fosfor findes N i naturen i flere former, og de forskellige organismer der optræder i N-kredsløbet har vidt forskellige formål med at omsætte N-forbindelser. Lad os se nærmere på N-kredsløbet på figur 35.

For at vokse optager planterne nitrat evt. ammonium fra vandet, og bygger det ind i deres egne molekyler. N genfindes i planter især som protein eller DNA, til sammen kaldet organisk-N. Når et dyr æder planter forbliver N på organisk form, så her sker ingen ændringer.

Når de levende organismer dør, synker de til bunden. Her nedbrydes de af bakterier og svampe ved respiration og det N-holdige affaldsprodukt er ammonium NH_4^+ . Organisk-N er tilbage på mineralisk form, det er mineraliseret.





Figur 36. Udsnit af N-kredsløbet. *Nitrosomonas* omdanner ammonium til nitrit, mens *Nitrospira* foretager den endelige oxidation til nitrat. Under anaerobe forhold, kan fx *Pseudomonas* omdanne nitrat til nitrogen ved denitrifikation.

Organisk stof (protein, DNA) + $\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{NH}_4^+$ + andre næringssalte

Under anaerobe forhold sker mineraliseringen ved gæringsprocesser, se dog også under denitrifikation.

Organisk stof (protein, DNA) $\rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{NH}_4^+$ + sumpgasser

Den dannede ammonium kan enten optages af planterne eller omdannes af nitrificerende bakterier til nitrat. Dannelse af nitrat er en vanskelig proces at forstå og vi vil derfor se nærmere på den. De nitrificerende bakterier udnytter at ammonium er en energirig forbindelse som ved en slags respiration (forbrænding) omdannes til nitrat:

$\text{NH}_4^+ + 2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NO}_3^- + 2\text{H}_3\text{O}^+$
+ energi (ATP + varme)

Processen kan sammenlignes med forbrænding af methan CH_4 til CO_2 i et kraftvarmeverk hvor der også vindes energi ved processen.

Energien (ATP) benyttes så til processen:

Energi (ATP) + $6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$

Den sidste proces genkendes fra fotosyntesen. Disse bakterier benytter blot kemisk energi i stedet for sollys. De kan om man så må sige, udføre fotosyntesen i mørke! Bakterierne er kemoautotrofe - smag på ordet! Man kalder også bakterierne nitrifikanter da de er nitratdannere. Som man kan se, er nitrifikanterne strengt aerobe.

I virkelighedens verden foregår nitrifikationen i to trin idet især bakterieslægterne *Nitrosomonas* og *Nitrospira* tager hver deres del af slæbet, se figur 36.

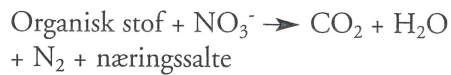
Affaldsstoffet nitrat er også værdifuldt, idet det jo optages af planterne som et vigtigt næringssalt.

Når det gælder den oligotrofe sø, recirkuleres nitrat til planterne ved bunden. Nitrat recirkuleres også i den næringsbelastede sø, men her sker den væsentligste omsætning i de frie vandmasser og det er algerne der nyder godt af nitraten. Hvis der diffunderer nitrat ned i det anaerobe miljø ved bunden, kan noget nitrat der omdannes til frit N_2 nitrogen, som så damper af til atmosfæren. Omdannelsen af nitrat til frit nitrogen kaldes *denitrifikation*.

Processen er vigtig for økosystemet idet nitrogen tabes fra nitrogenkredsløbet ved denne proces. I mange tilfælde vil det dog være et gode for den eutrofe sø, da der så

ikke vil være så meget nitrat til rådighed for algerne som derved vil bremses i deres vækst.

Denitrifikationen skyldes at der i den anaerobe zone blandt nedbryderne findes bakterier som i tilfælde af oxygenmangel, forenklet sagt, er i stand til at overleve på oxygen bundet i nitrat, se figur 35 og 36. (For mere korrekt forklaring se under *Denitrifikation* i Ordforklaring). Denitrifikation eller nitratrepiration:



At denitrifikationen alligevel ikke bevirker at søen igen bliver oligotrof, hænger sammen med at denne søtype er kulturpåvirket, og at der ud over nitrogenholdige næringssalte også tilføres fosfat. Normalt kræver alger både nitrat og fosfat, samt andre næringssalte for at formere sig, så hvis nitrat på denne måde kan blive en mangelvare, vil det hæmme algevæksten. Det sker

også, men det betyder blot at en ny type organisme indfinder sig, nemlig *blågrønalgerne*. Blågrønalgerne besidder den egenskab at de kan klare sig uden nitrat idet de binder (fikserer) luftens nitrogen (N_2), og indbygger den i cellens molekyler. Processen kaldes nitrogenfiksering. Når blot der er rigeligt med fosfat i vandet, og temperaturen er over 20 °C, kan blågrønalgerne klare sig uden nitrat. I sensommeren opstår der nitrattmangel i mange eutrofe søer over springlaget. Blågrønalgerne blomstrer derefter op, og kan optræde i store mængder. Fænomenet kaldes vandblomst. Ved denne proces tilføres der atter organisk nitrogen til de i forvejen hårdtbelastede eutrofe vande. Enhver, der har sejlet på en eutrof sø i august, har bemærket at vandoverfladen ser ud som var den fyldt med hakket grønkål - det er vandblomst.

Der tilføres årligt alle økosystemer en lille mængde nitrat og ammoniak som dannes i atmosfæren under elektriske udladninger når det er tordenvejr. I vore dage

Figur 37. Maleri af Peder Mønsted (1859-1941): Sommerstemning ved en skovsø i 1902. Maleriet viser bl.a. at stærkt eutrofe søer også fandtes for 100 år siden, da der flyder et tæt tæppe af andemad på store dele af søfladen. Der ligger antagelig en bebyggelse bag kunstnerens ryg.

Kilde: Bruun Rasmussen
Auktionskatalog.



damper en del ammoniak af fra landbrugets gylletanke som også bidrager til denne pulje, ligesom de ferske vande modtager nitrat fra både spildevand og landbrugets afdræning af marker, se figur 37. Desuden kan N tilføres i form af blade der falder i vandet fra skovens træer. Fra økosystemet kan der også fjernes N ved at der fiskes i søen, eller hvis et vandløb fører fra søen.

Nitrogenkredsløbet fungerer på tilsvarende måde i oligotrofe søer, blot er nitrogenfiksering og denitrifikation af underordnet omfang. N-kredsløbets enkelte trin genfindes også i terrestriske økosystemer hvilket vi vender tilbage til.

De tidligere beskrevne fosforforbindelser cirkulerer selvfølgelig også i eutrofe vande på tilsvarende måde som i oligotrofe søer, der er dog en tendens til at tungtopløselige fosfater som er bundet i bundslammet kan frigøres under anaerobe forhold. Den således frigjorte fosfat er af stor betydning for blågrønalgernes dominans i nogle eutrofe søer i august-september.

Opgave 2.20 (gruppeopgave)

Beskriv nitrogenkredsløbet for hinanden i gruppen. Husk at alle omsætninger er til fordel for de organismer der udfører processerne.

Finder nitrifikation og denitrifikation sted under anaerobe eller aerobe forhold?

Stærkt eutrofe søer – Tusindbrødræsamfund

Bliver søen endnu stærkere eutrofieret, aftager også antallet af rovfisk som aborre og gedde. Resultatet bliver at zooplanktonspisende fisk som skalle og brasen kan forme sig og vokse uden jagttryk hvorefter de

stort set opgræsser alt zooplankton.

Faunaen vil nu domineres af alger og zooplanktonspisende fisk der ikke har den store interesse som spisefisk i vor del af EU. Man kan sige at fødekæden er brudt. Man kalder det et tusindbrødræsamfund idet der findes mange skaller og brasen, men de er små, og de sulter.

Vi har tidligere set at fødenettet kan være temmelig kompliceret, se figur 6 side 14. Fødenettet kompliceres yderligere af at forskellige arter befinder sig på forskellige trofiske niveauer i forskellige alderstrin, et forhold der får konsekvens for den stærkt eutrofe sø.

Lad os tage aborren som eksempel. Aborre ynglen lever af zooplankton (dafnier og vandlopper) indtil aborren er så stor at energiudbyttet ved at spise de nu langt mindre zooplanktonorganismer er for lille, det kræver mere energi at fange en dafnie end aborren får ud af at spise den - skidt forretning!

På dette tidspunkt skifter de halvstore aborrrer fødegrundlag og falder over de noget større røde dansemyggelarver som lever på bunden af søen, ofte i store mængder. Når ynglen er ca. 20 cm gentager historien sig, og aborrrerne søger op i de frie vandmasser og lever resten af livet som fiskespisende rovfisk. At leve af andre fisk kræver at jægeren har en vis størrelse, så det må siges at være en praktisk inddeling af aborrens livscyklus. En anden gevinst ved dette arrangement er at de store rov-aborrrer sjældent støder på de mellemste aborrrer da de jo lever ved bunden, derved undgås kannibalisme.

Der er et svagt led i denne kæde, og det er aborre ynglen som lever af zooplankton. I stærkt eutrofe søer oplever de stor konkurrence fra dafnie- og vandloppespisende specialister som skalle og brasen. De er