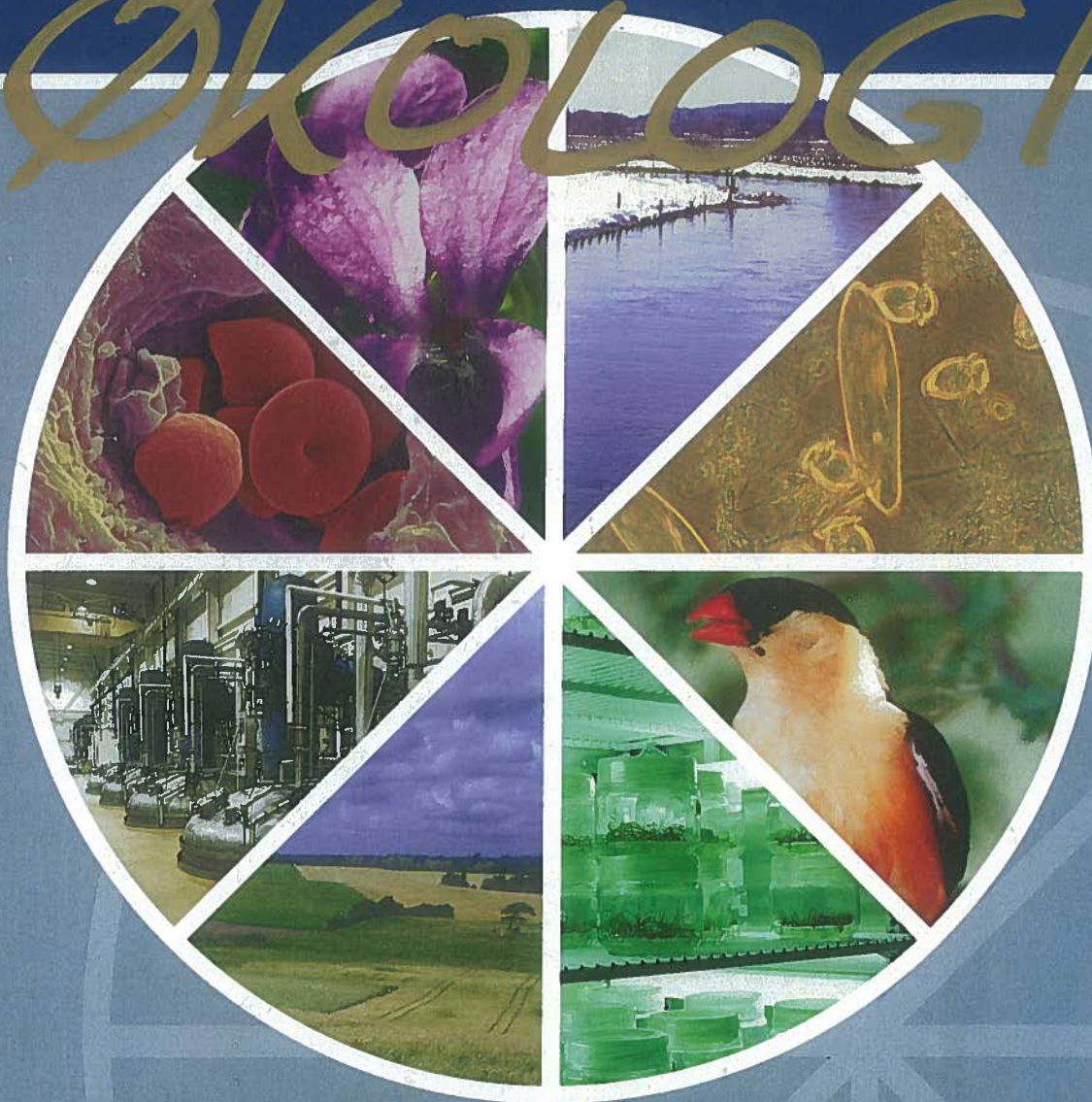


KR Følgende
LONE ALS EGEBO
PAUL PALUDAN-MÜLLER
KRESTEN CÆSAR TORP
STEEN USSING

2. udgave

Biologi til tiden

ØKOLOGI



nucleus 

En rig natur

I august 2001 offentliggjorde Wilhjelmudvalget, som var blevet nedsat af regeringen, rapporten „En rig natur i et rigt samfund“.

I rapporten foreslog udvalget blandt meget andet, at der skulle etableres nationale naturområder, for at sikre sjældne og truede arter samt hele økosystemer hvor de

naturlige økologiske processer forløber mere frit. I løbet af 2002–2004 startede man så pilotprojekter i områderne Lille Vildmose, Læsø, Mols Bjerger, Møn, Kongernes Nordsjælland, Thy og Vadehavet. Mange mennesker har interesser i disse områder. Det kan være landmænd eller andre der driver erhverv, det kan være be-

117



Figur 162. Tofte Skov i Lille Vildmose i Nordjylland. Lille Vildmose hører til et af de sammenhængende naturområder som er udpeget til pilotprojekt for en kommende nationalpark. Det omfatter bl.a. Mellemeuropas største tilbageværende højmose.

boerne eller dem der bruger områderne til rekreative formål.

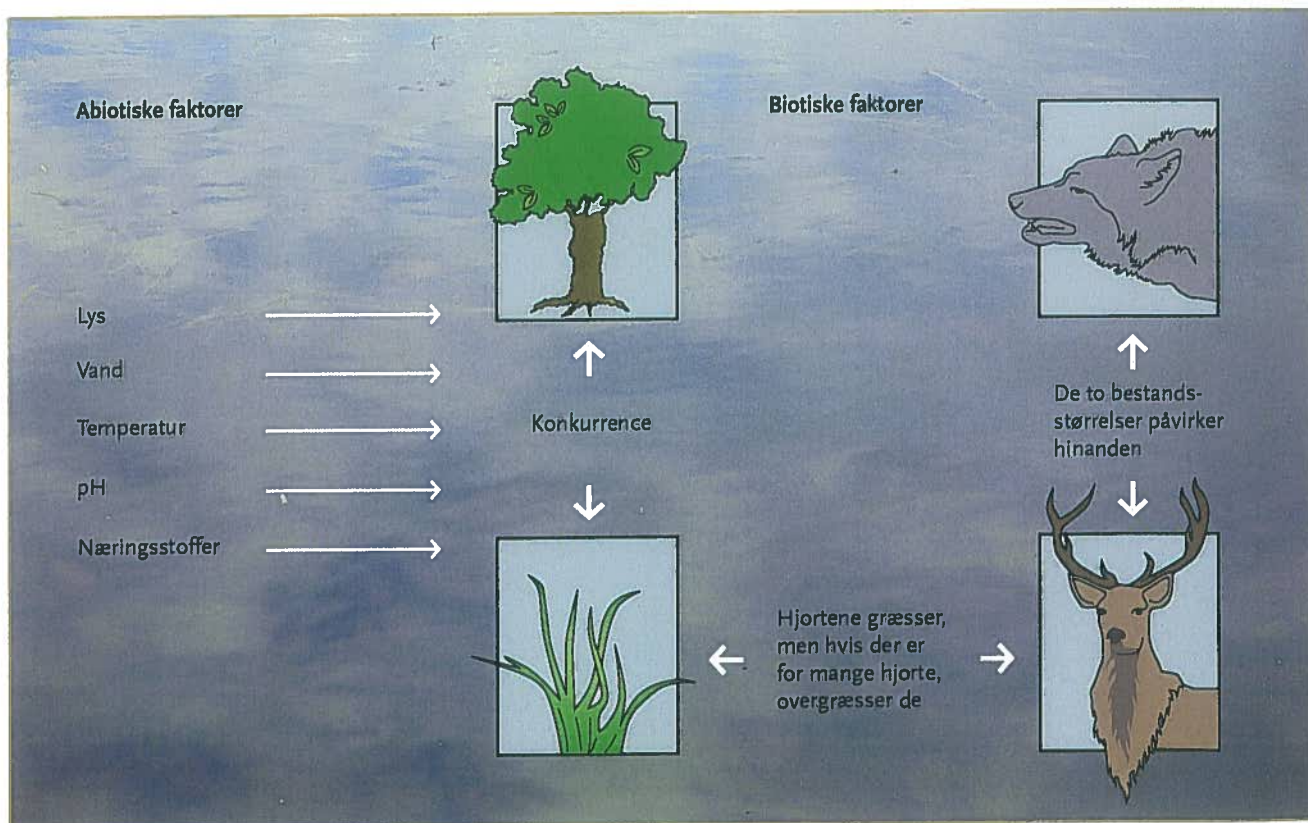
Naturparker kommer kun til at udgøre en lille del af Danmarks areal. Langt den største del af vores plante- og dyreliv lever i landskaber som formes af os, med byer, veje, landbrug, skovbrug og områder som benyttes til indvinding af råstoffer eller rekreative formål. ?

De fleste har en klar fornemmelse af at planter og dyr møder synlige problemer i form af manglende levesteder, eller de har svært ved at spredes til nye områder. De trues imidlertid også på måder vi ikke umiddelbart lægger mærke til. Vi kan godt sikre dem bedre levesteder. Det kræver imidlertid viden om de enkelte arters biologi og viden om sammenhænge og processer i økosystemerne.

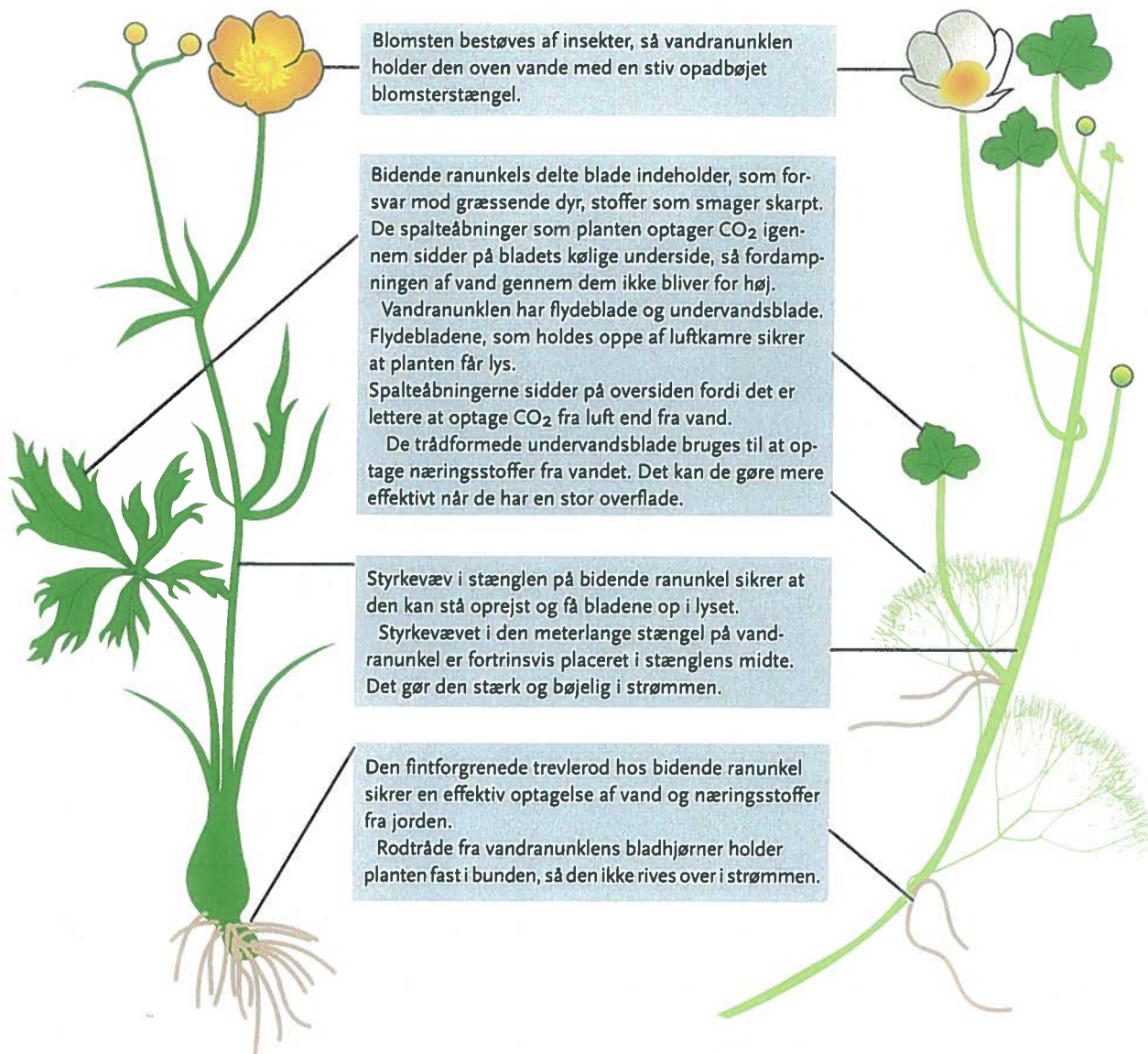
Dette kapitel vil fokusere på netop disse sammenhænge. Først vil vi se på nogle af de sammenhænge, processer og levende organismer som karakteriserer økosystemer. Senere i afsnittet følger vandløbet og søen som eksempler.



Figur 163. Det danske landskab som vi oftest ser det, er et kulturlandskab, hvor naturen bærer afgørende præg af menneskets aktiviteter.



Figur 164. Abiotiske og biotiske forhold i økosystemet.

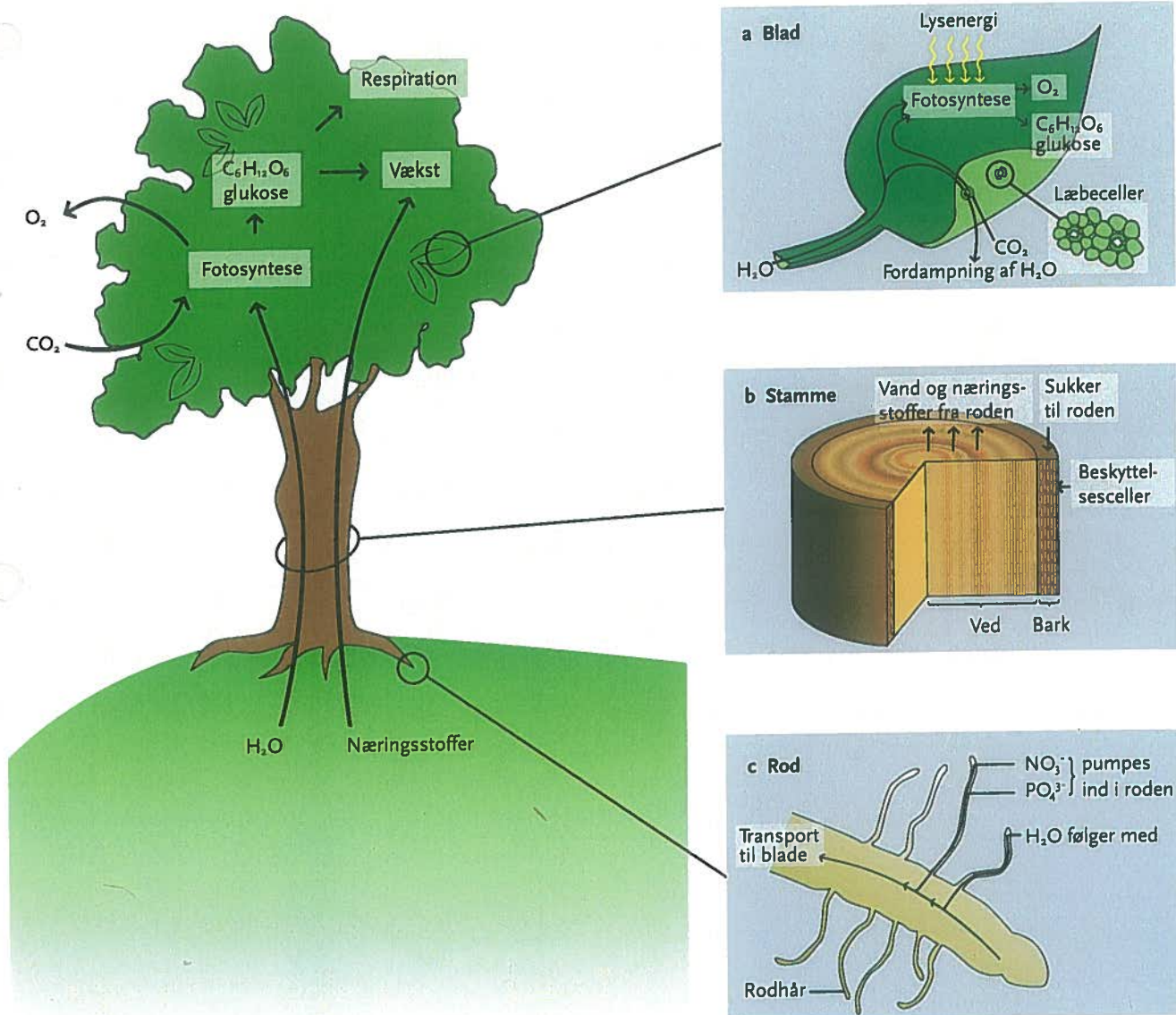


Figur 165. Eksempel på hvordan planter fra samme plantefamilie kan have forskellige bygningstræk som er tilpasset deres levested. Bidende ranunkel findes ofte på græsningsarealer og i grøfter, mens vandranunkel lever i åer og søer.

► Økosystemers struktur

Et økosystem er et afgrænset område i naturen, hvor der sker et samspil mellem levende organismer og deres omgivende miljø, se figur 164. Et økosystem kan være en sø, en skov eller en hede, men man kan også anskue hele jorden som et samlet økosystem. De fysiske og kemiske forhold kan variere i det omgivende miljø. Der kan være forskelle i temperatur, lys, fugtighed, jordens struktur osv. Disse forhold kaldes de ikke levende eller abiotiske vækstfaktorer. For at klare sig på leve-

stedet må en plante kunne overleve, vokse og formere sig under de abiotiske forhold, se figur 165. Den skal imidlertid også kunne gøre det bedre end de arter den konkurrerer med. De højeste planter vil eksempelvis ofte skygge for de lavere. Hvis der er tørt vil planter med mere effektive rødder vinde i konkurrencen om vand. Planterne skal også kunne overleve eller forsvare sig mod at blive ædt. Konkurrence og græsning er eksempler på vækstfaktorer der skyldes samspillet mellem de levende organismer. De kaldes også de biotiske vækstfaktorer. ⚠



Figur 166. Planternes opbygning kan generelt opdeles i rod, stængel, blade og blomst. Fotosyntesen sker i plantens grønne dele, først og fremmest i bladene (a). Stængelen, eller stammen, transporterer vand og næringsstoffer til bladene og sukker til roden (b). Planten optager uorganiske næringsstoffer gennem roden (c).

Planter – økosystemets producenter

Solen tilfører økosystemet energi i form af lys.

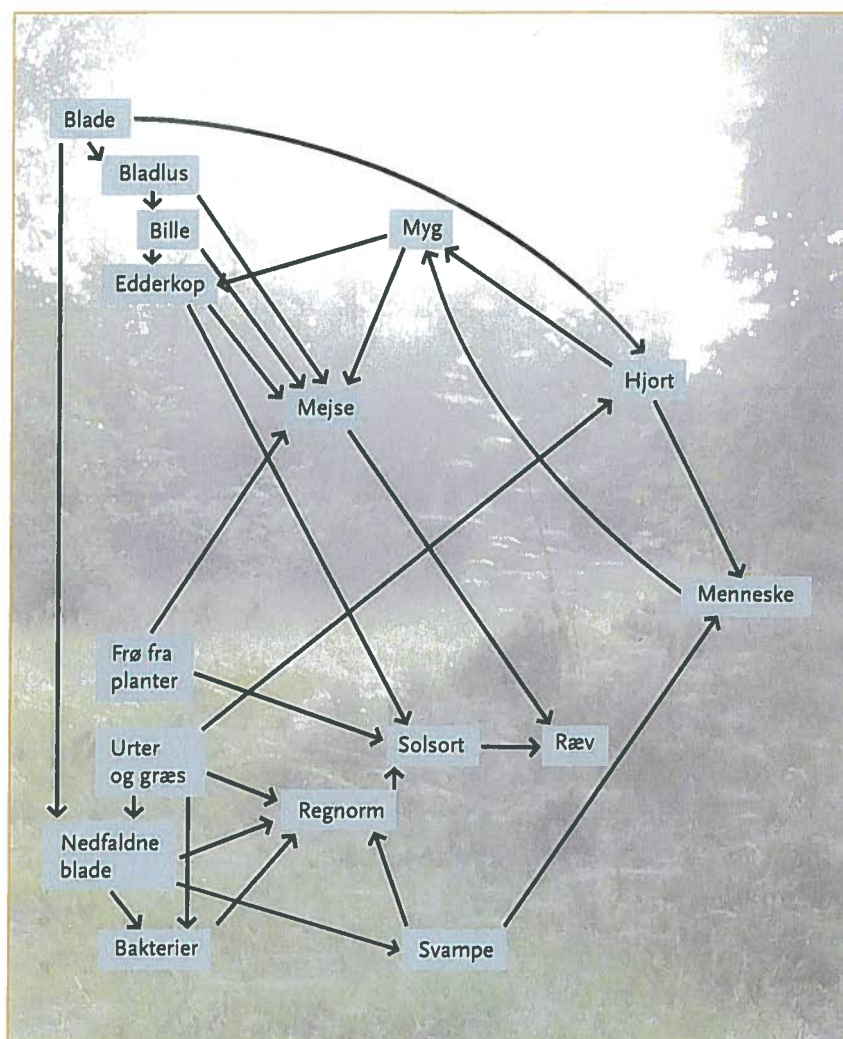
Planterne kan udnytte lysenergien til at danne kulhydratet glukose, se faktasiden **Kulhydrater** side 26, ud fra kuldioxid og vand. Det foregår i plantecellernes grønkorn ved fotosyntese, se figur 166 og faktasiden om **Fotosyntese, respiration og vækst**. Fordi planterne er det første produktionsled i fødekæden, kaldes de også for primærproducenter.

Den glukose som planten danner, bruges som bygge-

sten til dens vækst. En del af glukosemolekylerne bygges sammen til stivelse, plantens lagerstof. Stivelsen findes som mikroskopiske korn i plantecellerne, og ophobes ofte i forrådsorganer som vi kender det fra knoldene hos kartoffelplanten. Når planten skal bruge glukose, kan den spalte stivelsen igen og anvende den. Glukose kan også sættes sammen til kulhydratet cellulose som plantecellernes vægge består af. Andet omdannes til fedt i form af planteolier eller til protein, se faktasiderne **Fedtstoffer** og **Proteiner**, side 27 og 28, samt til DNA og andre stoffer.

De stoffer som planten opbygger på denne måde kaldes under et for organiske stoffer. De indeholder alle grundstofferne C, O og H (kulstof, ilt og brint). Herudover indeholder nogle af de organiske stoffer grundstoffer som N (kvælstof) og P (fosfor). Det gælder fx protein som indeholder N, og DNA og ATP som begge indeholder både N og P. For at opbygge disse stoffer skal planten således bruge nitrat (NO_3^-) og fosfat (PO_4^{3-}), som den optager fra jorden, se figur 166c. Nitrat og fosfat er eksempler på uorganiske ioner, som er næringsstoffer for planten. Hvis planten mangler disse næringsstoffer, kan den ikke danne livsvigtige stoffer og dens vækst hæmmes.

Ud over den glukose planten anvender til vækst, bruger den også noget af glukosen som brændstof. Det sker ved respirationsprocessen i plantecellernes mitokondrier, se faktasiden om **Fotosyntese, respiration og vækst**. Den energi planten får ud af glukosen, bruger den til at drive energikrævende processer i cellerne. Ved respirationen spaltes glukosen igen til kuldioxid og vand.



Figur 167. Fødenet.

Samlet set bliver den glukose planten danner ved fotosyntesen altså brugt til vækst eller til respiration. Ofte omtaler man plantens samlede fotosyntese som dens **bruttoprimærproduktion** (BPP). Tilvæksten omtales som dens **nettoprimærproduktion** (NPP), som er det der er tilbage når respirationen (R) er trukket fra. Dette udtrykkes i en meget nyttig ligning:

$$\text{BPP} = \text{NPP} + \text{R}$$

Økosystemets konsumenter

En del af planterne spises eller græsses af planteædere. Der kan være stor forskel på hvilke planter og hvilke dele af planten de enkelte arter af planteædere udnytter. Nogle arter konkurrerer om græs og urter, mens andre arter som bladlusene suger saft ud af friske skud eller blade.

Planteæderne ædes af rovdyrerne. Forskellige rovdyr æder forskellige planteædere, og mange arter vil skifte mellem forskellige byttedyr i løbet af året. Nogle rovdyr lever af andre rovdyr.

En kortlægning af hvem der æder hvem kaldes økosystemets **fødekæde**. Ofte bruger man ordet **fødenet** for at understrege at der er tale om et netværk af fødekæder, se figur 167.

Fotosyntese, respiration og vækst

Fotosyntese

Fotosyntesen foregår i plantecellens grønkorn, den kræver lys, kuldioxid og vand. Ved hjælp af lysenergi bygges kuldioxid og vand sammen til energirig glukose og ilt. Ilt er fotosyntesens affaldsprodukt, se figur 168.

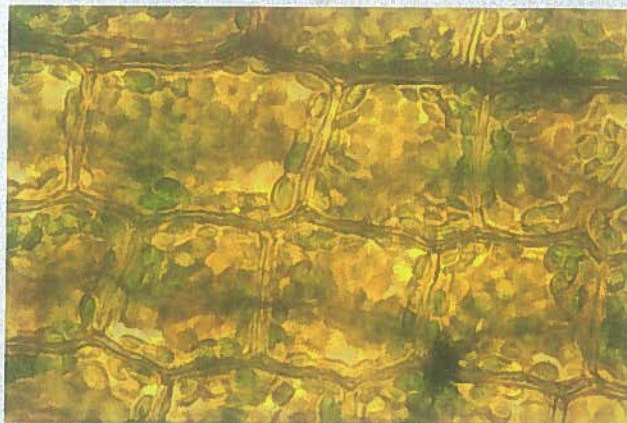


Fotosyntesen kræver altså lys, CO_2 og H_2O . Nogle planter, lysplanter, har mange grønkorn, og kan derfor lave en stor fotosyntese hvis der er lys. De lever bedst på lysåbne steder. Skyggeplanter satser derimod på at være effektive ved lave lysmængder. De har færre grønkorn, men kan have røde og violette hjælpefarvestoffer som sætter dem i stand til at bruge de farver af lys, som de større planter ikke udnytter. Skyggeplanterne findes fx i skovbunden.

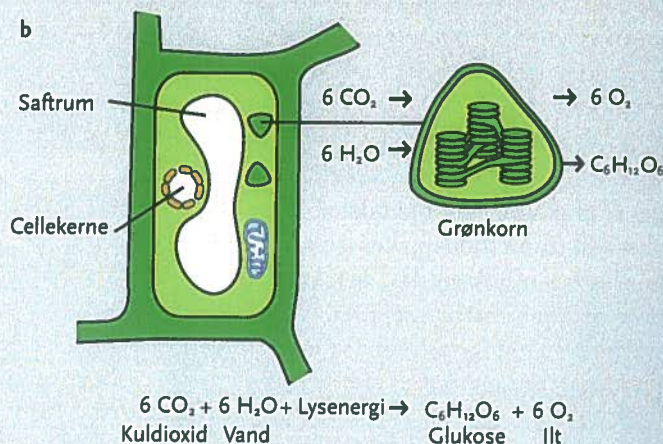
Som det ses på kurverne, øges fotosyntesen kun til et vist niveau, selvom man øger lysmængden yderligere. Herefter flader kurven ud. Dette skyldes enten at grønkornene arbejder på fuld kraft, eller at planten mangler CO_2 eller H_2O .

Glukose fra fotosyntesen (BPP) bruges til respiration (R) eller vækst (NPP).

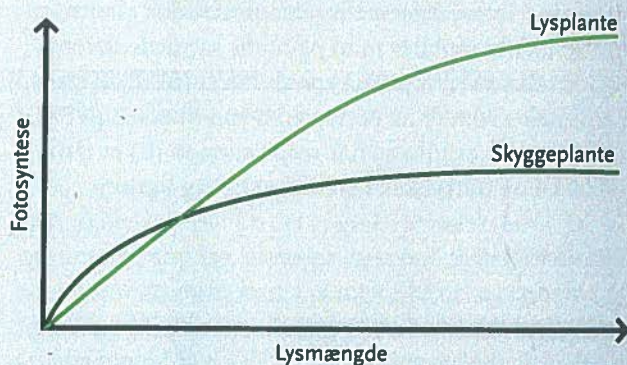
a



b



c



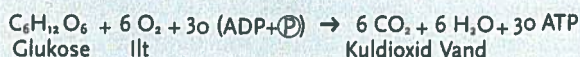
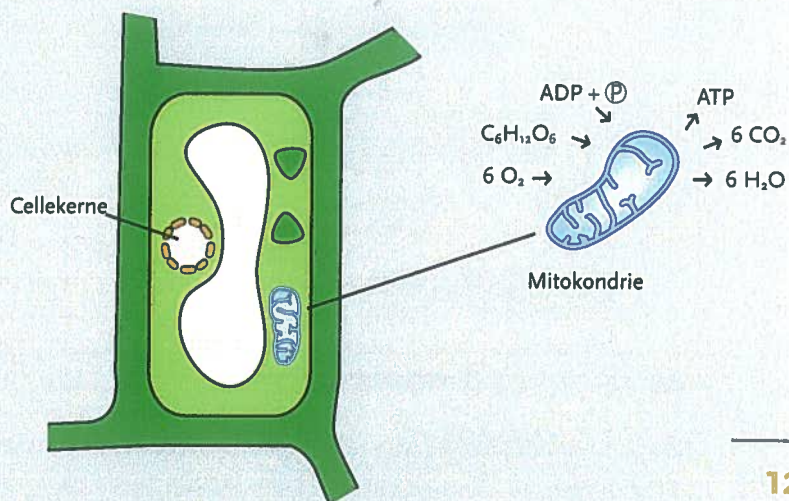
Figur 168. a. Planteceller med grønkorn. b. Skematisk tegning af plantecelle, fotosyntesen foregår i grønkornene. c. Ved lav lysmængde har skyggeplanterne den største fotosynteseaktivitet. Når lysmængden stiger, bliver lysplanterne de mest effektive.

Respiration

Respirationen foregår i mitokondrier der findes i alle plantens celler, se figur 169. Her spaltes glukosen under iltforbrug til kuldioxid og vand. Ved respirationsprocessen overføres energien i glukosen til ATP, der kan udnyttes når planten udfører et arbejde såsom at optage næringsstoffer gennem roden.



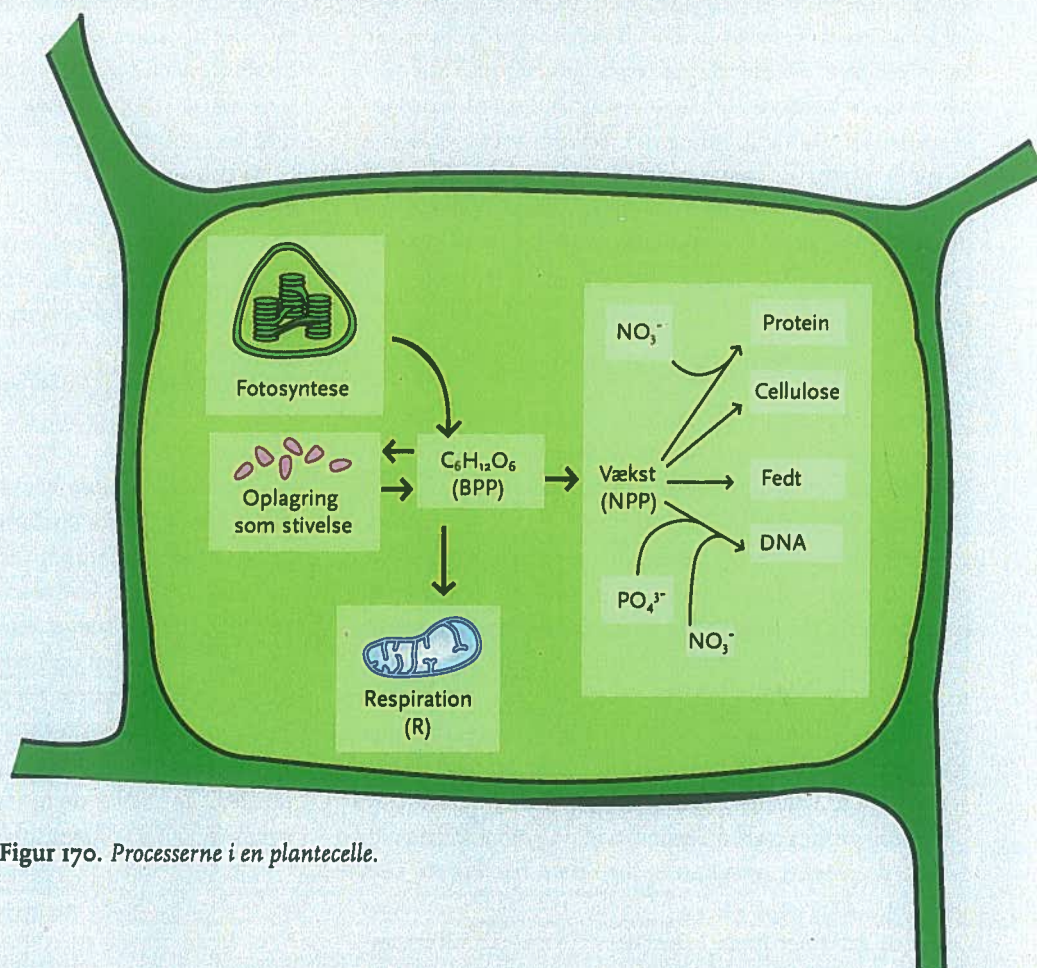
Figur 169. Respirationen foregår i mitokondrierne.



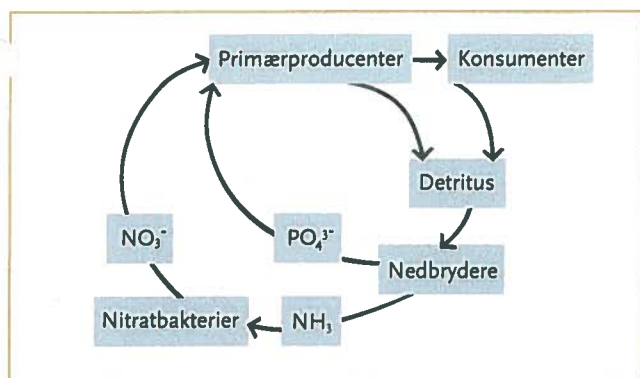
Vækst

For at planten kan danne protein og DNA, skal den have uorganiske næringsstoffer. Mangler disse næringsstoffer, så hæmmes væksten, se figur 170.

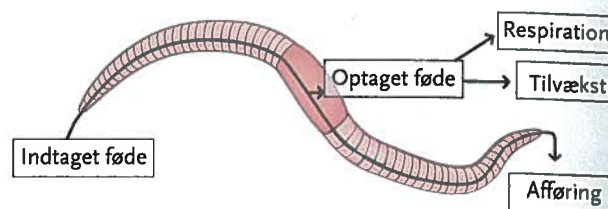
Glukosen kan lægges på lager som stivelse. Planten kan have specielle stivelsesdepoter. Det kendes bl.a. fra korn og kartofler.



Figur 170. Processerne i en plantecelle.



Figur 171. Næringsstoffernes omsætning i jorden.



Figur 172. Dyr's omsætning af energien i føden.

4

Når planter og dyr dør, indgår de i jordens indhold af dødt organisk stof, det såkaldte **humus**. Et andet ord som ofte benyttes om dødt organisk stof er **detritus**. Detritus fungerer som føde for mange forskellige arter af nedbrydere. Regnormene er eksempler på nedbrydere som findeler døde blade og optager en del af bladcellernes indhold. Ved findelingen giver de jordbakterierne gode betingelser for at nedbryde det døde plantemateriale yderligere. En stor del af regnormenes næring er netop disse bakterier, så de lever altså også af levende organismer. De nedbrydere der betyder mest for den samlede nedbrydning er bakterier og svampe.

Mange rovdyr æder nedbrydere. Man taler derfor om **nedbryderfødekæden** som baseres på det døde organiske stof og nedbryderne. I modsætning hertil tager **græsningsfødekæden** udgangspunkt i levende planter og planteædere. 🦠

Tilsammen kaldes planteædere, nedbrydere og rovdyr for økosystemets **konsumenter**, fordi de gennem flere af fødekædens led forbruger det organiske stof som planterne har produceret.

Når konsumenterne nedbryder det organiske stof ved respirationsprocessen, frigøres den energi der er bundet i de kemiske bindinger. Restproduktet er uorganiske stoffer, først og fremmest kuldioxid og vand. Det fosfor der var bundet i de organiske stoffer frigøres som uorganiske fosfationer (PO_4^{3-}), mens nitrogen frigøres som ammoniak (NH_3). Ammoniak iltes hurtigt til nitrat (NO_3^-) af bakterier i jorden, hvis der er frit ilt til stede. Disse stoffer kan nu igen fungere som næringsstoffer for planterne, som kan optage dem fra jorden, se figur 173.

Figur 171 viser mere skematisk hvordan stofomsætningen i jorden foregår.

Planteæderne indtager altså de organiske stoffer planten har opbygget. En del af plantematerialet som fx planternes cellevægge kan kun i ringe grad udnyttes af dyrene, og ender som afføring. Resten optages gennem dyrets tarmvæg. Dyret anvender nogle af de stoffer det optager som energikilde til bevægelse og andre af cellernes livsprocesser. Det gælder fx kulhydrater og en stor del af fedtet. Energien frigøres gennem respirationsprocessen og ender i sidste instans som varme. Man kan mærke denne varme fra sin krop ved at holde hånden en centimeter over armen.

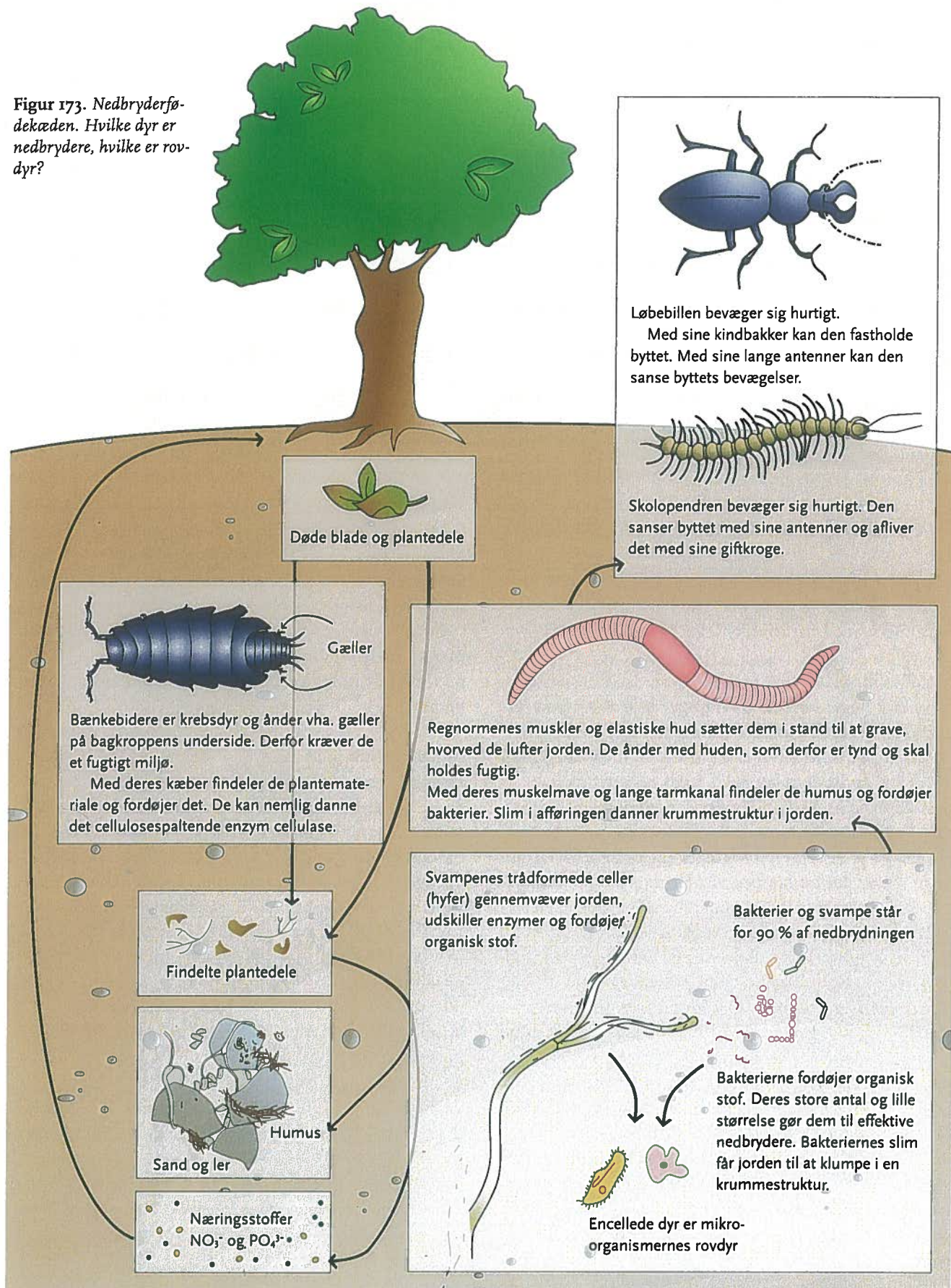
Andre stoffer, for eksempel plantens proteiner, anvendes først og fremmest til dyrets vækst. Man kan derfor beskrive planteæderens omsætning af energi med en ligning der minder om den vi brugte til at beskrive planternes produktion med:

$$\text{Indtaget føde} = \text{Tilvækst} + \text{Respiration} + \text{Afføring}$$

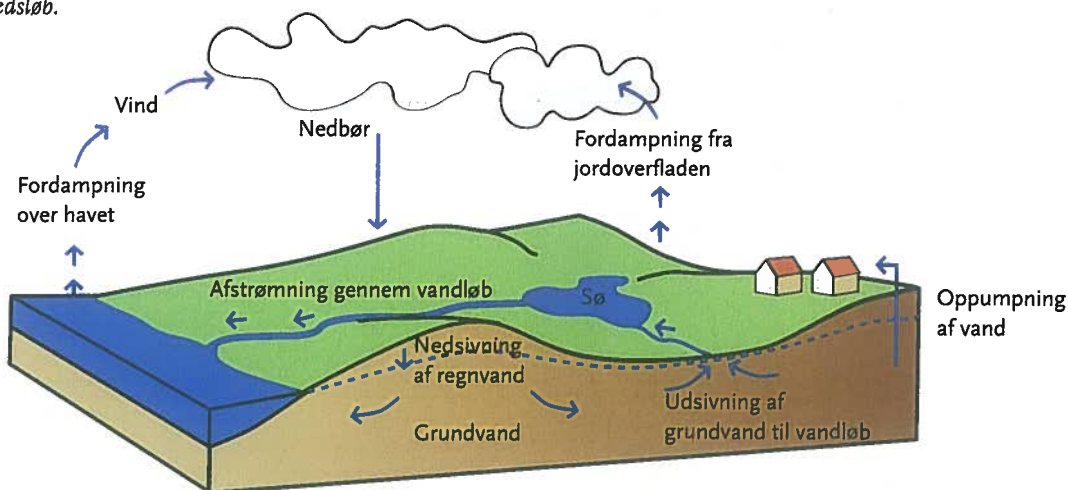
Se figur 172.

Samme ligning kan bruges til at beskrive hvordan rovdyr og nedbrydere omsætter deres føde. Hvor stor en procentdel af energien i føden der bruges til vækst vil afhænge af flere forhold. Det afhænger fx af fødens bestanddele, hvor meget energi konsumenten bruger på at skaffe sig føden og hvor meget den bruger på at holde sin kropstemperatur. Man går ofte ud fra 10 % som et nøgletal. Bakterier og svampe udskiller enzymer til deres omgivelse, spalter føden og optager de nedbrudte stoffer. De stoffer de optager, bruger de tilsvarende til enten tilvækst eller respiration.

Figur 173. Nedbryderfødekæden. Hvilke dyr er nedbrydere, hvilke er rovdyr?



Figur 174. Vandets kredsløb.



► Vandløb, søer og deres omgivelser

I næste afsnit vil vi se på åen og søen som økosystemer, og på nogle af de forhold man her arbejder med i forbindelse med naturbeskyttelse.

Vandets kredsløb

Danmark ligger i et relativt fugtigt bælte af tempereret kystklima. Det betyder at der falder nedbør hele året, lidt mere om sommeren end om vinteren. Nedbøren varierer fra landsdel til landsdel, fordi vestenvinden er fremherskende. I Jylland falder der gennemsnitligt 910 mm nedbør om året, mens der falder 730 mm på øerne. En del af nedbøren fordampes fra jordens overflade. Hvor meget der fordampes, vil afhænge af flere faktorer. Om sommeren hvor temperaturen er højest, vil fordampningen også være det. Regn der falder på sandjord, vil sive hurtigere ned end regn der falder på muldjord, hvor vandet bindes til ler og organisk stof i de øverste jordlag. Derfor er fordampningen større på muldjorden i Østdanmark (530 mm om året på øerne) end på sandjorden i Vestdanmark (510 mm i Jylland). Hvis der er mange planter, vil fordampningen være højere, fordi planterne optager vand og lader en del fordampe gennem bladernes store overfladeareal.

Danmarks undergrund er præget af istidsaflejringer som ler, sand og sten. Det betyder at jorden er gennemtrængelig for regnvand. Derfor vil den del af nedbøren som ikke fordampes bevæge sig gennem jorden ned til grundvandet, eller gennem de øverste jordlag ned mod lavereliggende områder. Her siver det ud til åer og søer.

Overskydende grundvand vil på samme måde sive ud til åer og søer. Netop dette udsivende vand er grundlaget for vores ferskvandsområder som åer og søer. Igen- nem åerne løber vandet ud i fjordene og havet.

En del af grundvandet pumpes op til brug i husholdninger, markvanding og industrielle anvendelser. Denne vandindvinding svarer til en nedbør på cirka 15 mm pr. år.

At leve i vand

Levende organismer i åer og søer lever i vand. Det betyder at der er flere vækstfaktorer som er anderledes end på land. Mange af disse knytter sig for dyrenes vedkommende til mulighederne for at skaffe sig ilt. Ilt, kuldioxid og andre gasser bevæger sig langsommere gennem vand end gennem luft, for ilts vedkommende ca. 10.000 gange langsommere. Det betyder at det kan være sværere for vandlevende dyr at få tilført ny ilt, se fak- tasiden **Vanddyr og iltoptagelse**.

Vandet tilføres ilt fra luften, se figur 175. Når vandet hvirvles rundt af strøm og vind, vil en større del af vandmassen komme i kontakt med luften, og det iltes derfor hurtigere. Hurtigere strøm forbi et dyr vil samti- dig betyde at dyret får mere friskt iltrigt vand. Af disse grunde er strømhastighed, omrøring og vanddybde vigtige abiotiske faktorer.

Temperaturen er også en vigtig abiotisk faktor. Der kan rent fysisk opløses mere ilt i koldt vand end i varmt. Bliver der for varmt vil mange dyr derfor mangle ilt. Respirationsprocessen forløber som andre biokemiske

processer hurtigere jo højere temperaturen er. Derfor forbruges vandets iltindhold hurtigere jo varmere vandet er.

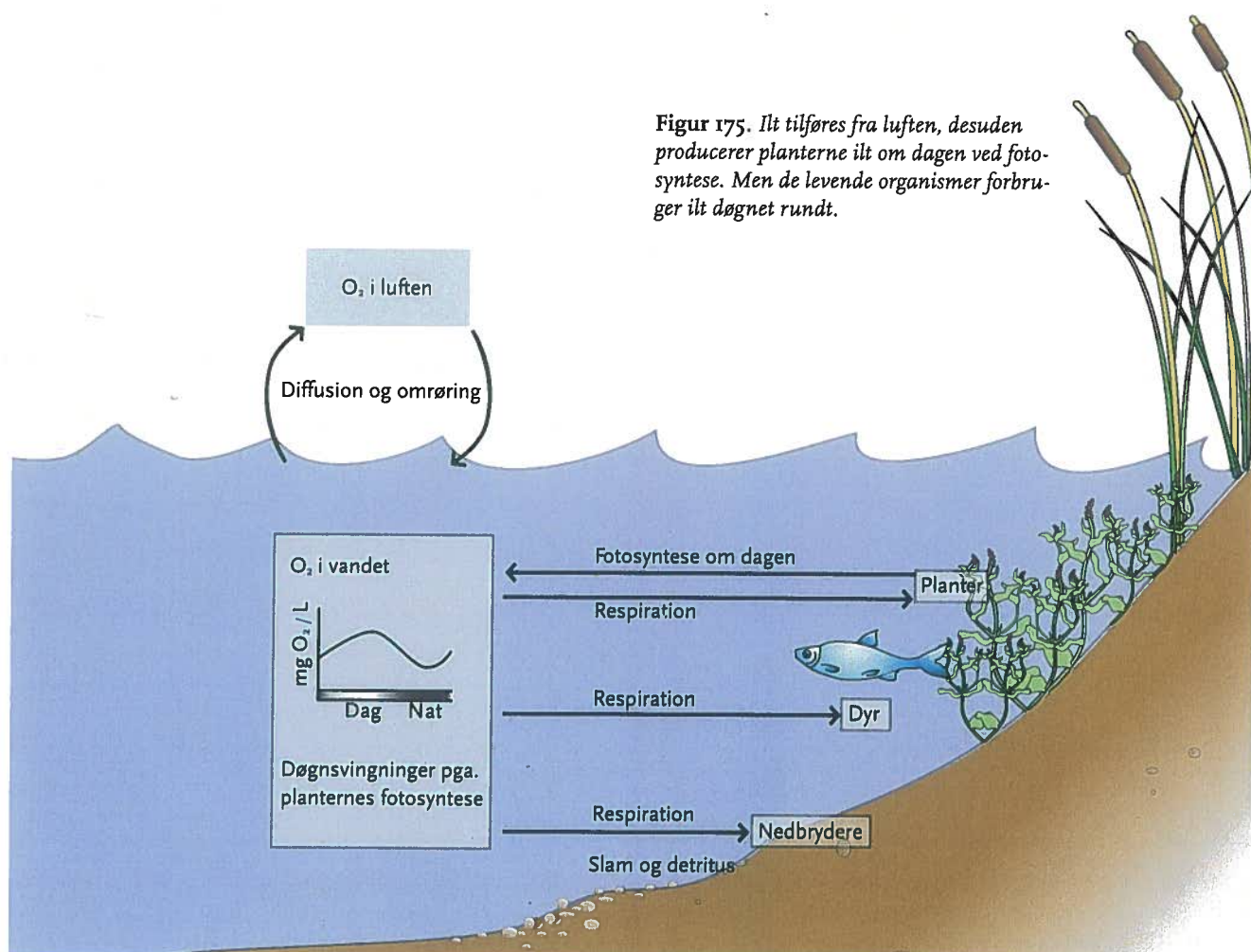
Ilt kan også tilføres vandet fra alger og andre planter fotosyntese. Fotosyntesen kræver lys og foregår derfor kun om dagen. Om dagen vil der således dannes ilt. Døgnet rundt vil den dannede ilt forbruges igen ved planter, dyrs og bakteriers respiration. Det kan give døgnsvingninger i iltindholdet, hvis der er mange planter. Respirationen er størst hvor der aflejres meget slam og detritus. Her vil bakterier og dyr nedbryde slammets indhold af organisk stof. Udledes der organisk stof til vandløbet, for eksempel i form af spildevand eller gylle, vil nedbryderne bruge så meget ilt at dyrene kommer til at mangle ilt, se figur 184 side 134.

Mængden af næringsstoffer er en vigtig vækstfaktor

når man arbejder med naturbeskyttelse. Udledning af organiske stoffer kan som nævnt medføre iltmangel. Indholdet af uorganiske næringsstoffer som nitrat (NO_3^-) og fosfat (PO_4^{3-}) er imidlertid af central betydning for planterne. Høje næringsstofkoncentrationer vil give hurtigt voksende planter en fordel. De vil kunne skygge langsomt voksende planter væk. Nogle af de hurtigst voksende planter er de mikroskopiske alger. Nogle arter af disse sidder som belægninger på sten og planter. Andre arter lever fritsvømmende i vandet, det såkaldte planteplankton. Er der mange planktonalger kommer der ikke lys til bunden, og bundplanterne dør. Overbevokses planterne af alger, vil der ske noget tilsvarende. Når algerne dør og synker til bunds i stillestående vand, vil det virke som tilførsel af ekstra dødt organisk stof til nedbryderne på bunden, og kan på den måde bevirke at der kommer iltsvind.

127

Figur 175. Ilt tilføres fra luften, desuden producerer planterne ilt om dagen ved fotosyntese. Men de levende organismer forbruger ilt døgnet rundt.



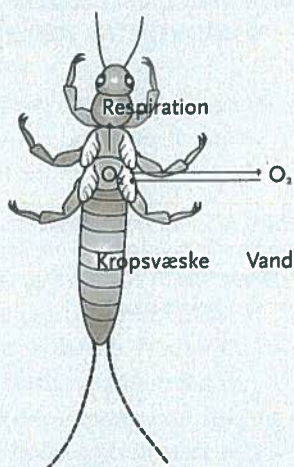
Vanddyr og iltoptagelse

Luft kan indeholde 30 gange så meget ilt som vand ved samme temperatur. Ilt diffunderer 10.000 gange hurtigere gennem luft end vand. Vandlevende dyr har altså sværere ved at skaffe sig den ilt, de skal have for at overleve, se figur 176.

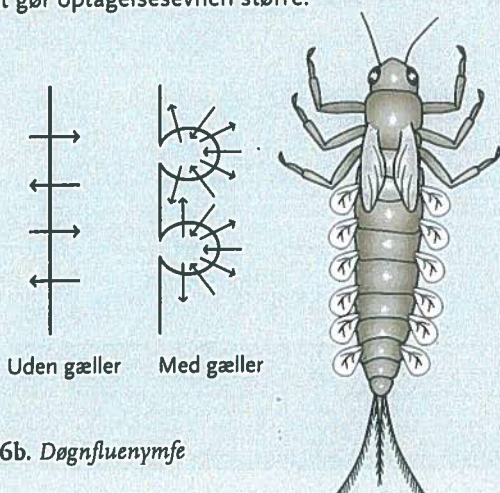
Iltmolekylerne diffunderer fra områder hvor iltkoncentrationen er høj, til områder hvor den er lavere. Når et dyr bruger ilt til respiration, falder koncentrationen af ilt i dets kropsvæske. Ilt fra vandet vil derfor diffundere gennem dyrets hud og ind i kropsvæsken. Dette kaldes hudåndedræt, og er den mest simple form for åndedræt blandt de vandlevende dyr. Mange sløvingenymfer har hudåndedræt.

Sløvingenymferne opbruger hurtigt ilt i vandet omkring dem. Derfor må mange dyr med hudåndedræt leve hvor vandet strømmes, så de hele tiden får frisk iltigt vand. Mange af de hudåndende dyr kan dog kun leve i rent, iltigt vand.

Figur 176a. Sløvingenymfe

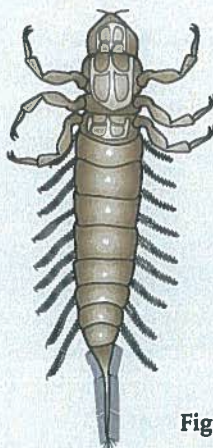


En anden strategi er at øge hudens overflade med tyndhuede gæller, det har fx døgnfluenymfen. Gællerne giver dyret en større overflade at optage ilt igennem, det gør optagelsesevnen større.



Figur 176b. Døgnfluenymfe

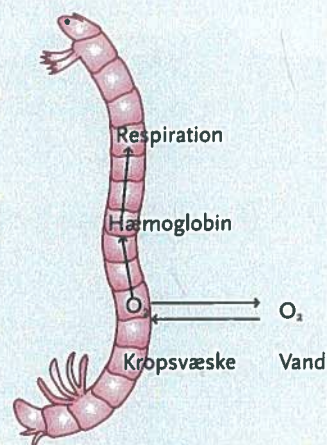
Nogle dyr er forsynet med meget store trådede gæller som dovenfluen.



Figur 176c. Dovenfluelarve

Andre, som fisk, muslinger og mange døgnfluer har bevægelige gæller, som sikrer at de hele tiden forsynes med frisk vand.

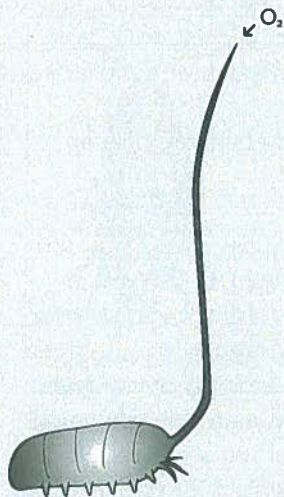
Den røde dansemyggelarve og de røde børsteorme som er i stand til at leve i meget iltfattigt vand benytter en anden metode. Deres farve skyldes at deres kropsvæske indeholder hæmoglobin ligesom vores blod. Hæmoglobin binder ilt i kropsvæsken og afgiver det til de celler der respirerer. Det betyder at ny ilt vil diffundere ind i dyret, selv når der er meget lidt ilt i vandet omkring dyret.



Figur 176d. Dansemyggelarve

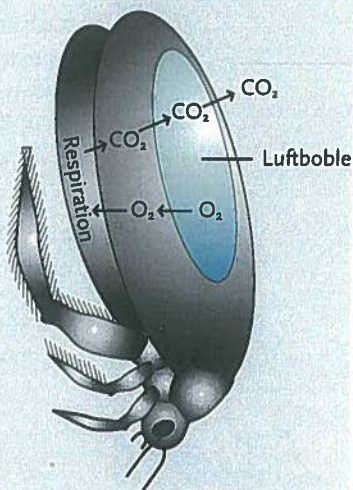
I vandløb og søer finder man desuden dyr som medbringer iltforsyning fra luften.

Det gælder fx svirrefluelarven Rottehale, som henter luft fra vandoverfladen med sit udskydelige ånderør. Den lever hvor der er stærkt forurenet. Her er der masser af mad og kun ganske få konkurrenter.



Figur 176e. Rottehale

Vandkalven optager også luft i vandoverfladen. Den gemmer det som en luftboble under sine dækvinger når den dykker, se figuren. CO_2 fra udåndingen opløses lettere i vandet end ilt. Derfor bliver boblen mindre efterhånden som vandkalven bruger ilt. Dette er vigtigt for vandkalven, for kun derved kan koncentrationen af ilt i luftboblen blive ved med at være så høj, at den kan diffundere ind i kropsvæsken.



Figur 176f. Vandkalv



Figur 177. Ådal.

► Vandløbet som økosystem

Det danske landskab er præget af brede ådale hvorigennem vandafstrømningen sker. De er meget vigtige for mange arters overlevelse og spredning, se figur 177.

I de senere år har man arbejdet på at forbedre ådalene som levested for vilde dyr og planter. Dette er sket ved at mindske forureningen til åerne og ved at lægge åer tilbage i deres tidligere snoede forløb.

Der er mange interesser knyttet til en å. For mange af de landmænd der ejer jorden langs åerne, er en effektiv bortledning af vand gennem vandløbene af stor økonomisk betydning. Åen leder vandet væk fra markerne. Det betyder at jorden bliver iltet så planternes rødder kan ånde, og planterne kan udvikle et dybere rodnet. Samtidig betyder det at landmanden kan køre med maskiner her tidligere om foråret.

En del af vore større byer blev anlagt ved åernes udløb i havet. Ådalene har derfor ofte stor kulturhistorisk betydning, og mange mennesker, for eksempel lystfiskere bruger dem til rekreative formål. Der er altså mange interesser på spil når man skal afgøre hvordan en å skal se ud for fremtiden. Disse interesser støder ofte sammen.

I de følgende to afsnit vil vi se nærmere på økosystemets struktur i et naturligt vandløb og på hvad der sker med denne struktur når et vandløb forurenes.



Figur 178. I kildebækken lever mange vårfluelarver samt slørvinge- og døgnfluenymfer.

► Den naturlige å

Vandløbet tilføres organisk stof fra omgivelserne. I åen nedbryder dyr og bakterier det organiske stof. Det betyder at åen domineres af nedbryderfødekæden. Det betyder også at mange åer har en vigtig økologisk betydning, fordi de renser det vand der løber igennem dem.

Når man ser på en å, kan det være praktisk at inddеле den i den øvre å, som også kaldes kildebækken, den mellemste å og den nedre å, som kan have karakteristika der minder om en flod.

De følgende figurer giver en oversigt over åen og dens økologi.

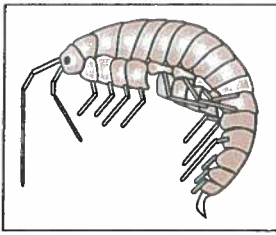
Kildebækken kan starte som et kildevæld, hvor grundvand siver ud af jorden for eksempel for foden af en bakke. Oftest starter den dog i et sumpet område hvor vandet siver ud, eller ved at drænvand ledes ud gennem drængrøfter eller drænrør. Kildebækken er som regel smal med hurtigt rindende vand, som hele tiden modtager ilt fra luften. Det betyder at åen overvokses af bredplanterne. Bredplanterne skygger for vandløbet. Derfor vil der kun være begrænset plantevækst i bækken, og græsningsfødekæden spiller en mindre rolle. De planter som findes på lysåbne steder vil ofte være mikroskopiske alger på stenene. Når planter på bredden dør og lander i vandløbet som detritus, vil de fungere som føde for vandløbets nedbrydere, se figur 180. Det

betyder at kildebækken vil domineres af nedbryderfødekæden. Nedbryderne vil være iturivere som bider plantematerialet i stykker og fordøjer det og sedimentædere som indsamler og æder sedimentet, det aflejrede bundmateriale. Iltforholdene er oftest gode på grund af turbulensen i vandet.

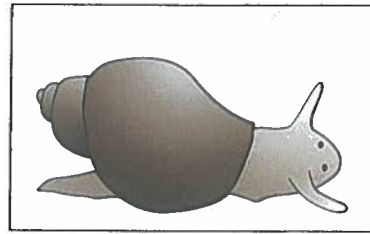
Efterhånden tilføres bækken mere vand og bliver til den mellemste å, se figur 179.



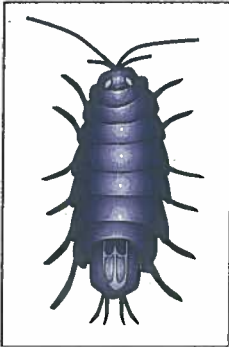
Figur 179. I den mellemste å lever mange hulevårfluelarver, snegle og ferskvandstanglopper.



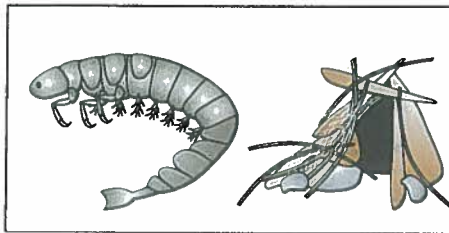
a
Ferskvandstangloppen er en ituriver som finder detritus med sine kæber. Den er en hurtig svømmer som søger skjul mellem planterne.



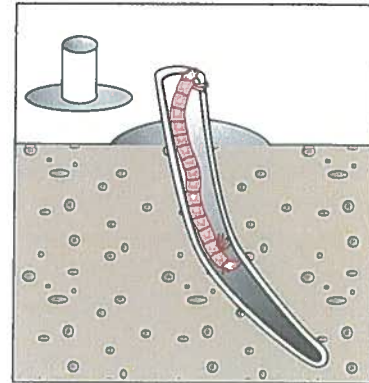
c
Mosesneglen er en skraber. Med sin lange raspetunge skraber den algebælægninger af sten og planter.



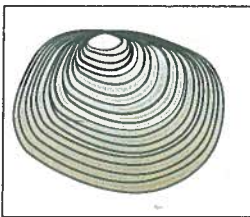
b
Vandbænkebideren er både ituriver og sedimentæder. Den kravler rundt i planter og aflejret detritus.



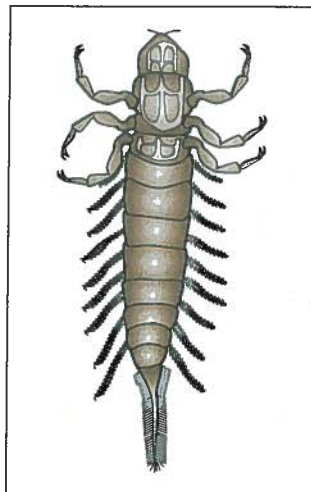
d
Hulevårfluelarven er en passiv filtrator. Den bygger sit hus på en sten i strømmen i vandløbet. Ved husets åbning spinder den et fangstnet som kan fange føden, når den passerer forbi i strømmen.



e
Den røde dansemyggelarve er sedimentæder. Den indsamler sediment omkring åbningen af sit rør.



f
Ærtemuslingen er en aktiv filtrator og sedimentæder. Den lever nedgravet i bunden, og skaber med gællerne en vandstrøm ind gennem sit ånderør, videre gennem gællerne som frafiltrerer fødepartikler og ud gennem det andet ånderør. Sammen med fødepartikler fra vandet vil den også indtage opslæmmet bundmateriale. Ærtemuslingen kan derfor både leve i rindende og stillestående vand.



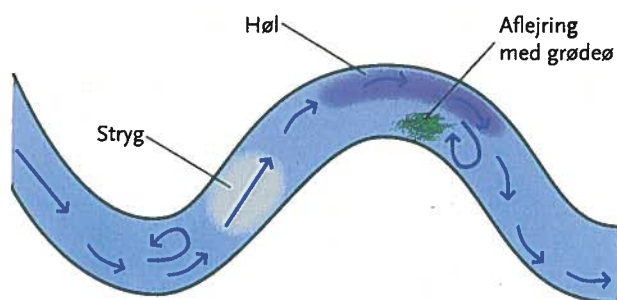
g
Dovenfluelarven er et rovdyr som lever i blød bund. Den kan fastholde byttet med sine kindbakker der fungerer som en klo.

Figur 180. Vandløbets dyr inddeles i ernæringsgrupperne iturivere, skrabere, sedimentædere, aktive og passive filtratorer og rovdyr. Inddelingen baseres på hvordan de fanger og indtager deres føde. Ofte kan man se dette på deres munddele.

Pga. vandets strømningsmønster vil strømmen med jævne mellemrum grave sig ind under brinken og danne fordybninger, et såkaldt **høl**. Efterhånden som åen graver sig ind i brinken vil det danne bugtninger på åen. På bugtningernes inderside, overfor et **høl**, vil strømhastigheden blive lav, og der aflejres detritus. Sammen med denne aflejring vil der ofte vokse planter. Planterne i vandløbet kaldes **grøde**, og der hvor de vokser tæt taler man om grødesøer. Imellem bugtningerne vil bundens grus ofte vaskes ren. Disse områder kaldes **stryg**, og de er vigtige for fx ørreder som lægger deres æg mellem det godt iltede grus, se figur 181.

På den mellemste strækning af åen vil der vokse planter i åen. Ud over blomsterplanter vil der også være belægninger af mikroskopiske alger på planter og sten. Det betyder at græsningsfødekæden spiller en større rolle her. Den baseres hovedsageligt på dyr som skraber alger af planter og sten. Nedbryderfødekæden spiller dog stadig den største rolle i vandløbet. Specielt dyr som æder af bundmaterialet, **sedimentet**, er vigtige. I den mellemste å optræder dog også mange dyr som indfanger detritus fra det strømmende vand, de såkaldte filtratorer. Jo mere turbulens der er i vandet, jo bedre er iltforholdene. Her spiller strygene en vigtig rolle. I denne del af vandløbet vil planternes fotosyntese spille en stor rolle for iltkoncentrationen. I løbet af dagen hvor planterne laver fotosyntese, vil der dannes ilt i vandløbet. Pga. planter, dyr og bakteriers respiration kan iltforholdene til gengæld blive dårligere for dyrene hen på natten. Vandløbets bugtninger er alt i alt med til at skabe en varieret å med mange levesteder.

Det sidste stykke af åen, den **nedre å**, løber ofte gennem lavtliggende flad eng, se figur 182. Den er karakteriseret ved at være dyb og vandrig, mens strømhastigheden



Figur 181. Vandets strømningsmønster i en naturlig å.

er lav. Det betyder at planterne først og fremmest vokser langs bredden som en **rørsump**. Bunden vil være præget af at der aflejres slam og detritus. Dyrelivet vil derfor bestå af mange sedimentædere og filtratorer som muslinger, der selv pumper vand igennem deres filtreringsorganer. Dyr og bakterier på bunden bruger vandets indhold af ilt til respiration. Pga. vandets dybde kommer der ikke så hurtigt ny ilt til bunden. Derfor er der gerne dårligere iltforhold ved bunden af denne del af vandløbet.

► Når åen forurennes

Som tidligere nævnt opfylder åen flere funktioner i landskabet. Gennem åerne ledes både drænvand og spildevand væk. Det medfører at åerne er sårbare over for forurenende stoffer.

Samtidig er de fleste åer reguleret for at passe ind i kulturlandskabet. Ved at rette åerne ud til kanalagtige forløb har man skabt mere regulære marker som er lettere at bearbejde med maskiner. Udretningen har også gjort dræning af markerne mere effektiv. I byerne er åerne ofte lagt i rør. En sådan regulering fjerner mange af de naturlige levesteder i åen og langs åbredden.

Når åen modtager vand, vil den ofte også modtage forurenende stoffer. Det kan være hensigtsmæssigt at inddele de forurenende stoffer i henholdsvis organisk stof, plantenæringsstoffer som nitrat (NO_3^-) og fosfat (PO_4^{3-}) og **miljøfremmede stoffer**, se figur 183.

Organisk stof blev specielt tidligere udledt med byspildevand og spildevand fra slagterier og mejerier. Her blev det udledt i form af afføring, blod og mælkerester. Igennem 1980-erne og 1990-erne blev vore rensningsanlæg kraftigt udbygget som følge af Folketingets vedtagelse af **Vandmiljøplan I** i 1987. Der udledes dog stadig spildevand som kun er delvist rensset fra ukloakerede ejendomme såsom sommerhuse, landsbyer og bebyggelser i det åbne land. Husdyrgødning fra landbruget kan ende i åen hvis det udbringes forkert, for tæt på en å, eller hvis det spredes mens jorden er frossen. Landmanden er underlagt regler for udbringningen bl.a. i forhold til dette.

Figur 182. I den nedre å finder man bl.a. vandbænkebidere og muslinger.

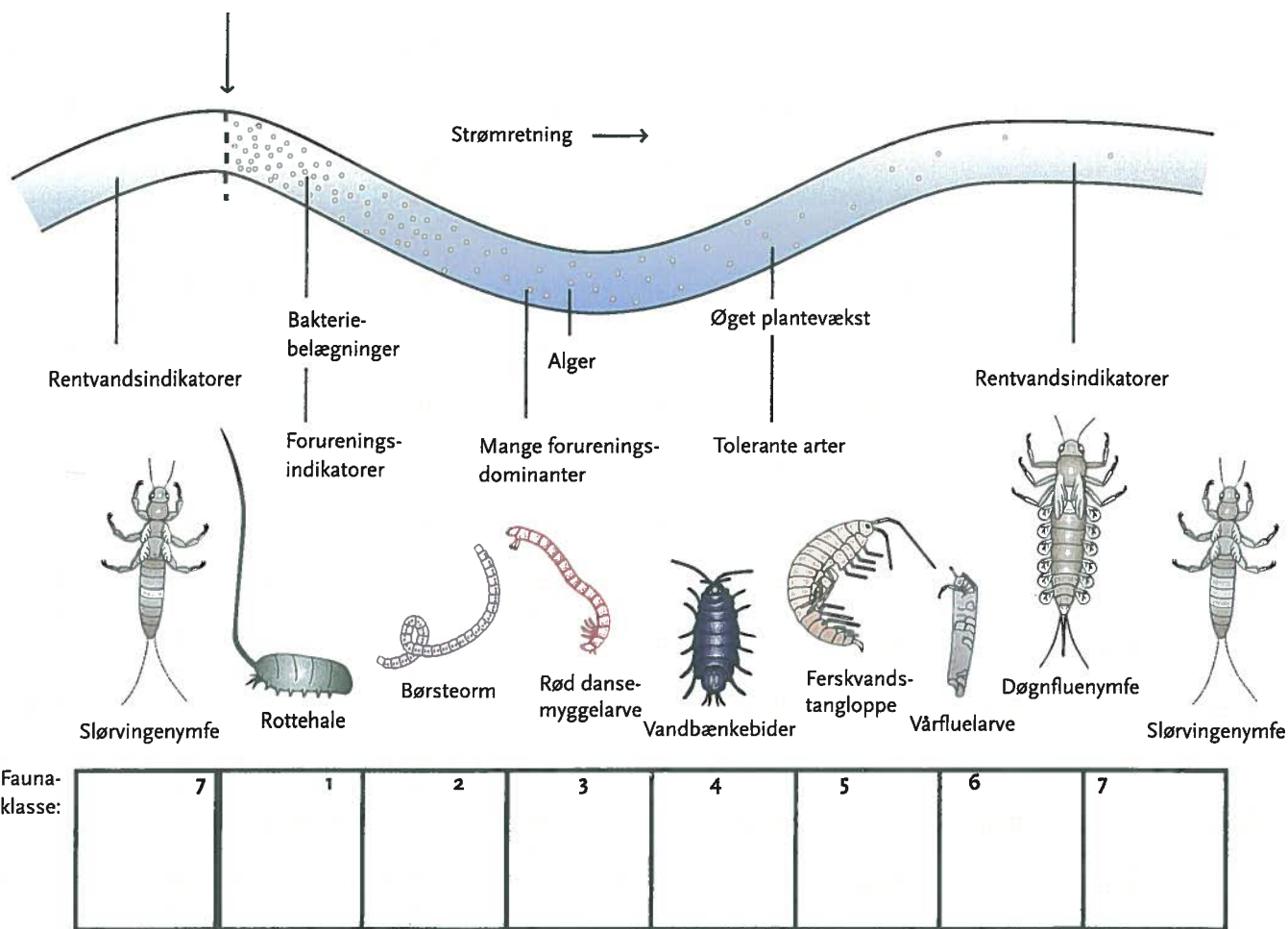
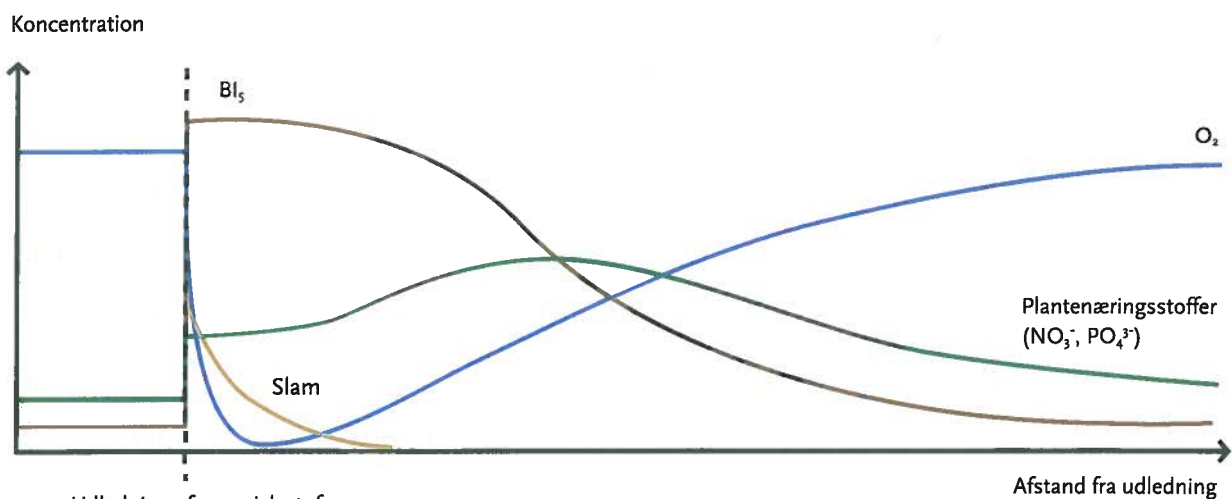


Når organisk stof tilføres åen, virker det som næring til nedbryderfødekæden, se figur 184. Sammenlignet med de døde planter som det naturlige vandløb modtager fra omgivelserne, er de tilførte stoffer ofte meget lette at nedbryde for vandløbets nedbrydere. Ved kraftige forureninger vil bakterierne derfor formere sig og danne grå eller sorte belægninger på bund, sten og planter. Sådanne bakteriebelægninger kaldes en biofilm. Lange grå trævler af bakterier kaldes *lammehaler*. Når bakterier og dyr nedbryder det organiske stof, sker det først og fremmest via respirationsprocessen. Det betyder at de kan bruge ilt i vandet hurtigere end der bliver tilført ny ilt. Resultatet er at dyrene må flygte eller dø.

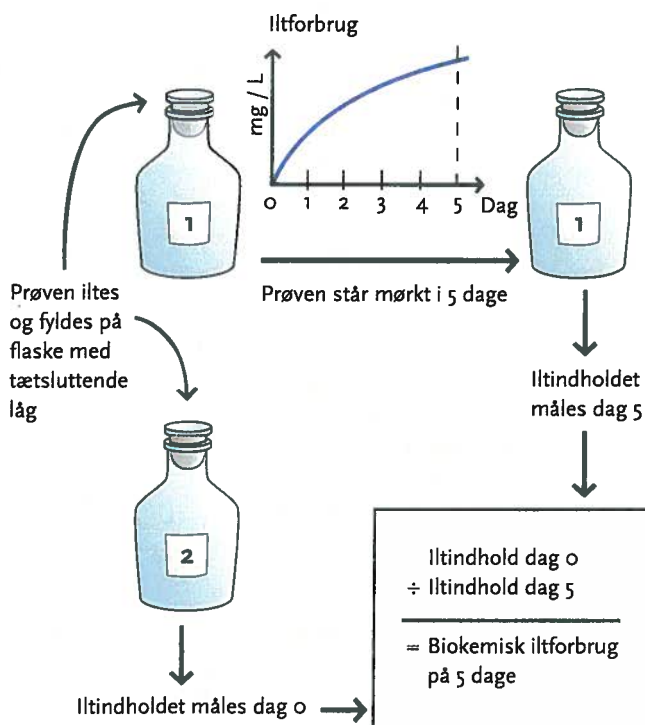
Efterhånden som det organiske stof nedbrydes, og ny ilt tilføres fra luften, vil dyrene kunne indvandre igen. Nogle arter er særlig følsomme over for lave iltkoncentrationer. Hvis der er dårlige ilthold i åen, vil de derfor mangle. De kaldes af denne grund *rentvandsindikatorer*. Det gælder fx de fleste arter af slørvingenymfer og døgnflukenymfer. Andre arter som vårflyelarver og ferskvandstanglopper er lidt mere tolerante, men de vil mangle hvis der er kraftige svingninger i iltkoncentrationen. Enkelte arter er meget tolerante over for lave iltkoncentrationer. Det gælder fx den røde dansemygglarve der indeholder hæmoglobin, se faktasiden *Vanddyr og iltoptagelse*. Disse arter nyder godt af at deres konkurrenter om føden og rovdyrene er væk. Fødeketten i en forurenede å vil derfor præges af enkelte arter af

Forurenende stoffer	De vigtigste kilder til forureningen	Effekter i vandmiljøet
Organisk stof	Husspildevand Industrispildevand Gylle og gødning fra landbrugsproduktion	Nedbrydes af bakterier og dyr i vandløbet. Den forhøjede respiration bruger vandløbets ilt, og der kan opstå iltvind.
Plantenæringsstoffer fx NO_3^- og PO_4^{3-}	Udvaskning fra marker Nedbrudt organisk stof fra kilderne ovenfor	Virker som næringsstof for alger som opblomstrer. Når planktonalger dør og nedbrydes af bakterier og dyr, kan der opstå iltvind. Dette sker fortrinsvis i søer og fjorde hvor vandet opholder sig i længere tid.
Miljøfremmede stoffer	Sprøjtemidler Olie- og kemikalieaffald Skibsmaling	Kan have direkte giftvirkning på dyrene, eller nedsætte deres frugtbarhed.

Figur 183. Forurenende stoffer i vandmiljøet.



Figur 184. Effekten af organisk stof i åen.



Figur 185. Måling af indholdet af organisk stof i en vandprøve – B₅.

sedimentædere som til gengæld optræder i stort antal. Disse arter kaldes af samme grund for **forureningsdominanter**. Enkelte arter kan kun leve i miljøer med store mængder organisk stof og kaldes derfor **forureningsindikatorer**. Det gælder fx rottehalen som kan optage ilt fra vandoverfladen vha. sit ånderør.

Denne sammenhæng mellem forurening og forekomsten af dyr har vist sig at være meget effektiv til at undersøge hvor forurenede åer er. Det gør man ved at indfange og artsbestemme dyrene. Ud fra sammensætningen af dyrelivet giver man åen en karakter efter hvor forurenede den er. Inddelingen sker i faunaklasser fra 1 til 7, hvor 7 er uforurenede og 1 er stærkt forurenede. I bedømmelsen af åen på denne måde skal man dog tage hensyn til årstiden og de naturlige forhold i åen.

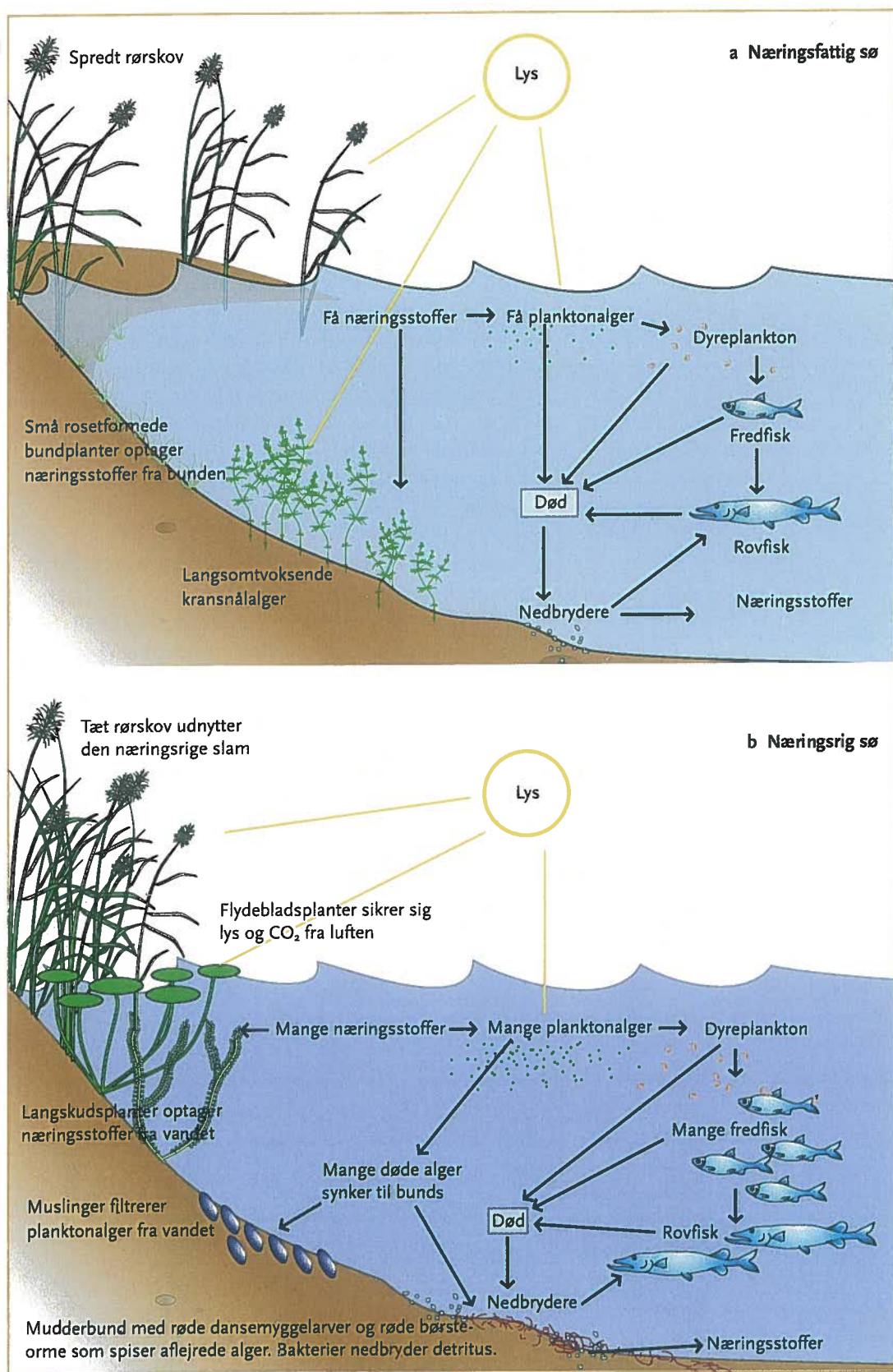
Ud over undersøgelsen af dyrelivet kan det være relevant at undersøge åens indhold af fx organisk stof og ilt.

Det organiske stof i åen måles oftest som **Biokemisk Iltforbrug** på fem dage (B₅), se figur 185. Sammenligner man en vandprøve med meget organisk stof med en vandprøve med lidt organisk stof, vil bakterierne i den første prøve bruge mere ilt på at nedbryde det organiske

stof end i den sidste. Man kan sige at deres biokemiske iltforbrug er større. Sammenhængen mellem indholdet af organisk stof og iltforbruget i prøven vil stort set være proportionalt, således at eksempelvis dobbelt så meget organisk stof medfører dobbelt så stort iltforbrug. For at have en standardmåleenhed, måler man iltforbruget i løbet af fem dage. Denne enhed anvendes ved miljøundersøgelser og ved dimensionering og kontrol af spildevandsanlæg. Her regner man med at hver dansker udleder en mængde spildevand der svarer til et B₅ på 60 gram ilt pr. døgn.

Der frigives nitrat (NO₃⁻) og fosfat (PO₄³⁻), når det organiske stof nedbrydes. Længere nede ad åen, et stykke fra udledningen af de forurenende stoffer, kan man derfor måle flere af disse plantenæringsstoffer i vandet. I vandløbet kan dette ses som en opblomstring af mikroskopiske alger som herved overbevokser sten og planter.

Åerne tilføres også plantenæringsstoffer som for eksempel nitrat (NO₃⁻) og fosfat (PO₄³⁻) fra omgivelserne. Det sker først og fremmest ved udvaskning fra dyrkede marker, se side 169. I åen optager planterne nogle af næringsstofferne. Dette favoriserer de hurtigtvoksende algebelægninger på sten og planter. En stor del af næringsstofferne vil dog ikke nå at blive optaget af planterne før vandet er ude i fjorden. Hvis man skal mindske denne udvaskning, må man inddrage planterne i arealerne omkring åen. Det kan ske ved at man sikrer sig, at der ikke dyrkes gødningskrævende afgrøder i en bræmme langs åerne, ved at man lægger de lavereliggende arealer brak, eller at man planter dem til med eksempelvis piletræer som er effektive til at optage næringsstoffer. Man kan få en yderligere rensningseffekt ved at undlade at dræne arealerne. Når jorden oversvømmes, bliver den iltfattig fordi bakterier i jorden bruger ilt. Visse bakterier kan ånde vha. nitrat (NO₃⁻) i stedet for ilt når der ikke er ilt til stede. Derved omdanner de nitrat til gassen dinitrogen (N₂) eller frit kvælstof, som er hovedbestanddelen af atmosfærisk luft, se figur 237 side 171.



Figur 186. Den næringsfattige og den næringsrige sø. a. I den næringsfattige sø vil manglen på næringsstoffer betyde færre alger i overfladevandet. Det betyder at vandet er klarere, lyset trænger længere ned, og der kan derfor også vokse bundplanter på dybere vand. b. I den næringsrige sø skygger de mange alger for bundplanterne, vandet er uklart og rovfiskene har svært ved at se deres bytte.

Åer kan som nævnt også tilføres såkaldte miljøfremmede stoffer, se figur 183. Dvs. kemikalier som i modsætning til organisk stof og næringssalte ikke er naturligt forekommende i større mængder. De mest almindelige forurenende stoffer inden for denne gruppe er bekæmpelsesmidler, giftstoffer rettet mod ukrudt, svampe eller skadedyr. Ca. 80 % af bekæmpelsesmidlerne udledes fra landbruget. Herudover udledes der stoffer fra gartnerier, industri og private. Stoffernes giftvirkning rammer naturligvis også vandløbs dyr og planter, enten ved en akut forgiftning eller ved for eksempel at nedsætte dyrenes reproduktionsevne.

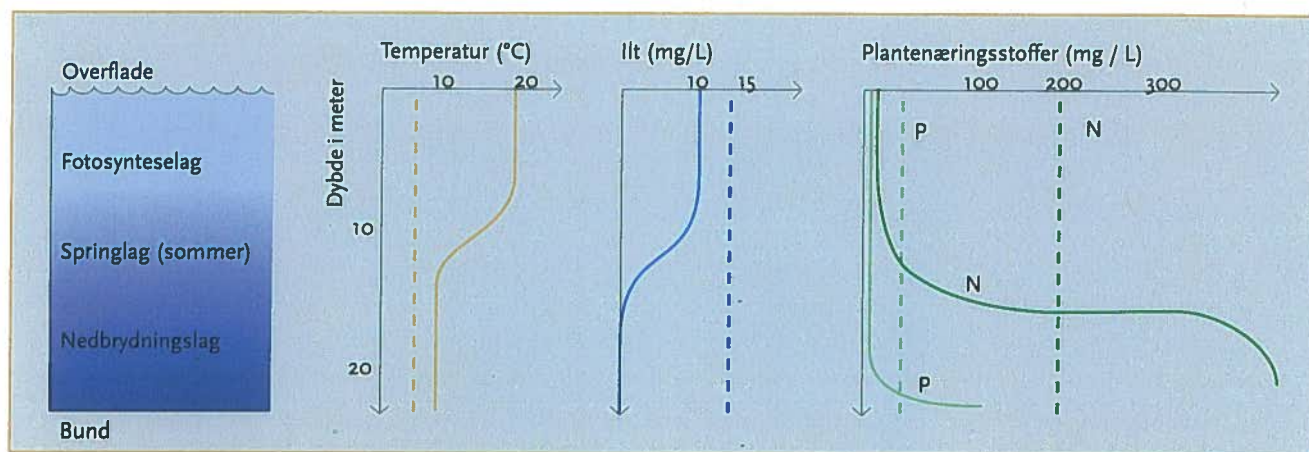
◉ Søen som økosystem

I Danmark har vi cirka 2760 søer med et areal på over en hektar. Hertil kommer mange tusind damme med et mindre areal. Antallet af søer og damme har varieret meget gennem tiden. I perioden 1800–1950 opstod mange damme fordi man gravede efter kalk og ler til jordforbedring og byggeformål eller tørv til brændsel. Mange af disse grave blev ligesom mange smådamme senere fyldt op igen for at give plads til mere ensartede marker. I samme periode tørlagde man mange lavvandede søer for at give plads til landbrugsjord. I de seneste år er flere af disse søer blevet gendannet, og der er opstået nye damme i forbindelse med for eksempel motorvejsbyggeri.

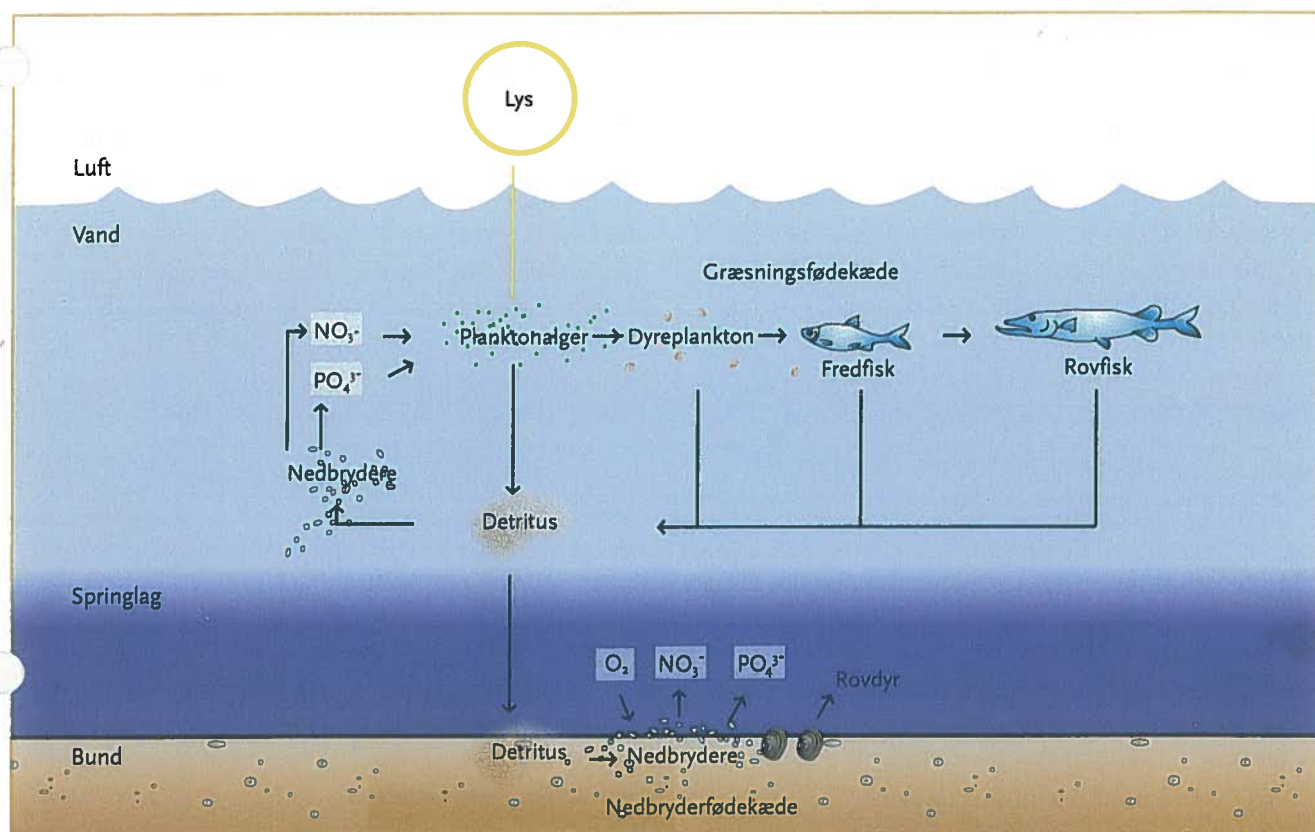
Nogle søer gennemstrømmes af en å, men generelt er vandet i søen stillestående. Det betyder at der kan opstå forskelle i temperatur, ilt og næringsstoffer mellem vandet ved bunden og overfladen.

Søerne inddeles i næringsfattige og næringsrige søer. De **næringsfattige søer** finder vi på næringsfattig jordbund som hede, skov og overdrev. **Næringsrige søer** findes på mere næringsrig jordbund. De får ofte deres vand fra landbrugsarealer. Mange søer har gennem tiden modtaget spildevand fra byer og bebyggelser. De vil ofte have et stort lager af organisk stof og næringsstoffer i bunden. De er altså meget næringsrige. På figur 186 ses nogle af forskellene på de to søtyper. ⚠

Koldt vand er tungere end varmt vand, og vand med en temperatur omkring 4 °C har størst massefylde. Om vinteren er temperaturen stort set ens i hele vandsøjlen. I løbet af foråret vil solen imidlertid opvarme overfladevandet. Det betyder at overfladevandet bliver lettere end bundvandet, og i den dybe sø opdeles vandsøjlen efterhånden i de øvre varme vandmasser og de nedre kolde vandmasser. Mellem de to vandmasser opstår et overgangslag, **springlaget**, se figur 187. I de øvre vandmasser er der lys, og planktonalgerne kan lave fotosyntese. De optager vandets næringssalte og formerer sig. I løbet af sommeren vil der derfor opstå en græsningsfødekæde i de øvre vandmasser, se figur 188. Planteplankton ædes af dyreplankton som dafnier og vandlopper. Dyreplankton ædes af rovdyrene blandt dyreplankton og af såkaldte fredfisk som skaller og brasen. Fredfisk ædes af rovfisk som gedde og aborre. Specielt i foråret kan der være så store opblomstringer af planteplankton at det ikke når at blive spist af dyreplankton. I stedet synker en stor del til bunds.



Figur 187. Temperatur, iltindhold og næringsstofindhold om sommeren (—) og om vinteren (--) i en dyb sø.



Figur 188. Springlaget adskiller græsningsfødekæden i søens overfladevand fra nedbryderfødekæden ved bunden.

Ved bunden er forholdene meget anderledes. Der er mørkt sommeren igennem, og planterne kan derfor ikke vokse her. Til gengæld vil de nedsinkende alger virke som føde for bundens dyr og bakterier. Bunden præges altså af nedbryderfødekæden. Dyrene her kan være muslinger som filtrerer alger og detritus fra vandet eller dansemyggelarver som samler føde på bundens overflade. Bakterier og dyr vil bruge ilt til respiration under nedbrydningen. Derfor bliver bundvandet ofte iltfattigt. Til gengæld vil de under nedbrydningen frigive næringsstofferne fra de organiske stoffer som de nedbryder. Resultatet er at bundvandet gennem sommeren bliver iltfattigt og næringsrigt. Hvis iltkoncentrationen bliver for lav, så dør dyrene, og bakteriernes nedbrydning bliver langsommere. I søer hvor der gennem mange år er blevet forurenet, vil der ofte være opbygget et tykt lag næringsrigt slam på bunden. Fosfat (PO_4^{3-}) er et problem i denne forbindelse fordi det bliver letopløseligt ved lave iltkoncentrationer. Ved iltmangel frigøres der derfor fosfat fra bunden.

Gennem sommeren vil bundvandet efterhånden blive varmere. I løbet af efteråret afkøles overfladevandet

til gengæld. Det betyder at overfladevandet efterhånden bliver lige så tungt som bundvandet. Med efterårets storme vil vandmasserne blandes. Det giver ny ilt til bunden, og næringsstofferne fordeles i hele vandsøjlen. Algerne kommer dog kun til at nyde begrænset gavn af næringssaltene i løbet af efteråret og vinteren, fordi de kommer til at mangle lys, se figur 189. 

► Søens onde cirkler

Når søer forurenes med organisk stof eller plantenæringsstoffer, kan nogle af de uheldige virkninger være selvforstærkende. Man taler om at søen er kommet ind i en ond cirkel, se figur 190.

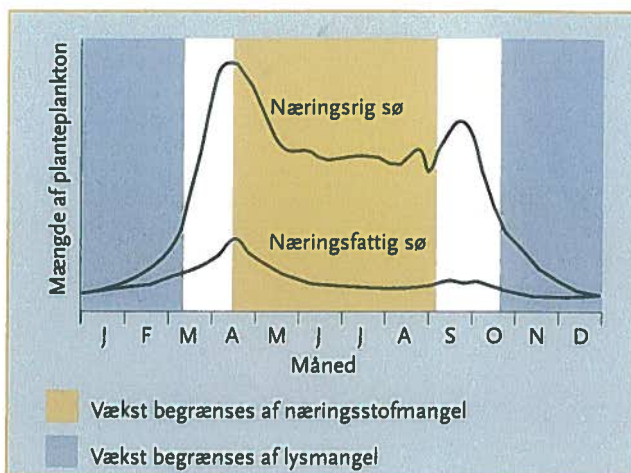
Der er gjort flere forsøg på at skabe en bedre miljøtilstand i forurenede søer. For det første er det vigtigt at stoppe tilledningen af næringsstoffer. Derefter kan man afhængigt af søtype vælge forskellige strategier:

En strategi går ud på at fjerne næringsrigt slam fra søbunden ved at pumpe det op. Metoden er dyr, men fjer-

ner til gengæld kilden til forurening af søen. Dette er gjort i Brabrand Sø ved Århus, se figur 191.

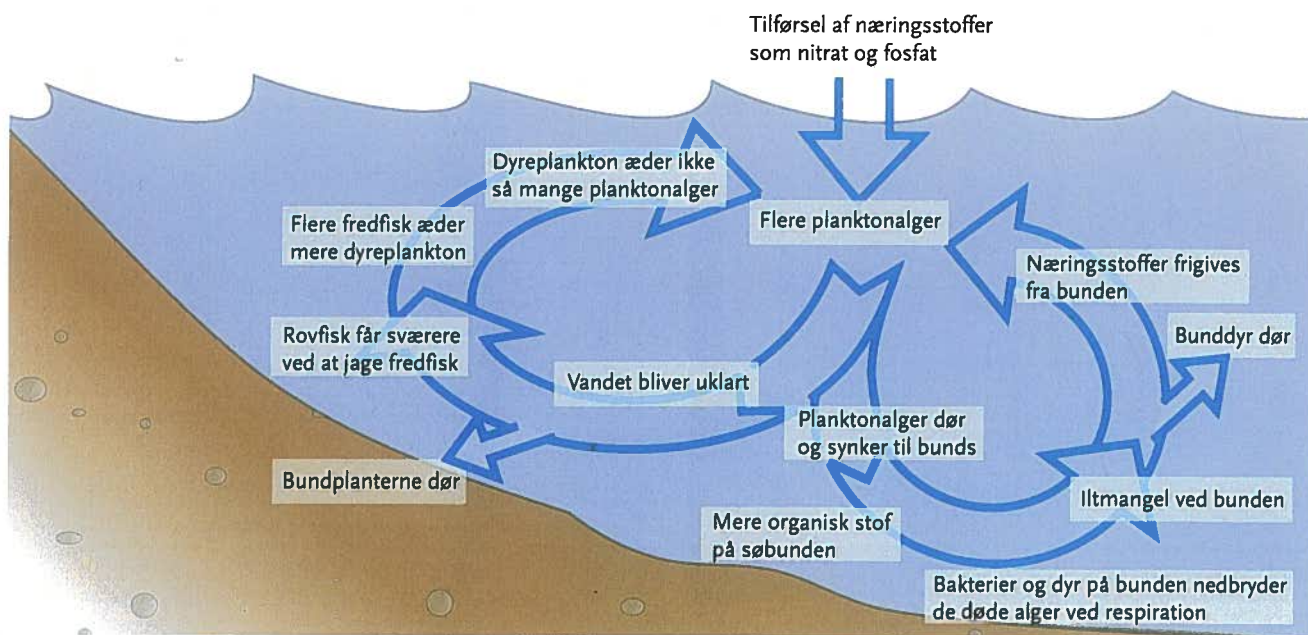
En anden strategi går ud på at bremse en af de onde cirkler ved at pumpe ilt ned på bunden af søen. Herved sikrer man at fødekæderne ved bunden er intakte og der sker en nedbrydning af slammet. Nok så vigtigt er det dog at man hindrer den frigivelse af fosfat (PO_4^{3-}) som ellers kan ske når iltten forsvinder fra bundvandet. Denne strategi er for eksempel valgt i Furesøen, se figur 192. Ulempen ved metoden er imidlertid at der ud over anlægsudgifter også er årlige driftsudgifter i år frem i tiden.

En tredje strategi som er anvendt i flere søer er at ændre i fødekæderne. Mange forurenede søer mangler rovfisk, men har for mange fredfisk. Ved at sætte garn i søen og fiske fredfisk op kan man i nogle tilfælde få mængden af dyreplankton i søen til at vokse. Dyreplankton vil herefter æde mere planteplankton, og der vil ikke synke så meget planteplankton til bunds. Samtidig vil vandet blive klarere, og rovfiskene får en mulighed for at jage de tilbageværende fredfisk. Metoden kaldes *biomanipulation*. En anden variant af biomanipulation som kræver mindre arbejde, går ud på at udsætte flere rovfisk



Figur 189. Algemængden i en næringsrig og en næringsfattig sø i løbet af året.

Figur 190. Onde cirkler i søer.





Figur 191. Oprensning af slam i Brabrand Sø.



Figur 192. Ilt diffusor som anbringes på bunden af søen. Ilten kommer ud af små huller i slangerne.



Figur 193. Udsætning af gedde yngel.

som gedde, aborre eller ørred. Man udsætter et stort antal helt unge fisk som herefter gerne skulle æde en hel generation af fredfisk. Biomanipulation er brugt i omkring 40 søer herhjemme. Gode eksempler at følge er Furesøen i Nordsjælland, Væng Sø i Midtjylland og Arreskov Sø på Fyn, se figur 193. ?

Det er svært at få brudt de onde cirkler i en forurenet sø. En varm sommer kan vælte balancen i fødekæderne igen. Ofte må man gentage tiltagene flere gange.