DET MARINE MILJØ

Inspiration til feltarbejde ved de danske kyster

Teori og vejledninger til syv overordnede emner inden for den marine biologi i de danske farvande.

Målrettet Naturvidenskabeligt grundforløb på STX og andre med interesse for det marine miljø

Frilufts Rådet

Det marine miljø
Inspiration til feltarbejde ved de danske kyster

Forfattere:
Christian Lindekrans, lærer på Alssund gymnasiet Sønderborg,
Camilla Todsen, lærer på Alssund gymnasiet Sønderborg og
Mathias Brügmann Jessen, Naturvejlederne Sønderborg

Redaktører:
Karen Præstegaard Hendriksen, Friluftsrådet og
Jakob Arendrup Nielsen, Friluftsrådet

ISBN: 987-87-7764-091-9

Materialet findes hos Grøn Skole: www.gronskole.dk
Udarbejdet for Friluftsrådet 2021

Blå Flag er en international miljømærkningsordning for strande og havne, som i Danmark drives af Friluftsrådet. Mærkningsordningen har fokus på bæredygtighed, miljø, vandkvalitet, sikkerhed og faciliteter, som tilsammen skal sikre gode oplevelser ved strande og havne. På strande og havne med Blåt Flag vil der i sommersæsonen være miljø- og naturformidlingsaktiviteter for de besøgende. 13 steder i landet er der bemandede Blå Flag Centre, som laver undervisning og formidling for skoler, grupper, offentlige arrangementer mv. Se mere på www.blaaflag.dk

Grøn Skole er Friluftsrådets undervisningsprogram for uddannelse i bæredygtig udvikling med natur, miljø og udeliv som centrale omdrejningspunkter. Elevernes uddannelse skal bidrage til, at de bliver aktive medborgere, der bl.a. kan tage hånd om vores natur og miljø. Når eleverne er med til at foreslå og gennemføre handlinger for en bedre natur og et bedre miljø, bidrager det til engagement, viden, forståelse og lyst til at gøre en forskel. Eleverne skal opnå faglig viden og indsigt, men de bør også få erfaringer med at handle på aktuelle problemstillinger og omsætte viden og indsigt til konkrete projekter, der er med til at gøre en forskel. Grøn Skole bringer lokalområdet i spil som en ramme, hvor eleverne kan opleve at bidrage til konkrete og håndgribelige resultater, der bidrager til en rigere natur og større miljøbevidsthed. 275 danske skoler er pt. med. Programmet er målrettet grundskoler og gymnasieskoler.
Se mere på www.groenskole.dk

Indhold

Forord **4**

Bidrag **4**

1. Introduktion **5**

2. Et mangfoldigt hav **6**

2.1 Stenrev – havbundens oaser 6

2.2 Organismernes samspil 7

Øvelse 1: Havet - biotopundersøgelse 9

3. Nøglearter i havet **14**

3.1 Ålegræs 15

3.2 Blåmuslingen 16

Øvelse 2: Blåmuslingen – havets filterpumpe 18

Øvelse 3: Dissektion af blåmusling 20

4. Invasive arter i havmiljøet **22**

4.1 Stillehavsøsters 23

4.2 Amerikansk ribbegople 23

5. Primærproduktion **25**

5.1 Planteplankton 26

5.2 Makroalger 28

5.3 Kulstofkredsløbet 28

Øvelse 4: Mikroskopi af plankton 31

Øvelse 5: Fotosyntese hos vandplanter 33

6. Respiration **35**

6.1 Forsuring 37

Øvelse 6: Respiration hos havdyr 38

7. Næringsstoffer i havet **42**

7.1 Kvælstofkredsløbet 42

7.2 Iltsvind 43

Øvelse 7: Forurening af vandmiljøet 45

8. Et bæredygtigt hav **49**

8.1 Oplandsanalyse – hvor kommer næringsstofferne fra? 49

8.2 Naturgenopretning til gavn for vandmiljøet 50

Forord

Danmark er omgivet af over 7.300 km kyst. Vi har fjorde, bælter og hav, og der er intet sted i Danmark, hvor der er mere end 50 km til kysten. Vi er en kystnation.
Friluftsrådet arbejder for at sikre befolkningens muligheder for at færdes i naturen, herunder at beskytte og passe godt på vores fælles hav- og kystmiljø. Dette materiale er lavet som et element af miljøformidlingen på Blå Flag-strande, samtidig med at det er målrettet gymnasier i Friluftsrådets skoleprogram Grøn Skole.
Materialet er skrevet til brug i undervisningen på naturvidenskabeligt grundforløb (NV) på STX og er kommet i stand i et samarbejde mellem Friluftsrådet, Naturvejlederne Sønderborg og Alssund Gymnasiet Sønderborg.
Kompendiet er udarbejdet med det formål at give gymnasieelever en bredere viden om det danske havmiljø og på dette grundlag skabe en større interesse for det marine miljø. Materialet er udarbejdet med udgangspunkt i 7 overordnede emner, der hver især behandler nogle af de mest grundlæggende principper inden for den marine biologi, der gør sig gældende i de danske farvande.
Materialet favner kun en lille del af det, som findes omkring havet, men går i dybden med teori og vejledninger, som elever i NV forventeligt kan arbejde med. Materialets omfang er tænkt som inspiration eller direkte brug til NV-undervisningen i biologifaget. Materialet vil i sit omfang derfor ikke kunne fylde fagets tidsramme eller krav om faglig bredde, men indfanger ellers fagets faglige mål.
Vi håber, at materialet vil inspirere til feltarbejde på de danske kyster, skabe interesse for havet og kysten, og bidrage til at flere vil være med til at passe på vores fælles natur.

Bidrag

I forbindelse med udarbejdelsen af dette materiale, er vi stødt på mange spændende og relevante undervisningsmaterialer. Dem har vi brugt med stor gavn, og vi takker for at måtte gøre brug heraf og henvise til materialet. En særlig tak skal i den forbindelse lyde til Verdensnaturfonden WWF, som har bidraget med figurmateriale og øvelsesvejledninger fra deres fremragende materiale ”Opdag Havet” (www.opdaghavet.dk), som er udviklet med støtte fra Aage V. Jensen Naturfond.

En stor tak skal ligeledes lyde til Andreas Hermann, Naturvejlederne Sønderborg, som har bidraget med korrekturlæsning og faglig sparring.

1. Introduktion

Danmark er, med sin placering ved Østersøens udmunding, omgivet af hav. I vest bølger den åbne Nordsø, der med sit vilde salte vand står i skarp kontrast til vores indre farvande med bælter, sund og fjorde, der fyldes af Østersøens brakvand. Vores farvande rummer således en enorm variation med levesteder for et utal af forskellige arter, og med en kystlinje på ca. 8.500 km er kilden til naturoplevelser næsten uudtømmelig.

De danske farvande har gennem historisk tid haft en stor betydning – ikke mindst for vores samfundsøkonomi. Et meget indbringende sildefiskeri i Øresund havde en stor betydning for Danmark gennem middelalderen og i 1429 indførte Erik 7. af Pommern Øresundstolden, der helt frem til afskaffelsen i 1857 sikrede landet store indtægter på skibstrafikken gennem sundet. I Danmark har vi således været gode til at udnytte ressourcerne i vores farvande. Desværre har vi ikke været lige så gode til at passe på naturen. Det marine miljø har lidt overlast. I den seneste rapport (2019) udgivet af DCE (Nationalt Center for Miljø og Energi) omkring overvågningen af det marine miljø i Danmark, konkluderes det, at naturen i vores hav er under stort pres. Dette gælder både fra fiskeri og eutrofiering, og vi er endnu langt fra målet om en stabil god miljøtilstand.

Brakvand: Blanding af havvand og ferskvand med relativt lavt saltindhold.

Eutrofiering: Tilførsel af plantenæringsstoffer der øger algevæksten.

God økologisk tilstand: Vurderes bl.a. på baggrund af næringsstofindhold og antal arter i vandsystemet.

Danmark er ifølge EU's vandrammedirektiv forpligtet til at opnå fastsatte mål for miljøkvaliteten af søer, vandløb, grundvand og marine kystområder. For de marine kystområder er målsætningen at opnå god økologisk tilstand. I Danmark er vores kystområder forvaltningsmæssigt inddelt i 119 kystvande. Kun to af disse opfylder målsætningen om god økologisk tilstand ifølge tilstandsvurderingerne opgivet i vandområdeplanerne for 2015-2021. I vandområdedistrikt Jylland og Fyn opfylder ingen af de 84 kystvande målsætningen om god økologisk tilstand. Det står altså klart, at naturen i det marine miljø er under pres, og hvis vi ikke griber ind, risikerer vi, at den enorme mangfoldighed af liv, der findes i havet, forsvinder. Derfor har vi brug for at vende udviklingen og få genoprettet den økologiske balance i vores havmiljø. Før vi kan gøre dette, er vi nødt til at forstå den natur, vi ønsker at bevare. Dette kompendie omfatter seks temaer med tilhørende øvelser, der hver især behandler forskellige emner, der er væsentlige for at forstå de processer og mekanismer, som indgår i havets økosystemer.

2. Et mangfoldigt hav

Mangfoldigheden af arter i naturen benævnes *biodiversiteten*. Begrebet kommer af de græske ord *bios*, der betyder liv og *diversitet*, der betyder forskelligartet. Jo flere arter et område rummer, jo større er biodiversiteten. Intakte naturområder, der ikke er forstyrret af mennesker, kan i nogle tilfælde rumme en meget stor biodiversitet med et væld af forskellige arter, der hver især udfylder deres egen niche i økosystemet. Nogle arter stiller meget specifikke krav til deres levesteder og er derfor sårbare overfor menneskelige forstyrrelser af økosystemet. Disse arter vil typisk være de første til at forsvinde fra et område, der påvirkes negativt af menneskelig aktivitet. De kan derved bruges som indikatorarter, der indikerer tilstedeværelsen af et stabilt økosystem med en lav grad af menneskelig forstyrrelse. Der findes ligeledes arter, der er meget tolerante over for forstyrrelser, og disse arter kan på samme måde bruges som indikator for en dårlig tilstand i økosystemet. Et eksempel på en udbredt forstyrrelse i havmiljøet er en forhøjet tilførsel af nærringsstoffer, som også kaldes eutrofiering. Nogle arter kan ikke leve i et eutrofieret miljø og vil derfor forsvinde. Derved mindskes biodiversiteten, der således er et vigtigt begreb i forhold til at forstå naturens tilstand.

Biodiversitet: Variationen af arter i et givent miljø.

Niche: En arts plads og funktion i et økosystem.

Indikatorart: En art der ved sin forekomst i naturen fortæller om miljøforholdene.

2.1 Stenrev – havbundens oaser

Figur 1. Billede af et stenrev med makroalger, der skaber en tangskov for dyrelivet. Billedet er fra www.opdaghavet.dk.

Biogent rev: Et rev dannet af levende organismer.

Klipperev: Et rev dannet af større klippeformationer.

Stenrev: Et rev dannet af løse sten. Kan variere meget i størrelse.

Biomasse: Den samlede masse af en afgrænset del af økosystemets levende del.

Makroalger: Store, fastsiddende alger, som vi også kender som tang.

Planktonalger: Mikroskopiske alger der svæver i vandmassen.

Nogle af de mest artsrige habitater i det danske havmiljø findes på de forskellige typer af stenrev. Et rev er defineret som et område, hvor bunden hæver sig over den omkringliggende havbund. Der findes forskellige typer af rev, som adskiller sig fra hinanden ud fra de strukturer, der danner revene. Der findes således biogene rev, der består af biologiske strukturer som muslingeskaller, klipperev, der er dannet af klippeformationer og stenrev, der er dannet af sten (Figur 1). På stenrevene danner stenene en hård bund, som er helt afgørende for det liv, der findes på revet. Makroalgerne hæfter sig fast på stenene, hvor de kan danne tætte tangskove. Tangskovene yder både ly, beskyttelse og føde for krebsdyr og fisk, samtidig med at makroalgerne producerer ilt. Hvis der når tilstrækkeligt med lys ned til stenrevet til at understøtte makrolagernes fotosyntese, kan tangskoven på et stenrev udgøre en stor biomasse. I biomassen af makroalger er der bundet næringsstoffer, der således er utilgængelige for planktonalgerne som gør vandet grumset og uklart.
Stenrevene forekommer med en stor variation i revenes struktur og udformning, der blandt andet afgøres af stenenes størrelse og tætheden af sten. Den mest artsrige type er de såkaldte huledannende stenrev. Et huledannende stenrev består af store kampesten, der ligger oven på hinanden, så der dannes huler mellem stenene. Størstedelen af de huledannende stenrev, der naturligt forekom i de danske farvande, er dog ødelagt som følge af et omfattende stenfiskeri. Kampestenene blev fisket op fra havbunden og bl.a. benyttet til byggeri af havnemoler og kystsikringer. Som en konsekvens af stenfiskeriet, der næsten har udryddet de huledannede stenrev i Danmark, er der i dag en igangværende indsats med genopretning af stenrev flere steder i landet. F.eks. har man de seneste år genetableret flere rev omkring Als i Sønderjylland, som I kan læse mere om her: http://alsstenrev.dk/

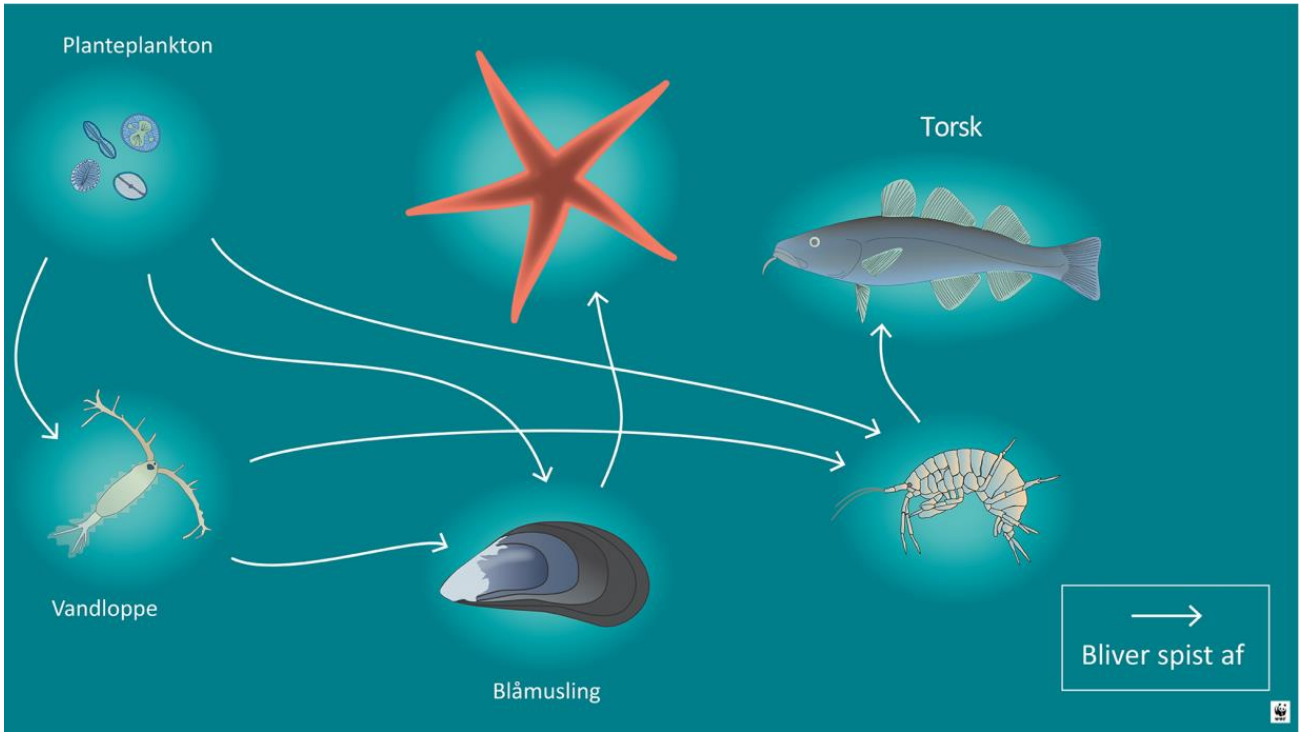
2.2 Organismernes samspil

Økologi omhandler læren om samspillet mellem de levende organismer og forholdet mellem organismerne og det omgivende miljø. Havets organismer påvirker hinanden på mange forskellige måder. Et eksempel på dette er den indbyrdes forbindelse mellem organismerne i et fødenet. På **Fejl! Henvisningskilde ikke fundet.** ses et simpelt fødenet, der omfatter primærproducenter, primærkonsumenter og sekundær-konsumenter. Primærproducenterne udgøres i dette eksempel af planteplankton, der ved fotosyntese er i stand til selv at danne organisk materiale ved hjælp af energien fra sollyset. Planktonalgerne danner fødegrundlaget for primærkonsumenter, som i dette eksempel udgøres af dyreplankton (der er vist en vandloppe som eks. på figuren) og tangloppen. Sekundærkonsumenterne, som spiser andre dyr, udgøres i dette eksempel af blåmusling, søstjerne og torsk. De levende organismer er således indbyrdes forbundet i fødenettet og påvirker hinanden gennem græsning, prædation og konkurrence om føden, som alle kaldes biotiske faktorer.

Biotiske faktorer: Gensidige påvirkninger mellem arter.

Abiotiske faktorer: Fysisk-kemiske forhold der påvirker levende organismer, fx lys og næringsstofs mængde.

Prædation: Rovdyr der æder byttedyr.

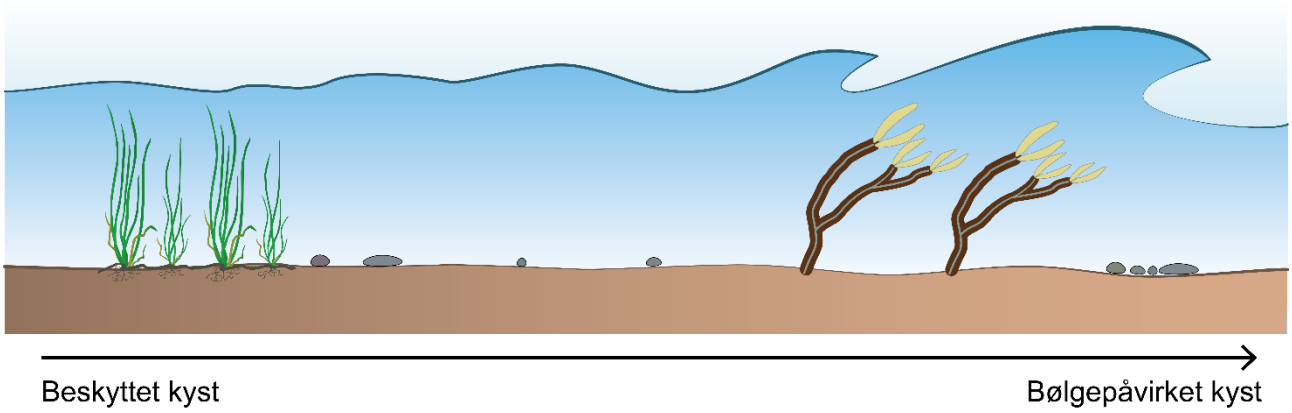


Figur2. Fødenet i havet. Figur fra www.opdaghavet.dk.

Øvelse 1: Havet - biotopundersøgelse

Teori

Det lave vand, som strækker sig fra strandkanten og ud til 1,5 meters dybde, byder på nogle omskiftelige levevilkår, og det skyldes først og fremmest vandets bevægelser. Den inderste del af strandzonen er skiftevis blotlagt og dækket af vand på grund af tidevand, og derfor skal nogle af de organismer, der lever nær strandkanten, kunne tåle delvis udtørring.
Som du kan se på figuren nedenfor, er nogle kyster meget udsatte for bølgepåvirkning, mens andre kyster er mere beskyttede.



Bølgebevægelser kan stille store krav til organismers evne til at sidde fast på bunden, og samtidig har andre abiotiske forhold som lys, temperatur, saltholdighed og ilt stor indflydelse på livet på det lave vand.
Men det er ikke kun de abiotiske faktorer, som påvirker organismernes overlevelse, den enkelte organismes placering i havets fødenet spiller også en vigtig rolle. Derfor har både planter og dyr udviklet nogle helt særlige tilpasninger til livet i havet, som I skal undersøge.

Formål

Formålet med øvelsen er at undersøge, hvilke organismer vi finder på lavt vand, og hvordan organismer i havet er tilpasset livet her samt få indsigt i økosystemets fødenet.

Materialer

Hver enkelt:	Snorkelsæt eller waders
Hver gruppe:	Ketcher, fiskenet, rejenet, evt. vandkikkert, sorteringsbakke, spand, app'en *Opdag havet* til artsbestemmelse eller andet bestemmelsesudstyr, beholder til indsamling af materialer og havvand (fx til øvelse 2, 4 og 6)
Hele holdet:	Iltmåler, termometer, udstyr til at måle saltholdighed, evt. udstyr til næringsstofindhold.

Fremgangsmåde

De abiotiske forhold på lokaliteten

1) Vurdér hvor påvirket kysten er af bølger.
2) Blød bund består af sand og mudder, og hård bund består af klipper og sten. Vurdér bundforholdene på undersøgelsesstedet.
3) Vurdér vandets klarhed.
4) Mål saltholdighed.
5) Mål temperatur og ilt.
   Hvis der er mindre end 4 mg ilt pr. liter havvand, er der iltsvind, altså dårlige iltforhold.
   Hvis der er 8 mg ilt pr. liter havvand eller mere, er iltforholdene gode for fisk og smådyr.

De biotiske forhold på lokaliteten

6) Brug net, ketcher og hænder til at indsamle så mange forskellige dyre- og tangarter som muligt. Undersøg flere habitater: Sandbunden, stensætninger, tangskovene m.m.
7) Bestem det, I har fundet vha. app'en *Opdag havet* eller andet redskab til bestemmelse.
8) Undersøg, hvordan tang (makroalger) er tilpasset deres levested. Overvej for eksempel, hvad de sidder fast på, hvordan de sidder fast, og hvordan de adskiller sig fra landplanter. Kig evt. i afsnittet 5.2 Makroalger.
9) Undersøg, hvordan dyrene er tilpasset forholdene på lokaliteten. Overvej, om dyret er særligt tilpasset til at sidde fast på f.eks. sten, eller om det er tilpasset til at bevæge sig rundt på bunden.

Resultatbehandling

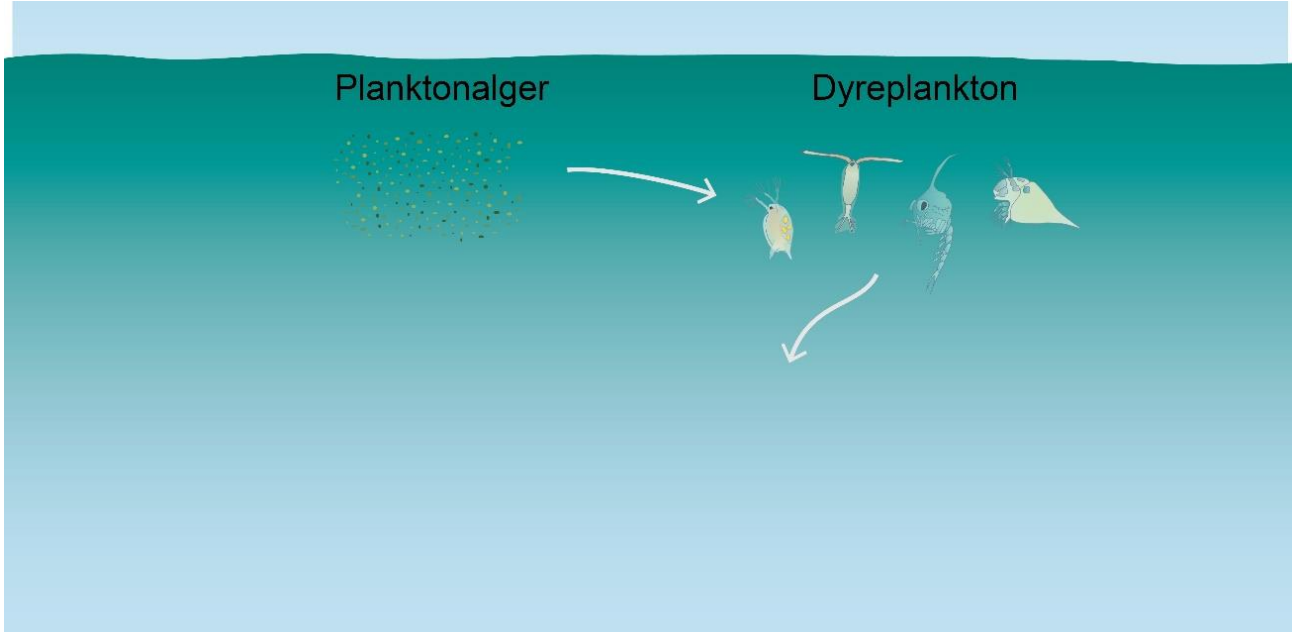
a) Udfyld kolonnerne i skema 2 med arterne, I har fundet på lokaliteten, deres fødevalg, og hvem de spises af.
b) Tegn et fødenet for lokaliteten i figuren nedenfor. Inddrag de organismer, I har noteret i skema 2.
c) Markér, hvilke organismer i fødenettet, der er primærproducenter, og hvilke der er konsumenter.
d) Undersøg om nogle af de arter, I har fundet, betegnes som invasive. Såfremt I har fundet invasive arter, kan disse registreres på Miljøstyrelsens hjemmeside, til brug for overvågning af de danske havmiljøer. Følg linket til at indberette en invasiv art via miljøstyrelsens hjemmeside: https://mst.dk/natur-vand/natur/national-naturbeskyttelse/invasive-arter/de-invasive-arter/

Diskussion

e) Undersøg, hvordan nogle af de organismer, I har fundet på lokaliteten, er tilpasset de abiotiske forhold.
f) Undersøg, hvordan nogle af de organismer, I har fundet på lokaliteten, optager ilt.

g) Hvilke forskelle er der på primærproducenter og konsumenter, og hvordan kan man se det på de organismer, I fandt?

h) Vurdér, hvilken betydning invasive arter kan have for økosystemet.



Figur 2 Fødenet for lokaliteten. Færdiggør fødenettet vha. de arter I har fundet på den undersøgte lokalitet. Figur fra www.opdaghavet.dk.

Skema 2: Biotiske forhold på lokaliteten			
Gruppe _____ Dato _____ Lokalitet _____			
Organismens gruppe	Observerede tilpasninger til levested	Placering i fødenettet	
		Fødevalg:	Spises af:
Tang/makroalger			
Havplanter (f.eks. ålegræs, havgræs)			
Gopler (f.eks. vandmænd)			
Fisk			
Krebsdyr (f.eks. tanglopper, tanglus, rurer)			
Bløddyr (f.eks. muslinger, snegle)			
Pighuder (f.eks. søstjerner)			
Orme			

Til læreren

Kontakt jeres lokale Blå Flag Center for at afdække muligheden for at låne snorkeludstyr og hjælp til varetagelse af snorkeltur.
Sikkerhedsmæssige overvejelser i forbindelse med snorkling:

- Det kan være en god ide at være to lærere afsted, hvis man har en stor klasse. Fx organiseret som temadag med to faglærere, der indgår i NV forløbet.
- Afmærk det område, der snorkles indenfor med bøjer. Man behøver ikke særligt dybt vand. 1 meters dybde er rigeligt til at opleve havets forunderlige liv.
- Gennemgå sikkerhedstegn på vandet.
- Eleverne skal snorkle i makkerpar.
- Elever der af forskellige årsager ikke vil snorkle, kan med fordel hjælpe med at spotte fra land samt indgå i bestemmelse af det materiale gruppens medlemmer bringer ind. Eller evt. være i waders.

I finder flest forskellige organismer, hvis I udfører øvelsen efter april måned, og inden havvandet igen bliver koldt. En god tidsmæssig grænse er 1. maj til 1. oktober.
Medbring gerne en lamineret oversigt med billeder af de organismer, eleverne kan forvente at se på lokaliteten udover bestemmelsesapp'en. Medbring også gerne laminerede billeder af de invasive arter, der er kendt på lokaliteten, så eleverne kan "gå på jagt".

Vejledningen er lavet med udgangspunkt i undervisningsmaterialet Opdag havet på WWF.
https://undervisning.wwf.dk/opdag-havet

3. Nøglearter i havet

Nøglearter er definerede ved at have en afgørende betydning for opretholdelsen af levesteder for andre arter i et økosystem. Traditionelt omfatter begrebet udelukkende dyrearter, men både planter og svampe kan også have afgørende funktioner i biologiske systemer. Dyrearter, som omfattes af nøgleartsbegrebet, kan findes på forskellige trofiske niveauer og kan således både være planteædere og rovdyr. Rovdyrets betydning som nøgleart kommer til udtryk gennem en kontrol med antallet af planteædere og en påvirkning af planteædernes adfærd. Rovdyret kan på den måde begrænse græsningen direkte ved at begrænse antallet af planteædere eller indirekte ved at ændre planteædernes foretrukne græsningsområder. Planteædernes antal og adfærd har en afgørende betydning for, hvordan vegetationen i et økosystem formes og dermed hvilke levesteder, der findes for andre organismer. På den måde kan rovdyr gennem deres påvirkning af græsserne være definerende for et økosystem. Når et biologisk system reguleres af rovdyrene, siger man, at systemet er top-down reguleret. Et eksempel på et rovdyr med funktion som nøgleart i havet er havodderen, der lever langs kysterne i den nordlige del af Stillehavet. Havodderen regulerer bestanden af søpindsvin, der græsser på de store tangskove af makroalgen kelp. Når havodderen forsvinder fra et område, er der ingen regulering af søpindsvinene, som derfor stiger ukontrolleret i antal og græsser tangskovene helt ned. Dermed forsvinder alt det liv, der knytter sig til tangskovene.

Der findes også eksempler på, at planteædere kan fungere som nøglearter. I nogle systemer kan en planteæders græsning på vegetationen være helt afgørende for at opretholde levestederne for andre arter. Det kan også være antallet af planteædere, der regulerer bestanden af rovdyr, som er afhængige af planteæderne som fødekilde. Antallet af planteædere vil i dette tilfælde reguleres af primærproduktionen fra de planter, der udgør fødekilden for planteæderne. Når et biologisk system reguleres af primærproduktionen af planter og alger, siger man at systemet er ”bottom-up reguleret”.

Trofisk niveau er en organismes trin i fødekæden.

Sigtdybde er et udtryk for vandets klarhed eller gennemsigtighed

Erosion er den fjernelse af materiale, som sker på gund af naturligt slid på landskabet.

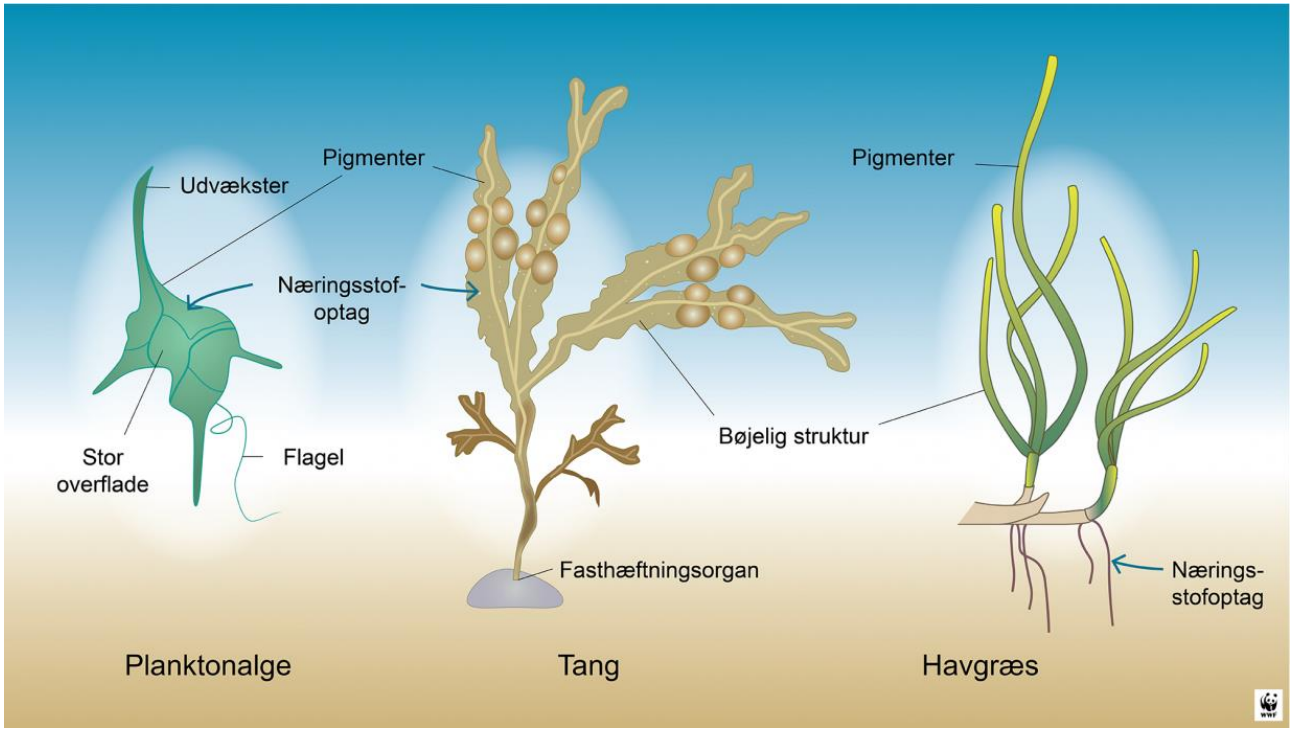
Top-down regulation: Økosystemets rovdyr regulerer populationsbestande i fødekæden.

Bottom-up regulation: Økosystemets primærproducenter regulerer populationsbestande i fødekæden.

3.1 Ålegræs

Figur 3. Ålegræs er en blomsterplante og en vigtig organisme i havmiljøet. Ålegræsset danner grønne "enge" på havbunden og yder både skjul og føde for mange forskellige dyr. Billedet er fra www.opdaghavet.dk

Ålegræs tilhører havgræsslægten, og er den mest udbredte havlevende blomsterplante i Danmark. Ålegræs adskiller sig fra makroalgerne ved at være en blomsterplante ligesom de landlevende planter. Slægtskabet med blomsterplanterne afsløres blandt andet af ålegræssets rødder, der holder planten fast på havbunden. Makroalger har ingen rødder, men derimod fasthæftningsskiver, der kan holde algen fast på en sten (se Figur 4).



Figur 4. Billede af tre forskellige primærproducenter i havet. Længst mod venstre: en planktonalge (dinoflagellat), midten: en makroalge (brunalge), hvor det ses, at den hæfter til en sten vha. et fasthæftningsorgan eller fæsteskive og til højre: havgræs, som er en plante, kendetegnet ved at den har rødder. Figur fra www.opdaghavet.dk.

Ålegræs er udbredt ved alle Danmarks kyster på nær Jyllands vestkyst nord for Vadehavet. Planten vokser både på sand- og mudderbund ved beskyttede kyster og fjorde. Ålegræssets dybdeudbredelse afhænger af sigtdybden i vandet. Sigtdybden angiver, hvor klart vandet er, og derved hvor dybt sollyset kan trænge ned i vandet. Ålegræsset er afhængigt af sollyset for at kunne lave fotosyntese, og dybdeudbredelsen er i de fleste områder på 3-5 meter. Tidligere var ålegræsset udbredt helt ned til 10 meters dybde i Kattegat, men udledningen af store mængder næringsstoffer til vores havmiljø har øget mængden af planktonalger i vandet. Planktonalgerne mindsker sigtdybden og skygger for det livgivende sollys, som ålegræsset er afhængig af til udførelse af fotosyntesen (se afsnit 7. Næringsstoffer i havet).

Ålegræsset indgår som en vigtig art i havets biologiske system, hvor den bidrager med flere økosystemtjenester. En ålegræseng rummer et mylder af smådyr, der både søger føde og beskyttelse mellem ålegræsplanterne. Ålegræsplanterne fungerer også som opvækstområde for mange arter af fiskeyngel. Ålegræs er desuden en vigtig fødekilde for flere fuglearter heriblandt pibeand, knortegås og sangsvane, der især om vinteren er afhængige af ålegræs som fødekilde.
Rødderne fra de mange ålegræsplanter, der står tæt sammen i en ålegræseng, stabiliserer sedimentet og modvirker erosion af havbunden. Det medfører et mere stabilt miljø, som giver levesteder for flere bundlevende organismer. I kraft af fotosyntesen producerer ålegræsset ilt, der frigives til vandet, og ålegræsplanterne kan på den måde være med til at begrænse forekomsten af iltsvind. Samtidig optager ålegræsset betydelige mængder CO_2, der gennem fotosyntesen lagres som organisk kulstof i plantevævet. Planterne optager ligeledes næringsstoffer, der indbygges og deponeres i ålegræssets blade. Disse næringsstoffer er derved utilgængelige for planteplanktonet, som kan give problemer med uklart vand og iltsvind (se afsnit 7.2 Iltsvind). Når de døde blade fra ålegræs nedbrydes, frigives næringsstofferne igen, men bladene nedbrydes langsomt, og ofte skyldes de op på land, hvorved en del af næringsstofferne fjernes fra havet.

Ålegræs er altså et eksempel på en art, der bidrager med mange vigtige funktioner i havets økosystem og sikrer levesteder for en lang række arter.

3.2 Blåmuslingen

Blåmuslingen er den mest udbredte muslingeart i Danmark og findes i alle danske farvande. Der findes syv forskellige arter af blåmuslinger, som tilsammen udgør slægten *Mytilus.* Slægten er udbredt over hele verden og betegnes derfor som en kosmopolit. I Danmark findes to arter af blåmuslinger; *Mytilus edulis* og *Mytilus trossulus*. *Mytilus trossulus* kan leve i havvand med lavt saltindhold og findes derfor i den indre del af Østersøen omkring Bornholm. *Mytilus edulis* findes i resten af vores farvande og er desuden udbredt i hele Nordatlanten.

Figur 5. Blåmuslingen kan forekomme i meget store antal på havbunden, hvor den danner tætte muslingebanker. Muslingebankerne danner biogene rev, og blåmuslingerne filtrerer planktonalger fra vandet. To egenskaber der er vigtige for havmiljøet. Billedet er taget af Mathias Brügmann Jessen.

Blåmuslingen er en såkaldt filtrator, der lever af at filtrere planktonalger fra vandet. Den kan optage fødepartikler med en størrelse på 2-100 µm, som tilbageholdes på gællerne. En enkelt blåmusling kan filtrere op til 200 liter vand i løbet af et døgn. I en muslingebanke sidder blåmuslingerne tæt sammen, ofte med flere hundrede muslinger pr. kvadratmeter. Det betyder, at en muslingebanke kan filtrere enorme vandmængder og på den måde rense vandet for planktonalger. Planktonalgerne gør vandet uklart og forhindrer lyset i at trænge ned til makroalger og ålegræs, som har brug for lyset til fotosyntesen. Samtidig kan planktonalgerne give anledning til iltsvind, når de dør og synker ned på bunden, hvor de nedbrydes under forbrug af ilt. Blåmuslingen bidrager altså til mere klart vand og kan mindske risikoen for iltsvind. Når blåmuslingerne sidder i banker på havbunden, dannes et såkaldt biogent rev. Biogene rev består af biologiske strukturer i modsætning til stenrev, som består af geologiske strukturer (se afsnit

2.1 Stenrev – havbundens oaser

). Muslingerne i et biogent rev stabiliserer sedimentet i havbunden og mindsker derved erosion og opblanding af sedimentet i vandsøjlen. Mellem muslingerne i revet opstår mange små hulrum, hvor mindre organismer kan finde ly og skjul. Muslingerne danner også et hårdt substrat og udgør derved vigtige levesteder for fastsiddende organismer som rurer, søanemoner og makroalger, der kan hæfte sig fast på skallerne. I Danmark defineres en blåmuslingebanke som et biogent rev, hvis banken omfatter minimum 2000 m^2 med en dækningsgrad af blåmuslinger på minimum 30 % og med en tilstedeværelse af blåmuslinger fra minimum 3 generationer. Hvis en blåmuslingebanke opfylder disse kriterier, omfattes den af EU's habitatdirektiv, der har til formål at bevare udvalgte naturtyper og arter. På den måde kan blåmuslingen indgå i udpegningen af såkaldte Natura 2000 områder, hvor der gælder særlige regler for beskyttelse af naturen.

Øvelse 2: Blåmuslingen – havets filterpumpe

Teori

Blåmuslinger lever af planktonalger og andre mikroskopiske organismer, som de filtrerer fra vandet. Det sker ved, at blåmuslingerne suger vand ind og leder det over gællerne, der også fungerer som et filter, som kan tilbageholde fødeemner. Nogle blåmuslinger filtrerer 2-3 liter vand i timen. Det svarer til, at der skulle løbe omkring 7000 liter vand igennem din krop hver time.
Fødeemnerne, som mikroskopiske planktonalger (fytoplankton) og bakterier samt småpartikler, transporteres via små fimrehår (kaldet cilier) til munden. Cilierne sidder på gællerne. Cilierne kan ses vippe frem og tilbage i muslingen. Alger og småpartikler føres gennem muslingens fordøjelsessystem. Her optages næringsstoffer, der anvendes til at opretholde livet og til at vokse.

Formål

At undersøge blåmuslingers filtration.

Materialer

- 2 akvarier eller gennemsigtige beholdere med plads til 2 liter vand
- 2 liter havvand
- 8-10 levende blåmuslinger
- Levende fytoplankton (eller tørgær)
- Vægt

Fremgangsmåde

1) Fyld 2 liter havvand i hvert af de to akvarier.
2) Overfør 8-10 muslinger til det ene akvarie.
3) Afmål 2 x 5 mL fytoplankton (Tørgær: bland 0,1 g tørgær i 10 mL havvand).
4) Tilsæt 5 mL fytoplankton til akvariet uden blåmuslinger og 5 mL fytoplankton til akvariet med blåmuslinger.
5) Rør forsigtigt rundt i akvarierne, så fytoplankton fordeler sig i vandet, og lad ellers akvarierne stå i ro.
6) Blåmuslingerne skal være åbne for at kunne filtrere. Hvis I lader dem stå uforstyrret i et par minutter, vil I se, at de åbner sig.
7) Undersøg, om man kan se forskel på vandets klarhed i de to akvarier, når muslingerne har været åbne og filtreret i 1 time.

   Hvis det er svært at se, om der er forskel på klarheden af vandet, kan man holde øvelsesvejledningen bagved akvarierne, og se, hvor nemt det er at læse teksten, når man kigger på øvelsesvejledningen fra den anden side af akvariet.
8) Oprydning: Blåmuslingerne skal tilbage til fangstlokaliteten, hvis det er muligt. Ellers aflives de, inden de ryger ud med dagrenovationen.

   Alt andet kan hældes i vasken, og akvarier og andet udstyr vaskes op.

Resultater

a) Hvordan var vandets klarhed i akvariet med blåmuslinger sammenlignet med akvariet uden blåmuslinger?

Diskussion

a) Hvordan påvirker blåmuslinger vandets klarhed? I hvor høj grad kan forsøget bruges til at sige noget om blåmuslingers filtrationsevne?
b) Hvilken funktion har akvariet uden blåmuslinger for forsøget?

Til læreren

Algekultur kan bl.a. købes hos www.oceanreef.dk (Phytomaxx Live phytoplankton)
Forsøget fungerer bedst med blåmuslinger, som I selv har taget direkte op fra havet. I kan med fordel tage blåmuslinger med hjem fra biotopundersøgelsen, øvelse 1.
Hvis I bruger blåmuslinger fra fiskehandleren, skal de opbevares i havvand. Vær opmærksom på ved hvilken salinitet blåmuslingerne er fanget.

Vejledningen er lavet med udgangspunkt i undervisningsmaterialet Opdag havet på WWF.
https://undervisning.wwf.dk/opdag-havet

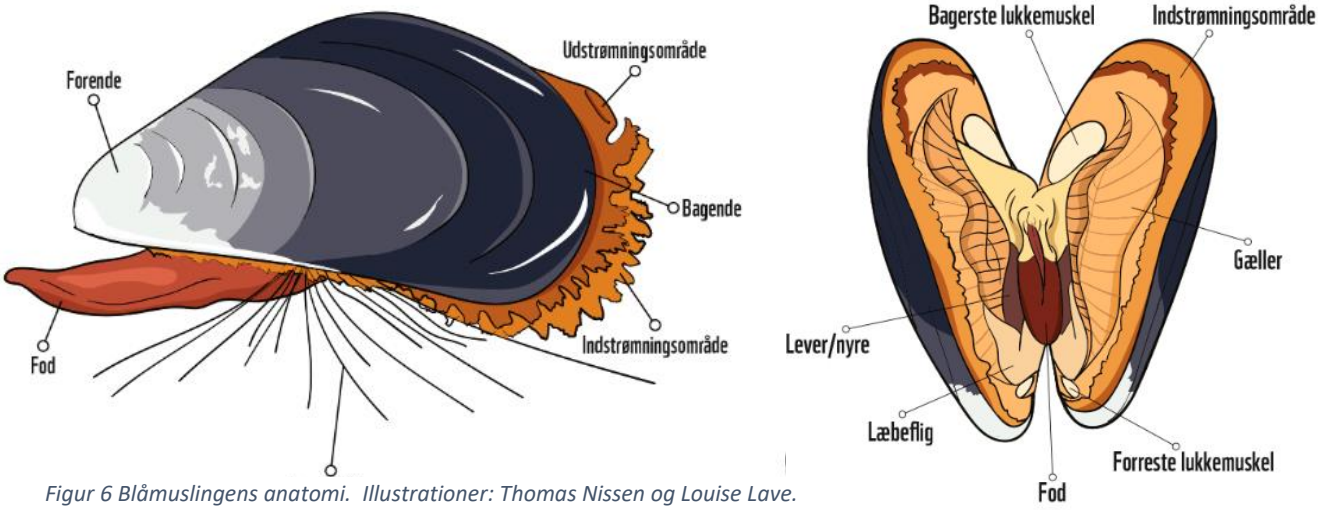
Øvelse 3: Dissektion af blåmusling

Teori

Blåmuslingen er en filtrator. Den lever af at fange planktonalger og andre mikroskopiske organismer, som de filtrerer fra vandet. Det sker ved, at blåmuslingerne suger vand ind og leder det over gællerne, der også fungerer som et filter, som kan tilbageholde fødeemner. Blåmuslingen fungerer altså som en filtrator i vandet.

På figuren nedenfor kan du se, at blåmuslinger har en fod, som de bruger, når de skal krybe afsted. Fra foden kan blåmuslinger udskille et stof, der hedder byssus. Når byssus kommer i kontakt med havvand, bliver der dannet nogle hæftetråde, der kaldes byssustråde. De gør det muligt for blåmuslingerne at holde sig fast og samtidig følge bølgernes bevægelser.

Da mange blåmuslinger lever på lavt vand og kun bevæger sig ganske langsomt, skal de kunne klare sig over vandets overflade, hvis vandstanden pludselig falder. Derfor har blåmuslinger en hård skal, som beskytter mod udtørring, og som samtidig har den fordel, at den også beskytter mod prædation. Skallen bliver holdt lukket ved hjælp af lukkemuskler.



Figur 6 Blåmuslingens anatomi. Illustrationer: Thomas Nissen og Louise Lave.

Formål

I skal undersøge blåmuslingens anatomi, og hvordan den er tilpasset livet i havet.

Materialer

Dissektionsbakke, blåmusling, dissektionssæt og kar til at opbevare muslingen i.

Fremgangsmåde

1) Find forende og bagende på muslingen.
2) Find ryg og bugside. Rygsiden er buet, mens bugsiden næsten er lige.
3) Find byssustråde, og undersøg deres udseende.

4) Luk muslingen op ved at holde den brede bagende væk fra dig selv, mens du presser eller vrider skallerne lidt fra hinanden. Placer kniven ude ved den brede bagende, så knivens æg vender væk fra dig selv. Stik kniven ind mellem skallerne, og skær den store bageste lukkemuskel over.
5) Åbn muslingen, og placer den i dissektionsbakken med lidt vand. Det kan være nemmere at bestemme de indre organer, når de flyder i vand.
6) Bestem de indre organer ud fra tegningen i teoriafsnittet.
7) Tag gerne billeder til jeres portfolio el.lign. for bedre at kunne huske jeres arbejde.
8) Oprydning: Muslingerne fjernes med dagrenovation. Udstyret vaskes af og stilles på plads.

Diskussion

a) Hvordan er blåmuslinger tilpasset livet i havet? Her skal du inddrage viden fra teoriafsnittet og dissektionen.
b) Hvilken rolle spiller blåmuslinger i havets økosystemer? Inddrag her bl.a. din viden om hvordan blåmuslingen ernærer sig (hvad den lever af).

Vejledningen er lavet med udgangspunkt i undervisningsmaterialet Opdag havet på WWF.
https://undervisning.wwf.dk/opdag-havet

4. Invasive arter i havmiljøet

Figur 7. Sortmundet kutling er en invasiv art i Danmark. Her ses den gemt bag blåmuslinger. Billedet er fra www.opdaghavet.dk.

I havets økosystemer forekommer et samspil mellem arterne, der påvirker hinanden gennem konkurrence, græsning og prædation. Dette samspil er udviklet gennem tusindvis af år. Med tiden er der opstået en balance i arternes påvirkning af hinanden. På den måde er økosystemet stabiliseret. Tilføres en ny art, som ikke er tilpasset økosystemet, kan dette ødelægge balancen i systemet, og nogle af de oprindelige arter risikerer at forsvinde. Hvis arten flyttes unaturligt ved menneskers hjælp og truer hjemmehørende arter, kaldes arten for invasiv. For at en art kategoriseres som invasiv, skal den altså både være ikke-hjemmehørende og have en negativ påvirkning på hjemmehørende arter. Et af de problemer, der ofte kendetegner inavise arter, er fraværelsen af naturlige fjender i de områder, hvor den invasive art er blevet indført af mennesker. Uden naturlige fjender kan arten formere sig ukontrolleret med negative konsekvenser for hjemmehørende arter til følge. Et andet træk der ofte kendetegner invasive arter, er en hurtigere vækst og et større sprednings- og formeringspotentiale end de hjemmehørende arter. Derved kan den invasive art udkonkurrere de hjemmehørende arter.

Spredningen af de invasive arter sker ofte ubevidst. I en globaliseret verden flytter vi konstant gods og varer over store afstande, og det giver ofte anledning til at dyre- og plantearter utilsigtet transporteres med. De store fragtskibe bruger havvand som ballast til at stabilisere skibet. I vandet kan der være gopler, fisk, krebsdyr, alger og plankton, som kan, hvis de overlever transporten, spredes til andre dele af verden. På ydersiden af skibskrogene sidder der ofte fastsiddende organismer som rur og søpunge, der ligeledes kan spredes med skibstrafikken. På den måde har skibstrafikken givet anledning til en stor spredning af mange arter på kryds og tværs af verdenshavene.

Invasiv art: En ikke-hjemmehørende art med negativ påvirkning på hjemmehørende arter.

De invasive arter i havet kan være særligt problematiske, da det ofte er umuligt at stoppe spredningen, når en invasiv art først er indført til et nyt havområde. Det skyldes at mange havlevende dyr formerer sig i store antal og starter deres livscyklus som mikroskopiske larver. Æg og larver spredes i vandmasserne i tusindvis og er ikke mulige at indsamle. Derfor findes der i dag, i visse lande, krav om at de store fragtskibe skal bruge teknologier, der renser deres ballastvand for at minimere risikoen for spredning af invasive arter.
I Danmark er fasanen ikke en hjemmehørende fugl, men derimod indført fra Asien af mennesker. Fasanen truer dog ikke vores hjemmehørende flora og fauna og derfor kategoriseres fasanen ikke som invasiv. Sølvmågen er et eksempel på en hjemmehørende fugl i den danske natur og en opportunistisk art, dvs. at den formår at tilpasse sig til mange forskellige habitater. Til tider kan sølvmågen forekomme i stort antal, og da den blandt andet er dygtig til spise æg og unger fra andre fuglearter, kan sølvmågen fejlagtigt opfattes som en invasiv art. Da sølvmågen er en hjemmehørende fugl i den danske natur, er den ikke invasiv, men derimod en naturlig del af økosystemet. Nedenfor er beskrevet to dyrearter, der begge er invasive i den danske natur.

4.1 Stillehavsøsters

Stillehavsøsters (*Crassostrea gigas*) blev første gang registreret i Danmark i 1996 i vadehavet nord for Esbjerg. I dag er arten udbredt både i Vadehavet, Limfjorden, Isefjord og Horsens Fjord. Stillehavsøstersen blev ikke indført ved et uheld, men blev derimod udsat med tilladelse fra myndighederne i både Limfjorden og Isefjord. Man ønskede at opdrætte østersen, som også dengang var en eftertragtet spise. Tilladelserne til opdræt af stillehavsøsters blev givet, da arten kræver relativt høje vandtemperaturer for at gyde, og man mente derfor ikke, at den kunne formere sig i Danmark. Det viste sig senere at denne vurdering var forkert. Stillehavsøsters formerer sig uden problemer i de danske farvande. Da dette blev opdaget, var det dog for sent at fjerne østersen, der allerede havde etableret bestande, i de områder den var sat ud. Det er ikke muligt at bekæmpe østersen, når den først har etableret sig, da den formerer sig med tusindvis af små larver, som spredes i vandet.

Stillehavsøsters vurderes at være en trussel for den hjemmehørende fauna. Det skyldes, blandt andet, at den i nogle tilfælde kan udkonkurrere blåmuslingen. Stillehavsøsters og blåmuslingen er begge muslinger, der lever af at filtrere planktonalger fra vandet. Begge arter danner tætte banker på havbunden, hvor de hæfter sig fast på skallerne af hinanden. Stillehavsøsters vokser hurtigere, og med en maksimal skallængde på 40 cm bliver den også væsentligt større end blåmuslingen. På den måde kan Stillehavsøstersen overtage blåmuslingebankerne. Det vil blandt være problematisk for edderfuglen, der hovedsageligt lever af blåmuslinger og ikke er i stand til at spise stillehavsøsters. En stillehavsøsters kan blive op til 30 år gammel, og en enkelt østers kan således nå at formere sig mange gange i løbet af sin levetid.
Stillehavsøstersen har dog ikke udelukkende en negativ effekt på vores havmiljø. Ligesom blåmuslingen filtrerer stillehavsøstersen vandet for planktonalger, hvilket har en positiv effekt på sigtbarheden. Derudover danner østersbankerne et såkaldt biogent rev (se afsnit 2. Et mangfoldigt hav).

4.2 Amerikansk ribbegople

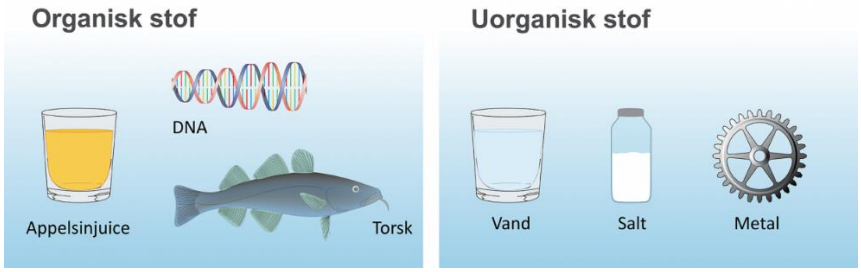
Amerikansk ribbegople er også kendt under det mere dramatiske navn dræber-gople. Den lille ribbegople med en maksimal størrelse på 10 cm er dog ikke farlig for mennesker. Til gengæld kan arten have store konsekvenser for det øvrige liv i havet – og for fiskeriet. Den amerikanske ribbegople blev første gang

registreret i Danmark i 2007, hvor den blev registreret i både Lillebælt og Kerteminde Fjord. I dag er arten udbredt i alle danske farvande. Arten stammer fra Atlanterhavet ud for Nordamerika, og allerede i 1980'erne blev goplen introduceret i Sortehavet. Her fik indførslen at den amerikanske ribbegople store konsekvenser for økosystemet, der resulterede i et kollaps af bestandene af sildefisk som ansjos og brisling i Sortehavet. Kollapset i bestandene af sildefisk hænger sammen med den amerikanske ribbegoples føde. Goplen lever af dyreplankton og kan på den måde fjerne fødegrundlaget for sildefiskene, der også lever af dyreplankton. Samtidig kan goplen påvirke sildefiskenes population direkte, da den også spiser fiskeæg og fiskelarver. Udover at sildefiskene har stor betydning for fiskeriet, indgår de også som en vigtig del af havets fødenet. Sildefiskene udgør en vigtig fødekilde for en lang række større rovfisk, havpattedyr og havfugle. Med sildefiskenes tilbagegang forsvinder fødegrundlaget således for en lang række andre arter.
Ved opdagelsen af den amerikanske ribbegople i Danmark i 2007 frygtede man et kollaps i fiskebestanden lignende det, som man havde oplevet i Sortehavet i 1980'erne. Goplen menes at have påvirket fiskeriet negativt i visse områder, blandt andet i Limfjorden, hvor fiskebestandene i forvejen var stærkt reducerede som følge af mange års kraftig forurening af fjorden. Goplens effekt på fiskebestandene har dog ikke været lige så markant som i Sortehavet, men den amerikanske ribbegople påvirker havmiljøet negativt på flere måder. Da goplen spiser dyreplankton, fjerner goplen de dyr, der græsser på planteplanktonet og dermed holder disse alger nede. Når planteplanktonet ikke spises vil det i stedet synke til bunds, hvor det bliver nedbrudt af bakterier under forbrug af ilt. Dette kan i værste fald lede til iltsvind, og man mener, at den amerikanske ribbegople på den måde kan være med til at forårsage iltsvind i de danske farvande med store negative konsekvenser for havmiljøet til følge (se afsnit 7.2 Iltsvind).

Spredningen af den amerikanske ribbegople er med stor sandsynlighed foregået med ballastvand fra de store fragtskibe. Som det er typisk for invasive arter, formerer den amerikanske ribbegople sig hurtigt, og med et fravær af naturlige fjender betyder det, at goplen kan formere sig voldsomt og uhæmmet. I 2012 opdagede man dog, at en af goplens naturlige fjender nu også var at finde i Danmark. Der var tale om arten amerikansk melongople, der også er en ribbegople, og som spiser den amerikanske ribbegople. Tilstedeværelsen af naturlige fjender er af afgørende betydning for at kontrollere bestandstørrelsen af en art. Opdagelsen af den amerikanske melongople var derfor en god nyhed for det danske havmiljø. Alt tyder dog på, at den amerikanske ribbegople er en art, der er kommet for at blive i de danske farvande.

5. Primærproduktion

Organismer, der er i stand til at danne organiske kulstofforbindelser ud af uorganiske stoffer, kaldes for autotrofe organismer. Det er disse organismer der udgør klodens primærproducenter, og alt andet liv afhænger af det organiske materiale, der produceres af disse organismer. Figur 8 viser eksempler på organiske og uorganiske stoffer.



Figur 8. Organisk stof er dannet af levende organismer og består af kulstofatomer (C) samt brint (H) og ilt (O) og ofte andre grundstoffer, især kvælstof (N), fosfor (P) og svovl (S). Eksempler på organiske stoffer er kulhydrater, proteiner og DNA. Uorganisk stof er groft sagt 'byggesten' for organiske stoffer, der især forekommer i det omgivende miljø. Figuren er fra www.opdaghavet.dk.

De autotrofe organismer inddeles i to grupper: Kemoautotrofe organismer og fotoautotrofe organismer.
Kemoautotrofe organismer omfatter bakterier, der er i stand til at udnytte energien i kemiske forbindelser til at danne organiske kulstofforbindelser. Disse organismer findes kun i miljøer med ingen eller meget lidt ilt.
De fotoautotrofe organismer er i stand til at udnytte energien i sollyset til at danne organiske kulstofforbindelser i den proces, der kaldes fotosyntese. Disse organismer omfatter planter, alger og cyanobakterier, og det er disse organismer, der står for størstedelen af primærproduktionen på jorden.
Ved fotosyntesen forbruges CO_2 og der dannes glukose og ilt (8).
Processen kan skrives således:

Fotosyntese: Den proces hvorved bl.a. planter danner glukose (organisk kulstofforbindelse).

Fotoautotrof: "Lys-selvernærede", dvs. organismer der danner organisk stof med sollys som energikilde.

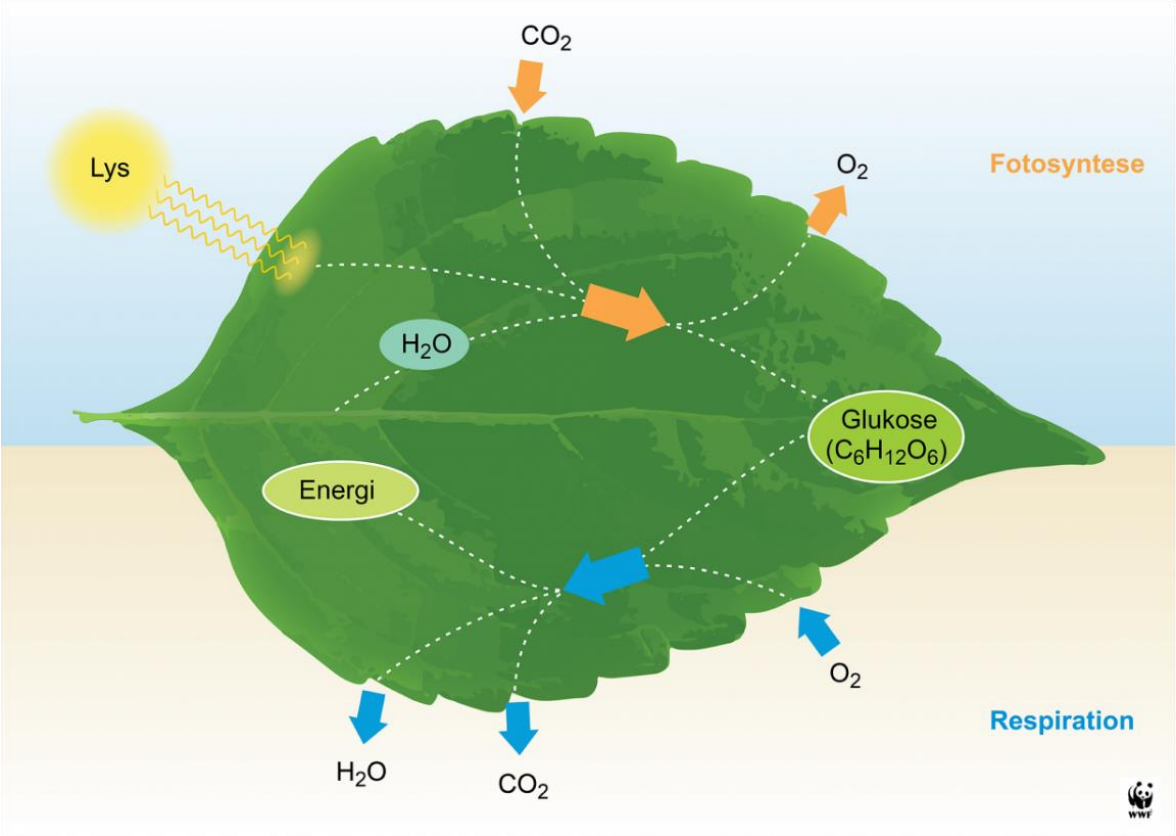
Primærproduktion: Produktion af organisk stof i planter og alger samt enkelte bakterier. Disse udgør 1. led i fødekæden.

Organiske forbindelser: Kulstofforbindelser der indeholder kulstof-hydrogen bindinger.

Uorganiske forbindelser: *Ikke*-kulstofholdige forbindelser, CO_2 er dog en undtagelse.

$$6H_2O + 6CO_2 + lysenergi \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$$

(vand + kuldioxid + lysenergi → glukose + ilt)

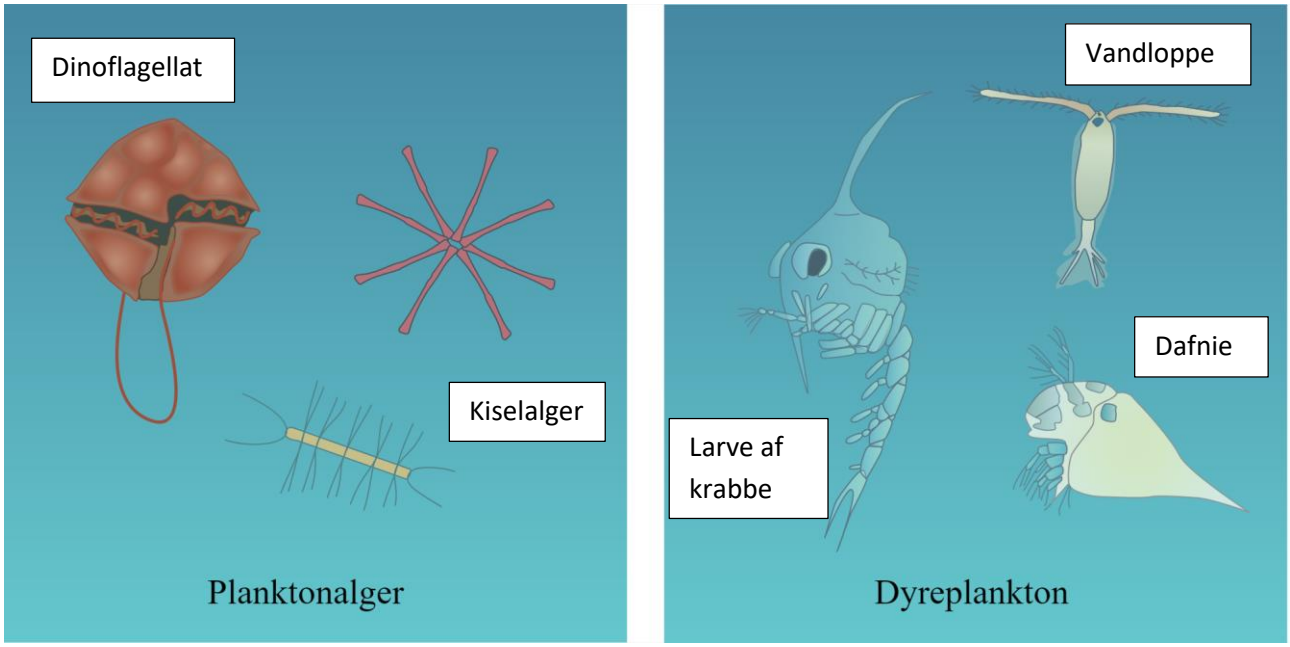


Figur 9. Figurens øverste del viser fotosyntese hos planten, mens figurens nederste del viser respiration. Planter laver kun fotosyntese, når der er sollys til rådighed, mens de laver respiration hele døgnet. Figuren er fra www.opdaghavet.dk.

5.1 Planteplankton

Havets plankton udgøres af små organismer, der føres omkring af havstrømmene. Plankton kan overordnet inddeles i to grupper: Dyreplankton og planteplankton. Dyreplanktonet omfatter blandt andet fiskelarver og små krebsdyr som vandlopper. Planteplankton, der spises af dyreplankton, omfatter små, ofte encellede alger, der indeholder forskellige pigmenter, som gør algerne i stand til at lave fotosyntese. Havets planteplankton står for 95% af havets primærproduktion, og selvom planktonalgerne kun udgør 1% af jordens samlede plantebiomasse, står de for omkring 40 % af jordens samlede primærproduktion. Planktonalgerne er altså ikke bare den mest betydningsfulde primærproducent i havet, men også en af de vigtigste på Jorden.

Planteplankton rummer en enorm variation i form og størrelse på samme måde som landjordens planter. Størrelsen varierer fra 0,5 µm til 1000 µm altså en størrelsesforskel på 2000 gange. Det svarer til forskellen mellem en mælkebøtte og et egetræ. Nogle planktonalger har et udvendigt panser af kalk eller kisel eller danner lange udvækster, der skal beskytte algen mod at blive spist. Nogle arter kan svømme gennem vandet ved egen kraft ved hjælp af bevægelige tråde kaldet flageller, mens andre kun kan lade sig føre afsted med strømmen. De planktonalger, der er i stand til at svømme ved egen kraft, har ofte en øjeplet, der kan registrere lys, således at algen kan orientere sig mod overfladen eller havbunden.



Figur 10. Forskellige planteplankton(planktonalger) og dyreplankton. Omtegnet efter www.opdaghavet.dk.

De fleste plantonalger er encellede organismer, der enten lever som enkelte celler eller som lever sammen i kolonier. De vigtigste grupper af marint planteplankton er kiselalger, dinoflagellater og cyanobakterier. Kiselalgerne er kendetegnede ved at være omsluttet af to skaller af kisel (SiO_2). Skallerne er gennemsigtige og er egentlig en form for glas, der ligesom kisel, er dannet af grundstoffet silicium. Skallerne danner en skål og et låg, ofte med lange pigge eller børster, som gør algerne svære at spise. Kiselalgerne inddeles desuden i to grupper efter deres form: Centriske kiselager der er symmetriske omkring ét punkt på samme måde som et hjul. Den anden gruppe kaldes penate kiselalger, og disse har én længdegående symmetriakse på samme måde som f.eks. menneskekroppen. Kiselalgerne har ingen flageller og er derfor ikke i stand til at bevæge sig ved egen kraft.
Dinoflagellater kaldes også furealger og er kendetegnede ved at have to karakteristiske furer, hvoraf den ene er tværgående og den anden er længdegående. I hver fure ligger en flagel, som algen bruger til at svømme gennem vandet. Mange Dinoflagellater er beklædt med plader af cellulose, som danner et udvendigt panser, der beskytter algen. Dinoflagellaterne er også kendt for at danne morild, som enkelte arter er i stand til. Morild er en form af bioluminescens, som er lys, der dannes af levende organismer. Ved morild frigiver algerne lys ved berøring, hvorved vandet lyser op og danner et spektakulært syn.
Enkelte arter af furealger danner giftige stoffer kaldet toksiner. Hvis muslinger spiser disse alger, kan giftstofferne ophobes i muslingerne og derved give anledning til skaldyrsforgiftning, der kan være farlig for mennesker. Af denne grund skal man altid være varsom, hvis man samler muslinger, som man vil spise. En god tommelfingerregel er kun at samle muslinger i måneder med *-r*, hvor vandtemperaturen er for lav til algerne.
Cyanobakterier kaldes også for blågrønalger og er kendt for at være giftige alger, men disse organismer er bakterier og ikke alger. De har dog, ligesom algerne, evnen til at lave fotosyntese. Derudover er cyanobakterier i stand til at optage frit kvælstof fra atmosfæren og bruge det som næringsstof, hvor algerne kun er i stand til at optage kvælstof i form af opløste næringssalte. Desuden indeholder cyanobakterierne luftfyldte lommer, som giver algerne opdrift og forhindrer, at de synker til bunds, til trods for at disse organismer er store sammenlignet med andet planteplankton.

5.2 Makroalger

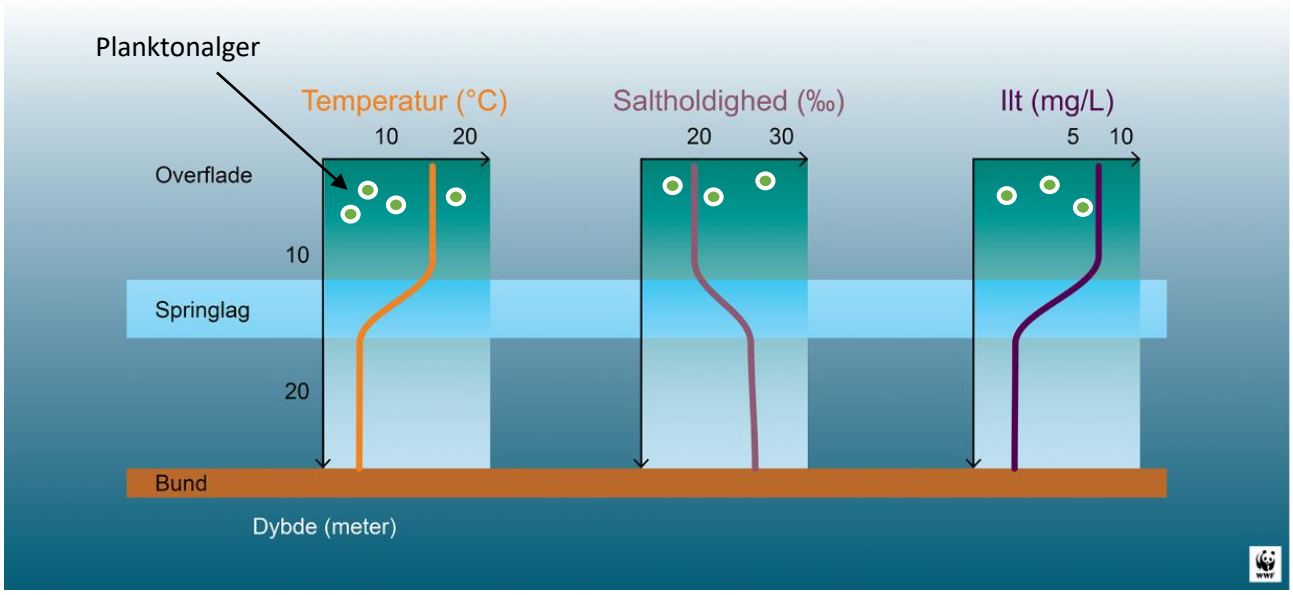
Figur 11. På billedet ses tre forskellige makroalger, der alle er almindelige i de fleste danske farvande. Fra venstre: Brunalgen blæretang, grønalgen søsalat og rødalgen blodrød ribbeblad.

Makroalgerne udgør de arter, de fleste kender som tang, og makroalgerne varierer i størrelsen fra under 1 cm til over 60 meter for de største arter. Makroalgerne adskiller sig fra marine planter, som ålegræs, ved ikke at have rødder, men derimod en simpel fasthæftningsskive, der holder algen fast på en sten eller et andet hårdt substrat. Disse alger inddeles i tre overordnede grupper: Grønalger, brunalger og rødalger. Algerne fra de tre grupper kan altså adskilles på farven af de pigmenter, algerne indeholder. Algernes pigmenter hænger sammen med den dybde, algerne lever på. Når sollyset rammer havoverfladen, reflekteres en del af lyset. Jo dybere lyset trænger ned gennem vandet, jo mere lys reflekteres, og lysintensiteten bliver derfor mindre og mindre. Hvor langt lyset trænger ned, afhænger desuden af lyset farve og bølgelængde. Det blå lys trænger dybest ned gennem vandet, mens det røde lys er det der trænger mindst ned. Denne zonering af lyset afgør, hvor dybt de forskellige makroalger kan vokse. Rødalgerne, som er i stand til at udnytte det blå lys til fotosyntese, lever på de største dybder, mens grønalgerne findes tættest på overfladen.

5.3 Kulstofkredsløbet

Ved primærproduktionen optages CO_2 fra atmosfæren og indbygges via fotosyntesen i den organiske kulstofforbindelse glukose. Gennem fødekæden videregives det organiske kulstof mellem havets organismer, og undervejs frigives CO_2 via respirationen. Når organismer dør eller udskiller fækalier, ophobes dødt organisk materiale på havbunden. Her nedbrydes det organiske materiale af mikroorganismer, der frigiver det organiske kulstof som CO_2 via deres respiration. Det er altså primærproducenter, der danner livsgrundlaget for de øvrige organismer i økosystemet, ved at optage uorganisk kulstof (CO_2) fra atmosfæren og indbygge det i organiske forbindelser, som de øvrige organismer er i stand til at optage.

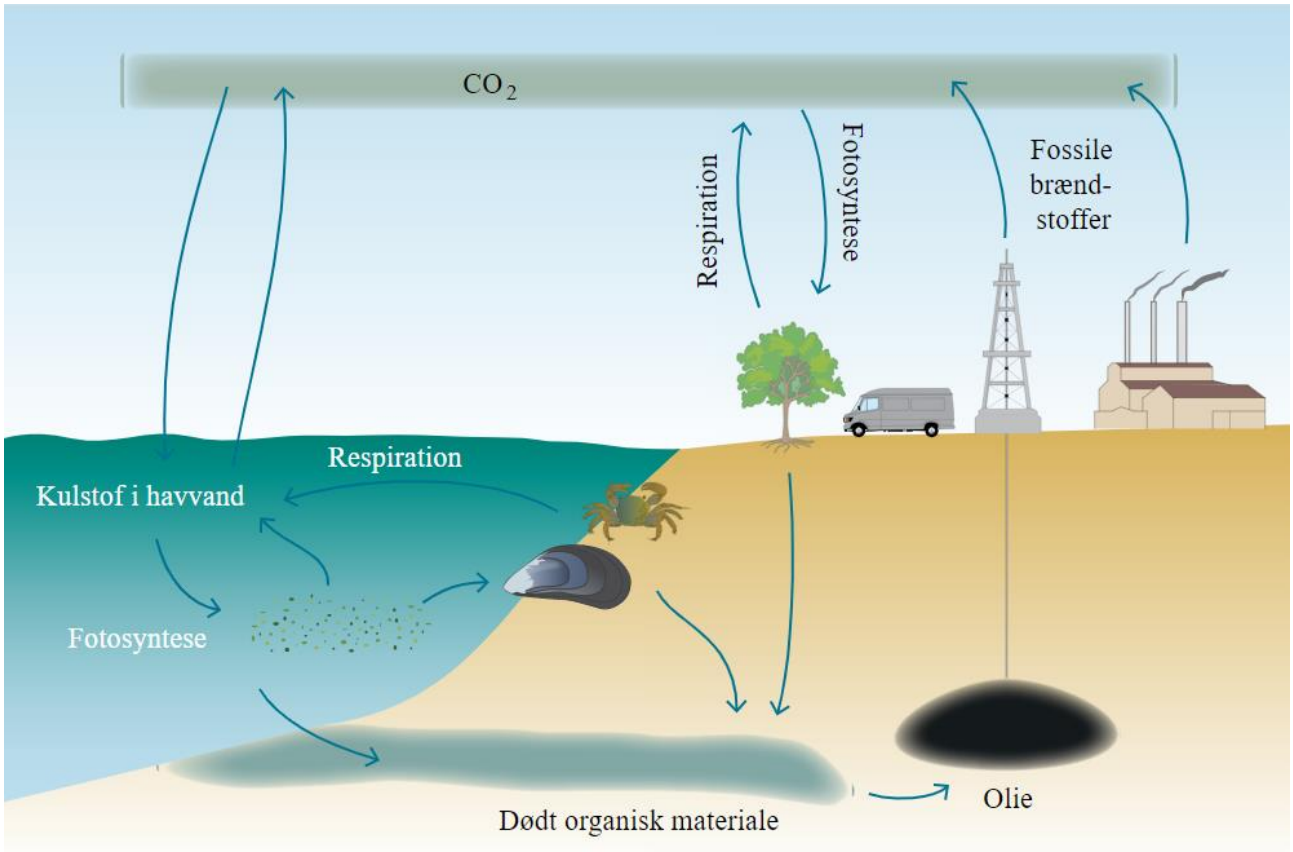
I de åbne oceaner er vanddybderne imidlertid meget store. Det betyder, at organisk materiale synker ned i dybhavet, og kulstoffet som er bundet i materialet, bliver taget ud af kredsløbet. De øverste få hundrede meter af vandsøjlen opvarmes af sollys og bliver derved varmere end de underliggende flere tusind meter af vandsøjlen. Det medfører en permanent lagdeling af vandsøjlen, da det varmere vand tættest på overfladen har mindre massefylde end det koldere underliggende vand.



Figur 12. Lagdelingen af vandsøjlen forårsaget af forskelle i temperatur og saltholdighed. Springlaget er grænsefladen mellem de øvre og nedre vandmasser. Planktonalgerne vil findes i de øvre vandmasser, da der her er tilstrækkeligt sollys til, at de kan lave fotosyntese. Omtegnet efter www.opdaghavet.dk

Når planktonalgerne vokser i den øverste del af vandsøjlen, hvor der findes tilstrækkeligt lys til fotosyntesen, optager de CO_2 fra vandet. Når CO_2-koncentrationen i vandet bliver lavere end i atmosfæren optager havvandet CO_2 fra luften, så der hele tiden er en ligevægt mellem koncentrationen i havvandet og i luften. De fleste planktonalger bliver spist, men enkelte synker ned i dybhavet. På grund af den permanente lagdeling i vandsøjlen vil den CO_2, som er bundet i de nedsunkne planktonalger, forblive i dybhavet. Det betyder, at planktonalgerne i de åbne oceaner virker som en stor biologisk CO_2–pumpe, der optager CO_2 fra atmosfæren og deponerer det på bunden af havet. På den måde er verdenshavene med til at modvirke den globale opvarmning forårsaget af CO_2-udledning. Under særlige forhold kan de planktonalger, der ophobes på havbunden, omdannes til olie og gas. Denne proces går dog meget langsomt, og der foregår ikke en løbende dannelse af gas og olie, der kan kompensere for de store mængder, vi forbruger (se afsnit 12).

Springlag: Opdeling af vandsøjlen forårsaget af forskelle i temperatur og/eller saltholdighed.

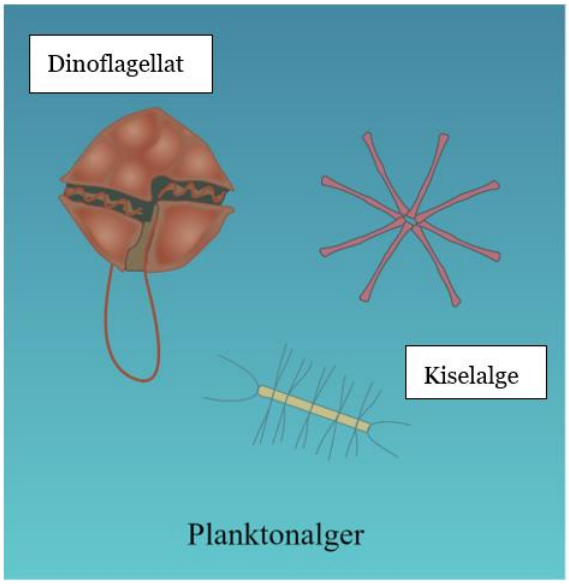


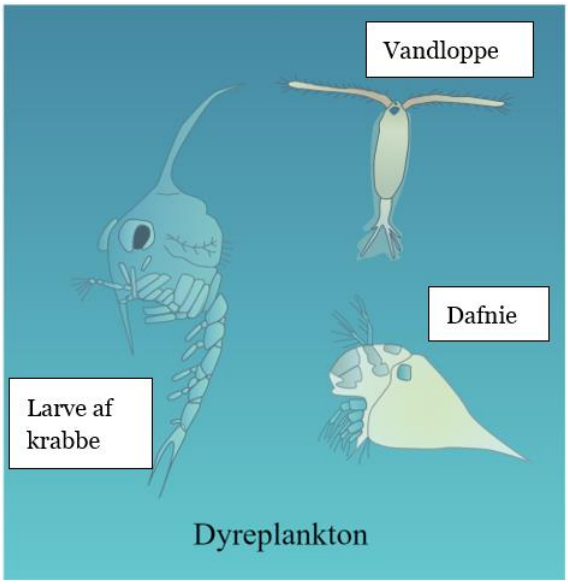
Figur 13. Kulstofkredsløbet. Figuren er fra www.opdaghavet.dk.

Øvelse 4: Mikroskopi af plankton

Teori

Plankton er en fællesbetegnelse for planter og dyr, der bliver ført omkring med vandstrømme. Ofte er planktonorganismer så små, at du kun kan se dem, hvis du bruger et mikroskop. Hos planktonalger, der er primærproducenter, finder man fotosyntesepigmenter, og på trods af deres ringe størrelse er planktonalger nogle af de vigtigste producenter af organisk stof og ilt på Jorden. I de indre danske farvande kan der være perioder, hvor planktonalger som kiselalger og flagellater dominerer.
I havets fødekæde kan planktonalger blive spist af dyreplankton, der også er plankton. Vandlopper og dafnier er dyreplankton ligesom fiskelarver og mange andre dyr.
Hvis du kigger på en dråbe havvand i et mikroskop, kan du se, hvordan plankton ser ud i virkeligheden.





Formål

I skal undersøge planktonalger og dyreplankton i havvand.

Materialer

- Mikroskop
- Objektglas
- Dækglas
- Planktonprøve
- Online fytoplankton nøgle, fx denne http://cfb.unh.edu/phycokey/phycokey.htm

Fremgangsmåde

Tag evt. en planktonprøve med fra biotopundersøgelsen til denne del.

1) Brug en pipette til at placere en dråbe havvand midt på et objektglas.
2) Læg forsigtigt et dækglas oven på dråben.
3) Læg objektglasset i mikroskopet, og start med at bruge den mindste forstørrelse (4X).
4) Stil først skarpt med grovskruen og derefter med finskruen.
5) Herefter kan du dreje det næste objektiv (10X) ind og stille skarpt med finskruen.
6) Tag et billede gennem objektivet med din telefon. Det kræver en rolig hånd!
7) Bestem evt. de plankton- og dyreplankton, du ser i mikroskopet.
8) Oprydning: Dækglasset fjernes med et stykke papir og kasseres i glasaffald. Objektglasset vaskes og genbruges.

Diskussion

a) Hvilken betydning har planktonalger og dyreplankton for havets økosystemer?

Til læreren

Til denne øvelse vil det være en fordel med en oversigt over, hvad eleverne kan forvente at finde.

Vejledningen er lavet med udgangspunkt i undervisningsmaterialet Opdag havet på WWF.
https://undervisning.wwf.dk/opdag-havet

Øvelse 5: Fotosyntese hos vandplanter

Teori

Når planter laver fotosyntese, producerer de blandt andet ilt:

$$6CO_2 + 6H_2O + \text{lys} \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$$

En del af ilten bruges til plantens respiration, mens overskuddet udskilles gennem bladenes spalteåbninger. Mange sump- og vandplanter transporterer den producerede ilt gennem luftkanaler til rødderne, som sidder i den iltfattige bund. Rødderne bruger ilten til respiration.
Hvis vi skærer stænglen på en vandplante over, og anbringer den på hovedet i vand, vil der boble ilt ud af stænglen, når planten laver fotosyntese. Mængden af bobler vil være et udtryk for fotosynteseaktiviteten, altså et indirekte mål for plantens fotosynteserate.
Ved at ændre mængden af CO_2 i vandet kan vi undersøge om CO_2-mængden har indflydelse på plantens fotosynteseaktivitet.

Formål

I skal undersøge en vandplantes fotosynteseaktivitet i forhold til mængden af CO_2 i vandet.

Materialer

- En vandpestplante af ca. 10 cm længde
- Reagensglas
- Reagensglasstativ
- Stamopløsning af $NaHCO_3$ (40 g/L) (jeres CO_2 kilde)
- Stopur
- Målebånd
- Termometer
- Lyskilde

Fremgangsmåde

1) Fremstil to ekstra opløsninger af $NaHCO_3$ på 10 g/L og 20 g/L ud fra stamopløsningen, så der i alt er 4 opløsninger: 0,0 g/L, 10 g/L, 20 g/L og 40 g/L
2) Skriv en hypotese for hvert glas i skemaet nedenfor.
3) Anbring vandpestplanten i reagensglasset, og fyld op med den opløsning, I vil undersøge. Start med den laveste koncentration.
4) Anbring reagensglasset foran lyskilden. En afstand på 30 cm er passende.
5) Tænd lampen og vent 3-4 minutter. Mål temperaturen i reagensglasset.

6) Tæl derefter antal bobler der frigives fra stænglen i 2 minutter. Notér resultatet og tæl derefter i 2 min. og notér igen resultatet. Beregn gennemsnittet af målingerne og omregn til antal bobler pr. min.
7) Skift vandet i reagensglasset ud med en ny koncentration af $NaHCO_3$ og gentag punkt 3-5.

Glas	**Koncentration af $NaHCO_3$**	**Hvad forventer du dig af forsøget (hypotese).**
Glas 1	0,0 g/L	
Glas 2	10 g/L	
Glas 3	20 g/L	
Glas 4	40 g/L	

Resultater

	Måling 1: Antal bobler på 2 min.	**Måling 2: Antal bobler på 2 min.**	**Gennemsnitligt antal bobler pr. min**
Glas 1			
Glas 2			
Glas 3			
Glas 4			

Resultatbehandling

Tegn en graf over resultaterne, med antal bobler/min. som funktion af $NaHCO_3$ koncentrationen.

Diskussion

a) Er den en sammenhæng mellem koncentrationen af $NaHCO_3$ og fotosynteseaktiviteten?
b) Er der nogle fejlkilder i forsøget og har de i så fald haft indflydelse på jeres resultater?

Til læreren

I stedet for $NaHCO_3$ kan man benytte forskellige koncentrationer af danskvand. Det er vigtigt, at vandpestplanterne skæres i et rent snit, da det ellers kan være svært at tælle boblerne.

6. Respiration

Alle dyr, planter, alger og mikroorganismer i havet udfører respiration som en del af deres metabolisme. Dyr, planter og alger respirerer ved brug af ilt og benytter sig således af aerob respiration. Nogle mikroorganismer er i stand til at respirere ved brug af andre forbindelser, såsom nitrat og sulfat. Den aerobe respiration er dog den mest effektive og derfor vil organismer, der benytter sig af denne, være dominerende i miljøer med ilt.

Reaktionsligningen for aerob respiration kan skrives således:

$$\boldsymbol{C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \ + 30(ADP + Pi) \rightarrow \ 6CO_2 + 6H_2O + 30ATP}$$

(Glukose + ilt + 30 (ADP+P) → kuldioxid + vand + energi)

Respiration: En del af organismens stofskifte, hvor der sker en forbrænding af fx glukose hvorved der dannes energi.

Metabolisme: (Stofskifte) Omsætning af næringsstoffer i organismen.

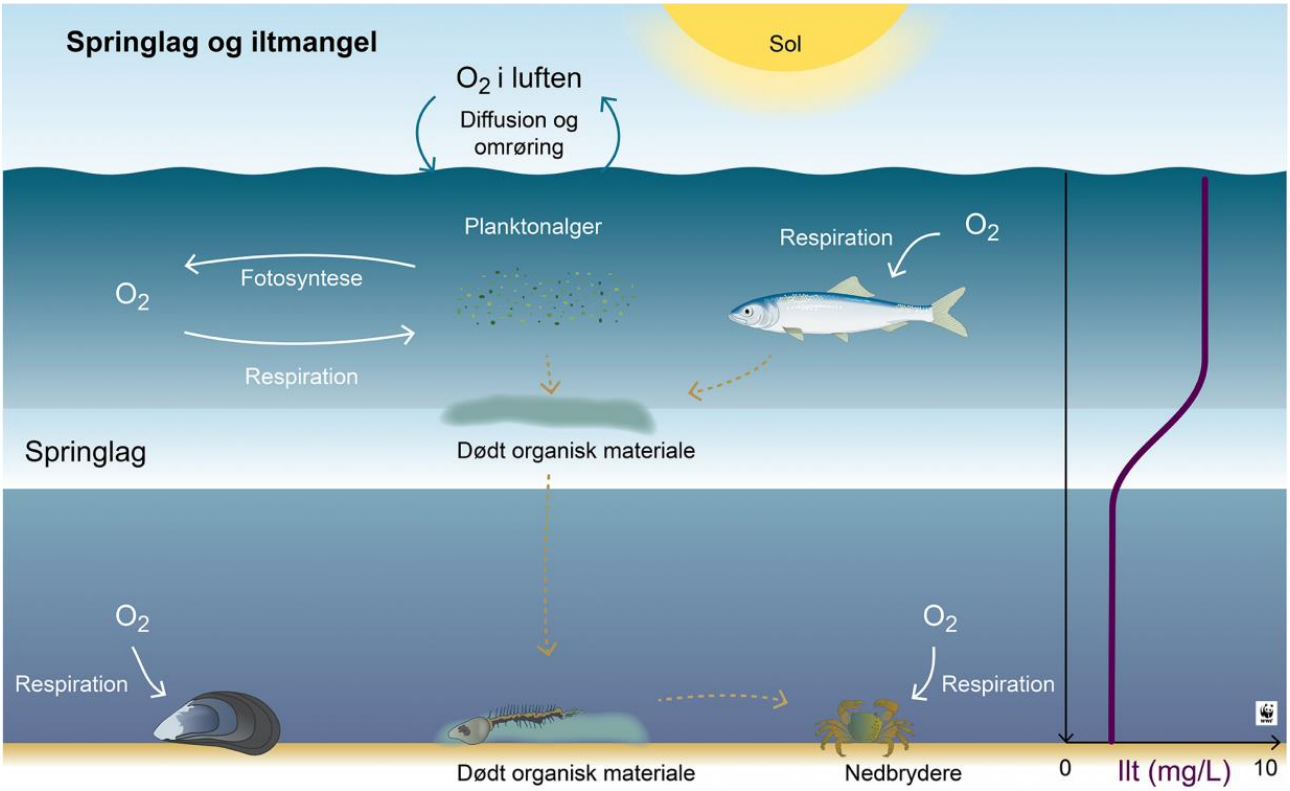
Ved respirationen forbruges organisk kulstof og ilt, mens produkterne der dannes er CO_2 og vand. Hvis der opstår en høj respiration i et område, kan det føre til, at al ilt bliver opbrugt, hvorved der opstår iltsvind (Figur 14). Dette forekommer ofte sidst på sommeren i forbindelse med algeopblomstringer, hvor store mængder af planteplankton synker ned på havbunden, hvor det bliver nedbrudt af mikroorganismer. Mikroorganismerne respirerer og forbruger ilt under nedbrydningen af algerne. Hvis respirationen foregår hurtigere end der kan tilføres ny ilt til havvandet, vil ilten til sidst slippe op.

Figur 14. Søstjerne på en havbund med iltsvind. Her har iltsvindet ført til fænomenet liglagen, der danner en hvid overflade på havbunden. Figuren er fra www.opdaghavet.dk.

Der kan tilføres ilt til havvandet på to måder: Ved fotosyntese og ved diffusion af ilt fra atmosfæren til vandet. Fotosyntesen foretages af planter, alger og cyanobakterier og kan kun foregå i den fotiske zone, som man kalder den øverste del af vandsøjlen, hvor lysintensiteten er tilstrækkelig til at understøtte fotosyntesen. Ved algeopblomstringer mindskes sigtdybden og lyset trænger dårligere ned i vandet, hvorved den fotiske zone mindskes. I vandsøjlen under den fotiske zone forekommer der ingen produktion af ilt. I løbet af sommeren opstår der typisk en lagdeling af vandsøjlen, i det solen opvarmer de øverste meter af vandsøjlen. Det varme overfladevand har en mindre massefylde end det koldere bundvand, og derfor opstår der et såkaldt springlag, som er en skarp grænse mellem overfladevand og bundvand (se Figur 12, side 29). Lagdelingen betyder, at den ilt der produceres i den fotiske zone og som tilføres vandet fra atmosfæren ved diffusion, ikke kommer ned i bundvandet. Herved øges risikoen for iltsvind betragteligt. Springlaget kan brydes ved kraftig blæst, der skaber omrøring i vandet og sikrer en opblanding af vandsøjlen (Se Figur 15).

Den fotiske zone: Den zone hvor tilstrækkeligt sollys kan trænge ned til at drive fotosyntesen.

Diffusion:
Er bevægelsen af molekyler fra en høj til en lav koncentration, fx bevægelsen af CO2 fra atmosfæren til havet.



Figur 15. Springlag. Ilt diffunderer (bevæger sig) vanskeligt ned gennem springlaget, hvorfor der i de nedre vandmasser kan opstå iltsvind, da ilten forbruges af filtratorer og nedbrydere ved respiration. Figuren er fra www.opdaghavet.dk.

Respirationen, og derved iltforbruget, vil altså øges ved en tilførsel af dødt organisk materiale til havbunden. Respirationen påvirkes også af temperaturen. Det skyldes, at metabolismen hos de fleste organismer øges, når temperaturen stiger, hvorved deres respiration øges. Pattedyrene er den eneste

organismegruppe i havet, der er ensvarme. De øvrige organismer er vekselvarme, og det vil sige, at deres kropstemperatur afhænger af temperaturen i det omgivende vand. Metabolismen vil typisk mindskes ved lave temperaturer for vekselvarme dyr, fordi de biologiske processer, der indgår i metabolismen, er temperaturafhængige. Derfor øges respirationen for mange havlevende organismer med en øget vandtemperatur. En global opvarmning og dertilhørende stigende vandtemperaturer vil altså føre til en øget respiration hos mange af havets organismer. Det medfører et øget iltforbrug, men det medfører også en øget produktion af CO_2, som er et af restprodukterne, der dannes ved respirationen. Når CO_2 reagerer med vand, dannes der kulsyre (H_2CO_3), og man kalder derfor processen forsuring.

$$\boldsymbol{CO_2 + H_2O \leftrightarrow H_2CO_3 \leftrightarrow H^+ + HCO_3^-}$$

6.1 Forsuring

Der foregår en konstant udveksling af CO_2 mellem havvandet og atmosfæren, som sikrer en ligevægt i koncentrationen af CO_2 i både luft og vand. Hvis koncentrationen af CO_2 i havvandet overstiger koncentrationen i atmosfæren, vil vandet afgive CO_2 til luften og omvendt. Den massive afbrænding af fossile brændstoffer, som for alvor tog fart efter industrialiseringen i 1800-tallet, har betydet, at koncentrationen af CO_2 i atmosfæren er øget betragteligt. Den omtalte ligevægt af CO_2-koncentrationen mellem havvand og atmosfære betyder, at CO_2-niveauet i havet også er øget, og faktisk optager havet mere end 25 % procent af menneskets CO_2-udledning. Vores øgede udledning af CO_2 resulterer altså ikke kun i stigende temperaturer, men medfører også en forsuring af verdenshavene. Forsuringen er især problematisk for de organismer, der danner skaller og ydre skeletter af kalk såsom muslinger, krebsdyr og koraller. Disse organismer har brug for karbonat (CO_3^{2-}) for at danne calciumkarbonat, der indgår i deres skaller og skeletter. Forsuringen af havene medfører en øget koncentration af H^+-ioner der går i forbindelse med karbonat-ionerne og danner hydrogenkarbonat (HCO_3^-). Når koncentrationen af karbonat-ioner bliver mindre, bliver det mere energikrævende for dyrene at optage tilstrækkelige mængder til at opbygge og vedligeholde deres skaller og skelet. Hvis forsuringen af verdenshavene fortsætter, kan det derfor få alvorlige konsekvenser for disse organismer.

Figur 16. Muslinger er afhængige af kalk til dannelse af deres skal. Figuren er fra www.opdaghavet.dk.

Øvelse 6: Respiration hos havdyr

Teori

Ligesom alle andre levende væsener udfører havdyr respiration for at skaffe sig energi til opretholdelse af livet. Hos de fleste havdyr sker respiration ved, at glukose bliver omdannet til kuldioxid og vand under forbrug af ilt.

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + 30\ (ADP + P_i) \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + 30ATP$$

Derfor kan man bruge iltforbrug som et indirekte mål for, hvor meget dyr respirerer. Ved at opbevare dyr i en lukket beholder, kan man måle dyrenes iltforbrug over tid. Når man samtidig udfører forsøget ved forskellige temperaturer, får man en ide om, hvordan temperatur påvirker havdyrs iltforbrug. Aktuelt er det, at global opvarmning får temperaturen i verdenshavene til at stige. Spørgsmålet er, hvordan det påvirker respirationen hos havets dyr og dermed havets iltindhold?

Formål

I skal undersøge havdyrs respiration ved forskellige temperaturer.

Materialer

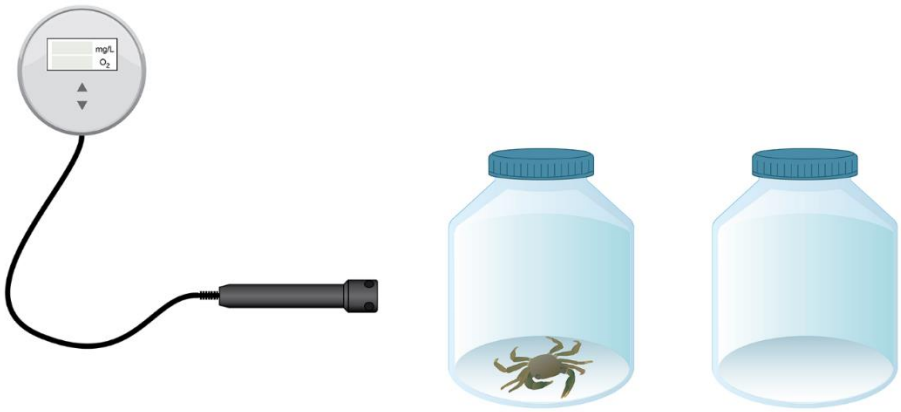
Til hver gruppe

- 1 havdyr for eksempel en musling, krabbe, fisk eller sandorm
- 2 beholdere med skruelåg. Størrelsen skal passe til det valgte dyr

Fælles

- Iltmåler
- Luftpumpe
- Spande med henholdsvis kølet og tempereret havvand
- Vægt til vejning af dyr
- Måleglas

Fremgangsmåde



1) Sørg for, at vandet i spanden med havvand er gennemboblet med ilt.
2) Mål iltkoncentrationen i havvandet i spanden. Vær opmærksom på, at nogle iltmålere skal bevæges roligt gennem vandet under måling. Iltkoncentrationen skal være minimum 8 mg/L. Skriv resultatet ind i skema 1 i resultatafsnittet.
3) Fyld en beholder med havvand fra spanden. For at undgå, at der kommer luftbobler i beholderne, skal de lukkes til, mens de er sænket helt ned i spanden med havvand. Bobler inde i beholderen kan fjernes med en finger, mens beholderen er nedsænket under vand.
4) Kom et dyr ned i beholderen.
5) Opstil den anden beholder kun med havvand fra spanden som reference.
6) Placer jeres to beholdere ved samme temperatur. Halvdelen af grupperne udfører forsøget i koldt vand (havvand der har stået på køl – ca. 5 grader °C), mens resten udfører forsøget ved stuetemperatur (havvand der har stået ved stuetemperatur – ca. 20 grader °C).
7) Lad beholderne stå i en time.
8) Mål igen iltindhold i begge beholdere.
9) Notér forsøgstiden i skema 1.
10) Vej dyret, og mål rumfanget af den vandmængde, som dyret har opholdt sig i og notér værdierne i skema 1.
11) Oprydning: Dyrene skal tilbage på fangstlokaliteten, hvis det er muligt. Ellers skal de aflives og fjernes med dagrenovationen. Udstyret vaskes af og stilles på plads.

Resultater

Skema 1: Gruppens resultater

	Beholder 1 (med dyr)	Beholder 2 (reference)
Dyreart		Uden dyr
$\text{Ilt}_{\text{start}}\left(\frac{\text{mg } O_2}{\text{l}}\right)$		
$\text{Ilt}_{\text{slut}}\left(\frac{\text{mg } O_2}{\text{l}}\right)$		
$\text{Temperatur}_{(\text{grader})}$ (kølet 5°C/stuetemperatur 20°C)		
$\text{Forsøgstid}_{(\text{min})}$		
$\text{Rumfang}_{(\text{l})}$		
$\text{Vægt}_{\text{dyr (g)}}$		
$\text{Respiration}_{\text{total}}\left(\frac{\text{mg } O_2}{\text{min}}\right)$		
$\text{Respiration pr. g. vådvægt}\ \left(\frac{\text{mg } O_2}{\text{min/g}}\right)$		

Resultatbehandling

c) Beregn dyrets samlede respiration efter formlen:

$$\boldsymbol{Respiration_{total}}\left(\frac{mg\ O_2}{min}\right) = \frac{\left(\boldsymbol{Ilt_{start}}\left(\frac{mg\ O_2}{l}\right) - \boldsymbol{Ilt_{slut}}\left(\frac{mg\ O_2}{l}\right)\right) * \boldsymbol{Rumfang}_{(l)}}{\boldsymbol{Forsøgstid}_{(\text{min})}}$$

d) Beregn dyrets respiration pr. gram vådvægt dyr efter formlen:

$$\boldsymbol{Respiration\ pr.g.vådvægt}\ \left(\frac{mg\ O_2}{min/g}\right) = \frac{\boldsymbol{Respiration_{total}}\left(\frac{mg\ O_2}{min}\right)}{\boldsymbol{Vægt}_{dyr\ (g)}}$$

e) Sammenlign din gruppes resultater med en gruppe, der har udført forsøget ved en anden temperatur.

f) Præsentér data for din gruppe og den gruppe, I har sammenlignet med grafisk i excel fx respiration pr. gram vådvægt som funktion af temperatur.

Diskussion

g) Hvorfor beregnes respirationen også i gram vådvægt dyr?

h) Hvordan påvirker temperatur havdyrs respiration pr. gram vådvægt?

i) Hvilke andre faktorer kan påvirke dyrs iltforbrug?

j) Hvad er formålet med referenceforsøget?

k) I hvor høj grad kan forsøget bruges til at sige noget om, hvordan stigende havtemperatur vil påvirke havdyr?

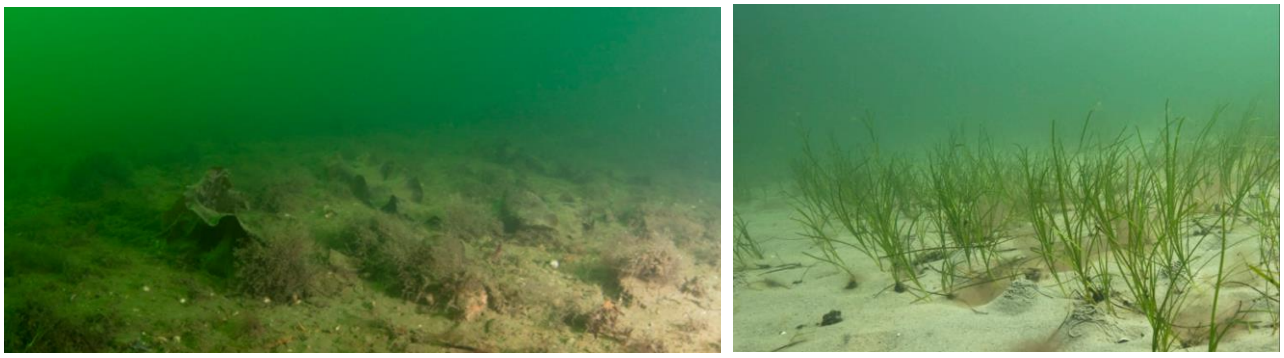
Til læreren

Man kan med fordel tage blåmuslinger og andre organismer med hjem fra biotopundersøgelsen, øvelse 1. Hvis man bruger blåmuslinger, som er lukkede under forsøget, kan iltforbruget være så lavt, at det er svært at registrere.

Vejledningen er lavet med udgangspunkt i undervisningsmaterialet Opdag havet på WWF.
https://undervisning.wwf.dk/opdag-havet

7. Næringsstoffer i havet

Næring opfattes generelt som noget positivt, men i naturen, både på landjorden og i vandmiljøet, er menneskelig tilførsel af næringsstoffer problematisk. Det skyldes, at naturens økosystemer generelt er udviklet i næringsfattige systemer, hvor hovedparten af næringsstofferne er indbygget i levende organismer eller på anden vis utilgængelig for planter og alger. Udledning af store mængder næringsstoffer til naturen kaldes også for eutrofiering. Når der udledes store mængder næring og naturen derved eutroferes, giver det gode vilkår for hurtigt voksende planter og alger. I havet er det især planktonalgerne, der er gode til at udnytte næringsstofferne til kraftig vækst. Derved opstår en såkaldt algeopblomstring, hvor de mange alger gør vandet uklart og grumset. Algerne skygger for lyset, der ikke kan trænge igennem det uklare vand. Det er katastrofalt for de planter og makroalger (tang), der vokser på havbunden og er afhængige af sollyset til fotosyntesen. Hvis algeopblomstringen foregår i længere tid, vil de bundlevende planter og makroalger blive bortskygget og forsvinde. Derved forsvinder også alt det liv, der er tilknyttet tangskovene og ålegræsbedene (se Figur 176). Dette er en af årsagerne til at udledning af næringsstoffer, er skadeligt for naturen i havet.



Figur 17. Venstre: Foto af havbund der har været udsat for eutrofiering. Til højre: Havbund med ålegræsbed. Begge fotos er fra www.opdaghavet.dk.

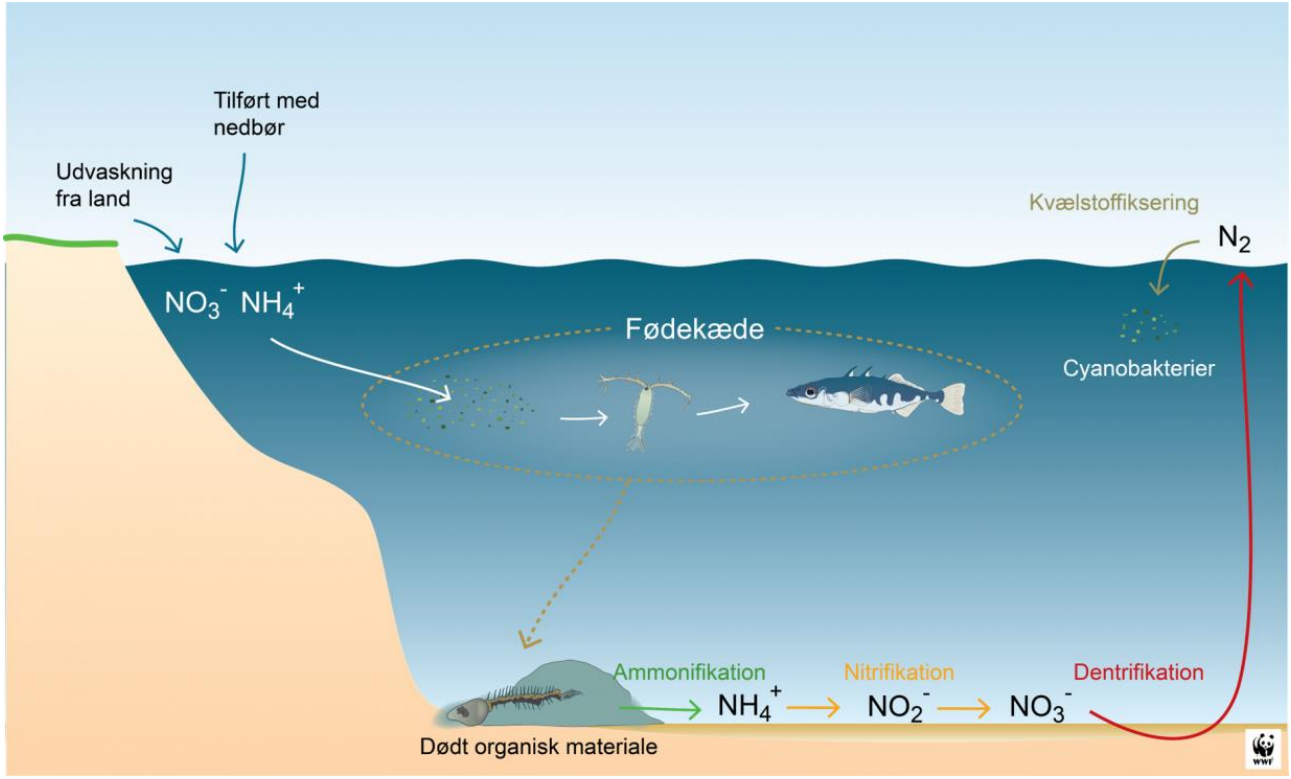
7.1 Kvælstofkredsløbet

I havet er mængden af kvælstof tilstrækkeligt lav til, at kvælstof (N) er det begrænsende nærringstof. Det betyder, at det i høj grad er tilførslen af tilgængeligt kvælstof, der regulerer algernes vækst. Et andet vigtigt plantenæringsstof er phosphor (P), men fordi det ikke er begrænsende for plantevæksten i havmiljøet, kommer vi ikke nærmere ind på det her.

Kvælstof udgør en vigtig byggesten i alle levende organismer og indgår både i proteiner, i DNA og RNA, ligesom phosphor. I naturen findes kvælstof på forskellige former. Det kan være bundet i organisk materiale, uorganiske forbindelser med andre grundstoffer og frit gasformigt kvælstof (N_2). Alle dyr er afhængige af at få deres kvælstofbehov dækket gennem føden af organisk materiale, mens planter og alger kan optage kvælstof fra uorganiske forbindelser. Enkelte specialiserede bakterier er i stand til at optage frit kvælstof fra luften og indbygge det i organiske forbindelser. Disse bakterier øger således mængden af tilgængeligt kvælstof for de andre organismer i systemet. Andre bakterier omdanner bundet kvælstof til frit kvælstof og fjerner således tilgængeligt kvælstof fra det samlede system.

Alle de forskellige tilstandsformer for kvælstof er forbundet indbyrdes ved processer, hvor kvælstof omdannes fra en form til en anden. Netværket af disse processer kaldes kvælstofkredsløbet. Alger og

planter kan optage og omdanne ammonium (NH_4^+) og nitrat (NO_3^-), men alle andre processer i kvælstofkredsløbet foretages udelukkende af mikroorganismer.



Figur 18. Kvælstofkredsløbet. Figur fra www.opdaghavet.dk.

7.2 Iltsvind

I 2019 blev der i Lillebælt registreret det hidtil mest omfattende iltsvind og igen i 2020, har der været omfattende iltsvind i både Lillebælt og mange af de danske fjorde. Iltsvindet opstår når mikroorganismer i havbunden nedbryder dødt organisk materiale under forbrug af ilt. Her spiller eutrofieringen af vores havområder en afgørende rolle, da de mange næringsstoffer, som giver anledning til massiv algevækst, medfører en stor tilførsel af dødt organisk materiale til havbunden.
Som tidligere nævnt er kvælstof det begrænsende næringsstof for algernes vækst, og det er derved tilførslen af kvælstof der, sammen med temperatur og lys, regulerer algevæksten. Planktonalgerne lever generelt i kort tid og ender derefter på havbunden, hvor de kan nedbrydes hurtigt under forbrug af ilt. I løbet af sommeren bliver fænomenet ekstra kritisk, fordi iltindholdet i den nedre del af vandsøjlen mindskes, da der ofte opstår et såkaldt springlag i vandsøjlen i løbet af sommeren (se afsnit 5.3 Kulstofkredsløbet).

Når ilten i vandet er opbrugt, overtages nedbrydningsprocessen af bakterier, der kan leve under anaerobe forhold. Her er de såkaldte nitrat-reducerende bakterier de mest effektive, hvorfor disse vil være dominerende under iltfrie forhold, såfremt der er tilstrækkelige mængder nitrat tilgængelig. Disse bakterier respirerer ved at reducere nitrat (NO_3^-) til dinitrogen (N_2) ved den proces, der kaldes denitrifikation. Dinitrogen er gasformigt og bobler derfor op gennem vandet og frigives til atmosfæren. Denne proces

fjerner altså kvælstof fra havmiljøet. I havbunden findes der dog generelt en stor forekomst af sulfat (SO_4^{2-}), der kan bruges til respiration af en anden gruppe specialiserede bakterier. Sulfatreduktion er ikke lige så effektiv som nitratreduktion, men når både ilt og nitrat er opbrugt, bliver de sulfatreducerende bakterier dominerende. Disse bakterier er hvide og kan ved iltfrie forhold danne et hvidt tæppe over havbunden, der kaldes et liglagen (se afsnit 6. Respiration). De sulfatreducerende bakterier respirerer ved at reducere sulfat (SO_4^{2-}) til gasformigt dihydrogensulfid (H_2S). Nedbrydningen af organisk materiale foregår ikke kun oven på havbunden, men også nede i sedimentet og her kan dihydrogensulfiden ophobes, indtil opdriften fra den ophobede gas bliver så stor, at den løfter de øverste centimeter af havbunden og gassen derved frigives. Dette fænomen kaldes bundvending og er særlig problematisk, da dihydrogensulfidgassen er giftig og dræber alt højere liv på vej mod overfladen. Bundvending kan opstå, når der er iltfrie forhold ved havbunden, men der kan godt være ilt, og dermed fisk, højere oppe i vandsøjlen. Ved bundvending kan fiskene ikke nå at flygte og vil derfor dø ved mødet med den giftige gas. Dihydrogensulfid lugter kraftigt af rådne æg, og du kender måske lugten fra tangopskyld i vandkanten, hvor gassen også dannes. Gassen, der også er giftig for mennesker, er kendt som en snigende dræber, da den i dødelige koncentrationer lammer lugtesansen. Man opdager altså ikke faren, før det er for sent. Gassen stinker, men dræber uden lugt.

Udledningen af næringsstoffer til havet kan altså resultere i iltsvind og bundvending. Ved iltsvindet kvæles de organismer, som ikke når at flygte til andre områder. En stor del af organismerne i havet er fastsiddende eller bevæger sig kun langsomt, og disse organismer dør ved iltsvind. På den måde er der en stor del af faunaen af muslinger, fastsiddende krebsdyr og bundlevende orme, der nulstilles ved et iltsvind, og da disse dyr danner fødegrundlaget for mange af de øvrige havdyr, kan iltsvindet have langvarige konsekvenser for det liv, der findes i området.

Øvelse 7: Forurening af vandmiljøet

Teori

Vores vandmiljø påvirkes i høj grad af menneskelig aktivitet. Det gør sig især gældende for det kystnære hav i bælter, fjorde og sund. I dette forsøg skal I i laboratoriet prøve at efterligne tre former for påvirkninger, som vi udsætter vandmiljøet for: Forurening med organisk stof, forurening med næringssalte og forurening med giftstoffer.
Alger omdanner solens energi til kemisk bundet energi via fotosyntesen. For at vokse og dele sig har algerne også brug for næringsstoffer til at danne proteiner og DNA, det er især næringsstofferne nitrat (NO_3^-) og fosfat (PO_4^{3-}), de har brug for.
Når organisk stof nedbrydes af bakterierne via respiration, frigives de næringsstoffer der ligger bundet i proteiner, og de bliver tilgængelige for algerne i vandet.
Tungmetaller er giftige for vandlevende organismer og vil selv i små mængder påvirke livet i vandet.

Formål

I skal undersøge effekten af den menneskelig påvirkning af vandmiljøet.

Materialer

Forsøget er nemmest at gennemføre med ferskvand. Princippet er dog helt det samme for havet.

- 4 akvarier
- Grønalger – kan filtreres i plankton net fra søer og vandhuller
- Vandpestplanter
- Sand – skyllet rent for salt.
- Flydende gødning til potteplanter
- Havregryn og mælk
- Kobbersulfat

Fremgangsmåde

1) Mærk akvarierne 1-4
2) Hæld et 2-3 cm tykt lag sand i bunden af hvert akvarium.
3) Fyld op med postevand.
4) Tilsæt 3-4 vandpestplanter. Sæt dem gerne fast i sandet.
5) Tilsæt 10 ml grønalgekultur eller filtrat af grønalger.

Nu skal akvarierne ”forurenes”:

1) Kontrol: Her tilsættes ikke noget
2) Næringsstoffer: 1-2 kapselfuld flydende plantegødning til potteplanter

3) Organisk stof: 1 spsk. Havregryn og 2-3 spsk. Mælk

4) Giftstoffer: 1 ml Kobbersulfat.

5) Skriv en hypotese til jeres forsøg i skemaet nedenfor.

6) Observér akvarierne de næste 2-3 uger.

Hypoteser	Forurening	Hypotese: Hvad forventer du der vil ske over de næste 2-3 uger.
Akvarium 1	Kontrol	
Akvarium 2	Næringsstoffer	
Akvarium 3	Organisk stof	
Akvarium 4	Gift	

Resultater

Akvarium 1

Uge	Beskriv vandets farve, lugt og sigtbarhed	Beskriv vandpestplanternes tilstand.	Noter
0			
1			
2			
3			
4			
5			
6			

Akvarium 2

Uge	Beskriv vandets farve, lugt og sigtbarhed	Beskriv vandpestplanternes tilstand.	Noter
0			
1			
2			
3			
4			
5			
6			

Akvarium 3

Uge	Beskriv vandets farve, lugt og sigtbarhed	Beskriv vandpestplanternes tilstand.	Noter
0			
1			
2			
3			
4			
5			
6			

Akvarium 4

Uge	Beskriv vandets farve, lugt og sigtbarhed	Beskriv vandpestplanternes tilstand.	Noter
0			
1			
2			
3			
4			
5			
6			

Diskussion

a) Sammenlign tilstanden i de tre forurenede akvarier med akvarium 1. Giv en forklaring på de observerede forskelle.

b) Hvilke kilder kan der være til de forskellige forureningsformer.

c) Hvad kan der gøres for at mindske forurening med de forskellige forureningskilder.

Til læreren

Forsøget fungerer bedst med ferskvandsorganismer, men princippet kan overføres til livet i havet. Grønalger kan opkoncentreres ved at trække et planktonnet gennem et vandhul. Ellers kan grønalger bestilles fx hos Frederiksen.

8. Et bæredygtigt hav

Nøglen til at forstå næringsstofbelastningen af vores kystnære havmiljø skal i høj grad findes i det omkringliggende opland. De mange næringsstoffer, der belaster vores havmiljø, udledes fra landområderne, hvorfra de skyller ud i havet med overfladevandet via vandløb, grøfter og dræn.

8.1 Oplandsanalyse – hvor kommer næringsstofferne fra?

Udledningen af næringsstoffer fra et givent landområde afhænger i høj grad af områdets anvendelse. Landområderne kan groft inddeles i tre kategorier: Byer, landbrug og natur (se Figur 19).

Figur 19. Satellitbillede af Augustenborg Fjord og Alssund. Af billedet fremgår det, at vandområderne især er omgivet af landbrugsarealer, men områder med natur og by forekommer også.

Områder med landbrug giver generelt en langt større afstrømning af næringsstoffer end områder med natur. Det skyldes blandt andet, at man gøder afgrøderne med kvælstof (N) og phosphor (P) på de dyrkede marker. Derved tilfører man næringsstoffer til jorden. Det giver et bedre udbytte af afgrøden, men det betyder også, at afstrømningen af næringsstoffer øges. En anden væsentlig faktor er, at der ikke er et konstant plantedække på dyrkede marker, hvor afgrøderne høstes. Planternes rødder optager og tilbageholder næringsstofferne i jorden og mindsker derved afstrømningen af næringsstoffer til havmiljøet. Når afgrøden høstes, og jorden pløjes, fjernes alle planterne, og der er således ingen rødder til at fastholde næringsstofferne i jorden.
I naturområder findes der generelt et konstant plantedække, og planterne har også langt mere udviklede rødder, da de ikke høstes hvert år. Derfor tilbageholdes næringsstofferne langt bedre i ikke-dyrkede områder.

I områder med by dannes store mængder spildevand, som vi alle udleder fra husholdning. Spildevandet indeholder store mængder næringsstoffer, men i dag har de fleste byer rensningsanlæg, som meget effektivt renser spildevandet, så de mange næringsstoffer ikke ender i havet. Det hænder dog især ved kraftige regnskyl, at der ved nogle rensningsanlæg forekommer overløb, hvor ikke-renset spildevand ledes ud i vandmiljøet. Der foreligger derfor stadig en opgave med at optimere teknologien i vores rensningsanlæg, så vi sikrer vores sårbare vandmiljø mod en overbelastning med nærringstoffer.

Opgaver

1. Udvælg en fjord, vig, bugt, et sund (eller en sø) i jeres lokalområde og brug satellitbilleder fra google maps til at lave en karakteristik af det omkransende opland. Løber der vandløb ud i vandområdet? I så fald kan vandløbets opland ligeledes undersøges. Domineres oplandet af landbrugsarealer, natur eller by og hvor mange procent udgør hver kategori cirka af oplandet?
2. Beskriv hvordan næringsstoffer, der tilføres marker, kan ende i fjordsystemer og havet?
3. Forklar, hvorfor tilførsel af næringsstoffer kan føre til iltsvind i en fjord eller i et havområde?
4. Undersøg, hvilke krav vandrammedirektivet stiller til landene i EU i en målsætning om bedre kvalitet af vores vandmiljøer, og forklar den forventede virkning deraf.

8.2 Naturgenopretning til gavn for vandmiljøet

Som en del af EU er Danmark underlagt EU's vandrammedirektiv. Direktivet påkræver at medlemslandene opnår en såkaldt god økologisk tilstand i søer, vandløb og kystnære vandområder. I Danmark er det en ganske lille del af vores vandområder, der opfylder denne målsætning. Derfor bliver der løbende iværksat forskellige projekter, der har til formål at forbedre den økologiske tilstand i vores vandmiljø. Ofte indebærer disse projekter en naturgenopretning, hvor man forsøger at genetablere en del af den natur man tidligere har fjernet. Genetableringen af naturområder kan være med til at stabilisere økosystemerne, og naturområderne kan bidrage med vigtige økosystemtjenester, som for eksempel fjernelse eller tilbageholdelse af kvælstof, der ellers ville udledes til havmiljøet.
Naturgenopretning til gavn for vandmiljøet foretages både på landjorden og i havet.
På landjorden er genopretningen af tørlagte søer og moser et vigtigt redskab. Fra midten af 1800-tallet og helt frem til 1950 blev en lang række af vores søer og moser drænet og tørlagt og lavvandede kystområder blev inddæmmede. Disse landvindingsprojekter havde til formål at skabe mere landbrugsareal, så produktionen af landbrugsprodukter kunne øges. I dag ved vi, at mange af disse tørlagte vådområder havde en vigtig betydning for naturen, og en del af områderne er derfor atter blevet oversvømmet og givet tilbage til naturen. Nogle af de genetablerede søer hjælper desuden med at mindske næringsstofbelastningen af vores havområder ved at tilbageholde eller helt fjerne kvælstof.
Når regnvandet samles i en sø i stedet for at løbe direkte ud i havet, vil en del af næringsstofferne optages i søens planter og alger, og en del af næringsstofferne vil indlejres i søbundes sediment. På den måde kan søen tilbageholde næringsstoffer. Ved iltfrie forhold i søvandet eller i søbundens sediment kan en del af kvælstoffet helt fjernes ved den proces, der kaldes denitrifikation. På den måde kan ferske vådområder på landjorden have en stor betydning for næringsstofbelastningen af havmiljøet.

Naturgenopretningen foretages også i havmiljøet, og her omfatter nogle af de mest udbredte projekter genopretning af stenrev (se afsnit 2.1 Stenrev – havbundens oaser) og udplantning af ålegræs.

Størstedelen af vores huledannende stenrev er forsvundet som følge af et omfattende stenfiskeri, der foregik i 1900-tallet frem til stenfiskeriet ophør i 1999. Man siger, at de huledannende stenrev udgør havets skove. De er helt afgørende for livsgrundlaget for en lang række arter, der lever i det særlige økosystem på revet. Derfor er man begyndt at genoprette nogle af stenrevene ved at dumpe sten på havbunden i udvalgte områder, hvor man ved, at der tidligere har været stenrev. De genskabte rev øger biodiversiteten og samtidig kan de også være med til at mindske næringsstofbelastningen af havområdet. Alle de organismer, der lever på revet, optager næringsstoffer, der indbygges i deres væv og derved bliver utilgængeligt for de hurtigt voksende planktonalger.

Opgaver

1. Brug google til at søge information om, hvilke naturgenopretningsprojekter til gavn for havmiljøet, der er udført eller planlagt i dit lokalområde. Vælg et af projekterne, og lav en beskrivelse, der omfatter projektets formål, omfanget af projektet samt de forventede effekter for vandmiljøet.
2. Forklar hvordan stenrev kan give flere levesteder for havets dyr.
3. Forklar hvordan muslingebanker kan være med til at sikre en bedre vandkvalitet.
4. Undersøg årsager til, at ålegræs er en nøgleorganisme for havets vandkvalitet, og diskutér konsekvenserne af en tilbagegang af ålegræsbede.