

Forfatter: Anders Endal

Livet i havet

Havromsteknologier

Innhold

| | |
|---|----|
| Innledning..... | 2 |
| Kort om livets historie på jorda..... | 4 |
| Mer om forutsetninger for liv i havet..... | 6 |
| Vann, et livsviktig element..... | 8 |
| Vannets fysiske egenskaper..... | 10 |
| Havstrømmer..... | 12 |
| Biologisk produksjon i havet..... | 16 |
| Marine økosystemer. Næringskjeder..... | 18 |
| Bærekraftig utnyttelse av marine ressurser..... | 20 |
| Produksjon av sjømat..... | 22 |
| Oppgaver..... | 23 |
| Litteraturhenvisninger..... | 24 |

Vi har flere ganger tidligere påpekt den enorme betydningen som olje- og gassutvinning og utenriks skipsfart har for verdiskapningen i det norske samfunnet, se for eksempel sidene 9-1 og 10-1. Tabellen nedenfor viser på nytt det samme bildet. Men vi ser nå at også eksport av fisk har et imponerende omfang.

Den viste plassering i tabellen bekreftes også av det faktum som er dokumentert på side 11-22, nemlig at produksjonen av sjømat i Norge i forhold til produksjonen totalt i verden er langt større enn landets befolkning på 0,1 % skulle tilsi.

Norsk eksport av varer og tjenester i 2009, eksportverdi i milliarder kroner:

1. Olje og naturgass: 500?
2. Utenriks skipsfart: ?
3. Fisk og andre havdyr: 43
4. Metaller: 34
5. Mineraloljeprodukter: 30



Norsk økonomisk sone og fiskerirelaterte soner gjør Norge til en stormakt til havs. Den økonomiske sonen er syv ganger større enn fastlandsarealene

Norge- en stormakt til havs

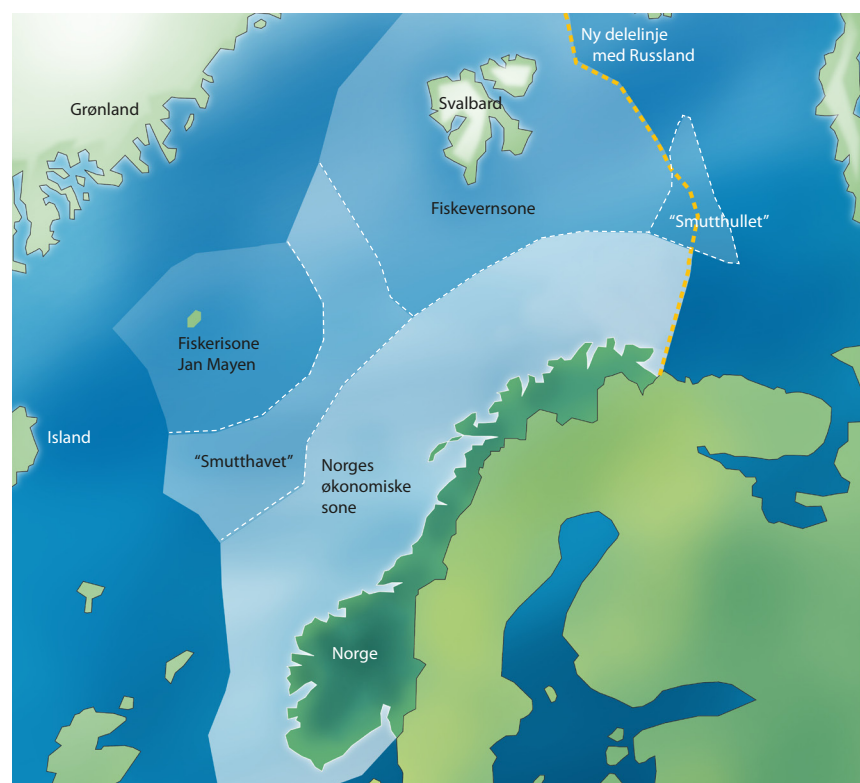
En kyststats økonomiske sone er en havsone som ligger utenfor territorialgrensa. Sonen utgjør ikke en del av det området hvor nasjonale lover og regler gjelder fullt ut. I gammel tid hadde staten rådevelde over havet innenfor ett kanonskudd avstand fra land. Territorialgrensen er i dag 12 nautiske mil.

I den økonomiske sonen har kyststaten ikke full suverenitet, men suverene rettigheter over naturressursene både under og på havbunnen og i havområdet over. Dette innebærer at kyststaten har suveren rett til å utnytte, bevare og forvalte f.eks. olje, gass og fiskeressurser. FNs Havrettskonvensjon av 10. desember 1982 slår fast at sonen kan strekke seg ut til 200 nautiske mil fra land, med mindre den støter opp mot annen stats jurisdiksjonsområde. Andre stater har rett til bl.a. skipsfart og overflyving og til å legge og vedlikeholde undersjøiske kabler og rørledninger i en kyststats økonomiske sone.

Norge har opprettet tre soner på 200 nautiske mil:

- en økonomisk sone rundt det norske fastland
- en fiskevernsonen ved Svalbard
- en fiskerisone ved Jan Mayen

På grunn av de spesielle strømforholdene i disse områdene hører norsk økonomisk sone og de andre sonene med til de mest produktive havområdene i verden.



Livet i havet

MÅL

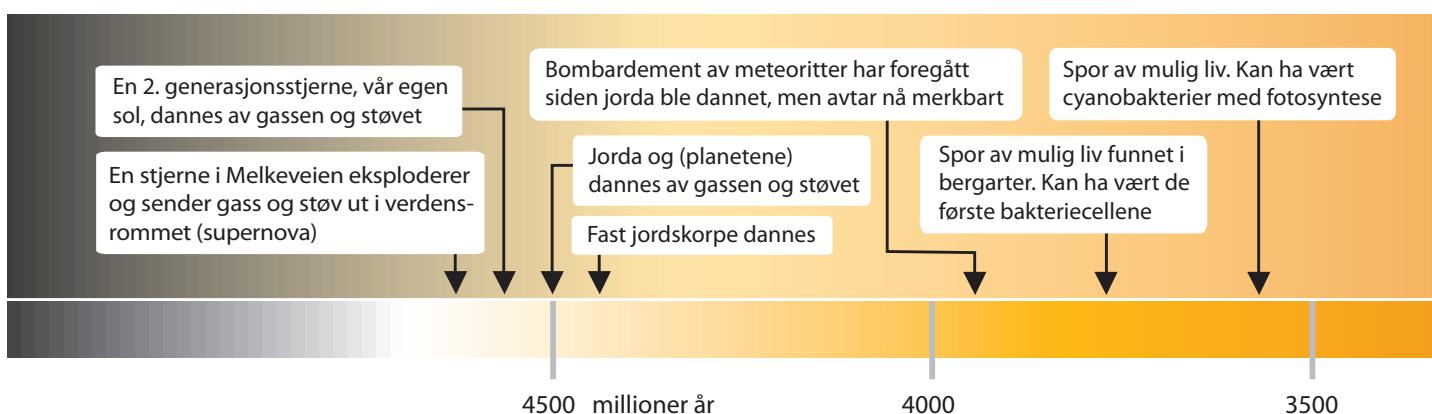
Etter å ha studert dette kapitlet skal du:

- Kjenne til hva som karakteriserer liv, de viktigste forutsetningene for liv og milepeler i utviklingen av liv
- Kjenne til de viktigste egenskapene til vann og hvorfor vann er en avgjørende forutsetning for eksistensen av liv
- Kunne sette opp kjemiske ligninger for fotosyntese og celleånding og forstå hvorfor disse to prosessene er avgjørende for livet på jorda
- Vite hvordan havstrømmer oppstår og kjenne til havstrømmene i norske farvann
- Ha fått gode, generelle kunnskaper om næringskjeder og den biologiske produksjonen i havet. Forstå hvordan denne ressursen kan utnyttes på en bærekraftig måte

Hva er liv?

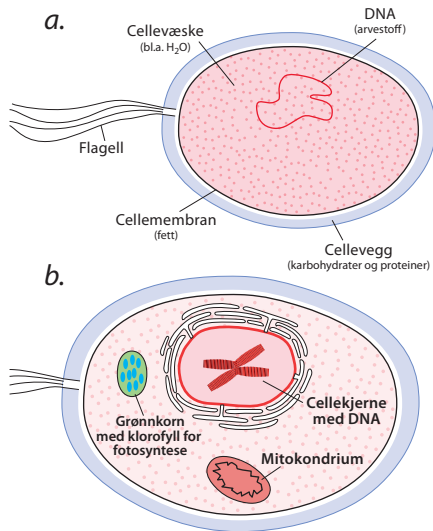
Liv kan defineres ved at det har en begynnelse og en slutt, av fødsel og død. I tillegg er det oppbygd av en eller flere celler, det omsetter energi, har et stoffskifte, det kan dele seg og føre arvelige egenskaper videre, det kan utvikle seg og tilpasse seg miljøet.

Læren om livsprosessene kaller vi biologi.



Jordas og livets historie i de første 1000 millioner år. De viktigste hendelsene for jorda før livet oppstod, er avmerket. De fleste forskere mener at livet kan ha oppstått for 3700-3900 millioner år siden, men de er ikke sikre. Første sikre spor av liv, finnes i 2,7 milliarder år gamle fossiler, men det må ha vært en utvikling forut for disse funnene, Livet må derfor være eldre.

Kort om livets historie på jorda



a. Den første bakteriecellen kan ha sett slik ut.

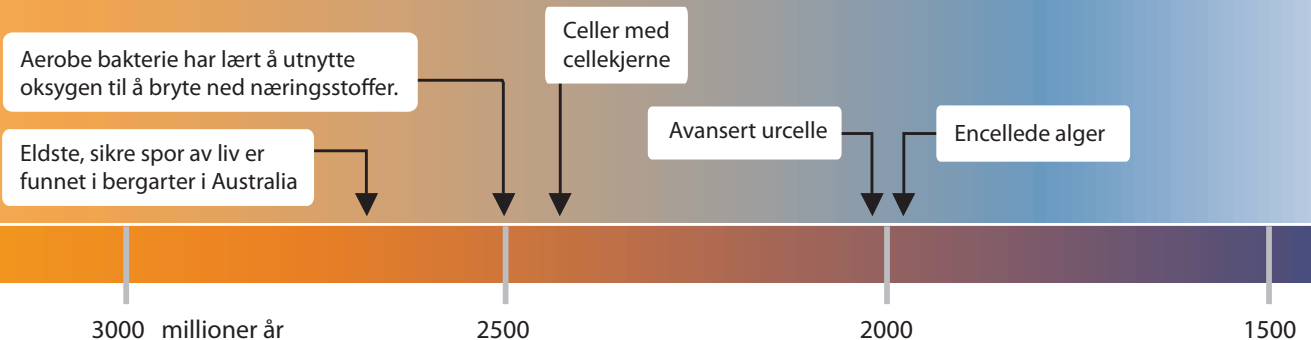
b. Avansert urcelle "klar" for videre utvikling til planteceller.

Cellenes "byggesteiner" er først og fremst fett, karbohydrater, proteiner, DNA og vann. Dette er stoffer som består av store molekyler bygget opp av noen av de vanligst forekommende grunnstoffene på jorda, se side 11-6 og oppgave 11.3. Karbonatomer inngår i de fleste stoffene. Det ligger nesten 2000 millioner års "prøving og feiling" mellom de to viste cellene.

Livets urtid (3800-542 mill. år siden)

Milepelene i utviklingen er markert på tidsaksene foran og nedenfor.

- **De første bakteriecellene.** Alt liv er organisert ved hjelp av celler. Den første cellen som kunne kopiere seg selv, oppstod trolig for 3,7-3,9 milliarder år siden og var kanskje bygget opp som vist øverst til venstre. Karbon inngår i alle "byggesteinene". To forhold gjør at dette har vært avgjørende for utviklingen av cellen. For det første har karbonatomer en fantastisk evne til å lage store molekyler sammen med andre grunnstoffers atomer (ref. side 10-8). For det andre hadde karbonatomene tid til å bruke hundrevis av millioner år på å utnytte denne evnen. Disse første cellene lignet på bakterier. Cellen skaffet seg energi ved å finne andre energirike stoffer, men trengte ikke oksygen for å bryte ned disse (anaerob celle).
- **Cyanobakterier.** For 3,6 milliarder år siden lærte bakteriene å hente energi fra sollys ved hjelp av fotosyntese, se side 11-7. Sollyset ble fanget opp v.h.j.a. ulike fargestoffer. Energien ble brukt til å lage sukker. Å lage sin egen "mat" slik er mye mer effektivt enn å finne den tilfeldig.
- **Aerobe bakterier.** Disse har lært å utnytte oksygen til å bryte ned næringsstoffene. Dette kalles aerob forbrenning eller celleånding. Prosessen frigjør mer energi enn anaerobe prosesser. Disse bakteriene har altså fått et eget "kraftverk". Vi kaller dette et mitokondrium.
- **Celler med cellekjerne.** Arvestoffet har fått et eget, beskyttet rom.
- **Avansert "urcelle".** Også et mitokondrium har nå flyttet inn i et eget rom i cellen med cellekjerne, se figur til venstre.
- **Encellede alger.** Videre utvikling fra "urcelle" til encellet alge er kort. Cellen har blitt større og fått flere oppgaver, bl.a. lagring av næringsstoffer. Algene blir god mat for andre.



Livets historie på jorda de neste 2000 millioner år. Utviklingen har gått uhyre langsomt og har ikke kommet lenger enn til encellede organismer som lever i havet. Disse har imidlertid blitt ganske avanserte og kan ivareta mange flere oppgaver enn de første bakteriecellene. Utviklingen er nå klar til å gå videre til en- og flercellede planter

- **Encellede dyr** utviklet fra en celle med celle med cellekjerne og mitokondrium, men uten anlegg for fotosyntese
- **Flercellede alger og dyr** utviklet ved samarbeid mellom encellede organismer. Sjansene for å overleve er blitt større

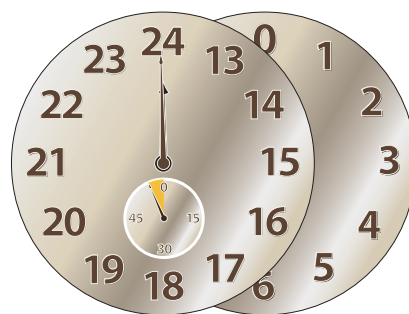
Livet i de geologiske perioder (542 mill. år – nåtid)

Livet har en lang historie på jorden. Alle arter som har slått rot, gått, krøpet eller svømt på jorden, har samme opprinnelse. Evolusjon er bakgrunnen for all biologisk tankegang i dag. Menneskene kan spores tilbake gjennom apene, de første pattedyrene, paddene som var de første landlevende virveldyr, helt tilbake til fiskene. Mennesket har gjennomgått en formidabel utvikling. Skilpadden, derimot, som har samme opprinnelse, har ikke endret seg noe særlig på 200 millioner år.

99 % av alle arter som har levd på jorden antas å være utryddet i dag. Livet på jorden har overlevd 5 store utryddelser, den siste for 65 mill. år siden. Da forsvant blant annet dinosaurerne og en rekke andre dyr.

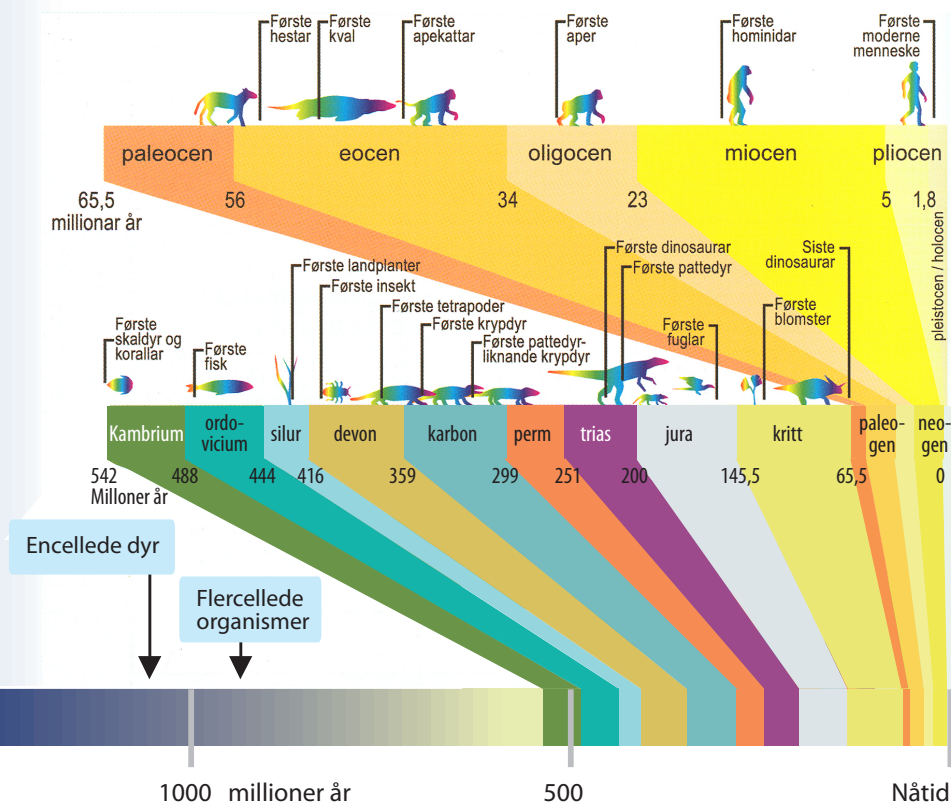
Grunnlaget for mesteparten av kull ble lagt i karbonperioden, hvor det var en enorm plantevekst på jorden. Dette var før den tredje katastrofen for 260 mill. år siden.

Mesteparten av de første dyrene på jorden levde i havet. Livet i havet slik vi kjenner det i dag utviklet seg etter den siste store katastrofen hvor en enorm meteoritt traff jorden i en periode med voldsomme vulkanutbrudd og skapte en global vinter. Da forsvant de fleste havlevende krypdyr, beinfiskene begynte å utvikle seg og havpattedyrene oppstod.



Til ettertanke.

Hvis vi sammenligner perioden fra jorden ble dannet og fram til i dag med en klokkes 24 timer, og jorden ble dannet ved forrige midnatt, så kom de første planter, fisker og dyr mellom klokken 21 og 22.30, dinosaurerne døde klokken 23.40. Mennesket, homo sapiens, med sine 200 tusen år på jorden har bare eksistert i fire sekunder!



Hvor gamle er reservoarene av kull, råolje og gass?

Mesteparten av kullereservoarene (for eksempel kullet på Svalbard) ble dannet i karbon-tiden ved at døde planter, trær og dyr råtnet i myraktige skogbunner på jorda uten tilgang på oksygen. Mesteparten av olje- og gassreservoarene i Nordsjøen ble dannet av små dyr og planter som levde i havet og sank til bunns når de døde.

Eksempler:

- Statfjordfeltet (oljefelt) kommer fra overgangen mellom Trias og Juratiden
- Ekofiskfeltet (olje- og gassfelt) er yngre, fra Paleocentiden

Livets historie på jorda i de geologiske periodene Fra [11.1]. Antall fossiler begynte å øke for 542 millioner år siden. Mange nye former dukket opp. Særlig var det nå blitt et yrende liv i havet. Landjorda ble "erobret" av planter for 425 millioner år siden og i karbontiden var det blitt enorme sumpskogger på land. Kull ble dannet i denne tiden. Naturgass og råolje kommer derimot fra små dyr og planter som levde i havet på et senere tidspunkt, se boks til høyre.

Mer om forutsetninger for liv i havet

Livet i havet i dag

Livet er i kontinuerlig utvikling. noen arter dør ut og nye oppstår. I dag omfatter livet i havet utallige varianter, fra de minste mikroskopiske virus, bakterier og alger, til den aller største levende skapning på jorden noen gang, blåhvalen.

Den kan bli opptil 35 meter lang, ha en vekt på 190 tonn, og er langt større enn de største dinosaurer. Bakterier har en størrelse på f.eks. fem mikrometer ($5 \cdot 10^{-6}$ m), mens virus er enda mye mindre (men defineres ikke som liv, fordi det ikke har eget stoffskifte). Hjertet til blåhvalen er like stort som en liten bil. [11.4] Se også oppg. 11.3.



Foran er det listet opp noen milepeler i livets utvikling på jorda. Selv om disse gir en svært forenklet beskrivelse av de prosesser som har foregått, skjønner vilikevel at:

Livets utvikling og eksistens er basert på tre superviktige forutsetninger. Det må være tilgang på: 1) karbon og andre grunnstoffer, 2) energi, 3) vann

Det er klart at livet i havet er avhengig også av en mengde andre forutsetninger. Vi kan imidlertid av plasshensyn ikke gå i detalj når det gjelder disse, men skal derimot se litt nærmere på de tre hovedforutsetningene.

Tilgang på karbon og andre grunnstoffer

I tabellen til venstre er det satt opp en oversikt over hvilke stoffer som inngår i oppbyggingen av en plantecelle. Vi har foran, se figurtekst øverst på side 11-4, pekt på den enorme betydningen som grunnstoffet karbon har for eksistensen av liv. Dette bekreftes av den plass som karbon har i den viste tabellen.

Tilgang på energi. Fotosyntese og celleånding

Levende organismer kan ikke fungere uten energi. De kan ikke skape energi, men de kan omvandle en type energi til en annen. Planter kan forvandle lys til kjemisk energi, dyr kan forvandle kjemisk energi til bevegelsesenergi ved hjelp av musklene og herunder utvikle varme. Alt liv driver direkte eller indirekte med forvandling og overføring av energi og får energien direkte eller indirekte fra solen ved fangst, lagring eller overføring.

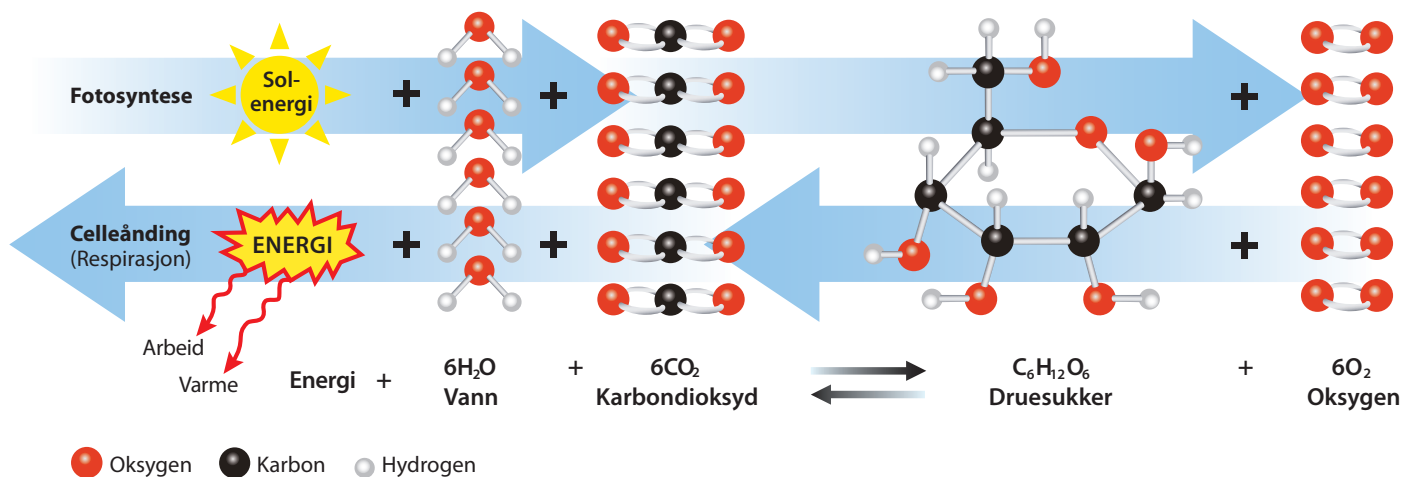
Fotosyntese – grunnlaget for alt liv. Fotosyntesen er den ene av de to viktigste kjemiske reaksjonene på jorden. Den andre er celleånding. Organismenes bladgrønt eller klorofyll bygger organisk stoff ved hjelp av karbondioksid, vann og solenergi. Solen leverer enorme mengder energi til jorden. Mindre enn en promille av denne fanges av fotosyntesen, men dette er nok til å drive all vekst og aktivitet av levende organismer på vår klode. Denne klorofyllbaserte primærproduksjonen

Grunnstoffer som må være tilgjengelig for oppbygging av planteceller, rangert etter hvor mye av grunnstoffene som typisk inngår i cellenes molekyler:

| Grunnstoff | Masse-% |
|--------------------|---------|
| Oksygen, O..... | 48 |
| Karbon, C..... | 42 |
| Hydrogen, H..... | 6 |
| Nitrogen, N..... | 1 |
| Kalium, K..... | 2 |
| Kalsium, Ca..... | 0,5 |
| Magnesium, Mg..... | 0,2 |
| Fosfor, P..... | 0,2 |
| Svovel, S..... | 0,1 |

Cellemolekylene er bygget opp av ni grunnstoffer, som alle er blant de mest utbredte på jorden. De finnes oppløst i havet, enten i form av gasser (O_2 og CO_2), næringsalter (nitrat NO_3 , fosfater PO_4 , sulfater SU_4) eller ioner. Vann har meget stor evne til å være løsemiddel (se side 11-9), noe som er av stor betydning for stoffenes tilgjengelighet. Det vises også til oppg. 11.1

er grunnlaget for alle de næringskjeder som menneskene utnytter i sin matproduksjon fra land og hav. Som tidligere nevnt, finnes det bakterier og en del uvanlige skapninger i havet, også på store dyp, som kan produsere energi på andre måter. Vi kaller dette anaerob forbrenning (energiproduksjon som foregår uten bruk av oksygen). En har antatt at slik produksjon har liten betydning, men de siste årene har forskningen på dette området økt.



Fotosyntese og celleånding er de viktigste kjemiske reaksjoner på jorda. Reaksjonene kan gå begge veier.

Omtrent alt liv på vår klode drives av fotosyntese. Planter, alger og bakterier bidrar med en årlig biomasseproduksjon på omkring 250 milliarder tonn. Alger og bakterier i havet bidrar med litt under halvparten av dette. Energiomsetningen i havet går mye raskere enn på land, den biomassen som lever i havet er derfor mye mindre enn den som finnes på land, noen få prosent. Trær kan jo bli flere hundre år gamle. Skogene representerer enorme lager av karbon bundet som cellulose.

Primærproduksjonen i havet begrenses av tilgangen på sollys og næringsstoffene nitrat, fosfat og sulfat (næringsstoffer). Næringsstoffene kreves bare i små mengder, men er likevel av livsviktig betydning.

Disse stoffene blir i stor grad resirkulert. Når organismene dør eller forbrenner energi og produserer avfallsstoffer, frigjøres næringsstoffer som går tilbake til vannet. De siste årene er det også blitt klart at jern kan være en viktig faktor i primærproduksjonen.

Celleånding (respirasjon)

Livsprosessen i havet krever energi. Denne energien frigjøres ved celleånding (respirasjon), eller for høyerestående dyr forbrenning. I denne prosessen reverseres fotosyntesen, sukker og oksygen reagerer og frigjør energi, karbondioksid og vann, se figur.

Ved økende vanddyp reduseres fotosyntesen på grunn av manglende lys. På en dybde kalt kompensasjonsdybden, er energien lagret av fotosyntesen lik respirasjonsenergien, og netto produksjonen av biomasse stopper opp.

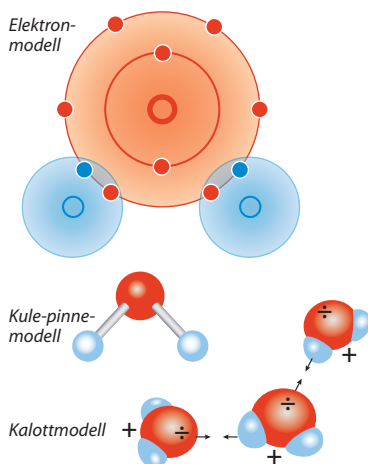
Fotosyntesen lagrer solenergi som kjemisk energi i druesukkeret. Celleåndingen i mitokondriene frigjør energien igjen, slik at den kan omformes til varme, bevegelsesenergi, energirike molekyler for diverse livsfunksjoner, osv. Det er bare plantene som utfører fotosyntese. Dyr må derfor skaffe seg nødvendig energi ved å spise planter eller andre dyr eller matvarer.

Populært kan vi si at en plantecelle inneholder både en "matfabrikk" (fotosyntesen) og et "kraftverk" (celleåndingen). I perioder hvor det produseres mer "mat" enn det er behov for, lagres overskuddet f.eks. i form av stivelse. "Matfabrikken" arbeider bare når det er tilførsel av solenergi, mens "kraftverket" er i virksomhet så lenge det er tilgang på lagret mat.

Vann, et livsviktig element



Den blå planeten – hav og vann. "Vannkloden" eller "havplaneten" hadde kanskje vært mer dekkende navn enn "jorda" på planeten vår



Kjemisk oppbygging av vannmolekylet

Oksygenatomets åtte elektroner er fordelt med to i innerste skall og seks i ytterste skall, se øverste figur. Hvert av hydrogenatomene bruker da et elektron felles med oksygenatomet som dermed får åtte elektroner i sitt ytterste skall (ref. side 10-8). Atomene ligger imidlertid ikke på en rett linje, men danner en vinkel. En slik oppbygging gir en skjev fordeling av de elektriske ladninger internt i molekylet. Vannmolekylet har derfor en negativ og en positiv pol og vi kaller det et polart molekyl. Polare molekyler tiltrekker hverandre, forårsaket av elektrostatiske krefter (hydrogenbinding, se nederste figur).

Over 70 % av jordas overflate er dekket av vann. Havet styrer klima og vær, regulerer temperaturen, skaffer oksygen, absorberer CO₂ og gjør vår planet beboelig for menneskene. Det anses som sikkert at livets vugge stod i havet.

Jordas ytre domineres av hav og vann

Havet inneholder 97 % av vannet på jorda, primærproduksjonen av biomasse i havet er omtrent like stor som på land, ca 50 mrd. tonn/år. Vann er en forutsetning for alt liv. Kunnskap om vannet er grunnleggende for all vår viten om marin biologi og økologi, og dermed for vår evne til å utnytte og forvalte de levende ressursene i havet på en bærekraftig måte.

Utjevner temperatursvingninger på jorden. Vann er velkjent for oss alle, men det har uvanlige egenskaper som vi sjelden tenker på. I forhold til andre væsker krever vannet stor tilførsel av varme for å øke temperaturen, for å smelte is og for å forandres til damp. Vannets termiske egenskaper har stor virkning på temperaturforholdene i verden, varme fra sola lagres om dagen og avgis om natta. Store mengder varme lagres om sommeren og avgis om vinteren. Havet bidrar til å jevne ut temperatursvingningene på jorda.

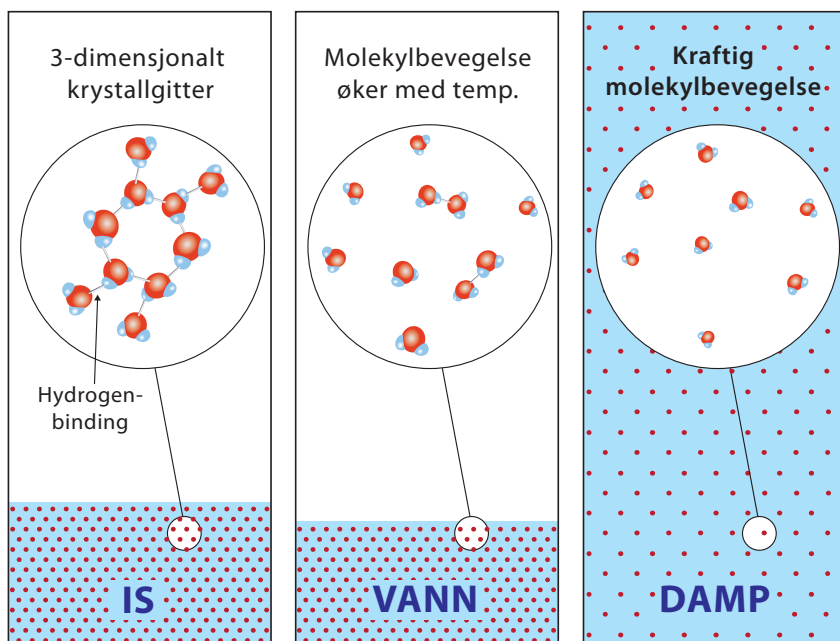
Løsemiddel for næringsalter. Vann er et fremragende løsemiddel som løser nesten hva som helst, dette er av fundamental betydning for livet i havet. Viktige salter er oppløst i havet, deriblant essensielle næringsalter som nitrater og fosfater, som finnes i produktive havområder.

Gjennomsnittlig saltholdighet i havet er på ca 3.5 %. Hvis alt vannet i havet fordampet, ville saltet dekke planeten vår i et lag med en tykkelse på 45 m. Tettheten for sjøvann er 1,025 kg/dm³. Tettheten øker når saltholdigheten stiger, når temperaturen stiger, synker den. Endringer i temperatur og saltholdighet fører til horisontale trykkrefter som skaper strømninger i havet.

Vannmolekylets oppbygging

Et molekyl er en gruppe av to eller flere atomer som kan holdes sammen av felles elektroner (se side 10-8). Vann er en kjemisk forbindelse og er et polart molekyl. Formelen er H₂O som betyr at molekylet består av to hydrogenatomer og et oksygenatom. Vi ser fra figuren at de to hydrogenatomene er plassert på samme side. Dette er årsaken til de spesielle egenskapene vannet har, Molekylet får en positiv og en negativ pol, slik at molekyllene tiltrekkes av hverandre, som vist på kalottmodellen på figuren. Dette kalles en hydrogenbinding.

Vannmolekylets oppbygging forklarer dets spesielle termiske egenskaper. Hydrogenbindingene medfører at vann har et høyt kokepunkt fordi det krever mye energi å bryte disse bindingene ved overgang til dampfase.



H₂O-molekylets aggregat-tilsander

- **Is.** Legg merke til at volumet øker når vann fryser til is. Det er nesten bare vann som har denne egenskapen. Den skyldes hydrogenbindingen Is er 9 % lettere enn ferskvann og blir altså liggende oppå. Spesifikk frysevarme er stor. Alt dette er viktig for livet i vann. De forhindrer at innsjøer bunnfryser og ødelegger næringskjedene.
- **Vann**
- **Damp.** Når vann går over til damp ved 100 °C og 1 atm trykk, øker volumet 1673 ganger. Avstanden mellom molekylene øker da dramatisk.

Temperaturen i et legeme, i en væske eller en gass avhenger av hvor raskt molekylene vibrerer og beveger seg. Tilførsel av varme medfører at molekylbevegelsene øker, is smelter til vann, væsken føles varmere etter hvert og til slutt fordamper den.

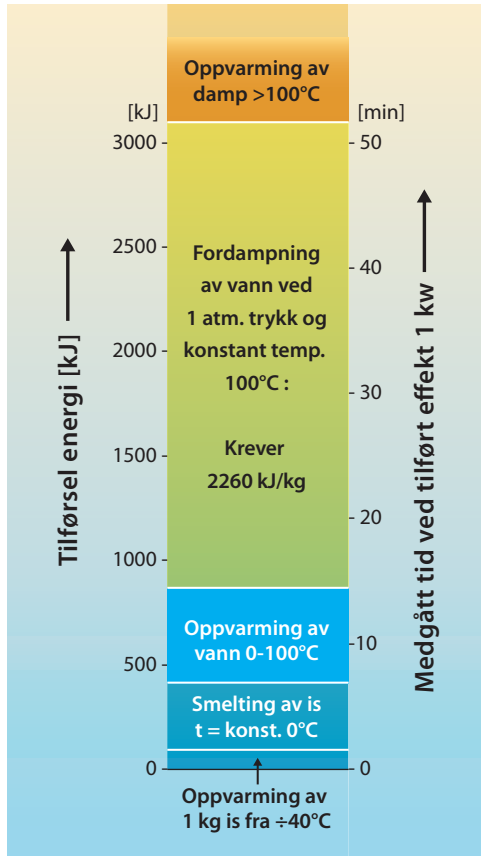
På grunn av bindingene mellom de polare vannmolekylene kreves mye energi for å øke molekylbevegelsene, altså vanntemperaturen. Vannet får dermed høy spesifikk varmekapasitet, mye høyere enn andre vanlige væsker. (dobbelt så høy som olje/bensin.) Energien som kreves for å smelte og fordampe vann er også svært høy.

Livsviktige bindinger mellom molekyler og mellom atomer.

H₂O-molekyler krever mye større varmetilførsel eller bortførsel for å gjennomløpe de prosesser som er vist på neste side enn molekyler for andre stoffer. Dette betyr at både temperaturvariasjoner og forandringer i aggregattilstander, for eksempel frysing, blir vanskeligere. Dette har vært gunstig for utviklingen av livet. Dessuten, hvis frysing likevel skulle skje, legger isen seg på overflaten istedenfor å synke ned og gi bunnfrost. Vann er nesten det eneste stoffet på jorda som har denne egenskapen. Alt dette kan forklares ved hjelp av hydrogenbindingen mellom H₂O-molekylene. Denne bindingen, som skyldes elektrostatiske krefter, forklarer også vannets fabelaktige evne til å løse opp andre stoffer (for eksempel næringsalter). På grunn av alt dette sier mange at **hydrogenbindingen mellom vannets molekyler har vært av avgjørende betydning for utviklingen av livet.**

Benytter vi anledningen til å se på bindinger mellom *atomer*, finner vi også en bestemt type som har vært superviktig. Vi tenker da på kjemiske atombindinger som forklares ved felles bruk av elektronpar, såkalte kovalente bindinger. Disse er spesielt viktig ved oppbygging av molekyler (se side 10-8). Det er denne type atombindinger som forklarer karbonatomets fantastiske evne til å danne forbindelser med andre atomer i utallige varianter. Kjemiens **kovalente atombindinger har også vært livsviktig.**

Vannets fysiske egenskaper



Repetisjon fra termofysikken:

Tilført varme og medgått tid til:

- Oppvarming av 1 kg is, $-40 - 0\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Smelting av isen
- Oppvarming av vannet, $0 - 100\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Fordampning av vannet, 1 atm. trykk

Tilført varme per tid: $1\text{ kW} = 1\text{ kJ/s}$

Følgende termiske data er benyttet:

- Spesifikk varmekapasiteter for:
Is: $2,10\text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$
Vann: $4,18\text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$
- Spesifikk smeltevarme for is:
 332 kJ/kg
- Spesifikk fordampingsvarme for vann: 2260 kJ/kg

Alle de oppgitte spesifikke verdier er parvis like store for fordampning og kondensering, oppvarming og nedkjøling, smelting og frysing.

Vannets tetthet

Vannets spesielle egenskaper kommer også til syne når vi studerer vannets tetthet avhengig av temperaturen. Hos vann øker tettheten ned til $4\text{ }^{\circ}\text{C}$, hvor den er $1,00\text{ g/cm}^3$, deretter minker den igjen til $0,999$ ved $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Så fryser vannet og tettheten minker til $0,92\text{ g/cm}^3$. Når vann utvider seg på denne måten, kan det lett sprengte den beholderen det oppbevares i, eller, om det er et vannholdig legeme som fryser, sprengte cellene og forårsake vesentlige skader. De aller fleste andre stoffer trekker seg sammen ved frysing. Havvann med en saltholdighet på $3,5\%$, fryser først ved en temperatur på $-1,8\text{ }^{\circ}\text{C}$. Havvann som er saltere enn $2,5\%$ blir tyngre og tyngre ved synkende temperatur helt til det fryser.

Vannets termiske egenskaper

En oversikt over termiske data er gitt i figur til venstre. Når varme fjernes fra vann, kan en kjenne at det blir kaldere og temperaturen faller på termometeret. Når temperaturen faller til 0 grader og en fortsetter å fjerne varme (som i en fryseboks), vil temperaturen være konstant til alt vannet har frosset. I denne prosessen øker vinkelen mellom hydrogenatomene i vannmolekylet, slik at et krystallgitter kan skapes. I krystallgitteret opptar 24 molekyler det rommet 27 vannmolekyler opptar i flytende form. Dermed reduseres tettheten til $0,92\text{ g/cm}^3$. Den energien som fjernes i fryseprosessen, kalles frysevarme (eller spesifikk frysevarme hvis vi regner pr kg, se til venstre).

Temperaturer i havet

Temperaturen på store dyp i Norskehavet ligger i nærheten av minus $2\text{ }^{\circ}\text{C}$, mens den i overflaten ved ekvator kan komme opp i over $30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Vannmassene i overflaten i verdenshavene varmes ofte opp av sollys, samtidig som de blandes av bølger og turbulens til en relativt jevn temperatur. Under dette laget kommer det et lag der temperaturen synker raskt med økende dybde. Dette skillet kalles et sprangskikt, eller en **termoklin**. Skillet blir ofte sammenlignet med et ullteppe som skiller det varme turbulente overflatelaget fra det kaldere vannet i dyphavet. Dybden av termoklinen varierer med årstid og breddegrad. På våre breddegrader dannes det ofte grunne termokliner om sommeren ($20\text{--}25\text{ m}$). Disse forsvinner igjen om vinteren. Termokliner påvirker akustisk utstyr som ekkolodd, sonar og undervannskommunikasjon. Dette er viktige instrumenter for skipsfarten, fiskeriene, oljevirksomheten og forsvaret.

Lysforhold i havet

Fotosyntesen er grunnlaget for all produksjon av biomasse i havet. Denne produksjonen foregår i det tynne overflatelaget som kalles den fotiske sonen, hvor sollyset trenger ned. I svært klart tropisk vann kan lyset trenge ned til 600 m dyp. Dette er svært uvanlig, i kystfarvann hvor det finnes mange små partikler og organismer, kan dybden være begrenset til 40 meter. Dybden lyset rekker ned til, avhenger av bølglengde. Langbølget rødt lys varmer opp vannet og blir absorbert etter 4 meter, mens blått lys rekker ned til nærmere 250 meter. På ti meters dyp ser alle røde objekter grå ut.

Lydforhold i havet

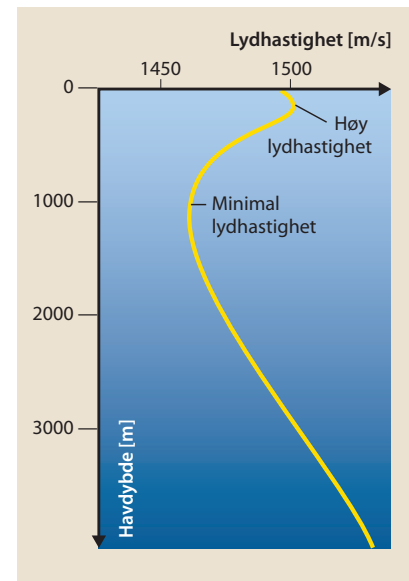
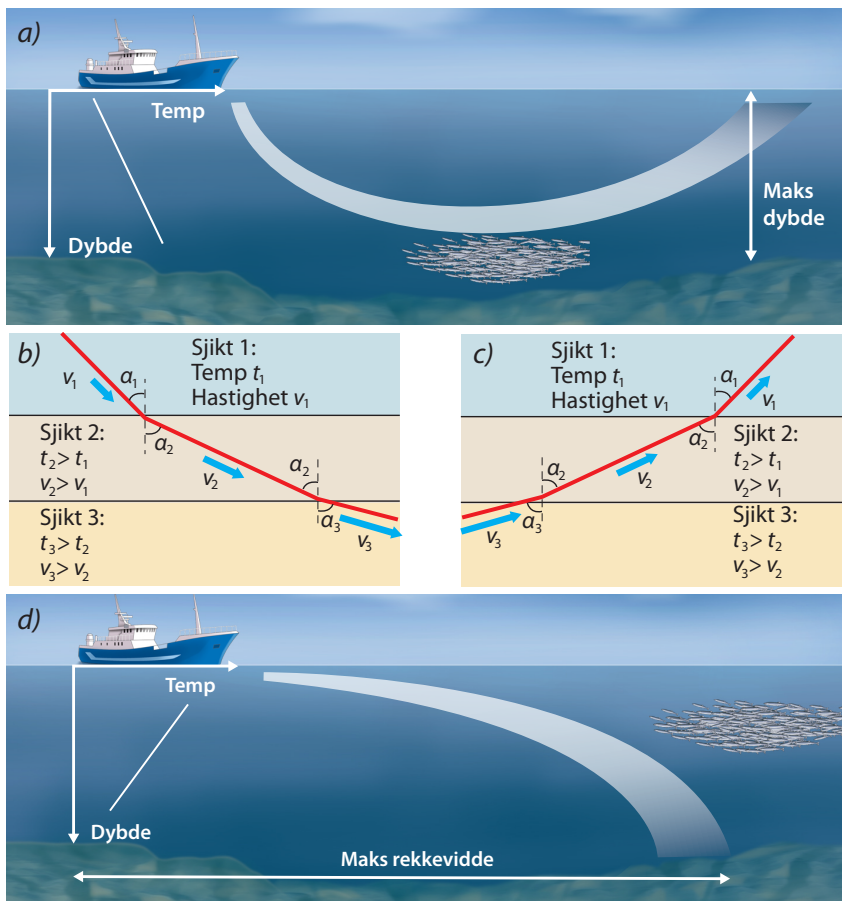
Lydhastigheten øker med temperatur og trykk. Lydhastigheten i sjøvann er på ca 1500 m/s, nesten fem ganger lydhastigheten i luft. Lydhastigheten øker med temperatur, saltholdighet og trykk. Figuren viser hvordan lydhastigheten varierer med økende dybde. Hastigheten er høyest i det varme overflatevannet, og blir redusert etter hvert som temperaturen faller ned til ca 1000 meter. På større dyp er virkningen av økt vanntrykk større enn virkningen av temperaturfallet, og lydhastigheten øker igjen. Lydhastigheten er 5-7 % høyere i 20 °C saltholdig vann enn i brakkvann ved 5 °C.

Sjødyr bruker langbølget lyd for å kommunisere. Lydintensiteten reduseres i vannet på grunn av spredning og absorpsjon. Spredningstapet er proporsjonalt med kvadratet av avstanden til lydkilden. Absorpsjonen er proporsjonal med frekvensen i andre potens. Det innebærer at lavfrekvent, langbølget lyd bærer lenger enn kortbølget lyd. Lydbølger har mye større rekkevidde enn lys. Sjødyr bruker lyd for å kommunisere og for å "se" under vannet ved hjelp av lydbølger.

Alle elektromagnetiske bølger (lys, radiobølger) absorberes raskt i vann. Lyd er derfor svært viktig for å kunne "se" og kommunisere under vannet innen all marin aktivitet. Det er derfor viktig å bygge støysvake skip, som ikke forstyrrer lydforholdene i havet eller påvirker havets fauna.

Virkningen på akustiske instrumenter, som ble nevnt i forbindelse med termokliner foran, oppstår når lydbølger brytes i vann på grunn av endringer i hastighet.

I figurene a og d nedenfor ser vi hvordan lydstrålen fra en sonar på et fartøy brytes avhengig av om temperaturen øker eller minker med økende dybde. Slike fenomener kan skape problemer for fiskeleting eller for leting etter u-båter. I begge tilfelle som er vist, vil fartøyet ha vansker med å registrere fiskestimen som er avbildet.

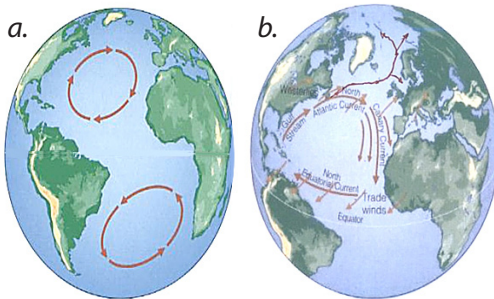


Lydhastighet som funksjon av havdybde når det tas hensyn til både temp.- og trykkforhold

Brytning av lydstråle fra en sonar, avhengig av hvordan havvannets temperatur varierer med dybden.

- a. Brytning når temperatur og dermed forplantningshastighet øker med dybden. Dypgangen begrenses.
- b. Fenomenet forklares ved å repetere brytningsloven i fysikken. Når hastigheten øker, brytes strålen **fra** innfallsloddet ($\alpha_2 > \alpha_1$, $\alpha_3 > \alpha_2$, osv. til $\alpha = 90^\circ$)
- c. Pga. spredning vil strålen etter hvert få retning oppover igjen. Da avtar temperatur og hastighet og strålen brytes **mot** innfallsloddet
- d. Brytning når temperatur og hastighet avtar med dybden. Rekkevidden begrenses.

Havstrømmer



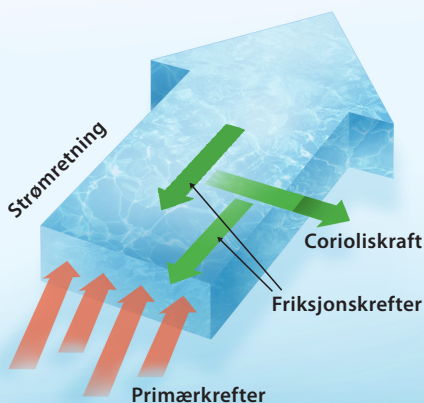
a. Hovedstrømmer i Atlanterhavet transporterer varme fra ekvator til polare strøk
b. Golfstrømmen skiller ut fra hovedstrømmen syd for Grønland og gir behagelig klima i Norden.

Med sin store varmekapasitet er havet en del av en gigantisk varme-transportør, hvor det sammen med vanndamp som føres med vindsystemene, transporterer varme fra ekvator til polare strøk. Havet er i bevegelse, noe som er av fundamental betydning for så vel klimaet som for livet i havet. Bevegelser skjer både i storskala, i oseaniske strømmer som for eksempel Golfstrømmen, og på mikronivå som lokal turbulens. Begge er av stor viktighet for økologien i våre havområder.

Hvordan oppstår havstrømmer?

Vannet påvirkes av krefter som setter bevegelser i gang, primære krefter, og av sekundære krefter som påvirker bevegelsenes retning.

Primærkrefter oppstår pga. tiltrekning fra sol, jord og måne, som trykkrefter i havet og trykkrefter i atmosfæren. Horisontale krefter oppstår i hav og atmosfære på grunn av forskjeller i tetthet, dette fører til vind- og strømsystemer. I våre kystfarvann påvirkes havet av ferskvann fra elvene, havflaten stiger, tettheten minker. Havnivået påvirkes av høytrykk og lavtrykk (stormflo), og sol og måne (tidevann, flo og fjære). Havet strømmer fra områder med høyt havnivå, til områder med lavere nivå. I kystområdene er lokale strømmer av stor betydning for næringstilgangen til livet i havet.



De sekundære kreftene som virker på vann (og luft) i bevegelse, er friksjon og Coriolis-kraften. Coriolis-effekten er et resultat av jordrotasjonen, se side 1-x. Den påvirker alle bevegelser på jorden, men er ikke merkbar i vårt daglige liv. Den er imidlertid av stor betydning når det gjelder strømning i havet og atmosfæren. På den nordlige halvkulen bøyer denne kraften all bevegelse av til høyre.

Ekman-spiralen

De store vannmasseforflytningene i havet drives av vind og tyngdekraften. De store overflate-strømmene drives av vind, mens de store dype havstrømmene drives primært av forskjeller i temperatur og saltholdighet. Begge har stor betydning for den biologiske produksjonen i havet. Figuren på neste side viser den store virkningen friksjon og Coriolis-effekt har på vinddrevet strøm i overflaten. På sine ferder i Arktis observerte Fridtjov Nansen at drivisen drev i en retning 45° til høyre for vindretningen. Dette inspirerte en forskningskollega, svensken Vagn Ekman, som utviklet teorien for Ekman-spiralen. Friksjonen mellom vannlagene fører til at hastigheten minker med økende dyp, samtidig som strømmen endrer retning. Hvis det er liten turbulens for øvrig i havet, vil vannstrømmen på 50 meters dyp ha en hastighet mindre enn 5% av farten i overflaten og gå i motsatt retning. Gjennomsnitts-transporten av vann i det laget som påvirkes, går 90° til høyre for vindretningen.

Oppvelling

Oppvelling, eller oppstrømming, er et fenomen som oppstår der hvor vinden blåser langs land, se figur nederst på neste side. Mye nordavind langs norskekysten i sommerhalvåret er svært viktig for planktonproduksjonen. Den oppstrømminga som da foregår, drar med seg næringsalter fra dypet opp i lyssonen hvor fotosyntesen foregår, med omdanning av uorganisk materiale til organisk materiale (planteplankton).

Skjematisk illustrasjon av krefter som påvirker strømninger i havet

- Krefter som genererer strømmer (primærkrefter, tegnet med rødt):
 - Vindkrefter (lang- og kortperio-diske)
 - Tiltrekningkrefter fra sol og måne
 - Krefter fra lufttrykkvariasjoner
 - Krefter fra tetthetsvariasjoner i havvannet
- Krefter som påvirker strømmens fart og retning (sekundærkrefter, tegnet med grønn farge):
 - Krefter forårsaket av jordas ro-tasjon (massekrefter pga. Corio-lisakselerasjon, se side 1-xx)
 - Friksjon (indre friksjon og bunn-friksjon)

Figuren er foreløpig. Den må sam-menholdes med beskrivelsen av Coriolis-kraften i kapittel 1.

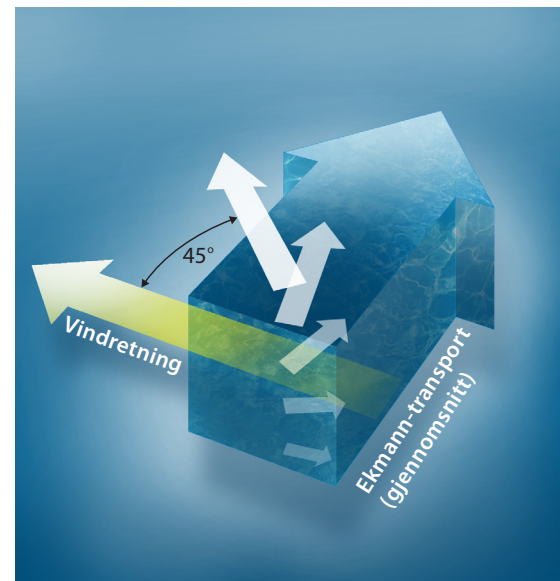
Havstrømmer i norske farvann

Vann fra Atlanterhavet gir behagelig klima i Norden. Kartet på neste side viser i hovedtrekkene dybde og strømforholdene i Nordsjøen, Norskehavet og Barentshavet, havområder som er svært produktive. De viktigste fiskebankene er navngitt på kartet, som også viser dybdeforholdene. Forholdsvis varmt vann fra Atlanterhavet strømmer inn i havene nord for Storbritannia. Vannstrømmen er blitt anslått til å være opp i mot 9 millioner m³ per sekund. Dette er 8-9 ganger vannføringen i alle verdens elver. Varmemengden som transporteres inn i Norskehavet sies å være 20000 ganger den norske produksjonen av elektrisk kraft. Dette bidrar til en oppvarming av atmosfæren, noe som er grunnen til det varme klimaet i Norden. Kartet viser at strømmen deler seg i flere grener. En strømmer forbi Orknøyene og Shetland og inn i Nordsjøen, en annen fortsetter nordøstover langs norskekysten. En del av dette vannet bøyer av vestover inn det dype Norskehavet, men mesteparten går videre nordover. Nord for Lofoten deler strømmen seg igjen. En arm strømmer mot øst, inn i det relativt grunne Barentshavet, mens den andre strømmer oppover langs vestkysten av Svalbard.

Nordsjøen og Skagerrak. Nordsjøen og Skagerrak kan kalles grunnhav, storparten av området er grunnere enn 100 m. Arealet er ca dobbelt så stort som Norges landareal. Fra fargene i kartet kan vi se Norskerenna som skjærer seg nedover langs kysten og inn i Skagerrak. Der går dybden helt ned mot 800 m (se også side 10-33). Strømforholdene i dette området er ganske komplekse. Salt, varmt vann fra Atlanteren kommer sørover langs Skottland, noe kommer også gjennom Den engelske kanal. Vannet fortsetter langs Nederland, Tyskland, opp langs Jylland og inn i Skagerrak. Underveis blandes det med ellevann og avrenning fra land slik at vannet får lav saltholdighet. Vann med lav saltholdighet strømmer også fra Østersjøen gjennom Kattegat og ut i Skagerrak. En god del atlantisk vann strømmer sørover i Norskerenna, men gjør vendereis i Skagerrak, hvor det slår seg sammen med vannet som strømmer i nordlig retning, og danner den norske kyststrømmen. Dette vannet blir liggende som en kile oppe på det saltare atlantiske vannet. Denne vannkilen strekker seg fra 10 til 100 km ut fra kysten. Dybden kan være ned mot 100 m nærmest kysten og avtar utover.

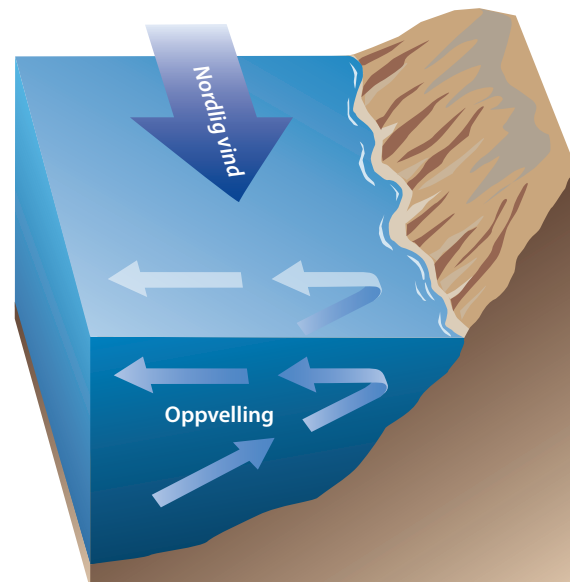
Nordsjøen er økologisk sterkt belastet. Dette er et av verdens mest trafikkerte sjøområder med store havner, massivt fiskeri, utvinning av olje- og gass, uttak av sand og grus og dumping av mudder. Nesten 200 millioner mennesker bor i nedslagsområdet til dette økosystemet, som påvirkes av utslipp fra bebyggelse, jordbruk og industri. De store elvene som renner ut i Nordsjøen og Østersjøen utgjør derfor en potensiell risiko for norsk havbruk og fiske. Store nitrogenmengder vaskes ut av jordsmonnet, samtidig som nedbøren inneholder mye nitrogen. Nitratmengdene som strømmer ut i havet er store i forhold til fosforinnholdet i havet. En antar at dette misforholdet kan være årsaken til den oppblomstring av skadelige alger som av og til skjer på Sørlandet. Elvene kan også bringe med seg miljøgifter som er skadelige for livet i havet.

Næringskjeden er kompleks og robust, de viktigste fiskeartene er nordsjøsild, sei, makrell, torsk, breiflabb, tobis, reke og sjøkreps.



Ekman-spiralen

Overflatestrømmen kan ha en vinkel på 45° i forhold til vind. Underliggende lag settes i bevegelse pga. friksjon, men hastigheten blir mindre, samtidig som Corioliskraften gjør at retningen blir dreiet litt mot høyre. Strømningspilene vil dermed danne en spiral nedover i dypet. Gjennomsnittstransporten av vann går i 90° i forhold til vindretningen.



Oppvelling når det blåser nordlig vind langs norskekysten.

Som det framgår av figuren øverst, dannes det da en strøm normalt på vind-retningen. Dermed genereres det en strøm langs bunnen som vist.

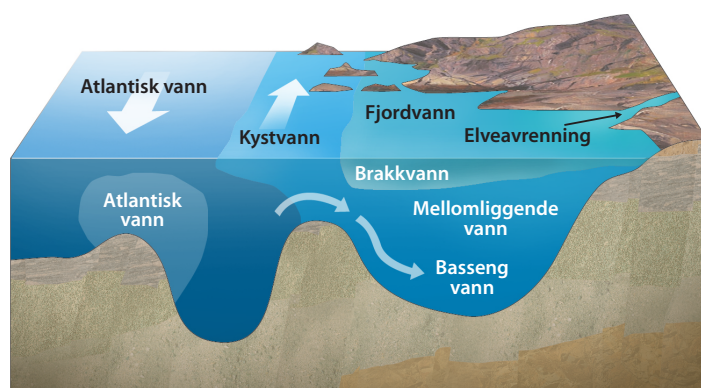
Norskehavet er et dyphav; som kartet viser består det av to bassenger på mellom 3000 og 4000 meter. I tillegg til innstrømmingen av varmt atlantisk vann nevnt ovenfor, kommer det kalde strømmer fra Nordishavet og Grønlandshavet nedover langs Østgrønland. Om sommeren er temperaturen i den østlige delen 6-7 °C på 100 meters dyp, mens den i vest rundt Jan Mayen er 0-1 °C. På østsiden av Jan Mayen er det en front mellom disse vannmassene. Det varme og salte atlantiske vannet kjøles ned nord i Norskehavet og synker. På grunn av den høye saltholdigheten blir dette vannet svært tungt Etter hvert renner det kalde vannet sør over over soklene rundt Island. Sammen med et lignende nedsynkningsområde sør for Grønland er dette starten på en kraftig dyphavsstrøm sørover i Atlanteren, med et volum som anslås til å være hundre ganger vannstrømmen i Amasonas. Dette er sjøvann rikt på nærings-salter, det er oppvelling av dette vannet som bidrar til den voldsomme planktonproduksjonen som foregår i den antarktiske sommeren. Denne kalde og salte strømmen fortsetter så videre østover i Sørishavet og det Indiske hav (med Coreolis effekt til venstre).

Norskehavet har et areal på 780.000 km², ca to ganger norsk landareal. Næringskjeden er enkel, men har en høy biologisk produksjon. De viktigste fiskeriene omfatter de pelagiske artene makrell og norsk vårgytende sild.

Barentshavet er et sokkelhav med en gjennomsnittsdypde på ca 250 m, og er en del av kontinentalsokkelen rundt Nordishavet. Som kartet viser er det en bratt skråning opp fra "abyss" (avgrunn)- dypene i Norskehavet. Denne skråningen bidrar trolig til å styre en betydelig del av det varme atlantiske vannet nordover inn i Norskehavet, men en god del strømmer også inn i Barentshavet parallelt med og nord for kyststrømmen som kommer helt fra Skagerrak. Nord i Barentshavet strømmer kaldt vann sørvestover inn over Bjørnøybanken. Der de kalde vannmassene fra øst og nord møter de varme fra vest og sør, dannes den såkalte polarfronten. Vannmassene i Barentshavet består derfor av atlantisk vann, arktisk vann og kystvann.

Arealet er ca 4 ganger så stort som Norge. Næringskjeden er kompleks, robust og produktiv og omfatter bunnfisk som torsk, hyse, blåkveite, gapeflyndre og uer. I tillegg kommer lodde, som er en planktonspisende pelagisk art, reke, vågehval og grønlandssel. Havet har også en av de største sjøfugl-konsentrasjonene i verden.

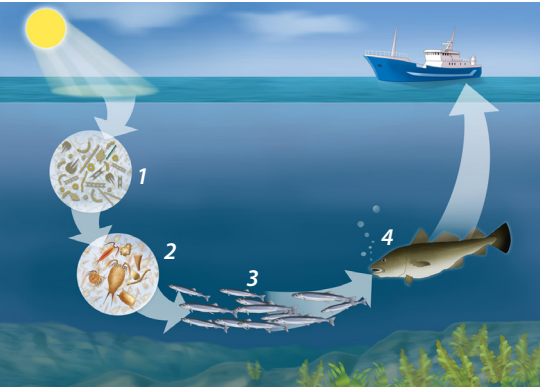
Kyst- og fjordsystemene langs norskekysten er svært interessante. Helt opp til Balsfjorden er de fleste norske fjorder terskelfjorder. Disse fjordene er grunne ved innløpet og har en dyp indre del. Noen fjorder har flere terskler. De er dannet i løpet av istiden ved at isen grov ut fjordene under vann. Tersklene er oftest endemorener fra disse isbreene. Dyrelivet i slike fjorder er interessant og vil bli behandlet nedenfor.



Terskelfjord på Sørvestlandet.

Figuren viser strømninger som kan oppstå i et slikt fjordsystem. Utenfor kysten flyter atlantisk vann sørover og kystvann nordover. Der hvor det er elver som renner ut, dannes det brakkvann som renner ut av fjorden. På grunn av Coriolis effekten er strømmen sterkest på høyre side av fjorden. Friksjon og turbulens fører til innblanding av saltere vann i overflatelaget og opp til ti ganger mer vann renner ut enn det som kommer fra elvene. Vann renner inn i fjorden for å kompensere for dette. Dette er relativt lett vann fra kyststrømmen som strømmer nordover, og det er dette vannet som dominerer fra terskeldypet til overflaten. I bassengvannet nederst er det liten utskiftning. For å få til en utskiftning av dette trengs det relativt ekstreme værforhold som driver kystvannet ut fra kysten slik at tungt atlantehavsvann kan renne inn over terskelen og synke ned i bassenget. Noen ganger hender det også at forholdene er slik at skittent bunnvann fra Østersjøen kommer oppover langs kysten og renner inn i fjordene i stedet for atlantehavsvannet.

Biologisk produksjon i havet



Biologisk produksjon i havet, fordelt på ulike trofiske (næringsmessige) nivåer i en næringskjede.

Hvert nivå omfatter bestander som spiser av bestandene på det lavere nivået og dermed utnytter noe av næringsenergien (kjemisk energi) som er samlet opp her. Energiandelen som på denne måten føres videre til neste nivå, er imidlertid lite. Tapene vil øke med antall trofiske nivåer som energikjeden består av.

- Trofisk nivå nr. 1: Planteplankton. Produksjonen skyldes fotosyntese
- Trofisk nivå nr. 2: Dyreplankton
- Trofisk nivå nr. 3: Småfisk som for eksempel sardiner, sild, makrell og lodde
- Trofisk nivå nr 4: Rovfisk, som for eksempel torsk

Biomasseproduksjon i havet

I dette kapitlet vil vi i hovedsak ta for oss de marine organismer som utnyttes eller er viktige i produksjonen av mat: Alger, bløtdyr/skalldyr, krepsdyr og fisk. Fiskeri og fiskeoppdrett skaffer mat og inntekter til millioner av mennesker. Fiskeri og havbruk høster bare en ørliten del av den biomasseproduksjon som foregår i havet. Figuren til venstre viser produksjonskjeden. Energitransporten gjennom næringskjeden foregår ved at glukose fra fotosyntesen kombineres med nærings-salter og danner stivelse, fett, cellulose osv.

Alger

Alger er den suverent største plantegruppen i havet, og deles inn i to grupper, de som svever fritt i vannet, og de som er knyttet til bunnen. De største av disse er tang og tare, som vi blant annet finner i fjæra. Et planteplankton (plankton – gresk – "det som svever") er svært lite, fra noen få tusendels millimeter opptil et par tre millimeter. Hvert individ består vanligvis av én celle. Utrolig nok er disse bitte små plantene grunnlaget for den enorme primærproduksjonen og dermed for så godt som alt liv i havet. Dette er utgangspunktet for den "foredling" som skjer videre i næringskjeden. Hvert trinn i næringskjeden antas å representere et energitap på 90 %.

Planteplanktonet står for nesten hele primærproduksjonen (fotosyntesen) i havet, og er dermed hovedgrunnlaget for livet der.

Enorme energitap

I figuren til venstre forvandles 500.000 enheter solenergi til 10.000 enheter energi i den glukosen som skapes ved fotosyntese i planteplankton. Dyreplankton som beiter på det klorofyllholdige planteplanktonet får med seg bare en liten del av energien, 1000 enheter. Dette planktonet spises så av arter som sardiner, sild, makrell og lodde, som bare får med seg 100 enheter av energien som økt biomasse. På figuren ser vi deretter rovfisken torsk som sitter igjen med 10 enheter energi lagret i sin biomasse. Når mennesket så tilslutt fanger denne fisken og spiser den, bidrar dette til en økning av den menneskelige biomasse som tilsvarer en eneste energienhet.

Stor fossil energisubsidiering i dagens fiske- og landbruksprodukter

Denne fremstillingen var korrekt den gangen våre forfedre på 1800-tallet drev fiske med seil og årer. Da måtte de nødvendigvis hente hjem mer matenergi enn den muskelenergien de brukte i fisket, for å fø seg og sine. Det var dette som avgjorde om matproduksjonen var bærekraftig. I dagens høyteknologiske fiskerier foregår det en dramatisk subsidiering av matenergiproduksjonen. Avhengig av hvilke fangst- og foredlingsmetoder som anvendes, bruker vi fra 10 til

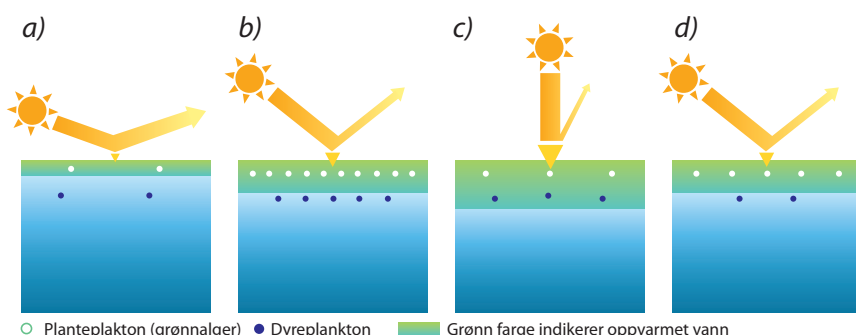
20 ganger mer fossil energi til å få fisken frem til middagsbordet, enn den energien maten representerer. Industriell landbruksproduksjon bruker også mye fossil energi. Produksjonen av nitratholdig kunstgjødsel krever store mengder fossil energi, energibruken i jordbearbeiding, transport og logistikk er også omfattende.

Å skape bærekraftig matproduksjon for 9 milliarder mennesker innen 2050 (prognose fra FN-rapport) er som vi skjønner, en utfordrende oppgave.

Primærproduksjonen i norske farvann

Denne avhenger som vi vet av næringsalter og sollys. Figuren nedenfor viser først situasjonen om vinteren, med lav sol, næringsrikt blått vann og lite plankton. Gjennom vinteren har dårlig vær ført til en kraftig omrøring og tilførsel av næringsalter til de øverste vannlagene. Produksjonen er liten (figur a). Etter hvert som solen stiger, øker produksjonen kraftig, vi får en "vårblomstring" av både plante- og dyreplankton (figur b).

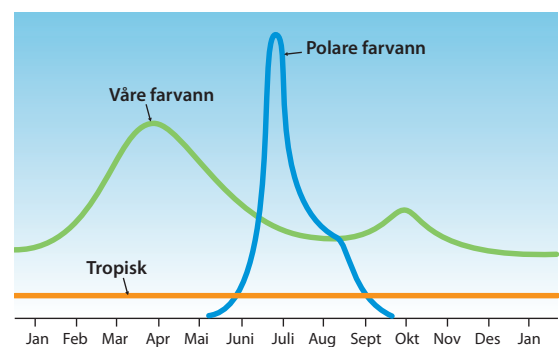
Biomasse produksjonen fører til at næringsaltene blir oppbrukt. Temperaturen i overflaten stiger når solen kommer høyere, og vi får en markert termoklin, et lag av "lett" vann på toppen, som forhindrer tilførsel nedenfra av næringsrikt vann (figur c). Utover sensommeren blir det ofte mer vind, nordavind gir oppvelling og vi får en ny oppblomstring, men ikke like kraftig som om våren (figur d).



Variasjon av plankton gjennom året i norske farvann. I figur c er vannet også fattig på både næringsalter og oksygen.

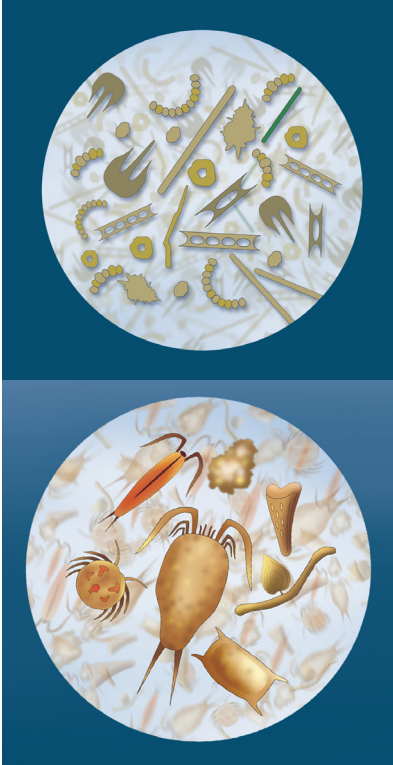
Forholdene i Barentshavet

I Barentshavet er det lite lys om vinteren, is på havet hindrer også lyset å trenge ned i havet. Storm og strøm fører til omrøring, avkjøling og utfrysing av salt fra havisen fører til at overflatevannet blir tungt og synker mens varmere vann stiger opp fra dypet. Det finnes derfor mye næringsalter i havet når isen smelter. Det lette smeltevannet legger seg på toppen og sammen med oppvarming forhindrer dette omrøring. Dermed blir algene værende oppe i lyssonen. Vårblomstringen blir derfor eksplosiv langs iskanten (se figur til høyre), og etter som iskanten trekker seg nordover avdekkes stadig nye områder og primærproduksjonen spres ut over lenger tid. Dette fører til at den kan utnyttes bedre av dyreplankton og andre høyere organismer. Den delen av primærproduksjonen som ikke blir spist, dør og avgir næringsalter, mye synker til bunns, hvor den råtner og frigjør næringsalter som senere kan komme opp igjen i sollyset ved omrøring/oppvelling og brukes på nytt. Det kan være snakk om både ny og regenerativ produksjon, der næringsalter blir gjenbrukt i lukkede områder. I våre hav er nesten all produksjon ny, basert på tilførsel av næringsalter fra dypet.

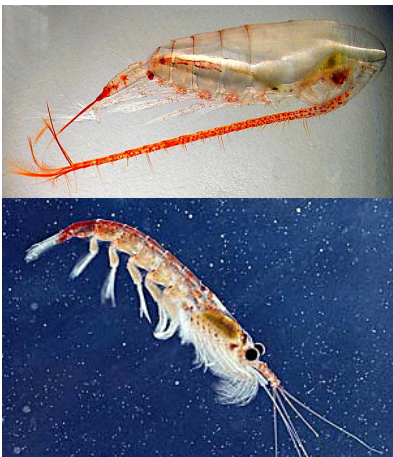


Figuren viser phytoplankton-biomassen i havet gjennom året, i tropene (rødt), i våre tempererte farvann (grønt) og i polare farvann (blått). Grunnen til den lave produksjonen i tropene er mangel på næringsstoffer i det varme vannet.

Marine økosystemer. Næringskjeder



Plantep plankton og dyre plankton
 Både plantep plankton og dyre plankton (nederst) består av en rekke organismer av svært varierende form og størrelse. De fleste er encellede. Mange arter er krepsdyr som raudåte, småkrill og krill. Disse blir henholdsvis 3, 25 og 45 mm store.



Raudåte (øverst) og krill
 Raudåten er det viktigste dyre plankton i norske farvann.

Hva er et økosystem?

Ordet økosystem er i flittig bruk når det gjelder diskusjonen om bærekraft. Det omfatter de levende organismene, de fysiske omgivelsene og samspillet mellom disse i et gitt område. Økosystemene kan defineres på ulike vis, havet blir ofte referert til som det marine økosystemet. Det er imidlertid nyttig å ha en mer nøyaktig inndeling. Ulike arter kan ha samme rolle i systemenes ulike lokaliteter. Det er derfor praktisk å definere dem geografisk, for eksempel som tropiske eller arktiske systemer, eller som Nordsjøen eller Barentshavet. I de to nevnte havområdene har de to ulike planktonspisende artene sild og lodde samme rolle. Det kan også være hensiktsmessig å dele dem inn etter hvor i vannmassene de befinner seg. I nærheten av bunnen finnes de demersale økosystemene, mens de pelagiske systemene finnes i de frie vannmassene som ikke er nær bunn eller land. Pelagiske systemer har enkle næringskjeder, mens energiflyten i et demersalt system kan være svært komplisert uansett hvilket geografisk område de befinner seg i.

En del viktige begreper er i bruk i forbindelse med økosystemer:

- **Bestand**, også kalt populasjon - dette er de individene av en art som lever i et økosystem.
- **Nisje** – dette er det fysiske stedet hvor en art oppholder seg i økosystemet. Desto større variasjon det er i omgivelsene, desto flere organismer vil finne sin nisje der. Et vrak som synker ned på en stor mudderslette, vil føre til stor økning i antall organismer som finner en nisje der. Dette gjelder både alger og dyr av ulike slag, artsmangfoldet eller biodiversiteten øker. Fiske i nærheten av vrak kan gi gode fangster.
- **Energitransport** gjennom næringskjeden er et sentralt begrep. Sollysets rolle i første trinn i næringskjeden er vist i figur på side 11-16. Næringskjeden opprettholder en kontinuerlig strøm av energi gjennom økosystemet. Det kan på mange måter sammenlignes med en maskin som drives av sollyset. Sett på som maskin, er den lite effektiv, tapene i hvert ledd i kjeden er svært høye.

Hvem som spiser hvem i næringskjeden, er stort sett bestemt av hvem som er størst. Lange næringskjeder produserer biomasse mindre effektivt enn korte kjeder. Når høyere organismer spiser planter, snakker vi om beiting på trofisk¹⁾ nivå nr. 1. Innenfor jordbruk kan mennesket som vegetarianer lett livberge seg på laveste trofisk nivå, planter og røtter som skapes direkte gjennom fotosyntese. Det er ikke like attraktivt for mennesker å "beite" på det marine primærnivået. Tang og tare spises det jo mye av i Østen, men flagellatsuppe¹⁾ høres ikke særlig innbydende ut. Dyreplankton-suppe²⁾ kokt på raudåte, smaker derimot nydelig.

Når vi mennesker spiser rovfisk som torsk og laks beiter vi på trofisk nivå 4 og/eller 5. Sammenligner vi med næringskjeden på land, blir dette som å ernære seg ved å spise ulv. Da ville det ikke blitt mulig å ernære særlig mange. De lange næringskjedene i havet innebærer nemlig, som vi har sett, store energitap.

1) Flagellat = encellet organisme som svømmer ved hjelp av svingtråder (flageller).

Næringskjeder i havet

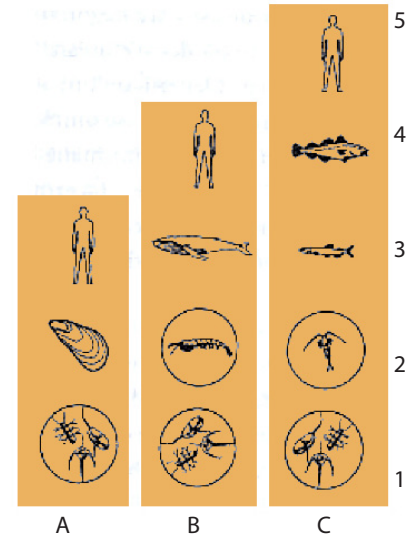
Som vi har nevnt tidligere, er marine planter primærprodusentene av organisk materiale i havet. Mesteparten består av encellede organismer kalt planteplankton eller planktonalger. Disse spises av dyreplankton. Dyreplankton eller zooplankton er en samlebetegnelse på mange ulike virvelløse dyr som stort sett finnes i de frie vannmassene. De fleste er små og knapt synlige, Noen av artene er rovdyr som krill, som beiter på andre dyr, mens andre, for eksempel raudåte, har planktonalger som hovedføde. En av de største dyreplankton-artene er maneter, et nesledyr, som spiser plankton og små partikler. Den spiser også småfisk. De finnes i store mengder langs kysten. Terskel-fjorder viser seg å være et eldorado for maneter.

Muslinger som blåskjell, er skalldyr som spiser planteplankton de filtrerer fra havvannet. Mennesket spiser i enkelte områder tang og tare, på første trofiske nivå. Skjell er imidlertid det laveste nivået vi har tradisjoner for å utnytte i vårt land, dette gir den korteste marine næringskjeden vi i praksis benytter oss av. Muslinger er på verdensbasis er derimot en nokså betydelig ressurs. Figuren til høyre viser tre enkle næringskjeder.

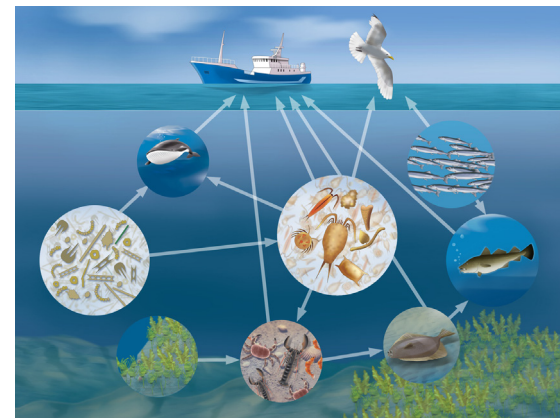
Robuste næringsnett i norsk farvann. Slike enkle næringskjeder er sårbare. Hvis ett av leddene skulle falle bort på grunn av sykdom, overfiske eller andre forhold, blir det krise på høyere nivå. I norske farvann har vi stort sett ganske komplekse næringsnett, som vist nedenfor. Disse er svært robuste og bidrar til større stabilitet. Det er spesielt i demersale (bunn) økosystemer vi finner kompliserte næringsnett.

Rauåten er en interessant ressurs. Det er i praksis mulig å fange raudåte og krill. Den årlige produksjonen i norske farvann av raudåte er av våre havforskere anslått til om lag 150 millioner tonn, og noe tilsvarende for krill. Raudåte, som hører til på det andre trofiske nivå, er en av flere viktige motorer i energitransporten. Den er viktig som mat for planktonspisende fisk som lodde og sild, samt som føde til torsken i dens første leveår. Det virker svært interessant å kunne utnytte disse ressursene i havbruksammenheng.

I motsetning til vill laks og vill torsk, som trenger 10 kg mat fra pelagisk fisk for å legge på seg 1 kg, trenger oppdrettsfisk 4 kg naturlig fôr for å øke vekten med 1 kg. For å produsere 10 kg har den pelagiske fisken spist 100 kg raudåte. Fores oppdrettsfisk direkte med raudåte, trengs bare 4 kg for å produsere 1 kg fisk. En slik kortslutning av næringskjeden kan ha et stort potensial for fôr-produksjonen, men i første omgang maner havforskerne til forsiktighet, fordi raudåte er den viktigste maten for torskeyngel og fordi en foreløpig ikke har full oversikt over konsekvensene av et fiske på disse artene. I Antarktis er det imidlertid åpnet for et betydelig fiske av krill til liknende formål.



Tre næringskjeder med ulik lengde og dermed ulik effektivitet
Hvis mennesker kunne tenkt seg å leve hovedsakelig på innmat fra skjell (næringskjede A), ville det gitt en vesentlig mer effektiv næringskjede enn en som baserte seg på for eksempel torsk (næringskjede C). To trofiske nivåer med store tap av næringsenergi ville da vært unngått.



Næringsnett

I mange økosystemer ligner forholdene mer på næringsnett enn næringskjeder. Dette gjelder for eksempel for norske farvann.

Bærekraftig utnyttelse av marine ressurser

Bærekraftig utnyttelse av marine ressurser

Norge har ansvaret for å forvalte noen av verdens mest produktive havområder, 7-8 ganger større enn fastlands-Norge. For å kunne forstå utfordringene dette innebærer, trenger vi innsikt i grunnleggende prosesser knyttet til utviklingen av fiskebestander. Verdens fiskebestander trues av overfiske, enkelte steder er viktige bestander i ferd med å bli borte. Verdens største bestand av torsk på bankene utenfor Newfoundland er nesten helt forsvunnet, trolig på grunn av overfiske. Fangstforbud siden 1992 har ikke bidratt til økning av bestanden, som nå er på noen få prosent av tidligere størrelse.

Ned og opp for sildefisket. I 1960-årene ble den enormt store norske sildebestanden utfisket. Ny teknologi kombinert med manglende kunnskap om forholdene i havet førte til et massivt overfiske. Fangstene gikk på få år ned fra over en million tonn i året til ingen ting. Ny teknologi som ekkolodd og sonar og utvikling av matematiske modeller, ga imidlertid også havforskerne nye verktøy som gav bedre innsikt i forholdene i havet. Det tok tretti år å bygge bestanden opp igjen slik at sildefisket kunne gjenopptas. I 2010 var de fleste norske fiskebestander i god forfatning.

Biologiske forhold ved fiskebestander

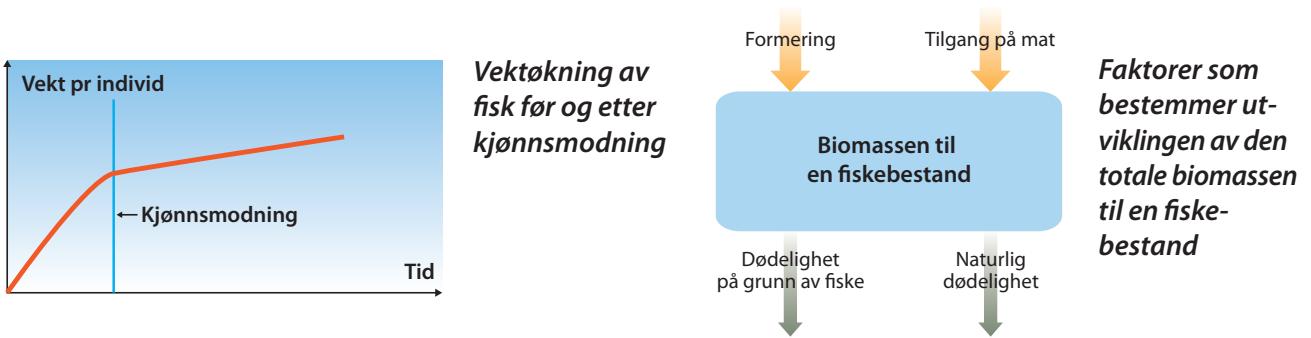
Vi har sett at de enkelte fiskeartene avhenger av hverandre i næringskjedene og at overfiske i en bestand derfor kan påvirke resten av økosystemet. Det er ikke lett å ha oversikten over fødsel, død og hvordan fisk formerer seg, når vi ikke kan se noe til den før vi drar den over ripa. Et av de viktigste målene for Fiskeridirektøren, som har ansvaret for fiskeriforvaltningen, er å oppnå størst mulig utbytte fra fiskebestandene. Samtidig må han sørge for at gytebestanden er stor nok til å sikre nye generasjoner av småfisk. Havforskningsinstituttet er svært viktig i denne sammenheng, nettopp fordi det er nødvendig å ha innsikt i de biologiske prosessene i våre fiskebestander.

Gyting. Gyting foregår på vidt forskjellige måter. De ulike artene har ulike strategier. Mens laksen gyter i elvene, og graver noen få og store egg og melke ned i elvegrusen for å sikre befruktning og overlevelse, så gyter hann- og hunntorsken samtidig i store stimer i åpent hav og håper det beste. Hver hunntorsk legger millioner av egg. (ca 1 million pr kg kroppsvekt). I motsetning til lakserogna er det en svært liten del av torskeeggene som blir befruktet

Torskeeggene og yngelen er svært avhengige av forholdene i naturen for å overleve. Antallet overlevende varierer sterkt fra år til år, avhengig av vær og temperaturforhold som påvirker algeproduksjon og tilgang på mat. Torsken gyter over en lang periode, trolig for å sikre overlevelse. Sild og lodde gyter på bunnen, mens egg og yngel fra sei og makrell lever pelagisk. Felles for mange av de viktigste bestandene er at egg og/eller yngel transporteres nordover til oppvekstområdene av kyststrømmen, samtidig som oppblomstringen av raudåte også flytter seg nordover. På dette viset sørger naturen for at fiskelarver og yngel har god tilgang på mat mens de driver nordover.

Gytetiden er en stor påkjenning for både hunn- og hannfisken, og hos enkelte arter, f.eks lodde, dør hunnene og en stor del av hannene etter gytingen.

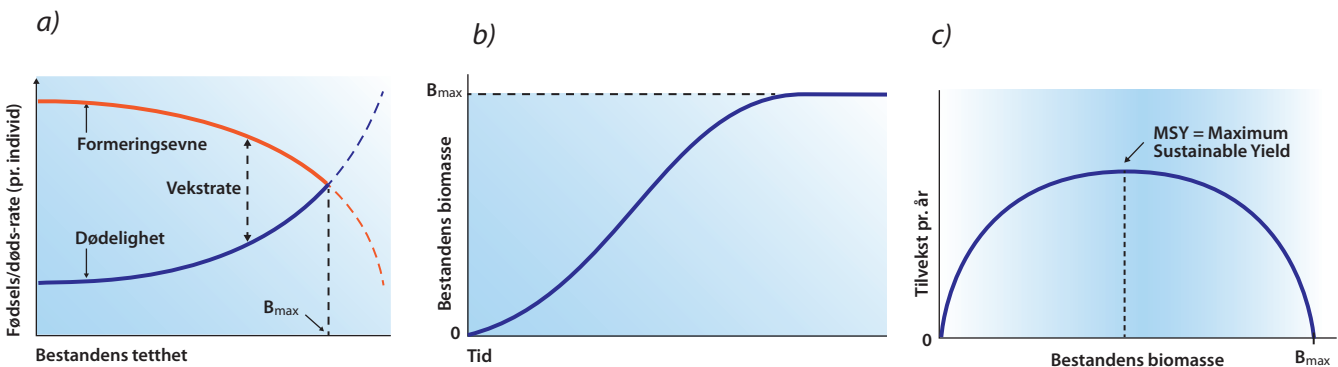
I oppvekstområdene vokser yngelen raskt. Fiskevekten øker raskest før fisken blir kjønnsmoden, se figur nedenfor, og det er ikke lurt å fange småfisk før den får formert seg. Dette er den perioden vekten øker mest i forhold til hvor mye den spiser. Derfor prøver en å unngå å fange småfisk, for eksempel ved å sette krav til maskevidde i garn, trål og teiner, og ved å stenge fiskefelt hvis det er mye småfisk til stede.



Biomassen av en fiskebestand avhenger av balansen mellom de fire faktorene vist i figur til høyre. Dødelighet og formering avhenger imidlertid også av konkurranse om maten.

Maksimalt bærekraftig utbytte som kan hentes ut av en fiskebestand.

Denne kan bestemmes som det framgår av prinsippskissene nedenfor, fra [11.8].



Figur a viser grafer for formering og dødelighet (uten fangst) pr. individ i en fiskebestand, som funksjon av bestandens tetthet. Grafenes forløp skyldes konsekvenser av at økende tetthet gir økt konkurranse om mat og plass, samt økt kannibalisme og sykdom. Stiplet linje viser den maksimale størrelsen som bestanden selv ville regulert seg inn på hvis det ikke ble fisket på den. Da er årlig tilvekst lik null (tilgang på nye individer tilsvarer dødeligheten).

Figur b viser hvordan bestanden ville vokst som funksjon av tiden fram til den når sin maksimale verdi (B_{max}), forutsatt at det ikke forgår fiske på bestanden. Til å begynne med vil bestanden øke sakte fordi den er liten. Etter hvert vokser den raskere. Til slutt flater bestanden ut, fordi stor tetthet gir konsekvenser som beskrevet under figur a.

Figur c viser hvor **fort** tilveksten skjer i bestandens biomasse. Det gunstigste er å fiske på bestanden slik at den holder seg på en størrelse hvor tilveksten pr. år har sitt maksimum, og altså høste denne maksimale tilveksten hvert år. Denne fangsten kaller vi det maksimale, bærekraftige utbyttet (maximum sustainable yield).

Produksjon av sjømat

Fangster fra norske fiskefartøy

| Tusen tonn rund vekt | 2007 | 2008 |
|----------------------|------|------|
| Sild | 895 | 1025 |
| Brisling | 13 | 4 |
| Makrell | 132 | 121 |
| Lodde | 41 | 41 |
| Kolmule | 540 | 418 |
| Øyepål/tobis | 56 | 88 |
| Hestemakrell | 5 | 12 |
| Torsk | 218 | 215 |
| Sei | 225 | 228 |
| Hyse | 73 | 75 |
| Brosme | 15 | 16 |
| Lange/blålange | 19 | 17 |
| Uer | 14 | 8 |
| Blåkveite | 30 | 9 |
| Reker | 37 | 30 |
| Skjell | 1 | 1 |
| Sum | 2314 | 2308 |

Norge:

Stormakt i fiskeproduksjon:

Enten vi ser på fangst av marin fisk, oppdrett av fisk eller begge deler samlet, er Norges andel av verdens fiskeproduksjon vesentlig større enn vi skulle forvente ift. folketallet. Bruker vitall som framkommer på denne siden, blir landets totale bidrag mer enn 2 % av verdensproduksjonen av fisk. Dette er mer enn 20 ganger større enn folketallet skulle tilsi (0,1 %)

Utslipp av CO₂ ved produksjon av noen matvarer

Kg CO₂/kg mat

| | |
|--|------|
| Laksefilet, levert Paris..... | 2,5 |
| Ca det samme for torsk, sei og hyse. | |
| Frossen sild/makrell, levert Russland..... | 1,0 |
| Kyllingfilet..... | 2,5 |
| Flesk..... | 5,9 |
| Storfe..... | 30,0 |

Norsk produksjon av sjømat

Sjømat er Norges nest største eksportnæring. Denne kommer fra fangstvirksomheten i fiskeriene og oppdrett i havbruksanlegg. Begge virksomhetene vil bli behandlet teknologisk i neste hovedkapittel.

Fangst fra norske fiskerier. Årlig totalfangst i de norske fiskeriene ligger på ca 2,3 millioner tonn, se tabell. Pelagisk planktonspisende fisk fra tredje trofiske nivå utgjør ca 2/3 av totalfangsten, skalldyr og reker på andre nivå utgjør mindre enn 2 %. Resten av fangsten består av rovfisk fra fjerde og femte trofiske nivå.

I tillegg høstes ca 100.000 tonn tare årlig fra første trofiske nivå. Denne brukes til produksjon av gelatin, viktig ingrediens i internasjonal matvareproduksjon.

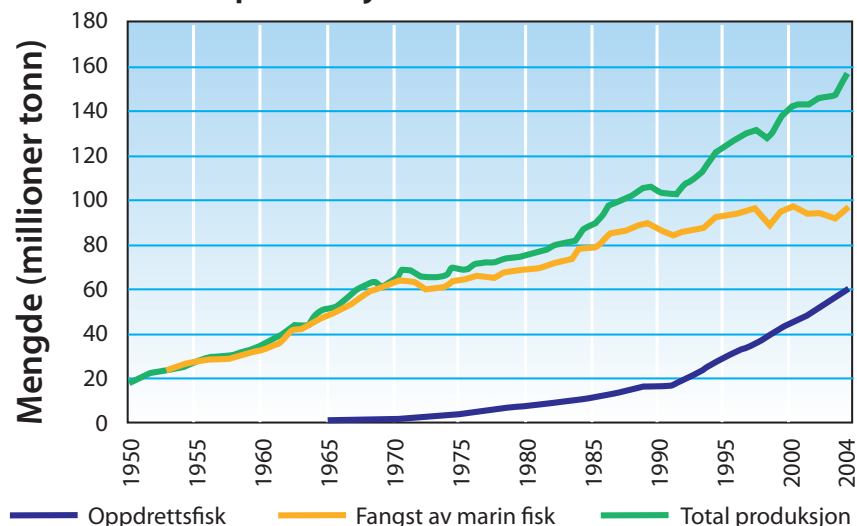
Produksjon fra norske havbruksanlegg. Videre produserer norsk havbruksnæring ca 1 million tonn fisk, for det meste laks og ørret.

Fremtidige utfordringer. De fleste norske fiskebestandene er sterke, men hovedutfordringer for framtida er knyttet til en **bærekraftig forvaltning** av verdens fiskeressurser, noe som blant annet innebærer reduksjon av bruken av fossilt drivstoff. Når det gjelder utslipp av klimagassen CO₂, er imidlertid fiskeprodukter ganske effektive, sett i forhold til landbruksprodukter. Dette ser vi av tabellen nederst.

Verdens produksjon av sjømat

Fangstene av marin fisk i verden har økt jevnt fra 1950 og fram til tusenårsskiftet, deretter har det stagnert på noe i underkant av 100 millioner tonn. Grunnen til dette er at 20 % av verdens fiskebestander er overbeskattet. De siste årene har imidlertid produksjonen av oppdrettsfisk økt kraftig. I 2008 var den totale produksjonen av marin fisk på til sammen 144 millioner tonn, av dette var 54 millioner oppdrettsfisk. Til sammenligning er verdens kjøttproduksjon på ca 280 millioner tonn.

Global produksjon av fisk



Oppgaver

Oppgave 11.1

- Hva er biologi?
- Hva mener vi med en celle i biologien?
- Hva er den viktigste forskjellen mellom bakterieceller, planteceller og dyreceller?
- Cellene er bygget opp av fem hovedtyper "byggesteiner" (molekyler), som igjen er bygget opp av ni forskjellige grunnstoffer. Oppgi navnene på disse "byggesteinene" og grunnstoffene.
- En av de viktigste karbohydratene er druesukker (glukose), se side 11-7. Her er både såkalt strukturformel og såkalt sumformel (sum av antall av de forskjellige grunnstoffatomer som inngår i en kjemisk forbindelse) for et glukosemolekyl oppgitt. Bruk sumformelen til å beregne sammensetningen i masse-% av de tre grunnstoffene som inngår i et glukosemolekyl.
- En av de viktigste enzymene (katalysatorer) i en plantecelle er klorofyll, som har sumformel $C_{38}H_{65}O_4N_4Mg$. Beregn sammensetningen i masse-% for klorofyll.

Oppgave 11.2

Det vises til side 11-7. Se også side 7-28

- Beskriv fotosyntesen med ord. Hvorfor er denne en av de viktigste kjemiske prosessene for livet på jorda?
- Bruk den kjemiske reaksjonsligningen til å bestemme hvor mye sukker som dannes pr. kg forbrukt vann i fotosyntesen.
- Hvor mye oksygen dannes det pr. kg forbrukt vann?
- Beskriv celleånding med ord. Hvorfor er dette en av de viktigste kjemiske prosessene for livet på jorda?
- Hvor mye karbondioksid (CO_2) dannes ved "forbrenning" av 1 kg sukker i en celleåndingsprosess? Hvor mye utgjør dette i % av den mengde CO_2 som dannes ved forbrenning av 1 kg bensin i en bilmotor?

Oppgave 11.3

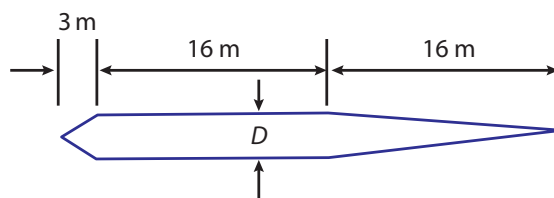
Lag en disposisjon, med stikkord, for et 15 min. kåseri om vann og hvorfor det nettopp er vann som er en avgjørende forutsetning for liv.

Oppgave 11.4

Du og to klassekamerater diskuterer hvor stor nyttig effekt musklene til en blåhval må yte for at den skal kunne svømme med en fart på 50 km/h, som er den største farten den kan oppnå (i en kort periode). Forslagene er: <100 kW, ca 300 kW og >600 kW. Dere diskuterer også om hvalen kan kalles "hurtiggående" eller ikke. For å avgjøre hvem av dere som har mest rett og for å få repetert deler av hovedkapittel 3 om motstand og framdrift, skal dere forsøke å gjøre en overslagsberegning av effektbehovet. Først må dere da forsøke å bestemme friksjonsmotstand som hvalen har ved 50 km/h. Vi forutsetter at den svømmer i en dybde som gjør at det ikke danner seg bølger på vannets overflate. Videre skal det regnes med at den har lengde 35 m, masse 190 tonn og at den tilnærmet kan beskrives ved hjelp av to kjegler og en sylinder, se figuren.

Beregn:

- Beregn hvalens fart i knop og m/s
- Den diameter D som gjør at hvalen får en oppdrift som er lik dens tyngde
- Hvalens overflate
- Reynolds tall og Froudes tall ved en fart på 50 km/h. Hvor stor er hvalens maksimale hastighet regnet i knop? Marker hvalen som et punkt i figuren på side 3-19. Kan hvalen kalles "hurtiggående"?
- Friksjonsmotstandstallet ν hja. ITTC-formel på side 3-10. For en tilnærmet sylindrisk form skal denne verdien økes ved å multiplisere med en såkalt formfaktors som i dette tilfellet kan settes lik 1,3
- Friksjonsmotstanden, se side 3-11
- Effektbehov som svarer til friksjonsmotstanden
- Hvilke feilkilder har vi i denne beregningen?
- Hvorfor må hvalens muskler yte en effekt som er vesentlig større enn det beregnede effektbehovet?



Litteraturhenvisninger

- 11.1 Olje- og energidepartementet / Oljedirektoratet:
Fakta: Norsk petroleumsverksemd 2009
- 11.2 Hanne S. Finstad, Jørgen Kolderup, Eva C Jørgensen:
Trigger 8, 9 og 10. Naturfag for 8., 9. og 10. klasse
N. W. Damm & Søn AS. 2006
- 11.3 Per Roar Ekeland, Odd-Ivar Johansen, Siri B. Strand, Odd Rygh,
Ann-Beate Hesenet: Tellus 8, 9 og 10. Naturfag for ungdomstrinnet.
H. Aschehaug & Co (W. Nygaard). 2008
- 11.4: Wikipedia, the free encyclopedia
- 11.5 Statistisk sentralbyrå: Statistisk årbok 2009 (www.ssb.no/aarbok)
- 11.6 Tor Brandt, Harald Brandt, Inger Johansen, Arvid Mostad:
Kjemi 3KJ. Grunnbok. H. Aschehoug & Co (W. Nygaard). 1998
- 11.7 Merethe Frøyland, Merete Hannisdal, John Haugan, Jørn Nyberg:
Eureka 8, 9 og 10. Naturfag for ungdomstrinnet. Gyldendal Norsk Forlag AS. 2006
- 11.8 Simon Jennings, Michel J Kaiser, John D. Reynolds:
Marine Fisheries Ecology. Blackwell Science Ltd. Oxford. 2001