



N ATURFAG

Jorda og livet på jorda



NATURFAGSENTERET
NASJONALT SENTER FOR NATURFAG I OPPLÆRINGA

Nummer 1

2021



NATURFAG

Leder: Merethe Frøyland	02
JORDA VÅR «Barn av regnbuen og en frodig jord»	04
LIVETS UTVIKLING Da panserpadder regjerte havet Hva vet vi i dag om menneskets evolusjonshistorie? Finnes det liv andre steder i verdensrommet?	18 20 24
JORDA SOM SYSTEM Eventyret om de tusenogén blomster og insekter Hvordan bygge seg et sted å bo – og samtidig endre en hel planet Havet – «det siste sunde i den syge Verden»?	30 34 38
MENNESKETS ROLLE Uendelig endelig natur Bærekraftige valg på vegne av naturen Biologiske mangfold og fremmede arter – hva, hvordan og hvorfor? Tradisjonell kunnskap som del av undervisningen i naturfag Jord som karbonsuger og klimaløsning	46 48 52 56 60
BOKOMTALER	66

LEDER

Merethe Frøyland



NATURFAG

Utgitt av
Naturfagsenteret
Nasjonalt senter for
naturfag i opplæringen

Nummer 1/2021

Ansvarlig redaktør
Merethe Frøyland

Redaktør
Aud Ragnhild Skår

Redaksjon
Merethe Frøyland
Lene Kristin Halvorsen
Aud Ragnhild Skår
Maria Gaare Dahl

Layout
Aud Ragnhild Skår

Adresse
Postboks 1106 Blindern, 0317 Oslo

Telefon og e-post
22 85 53 37
post@naturfagsenteret.no

Trykkeri
07

Forsidefoto
liggraphy / pixabay.com

Opplag 6300
ISSN 1504-4564

Kopiering fritt til skolebruk når ikke
annet er spesifisert, men
forbudt i kommersiell sammenheng.

Abonnement er gratis.
naturfagsenteret.no/abonnement

Naturfag finner du i PDF på
naturfagsenteret.no/naturfag

Dette nummeret av Naturfag er det fjerde nummeret i serien vår om fagfornyelsen 2020. Vi startet med de overordnede begrepene i fagfornyelsen slik som dybdelæring og progresjon, og tok utgangspunkt i disse for å diskutere kjernen til god naturfagundervisning. De neste numrene handler om hvert sitt kjerneelement i naturfag. Først ut var *Energi og materie*, deretter kom nummeret *Kropp og helse*, og nå er det *Jorda og livet på jorda* som står for tur.

I dette nummeret starter vi med å oppsummere ti grunner til at det er liv på jorda. Deretter blir vi kjent med hvordan livet endrer seg og tilpasser seg nye forhold med panserpaddene som eksempel. Videre tar vi et dypdykk i menneskets sammensatte og rotete utvikling fra mange ulike arter til kun én. Vi avslutter denne delen med å reflektere over liv andre steder i universet.

Neste del handler om ulike økosystemer som finnes på jorda og hvordan disse fungerer, slik som at planter og pollinatorer er gjensidig avhengige av hverandre, at dannelse av kalk i havet er en forutsetning for korallrevs eksistens og har ført til nye dyreformer og levesett og hvordan hvalens levesett påvirker livet i havet, både som levende ved å transportere næring horisontalt og vertikalt i havet og som død ved å være viktig for zombiormens sexliv. Alle disse eksemplene illustrerer ulike typer systemer på jorda og viser hvordan alt henger sammen med alt.

VIKTIG INFORMASJON: Ny abonnementsordning for Naturfag

Vi får ved hver utsending mange blader i retur på grunn av adresseendringer. For å unngå dette lager vi et helt nytt abonnementsystem der også tidligere abonnemeter må registrere seg på nytt. Før hver utsending må alle abonnenter bekrefte riktig adresse.

Registrer abonnement på naturfagsenteret.no/abonnement

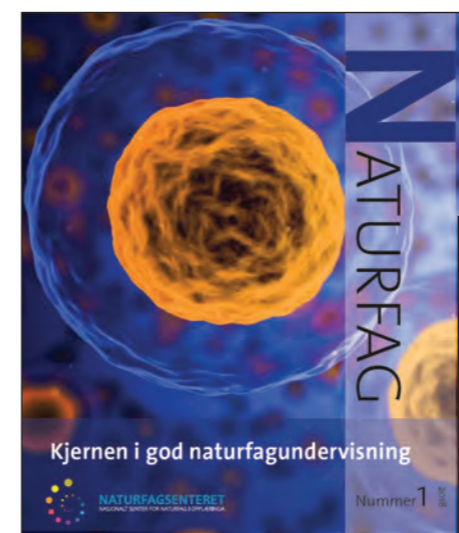
LEDER

Vi avslutter nummeret med flere artikler som drøfter hvordan vi mennesker er en fare for balansen på jorda, samtidig som vi er de som kan bidra til bærekraftig utvikling. Vi lærer om tradisjonell kunnskap fra den samiske kulturen, vi lærer om biologisk mangfold og hvor sammensatt dette temaet er, og vi hører om eksempler på tiltak som virker.

Gjennom denne samlingen av artikler håper jeg at du som leser blir inspirert til å gi elevene våre en variert og sammensatt undervisning om jorda, og klarer å koble den tett til det tverrfaglige temaet *bærekraftig utvikling*.

Lykke til!

Merethe Frøyland



JORDA VÅR



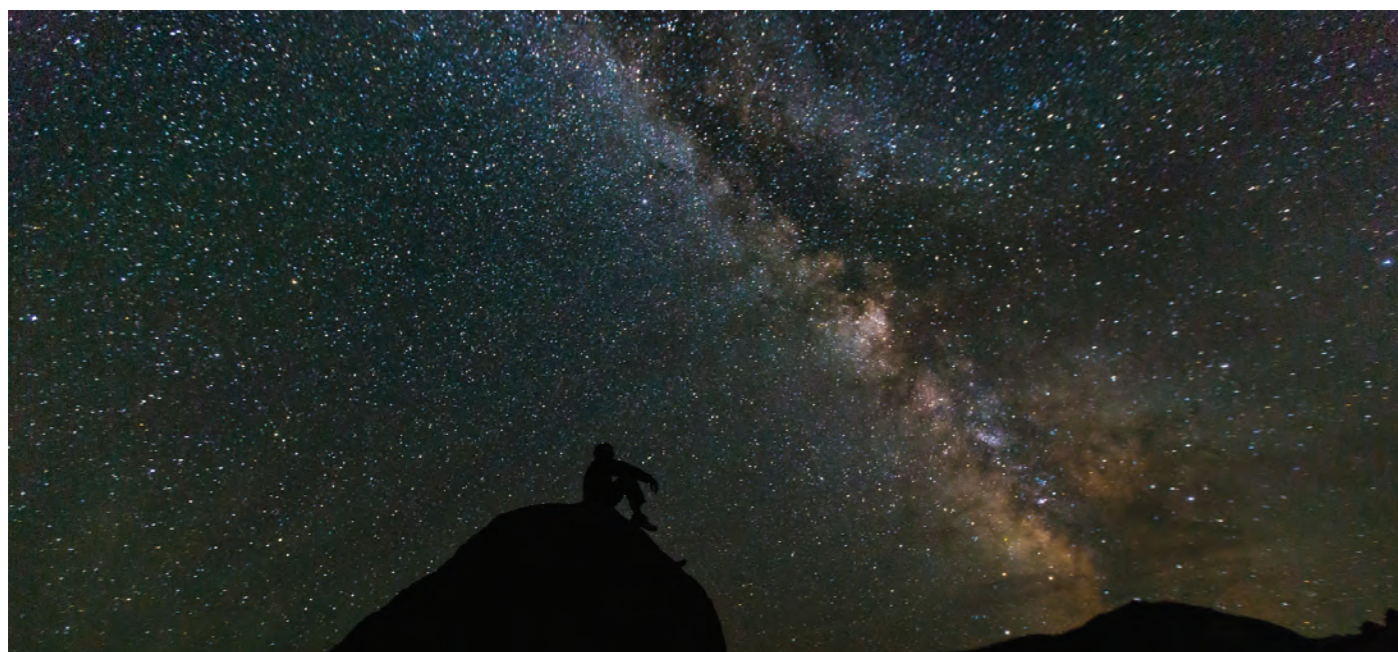
Tekst: Jørn H. Hurum og Maria Vetlester Bøe
Jørn H. Hurum er professor ved Naturhistorisk museum ved Universitetet i Oslo.
Maria Vetlester Bøe er førsteamanuensis ved Skolelaboratoriet i fysikk ved Universitetet i Oslo og forsker ved Naturfagsenteret.

JORDA VÅR



«Barn av regnbuen og en frodig jord»

I ein himmel full av stjerner, kva er det med vår stjerne og vår planet som gjer at vi har blått hav og ei frodig jord? Kva for prosessar, system og fysiske føresetnadar gjer at det kan finnast liv her? Vi presenterer ti grunnar til at fleircella liv kunne utvikle seg på jorda.



Solsystemet ligg gunstig plassert i galaksen. Foto: pixabay.com

1. En himmel full av stjerner – solsystemet ligg gunstig plassert i galaksen

Solsystemet vårt ligg i ein relativt liten arm i stavspiralgalaksen Melkeveien. Her hadde tidlegare stjerner levd og døydd på dramatisk vis og etterlet seg ei sky av stjernestøv. Denne skya var samansett av dei rette stoffa – ikkje berre hydrogen og helium, men også karbon, oksygen, silisium, jern og mange tyngre stoff. Slik kunne

tyngdekraftene til slutt trykkje støvet i hop til ei stjerne og åtte planeter, der (minst) den eine hadde livets ingrediensar. I tillegg til at ingrediensane måtte vera på plass, trengte livet ro til å utvikle seg uforstyrra. Solsystemet vårt ligg ganske langt unna sentrum i galaksen, og er difor sjeldan utsett for ekstreme hendingar som supernovaeksplosjonar og gammaglimt i nabolaget. Det har bidrege til at livet har rokke å utvikle seg.

Tekst: Jørn H. Hurum og Maria Vetlester Bøe

JORDA VÅR



Jorda har store mengder flytande vatn på overflata. Foto: NASA

2. Blått hav så langt du ser – sju tidelar av jordoverflata er dekt av vatn

I dei enorme verdshava fekk liv utvikle seg heile tre milliardar år før det fanst liv på land. Framleis inneheld havet 70 % av vekten av alle levande organismar på jorda, det vi kallar biomassen. Vatnet og korleis det flyttar seg rundt i systema på jorda påverkar livet på fleire måtar. Solenergi fordampar havvatn og gir nedbør av fersk-

vatn som trengst i fotosyntesen. Dei store havstraumane transporterer varmt overflatevatn frå tropeområda til kalde område i nord og sør, og er med på å styre klima, havis og levevilkår. Vertikale havstraumar sørger for at næringsrikt vatn frå botnen blandar seg med meir næringsfattig vatn i overflata, og styrer slik tilgangen på næringsstoff til livet i kystområda.



Her ser vi Venus-passasjen som viser at Venus er nærmare sola enn jorda er. Foto: NASA

3. Jorda får akkurat passeleg med energi frå sola

Kvifor har vi alt dette flytande vatnet som er så viktig for liv? Det handlar både om sola i seg sjølv og om kor langt unna henne vi er. Sola er ei middels stor stjerne og kjem til å ha eit ganske langt liv med stabil utstråling. Det gjer at ho har levert omtrent same mengd energi til jorda over lang tid, og kjem til å gjera det lenge enno. Større stjerner brenn meir intenst og dør fortare, mindre stjerner er meir ustabile og kan sende ut store utbrot med stråling mot forsvarslause planetar. I tillegg til at sola er ei stabil energikjelde, ligg vår planet veldig godt til i solsystemet. Jorda er num-

mer tre rekna frå sola, etter Merkur og Venus. Vår plassering gir oss akkurat nok energi frå sola til at jordoverflata kan få ein temperatur der vatn kan vera flytande. Overflatetemperaturen på ein planet har også mykje med atmosfæren å gjera. På overflata av Venus er gjennomsnittstemperaturen til dømes over 400 grader celsius. Det skuldast ikkje berre at Venus ligg nærare sola, men at Venus har ein tett atmosfære med over 90 % karbondioksid. Merkur har lågare gjennomsnittstemperatur enn Venus, sjølv om den ligg nærare sola. Men der varierer temperaturen med over 300 grader frå minst til høgst, som heller ikkje er foreinleg med flytande vatn.



Jorda har ein beskyttande og livgivande atmosfære Foto: Arek Socha / pixabay.com

4. Jorda har ein beskyttande og livgivande atmosfære

Atmosfæren består av gassar som blir heldt på plass av tyngdekrefte. Utanfrå ser vi jordas atmosfære som ei tynn, blå stripe. Sjølv om den er tynn samanlikna med storleiken til jorda, er atmosfæren både tjukk og tett nok til å legge til rette for liv. Tyngdeakselerasjonen på jorda er nemleg akkurat passeleg sterk til å halde fast gode mengder av dei rette gassane. På Mars er atmosfæren tynnare. Mars har omtrent halvparten så stor radius som jorda og berre rett over ein tidel av massen. Difor er tyngdeakselerasjonen på Mars berre omtrent ein tredel av den på jorda, og tyngdekraftene klarar ikkje å halde på like mykje atmosfære.

Jordas atmosfære beskyttar livet mot skadeleg stråling frå sola. Både partikkelstråling og ein del ultrafiolett elektromagnetisk stråling blir stoppa av atmosfæren og kjem ikkje ned til overflata. Ein annan viktig eigenskap til atmosfæren er at karbondioksid og andre drivhusgassar fungerer som jordas klede. Dei held på varmeenergi og isolerer jorda mot for store temperaturforskjellar mellom dag og natt. Utan denne drivhuseffekten ville gjennomsnittstemperaturen på jorda vore -18 grader celsius. Rørsle i luftmassane i atmosfæren gir oss vør og vind. Ulike vertypar fører til erosjon av jordoverflata, som igjen frigjer næringsstoff livet treng.

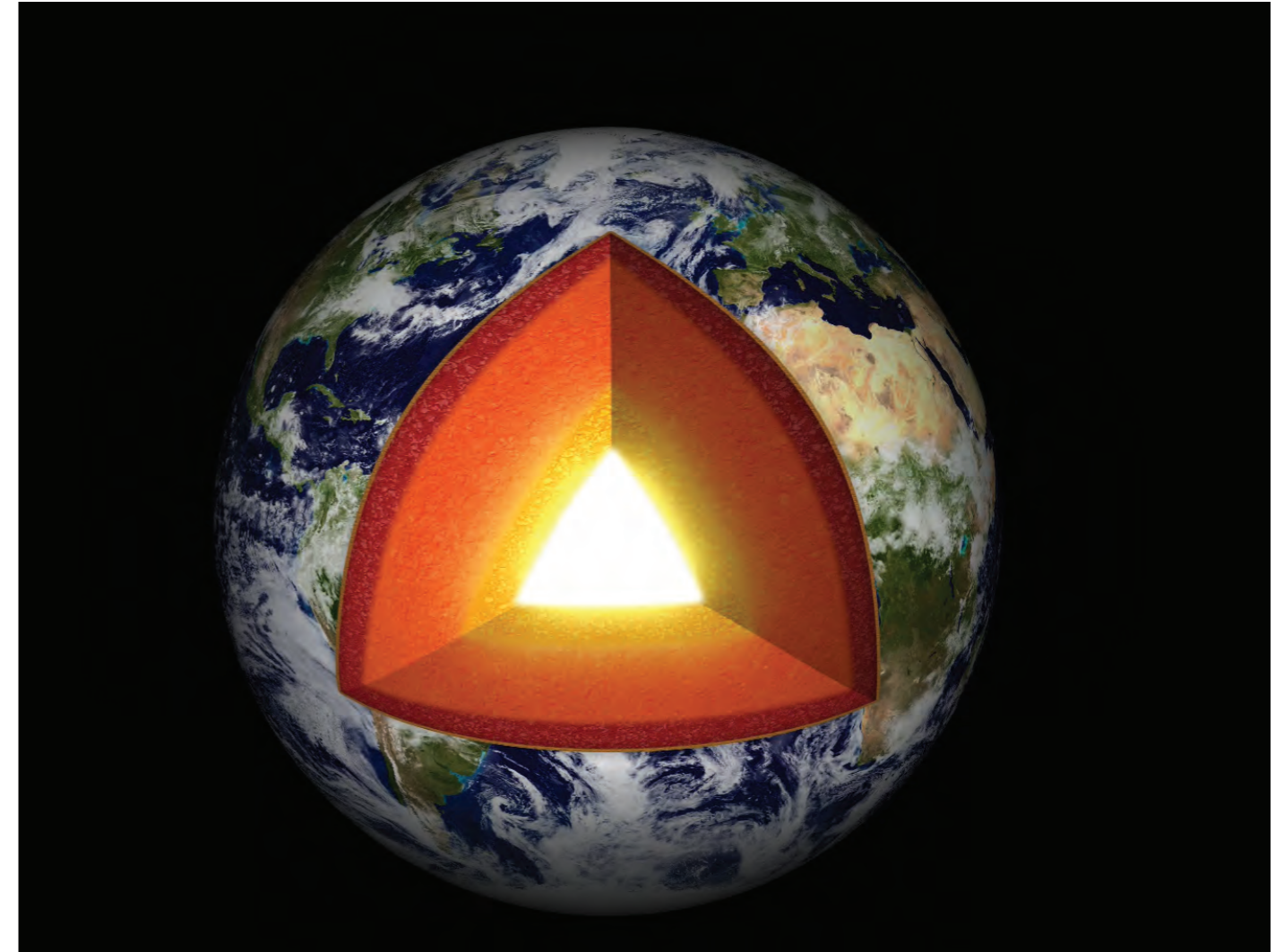


Nordlys kjem av magnetfeltet rundt jorda. Foto: Rene Rauschenberger / pixabay.com

5. Jorda har eit magnetfelt

2900 kilometer under oss ligg kjernen til jorda. Den er samansett av jern, nikkel og litt svovel, og den er stor, omtrent like stor som Mars. Temperaturen i kjernen er 4–6000 grader celsius. Likevel er det berre ytst i kjernen at metalla er flytande, inst er trykket for stort til at noko kan flyte. Faktisk trur forskarane no at den inste kjernen stadig blir større fordi flytande metall i overgangen størknar. Dette frigjer varme og lagar konveksjonsstraumar av elektrisk leiande masse i den ytre delen av kjernen. Fordi jorda roterer, blir desse straumane til spiralar av elektrisk straum – som skapar magnetisme. Magnetfelta skapar meir rørsle i mantelen, fleire straumar og sterkare magnetfelt. Til saman blir desse pro-

sessane ein dynamo som lagar det magnetiske feltet til jorda. Det skal vi vera veldig glade for. Magnetfeltet beskyttar nemleg jorda frå solvinden – ein skur av energirike og elektrisk ladde partiklar frå sola. Magnetfeltet skuvar det meste av solvinden vekk frå jorda, slik at strålinga ikkje kjem ned mot overflata der den kan gjera stor skade på levande organismar. Av og til kjem litt av solvinden likevel ned i atmosfæren rundt polane og kolliderer med gassane der. Kollisjonane gir atoma og molekyla ekstra energi, som dei så raskt sender ut att som lys. Dette ser vi som nordlys eller sørlys. På den måten har vi dobbelt vern mot skadeleg stråling frå sola: Magnetfeltet styrer det meste unna, og av det som kjem ned mot jorda, blir mykje stoppa i atmosfæren.



Jorda er delt i lag der tunge metall er i kjernen, medan lettare stoff er i det ytre laget. Illustrasjon: NASA

6. Jorda er delt i lag

Jorda er delt inn i lag, med eit ytre lag rikt på dei rette grunnstoffa. Jordas historie starta for 4,5 milliardar år sidan. Da byrja små klumpar å kollidera og feste seg saman til det som skulle bli ein planet. Sidan den gong har jorda vore i endring. Etter omtrent 500 millionar år hadde jorda vakse seg stor nok til at energien frå tyngdekraftene, radioaktive stoff og kraftige kollisjonar gjorde ho

varm nok til å smelte metall. Store delar av planetmassen var flytande og kunne dele seg inn i lag: Tunge metall som jern og nikkel sokk djupt ned til kjernen, medan lettare stoff og mineral vart att i eit ytre lag. Dette laget er jordskorpa, og ho har store mengder av grunnstoffa silisium, karbon og oksygen, som er veldig viktige for liv.



Jordskorpa er delt i plater, som kan observerast som her på Island. Foto: Matthew DeVries / pexels.com

7. Jordskorpa er delt i plater

Sju store og mange små plater utgjer jordskorpa. Dei første platene vart danna for meir enn tre milliardar år sidan. Platene rører seg i forhold til kvarandre. Lette kontinentalplater danner fjellkjeder når dei kolliderer, medan tunge havbotnsplater glir frå kvarandre og let vulkanar laga ny botn i havet. Når platene gnissar mot kvarandre sidelengs, får vi ofte jordskjelv. Havbotnsplater søkk ned og smeltar når dei kolliderer med kontinentalplater. Dette driv rørsla til platene, i lag med drivkrefter frå jordas indre.

Det at platene flyttar seg rundt i jordoverflata er viktig for liv. Det gjer at grunnstoffa på jorda blir resirkulerte. Smelting og erosjon bryt opp kjemiske sambindingar slik at grunnstoffa kan settast i hop til nye mineral livet treng. Eit anna viktig resultat av rørsla til

platene er at kontinenta har fått ligge isolert lenge, slik at evolusjonen av artar har fått god tid på seg.

Ei rekke fossil vitnar om korleis kontinenta har vore plasserte før. Eit godt døme er det vesle, krokodille-aktige dyret *Mesosaurus*. 285 millionar år gamle *Mesosaurus*-fossil er funne i innsjøavsetningar både i Afrika og Sør-Amerika. Landplanta *Glossopteris* er omtrent like gammal som *Mesosaurus*, og er funne på alle dei sørlige kontinenta. *Mesosaurus*, *Glossopteris* og fleire andre fossil er prov for at alle kontinenta hang saman i superkontinentet Pangea for 335–175 millionar år sidan. Kontinenta samlar seg og går frå kvarandre i den 500 millionar år lange Wilson-syklusen, den lengste geologiske syklusen vi kjenner til på jorda.



Eit vulkanutbrot tek med seg mineral opp til overflata, her på New Zealand. Foto: Julius Silver / pixabay.com

8. Vulkanar fraktar stoff opp frå jordas indre

Når stoff blir varma opp, går tettleiken ned. Det gjer til dømes at varm luft er lettare enn kald luft, og difor stig oppover. Dette gjeld også i jordas indre. Der stig varm steinsmelte opp og kaldare masse søkk ned. Dette er ei av drivkreftene bak rørsla til jordplatene. Når steinsmelte trengjer seg heilt opp til overflata, blir det danna vulkanar. Når vulkanar har utbrot, tek dei med seg mineral samansett av både tunge og lette grunnstoff opp til overflata. Det gjer at jordoverflata har fleire ulike mineral og grunnstoff enn planetar utan vulkanar. Utan dette mangfaldet av mineral ville liv truleg ikkje kunne utvikla seg på jorda.

Nokre av minerala gir ikkje liv, men kan gjera det vakrere. Diamant er det hardaste naturlege mineralet som finst. Diamantar er bygd opp av reint karbon og danna under veldig høgt trykk 150–200 km nede i jordskorpa. Dei diamantane vi finn på jordoverflata har vorte frakta opp frå mantelen som del av eit vulkanutbrot. Dette må skje veldig raskt slik at diamantane ikkje fordampar! Den vulkanske bergarten som inneheld diamantar blir kalla kimberlitt. Små diamantar kan også bli danna i meteoritnedslag eller djupt under fjellkjeder.



Livet langs kysten blir påverka av tyngdekrafta til månen. Foto: PublicDomainPictures / pixabay.com

9. Sammen skal vi leve – månen påverkar jorda og livet

Alt liv må heile tida tilpasse seg endringar i miljø og klima, eller døy ut. Månen verkar inn på vilkåra for liv både over lange og korte tidshorisontar. Jorda roterer om sin eigen akse, og denne akselen er bikka opptil 23,4 grader. Jorda vinglar litt i rotasjonen sin, men ho ville vingla mykje meir viss ikkje månen var der til å stabilisere ho. Utan månen ville hellinga til jordaksen ha variert mykje meir over lang tid, noko som ville hatt store konsekvensar for klima. Mars har ikkje ein slik stor måne, og vinglar difor mykje meir. Månen er veldig stor samanlikna med planeten han går rundt – den aller største i solsystemet slik sett. Det er vanskeleg å vite sikkert om

jorda kunne utvikla fleircella liv utan måne, kanskje hadde klima-variasjonane vorte for dramatiske.

Over ein kortare tidshorisont sørger månen (i lag med sola) for at vi har tidevatn som livet i kystområda må tilpasse seg. Månen dreg på jorda med tyngdekrefte. Krafta er sterkast på den delen av jorda som er nærast månen til ein kvar tid, og svakast på andre sida. Dette ser vi best i tidevatnet som flo på sida som er nærast månen og på sida som er lengst unna, og fjære på sidene midt i mellom. Fordi jorda roterer, får vi flo og fjære to gonger i døgnet. Utan tidevatn ville livet i fjæra truleg vore mykje mindre rikt på artar.



Små barn av regnbogen i ein frodig rapsåker. Foto: Mari Cecilie Myhre Knudsen

10. En frodig jord – oksygen gir liv

Ein viktig føresetnad for fleircella liv er oksygen. Organismar får energi til å leve frå celleanding, ein forbrenningsprosess drive av oksygen. Dette gjeld også for plantene, sjølv om dei også har fotosyntese, som frigjer oksygen. Fotosyntesen er ein av dei viktigaste kjemiske reaksjonane på jorda, og den skjer i planter, algar og blågrønbakteriar. I havet dannar algar og blågrønbakteriar like mykje oksygen som alle plantene på land til saman. I fotosyntesen brukar plantene karbondioksid, vatn og solenergi til å produsere oksygen og sukker. Det energirike sukkeret blir lagra i plantene når dei veks, til dømes som stivelse i trestammar og som fruktsukker i bær. Det same sukkeret blir brote ned og energien frigjort når organismar et plantemateriale. Plantene gjer meir enn å lagre energi og produsere oksygen. På land bind dei vatn og held på jord med røtene sine. Dei er også med på å bryte ned stein og slik frigjera næringsstoff til andre organismar.

Oksygen er det grunnstoffet vi har tredje mest av i Melkeveien, etter hydrogen og helium. Det oksygenet vi finn på jorda vart danna

da (minst) ei av stjerne-bestemødrene våre eksploderte i ein supernova. Massivt trykk og ekstreme temperaturar fekk fire heliumkjernar til å smelte i hop og bli til det nye grunnstoffet. Kvar gong du dreg pusten, pustar du altså inn stjernestøv.

Barn av regnbuen

Alt på jorda – og med det også vi – stammar frå stjernestøv! Dei ti punkta over beskriv ei rekkje føresetnader og prosessar som skulle til for at dette støvet kunne bli til ei frodig jord. Tenk på det neste gong du ser opp på ein himmel full av stjerner. Kanskje er det andre planetar der ute som er like heldige og har fått blått hav så langt du ser?

Takk til Lillebjørn Nilsen for den fantastiske songen.

Denne teksten byggjer til dels på ei planlagd utstilling (2022) på Naturhistorisk museum i Oslo. Utstillinga skal vise fram prosessane, systema og dei fysiske føresetnadene som gjer at det kan finnast liv på jorda.

LIVETS UTVIKLING





Da panserpadder regjerte havet

Livet på jorda har eksistert i minst 3,7 milliarder år. I løpet av denne tiden har livet måttet tilpasse seg utrolige ting. En av de mest dramatiske hendelsene i jordas historie er bevart i stein på Svalbard. Vi på Naturhistorisk museum i Oslo studerer fossiler herfra for å forstå hvordan dyr utviklet og tilpasset seg. Store endringer gir også muligheter for nye dyregrupper, og en av gruppene vi har funnet er en merkelig salamanderslekting som levde i havet.

For 252 millioner år siden lå Svalbard under havet, og i dag finner vi fossiler her. På denne tiden skjedde den største masseutryddelsen i jordas historie. Enorme vulkanutbrudd i Sibir gjorde kloden nesten ubeboelig. Støv og giftige gasser la seg som et lokk rundt jorda og ga en sterk drivhuseffekt. I Sibir tinte gasser som lå frosset i tundraen. Jo varmere det ble, jo mer gass ble sluppet ut i atmosfæren. Utbruddene kan ha vart så lenge som 600 000 år! Store deler av dagens Sibir er fortsatt dekket av flere tusen meter tykke lag med lava. Havene rundt ekvator ble kanskje så varme som 40 grader i overflaten. Varmen gjorde at opptil 96 % av alt livet i havet døde ut. Til sammenligning forsvant «bare» 70 % av artene under asteroidenedslaget som utryddet alle dinosaurer (unntatt fuglene) for 66 millioner år siden.

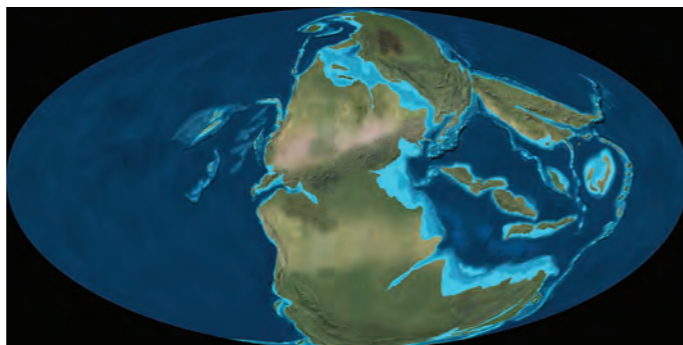
I løpet av de neste 10 millioner årene endret livet i havet seg mye. Det er dette vi forsker på ved Naturhistorisk museum. Svalbard var dekket av hav hele denne tiden, så alle fossilene vi finner er fra dyr som levde i vann. Vi ser at fossilene endrer seg ettersom naturen kom seg igjen. Rækkefølgen på hvilke dyr som blir spist og hvilke dyr som spiser dem kalles en næringskjede. Når naturen endrer seg veldig fort, havner næringskjeden i ubalanse. Ved å studere fossilene fra ulike tider etter vulkanutbruddene ser vi hvordan næringskjeden først var dominert av noen få dyregrupper, før flere nye grupper kom til.

Dyregrupper har ulik evne til å tilpasse seg endringer i naturen. Når naturen er ustabil, er det lurt å kunne spise mye forskjellig.

Hvis man kan få mange barn raskt, gjør det også at slekten har større sjanse for å klare seg. Kanskje finner et barnebarn en helt ny måte å leve på? En dyregruppe som endte opp med å leve helt annerledes, var amfibiegruppen panserpaddene. Fra å bo langs elver og sjøer på land, flyttet de ut i havet og tok plassen øverst i næringskjeden.

Panserpaddene slår tilbake

Panserpaddene så ut som store salamandere. De hadde ofte rare hodeformer: trekantede eller brede, og rund eller lang snute. Vi vet ikke helt hvorfor de hadde så mange forskjellige hodeformer. Kanskje var det for å skape oppdrift i vann eller for å beskytte gjel-



Kart over jorda for 252 millioner år siden. Landjorda var samlet i superkontinentet Pangea. Ill.: Global Paleogeography and Tectonics in Deep Time, 2016 Colorado Plateau Geosystems Inc. #110719



Slik så panserpaddene ut. Til venstre: en saltvannslevende panserpadder (trematosaur). Til høyre: en ferskvannslevende panserpadder (Diplocaulus). Ill.: Aubrey Jane Roberts

lene? Det kan til og med ha vært for å gjøre dem vanskeligere å svelge. På Svalbard har vi funnet mange fossiler av panserpadder (trematosaurer), men disse levde faktisk i saltvann. Etter vulkanutbruddene hadde næringskjeden i havet store hull. Mange av de store rovfiskene og haiene var borte, og dette greide panserpaddene å utnytte.

Panserpaddene utviklet krokodillelignende snuter og skarpe tenner, og etter kort tid var de topprovdyrene i havet. De holdt på plassen sin øverst i næringskjeden i flere millioner år. Hvordan de tålte saltvann er et lite mysterium. Den tynne huden til dagens amfibier tåler ikke saltvann fordi saltet trekker vannet ut av kroppen og tørker dem ut. Panserpaddene hadde kanskje tykkere hud enn dagens amfibier. Noen panserpadder var for eksempel dekket

Spitsbergen Mesozoic Research Group

Forfatterne er med i paleontologigruppen *Spitsbergen Mesozoic Research Group* ved Naturhistorisk museum i Oslo. Gruppen forsker på hva som skjedde med næringskjeden etter masseutryddelsen for 252 millioner år siden og studerer beinlag fulle av knokler fra dyr som levde i havet som en gang dekket Svalbard.



Paleontologigruppen ute i felt. Foto: Jørn H. Hurum

av små ruglete benplater slik som krokodiller i dag. Amfibier er avhengig av vann fordi eggene deres klekkes som små rumpetroll med gjeller. Panserpaddene la også eggene sine i vann.

Etter hvert tilpasset en gruppe krypdyr kalt fiskeøgler seg også til saltvann. Med en gang fiskeøglene dukket opp, ble panserpaddene sjeldnere. Kanskje ble konkurransen fra fiskeøglene for hard? De fødte barna sine i stedet for å legge egg som panserpaddene. Dette kan ha gitt dem en fordel. Vi tror i hvert fall at fiskeøglene var bedre til å svømme og kunne jakte på dypere vann enn panserpaddene. Noen millioner år etter vulkanutbruddene var panserpaddene omtrent borte fra havet, men slektningene deres fortsatte som topprovdyrene i ferskvann i mange millioner år videre.



Hva vet vi i dag om menneskets evolusjonshistorie?

Det vi vet om vår forhistorie har forandret seg radikalt siden de første fossilene av fortidsmennesker ble funnet og mye har skjedd bare de siste par tiårene. Fra noen få fossiler som kunne sorteres i en rett linje fra noe ganske apeliknende og fram til oss sitter vi i dag med et mylder av forskjellige fossiler som best kan ordnes som en busk med flere eksplosjonsartede forgreninger. Det er heller ikke så lett å se hvem som er etterkommer av hvem, men vi kan greit gruppere dem i forskjellige faser.

Hvorfor og hvordan skilte våre forfedre lag med forfedrene til sjimpansene?

Helt ærlig: Vi vet ikke nøyaktig, men vi har en del idéer. Geografisk adskillelse må ha vært involvert og førte til at de levde i forskjellige miljøer. Sjimpansenes forfedre var i de mer skogkleddede vestlige delene av Afrika, mens våre forfedre var i mer åpent landskap i Øst-Afrika eller til og med i Sørøst-Europa eller Midtøsten. Begge grenene gjennomgikk evolusjon med tilpasninger til miljøet: sjimpansene med flere tilpasninger til klatring, vår gren med tidlige tilpasninger til oppreist gange.

Hva er fordelene med tobeint gange?

Oppreist tobeint gange gir ingen fordel når det gjelder hastighet på bakken. Derimot gir det god balanse og en veldig energiokonomisk måte å traske rundt og plukke frukt fra trærne. Andre fordeler er at det gjør det lettere å holde utkikk etter rovdyr og det gir bra fraspark for å komme seg raskt opp i et tre. Kanskje enda viktigere i det lange løp: Siden hendene ikke lenger ble brukt til å gå med, var det en faktor som gjorde det mulig å bruke redskaper systematisk. Men det var flere millioner år fra oppreist gange begynte til våre forfedre begynte å lage steinredskaper.

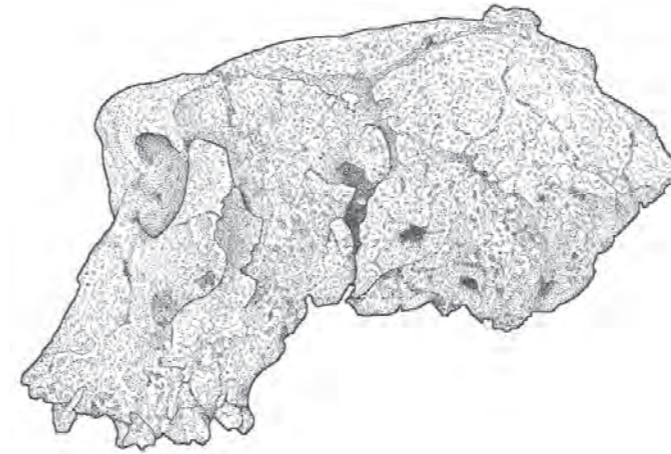
De aller eldste kjente fortidsmenneskene

Den eldste kjente fasen kan vi i mangel av et formelt navn kalle «de tidlige». De hadde oppreist gange, men hadde fortsatt mange til-



Sjimpansene har tilpasninger til klatring. Foto: pixabay.com

pasninger til å klatre. Stortærne var fortsatt sprikende, og det var sjimpanseliknende muskelfester i nedre del av hofta, mens resten av skjelettet var tydelig tilpasset oppreist gange med for eksempel skålformet bekken og nakkehullet på undersiden av kraniet. Hjørnetennene var forholdsvis korte. Det er fortsatt noen detaljer i skjelettet vi ikke har oversikt over.



Det eldste kjente kraniet på menneskelinja: Et 7 millioner år gammelt kranium fra *Sahelanthropus tchadensis*. Ill.: Torfinn Ørmen

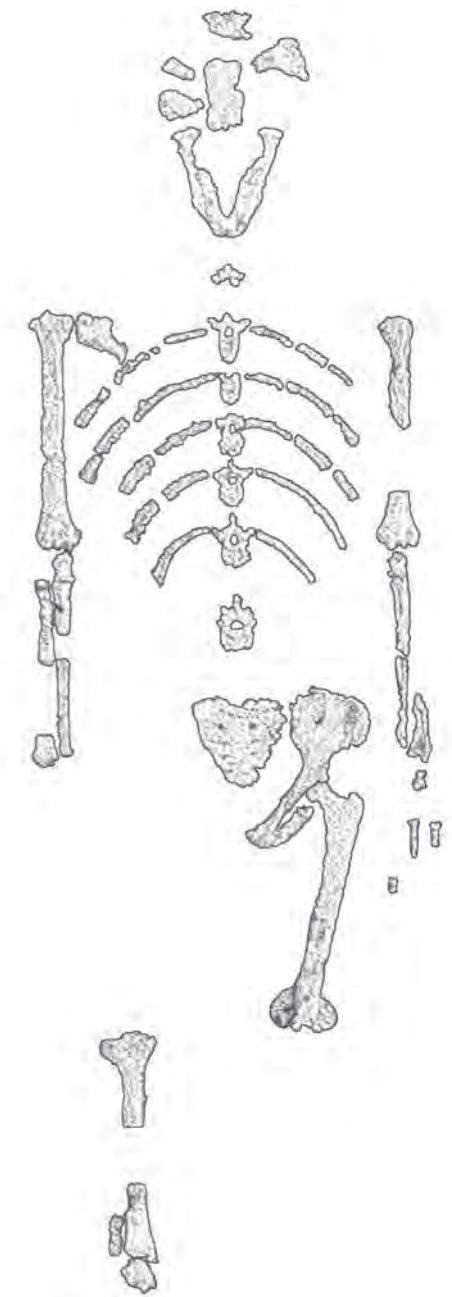
Det er en del uenighet om detaljer, men vi kjenner til flere arter, plassert i to til fire slekter. Det er funnet forsteinete fotspor og noen kjever som tyder på at de også fantes i Sørøst-Europa i tillegg til store deler av Afrika.

«Australopithecine»

Den neste fasen er gruppa der det berømte skjelettet «Lucy» hører hjemme. Stortærne er ikke lenger sprikende og fra føtter til skalle er det tilpasninger til menneskelig oppreist gange. Det var fortsatt apetrekk i hjernestørrelse og hjerneform, stor planteetermager og armer og skuldre som var egnet til å klatre med. De spiste det samme som sjimpanser og må ha levd omtrent som dem. Det var et mangfold av arter som levde fra mer enn fire millioner år siden til nærmere én million, inntil fire-fem arter samtidig.

Tidlig *Homo*

Dette er de første som systematisk lagde redskaper av stein. Det ga dem bedre tilgang til kjøtt som matkilde. Redskapene var enkle kniver til å skjære gjennom dyrehud og skjære kjøtt løs fra beina. Hjernen deres var fortsatt ganske liten – litt større enn hos gorilla, men den hadde fått en moderne arkitektur med større forskjell på høyre og venstre hjernehalvdel. Hendene deres liknet på våre, med lang og sterk tommel, kort håndflate og korte fingre med brede fingertupper. Alle som levde før dem, hadde sjimpanseliknende smale fingertupper og svakere tomler. Den mest kjente arten av tidlig



Skjelettet til «Lucy», en hunn av *Australopithecus afarensis*. Ill.: Torfinn Ørmen

LIVETS UTVIKLING

Hånd av *Homo naledi*. Ill.: Torfinn Ørmen

Homo er *H. habilis*. De var ganske små og hadde fortsatt ganske stor mage. Den såkalte «hobbiten» på Flores og *Homo naledi* fra Sør-Afrika kan være sene overlevende fra denne fasen.

Homo erectus – i bred betydning

Dette er sannsynligvis de første som vi ville kjent igjen som mennesker. Disse var høyere enn tidlig *Homo*, langbeinte og med smal midje. Dette er også de første som vi er helt sikre på klarte å etablere seg utenfor Afrika. De eldste fossilene utenfor Afrika er 1,8 millioner år gamle og funnet i Kaukasus, ellers er det mange funn i Kina og på Java – og noen i Europa. For rundt 1,5 millioner år siden tok de i bruk standardiserte dråpeformete håndøkser og omtrent samtidig dukket de første bålene opp.

Elefantpiserne – Homo heidelbergensis

Etterfølgerne til *Homo erectus* i Afrika fortsatte med håndøkserne og utvidet verktøykassa med blant annet kastespyd av tre. De var høye og grovbygde og med hjernevolum som var innen variasjonsbredden til nålevende mennesker. Også disse vandret ut fra Afrika,

og det ser ut til at de var de første menneskene som håndterte å leve i forholdsvis kjølig klima. Det ligger knokler av elefanter på så å si alle boplassene deres, så elefanter ser ut til å ha vært noe de spiste med jevne mellomrom.

Neandertalerne og slektninger

I Europa utviklet *H. heidelbergensis* seg til neandertalerne, mens lenger øst i Eurasia ga de opphav til «denisovanerne», en folkegruppe vi foreløpig kjenner fra DNA hentet ut av små beinbiter og tenner fra huler i Sør-Sibir. Det var også en variant i India.

Neandertalerne var forholdsvis kortbygde, men hadde tykke knokler og stor muskelmasse. De hadde stort energiforbruk som de dekket med å spise alt fra villsau til neshorn og urokse. De ser ut til å ha vært den hittil eneste menneskearten som levde som nesten rene kjøttetere. Å gå på jakt etter store dyr uten langdistansevåpen er farlig, og mange av neandertalerne som er funnet hadde store bruddskader.

Ut fra Afrika enda en gang

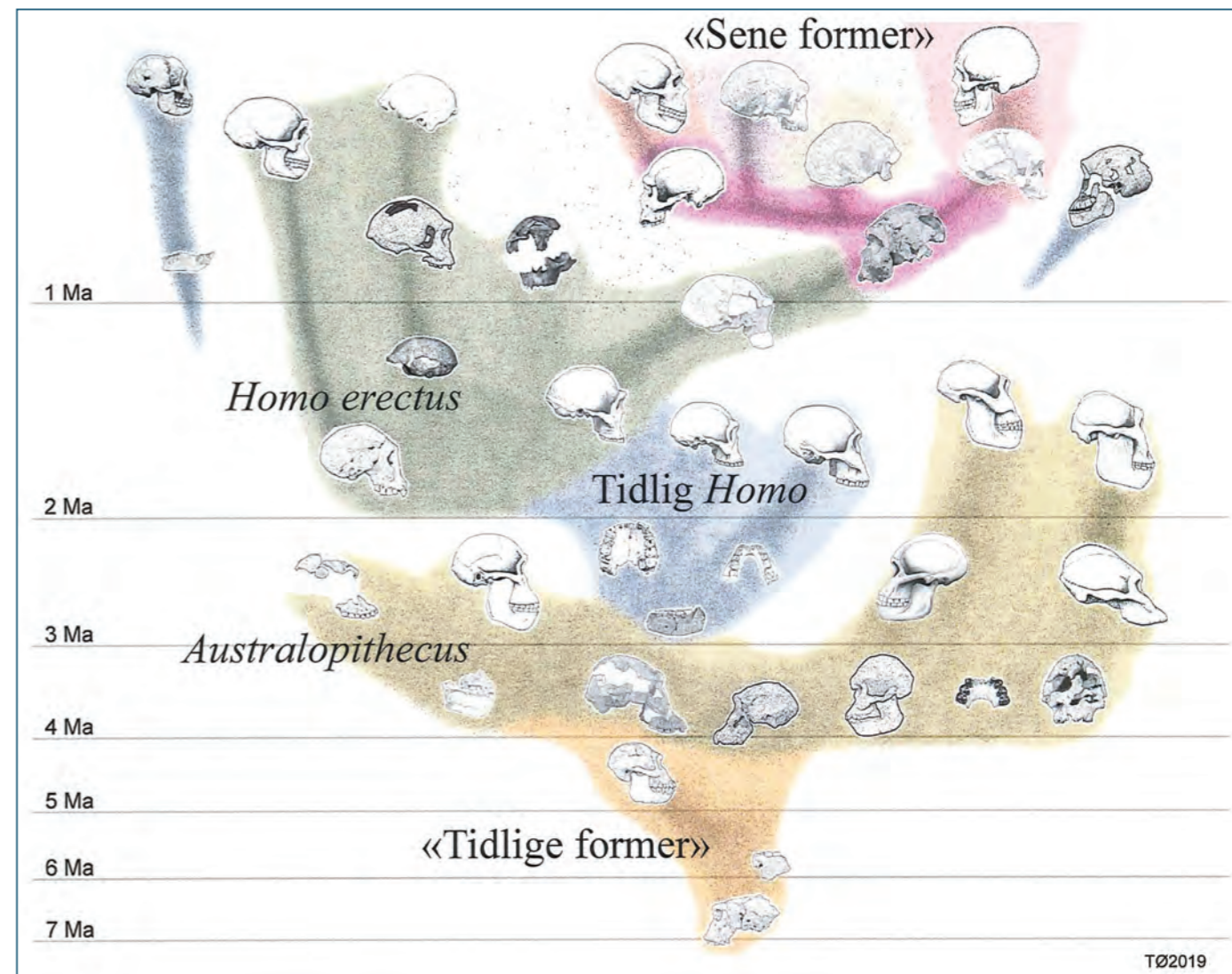
Tilbake i Afrika utviklet *H. heidelbergensis* seg til en tidlig og grovbygget utgave av vår egen art, *Homo sapiens*. Omtrent samtidig ble det funnet opp en teknikk for å lage spydspisser og slanke knivblader. Denne teknikken spredde seg over hele Afrika og ble også brukt av neandertalerne i Europa og Vest-Asia.

For noe mer enn hundre tusen år siden spredde noen *H. sapiens* seg ut fra Øst-Afrika til Midtøsten og derfra etter hvert videre. Først rett østover sør for Himalaya til Sørøst-Asia og helt til Australia, og senere fra Midtøsten nordover til Sentral-Asia og derfra til Europa og Nord-Asia, og derfra igjen til Amerika. Disse spredningene var ikke folkevandringer, de var den langsomme spredningen som skjer på grunn av befolkningsvekst og forflytninger på noen få kilometer hver generasjon. Men dette tok titusener av år. Selv om disse utvandringene skjedde, forlot aldri *Homo sapiens* Afrika, og det største genetiske mangfoldet innen vår art er fortsatt på det kontinentet der vi oppsto.

Og så møtte vi de andre ...

Utenfor Afrika møtte *Homo sapiens* etter hvert både neandertalerne og denisovanerne (og muligens også andre slektninger av dem). Hvordan flestparten av disse møtene artet seg, kan vi ikke vite noe om, men det vi vet er at det ble født noen blandingsbarn.

LIVETS UTVIKLING



Forfatterens foreløpig siste utgave av stamtreet. Ill.: Torfinn Ørmen

Ikke så mange, men nok til at alle mennesker nord for Sahara i dag har noen få prosent neandertaler-DNA. I Asia og Oceania har mange mennesker i tillegg litt DNA fra denisovanerne. Og det ser ut til at denisovanerne på sin side hadde plukket opp litt DNA fra *Homo erectus*.

Trass i at noen av møtene mellom disse forskjellige menneskeartene tydeligvis gikk fredelig for seg, fortrengete *Homo sapiens* etter hvert alle de andre. For rundt tretti tusen år siden forsvant de siste neandertalerne. Og for første gang i hele vår evolusjonshistorie finnes det nå bare én menneskeart.

LIVETS UTVIKLING

Finnes det liv andre steder i verdensrommet?

Vi mennesker har alltid vært nysgjerrige og fasinert av det ukjente. Siden tidenes morgen har vi sett opp på himmelen og lurt på hva som er der oppe. Er det andre der ute?

For å finne svar på dette spørsmålet må vi først tenke over hva liv er og hvordan det oppstår. Evolusjonslæren på jorda forteller oss at liv begynte med encellede bakterier i vann for 4 milliarder år siden. Deretter har det utviklet seg i mange retninger, og etapper, helt til det vi kjenner som livet på jorda i dag. Det er på bakgrunn av dette at forskerne som ser etter liv andre steder i verdensrommet begynner med å se etter vann, og aller helst vann i flytende form. Det som gjør det ekstra spennende er at forskerne har funnet ut at det finnes mer vann (og is) i solsystemet vårt enn noen hadde trodd. Det finnes is på planeter, og på måner, og kometer – de er jo faktisk bare kosmiske snøballer av frossen gass og støv. Tenk hvor mange muligheter det gir oss til å finne liv andre steder.

Hva vil elevene oppdage om de henter snø eller is fra nærområdet rundt skolen og studerer det nøye i et mikroskop? Snø og is som har ligget en liten stund vil med stor sannsynlighet inneholde en eller annen form for liv. Vi vet at det finnes vannis på andre planeter i solsystemet vårt. Hvordan vil elevene reflektere over muligheten for at det finnes mikroskopisk liv også i den isen?

Vann er ikke alt forskerne ser etter når de leter etter liv andre steder i verdensrommet. De ser også etter andre ting, som for eksempel karbondioksid, metan og andre organiske gasser. Dette er gasser som er avfallsprodukter fra levende organismer, akkurat som oss mennesker, som puster ut karbondioksid, og kyr som promper metangass. De siste årene har vi forstått at det finnes svært mange planetsystem rundt andre stjerner i verdensrommet, og vi har begynt å studere noen av disse planetene for å se om det kan

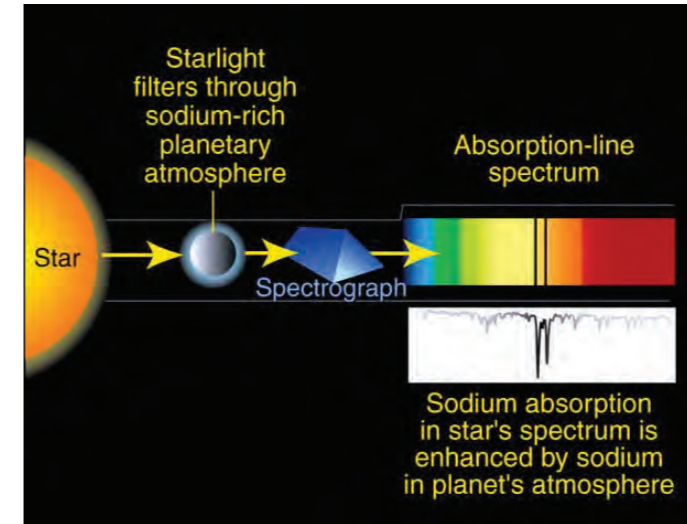


Vannis i et krater på Mars. Foto: ESA/DLR/FU Berlin (G. Neukum), CC BY-SA 3.0 IGO

finnes noen som ligner på jorda vår eller som har spor av organisk materiale.

Ettersom vi ikke har romfartøy som kan ta forskerne til andre planetsystem for å ta prøver, har vi laget ganske avanserte instrumenter for å kunne studere dem på avstand. Et spektroskop er et instrument som spalter lys i forskjellige farger. På den måten

LIVETS UTVIKLING



Illustrasjon som viser hvordan lys fra ei stjerne passerer gjennom en planets atmosfære. Ved hjelp av spektroskop kan vi se hvilke stoffer som finnes i atmosfæren, i dette tilfellet natrium. Ill.: Space telescope science institute

kan vi avgjøre hvilke atomer som finnes i atmosfæren rundt disse planetene. De store, og veldig kostbare, teleskopene i verdensrommet har svært avanserte spektroskop som studerer andre planeter. Dette får vi ikke til fra klasserommet, men det finnes små håndholdte spektroskop hvor elevene kan studere lys fra forskjellige kilder og dermed få et bilde på hvordan denne forskningen foregår.

Også på planeter eller andre steder i vårt eget solsystem letes det etter slike spor. Det er det litt enklere å reise, selv om også dette tar svært lang tid, både i planlegging og i reising. På Mars og Venus, eller på noen av månene til Jupiter og Saturn, ser vi tegn til organiske gasser, og det mistenkes at det kan finnes flytende vann langt nede under overflata. Til nå har Mars vært den planeten som har vært gjenstand for mest forskning. Siden 1960-tallet har forskjellige romnasjoner sendt rovere, små kjøretøy på hjul, til Mars for å studere overflaten og atmosfæren, og flere er planlagt å sendes dit i nærmeste framtid. Forskere lar seg ikke stoppe av at de ikke finner noe den første gangen, etter omtrent 40 år har de fortsatt ikke gitt opp håpet. Planeten Venus har også vært besøkt av romsonder, men det er ikke like kjent. Det tidligere Sovjetunionen sendte et landingsfartøy dit så tidlig som i 1962, og siden da har det vært et titalls flere sonder der. Venus er et litt fiendtlig sted,

med et voldsomt atmosfærisk trykk som knuser det meste. I tillegg er atmosfæren full av etsende syrer som korroderer det meste som kommer i kontakt med den.

Mesteparten av liv vi mennesker kjenner til, har store begrensninger på hvilke forutsetninger som skal til for at det overlever. For eksempel må temperaturen være forholdsvis stabil, det må ikke bli for kaldt eller for varmt. Stråling er en annen ting som kan være svært farlig for oss mennesker, og andre levende organismer. Likevel har det vist seg at det finnes organismer som kan overleve ekstreme forhold. Noen av disse lever under svært radioaktive forhold, i sterke syrer, i ekstreme temperaturer, og til og med inne i metanbobler under isen i Antarktis. Livsformer som lever under slike forhold, kaller vi ekstremofiler.

Den mest kjente ekstremofilen er nok en liten skapning med et forunderlig utseende, noen sa en gang at den ser ut som en kryssning mellom en støvsugerpose og en bjørn. Vi snakker selvfølgelig om bjørnedyret. Disse skapningene har vist seg å være ekstremt motstandsdyktige, og forsøk med bjørnedyr har vist oss at de kan overleve i verdensrommet uten noen form for beskyttelse. Bare det faktum viser oss kanskje at det må finnes andre former for liv der ute?



Bjørnedyr er de ultimate astronauter. Foto: Goldstein lab - tardigrades / flickr.com CC BY-NC-SA 2.0

LIVETS UTVIKLING



Fra filmen E.T. Foto: Couleur / pixabay.com

Slike ekstremofiler viser oss mennesker hvor lite vi egentlig vet om liv. Det eneste vi vet er at det oppsto på jorda, og ikke engang det vet vi alt om, dessuten er det bare én form for liv.

Mens noen forskere jakter på mikroskopisk liv og bakterier finnes det også noen som leter etter intelligent liv, om det er små grønne menn eller andre vesener med ufoer. SETI (Search for Extra-Terrestrial Intelligence) er et institutt hvor all aktivitet foregår på vitenskapelig grunnlag for å konstatere om det finnes intelligent liv andre steder i verdensrommet. SETI bruker antenner og spesialbygde teleskop for å lete etter signaler fra andre verdener i universet. De lytter for eksempel etter signaler på spesielle frekvenser for å finne spor, og de har utstyr som leter etter laserlys som kan være sendt ut fra andre intelligente vesener.

Hva om vi en dag finner andre der ute, ikke bakterier eller mikroskopiske bjørnedyr, men virkelige «Extra-Terrestials» eller små grå menn med store øyne. Hva da? Hvilke retningslinjer bør man holde seg til og ikke minst, *hvem* er det som bør være den som tar kontakt? Framtidens forskere er de som bør ta stilling til dette, og de sitter i klasserommene våre i dag. Kanskje er det ikke så dumt at de får øve seg på å reflektere over dette allerede nå?

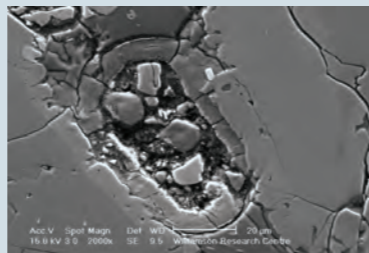
Undervisningstips

La elevene reflektere over sammenhenger mellom forskjellige former for liv. Trær og planter på jorda «puster inn» karbondioksid og frigjør oksygen, som vi igjen puster inn. Hvordan ville liv sett ut om plantene hadde brukt andre stoffer? Ville vi mennesker blitt til, men hatt en litt annerledes sammensetning? Her er det bare fantasien som setter grenser for hva slags diskusjon elevene kan få til.

Spør elevene om hvordan liv ville sett ut på forskjellige planeter. Hva vil skje når mennesker en dag bosetter seg på Mars? Be dem tenke på forholdene på naboplaneten vår, der tyngdekraften er ganske lav, sollyset er svakere enn på jorda, atmosfæren er tynn. Hvordan vil menneskene endre seg om de blir boende der?

Cella som system

I dette undervisningsopplegget for ungdomstrinnet skal elevene undersøke og finne bevis for om et meteorittfunn viser spor av liv i verdensrommet.



naturfag.no/celler

Andøya Space Education

Andøya Space Education (tidl. NAROM) er et nasjonalt senter og skolelaboratorium for alle utdanningsnivåer innenfor romrelatert opplæring. Senteret har en rekke undervisningsressurser om verdensrommet. Alle aktivitetene bygger på norske læreplaner og er laget for at elevene skal få økt interesse for realfaglige tema.

andoyaspace.no/what-we-do/space-education

JORDA SOM SYSTEM





JORDA SOM SYSTEM

Eventyret om de tusenogén blomster og insekter

Det finnes ingen over og ingen ved siden av: Blomster er ubestridt klodens mest suksessfulle og artsrike plantegruppe. Hvordan ble de så mange? Hvor tok de sine former og farger fra? For å forstå svaret må vi gå hundre millioner år tilbake, til en tid da alt var grønt.

Lukk øynene, og se for deg en blomst. Hva ser du? Mormors epletre, de nikkende blåklokkene i grøftekanten? Vårens første hestehov, den kremhvite nattfiolen eller kanskje en knallrød, tropisk hibiskus?

Det finnes i dag over 360 000 blomsterarter. Dette inkluderer, i tillegg til all verdens villblomstenger, alle frukter, endel trær og storparten av verdens kultiverte arter. Blomster utgjør 96 % av alle eksisterende planter og er ubestridt verdens mest suksessfulle plantegruppe. Hvordan ble de så mange? Noe av svaret ligger i en av verdens mest banebrytende prosesser: koevolusjonen mellom planter og pollinatorer.

Begrepet *koevolusjon*, altså gjensidig evolusjonær påvirkning mellom ulike arter, var først anvendt av sir Charles Darwin i 1862. På sitt kontor i sør-England eksaminerte Darwin en orkidé fra Madagaskar. Orkideen *Angraecum sesquipedale* (se skisse på side 32), eller hvit stjerneorkidé, hadde en nektarspore, en hul tube til blomstens nektar, på fantastiske 30 cm. Darwin forutsa at orkideen måtte bli bestøvet – eller *pollinert* – av et insekt hvis sugesnabel var like lang eller *lengre* enn nektarsporen: Orkideen og det teoretiske insektet hadde, ifølge Darwin, koevolvert.

Før vi utforsker stjerneorkideens bestøver videre, må vi fullt ut forstå pollinering. Pollinering er en prosess som er nødvendig for reproduksjon hos planter og som resulterer i frø- og fruktdannelse. Pollinering er en av klodens få oppbyggende prosesser: Pol-

linering er et møte der liv skapes. Uten pollinering, ingen frø. Uten frø, ingen frukt. Pollinering innebærer at pollen, tilsvarende våre spermier, forflyttes fra hann-del til hunn-del hos en plante. For å unngå selvbefruktning, den mest ekstreme form for innavl, skal pollen helst forflyttes mellom to ulike planter av samme art. Pollenforflytning er ikke lett når man står fastrotert i bakken. For å forflytte pollen benytter planter dermed vind, vann eller dyr.

La oss nå reise 140 millioner år tilbake i tid. Vi befinner oss i starten av den geologiske perioden kritt og superkontinentet Pangaea er i ferd med å brytes opp. Havene myldrer av bløtdyr, og på landjorda vandrer den majestetiske Tyrannosaurus Rex. Mellom gigantiske bregner flakser flyvende øgler, og luften fylles jevnlig med store mengder pollen fra de vindpollinerte frøplantene. Ikke en blomst er å se, og ikke en bie å høre. Verden er et eneste fargespekter av grønne nyanser, helt til et insekt – mest sannsynlig en bille – snur opp ned på det hele.

Hvem har gjort de største oppdagelsene? «*Tilfeldighetene*» skriver Mark Twain. Blant de enorme mengdene pollenprodukt produsert av krittets frøplanter, traff kun et fåtall en annen plantes hunn-del. Brorparten av pollenet ville, for plantens del, gå tapt. «*Den enes død er den andres brød*», sier hyenene i jungelboken: Ting går sjelden *helt* tapt i naturen. Pollen er proteinrikt, og kanskje *var* det ved en tilfeldighet at den første billen oppdaget pollenets enorme næringspotensial. Fordelaktige oppdagelser blir som regel inkludert videre i evolusjonen, og snart fløy flere vingede insekter mel-

JORDA SOM SYSTEM



Lushatthumle (*Bombus consobrinus*), med lengst tunge av humlene i Norge, og ridderspore (*Delphinium spp.*) Foto: Henninge Torp Bie

lom planter på pollenjakt. Insektene fikk ofte med seg noen ekstra pollenkorner på kroppen, som iblant falt på en hunnlig plantedel og resulterte i suksessfull pollinering. En ny mulighet hadde åpnet seg i planteverden: Insekter istedenfor vind som *pollinatorer*.

For plantene representerer insektene en pålitelig og direkte form for pollentransport. La oss nå ta en oppsummering. Vi befinner oss i kritt 140 millioner år tilbake, verden er grønn, og billene – de første pollinatorenene – leter etter proteinrik pollen. Å finne noe lite og gulgrønt i urtidsskogene var dog, fra billenes perspektiv, som å finne en nål i en høystakk. Den planten hvis pollen var lettest å finne, ville også være planten med størst sannsynlighet for insektbesøk og sikret pollinering. Hvordan gjøre pollen synlig? «*Hva er glede i forhold til noe ubehagelig?*» skriver Mark Twain. Svaret på de to spørsmålene er det samme: kontraster. For å guide insekter

til pollen måtte kontraster skapes, og slik, lysende hvitt mot det grønne bladdekket, introduserte urblomsten Magnolia kronbladet.

Fordelen med kronblad kickstartet et fargerikt kappløp om insektenes oppmerksomhet. Mens de første blomstene var hvite, hadde rikelig med pollen og ble besøkt av biller, utviklet planter snart blomster med alle mulige slags vidunderlige former og farger. Enkelte arter produserte forførende dufter og sukkerrik nektar som tiltrekning og belønning for insekter, mens andre sendte ut grusomme odører for å etterlikne råtnende kadaver. Insektene evolverte med. Etterfulgt av enkle biller kom blomsterfluer som kunne stå stille i luften, nattflyvende møll, sommerfugler med lange sugesnabler og ikke minst pollineringsverdens ukronede dronninger: hårete, hardtarbeidende humler og bier. Kritt, 100 millioner år tilbake, representerer en æra der landjorda eksploderte i farger og

JORDA SOM SYSTEM



Orkideen *Angraecum sesquipedale*, eller hvit stjerneorkidé, hadde en nektarspore, en hul tube til blomstens nektar, på fantastiske 30 cm. Ill.: Louis-Marie Aubert du Petit-Thouars

former, og arts mangfoldet hos både blomsterplanter og insekter skjøt eksponentielt i været.

La oss nå vende tilbake til Darwins langnektarsporede orkidé og dens antatte, dog ukjente bestøver. I 1903, flere tiår etter Darwins prediksjoner og 20 år etter hans død, ble svermeren *Xanthopan morgani praedicta** (*merk det siste navnet, til ære for sin «predicted»-eksistens) oppdaget. Svermeren levde på Madagaskar, var seks cm lang – og hadde en sugesnabel på over 30 cm. Svermeren var stjerneorkideens eneste, spesialiserte pollinator.

Darwins stjerneorkidé og den langtungede svermeren fra Madagaskar representerer et 1:1-forhold: Svermeren er orkideens eneste pollinator, og orkideen er svermerens eneste nektarkilde. Romantikken i eksklusivitet til tross, 1:1-forhold er unntaket heller enn regelen i naturen. De fleste blomster blir besøkt av flere pollinatorer, og de fleste pollinatorer besøker flere blomster. Samtidig er ikke alle blomsterbesøkere *effektive* pollinatorer. En pollinator er kun effektiv for en blomst om den transporterer mye pollen, og om den er relativt trofast til én blomsterart, altså transporterer rett pollentype planter imellom. Noen hypoteser går dermed ut på at blomster har evolvert til å passe til sin *mest effektive pollinator* og at blomstens karaktertrekk gjenspeiler pollinatorens biologi. Biologer kaller det *pollineringsyndromer*.

Pollineringsyndromer er altså et sett av karaktertrekk blomster har utviklet som svar på naturlig seleksjon fra deres pollinatorer. Karaktertrekk inkluderer farge, lukt, størrelse og belønningsform (pollen og/eller nektar) og viser i grove trekk om en blomst hovedsakelig pollineres av for eksempel fugler, biller eller bier. Mens fugleblomster gjerne er røde, store, nektarfulle og uten lukt, som en respons på fuglers manglende luktesans og oppfatning av røde farger, er billeblomster, åpne, hvite og med mye pollen. Bieblomster er generelt lilla eller gule med både nektar og pollen og gjenspeiler slik biers fargesyn og deres utelukkende blomsterbaserte vegetardiett.

Er resultatet av 100 millioner år med koevolusjon virkelig så harmonisk? Ideen om pollineringsyndromer har blitt kritisert for å kunne ut fra nettopp menneskets *ønske* om harmoni i naturen heller enn empiri. Og det er, riktig nok, sjeldent at en fugleblomst blir besøkt *kun* av fugler og bieblomster *kun* av bier. Likevel, basert på blomstervandringer fra arktisk til ekvator, i villblomstenger og veietablerte hager, har jeg personlig dratt enorm glede av å sette meg foran en blomst og forsøke, likt hva Darwin gjorde for over hundre år tilbake, å forutsi blomstens pollinator. I de absolutte fleste tilfeller opplever jeg at ideen om pollineringsyndromer er formidabelt forutsigbar. Jeg kan ikke si det bedre enn regissør Louie Schwartzberg: «*It fills me with wonder*». Så, neste gang du er ute og vandrer: Lukt på en blomst. Registrer dens form. Hvilken farge har den? Hvor er nektaren? Hvem pollinerer den? Hvem er pollinatoren i ditt nabolag? Hvilke blomster behøver de? La deg selv fylles med forundring over naturen, og så et frø, så en eng, og bli med på å ta vare på verdens pollinerende arter.



JORDA SOM SYSTEM

Hvordan bygge seg et sted å bo – og samtidig endre en hel planet

Har du noen gang gått på en kritthvit sandstrand med krystallklart hav så langt øyet rekker? Eller latt deg fascinere av det yrende og fargesprakende livet på et tropisk korallrev? Da har du opplevd resultatet av en av de viktigste biokjemiske prosessene som livet på jorda både former og blir formet av: nemlig dannelsen av organisk kalk. En skapelsesprosess som har vært avgjørende for det biologiske og kjemiske samspillet mellom livet, havet og atmosfæren i hundrevis av millioner av år, og som i dag gjør det mulig for utrolige økosystemer som korallrev å eksistere. Samtidig har dette samspillet også sine sårbarheter, noe menneskehetens inngrep i den globale karbonsyklusen dessverre gjør tydeligere og tydeligere for hvert år.

En stein blir født

Hva tenker du på når du hører ordet stein? Med mindre du har en glødede interesse for geologi, er det kanskje fare for at du ikke tenker på så veldig mye? Steiner kan jo gjerne virke litt som «naturens kulisser». Overalt og under alt, men uten å gjøre så veldig mye ut av seg – de bare er. Ja, på sett og vis kan en stein nesten synes å være det *motsatte* av noe levende. Steiner er selvsagt ikke levende i seg selv, men de kan faktisk fortelle oss enormt mye om livet på planeten vår. Både om hvordan det har vært, hvordan det kan komme til å bli, og om det store samspillet mellom geologi og biologi – som har vært med på å forme livets utvikling gjennom utallige millioner av år. For å illustrere et av de beste eksemplene på dette er vi nødt til å snakke om *kalkstein*.

Ved første øyekast ser en typisk kalkstein ut som de fleste andre steiner. Men i motsetning til nær sagt alle de andre «byggklossene» som er med på å bygge opp grunnen vi bor på, har de fleste kalksteiner en hemmelighet. De er nemlig skapt av *levende organismer*. Faktisk har så mye som opp mot 90 % av all kalken på jorda et organisk opphav, eller som en av mine geologi-professorer sa til meg en gang: «En kalkstein blir ikke skapt – den blir født.»

Et helt enormt mylder av skapninger, fra muslinger og snegler til koraller, kråkeboller, krepsdyr og mikroskopiske alger, har nemlig det til felles at de lager sine skall, gjemmesteder, ryggrader og ytre skjeletter ved hjelp av kalk, som de danner fra mindre byggklosser i vannet. Når innehaverne av disse byggverkene en dag dør, blir det de har skapt, ofte igjen. Noe av det males opp til kritthvite strender, noe danner fargesprakende korallrev, noe blir bevart for ettertiden som detaljerte fossiler, mens andre igjen synker ned i jordskorpa og blir til selve grunnen under føttene våre – til kalkstein.¹ Ikke nok med det: Dette beskjedne mineralet er kanskje en av de viktigste grunnene til at livet slik vi kjenner det i dag, i det hele tatt eksisterer. For å forstå det må vi ta et dypdykk tilbake i tiden.

En evolusjonær genistrek

Både fossiler og DNA-analyser kan fortelle oss at opphavet til så godt som alt det *flercellede* livet på jorda, fra barkbiller til sjøstjerner, til deg og meg, kan spores tilbake til en helt spesiell tidsperiode for rundt 540 millioner år siden, som gjerne kalles «den kambriske eksplosjonen». På et lite, i jordas sammenheng, evolusjonært øyeblikk på bare noen få millioner år, dukket nær sagt alle de dyre-

JORDA SOM SYSTEM



De hvite klippene i Dover er kanskje et av verdens mest kjente eksempler på kalkstein, i form av kritt. Den ble dannet over millioner av år, av restene fra små og store organismer. Foto: Immanuel Giel / Wikimedia Commons, CC BY-SA 3.0

gruppene vi kjenner i dag opp: bløtdyr, leddyr, pigghuder og virveldyr. I et skred av evolusjon og mangfold tok disse raskt over et verdenshav som tidligere for det meste hadde vært forbeholdt éncellede organismer, alger og temmelig enkle, bløte dyr.

Hva var årsaken til denne plutselige «eksplosjonen» av liv? Mest sannsynlig skyldtes det en kombinasjon av flere faktorer, men mange forskere i dag er enige om at én biologisk nyvinning hos disse skapningene var spesielt viktig: nemlig evnen til å danne harde, solide strukturer, i og på kroppen, ved hjelp av uorganiske mineraler. Denne prosessen kalles *biomineralisering*.

Det høres kanskje dramatisk ut, men mye tyder på at biomineralisering rett og slett endret hele det evolusjonære spillet.² Kalk kun-

ne brukes til å danne beskyttende skall og strukturer for å hindre skapninger i å bli spist, men også til å forme dødelige tenner, klør og andre fangstredskaper for å spise andre. De første rovdynene og byttedyrene ble et faktum, og det evolusjonære «kappløpet» mellom disse to antas å være en av de viktigste drivkreftene i denne periodens raske mangfoldiggjøring av arter. Andre dyr brukte igjen sine harde deler til å bore seg ned i det som til da hadde vært en utilgjengelig verden, nemlig havbunnen, mens en tredje gruppe endte opp med å danne et stabilt, *indre* skjelett – de første på den evolusjonære greina som fører til *virveldyrene*, og senere til deg og meg. I over 500 millioner år har biomineralisering vært en forutsetning for nesten all evolusjon og økologi på jorda. Men hva betyr egentlig *det*?

JORDA SOM SYSTEM



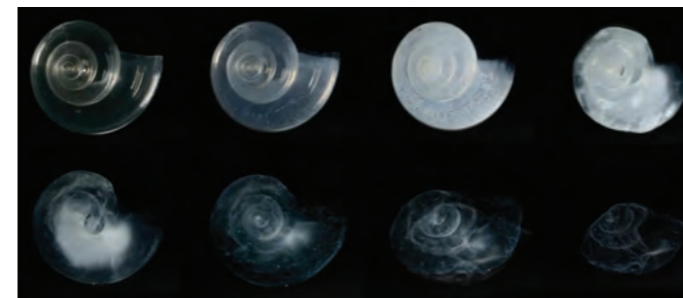
Et tropisk korallrev er kanskje det mest spektakulære eksemplet på hvordan levende vesener kan danne strukturer av harde mineraler. Foto: Francesco Ungaro / pexels.com

Tekopp og termostat

For å forstå biomineralisering litt bedre blir vi nødt til å trekke inn noe av kjemien i denne skapelsesprosessen. Kalk, eller *kalsiumkarbonat*, består av to mindre molekylbyggeklosser (kalsium og karbonat), som det vanligvis finnes masse av, i oppløst form, i sjøvann: litt som en teskje honning, rørt ut i en varm tekopp. Og faktisk er det gjerne så mye kalsium og karbonat i de øverste hun-

dremeterne av havet, hvor løseligheten er lavest, at det egentlig er *mer* her enn vannet kan holde på. Som for eksempel hvis du noen gang har prøvd å røre ut så mye honning i teen din at det blir igjen en liten klump på bunnen samme hvor hardt du rører. På sett og vis har karbonat og kalsium altså veldig «lyst» til å ende opp i fast form, og er dermed et genialt valg som byggemateriale.

JORDA SOM SYSTEM



Slik ser det ut når skallet til en vingesnegl gradvis går i oppløsning over en måneds tid, i sjøvann slik man tror det vil være ved havoverflaten ved år 2100, hvis dagens utslipp fortsetter. Foto: NOAA Environmental Visualization Laboratory / Wikimedia Commons, offentlig eiendom

Ettersom utallige generasjoner av koraller og skalldyr over millioner av år har «trukket ut» kalk av havet, og mye av det ender opp som kalkstein dypt under jorda – hvordan kan det da ha seg at det *fortsatt* finnes kilometerlange korallrev og endeløse østersbanker?

Grunnen til det er at alle de enorme mengdene kalkbyggere som både har eksistert og som eksisterer i dag, spiller en helt sentral rolle i en av de aller eldste, og viktigste, *biogeokjemiske* syklusene på planeten vår – en syklus av energi og grunnstoffer hvor både levende og ikke-levende kjemi spiller på lag. I dette tilfellet dreier det seg om en ufattelig langsom resirkulering som faktisk er helt essensiell for å holde konsentrasjonen av drivhusgassen CO₂ innenfor et nivå som skaper en levelig temperatur på jorda i det lange løp. Derfor kalles denne syklusen også ofte «jordas geologiske termostat».³ Kort fortalt går den fra en gradvis nedbrytning av fjell og stein på land gjennom utvasking til havet (det er her kalsium og karbonat kommer fra), til utskillelse av kalk nettopp ved hjelp av levende organismer, til utslipp igjen i atmosfæren fra blant annet vulkaner. Forskjellen i *løseligheten* til kalsium og karbonat mellom dypt og grunt hav danner et temmelig finurlig system som i det store og hele sørger for at tekoppen blir rørt om – slik at den alltid ender opp overfylt med honning der det trengs mest.

En framtid i oppløsning

Men der både jordas «geologiske termostat» og denne «tekopp»-effekten er urgamle og langsomme prosesser, finnes det også andre, mer kortsiktige prosesser. De fleste er kjent med at gassen CO₂

er en av de store «skurkene» i den menneskeskapte globale oppvarmingen. Det som kanskje ikke er fullt så velkjent, er at når CO₂ løses opp i havet, bidrar den til å skape trøbbel på en helt *annen* måte enn som varmespreder i lufta. I stedet tukler den med selve *kjemien* i havvannet, og det på en måte som er dårlig nytt for alle kalkbyggere.

Den ekstra tilførselen av CO₂ gjør at vannet etter hvert blir *mer* villig til å holde på kalkens byggesteiner, kalsium og karbonat. Dette gjør at det før så energieffektive, lille kjemiske «puffet» som trengtes for å danne kalkskall, blir stadig tyngre å gjennomføre, og i verste fall kan det bli helt *umulig* hvis havet blir surt nok: Da vil også den kalken som allerede finnes, begynne å gå i oppløsning. Og siden menneskeheten begynte å pumpe ut karbondioksid i atmosfæren for godt og vel 200 år siden, har forskere regnet ut at omtrent tretti prosent har blitt tatt opp fra havoverflaten, hvor de fleste kalkbyggerne bor.⁴

Likevel er det nok ingen grunn til å være redd for at dette er slutten for *alt* kalkbasert liv i havet. Mest sannsynlig vil den langsomme, selvregulerende effekten av løselighet på tvers av havdypet føre til at de øverste lagene i havet igjen vil kunne bli levelige. Men havforsuring utgjør en skummel og alvorlig trussel mot de skapningene og artene som lever nå. Verdens tropiske korallrev, som er følsomme *både* for temperatur og kjemien i vannet, går for eksempel en veldig usikker framtid i møte om ikke utslippstakten vår endrer seg.

Om millioner av døde og resirkulerte husbyggere fra havbunnen har lært oss noe, så er det at det hjemmet man bygger for seg selv kan ha mye å si for hvordan verden ser ut for andre. Da er det viktig at vi klarer å ta vare på det som er det største hjemmet av alle, nemlig den grønne, blå, og litt kritthvite, planeten vi alle deler på.

Noter

1 Kuznetsov, V. G. «Some features of the evolution of carbonate accumulation in the earth's history: Communication 1. Evolution of the intensity, mechanism, and setting of carbonate accumulation». *Lithology and Mineral Resources* 35, nr. 1 (2000): 32–46.

2 Murdock, Duncan J. E. «The 'biomineralization toolkit' and the origin of animal skeletons». *Biological Reviews*, 2020.

3 Ridgwell, A, og R Zeebe. «The role of the global carbonate cycle in the regulation and evolution of the Earth system». *Earth and Planetary Science Letters* 234, nr. 3–4 (2005): 299–315.

4 Pacific marine environmental laboratory, NOAA: «What is Ocean Acidification?» www.pmel.noaa.gov/co2/story/What+is+Ocean+Acidification%3F



Foto: Celina Øier / Stillton Literary Agency

JORDA SOM SYSTEM

Havet – «det siste sunde i den syge Verden»?

Det er lett å glemme havet, enda så stort det er – over 70 prosent av kloden, med en snittdybde rundt tre km. Nittifem prosent av havets bunn er aldri sett med menneskeøyne, og vi har bedre kart over overflaten på Mars, skilt fra jorda av 262 millioner kilometer iskaldt vakuum. Likevel vil ingen bestride at havet gir oss vesentlige naturgoder. Ikke bare fisk og sjømat, salt og tang til å omslutte makrullen. Havet bidrar også til grunnleggende tjenester, som nærings sirkulasjon, klimaregulering, vannets kretsløp og ikke minst oksygenproduksjon – minst annethvert åndedrag du tar, kan du takke havets grønne plankton for.

Da jeg var barn, hadde storesøstera mi en lapp over senga si på sommerhytta. Der hadde hun skrevet et sitat fra Alexander Kiellands bok *Garman & Worse*: «Det er ikke sandt, at Havet er troloest; thi det har aldri lovet noget: uden Krav, uden Forpligtelse, frit, rent og uforfalsket banker det store Hjerte – det siste sunde i den syge Verden.»

Mon det. Havet er ikke så sunt lenger, med forsuring, oksygenfrie døde soner, mikroplast – og overfiskede bestander. Men hvor mye vet du egentlig om havet og det som skjer der nede i det blå dypet?

Hvalfall – velkommen til dyphavet

Se for deg at du flyter i saltvann omgitt av stummende mørke. Det er iskaldt. Temperaturen ligger kun noen grader over null. Et sted under deg ligger øde strekk med havbunn. Over deg; de øvre vannmassene med sollys og liv og røre, der plankton produserer oksygen og er grunnmuren i en rik næringskjede. Trykket fra alle tonnene med vann over deg er enormt – som om du hadde en stabel fullvoksne elefanter stående på hodet ditt. Velkommen til dyphavet – dette ugjestmilde levestedet, under 200 meters havdyp, som faktisk dekker to tredjedeler av planeten, og inneholder 90 prosent av alt vann i havet.

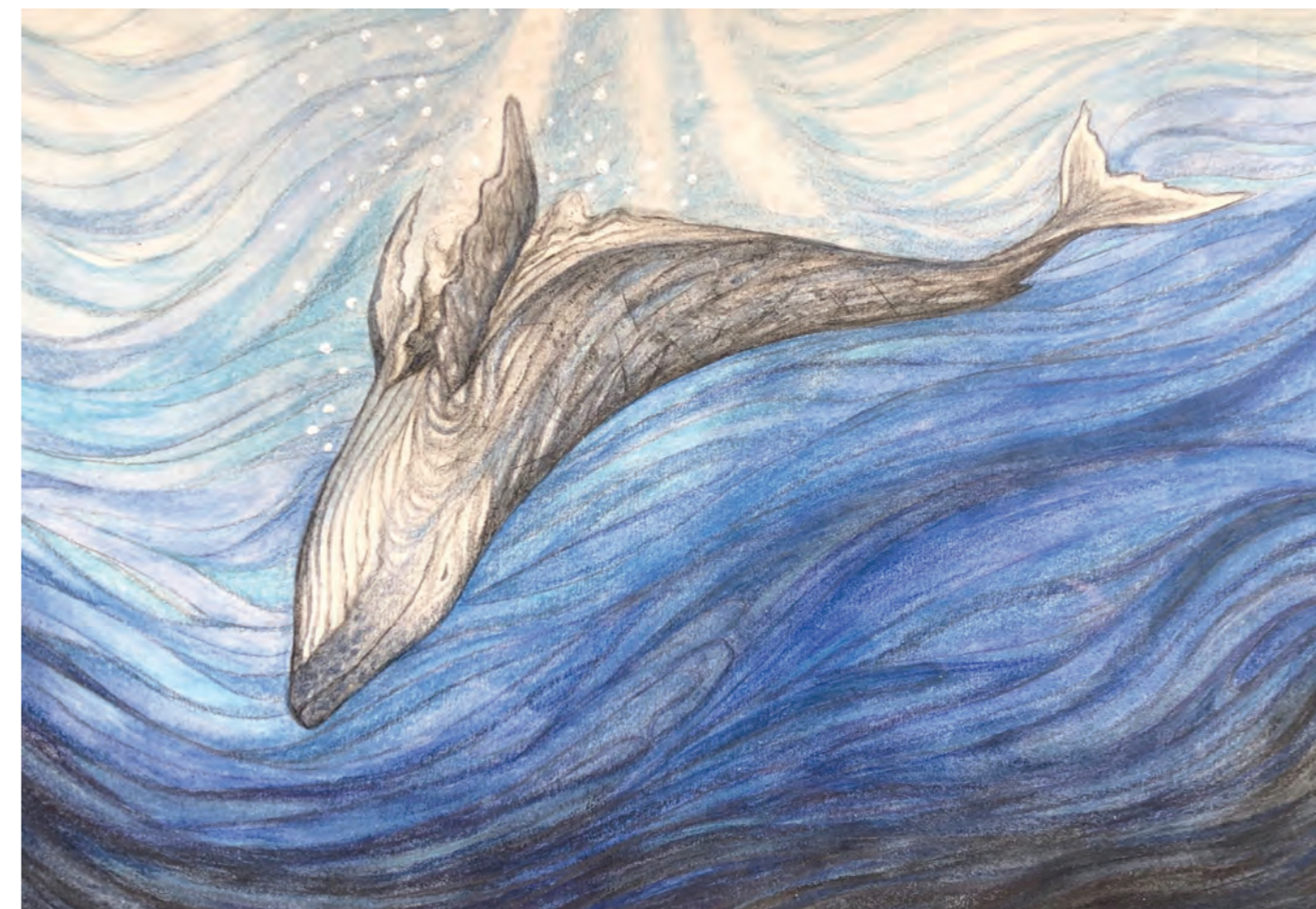
Det hender det snør her nede. Snø som aldri smelter. Marin snø. Ikke iskrystaller, men små flak av døde organismer fra vannlagene over. Det gir sårt tiltrengt næring til livet i dypet. En sjelden gang kommer det noe skikkelig digert dalende ned fra oven.

Et hvalfall.

Bare ordet er nok til å få det til å krible i hjernevindingene mine. For mitt indre blikk ser jeg for meg hvordan et enormt berg av kjøtt og spekk og bein synker sakte, majestetisk, nedover i vannmassene. Tonnevis med karbon, nitrogen, kalsium, fosfor, i livets siste dykk. Jeg vet ikke hvor lang tid det tar for en død blåhval å synke ned til sin siste hvile, men fra den lander der nede og til alle spor etter den er borte, snakker vi årtier.

Det er begrenset med mat på havbunnen på tusen meters dyp, og store avstander i tid og rom mellom mulige måltider. Et hvalfall i dyphavet er som en overdådig hotellbuffé midt i en øde ørken – en rik kilde til næring som innbyggerne her nede vet å utnytte. Hvalen blir en hotspot for et underlig og delvis ukjent mangfold av arter.

JORDA SOM SYSTEM



Et hvalfall der en død hval synker ned mot havbunnen. Illustrasjon: Tuva Sverdrup-Thygeson

Zombieormens snodige sexliv

La oss bare kjapt kikke på én av de rare typene du kan finne på hvalskrotten. Beinormene, eller zombieormer, som de også kalles om vi oversetter det engelske navnet (de har ikke noe offisielt norsk navn), er en leddorm, altså en fjern slektning av dyr som meitemark og igler. Men slektslikheten er ikke akkurat slående: Beinormen minner mest om en plante, med en rotlignende struktur i den ene enden og fargerike, svaie fjær i den andre. Den spiser bein, men har ikke tenner – ikke engang en munn. I stedet skiller «roten» ut syre som løser opp beinstrukturer slik at næring frigjøres, i tett samarbeid med innlosjerte bakterier. «Fjærene» i mot-

satt ende fungerer som gjeller. Etter at denne slekta ble oppdaget så nylig som i 2002, har det vist seg å være mange arter, spredt over alle verdenshav. Dette har fått noen forskere til å lure på om beinormene kanskje også spiser andre ting enn hvalbein.

Beinormer har et rimelig spesielt kjønnsliv. Hunnene er større enn hannene – så mye større at det for oss mennesker ville tilsvart at min husband ville fått plass i en teskje. Og fordi det er øde og ensomt der nede i dyphavet, og vanskelig å finne hverandre, gjør beinormene det enkelt: Dverghannene bor like godt inne i hunnen. Ikke bare én, men et helt harem av dem.

JORDA SOM SYSTEM



Knølhvaler bidrar til å pumpe næring til de delene av havet der det trengs mer. Foto: Rush4 / pixabay.com

Og siden vi nå er inne på størrelse og kjønnsforskjeller: Også hos blåhval er hunnen størst. Siden blåhvalen er det største dyret som noensinne har levd, betyr det at klodens største dyreindivid noensinne må ha vært et hunnindivid – ei dundre av en blåvaldame.

Hvalenes transportbånd

Selv om en død hval er en bra ting for næringskretsløpet i havet, er en levende hval enda bedre. For de store hvalene driver et pumpe-system som flytter næring både horisontalt og vertikalt gjennom havet – gjennom å spise på andre steder enn der de kvitter seg med avfallsstoffer eller dør. Slik bringer de næring til steder der næring trengs, med store ringvirkninger for annet liv.

Forskerne har sett på hvordan de store hvalene, som knølhval, spermhval og blåhval, bidrar til å pumpe næring til de delene av havet der det trengs mer. Disse hvalene dykker dypt i havet for å hente føde av ulike slag – fisk, blekksprut eller krill. Så svømmer de opp til overflaten for å puste. Her slippes også avføringen ut, og den flyter. Slik frakter hvalen næringsstoffer og mineraler (som nitrogen eller jern) opp til overflatevannet. I noen havområder, som i Sørishavet, begrenses planteplanktonets vekst nettopp av tilgangen på jern. Spermhval-avføring har en jernkonsentrasjon minst ti millioner ganger høyere enn vannet. Hvalens tilstedeværelse gir økt planteplankton-vekst, som igjen betyr mer fotosyntese og mer CO₂ fanget fra atmosfæren – karbon som gjerne daler ned på

JORDA SOM SYSTEM

havdypet som marin snø når det korte planktonlivet er over. Et forsiktig estimat fra Sørishavet antyder at spermhvalen der sender flere hundre tusen tonn karbon ut av systemet og ned til lagring på havets dyp, hvert år.

I tillegg legger mange av de store hvalene ut på lange vandringer, blant de mest imponerende årlige migrasjoner vi kjenner til blant pattedyra. Knølhvalen, for eksempel, beiter i kaldt, næringsrikt vann på høye breddegrader, men forflytter seg til varmere, typisk mindre næringsrike havområder nærmere ekvator for å kalve. Som oftest spiser ikke hvalene mens de er i kalvingsområdene, de bare tærer på fett. Men tisse må de, og urinen de slipper ut, er rik på nitrogen, som ofte er mangelvare i disse farvannene (og det monner når du er stor – en islandsk forsker anslår at en gjennomsnittlig finnhval tisser 974 liter i døgnet ...) Slik blir hvalenes langturer en del av et transportbånd for næring, fra rike hav til næringsfattige havområder.

Næring fra hav til land

Næringen flytter seg også videre, opp på land og til ferskvann, gjennom laksefisk som går opp i elvene og dør der, og ikke minst, med sjøfugl som henter mat i havet og skiter på land (faktisk er skiten fra pingvinkolonier synlig på satellittfoto og brukes til å spore dem). Det er fristende å bruke ordet skitviktig om denne næringstransporten. For vi snakker om enorme volumer: Hvert år flytter sjøfugl 3,8 millioner tonn nitrogen og 0,6 millioner tonn fosfor inn på land. Dette utgjør en vesentlig næringskilde for landlivet.

I førhistorisk tid fløt store mengder av næringsstoffer i en transportlinje fra dyphav til overflaten, fra hav til land, og fra kystområder til innlandet. I dag er denne flyten forstyrret. Selv om noen hvalpopulasjoner nå er på vei opp, er de fremdeles langt under nivået de var på før vi startet å jakte på dem. Selv om transportbåndet fremdeles går, fraktes bare en brøkdel av de tidligere næringsmengdene: Havpattedyras transport av fosfor fra dyphavet er redusert til en fjerdedel av tidligere, og frakten fra hav til land med sjøfugl og fisk som går opp i elvene, er redusert med hele 96 prosent, ifølge forskning.

Den aller største fisken noen noensinne hadde sett?

Det er ikke bare de store havpattedyrene som har gått tilbake. Også de største fiskeslagene har lidd samme skjebne. For over tretti år siden var jeg på Key West, USAs sørligste punkt. I tillegg til å be-



Størrelsen på seilfiskene har gått nedover. Foto: Kevin Phillips / pixabay.com

skue den berømte solnedgangen er Hemingways bolig noe av det jeg husker best fra turen. Med skrivemaskinen hans og alle de seks-tåete kattene – etterkommere etter Hemingways skipskatt med den finurlige lille genetiske defekten. Hemingway var glad i fisk også – eller rettere sagt: i å fiske dem. På et foto fra 1935 poserer han brunbarket og smilende med familien foran fire opphengte seilfisk nesten dobbelt så lange som ham selv.

På Key West har det lenge vært en tradisjon å ta troféfoto av dagens fangst. Om du finner fram disse historiske fotoene, og legger dem i kronologisk rekkefølge, vil du se et tydelig mønster: Selv om fiskeren smiler akkurat like bredt på de nyeste fotoene, fordi han tror han har fanget en kjempes fisk, så har trofé-fisken krympet. Fra 1956 til 2007 har dagens største fangst gått ned fra 92 cm til 42 cm, eller, i anslått vekt basert på lengde og art, fra 20 kilo til usle 2,3 kilo.

Men hadde du spurt ham som halte i land rekordfisken i 2007, ville han antagelig svart at hans fisk, ja, den var den aller største fisken noen noensinne hadde sett. Fordi vi lider av et slags kollektivt hukommelsestap.

JORDA SOM SYSTEM



Mengden laks i Columbia-elven i USA er i dag dobbelt så høy som i 1930 – men bare en tiendedel av det den var på 1800-tallet. Her fra laksefiske i elva ca. 1908. Foto: United States Geological Survey / Wikimedia Commons, offentlig eiendom

Endringsblindhet

Kan du beskrive noe du ikke husker? En tilstand i naturen du ikke har sett? Nepp. Og det er selve kjernen i det psykologiske fenomenet som handler om natur, og som kalles *shifting baseline*-syndromet – en glidende, endret referanseramme for naturens tilstand.

Vi kan kalle det endringsblindhet på norsk. Fenomenet beskriver hvordan vi over tid mister kunnskap om naturens «helsetilstand», fordi vi ikke oppfatter endringene som faktisk skjer. Vårt korte liv og begrensede hukommelse gir oss feil inntrykk av hvor gjennomgripende verden har blitt endret av vår aktivitet, fordi referanserammen vår flytter seg for hver generasjon. Iblant også i løpet av en generasjon. Som når du tror at du sikkert husker feil når du tenker tilbake på hvor mye torsk du kunne fiske i Skagerrak som unngutt. Gradvis senker du din forventning til naturen du har rundt deg.

Det var en kanadisk marinbiolog som først brukte begrepet endringsblindhet. Daniel Pauly forsket på hvordan vi først fisket opp

de store rovfiskene, for så, når de ble for få til at fisket var lønnsomt, å flytte innsatsen stadig nedover i næringskjeden. I tillegg gjorde han en viktig observasjon: Han så hvordan både fiskere og marinbiologer oppfattet arter og antall slik de husket det fra tidlig i karrieren, som en upåvirket referansetilstand, som de så målte nye endringer opp imot. Slik godtok de stadig mer ødelagte økosystemer som naturens normale tilstand. Dette er endringsblindhet: Et slags felles hukommelsestap når det gjelder naturens tilstand, fra én generasjon til den neste.

La oss ta et annet eksempel, fra en fisk som flytter seg mellom hav og ferskvann. Mengden laks i Columbia-elva i USA er i dag dobbelt så høy som i 1930. Det høres jo flott ut – dersom 1930 er referanserammen din. Men i 1930 var mengden laks i denne elva bare en tidel av mengden slik den var på 1800-tallet. Den referanserammen gir et helt annet bilde av de langsiktige endringene som har skjedd, og dermed også et annet grunnlag for å forstå effekten av endringen.

Det er alvor nå

Endringsblindhet er ikke en sentimental romantisering av at «alt var bedre før». Endringsblindhet handler heller ikke om en naiv tanke om at vi skal tilbake til naturtilstanden, at vi skal leve som steinaldermennesker i en stor og vill natur. Bevissthet rundt endringsblindhet handler snarere om å ha riktig utgangspunkt for regnestykkene når vi skal gjøre opp status, bruke riktig valutakurs når vi skal vurdere hvor klodens grenser går.

Menneskets ufattelige tilpasningsevne er en styrke, men også en svakhet. Vår kollektive glemsel gjør at vi ikke fatter hvor mye vi har endret naturen, fordi vi fortløpende venner oss til den nye normalen – enten det er færre insekter på frontruten, mangel på gamle og døde trær i skogen, krympa storfisk eller hyppigere ekstremvær.

Dermed blir det også mer krevende å få elever, folk flest, og politikere, til å innse alvoret og engasjere seg. I en tid da jordas økosystemer blir forringet i et stadig økende tempo, er vår endringsblindhet en stor utfordring.

Artikkelen er omarbeidet fra boka På naturens skuldre – hvordan ti millioner arter redder livet ditt (Kagge forlag, 2020). Her finner du også referansene. Se bokomtale side 67.



Foto: Francesco Ungaro / pexels.com

MENNESKETS ROLLE



MENNESKETS ROLLE

Uendelig endelig natur

Å høste av naturen har alltid vært den største selvfølge for oss. Naturen er jo så uendelig stor. Den virket i alle fall uendelig til vi fikk se den blå klinkekulen vår med sine fryktelig endelige grenser mot det sorte rommet.

Naturen var uendelig. Skogene var grenseløse og havene utømmelige. Klimaets pålitelige rytme sammen med menneskets stadige forbedringer og innovasjoner gjorde vår suksess mulig. Få tenkte på at våre handlinger kunne endre på disse store, evige systemene. Bærekraft var ikke i tankene.

Så sendte vi de første menneskene til verdensrommet. For første gang fikk vi se hjemmet vårt. En liten, blå kule i et virkelig uendelig, sort rom. Plutselig gikk vår verden fra å være grenseløs, til å få veldig tydelige grenser. Samtidig begynte bevisene å hope seg opp. Etter nesten 100 år med oppsamlede data var det ikke lenger mulig å snu seg vekk. Ting fikk for alvor fart da NASA-forskeren James Hansen i 1988 la frem sine funn for senatet i USA om klimaets utvikling og framtid¹. Dette kom samtidig som hetebølger og skogbranner herjet i landet. 1988 ble året som virkelig dyttet klimaendringene frem i lyset.²

Året før Hansen talte for senatet ble begrepet *bærekraftig utvikling* introdusert for første gang. Begrepet ble brukt i Brundtland-rapporten fra FNs kommisjon for miljø og utvikling³. Slik ble begrepet kjent for folk flest. Bærekraftig utvikling betyr at vi bruker ressursene slik at vi får dekket våre behov, men samtidig uten at det ødelegger for fremtidige generasjoners mulighet til å dekke sine behov.⁴ For eksempel er det ikke bærekraftig at vi jakter og fisker så mye vi måtte ønske. Det kan føre til at bestanden blir så liten at den dør ut, og derfor finnes det kvoter for hvor mye vi kan jakte og fiske. Vi kan altså ikke ta ut så mye vi vil fordi populasjoner har grenser for hvor mye uttak de tåler.



Jorda sett fra månen. Foto: NASA / Bill Anders

Biologisk mangfold gir bærekraft

En annen side av bærekraft er det biologiske mangfoldet. Et økosystem med et mangfold av arter er mer rustet til å motstå endringer og katastrofer enn et økosystem bestående av noen få organismer. Biologisk mangfold sikrer på den måten bærekraft i økosystemet.

Økosystemene er avhengig av mangfold fordi de består av kompliserte næringsnett. Et næringsnett er en oversikt vi mennesker har laget for å vise hvordan de forskjellige organismene interagerer i økosystemet⁵. Når man fjerner flere og flere arter, står dette næringsnettet i fare for å kollapse. Å miste en veldig sjelden bille vil man kanskje i det store og det hele ikke legge så mye merke til. Det er mest trist for den ivrige forskeren som har viet karrieren sin til akkurat den billen. At arter forsvinner og at nye kommer til, er dessuten en helt naturlig prosess. Når vi begynner å miste biller og andre dyr i hopetall, forbi denne «naturlige» andelen, kan det få alvorlige konsekvenser.

MENNESKETS ROLLE

Maten vår

Noen av de største årsakene til tapet av biologisk mangfold finner vi i jordbruket^{6,7}. Fragmentering og gjødsling er store problemer her. Fragmentering betyr at hjemmet til dyrene blir delt opp i flere små områder. Da blir det større avstander for å finne mat og mulige partnere, og mindre områder de kan bo på. Gjødsling fører (litt selvmotsigende) til et mindre biologisk mangfold. For mye næring gjør at hurtigvoksende og næringskrevende planter vokser frem først og utkonkurrerer de andre. Gjødselen kan også renne ut i havet og skape problemer der.

I jordbruket bruker vi også insektmidler og andre pestmidler for å unngå sykdom og bekjempe skadedyr. Pestmidler har absolutt sine fordeler i jordbruket, og vi bruker stadig mer. Problemet er at disse midlene ofte blir i naturen lenge før de blir brutt ned. Vi sier at de er *persistente*. Ekstra farlig er det hvis disse stoffene i tillegg kan fraktes langt vekk fra området de ble brukt. Da kan andre dyr som vi i utgangspunktet ikke ville bekjempe få i seg de uheldige stoffene.

Insektmidlenes virkning på de nyttige pollinatorene er mye diskutert. Vi ser en dramatisk nedgang i mengden av insekter (*biomasse*) og typer av insekter (*biomangfold*)⁸. Insektene utgjør en utrolig viktig del av næringsnettet, og kan sies å være selve ryggraden i mange systemer. Insektene er for eksempel mat for mange andre dyr og sørger for pollinering av planter. Nedgangen av insekter er derfor svært bekymringsverdig.

Overfiske er en annen utfordring man står ovenfor i dag.⁹ Havet er stort, og det er vanskelig å beregne kvoter. Det er dessuten ikke lett å få enighet rundt disse kvotene. Tunfisk er et eksempel på en type fisk der bestandene har stupt. Mange av de store fiskene, som er de viktigste for å vedlikeholde populasjonen, fiskes opp. Dessuten er interessen og den økonomiske gevinsten fra disse fiskene svært stor. Det er mange andre fiskearter som overfiskes. Slik trues bestander, økosystemer og på sikt levebrødet til de som fisker.

Vi må sette grenser for inngrepene våre

Vi har ikke vært så flinke til å planlegge langsiktig. Vi har behandlet naturen for hensynsløst og grenseløst. Kanskje er ikke dette så rart heller med tanke på at vi aldri har stått ovenfor de utfordringene vi gjør i dag. Forfedrene våre klarte ikke å utnytte naturen på den måten vi klarer. Men vi vet nå at den en gang så uendelige naturen absolutt er endelig. Vår generasjon er nok også den første som har



Insekter er viktige. Foto: Ronny Overhate / pixabay.com

hatt forutsetningene til å virkelig kunne forstå utfordringene. Vi er kanskje også de siste som kan ta grep for å reversere utviklingen.

Vi har eksempler på at ting ikke trenger å se så mørkt ut. Nylig kom David Attenborough med det han kaller sitt vitneutsagn, «*A Life On Our Planet*» (som for øvrig var god inspirasjon for denne artikkelen). Der kommer han med flere eksempler på tiltak som fungerer. For eksempel viser han frem tilfellet ved å lage «no-fish»-soner, som tillot fiskebestanden i Palau å hente seg inn igjen. Det ble til og med så mye fisk at det rant over til soner der det var lov å fiske. Det viser at naturen tar plassen tilbake. Hvis vi lar den.

Vi mennesker er en del av naturen, ikke naturens herskere. Naturen vil alltid bestå, men om vi kan trives i denne «nye» naturen er et annet spørsmål. Derfor må vi sette grenser for inngrepene våre og la naturen få tilbake noe av sitt endeløse preg.

Noter

- Hessen, Dag O. 2020 Verden på vippepunktet, hvor ille kan det bli? *Res Publica*.
- Revkin, A. (2018). Climate Change First Became News 30 Years Ago. Why Haven't We Fixed It? *National Geographic*.
- Reuter Dahl, A.-C. (2012). "Du har et valg, du har en sjanse". NRK. www.nationalgeographic.com/magazine/2018/07/embark-essay-climate-change-pollution-revkin
- Olerud, K. & Tjernshaugen, A. Bærekraftig utvikling. Store norske leksikon.
- Eide, H. Næringsnett. Store norske leksikon.
- WWF. 2018. *Living Planet Report - 2018: Aiming Higher*. Grooten, M. and Almond, R.E.A.(Eds). WWF, Gland, Switzerland.
- Sánchez-Bayo, F. & Wyckhuys, A.G. (2019) Worldwide decline of the entomofauna: A review of its drivers. *Biological Conservation*. 232, s. 8–27.
- United Nations. Montgomery, G. A., Dunn, R. R., Fox, R., Jongejans, E., Leather, S. R., Saunders, M. E., Shortall, C. R., Tingley, M. W., & Wagner, D. L. (2019) Is the insect apocalypse upon us? How to find out. *Biological Conservation*. 241.
- Ukjent forfatter. Overfiske, ulovlig og ødeleggende fiske. *Marine Stewardship Council*. www.msc.org/no/hva-vi-gjoer/havene-er-i-fare/overfiske-ulovlig-og-oedeleggende-fiske

MENNESKETS ROLLE



Bærekraftige valg på vegne av naturen

Den nye sykkelveien åpnes høytidelig. Endelig kan alle sykle trygt til skolen og både foreldre og lærere puster lettet ut. På den nye kunstgressbanen yrer det av liv og glede fra morgen til kveld. Hvilken betydning kan disse små arealendringene ha? Litt her og litt der – er det så farlig da? Nærmiljøet kan være en god arena hvor elevene får øve seg på å ta bærekraftige valg.

Før kunstgressbanen så dagens lys var det også et yrende liv her. I den gamle hundremeterskogen var det fuglesang, høye trær, lave busker, summende insekter og et eget univers nede i jorda under føttene våre. Da det ble gravd opp og drenert for sykkelveien, forsvant den gamle grøftkanten og de store seljetrærne. Her pleide barna å plukke gåsunger om våren og se på de store, glupske humledronningene som badet i gult pollen. Seljetrærne er viktige for humlene tidlig på våren når det ikke er så mye annen mat å finne. I årevis har FAU jobbet for at skoleveien skal bli tryggere. Nå er sykkelveien endelig vedtatt og bygget, og de fleste er fornøyde med resultatet. Vi trenger både sykkelveier og fotballbaner.

Det at hundremeterskogen ble erstattet med en kunstgressbane og grøftkanten med en ny sykkelvei, er eksempler på arealendringer som får konsekvenser for det biologiske mangfoldet som i utgangspunktet var der. Hvordan burde vi forholde oss til dette og er det egentlig så farlig med så små områder?

Elevene skal ta bærekraftige valg

I læreplanen står det: «Kunnskap om jorda som system og hvordan menneskene påvirker dette systemet, skal gi elevene grunnlag til å ta bærekraftige valg»¹. Problemstillinger knyttet til bærekraftig utvikling er komplekse, og ofte er det flere ulike interesser involvert når beslutninger skal tas. En bærekraftig utvikling bygger på forståelsen av sammenhengen mellom sosiale, økonomiske og miljømessige forhold, og alle disse tre perspektivene må vurderes når man skal ta en beslutning.

Arter forsvinner i rasende tempo, og naturen bygges ned bit for bit. Da Naturpanelets rapport om Naturens tilstand ble presentert i 2019, kom det tydelig frem at tapet av naturmangfold er enormt, og flere arter er truet av utryddelse nå enn noen gang i menneskets historie. På samme måte som FNs klimapanel, har det internasjonale Naturpanelet gått gjennom all tilgjengelig og relevant kunnskap og sammenfattet en status for naturens tilstand.

Den største trusselen mot biologisk mangfold er at vi bygger ned naturarealene hvor artene lever. Det er kanskje lett å tenke at de arealendringene som virkelig betyr noe, er store inngrep slik som for eksempel store vindparker i urørt natur eller veiprosjekter som pløyer opp små og store våtmarksområder eller annet som kommer på deres vei. Men bit for bit-nedbyggingen av små arealer vil i sum også utgjøre store tap av leveområder og reduksjon av det biologiske mangfoldet².



Foto: RitaE / pixabay.com

MENNESKETS ROLLE



Undervisning i skolens nærmiljø kan gi elevene et eierforhold til området. Foto: Mette Gulbrandsen

Hendelser i elevenes nærmiljø, som sykkelveien og kunstgressbanen, kan gi elevene mulighet til å bli engasjert i en sak som angår deres hverdag. Man kan for eksempel diskutere sammen med elevene argumenter for og imot sykkelveien. Uansett hva man lander på, er sykkelveien allerede der, til glede for mange.

Likevel finnes det muligheter for å la elevene undersøke området med et nytt blikk. Bør sykkelveien gjøres mer humlevennlig? Her kan elevene undersøke dette, og deretter være med på å iverksette tiltak. Kanskje ender de opp med en løsning med et bed langs hele veikanten. Der kan det plantes ulike humlevennlige planter som blomstrer gjennom hele sesongen. Eller viser kanskje kartleggingen at det faktisk ikke vil få så store negative konsekvenser at seljetrærne er borte, fordi det er en stor forekomst av seljetrær i umiddelbar nærhet som vil dekke humlenes behov likevel?

Situasjonen kan også være en fin mulighet å utfordre elevene til å delta i en diskusjon om hva vi mistet og hva vi fikk gjennom denne

sykkelveien. Temaer kan være både biologisk mangfold (miljø), mindre bilkjøring (miljø og økonomi) og frihetsfølelse og trygghet for elever og voksne (sosialt).

Bruk av skolens nærmiljø – et steg på veien for å kunne ta bærekraftige valg?

Ved å ta utgangspunkt i noe som er nært og som elevene kan relatere seg til, som hundremeterskogen, kan skolen kanskje bidra til at elevene på sikt utvikler en handlingskompetanse til å ta bærekraftige valg nå og i fremtiden. Det å lære om arter, næringskjeder, næringsnett og økosystemer er noe de fleste elever er innovert flere ganger i løpet av skoleløpet. For mange knyttes dette ofte til undervisning i skolens nærmiljø hvor de både kartlegger naturområdet og bruker det til lek og friluftsliv. Men dette alene gjør ikke elevene rustet til å ta bærekraftige valg³. Å ta i bruk skolens nærrområder på en måte som gjør at elevene blir knyttet til stedet og får et eierforhold til området kan være et utgangspunkt for senere å diskutere problemstillinger om bærekraftig utvikling.

MENNESKETS ROLLE



Nærmiljøet kan brukes til ulike undervisningsopplegg for ulike trinn. Foto: Mette Gulbrandsen

Miljøskogen

I et skogsområde rett ved Lusetjern skole hadde hele skolen startet opp felles med befaring og deretter ryddeuke. Skogsområdet kalte de for Miljøskogen og gjennom året ble området brukt til undervisningsopplegg på ulike trinn. 1. trinn observerte et tre over tid og oppdaget samtidig at en hakkespett hadde etablert seg i et gammelt tre som var tatt av lynet. 2. trinn jobbet med trær. 3. trinn benyttet skogen til både matematikk og norsk, med måling og Bukkene Bruse. 4. trinn fortsatte å fordype seg i avfall og gjenvinning. På 5. trinn jobbet de med litteratur og mat fra naturen, mens 6. trinn studerte blomsterplantenes oppbygging og kartla plantelivet i skogen.

I desember hadde alle klassene adventsstund i Miljøskogen. Hele prosjektet ble avsluttet med en utstilling på Holmlia bibliotek, hvor alle trinn presenterte sine arbeider. De samarbeidet med en rekke eksterne aktører som bidro med alt fra praktisk hjelp, kompetanse, inspirasjon, publisering og presentasjon. Det var blant annet Bymiljøetaten, en lokal gård, biblioteket, en lokal forfatter, nyttevekstforeningen, lokalavis og gjenbruksstasjonen.

Høsten etter ble det gjort store inngrep i Miljøskogen, da det ble etablert en stor kunstgressbane i den ene enden av skogholtet. Det

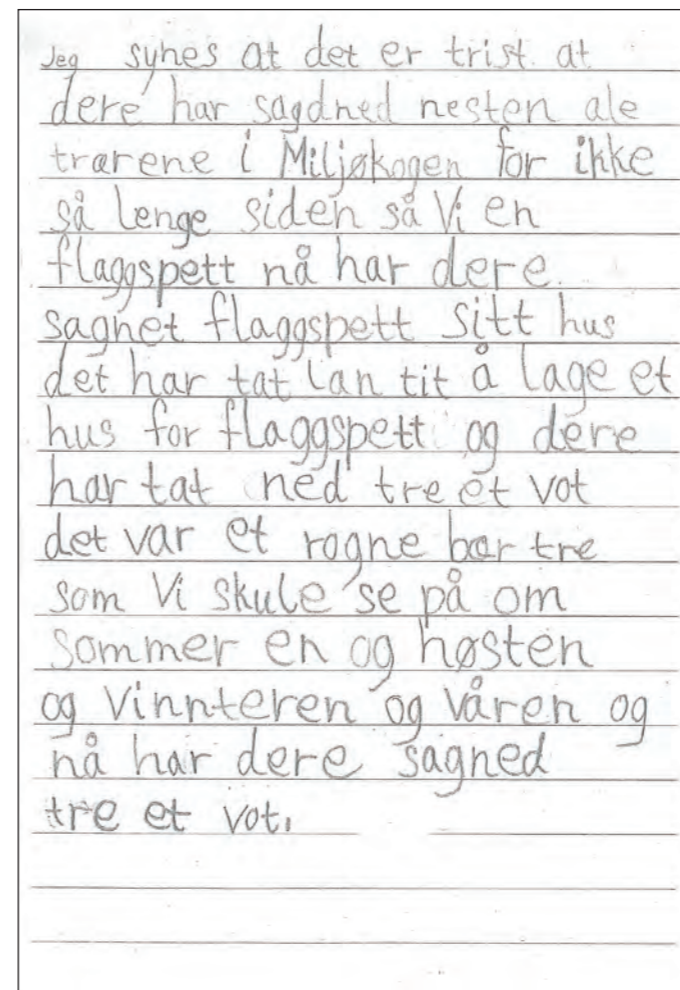
handler ofte om interessekonflikter. Kunstgressbanen som raserte skogen var også svært attraktiv for mange av elevene, selv om de mottok den med blanda følelser da de så hakkespettens tre bli meid ned. Også i dette eksempelet ble problemet klart for elevene først etter at inngrepet var gjennomført. Men Miljøskogen vekket sterke følelser, da elevene hadde et eierforhold til området som de følte stolthet og ansvar for. Derfor var det mulig for læreren å ta tak i situasjonen og la elevene diskutere saken. Elevene på 2. trinn valgte å skrive brev om hva de tenkte, se ett av brevene på neste side. I etterkant kan vi diskutere om kunstgressbanen burde blitt lagt akkurat der. Og om sykkelveien måtte være så bred. Hva vant vi og hva tapte vi? Og hvordan kan vi avgjøre det?

Det er ingen automatikk i at elevene blir engasjert i en sak fordi den er i skolens nærmiljø slik som kunstgressbanen og sykkelveien. Om de skal få mulighet til å vise sitt engasjement, er det også viktig at de får utforske saken å komme frem til ulike løsninger og kanskje ta en beslutning som de mener er best på bakgrunn av det de har funnet ut. Dette kan også bidra til at de opplever at de kan ta egne valg basert på det de har funnet ut og ikke må mene det de tror andre synes de bør mene. Ofte kan det være at elevene allerede er godt kjent med naturen i nærmiljøet fordi de har jobbet med både planter, insekter og dyr i området. Andre ganger kan det være behov for å starte en kartlegging av naturområde når det kommer opp en aktuell sak i skolens nærmiljø.

I Miljøskogen fikk alle elevene et eierforhold til området. De følte stolthet og ansvar og ble lagt merke til, Miljøskogen ble et begrep i lokalmiljøet. Opplevelsen med raseringen av Miljøskogen satte spor. Eleven som skrev brevet på neste side, beskriver tre år senere tankene sine på denne måten: «Jeg husker at jeg bestemte meg for at jeg aldri skulle gå inn på den fotballbanen, så måtte jeg det til slutt for vi skulle ha gym der.»

Vi skal ikke si nei til alle forslag som innebærer å bygge ned eller endre naturområder, og elevene skal ikke ha dårlig samvittighet når de løper ut på kunstgressbanen for å spille og leke eller når de suser i full fart nedover sykkelveien. Likevel kan slike saker være en måte å engasjere elevene på, slik at de blir bevisste på konsekvensene av endringene som skjer rett foran nesa på oss i rasende tempo. Ved å gi elevene mulighet til å utforske og øve seg på slike komplekse saker og vurdere dem ut fra bærekraftig utvikling, vil de kunne bruke erfaringene og kompetansen til å se nye saker i lys

MENNESKETS ROLLE



En elev på 7 år har skrevet brev om Miljøskogen.

av både den miljømessige, sosiale og økonomiske siden av bærekraftig utvikling og ha mot og vilje til å handle på bakgrunn av det de har tilegnet seg.

Anne Sverdrup-Thygeson (se side 38) snakker om endringsblindhet og hvor utfordrende det er når jordas økosystemer blir forringet i et stadig økende tempo. Naturen trenger handlekraftige unge og voksne som kan og vil vurdere saker grundig ut fra ulike perspektiver slik at det kan tas bærekraftige valg når det skal besluttes om naturarealer, store som små, bør endres eller ikke.



Grøftkant med blomster. Foto: Eldri Scheie

Noter

- 1 Utdanningsdirektoratet (2020). Læreplan i naturfag. www.udir.no/lk20/nato1-04
- 2 Naturpanelet (2019). Naturpanelets første hovedrapport. IPBES Global assessment of biodiversity and ecosystem services. www.ipbes.net
- 3 Kvammen, P. I. & Munkebye, E. (2018). Artskunnskap som introduksjon til naturfag i grunnskolelærerutdanningen. Nordina 14 (4)

Lusetjern skole deltok i nettverket i Den naturlige skolesekken i perioden 2009–2014 og utviklet undervisning for bærekraftig utvikling for skolens elever i denne perioden. Les mer på natursekken.no/luetjern



MENNESKETS ROLLE

Biologiske mangfold og fremmede arter – hva, hvordan og hvorfor?

– Oi, her var det mange lupiner! Det må være minst hundre, sier Frida. – Ta bilde, tegn inn på kartet hvor vi er og la oss estimere hvor mange som er her, svarer Sabima.

«Frida» og «Sabima» går på 5. trinn på en skole i Asker som våren 2018 var med å prøve ut undervisningsopplegget *Bærekraftig naturmangfold*¹ som er utviklet av Naturfagsenteret i samarbeid med Matematikksenteret, Artsdatabanken og Miljølære. Tilbakemeldingen fra lærere og elever under utprøvingen har vært med å forme og kvalitetssikre det undervisningsopplegget som nå ligger på naturfag.no/naturmangfold.

Gjennom undervisningsopplegget får elevene mulighet til å utøve handlingskompetanse for å forvalte naturmangfoldet ved å hjelpe kommunen med å kartlegge fremmede arter i skolens nærmiljø. Gjennom undervisningen jobber elevene både inne i klasserommet og ute i nærmiljøet. De lærer om hva fremmede arter er, hva vi mener med biologisk mangfold og hvorfor fremmede arter kan være en risiko for det biologiske mangfoldet. I en av uteøktene skal de finne og dokumentere utbredelsen av fremmede arter i nærmiljøet, gjennom å estimere antallet, en metode de har lært i inneøkten før.

Men hva er en fremmed art?

En fremmed art er en art som er spredt ved hjelp av menneskelig aktivitet til områder der den ikke naturlig hører hjemme. I Norge risikovurderes fremmede arter av tolv ekspertkomiteer oppnevnt av Artsdatabanken, bestående av personer fra universiteter og forskningsinstitusjoner. Risikokategorien bestemmes av artens økologiske effekt og hvilket potensial den har til spredning og etablering (invasjonspotensial). Resultatet fra risikovurderingen finnes

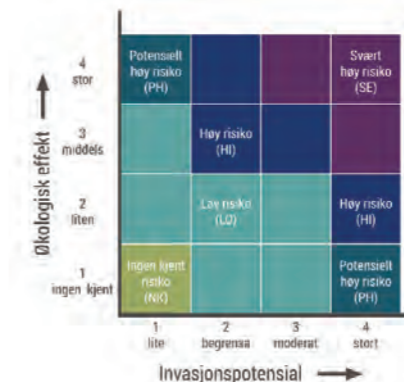


Fremmede arter, som lupiner, er en av de største truslene mot biologisk mangfold. Foto: PowerLee / pixabay.com

MENNESKETS ROLLE

Økologisk effekt vurderes ut fra effekter på:

- truede arter/nøkkelarter
 - øvrige stedegne arter
 - truede/sjeldne naturtyper
 - øvrige naturtyper
- overføring av:
- genetisk materiale
 - parasitter eller patogener



Invasjonspotensial vurderes ut fra

- levedyktighet
- ekspansjonshastighet
- kolonisering av naturtype

på Fremmedartslista 2018². Her kan du se hvilken økologisk risiko en fremmed art kan utgjøre for naturmangfoldet i Norge.

En av de 127 fremmede artene (for Fastlands-Norge med havområder) i kategorien *svært høy risiko for naturmangfoldet* som mange kjenner til er hagelupinen. Hagelupinen kommer fra vestlige deler av Nord-Amerika og ble introdusert til Europa i 1826 og til Norge i 1913³. I dag er det gjort funn stort sett over hele landet. Hagelupinen er også en av de eksempelartene elevene blir kjent med i undervisningsopplegget for å forstå problemet med noen fremmede arter. Årsaken til at hagelupiner er et problem, er at den har et stort invasjonspotensial og store negative økologiske effekter knyttet til nitrogenfiksering/eutrofiering (å gjøre jorden mer næringsrik) og fortregning. Noe av det elevene i undervisningsopplegget kan lære seg, er for eksempel at hver blomst på hagelupinen blir til en belg med 4–10 frø og at frøene kan ligge i jorden i mer enn 50 år uten å miste spireevnen!

Men de lærer også at ikke alle fremmede arter har negativ påvirkning på andre arter og truer naturmangfoldet. Av de 1473 fremmede arter i Norge som er vurdert (av totalt 2700), har ca. 30 % ingen kjent risiko. Det er derimot viktig å ikke avskrive slike arter fra å kunne bli en risiko for naturmangfoldet i Norge dersom klimaet og naturen endrer seg.

Hvorfor bør elever lære om fremmede arter?

Spredning av fremmede arter er en av de fem største truslene mot biologisk mangfold⁴. Det er ulike måter vi mennesker sprer fremmede arter på, og det kan være både bevisst og ubevisst. For eksempel har omtrent 37 % av de fremmede artene kommet ut i na-

turen som forurensning av organisk materiale, noe som ofte skjer på grunn av dumping av hageavfall utenfor hagegjerdet.

Uansett om spredningen er bevisst eller ubevisst og hvordan det foregår, er det viktig at flere blir bevisste om spredningen og konsekvensene, for å øke sjansene for å stoppe eller redusere spredningen og dermed bidra til å bevare det biologiske mangfoldet. Å jobbe med fremmede arter i undervisningen er en måte å spre kunnskap og bevisstgjøring på.

Bør fremmede arter bekjempes eller bør de noen ganger være velkomne?

I undervisningsopplegget *Bærekraftig naturmangfold* skal ikke elevene fjerne eller bekjempe fremmede arter, men oppdraget deres er å komme med forslag til tiltak som de sender til sin kommune.

Undervisning i naturfag skal blant annet bidra til at elevene får naturopplevelser og et faglig grunnlag for å verne om naturressurser, bevare biologisk mangfold og bidra til en bærekraftig utvikling.⁵ I undervisningsopplegget lærer elevene å reflektere rundt de tre dimensjonene som ligger i bærekraftig utvikling: sosiale forhold, miljø og økonomi⁶. De blir for eksempel kjent med at kongekrabben både har betydelige negative effekter på bunnøkosystemene, men at den også er en verdifull ressurs for kystnært fiskeri i Øst-Finnmark⁷. Kongekrabben er et eksempel på at fremmede arter forvaltes og bekjempes på ulike måter. Om en art skal bekjempes og hvordan den skal bekjempes avhenger av mange ulike faktorer så som: hvordan de påvirker miljøet rundt seg, hvilken verdi de har for samfunnet, om de er giftige og hvordan de sprer seg. I til-

MENNESKETS ROLLE



Kongekrabbe er en fremmed art i Norge som forvaltes ulikt i ulike områder. Foto: David Mark / pixabay.com



I Øst-Finnmark er kongekrabben en verdifull ressurs for fiskere i kystnære områder. Foto: Willfried Wende / pixabay.com

legg spiller geografien og klimaet en stor rolle for om en fremmed art trives og dermed utgjør en risiko.

Så selv om det er Miljødirektoratet som har ansvar for å forvalte forskrift om fremmede arter, er det kommunen som har ansvaret for forvaltningen av fremmede arter fordi de har lokalkunnskap om nærmiljøet. Derfor er elevene med å bidra med kunnskap som er viktig for å forvalte naturmangfoldet i eget nærmiljø, når elevene skriver brev til kommunen i undervisningsopplegget.

Å verne om naturressurser, bevare biologisk mangfold og bidra til en bærekraftig utvikling handler derfor ikke nødvendigvis om å bekjempe fremmede arter, men å finne tiltak som bygger på forståelse av sammenhengen mellom sosiale, økonomiske og miljømessige forhold. For å få denne forståelsen og finne løsninger trenger elevene å opparbeide seg kompetanser gjennom å se og jobbe med problemstillingen fra ulike fagfelt⁸. I undervisningsopplegget *Bærekraftig naturmangfold* er det ulike aktiviteter som gjør at elevene får mulighet til å nå kompetansemål fra både matematikk og naturfag, men mange lærere vil kanskje også se at de får kompetanse i både norsk (muntlig og skriftlig), kroppøving (ferdsel i naturen) og kanskje kunst og håndverk (tegning). Undervisningsopplegget kan dermed være en mulighet for å gjennomføre tverrfaglig under-

visning som legger til rette for at elevene utvikler handlingskompetanse innen bærekraftig utvikling.

Noter

- 1 naturfag.no/naturmangfold
- 2 artsdatabanken.no/fremmedartslista2018
- 3 www2.artsdatabanken.no/faktaark/Faktaark241.pdf
- 4 NOU 2009:16 Globale miljøutfordringer – norsk politikk. Hvordan bærekraftig utvikling og klima bedre kan ivaretas i offentlige beslutningsprosesser
- 5 udir.no/lk20/overordnet-del/prinsipper-for-laring-utvikling-og-danning/tverrfaglige-temaer/2.5.3-barekraftig-utvikling
- 6 www.naturesekken.no/artikkel/vis.html?tid=2102114
- 7 hi.no/hi/temasider/arter/kongekrabbe
- 8 udir.no/lk20/overordnet-del/prinsipper-for-laring-utvikling-og-danning/tverrfaglige-temaer

Bærekraftig naturmangfold

Undervisningsopplegg for 5.–7. trinn der elevene får brev fra en naturforvalter i kommunen med spørsmål om de kan hjelpe til med å samle inn informasjon om forskjellige fremmede arter.

naturfag.no/naturmangfold





MENNESKETS ROLLE

Tradisjonell kunnskap som del av undervisningen i naturfag

Samers tradisjonelle kunnskap er en form for kunnskap som har blitt overført muntlig og gjennom praktisk arbeid fra generasjon til generasjon. I denne artikkelen kan du lese om hva tradisjonell kunnskap er og få noen eksempler som kan brukes i undervisning.

Hva er tradisjonell kunnskap?

Tradisjonell kunnskap er en form for kunnskap som er innbakt i språk, arbeidsmåter, erfaringer, skikker og fortellinger. Den er ofte ikke skrevet ned, men har blitt overført fra generasjon til generasjon muntlig og gjennom arbeid. Begreper som lokal kunnskap, urfolkskunnskap og tradisjonell økologisk kunnskap brukes ofte på omtrent samme måte.¹

Tradisjonell kunnskap skiller seg fra vitenskapelig kunnskap på flere måter, men det er også noen fellestrekk. I likhet med vitenskapelig kunnskap utvikles tradisjonell kunnskap hele tiden. Selv om kunnskapen har blitt til gjennom generasjoner, er den ikke statisk. Nye generasjoner gjør seg nye erfaringer, og kunnskapen endres i takt med naturen og samfunnet. Et viktig kjennetegn er at kunnskapen er bundet til et bestemt sted. Siden den er basert på observasjoner gjennom flere generasjoner, kan den tradisjonelle kunnskapen bidra med informasjon til forskning. Men observasjonene er som oftest ikke skrevet ned og kvantifisert, slik som i vitenskap. De er i stedet tolket og tatt opp i språk, skikker, arbeidsmåter og fortellinger.

Motsatt kan forskning, med bruk av teknologi og vitenskapelige metoder, gi kunnskap som man ikke kan få bare ved tradisjonelle metoder. I mange tilfeller kan tradisjonell kunnskap sammenfalle med vitenskapelig kunnskap, eller gi inspirasjon til å forske på noe, for eksempel medisinsk virkning av stoffer i planter. Det er

likevel ikke alltid at kunnskapen sammenfaller eller at den tradisjonelle kunnskapen passer inn i naturvitenskapelige rammer.

Internasjonalt er tradisjonell kunnskap inkludert i konvensjonen om biologisk mangfold. Den sier at urfolks og lokal kunnskap skal brukes der det er relevant for bevaring av det biologiske mangfoldet (artikkel 8j). I Norge er dette tatt med i Naturmangfoldlovens §8, som sier at offentlige beslutninger som berører naturmangfoldet, skal bygge på vitenskapelig kunnskap, og også «legge vekt på kunnskap som er basert på generasjoners erfaringer gjennom bruk av og samspill med naturen, herunder slik samisk bruk, og som kan bidra til bærekraftig bruk og vern av naturmangfoldet».

Lærdom om bærekraftig utvikling formidles gjennom språket og fortellinger

For samer har tradisjonell kunnskap en verdi i seg selv, fordi den er en stor del av språkene og kulturen. De samiske språkene er rike på ord for natur og dyr. Mange skikker er knyttet til det å lære respekt for naturen. For eksempel skal man «spørre om lov» når man skal overnatte ute i naturen. Det har ingen direkte virkning på naturen, men kan ses på som en måte å ha respekt for den. Ordet *bivdit* på samisk kan oversettes til de norske ordene å jakte, å fiske og å anmode eller be om noe. En jeger eller fisker er da en *bivdi*, en som anmoder om noe fra naturen.²

MENNESKETS ROLLE



Snø kan opptre i mange ulike former. Foto: Free-Photos / pixabay.com

De tre dimensjonene av bærekraftig utvikling er tett koblet sammen i denne måten å tenke på. Det er en økonomisk dimensjon i det å bruke naturen og høste av den – *ávkkástallan* på nordsamisk. Naturen gir ressurser, som fortsatt i dag anses som viktige økonomisk sett. Det er også en sosial dimensjon i tradisjonell kunnskap, ved at den bærer med seg språk, historie, kultur, integritet og identitet. Også miljødimensjonen er til stede, i forventninger om at ressursene skal vare til de neste generasjonene. Fortellinger blir gjerne brukt for å formidle forventningene. Det finnes for eksempel flere fortellinger om hva som skjer med den som krenker naturen. Blant annet får barn høre fortellingen om at alle skapninger har en *máddu*, en stammor, som er mye større enn skapningen det handler om. Stammoren oppsøker den som farer ille med skapningene på jorden. Dette har til hensikt å opprettholde dyrevelferd og nøysomhet.

Hvem er det som har tradisjonell kunnskap?

Det er selvsagt ikke kun samer som er bærere av tradisjonell kunnskap. I Norge har for eksempel bønder, fiskere og jegere mye av denne typen kunnskap. Seterdrift er et godt eksempel.³ Samer og andre urfolk nevnes likevel ofte i forbindelse med tradisjonell kunnskap. Dette kan skyldes at det i dag er en større anerkjennelse for urfolk enn før, og at urfolk gjerne har holdt kunnskapen i hevd. Selv om samene i Norge, Sverige, Finland og Russland lever moderne liv, er både språk og kultur fortsatt nært knyttet til naturbruk og primærnæringene.

Samer er spredt over et stort område, så den tradisjonelle kunnskapen vil være ulik fra plass til plass. I sjøsamiske områder er det mye kunnskap om fjordene og fiske. En forstudie gjort av Norsk institutt for naturforskning (NINA) ser på hvordan tradisjonell og lokal økologisk kunnskap kan brukes i forvaltning av laks.⁴

Videre gir jeg noen konkrete eksempler på tradisjonell kunnskap. Mye av det er felles kunnskap for mange samiske områder, og noe er spesifikt for Finnmarksvidda. Vi starter på sommeren i myra, fortsetter med slaktning på høsten og avslutter med snø og vinter.

Når torvmosen faller av, er du voksen

Som i andre deler av landet der det finnes myrer, har samer brukt myrer til bærplukking, slått og benyttet seg av torvmosens antiseptiske virkning. Ikke minst har samer i ulike områder bygget torvgammer, *darfegoahti*. Tue i en myr heter *balsa* på nordsamisk, og ordet har gitt opphav til det norske ordet palsmyr. Palsaene bygges opp på grunn av permafrost. De ble tidligere brukt som «kjøleskap» om sommeren for å oppbevare mat. Tørket torvmose har kvinner brukt som bind. Mosen ble også brukt som underlag i komser, der babyene lå, på grunn den gode oppsugingsevnen. Dersom ungdommer prøver å belære eldre, kan de den dag i dag få høre at de er *darfebahta* – «en som fortsatt har torvmosen hengende bakpå» – i stedet for at de ikke er tørr bak ørene.

MENNESKETS ROLLE



Bearbeiding av skinn er en lang prosess. Leggskinnen skrapes og behandles med barkavkok og oljer før det sys skaller av det. Foto: Kari Marlene Mulder

Man skal bruke alt fra dyret som slaktes

Til eget bruk er det fortsatt vanlig med tradisjonell slakting av rein. Før slakting må det avgjøres hvilket dyr som skal tas – alder, kjønn og pelsfarge – slik at flokken som blir igjen har en god sammensetning. Dyret slaktes slik at kjøttkvaliteten blir best mulig, samtidig som skinnen også skal kunne brukes. Det er nesten bare tarminnholdet som ikke brukes. Det lages blodpølser av tarmer, blod og fett. Ryggen og margbein blir gjerne kokt, og røyking og tørking brukes for å konservere og gi smak.

Skinn fra reinens legg kan brukes til å sy skaller, som er et vinterfottøy. Bare denne ene *duodji*-prosessen (samisk håndverk) krever mye kunnskap. Hårkvalitet og hårretning i skinnen og leggskinnen

er forskjellig, og dermed en indikator på hvor leggskinnen starter. Dette er en god hjelp for den som skal fjerne leggskinnene fra skinnen. Bearbeiding av leggskinn gjøres hjemme. Først skal bein fjernes fra skinnene, så skal skinnen rengjøres, tørkes, skrapes fri for hinner og deretter behandles med barkavkok og smøres med olje, før det er klart for å sy skaller av. Garving av både pelskinn og avhåret skinn med bark er en godt bevart tradisjon hos samer, og det er mye spennende kjemi i prosessene. Blant annet er det i barkavkok en gruppe stoffer som kalles for tanniner som virker garvende.⁵

Årsaken til at vinterfottøyet heter skaller, er fordi det tidligere var skalleskinnet fra reinens hode som ble brukt til å sy skaller av. Når

MENNESKETS ROLLE

på året dyret slaktes, vil bestemme om det kan sys skaller med tynn pels til å pynte seg med eller tykkhårede skaller for kalde dager. Det kan også lages tråd av senene til dyret, som man syr for eksempel skaller med. I tillegg brukes bein og gevir til *garraduodji* (hardsløyd). Kan noe av denne typen kunnskap og bruk av alle ressurser overføres til andre sammenhenger? Det kan være verdt å ta med seg til klasserommet i naturfag og andre fag.

Snøen kan gi kunnskap om klimaendringer

Klimaendringer skjer raskt i nordområdene, og reineiere merker godt endringene. Arktisk råd legger vekt på at tradisjonell kunnskap må brukes som kunnskapsgrunnlag til å tilpasse seg klimaendringer. Reindriftssamer observerer snø- og beiteforhold fra dag til dag, år etter år, og de har en detaljert terminologi for snø, føre- og beiteforhold for rein. Reindriftsamers kunnskap kan være viktig for å registrere virkninger av klimaendringer og ikke minst for å finne løsninger til hvordan reindrift og samfunn i nord kan tilpasse seg klimaendringene. En god del av de tradisjonelle ordene for snø samsvarer med internasjonale klassifiseringer basert på fysiske egenskaper som kornstørrelse, tetthet og hardhet.⁶ Andre ord forteller om hvordan snøen er påvirket av rein, mennesker og vær eller hvordan beiteforholdene for rein er. Her er noen eksempler på nordsamisk:

Ord på nordsamisk	Ord og/eller forklaring på norsk
Muohta	Snø
Seanjáš	Grov kornsnø
Šalka	Snø nedtrampet av rein
Čearga	Snø som er veldig hard etter at vinden har blåst
Geardni	Tynt islag på øvre del av snødekket
Njáhcú	Kram snø
Soavli	Snøslaps, sørpe

Nyttige nettsider

Samiske veivisere. Ulike levemåter og tradisjonell kunnskap. samiskeveivisere.no/kategori/levemater
Reaidu. Tradisjonell kunnskap. result.uit.no/reaidu/velkommen/naeringer/tradisjonell-kunnskap

Undervisningstips

1. Myrer har stor betydning for klima og biologisk mangfold, og det finnes også mye tradisjonell kunnskap knyttet til myrer. Ved å tørke torvmose og undersøke oppsugings-evnen, kan elevene lære både om tradisjonell bruk av torvmoser og økologisk betydning. La gjerne elevene planlegge undersøkelsen selv og på den måten øve på naturvitenskapelige praksiser og tenkemåter.

2. Under arbeid med årstidene kan dere finne ut hva de samiske navnene på månedene i kalenderen betyr. Sammen med de åtte årstider, viser månedsnavnene hvordan året deles inn etter natur og næring. April, cuonjánnu, betyr for eksempel skaremåneden, mens oktober, golggotmánnu, betyr måneden der reinoksene er utmattet etter brunsten. Året i Sápmi: www.samer.se/1029

3. Inkluder samiske interesser som en av flere interesser når elevene dine skal drøfte dilemmaer knyttet til bruk av naturressurser og biologisk mangfold, for eksempel i saker som angår utbygging av vindkraft, gruvedrift eller forvaltning av rovdyr.

4. Gjør egne observasjoner av snø. Hvis dere graver en snøprofil, kan dere bruke den som utgangspunkt for å snakke om vær og leveforhold for dyr på fjellet. Se aktivitet 17 i andre del i www.nina.no/fjellrevisekken. Dette kan kombineres med å snakke om den tradisjonelle kunnskapen om snø som ligger i samisk språk.

Noter

- Nordin-Jonsson, Å (red.). 2010. *Árbediehtu – samiskt kulturarv och traditionell kunnskap*. Sametinget, Kiruna og Centrum för biologisk mångfold, Uppsala.
- Joks, S. & Law, J. 2016: *Sámi Salmon, State Salmon: LEK, Technoscience and Care*. www.heterogeneities.net/publications/JoksLaw2016SamiSalmonScienceSalmon.pdf
- Klima- og miljødepartementet. Meld.St.14. Natur for livet. Norsk handlingsplan for naturmangfold.
- Rybråten, S. & Gomez-Baggethun, E. 2016. Lokal og tradisjonell økologisk kunnskap i forskning og forvaltning av laks. En forstudie. – NINA Rapport 1290.
- Rahme, L. 2014. Skinn – garvning och beredning med traditionella metoder. Lottas Garfveri AB, Sigtuna.
- Eira, I. M. G., Jaedicke, C., Magga, O. H., Maynard, N., Vikhamer-Schuler, D. & Mathiesen, S.D. 2012. Traditional Sámi snow terminology and physical snow classification - Two ways of knowing. *Cold Regions Science and Technology*, Volume 85, January 2013, s. 117–130.

MENNESKETS ROLLE



Foto: UJO

Jord som karbonsuger og klimaløsning

Mengden karbondioksid i atmosfæren øker. Hvordan kan vi ta denne gassen ut av atmosfæren igjen, som utslipp i revers? Blant alle de mulige løsningene for negative utslipp er bruken av matjord som karbonsuger en av de mest lovende, med mange positive bivirkninger for folk og økosystemer.

Det er ingen tvil om at klimaet er i endring. De siste somrene har varmerecordene stått i kø. Skogbrannene er større og kraftigere enn noe vi kan huske. Isbreene smelter på alle kontinenter, og varmekjære arter dukker opp i områder der vi aldri har truffet dem tidligere.

Selv om konsekvensene av for mye karbondioksid i atmosfæren har vært kjent i minst hundre år, har utslippene bare fortsatt å øke. Nå er vi like ved det punktet der vi ikke kan slippe ut et eneste tonn til før oppvarmingen blir uakseptabelt høy. I denne konteksten, har det dukket opp en ny type løsninger som kalles «negative utslipp». Ideen er å ta klimagassene ut av atmosfæren igjen. Det blir som utslipp i revers. Med slike løsninger er vi ikke på vei mot en uunngåelig katastrofe, bare en gigantisk teknisk utfordring. Men hvordan skal dette egentlig kunne foregå?

Jord som karbonlager

Jorda under føttene våre inneholder faktisk mer karbon enn atmosfæren og alle jordas levende planter til sammen. Karbon i jord finner vi i det som kalles organisk materiale, som omfatter både levende røtter og mikroorganismer og rester av døde dyr og planter. Dette igjen er bygget opp av organiske molekyler, der karbonatomer er knyttet sammen med oksygen, nitrogen, hydrogen og noen andre grunnstoffer ved hjelp av kjemiske bindinger.

Jord trenger karbon. Alle som har en kjøkkenhage, vet at organisk materiale i form av kompost er gull for grønnsakene. Mer karbon kan gjøre det lettere for planterøtter å trenge ned i jorda, og det kan gjøre jorda bedre i stand til å ta opp og holde på vann.

Jorda på planeten vår inneholder mindre karbon i dag enn den gjorde før. Karboninnholdet i verdens matjord har blitt halvert i løpet av bare et par generasjoner. Effektive, industrielle dyrkingsmetoder har gitt landbruket større avlinger, men utviklingen har gått på bekostning av det organiske materialet i jorda. Dette er en utvikling det går an å snu. Ved å utvikle landbruksmetoder som hjelper jorda med å ta til seg og holde på karbon, kan vi la matjorda vår bli en karbonsuger som renser atmosfæren og bremser klimaendringene.

Karbon inn og karbon ut

Jord er som en stor, levende organisme. Den puster inn karbondioksid når plantene tar det opp gjennom fotosyntesen og sender karbon videre ned i jorda gjennom røttene sine. Blant annet når nedbryterne i jorda spiser organisk materiale, puster jorda ut karbondioksid igjen.

Jo mer fotosyntese, desto mer karbondioksid kan jorda ta opp. Og jo fortere nedbrytningsprosessene foregår, desto mer karbondioksid slippes ut. Prosessene i jorda kan bidra til at det blir enten mer eller mindre karbondioksid i atmosfæren, avhengig av forholdet mellom innpust og utpust.

Tenk deg at du vil anlegge en kjøkkenhage i bakgården. I utgangspunktet inneholder jorda der lite organisk materiale. Du kan øke karbonopptaket ved å legge til rette for mer fotosyntese, for eksempel ved å plante tettere, ha grønne planter på jorda gjennom større deler av sesongen eller ved å sørge for at plantene hele tiden har akkurat så mye vann som de trenger. Du kan også tilføre jorda

MENNESKETS ROLLE



Jorda i en potetåker kan få økt innhold av karbon og dermed trekke karbon ut av lufta. Foto: meganelfordo / pixabay.com

organisk materiale i form av kompostert matavfall eller husdyrgjødsel. Dette vil få innholdet av organisk materiale i jorda til å øke, men det vil også føre til at det blir flere mikroorganismer i jorda. God tilgang på næringsstoffer, god lufting nedover i jorda, høy temperatur og mye liv i jorda vil gi høy aktivitet og en stor strøm av karbondioksid ut i atmosfæren igjen. Etter en stund vil det oppstå en ny likevekt, der jorda slipper ut like mye karbon som den tar til seg. Da øker ikke lenger karboninnholdet i jorda, men det har stabilisert seg på et høyere nivå enn det var tidligere.

Mange steder i verden har matjorda lavt innhold av karbon. Hvis karbontilførselen til slik jord øker, kan det ta tid før mengden med mikroorganismer har blitt stor nok til at det organiske materialet brytes ned like fort som det tilføres. Her kan det være store mulig-

heter for å øke det totale innholdet av karbon i jorda. I perioden mens karboninnholdet i jorda øker, vil denne prosessen bidra til å trekke karbon ut av lufta, slik at klimaendringene bremses.

Jordkarbon i en varmere verden

Jo varmere det er, desto fortere går biologiske prosesser. Det skyldes enkel kjemi. Alle kjemiske reaksjoner vil i utgangspunktet gå fortere når temperaturen stiger, og prosessene som foregår inne i hver enkelt celle i levende organismer, består av et komplisert sett av kjemiske reaksjoner.

Nedbrytningen av organisk materiale i jorda går også fortere ved høyere temperaturer, slik at et varmere klima vil gi mer tap av karbon fra jorda. Det igjen vil føre til mer karbon i atmosfæren, som

MENNESKETS ROLLE



Når permafrosten tiner, vil mer karbon frigjøres. Foto: Florence D. / pixabay.com

gir større drivhuseffekt, som gir høyere temperatur, som gir mer tap av karbon fra jorda og så videre. Denne selvforsterkende effekten gir grunn til bekymring for om vi virkelig klarer å bruke jordas karbonopptak til å kompensere for våre egne klimagassutslipp, og understreker hvor viktig det er at alle klimatiltak blir satt i gang så snart som mulig.

I de nordlige områdene kan karbonutslipp fra jorda virkelig få dramatiske konsekvenser når verden blir varmere. Her finner vi områder med permafrost, der de dypere lagene av bakken vanligvis holder seg frosne hele året, men flere steder er nå i ferd med å tine. Det er ikke bra, for i permafrosten er det frosset ned store mengder av døde planter og dyr, omtrent som i en fryseboks.

Alle som har åpnet en fryseboks etter noen dager med strøbrudd, kan forstå hva som skjer med restene av trær og mammuter når

permafrosten tiner. Da går bakterier og andre nedbrytere i gang med å bryte ned det organiske materialet. Når den opptinte permafrosten er gjennomvåt, vil mikroorganismene fort ta opp det lille oksygenet som er tilgjengelig, slik at karbonet frigjøres i form av metan. Dette gir mer drivhusgasser i atmosfæren, som øker den globale oppvarmingen, får mer permafrost til å tine, frigjør enda mer karbon, som får temperaturen til å stige og så videre. Det finnes kanskje like mye karbon lagret i permafrost som i all jorda på planeten. Om alt det skulle tine, ville vi virkelig være ille ute.

Den eneste muligheten vi har til å stoppe smeltingen av permafrost er å sørge for et lavest mulig innhold av klimagasser i atmosfæren. Når det gjelder karbon i matjord, kan vi gjøre mer. Vi er nødt til å utforme fremtidens jordbruk slik at mest mulig karbon tilføres jorda og blir værende der.

MENNESKETS ROLLE

Kull for klima

Kull er en versting i klimasammenheng. Av alle former for kraftproduksjon gir brenning av kull de høyeste klimagassutslippene. Det gjelder imidlertid bare fossilt kull, som består av karbon som har vært lagret under bakken i millioner av år.

Kull er rester av dyr og planter som er blitt omdannet slik at karbonet er blitt bundet sammen i store molekyler. Med fossilt kull har dette skjedd langt nede i jordskorpen, der det er høyt trykk og høy temperatur. Molekylstrukturen til kullet gjør det vanskelig for bakterier og andre mikroorganismer å bryte det ned. Derfor vil ikke kull råtne eller mugne når det blir liggende på bakken. Det er altså en svært stabil form for karbon.

Mennesker har brukt kull siden lenge før det ble vanlig å utvinne det fra fossile kilder. Kull er for eksempel helt nødvendig for å fremstille jern og andre metaller. I tidligere tider var det vanlig å produsere kullet selv fra organisk materiale, for eksempel fra trevirke. Derfor er rester av såkalte kullmiler vanlige i norske skoger, der vi kan se dem i dag som runde forsengkninger i landskapet. Vi vet at gropene i skogen ble brukt til kullproduksjon fordi de fortsatt inneholder rester av trekull som ble produsert for flere hundre år siden. Det forteller oss dessuten at også dette kullet er et stabilt materiale. Nå mener mange forskere at vi burde lagre karbon i form av kull. Hvis kullet produseres av planter som har fanget karbondioksid fra lufta og blandes i jord, vil det være en måte å tvinge karbonet ut av lufta og ned i jorda på, der det vil bli værende i lang tid fremover.

Kull i jord vil ikke bare være et klimatiltak. Det kan også bidra til å gjøre jorda bedre å dyrke i, blant annet fordi kull kan hjelpe til med å holde på næringsstoffer så de ikke renner vekk før de blir brukt av plantene. I deler av Amazonas har folk blandet trekull inn i matjorda gjennom flere generasjoner, og her finnes det nå tykke lag med karbonrik jord i områder der jordsmonnet ellers er skrint og karbonfattig.

For at organisk materiale skal bli til kull, må det forbrennes ved høy temperatur med lite tilførsel av oksygen. Dette er ikke en energikrevende prosess. Når ovnen først har kommet i gang, går forbrenningen av seg selv, akkurat som veden i peisen brenner av seg selv om du har gjort opptenningen riktig. I den varme ovnen blir det organiske materialet omdannet til forskjellige karbonholdige

stoffer. Noe forbrennes og blir til karbondioksid, og noe blir til flytende olje som kan brukes senere som biodrivstoff eller brensel. Opptil halvparten av karbonet blir liggende igjen som kull, som vanligvis går under navnet *biokull* når det produseres fra organisk materiale. Det skal være mulig å fange ni hundre tusen tonn karbondioksid årlig ved hjelp av denne metoden i Norge. Det er omtrent tjue prosent av de totale utslippene fra det norske jordbruket. På verdensbasis kan potensialet være omtrent én milliard tonn karbondioksid i året, men det gjenstår fortsatt mye forskning for å finne ut hvor godt biokull egner seg til jordforbedring i forskjellige typer jord og klima, og hvor lenge biokullet faktisk blir værende i jorda før det brytes ned.

Superplanter som binder karbon

Fotosyntesen er egentlig ikke spesielt effektiv. Faktisk er det sånn at mekanismen i plantecellene som tar seg av karbonfangsten, er forbløffende lite treffsikker. Problemet er et molekyl med navnet *rubisco*. Omtrent hver femte gang tar rubisco-molekylet feil og fanger opp et oksygenmolekyl istedenfor et molekyl av karbondioksid. Det får planten til å produsere et giftig stoff som den hele tiden må bruke en del av energien sin på å kvitte seg med.

Hvis forskere klarer å bruke genetiske verktøy til å gjøre fotosyntesen mer effektiv, kan de utvikle planter som bruker mer av sin tid og energi på å vokse. Da kan vi få planter som fanger mer karbon fra atmosfæren, og produserer mer mat, på samme areal og med den samme innsatsen vi legger inn i landbruket i dag.

Jo varmere det er, desto flere feil gjør rubisco-molekylet. Det er en av årsakene til at det er vanskeligere å dyrke mat når det er altfor varmt, og håpet er at genetisk modifiserte planter kan hjelpe til med å sikre matproduksjonen i et endret klima. Kanskje kan mer effektiv fotosyntese også gi større overføring av karbon til jorda plantene vokser i.

Forskere ved universitetet Urbana-Campaign i Illinois har klart å manipulere planter til å vokse omtrent førti prosent raskere ved å gi cellene deres en enklere måte å kvitte seg med giften på som lages når rubisco-molekylet tar feil. Resultatene gjelder foreløpig for tobakksplanter som vokser inne i et laboratorium, men nå tester forskerne de samme plantene ute, sammen med soya, ris, potet, tomat og aubergine som er endret på samme måte. Det vil ta minst ti år med testing for å få godkjenning til å bruke plantene kommersielt.

MENNESKETS ROLLE

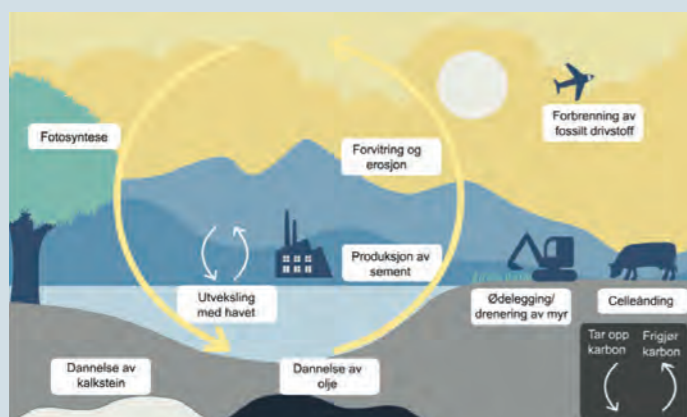
Siden levende planter overfører karbon til jorda gjennom røttene sine, kan en annen mulighet for økt karbonlagring være å utvikle planter som har røtter som går dypere ned i jorda. Dypt under jordoverflaten går nedbrytningen langsommere, og det er lite karbon til stede fra før, så her finnes det gode muligheter til å lagre mer karbon. Utviklingen av flerårige kornslag med dype røtter, som blant annet foregår ved The Land Institute i USA, kan gjøre det mulig å produsere korn samtidig som jorda tilføres karbon dypt nede og gjennom større deler av året.

Røtter inneholder i tillegg vanskelig nedbrytbare molekyler som *lignin* og *suberin*. Lignin er en av de viktigste byggeklossene i tømmer, sammen med cellulose, mens suberin er den viktigste bestanddelen i kork. Noen forskere mener at mer av slike molekyler kan få karbonet til å bli værende lenger i jorda. Ved Salk-instituttet i California, oppkalt etter oppfinneren av den første poliovaksinen, jobber forskere nå med å utvikle planter med dype, suberinrike røtter. Målet er å lage plantearter som kan gi mer karbonlagring i jordbruket. Dypere og mer massive røtter gjør også plantene bedre i stand til å tåle tørke fordi de kan hente vann fra langt nede i bakken, og til å tåle flom fordi de forbedrer strukturen i jorda. Derfor kan slike arter være en fordel for bønder også på kort sikt. Forskerne fokuserer på arter det brukes mye av i verden i dag, som soya og bomull, for å kunne få mest mulig karbonfangst globalt.

Bruken av genmodifiserte planter møter i dag mye politisk motstand og strenge reguleringer. Fordi teknologien er så ny, er det fortsatt mye vi ikke vet om mulige effekter på helse og miljø. Derfor jobber forskerne også med å få til de samme endringene ved hjelp av avl. Det kan ta lengre tid å utvikle de riktige plantene på denne måten, men kortere tid å få plantene ut på markedet, så kanskje er avl den mest effektive strategien likevel. I framtida vil kanskje kombinasjonen av et jordbruk under press på grunn av klimaendringene, og et stadig økende behov for å få karbon ut av atmosfæren, føre til at det åpnes mer opp for å innføre genmodifiserte planter i jordbruket.

Karbonlagring i jord er en lovende løsning for å rydde opp i atmosfæren, men dessverre ikke nok i seg selv. For å nå målene i Parisavtalen blir vi nødt til å ta i bruk alle deler av jordoverflaten: fjell, jord, hav, og vegetasjonen på land, som jeg beskriver nærmere i boka *Varm klode, kaldt hode*. Det viktigste er at gode løsninger tas i bruk med en gang. Når klimagassutslippene går drastisk nedover slik at den globale oppvarmingen går så langsomt som mulig, vil vi også være best mulig i stand til å jobbe på lag med livet i jorda og resten av økosystemene for å løse klimakrisen.

Artikkelen er et bearbeidet utdrag fra boka Varm klode, kaldt hode. Løsninger på klimakrisen (Kagge forlag, 2020). Se bokomtale side 66.



Undervisningsopplegg om karbon

I dette undervisningsopplegget for ungdomstrinnet er oppdraget til elevene å gi innspill om hvordan Norge skal møte klimautfordringene gjennom å stabilisere eller redusere mengden karbondioksid i atmosfæren. Elevene skal begrunne innspillene sine ut fra det raske og det langsomme kretsløpet til karbon.

naturfag.no/karbon

Illustrasjon: Wenche Erlie



Foto: Couleur / pixabay.com

Varm klode, kaldt hode

Løsninger på klimakrisen

Anja Røyne

Kagge forlag



Hvilke muligheter har vi til å unngå de mest katastrofale konsekvensene av klimaendringene?

Tida begynner å renne ut for å nå målet om å holde den globale oppvarmingen under to grader. Derfor er det viktigere enn noen gang at vi gjør de riktige valgene. Vår tids største problem krever store løsninger, som alle vil kreve mye av oss. Nå gjelder det å holde hodet kaldt og veie konsekvensene mot hverandre.

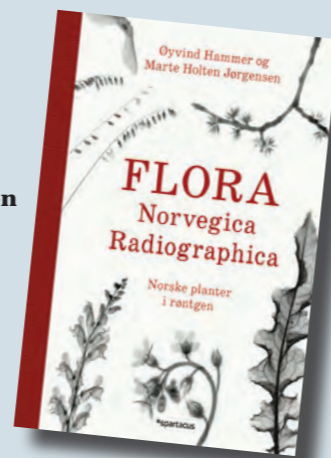
Brageprisvinnende fysiker, Anja Røyne, forteller hvordan vi kan rydde opp i klimarotet vårt ved å fjerne klimagasser fra atmosfæren, eller til og med å lage en global solskjerming for hele planeten. Muligheter som inntil nylig bare fantes som tankeeksperimenter og science fiction er i ferd med å bli realiteter. Hvor realistiske er egentlig disse løsningene, og hva vil de kreve av oss?

Flora norvegica radiographica

Norske planter i røntgen

Øyvind Hammer og
Marte Holten Jørgensen

Spartacus forlag



Naturen krymper, men fortsatt ligger landet vårt under et bølgende teppe av grønt om somrene. Selv vi som bor i byene er omringet av planter; overalt mellom asfalt og næringsbygg trenger de seg fram. Med denne boka vil vi vise norsk flora i et nytt lys, bokstavelig talt. Røntgenapparatet får oss til å se plantenes mangfold og skjøre skjønnhet på en annen måte. Vi har valgt ut 110 norske planter, de fleste av dem dagligdagse arter som løvetann og lønn, men noen er sjeldne og kan snart forsvinne fra norsk natur. Hver art er presentert med røntgenbilder og en historie om hvordan den lever eller hva den har betydd i medisin, folketro og litteratur.

Flora Norvegica Radiographica er det første forsøket på å presentere et helt lands planteliv i røntgen. Det er ikke en fagbok, men en feiring av plantene, en godtepose av bilder og tekst.

På naturens skuldre

Hvordan ti millioner arter redder livet ditt

Anne Sverdrup-Thygeson

Kagge forlag



Du og jeg er innvevd i naturens flettverk, mye tettere enn du tror. Millioner av arter gir oss mat, medisin og et levelig miljø, i tillegg til at naturen gir oss kunnskap og glede.

På engasjerende vis forteller Anne Sverdrup-Thygeson spennende og tankevekkende fortellinger om naturen. Forfatteren tar oss med ut i regnskogen, der orkidebiene lager parfyme og pollinerer nøttene du spiser i jula. Inn i den svale skyggen under bygatenes store trær, de som gjør at vi trenger mindre luftkjøling. Ned i skyttergravene der soldatene brukte selv-

lysende sopp som lykt i måneløse netter. Vi får lese om trær i gammelskogen som gir oss kreftmedisin og isfuglen som inspirerte konstruksjonen av lyntog. Men også om hvordan vår framferd kan sette alt dette i fare. For i vår evne til å utnytte naturen, ligger også risikoen for å undergrave vårt eget livsgrunnlag. Vi snakker i dag om en naturkrise, der arter trues og levesteder forsvinner – en krise like akutt og alvorlig som klimakrisen. Skal vi sikre vår egen framtid, må vi endre måten vi lever på. Vi må lære oss å spille på lag med naturen.

Verden på vippepunktet

Dag O. Hessen

Cappelen Damm



For 70 000 år siden fantes det en art, bestående av spredte bestander på noen hundre individer, som stort sett levde fredelig i et hjørne av Afrika. I dag teller arten 9 milliarder, og er i ferd med å forandre planeten fundamentalt. Arten det er snakk om er oss. Det vi gjør mot jorda registreres på en geologisk tidsskala, over hundretusenvis av år. Så omfattende er utslippene av klimagasser og reduksjonen av naturmangfoldet vi har stått for i løpet av et ørlite øyeblikk i klodens lange historie. Dag O. Hessen tar derfor bladet fra munnen. Med

utgangspunkt i forskning, ikke skremselspropaganda, viser han hvordan det står til med natur og klima – og hvor ille det kan gå. Det store risikomomentet er ulike tilbakekoblingsmekanismer som medfører at forandringene kan forsterkes. Samtidig er også den menneskelige kulturen i konstant endring. Kanskje står vi også her foran et vippepunkt i dag? Vil vi klare å snu utviklingen tidsnok til å avverge de verste scenariene? Denne boka er en kraftfull appell om at vi må gjøre mer – og at vi må gjøre det raskere.