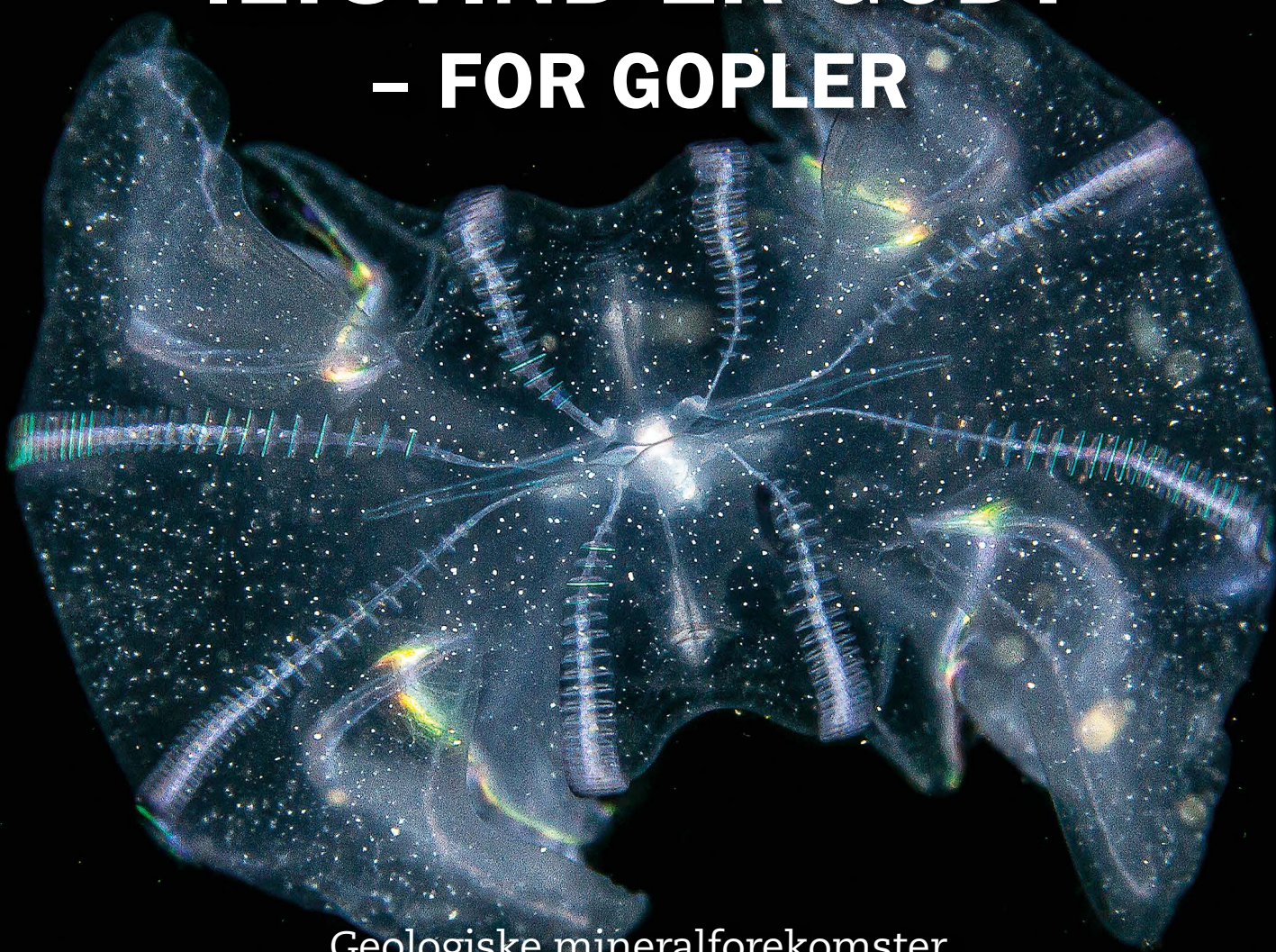


NATURVIDENSKAB OG TEKNOLOGI
DIREKTE FRA FORSKNINGSVERDENEN

AKTUEL *natur*VIDENSKAB

ILTSVIND ER GODT – FOR GOPLER



Geologiske mineralforekomster
og den grønne omstilling

Den neurobiologiske funktion af
søvn og drømme

De mest almindelige misforståelser
om evolution

NR.4 - 2024 SEPTEMBER 50 KR.

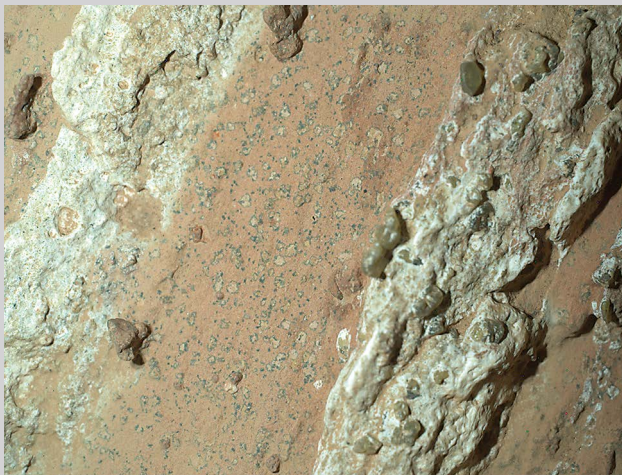


Foto: MSSS/JPL-Caltech/NASA

Mars-sten bærer mulige tegn på liv

Mars-roveren Perseverance har undersøgt en sten på Mars, der rummer flere tegn på, at der kan have været mikrobielt liv involveret. For det første rummer stenen organiske molekyler, der er byggeblokke i liv. Derudover er stenen gennemsåret af striber af calciumsulfat, som antyder at der har løbet vand igennem stenen. Og frem for alt har stenen nogle trefarvede "leopardpletter", der indeholder jern og fosfat. De kan være resultatet af en kemisk reaktion, der kunne have været en energikilde for mikroorganismer. Det skal dog siges, at alle de nævnte fænomener kan være fremkommet helt uden tilstedeværelsen af liv. Opdagelsen har i øvrigt en dansk vinkel, idet forskere ved DTU har udviklet det kamerasystem, som gør det muligt for Perseverance at operere med stor nøjagtighed i sådanne undersøgelser.

Kilde: Nasa samt DTU

Quizzen:

Hvad forstår man ved en magmatisk mineralforekomst?

1. En mineralforekomst, der er dannet ud fra smeltet stenmasse dybt nede i jorden
2. En mineralforekomst, der rummer mere end 100 millioner tons økonomisk interessante mineraler
3. En mineralforekomst, der primært rummer ædelmetaller som guld og platin

Læs svaret i artiklen side 24.

Livskraftig 200-årig

Selskabet for Naturlærens Udbredelse fejrer i år sit 200-års jubilæum. Det sker i Rundetaarn fra 17. august til 20. oktober med udstillingen Fra forsker til folk om forskningens betydning for vores hverdag, særlige skoleforløb for naturfagene og en række foredrag med talere fra videnskabens verden. Se programmet på rundetaarn.dk/event/snu/

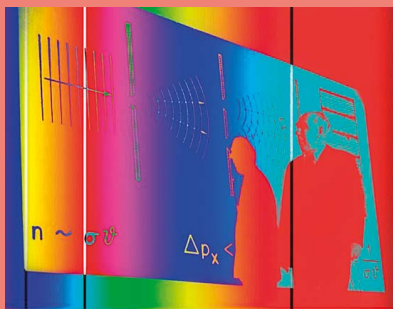


Foto: JAC Studios/Des Moines Register

Fra slagtilfælde til hjerteproblemer

Udover at beskadige hjernen kan slagtilfælde (også kaldet apopleksi eller stroke) også forårsage langvarige skader i andre dele af kroppen. For at finde ud af, hvordan det kan være, har Alba Simats fra Ludwig-Maximilians-Universität i München og hendes kolleger bestemt, hvilke gener der er aktive i immunceller hos mus i en måned efter et slagtilfælde. De fandt, at slagtilfælde forårsagede inflammation i flere organer – specielt i hjertet. Produktionen af et immunprotein kaldet IL-1 β blev kraftigt forøget efter et slagtilfælde. Dette protein ændrede markører på DNA af en type immunceller kaldet monocytter og "trænede" derved disse celler til at fremme inflammation. Monocytterne migrerede derefter til hjertet og beskadigede det. Forskerne kunne endvidere forebygge hjerteproblemer hos musene efter slagtilfælde ved hjælp af antistoffer, der neutraliserede IL-1 β eller et medikament, der forhindrede de trænede monocytter i at migrere til hjertet.

Kilde: Nature/Cell



Foto: Colourbox

Tiltrækkende sommerfugle

Dyr, især insekter, har en tendens til at akkumulere statisk elektricitet i naturen. Og derigennem kan de påvirke deres omgivelser. Nu har Sam J. England og Daniel Robert fra University of Bristol målt de elektrostatiske ladninger for en række forskellige arter af sommerfugle og sværmere. Sammen med computersimuleringer har de kunnet vise, at de elektrostatiske kræfter er stærke nok til, at insekterne potentielt kan tiltrække pollen helt uden fysisk at røre blomsterne. Dermed kan de være endnu mere effektive bestøvere end man hidtil har troet.

Kilde: J. R. Soc. Interface.2120240156

Ny metode til at nedbryde PFAS

Japanske forskere beskriver i tidsskriftet *Angewandte chemie* en ny metode, som kan nedbryde problematiske flourstoffer (perfluorerede og polyfluorerede alkylstoffer – PFAS) på under et døgn og ved temperaturer ikke meget højere end stuetemperatur (38 °C). PFAS benævnes ofte evighedskemikalier, fordi de er meget svære at nedbryde, og traditionelle metoder kræver temperaturer op til 400 °C. Forskernes nye metode udnytter en såkaldt fotokatalytisk reaktion, hvor lysfølsomme nanokrystaller af et halvledermateriale blandes med en opløsning af den organiske forbindelse triethanolamin. PFAS tilsættes derefter denne cocktail, som belyses med LED-lys. Dette aktiverer nanokrystallerne, som igen igangsætter kemiske reaktioner, der nedbryder de stærke bindinger mellem flour og carbon i kemikalierne.

Kilde: Ing.dk / Angewandte chemie. doi.org/10.1002/anie.202408687



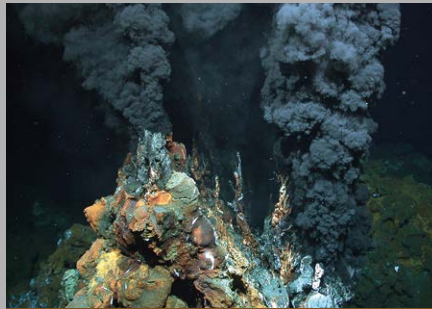
indhold



Iltsvind er godt – for gopler

Den invasive amerikanske ribbergøp (dræbergøp) trives ved lave ilt-niveauer, og det kan ændre dynamikken i vores marine økosystemer.

8



Mineralforekomster og den grønne omstilling

Behovet for råstoffer til brug i grønne teknologier kommer til at betyde mere minedrift i fremtiden. Her får du et overblik over, hvordan geologiske mineralforekomster dannes.

24



Den neurobiologiske funktion af søvn og drømme

Hvorfor har vi brug for søvn, og hvilken funktion har drømme egentlig? Artiklen giver et overblik over, hvad forskningen i dag kan fortælle os.

14



Almindelige misforståelser om evolution

Forståelse af evolutionære processer er en grundsten i den videnskabelige dannelse. Imidlertid trives misforståelser om evolution blandt elever på alle uddannelsesniveauer.

36

FORSKNING OG NYHEDER

- 4 KORT NYT
- 8 Iltsvind er godt – for gopler
- 14 Den neurobiologiske funktion af søvn og drømme
- 20 Forelskelsen
- 24 Geologiske mineralforekomster og den grønne omstilling
- 30 Solsystemets udvikling gemt i Grønlands sten
- 36 En guide til de mest almindelige misforståelser om evolution
- 40 Hip hurra for videnskabsformidling
- 44 BAGSIDEN: Forskerens fornemmelse for kridt

AKTUEL NATURVIDENSKAB

Udgiver

Aarhus Universitet, Faculty of Natural Sciences og Faculty of Technical Sciences, i samarbejde med:

- Det Natur- og Biovidenskabelige Fakultet, Københavns Universitet
- Det Naturvidenskabelige Fakultet, Syddansk Universitet
- Roskilde Universitet

Ansvarshavende

Poul Nissen, prodekan, Faculty of Natural Sciences, Aarhus Universitet.

Redaktion

Redaktører Carsten Rabæk Kjaer og Jørgen Dahlgaard
Tlf.: 3036 0660 / 3036 0662 / 8715 2094

E-post: red@aktuelnaturvidenskab.dk

Hjemmeside: aktuelnaturvidenskab.dk

SPONSOR- ABONNENTER



DET NATURVIDENSKABELIGE
FAKULTET



KØBENHAVNS
UNIVERSITET



Leoparden er presset af hyænen – på grund af os

Leoparden, som i forvejen er i væsentlig nedgang, taber konkurrencen til hyænen, når der er mennesker i nærheden. Det viser et studie af de to store rovdyr foretaget i det store naturområde Udzungwa i Tanzania, som er omringet af beboede områder.

»Vi mennesker bliver ved med at æde os ind på den smule vilde natur, der er tilbage i verden. Og når vi gør det, påvirker vi dyrelivet. Studiet her viser, at menneskelige forstyrrelser skubber til balancen imellem konkurrerende arter og giver hyæner en fordel,« siger postdoc Rasmus W. Havmøller fra Statens Naturhistoriske Museum. Da hyænerne er leopardernes eneste konkurrent i dette naturområde, er de to arters evne til at sameksistere vigtig for deres overlevelse. Og her er menneskers tilstedeværelse altså en væsentlig faktor:

»Lokalbefolkningen bryder sig bestemt ikke om leoparder, og derfor trækker leoparderne sig længst muligt væk fra mennesker. Hyæ-



Fotos fra kamerafælder i Udzungwa-nationalparken.
Fra venstre: hunleopard, hyæne og hanleopard.
Foto: Rasmus W. Havmøller

nerne drager derimod nytte af, at mennesker ikke føler sig truet af dem og ikke forfølger dem. Derfor lever hyænerne tæt op ad de menneskelige beboelser og udnytter måske endda mennesker som skjold mod leoparderne,« fortæller Rasmus W. Havmøller.

Og fordi områderne tæt på mennesker også er de områder med flest byttedyr, øger det hyænernes mulighed for at udkonkurrere leoparderne og truer potentielt leopardens tilpasningssevne.

Studiet viser, at hunleoparderne ændrer markant adfærd, hvis der er hyæner i området.

»Så bliver de dagsaktive, hvor hyænerne primært er nataktive. Det skyldes formentlig, at hunleoparderne er mindre i kropsstørrelse end hyænerne og med al sandsynlighed vil tabe i en slåskamp over byttedyr,« siger Havmøller, som vurderer at hunleopardernes ændrede jagtmønster kan få

konsekvenser:

»Hvis man åbner for mere turisme og bygger flere veje i nationalparken, vil hunleoparderne umiddelbart blive pressede, fordi de kan ikke kende safariturister – som er mest aktive om dagen – fra krybskytter. Over tid vil de nok lære, at safarifolkene ikke er farlige, men sker der et stort og hurtigt indtryk i området, vil man formentlig se en nedgang i bestanden,« siger forskeren.

Maria Hornbek, Københavns Universitet.
Kilde: Ecosphere, doi.org/10.1002/ecs2.4913

Algoritme artsbestemmer flagermus

Kameraovervågning og trænede neurale netværk kan overvåge, hvordan det går med bestandene af flagermus. I en rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi fremlægger forskerne deres resultater af projektet, som er udført sammen med Mønsted Kalkgruber for Miljøstyrelsen.

I gruberne blev der opsat overvågningskameraer på det sted, hvor flagermusene flyver ind og ud af gruberne. Med hjælp fra frivillige fra Danmarks Naturfredningsforening artsbestemte forskerne først manuelt et udpluk af flagermusportrætterne. Herefter »lærte» forskerne et stykke software at genkende de forskellige arter af flagermus, der besøger gruberne.

Mønsted Kalkgruber er overvintringssted for over 10.000 flagermus fordelt på mindst

fem arter: Vandflagermus, damflagermus, Brandts flagermus, frynseflagermus og brun langøre. Alle flagermusarter er opført på habitatdirektivets bilag IV og er derfor strengt beskyttet. Gruberne i Mønsted og de nærliggende Daugbjerg Kalkgruber er blandt de største kendte overvintringssteder for damflagermus i Europa og vurderes af stor betydning for artens nationale og internationale status. Damflagermus er rødlistet som sårbar, og dens bevaringsstatus er på baggrund af NOVANA-overvågningen vurderet som gunstig ud fra artens udbredelse i sommerhalvåret. Men der er i øjeblikket ingen systematisk overvågning af bestandens størrelse og udvikling. Det indebærer ifølge rapporten en reel risiko for, at en negativ påvirkning af damflagermusbestanden og de andre fire flagermusarter i gruberne resulterer i ugunstig bevaringsstatus, inden det opdages. Men det kan blive muligt at overvåge dem digitalt.

På trods af, at overvågningsmetoden kan forbedres og ikke kan automatiseres fuldt ud, vil den fra år til år og på sæsonbasis kunne indikere om der sker dramatiske ændringer i bestandssammensætningen i Mønsted Kalkgruber, så forvaltningsmæssige tiltag kan sættes i gang hurtigere. Kamerateksten, der nu er opsat og aktivt i Mønsted Kalkgruber, har ifølge rapportens forfattere potentiale for at sikre et detaljeret og robust datagrundlag for forvaltningen af grubernes flagermusarter. Herunder årlige variationer i artsspecifikke bestandsestimater og aktivitetsmønstre i gruberne. Metoden er ifølge rapporten dog kun anvendelig, hvis dataindsamlingen videreføres på langt sigt, og der udføres løbende gentræning og validering af den automatiserede artsgenkendelse.

Michael Strangholt, DCE. Kilde: Videnskabelig rapport fra DCE, nr. 604, 2024

Mysteriet om wolfram hos Tycho Brahe

Middelalderens alkymister var notorisk kendt for at være hemmelighedsfulde og ikke dele deres viden med nogen. Danske Tycho Brahe var ikke nogen undtagelse, og derfor ved vi i dag ikke, hvad han helt præcist lavede i det alkymi-laboratorium, der lå under hans kombinerede bolig og observatorium Uranienborg på øen Hven.

Kun få af hans alkymistiske opskrifter har overlevet, og der findes i dag kun ganske få rester af hans alkymi-laboratorium. Uranienborg blev nemlig revet ned efter hans død i 1601 og byggematerialerne spredt for alle vinde til genbrug.

Nogle få potte- og glasskår blev dog under en udgravning i 1988-1990 fundet i Uranienborgs gamle have, og de vurderedes at stamme fra kælderens alkymi-laboratorium. Fem af disse skår – fire af glas og et af keramik – er nu blevet underkastet kemiske analyser for at finde ud af, om de kunne afsløre noget om, hvilke grundstoffer de oprindelige glas- og keramikbeholdere var i berøring med.

De kemiske analyser er foretaget af professor emeritus og ekspert i arkæometri, Kaare Lund Rasmussen fra Institut for Fysik, Kemi og Farmaci, mens seniorforsker og museumsinspektør Poul Grinder-Hansen fra Nationalmuseet har stået for at indsætte analyserne i en historisk kontakt.

Der blev fundet sporstoffer på fire af skårene – og nogle af disse stoffer optrådte i større koncentration end man normalt ville forvente og vidner derfor om, hvilke kemiske forsøg der har været foretaget. De berigede grundstoffer er nikkel, kobber, zink, tin, antimon, guld, kviksølv, bly og wolfram. Af disse skiller wolfram sig særligt ud, da



Portræt af Tycho Brahe, 1596, Skoklosters slott.

det er et grundstof, der slet ikke var beskrevet på Tycho Brahes tid. Wolfram blev først beskrevet og fremstillet i ren form mere end 180 år senere.

Wolfram findes naturligt i visse mineraler, og måske fandt grundstoffet vej til Tycho Brahes laboratorium med et af disse mineraler. I laboratoriet kan mineralet så have undergået forarbejdning, der har udskilt wolfram, uden at Tycho Brahe nogensinde opdagede det.

Der er dog også en anden mulighed, som Kaare Lund Rasmussen understreger, at der ikke findes skyggen af bevis for, men som godt kunne være plausibel.

Allerede i første halvdel af 1500-tallet beskrev den tyske mineralog Georgius Agricola noget mærkeligt i tinmalm fra Sachsen,

som gav problemer, når han skulle smelte tin. Agricola kaldte dette mærkelige stof i tinmalmen for ulvefråde (tysk: Wolfram).

»Måske havde Tycho Brahe fået nys om dette og kendte dermed til wolframs eksistens. Men det er ikke noget, vi ved eller kan sige noget om ud fra de analyser, jeg har lavet. Det er blot en mulig teoretisk forklaring på, hvorfor vi finder wolfram i prøverne,« siger Kaare Lund Rasmussen.

Tycho Brahe tilhørte den gren af alkymister, der, inspireret af den tyske læge Paracelsus, forsøgte at udvikle medicin mod tidens store og små sygdomme: pest, syfilis, spedalskhed, feber, ondt i maven, osv. Dermed distancerede han sig fra den gren, der forsøgte at skabe for eksempel guld og sølv ud af mindre værdifulde mineraler og metaller.

»Det kan måske forekomme mærkeligt, at Tycho Brahe beskæftigede sig både med astronomi og alkymi, men når man kender hans verdenssyn, giver det mening. Han mente, at der var nogle åbenlyse sammenhænge mellem de himmelske legemer, jordiske stoffer og kroppens organer,« forklarer Poul Grinder-Hansen.

Kaare Lund Rasmussen har tidligere analyseret hår og knogler fra Tycho Brahe og fandt blandt andet guld. Det kan vidne om, at Tycho Brahe selv indtog medicin, der indeholdt drikkeligt guld.

Det nye studie er publiceret i tidsskriftet Heritage Science.

Birgitte Svennevig, Syddansk Universitet.

Mælkevejens endeligt til debat

Siden 1912 har forskere vidst, at Andromedagalaksen – som befinder sig cirka 2,5 millioner lysår fra Jorden – bevæger sig i retning af os. Mælkevejen og Andromedagalaksen er to store og dominerende spiralgalakser i en større gruppe galakser kaldet lokalhoben. Med adgang til præcise observationer fra rumbaserede teleskoper har forskere i nyere tid kunne sætte mere præcise tal på Andromeda-galaksens bevægelse. Og det har vist, at galaksen faktisk er på kurs direkte mod Mælkevejen med en fart af cirka 110 kilometer i sekundet. Med andre ord vil det føre til, at de to galakser om nogle milliarder år vil kollider og – over endnu et par milliarder år – smelte sammen til én stor elliptisk og strukturløs galakse. Et studie fra 2008 konkluderede, at en sådan sammensmeltning af de to galakser uvægerligt vil ske indenfor en tidshorisont på 5 milliarder år. Ifølge dette studium vil Solen og Jorden i processen i en periode blive grebet af Andromeda-galaksen tyngdekraft og derfor



I en fjern fremtid vil Andromedagalaksen kunne blive et dominerende syn på nattehimmelen – og i sidste ende smelte sammen med Mælkevejen.
Illustration: Z. Levay and R. van der Marel (STScI); and A. Mellinger/ESA/NASA

ende i en fjern udkant af den resulterende, sammensmeltede galakse.

Det lyder jo som en krank skæbne for vores smukke Mælkevej. Men det skal dog siges, at der er en del usikkerhed forbundet med sådanne beregninger. Og nu citerer tidskriftet *Science* et nyt studium publiceret på preprint-serveren arXiv, som når frem til, at et sammenstød mellem Andromedagalaksen og Mælkevejen slet ikke er en given sag.

I det nye studie har Till Sawala fra Helsinkis Universitet og kolleger lavet nye simuleringer af galaksernes bevægelser over de næste 10 milliarder år. I simuleringerne har de brugt de nyeste og mest præcise observationer fra GAIA- og Hubble-rumteleskoperne sammen med de nyeste estimater af masserne for de fire største galakser i lokalhoben, som udover Mælkevejen og Andromedagalaksen er Den store Magellanske Sky og Trekantgalaksen (også kaldet M33). Forskernes simuleringer viser, at

de to andre nabogalakser har stor betydning for den bane Andromedagalaksen og Mælkevejen vil følge. Og det betyder, at usikkerhederne på de nuværende positioner, bevægelser og masser for det fulde system af alle fire galakser, lever plads til dramatisk forskellige udkomme af simuleringerne. Samlet bringer det sandsynligheden for et sammenstød mellem Andromedagalaksen og Mælkevejen indenfor de næste 10 milliarder år ned i nærheden af 50 %.

CRK, doi.org/10.1126/science.zxmwk4m / arXiv:2408.00064

Ny viden om den store “oxygen-begivenhed”

Et studium publiceret i tidsskriftet *Nature* har givet et nyt indblik i den afgørende periode af Jordens udvikling, hvor atmosfæren og havene kom til at indeholde så meget oxygen, at komplekst liv kunne udvikle sig. Forskere har traditionelt kaldt dette skifte for knap 2,5 milliarder år siden for *The Great Oxidation Event*, men der var ikke tale om en enkeltstående begivenhed i atmosfæren, fastslår forskerne i deres nye studie. I stedet foregik oxygeneringen over en lang periode på cirka 200 millioner år. I denne periode gennemgik både atmosfæren og oceanerne flere bølger, hvor oxygenniveauet i både atmosfæren og havet steg og faldt. Og dette foregik synkront: Når oxygen forsvandt fra atmosfæren, forsvandt den også fra havet – og omvendt.

Det sidste er fundamental ny viden, fordi forskerne ikke før har haft mulighed for at bestemme oxygenindholdet, og hvordan dette varierede, i havene i denne periode af Jordens historie. Forskerne er nået frem til deres resultat ved at analysere thallium-isotoper fra sedimenter fra Transvaal i Sydafrika, der i Jordens ungdom var havbund. Thallium er et tungmetal, som findes i forskellige varianter (isotoper). Forholdet mellem de to isoper thallium-205 og thallium-203 påvirkes, når mangan oxideres på havbunden, og derfor fortæller dette forhold noget om oxygenindholdet i det hav, som Transvaal-sedimenterne blev aflejret i. På den baggrund kunne forskerne afsløre, at der i perioder blev akkumuleret oxygen globalt i havvandet og i perioder ikke.

Forskerne kunne sammenholde deres resultat med tidligere analyser af svovl-isotoper i aflejringer fra samme tidsperiode, som på tilsvarende vis sladrer om oxygenindholdet i atmosfæren. Og det viste, at oxygenniveauet i hav og atmosfære svingede i takt.

Studiet er foretaget af et internationalt forskerhold ledet af Chadlin Ostrander fra Department of Geology and Geophysics på University of Utah og med deltagelse af ph.d.-studerende i geokemi Kasper Primdahl Olesen fra Biologisk Institut, Syddansk Universitet.

Birgitte Svennevig/SDU. Kilde: *Nature* vol. 631, pp 335–339 (2024)



Fotos: Bettina Illemann Larsen.

Professor Kristian Thorup i den nye rodtunnel.

Forskere studerer rødder under jorden

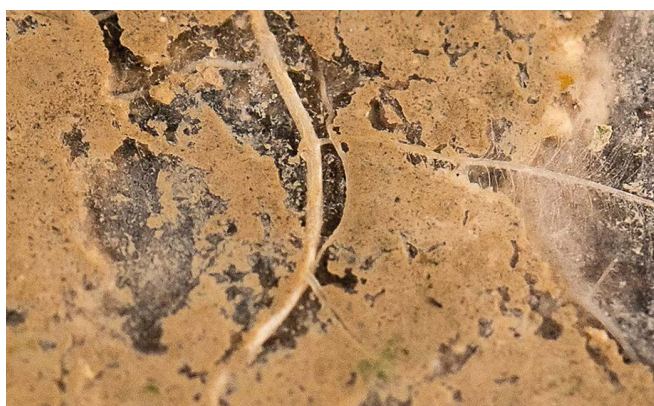
Tre meter under jorden gennem næsten 1300 små vinduer, er der direkte udsigt ind i jordens ellers skjulte verden. Her kan forskere fra Institut for Plante og Miljøvidenskab fremover komme endnu tættere på planters rødder i en ny rodtunnel, som er den første af sin slags i Danmark.

Tunellen skal fremover gøre det muligt at undersøge, hvordan afgrøder som korn, raps, ærter og kartofler reagerer på de klimaforandringer, der de senere år har givet både tørke og store mængder regn.

I tunellen kan forskerne nemlig se plante-røddernes vækst ned gennem jordlagene. Ved hjælp af billedanalyse, vandsensorer, analyse af vand og gasprøver fra jorden kan de følge røddernes udvikling og aktivitet.

For professor i afgrødevidevidenskab og pioner inden for rodforskning, Kristian Thorup-Kristensen, er det nye anlæg intet mindre end en drøm, der er gået i opfyldelse.

»Med de måleinstrumenter, vi har i dag, giver tunellen os helt nye muligheder for at under-



Gennem et af tunnelens 1296 inspektionsvinduer, kan rødderne studeres i deres rette element.

søge plantens optag af vand og næringsstoffer, og hvordan den udvikler dybe rødder, der kan give planten mulighed for at modstå tørke. For en plantenørd som mig er det noget nær drømmescenariet,« siger han.

Ifølge Kristian Thorup-Kristensen har vi gennem århundreder fremavlet afgrøder til landbruget med mange gode egenskaber, blandt andet et højt udbytte. Men skal forskeren pege på en af de vigtigste egenskaber for vores afgrøder i en tid med klimaforandringer, ja, så er det dybe rødder.

»Sol og CO₂ får planten fra oven, og de to fak-

torer er ret konstante. Men når det kommer til vand og næring er der store variationer, og ressourcerne er spredt ud over et stort jordvolumen, og det stiller store krav til plantens rodsystem. Derfor er det vigtigt for os at forstå, hvordan rødderne vokser sig lange og dybe ned gennem jorden,« forklarer professoren.

Ved hjælp af særlige sporstoffer, som forskerne tilfører til jorden i forskellige dybder igennem vinduerne i rodtunnelen, kan de

følge røddernes optag af vand og næring fra 70 centimeters dybde og helt ned til tre meter. Præcis som det naturligt ville ske ude på marken under forskelligt vejr og klima.

»Meget tyder på, at vi får længere perioder med tørke, men også længere våde perioder, som vi har set det her i foråret. For planterne betyder det, at de skal kunne hente vand op fra de dybere jordlag. Selvom der er tørke, så er der nemlig stadig vand i jorden, den er bare længere nede. Den slags scenarier får vi i rodtunnelen meget bedre muligheder for at undersøge,« siger Kristian Thorup-Kristensen.

Michael Skov Jensen, Københavns Universitet

Den invasive amerikanske ribbegople (*Mnemiopsis leidyi*) med tilnavnet dræbergople. Foto: Magnus Heide Andreassen.

ILTSVIND ER GODT – for gopler



Om forskerne

Magnus Heide Andreassen er ph.d.-studerende på DTU Aqua i Lyngby, hvor han undersøger effekten af iltsvind og af ribbegoplen på de danske kystøkosystemer. E-mail: mhean@aqu.dtu.dk

Peter Rask Møller er lektor ved Københavns Universitet og Statens Naturhistoriske Museum, hvor han er kurator for fiske- og pattedyrsamlingerne og forsker i fiskebiologi og monitoring.

Henrik Carl er forskningsmedarbejder på Statens Naturhistoriske Museum og ansvarlig for Fiskeatlasets.

Torkel Gissel Nielsen er professor i havbiologi på DTU Aqua i Lyngby og forsker blandt andet i effekten af global opvarmning og havforurening på planktonfædekædens sammensætning og funktion.

Ikke alle dyr lider, når overfiskeri og iltsvind hærger de danske farvande: Hundestejler og den invasive amerikanske ribbegople (dræbergople) klarer sig faktisk fint. Især ribbegoplen trives ved lave ilt-niveauer, og det kan være med til at ændre dynamikken i vores marine økosystemer.

Engang svajede halvanden meter højt ålegræs under havets blanke overflade. I dag er havet udfordret fra så mange sider, at nogle ligefrem finder det passende at bisætte Vejle Fjord. Det tydeligste symptom er iltsvind, hvis udbredelse og hyppighed stiger både i Danmark og globalt. Vi hører jævnligt, at tilførslen af næringsstoffer er års-

gen, og at fiskedød er konsekvensen. Men imellem disse to punkter af årsag og virkning, findes et kompliceret netværk af processer. Med afsæt i ny forskning vil vi her fokusere på nogle af de mindre omtalte processer, som potentielt fastholder og forværrer tilstanden i de danske havområder. Det gør vi med udgangspunkt i to organismer, der biologisk set er det, man kalder

opportunisten, nemlig den invasive amerikanske ribbegople (*Mnemiopsis leidyi*) og den trepiggede hundestejle (*Gasterosteus aculeatus*).

En ubuden, og sulten, gæst

Danmarks indre farvande blev i 2006 en art rigere med ankomsten af den amerikanske ribbegople med det mere dramatiske tilnavn dræbergople. Oprindeligt stammer

goplen fra Nordamerika, men den er også kendt fra Det Kaspiske Hav og Sortehavet, hvor den sandsynligvis er blevet bragt til via fragtskibes ballastvand. På samme vis fandt den formentlig også vej til Danmark. Ribbegoplen æder vandlopper og har dermed placeret sig i det danske havs økosystem lige der, hvor det gør allermest ondt. Dér, hvor den vitale energioverførsel fra planktonalger til fisk bør foregå. I et sundt økosystem vil de talrige vandlopper holde planktonalgerne nede gennem græsning og videreføre deres biomasse til småfisk. I et forstyrret økosystem med for få vandlopper i forhold til planktonalger, vil en større del af planktonalgerne bundfældes, da de ikke længere græsses af vandlopper. I et miljø, hvor planteplanktonet i forvejen er begunstiget af vores udledning af næringsstoffer, er konsekvensen en yderligere opblomstring af planktonalger, mørke og iltvind.

Spotlight på hundestejler og gopler

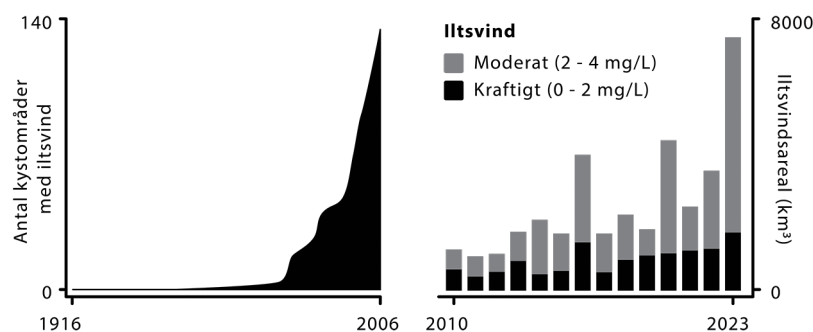
Fødenettet i havet er komplekst. Forstår man, hvordan det fungerer, kan man til gengæld lettere og mere effektivt forvalte det ved at sætte ind dér, hvor det har størst effekt. Vi har undersøgt, hvordan ribbegoplerne, hundestejlerne og vandlopperne trives og interagerer i de næringsstofbelastede danske havområder.

Gopler og hundestejler er gode bioindikatorer. Begge trives under de nuværende forhold, og så deler de den altafgørende fødekilde: vandlopper. Deres respektive succes med at skaffe sig føde vil have stor betydning for energioverførslen op gennem fødekæden. Det skyldes, at vi hidtil ikke har kendt til ribbegopleædende fisk i Danmark. Ribbegoplens eneste kendte fjende har i Danmark været andre gopler. Det har derfor været den gængse opfattelse, at energien, som goplerne optager, er "spildt".

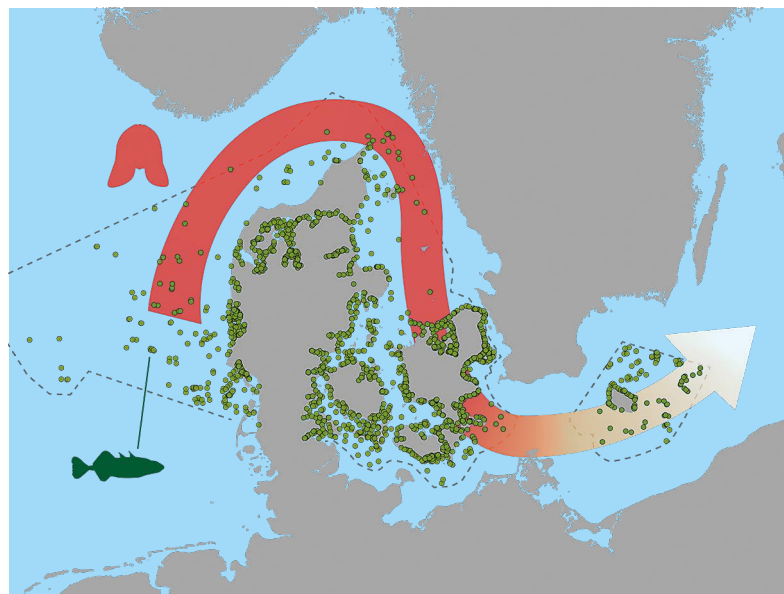
Til sammenligning understøtter hundestejlen et større fødenet ved at blive ædt af større fisk som torsk



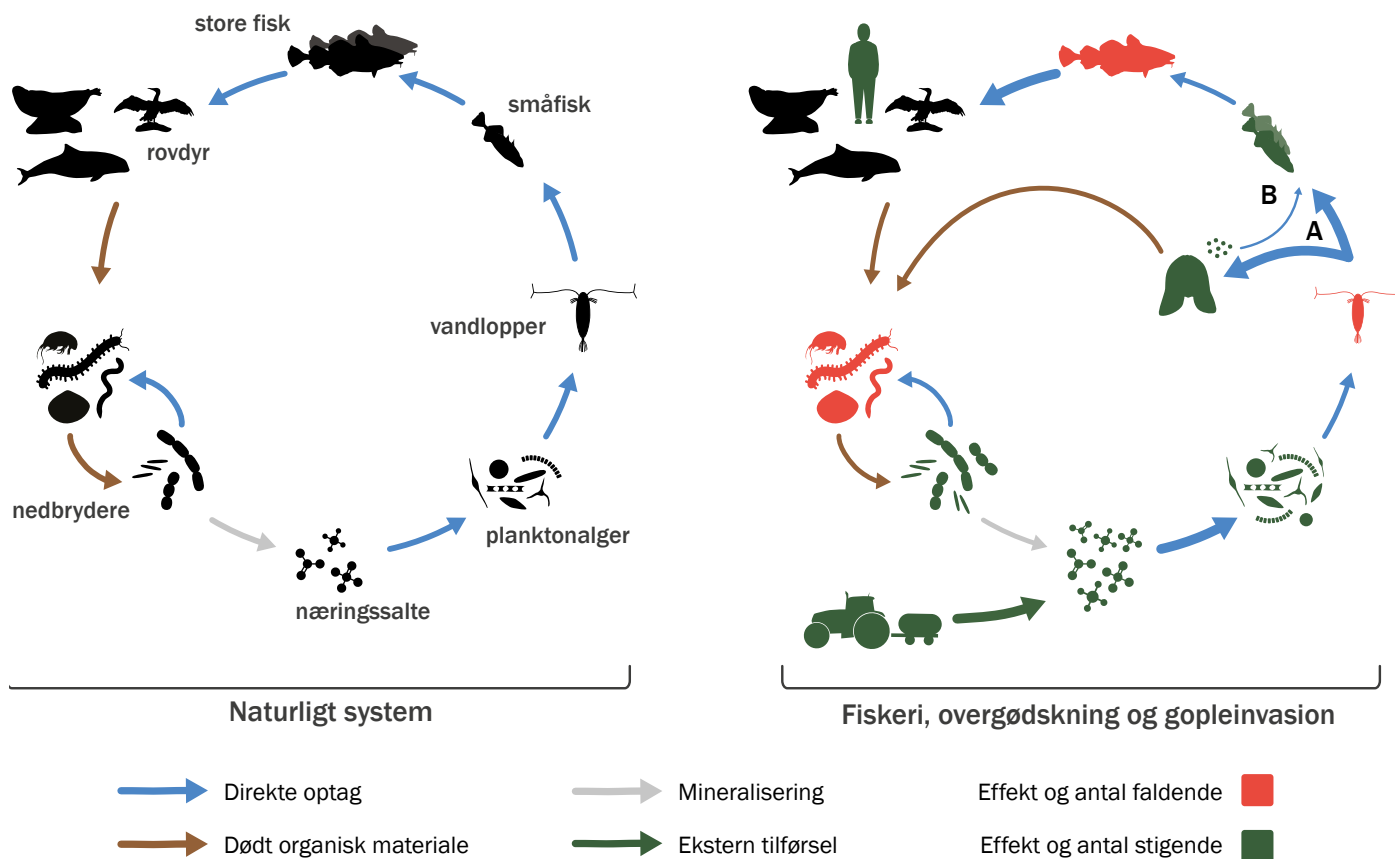
Forfatterne, fra venstre: Magnus Heide Andreasen, Torkel Gissel Nielsen, Henrik Carl og Peter Rask Møller. Foto: Markus Strange



Global udvikling af kystområder, som oplever iltvind (venstre) og udviklingen af iltvindens areal i Danmark (højre). Tilpasset med tilladelser fra Vaquer-Sunyer & Duarte (2008) og forfatterne bag Aarhus Universitets iltvindrapport (September 2023), Jens Würdler Hansen og David Rytter.



Udbredelsen af trepigget hundestejle i Danmark (fra Fiskeatlasset, www.fiskeatlas.ku.dk) og udbredelse af den amerikanske ribbegoble inden for Danmarks havområde (stiplet linje). Ribbegoplen er observeret alle steder langs Danmarks kyster, men dens tæthed falder mod øst, hvorefter den helt forsvinder lidt øst for Bornholm, hvor Østersøens saltniveau bliver for lavt.



Konceptuelt overblik over et naturligt system (til venstre) og et system påvirket af fiskeri, overgødskning og den invasive ribbegoppe, *Mnemiopsis leidyi* (til højre). Dødt organisk materiale produceres fra samtlige led i fødekæden og omsættes af nedbrydere (bakterier samt bundlevende orme, muslinger og krebsdyr). Vi har blandt andet undersøgt, hvem der spiser vandlopperne under normale forhold og under iltsvind (A), samt om hundestejlen æder ribbegoplens larver (B).

og laks, og af fugle som skarv. Vi undersøgte derfor de to arters respektive succes med udgangspunkt i de forudsætninger, som vi forventede kunne være afgørende i konkurrencen:

- Udbredelsen af hundestejlen og ribbegoplen
- Deres fjender og respektive byttefangst under forskellige ilt-niveauer
- Deres adfærdsmæssige og fysiologiske respons ved lave ilt-niveauer

Mængden af småfisk og gopler er øget i områder, hvor de større fisk, for eksempel torsk, er væk, og hvor havet er næringsbelastet; for eksempel i Østersøen. Man har desværre ikke monitoreret goplernes antal, og det er derfor vanskeligt at vurdere, hvorvidt de rent faktisk er i fremgang. Vi kan dog doku-

mentere, at de forekommer i hele den danske del af Østersøen og i nogle områder i så høje tætheder, at de potentielt tømmer vandet for vandlopper på bare én dag. Mens det lave saltniveau begrænser deres udbredelse øst for Bornholm, lader selv ekstremt lave ilt-niveauer ikke til at påvirke dem. I den svenske Østersø tyder det på, at hundestejler er i kraftig fremgang, og omkring Bornholm finder fiskerne nu stort set kun hundestejler i laksemaver, som før var fulde af sild og brislinger.

Gopler klarer sig fint under iltsvind

For at undersøge, om ribbegoplen ædes af små fisk, tilbød vi en række danske fisk ribbegopler i forskellige størrelser; fra larvestadiet på en halv millimeter til små voksne på halvanden centimeter. Vi tilbød goplerne til sortmundet

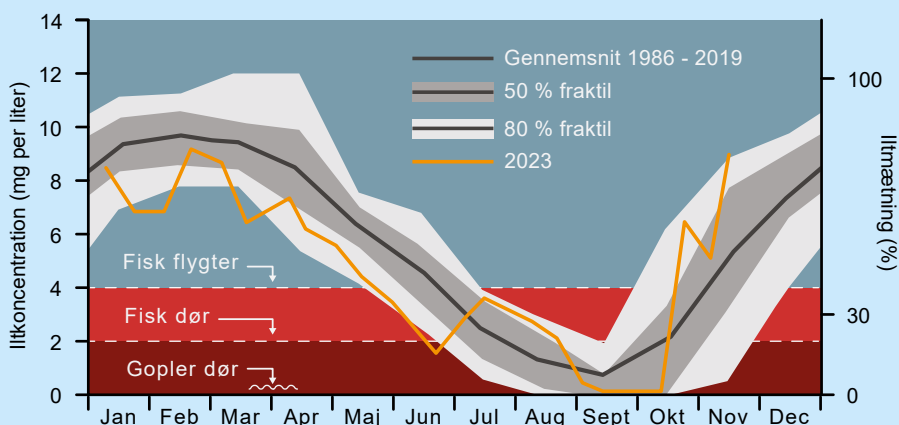
kutling, toplettet kutling, sandkutling og trepigget hundestejle. Alle de undersøgte arter angreb ribbegoplen, særligt de mindre, men kun én art åd dem: hundestejlen. Vi lavede derfor et studie af dens prædation på goplen – både i iltmættet vand og i vand med en iltkoncentration, som kendetegner moderat iltsvind (30 % eller 2,8 mg O₂ per liter). Fordi goplens larver sjældent forekommer alene, undersøgte vi også hundestejlens prædation på vandlopper, som er et fælles bytte for både gopler og hundestejler. Vi fandt, at hundestejlen åd cirka fire gange så mange vandlopper som goplelarver, og at selv mildt iltsvind forårsagede markante fald i prædationen på begge typer føde. Det er derfor usandsynligt, at hundestejlen kan regulere bestanden af ribbegoplen – i særdeleshed under iltsvind, og når hundestejlen har adgang til vandlopper.

Ilt i havet

For omtrent to milliarder år siden havde blågrønalger sendt så meget ilt ud i verdenshavene, at grundlaget var skabt for, at iltkrævende organismer kunne udvikles. Efter nogle drastiske udsving fandt iltkoncentrationen et niveau, som Jordens senere liv har kunnet tilpasse sig – både over og under vandet.

Mennesker, dyr og planter kan tolerere små udsving, men trives bedst under en atmosfærisk iltkoncentration på de nuværende 20,95 %. Under vandoverfladen er alting anderledes. Lyset, lydende, trykket og iltten. Her kan kun en vis mængde ilt opløses, og fuldt iltmættet vand siges at have en iltkoncentration på 100 %. Havets ilt kommer både direkte fra planktonalger og gennem vandoverfladen fra ilt i atmosfæren. Omtrent halvdelen af Jordens ilt produceres af planktonalger.

I vandet svarer en 100 % mætning til 8,1 mg ilt per liter vand med en salinitet på 20 psu og en tempe-



Udsving i bundvandets iltkoncentration i løbet af et år med anvisninger af generelle værdier for, hvornår fisk og gopler enten flygter eller dør. Figuren er baseret på Aarhus Universitets iltsvindrapport: Iltsvind i danske farvande (27. oktober – 22. november 2023) af Jens Würigler Hansen og David Rytter fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi. Data er fra Miljøstyrelsens monitoring af ydre Flensborg Fjord.

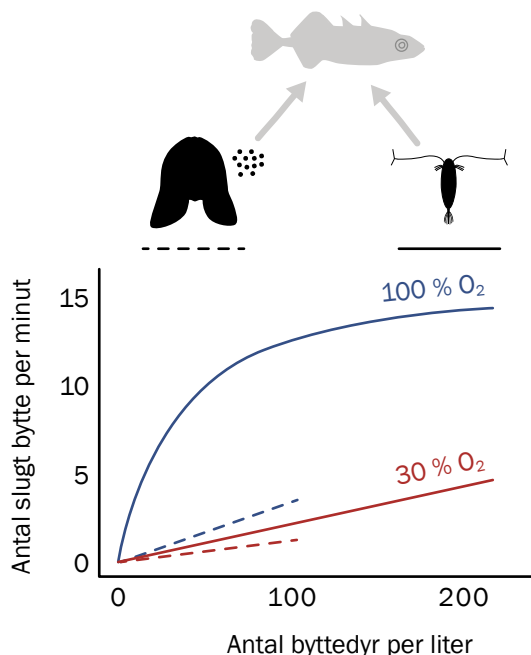
ratur på 20 °C. Opløseligheden er lavere ved højere temperaturer. Det resulterer i, at den nuværende opvarmning af havene vil forårsage en yderligere reduktion af iltniveauet. I den kølige maj måned er overfladevandet i det danske hav omkring 12 °C, mens det på en sommerdag

i august er cirka 20 °C. Iltkoncentrationen i de to måneder er maksimalt henholdsvis 9,3 og 8,1 mg O₂ per liter. Forskellen forårsager ingen katastrofe i de høje koncentrationer, men når iltsvindsgrænsen nærmer sig, kan helt små udsving være fatale.

De voksne goplers prædation på vandlopperne er uændret ned til i hvert fald 1,5 mg O₂ per liter (16 %), mens fisk generelt er mere følsomme. Men hvor langt skal iltkoncentrationen ned, før hundestejlen stikker af og goplens afkom dør? Med et specialbygget akvarie kunne vi give hundestejlene valget mellem to vandmasser med forskellige ilt niveauer; den ene mættet og den anden med langsomt faldende i iltkoncentration. Goplerne udsatte vi for endnu lavere iltkoncentrationer og undersøgte, hvor mange af deres æg, som klækkede under forskellige iltforhold.

Vi fandt, at hundestejlen stak af allerede ved omkring 40 % O₂, men at mængden af goplernes æg, som klækkede, var upåvirket helt ned til 1 mg O₂ per liter (10 %). Havområder med en iltkoncentration på mellem 15 og 40 % O₂ vil derfor, hovedsageligt rumme gopler, som uden problemer kan æde og reproducere sig. Deres føde, vandlopperne, vil stadig være til stede, da de først flygter eller dør ved endnu lavere iltkoncentrationer. Oveni at goplen nu ikke skal konkurrere med fiskene, bliver vandlopperne også sløvere og lettere at fange ved de lave iltkoncentrationer.

I havområder med iltsvind lader goplen altså til at



Hundestejlens prædation på vandlopper (fuldt optrukket linje) og den invasive ribbegoplers larver (stiplet linje) i iltmættet vand (100 % ilt; blå) og under iltsvind (30 % ilt, rød). Skitse på baggrund af data fra Andreasen et al. in prep.

Danmarks ribbegople, småfisk og vandlopper

Den invasive gople er en ribbegople, som, trods lighederne, ikke er nært beslægtet med vandmænd eller brandmænd. Vi har tre hjemmehørende ribbegoplearter: stikkelsbærgople (*Pleurobranchia pileus*), tolappet ribbegople (*Bolinopsis infundibulum*) og stor melongople (*Beroe cucumis*). De hyppigst observerede småfisk er trepigget hundestejle og toplettet kutling (*Pomatoschistus flavescens*), som primært findes langs kysten. Sild og brisling er væsentlig større og findes også længere fra kysten, men de deler i en længere periode af deres liv føde med hundestejler, toplettet kutling og goplerne og ædes også af rovfiskene.

Vandlopper er en artsrig gruppe med stor diversitet i form og livshistorie. Nøgleslægtet i danske farvande inkluderer *Acartia*, *Pseudocalanus* og *Oithona*. Selvom der findes utallige andre dyreplankton, som bidrager til at videreføre energi fra planktonalger til småfisk, står vandlopperne oftest for langt størstedelen af omsætningen.

Næringssalte og iltsvind

Mennesket har i flere tusinde år dyrket jorden og gødsket den med naturens egen gødning; ekskrementer og kompost. I 1908 lykkedes det Fritz Haber at fremstille ammoniak syntetisk, og efter Anden Verdenskrig tog landbruget det i brug som gødning. Sammen med spildevand fra byerne betød den større mængde næringsstoffer på markerne, at et større overskud af næringsstoffer endte ude i havet. Den ekstra næring satte gang i væksten af planktonalger, og det betød en øget tilførsel af døde planktonalger til bunden. Her bliver en del ædt af bunddyr, der filtrerer vandet eller æder det næringsrige sediment, mens bakterier efterfølgende nedbryder den resterende biomasse. Nedbrydningen foregår under forbrug af ilt. En havbund, som modtager en stor mængde planktonalger, vil derfor hurtigt opbruge alt ilt og opleve iltsvind.

Selvom tilførslen af næringssalte er faldet siden 1980'erne, ses kun i nogle områder tegn på forbedring af iltforholdene ved bunden. Det er sandsynligt, at den positive effekt forsinkes eller mindskes som følge af andre faktorer, som indirekte forbedrer planktonalgernes vilkår. For eksempel medfører global opvarmning en øget bakteriel omsætning og dermed et forhøjet iltforbrug. Desuden kan de biologiske samspil være blevet forstyrret på en måde, så det giver sig udslag i en forsinket eller mindsket effekt. Fjerner man for eksempel de store fisk, har deres bytte, de mindre fisk, som kutlinger og hundestejler, kronede dage. Det medfører en kaskadeeffekt ned gennem fødekæden. Prædationstrykket på de små fisks bytte, vandlopperne, øges kraftigt. Herved bliver der færre vandlopper til at æde planktonalger, som derfor blomstrer op, bundfældes og ultimativt medfører iltsvind.

Oplev dræbergoplens lys

Møder man en amerikansk ribbegople – en dræbergople – på en solskinsdag, vil man helt sikkert bemærke dens farvestrålende streger, eller *ribber*, som løber ned langs goplens sider. Ribberne består af en serie små kitinstrukturer, som, på samme måde som undersiden af en CD, bryder lyset og fremkalder en hel palet af farver. Farvespillet kræver en ekstern lyskilde, så det observeres bedst på en solskinsdag med solen i ryggen eller ved hjælp af en lommelygte og med en jævn mørk baggrund. Tilsvarende bemærkelsesværdigt er det, at goplen i lighed med sankthansorm, morild eller ildfluer også selv lyser, hvilket kaldes bioluminescens. Det kræver komplet mørke – og tålmodighed – at opleve det blå lys, som goplen udsender et par sekunder ad gangen. Men det er det hele værd!

være den store vinder.

Efteråret 2023 bød på omfattende iltsvind i Danmark. Et område på næsten 6.000 km² havde iltniveauet mellem 20 og 40 % O₂. Til sammenligning er Sjællands areal 7.000 km². Lav iltkoncentration i så store dele af Danmarks hav kan, som vi har vist her, have omfattende konsekvenser for dynamikken i økosystemerne.

Vejen til et bedre havmiljø

Iltsvind er et symptom på et forstyrret havmiljø. At gøre noget ved problemerne kræver politisk handling, som det forsøges med den nye *Aftale om et grønt Danmark*, men det kan desværre være vanskeligt på grund af de mange modstridende interesser. Vi har i over 40 år vidst, hvad der skal til: Tilførslen af næringssalte skal reduceres. Tilførslen af næringssalte til havet faldt markant som følge af politiske tiltag i slut 80'erne og 90'erne, men har i omtrent 20 år været uændret. Alligevel er udbredelsen af iltsvind steget i samme periode. Selvom den synlige effekt af de lavere næringsstoftilførsler måske først viser sig senere, tyder noget på, at flere mekanismer er på spil.

Vores resultater viser, at den invasive ribbegople, sammen med den voksende bestand af småfisk, kan bidrage til denne fortsatte negative udvikling af havmiljøet. Både ribbegoplen og småfiskene er udsat for begrænset prædation og æder så de vandlopper, som i et sundt miljø holder planktonalger nede. Goplerne er endda upåvirkede af iltsvind. Det er derfor ønskeligt, men umuligt, at skaffe sig af med ribbegoplen. På nuværende tidspunkt er vores bedste mulighed således at begrænse ribbegoplen indirekte ved at forbedre lys- og iltforhold for dens konkurrenter og fjender: fiskene. Vejen dertil er kraftige reduktioner i udledningen af næringssalte samt et lavere fiskeritryk.

Alternativet kan blive et irreversibelt kollaps: et mørkere hav med færre store fisk og endnu flere gopler. ■

Yderligere information
Forskningsartikel (fig.1):
Thresholds of hypoxia
for marine biodiversity.
(PNAS 2008).
www.pnas.org/doi/epdf/10.1073/pnas.0803833105

Iltsvindsrapporter fra DCE:
ecos.au.dk/forskning-gra-adgivning/temasider/iltsvind/ilt-rapporter

Videoer:
Hundestejlens
yngleadfærd:
www.youtube.com/watch?v=Y0iQrlb-DAz8&t=17s

Den amerikanske
ribbegoplens lysrefraktion:
www.youtube.com/watch?v=NCfTVUhlcK4



A photograph of three students in a laboratory setting. A young man with glasses and a young woman are in the foreground, both wearing white lab coats. The woman is holding a small blue pipette and looking at it. Another student is partially visible on the right. The background is slightly blurred, showing other people in lab coats. The text 'DIT STUDIEVALG KRÆVER TID – OG LIDT HJÆLP' is overlaid in large white letters.

DIT STUDIEVALG KRÆVER TID – OG LIDT HJÆLP

Vil du uddanne dig inden for naturvidenskab, har du mange valgmuligheder. På KU kan du få hjælp til dit studievalg på flere måder.

Du kan blandt andet:

- Tage et Uddannelsestjek
- Få vejledning hos KU Bacheloroptagelse
- Gå i studiepraktik
- Blive studerende for en dag
- Se film om uddannelserne

Læs mere om vores naturvidenskabelige uddannelser og dine muligheder på

studier.ku.dk/science



KØBENHAVNS
UNIVERSITET

Hjernens elektriske aktivitet måles ved hjælp af såkaldt elektroencefalografi (EEG). Baseret på blandt andet denne type målinger har man knyttet søvnforstyrrelser til demens, depression, sukkersyge og hjerte-kar-sygdom.

Foto: Shutterstock



DEN NEUROBIOLOGISKE FUNKTION AF SØVN OG DRØMME



Om forfatteren

Brian Kjærgaard Hansen er fysiker og professor ved Aarhus Universitets Center for Funktionelt Integrativ Neurovidenskab (CFIN). Her leder han et præklinisk MR-laboratorium med fokus på at udvikle og anvende skanningsmetoder til undersøgelse af hjernen. Hans forskning omhandler målinger af hjernens mikroskopiske strukturer, og hvordan de forandres under sygdom eller som en del af hjernens naturlige funktion (plasticitet). I nuværende projekter arbejder han med skanning af vågne forsøgsdyr som en del af at forstå hvordan hjernens mikrostruktur forandres under søvn og narkose. www.cfin.au.dk brian@cfin.au.dk

Hvorfor har vi brug for søvn, og hvilken funktion – om nogen – har drømme egentlig?
Artiklen giver et overblik over, hvad forskningen i dag kan fortælle os om disse spørgsmål.

Man dør, hvis man ikke sover. Så simpelt er det. Den russiske læge og forsker Marie de Manacéine (formentlig en af Europas første kvindelige læger) lavede i 1894 et studie, hvor hundehvalpe blev frataget muligheden for søvn. De stakkels hvalpe døde efter få dage, og man fandt, at deres hjerner var meget beskadigede af søvnmanglen.

Mennesket er mere robust end hun-

dehvalpe, hvad angår søvnmangel. Men også vi ville dø af ikke at sove, og i dag mener man, at det gælder for langt de fleste dyr. Yderligere gælder det, at arter, der lever længe, har en døgnrytme. Menneskers døgnrytme indebærer, at vi er aktive om dagen og sover om natten og vi sover cirka en tredjedel af vores samlede levetid. Det er velkendt, at nogle mennesker vågner tidligt og går tidligt til ro, mens andres naturlige rytme er at vågne sent og være oppe længe. Denne variation i

“A- og B-mennesker” har formentlig været en fordel for det tidlige menneske, da der dermed var vågne medlemmer af gruppen i en større del af døgnet, som kunne slå alarm, hvis en fare nærmede sig.

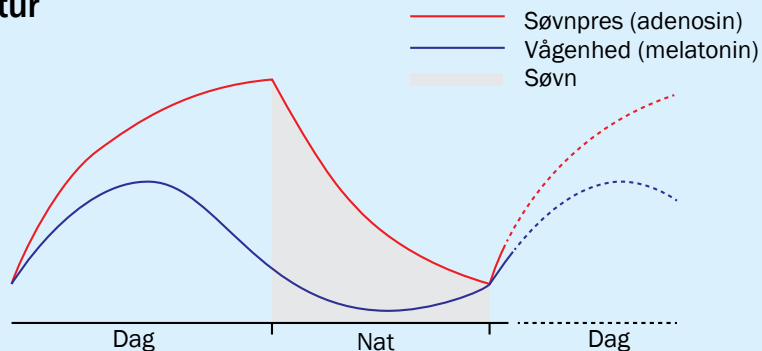
Det har vist sig, at der er mange fællestræk i måden, vi sover på. De fleste voksne har brug for 7-8 timers søvn i døgnet. I de otte timers søvn veksler vi mellem forskellige søvnfaser. Det ved vi, fordi vi kan måle hjernens elektriske aktivitet

Døgnrytme og søvnstruktur

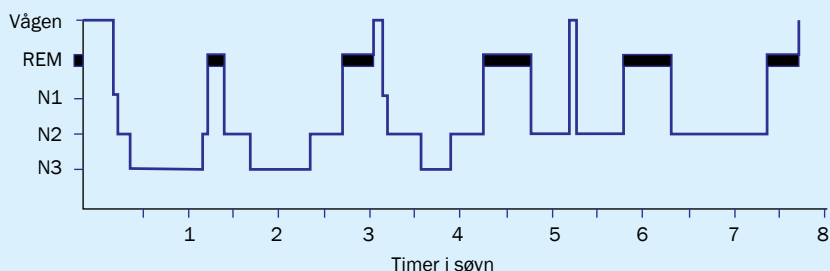
Menneskets døgnrytme kan beskrives ved to kurver, der repræsenterer to processer, som vi kan kalde "søvnpres" og "vågenhed". Søvnpresset beskriver vores oplevelse af søvnighed, og det kommer primært af, at det søvn-inducerende signalstof adenosin ophobes udenfor cellerne i løbet af dagen. Denne kurve begynder lavt om morgenen, vokser gennem dagen og toppe, når vi lægger os til at sove. Koffein, som findes i blandt andet kaffe og te, kan overdøve adenosin, så vi ikke føler os søvnige, men derved opbygges en søvngæld, som skal betales.

Vores vågenhed styres af en proces, der korrelerer med mængden af melatonin i hjernen – når der er meget melatonin, er der lidt vågenhed. Melatonin spiller ikke bare en rolle i reguleringen af søvn, men også af andre processer i døgnrytmen (det man kalder cirkadiske processer).

Selve søvnen opdeles i faser, hvor hjernen har forskellig elektrisk aktivitet, som vist på figuren. Figuren viser også et eksempel på et såkaldt hypnogram, hvor en nats søvn er inddelt i de forskellige søvnfaser. Man kan se, at vi sover mest dyb søvn i begyndelsen af natten, mens vi sidst på natten sover mere REM-søvn. Det er i REM-fasen, vi drømmer. Man bemærker, at søvnen er cyklisk, så man går i dyb søvn,



Søvnens faser:



Første fase: N1	Anden fase: N2	Tredje fase: N3	Fjerde fase: REM
Indsovning - Puls og åndedræt falder - Musklerne afslappes - Varer få minutter	Let søvn - Puls og åndedræt bliver langsommere - Kropstemperaturen falder - Ingen øjenbevægelser	Slow wave sleep - Dybste søvnstadiet - Kroppen helt afslappet - Ingen øjenbevægelser - Væv reparerer - Immunsystemet opbygges	- Drømme - Hurtige øjenbevægelser - Puls og åndedræt øges - Lammelse - Høj hjerneaktivitet
Vågen			

stiger op i lettere søvn og derefter går i dybere søvn igen. En enkelt af disse "ture" kaldes en søvncyklus. Hos spædbørn varer en cyklus 50-

60 minutter, mens den hos voksne er lidt længere. I mus varer en søvncyklus cirka et kvarter, mens den hos elefanter er næsten to timer.

under søvn, og hver søvnfase er defineret ud fra karakteristiske bølgemønstre.

Søvnens faser benævnes N1-3 og REM (som står for *Rapid Eye Movement*). I den allerdybeste søvn (N3) er vi helt bevidstløse, og alle hjernens cirka 86 milliarder nerveceller er i langsom, synkron aktivitet. I REM-fasen er hjernen "vågen" mens resten af kroppen er lammet (bortset fra øjenmusklerne og få andre små muskelgrupper).

At kroppen er lammet i REM-søvn er heldigt, for i REM-fasen drømmer vi, og hvis ikke kroppens store muskler var "slået fra" under drømme, ville vi sikkert ofte falde ud af sengen og slå os.

Formål og funktion i videnskaben

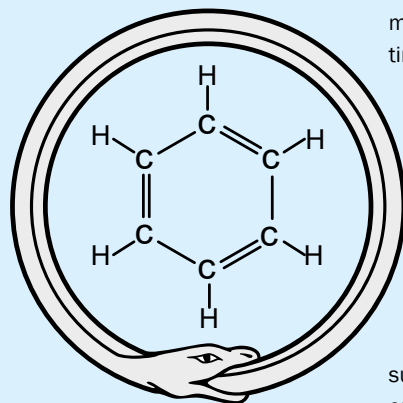
Når man beskæftiger sig med biologiske fænomener, kan det være svært ikke at tale om dem, som var de udviklet til at have et bestemt formål. Det kaldes med et

fagord for teleologi (der kommer af det græske ord telos, der betyder formål). Men en sådan anskuelse, hvor vi søger efter tingenes formål eller mening, er ikke bare videnskabeligt ufrugtbar, den strider faktisk også imod vores forståelse af evolutionen som en proces, der i høj grad er drevet af tilfældigheder (dvs. tilfældige mutationer i arvemassen), som måske / måske ikke gavner organismen. Når vi prøver at forstå biologiske fænomener som søvn og drømme, er det altså mere

Teorier om drømme gennem tiden

De første ideer om drømme, som vi kender til, forklarer drømme som beskeder eller besættelser fra guder, ånder, engle, dæmoner mv. Først hos Aristoteles (384-322 f.Kr.) i det antikke Grækenland finder man de første bud på en ikke-overnaturlig forklaring på drømme. I hvert fald så langt, at Aristoteles mente, at mennesket selv producerer drømmene, men dog i et verdensbillede præget af en dualistisk opfattelse af mennesket som sammensat af sjæl og legeme.

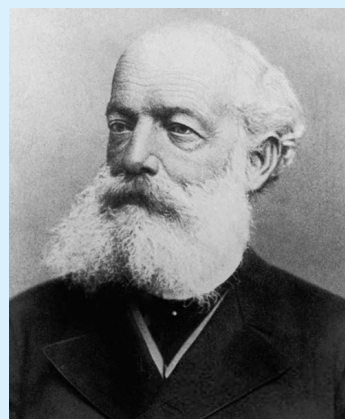
I lang tid herefter tilskrives drømmene en art tidlig underbevidsthed, for eksempel hos Augustin (354-430 e.Kr.), som kalder sine drømme "sjælens oprør" mod det kyske munkeliv, han ønskede at leve.



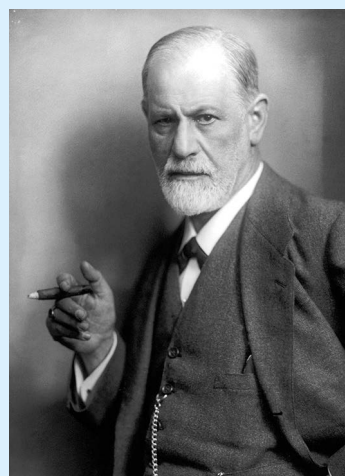
(en ouroboros). Da han vågnede, forstod han, at hans data kunne forklares af et ringformet molekyle.

Med Freud (1856-1939) kom drømmene til at tilhøre psykologien, og mange er nok stødt på en psykoanalytisk tilgang til en teori om drømme.

Vi kender nok alle til, at vores drømme har indhold, som relaterer til ting, som optager os i vores vågne liv, for eksempel løsningen på en regneopgave. Et godt eksempel herpå er myten om den franske kemiker August Kekulé (1829-96), som opdagede det ringformede benzen-molekyle. Han fortalte selv, at han gik frustreret i seng, fordi han ikke kunne få mening i sine forsøgseresultater, hvorefter han i drømme så en slange, som bed sig selv i halen



August Kekulé



Sigmund Freud

videnskabeligt at spørge, hvilke fordele de giver en organisme i det evolutionære kapløb – dvs. i forhold til at overleve og reproducere sig.

Når det gælder søvn, virker sagen ret klar. At millioner af års evolution tilsyneladende ikke har frembragt en "søvnløs" dyreart tyder på, at søvn spiller så vigtig en rolle i organismen, at den er meget, meget svær at erstatte. For ellers ville søvnløse arter jo af indlysende grunde have en kæmpe fordel i konkurrencen med arter, der kræver søvn. I dag ved vi da også, at kroppen meget effektivt heles, vokser, husker, styrker sit immunforsvar og meget andet, mens vi sover. Så søvn er simpelthen nødvendig for, at vi kan leve længe.

Anderledes vanskeligt er det at forstå, hvilke fordele organismer opnår

ved at drømme. Vi ved, at REM-søvn er en nødvendig søvnfase, så måske er drømmene blot et tilfældigt biprodukt af REM-søvn og altså ikke noget, der som sådan er blevet selekteret for i naturen. Men man kan så undre sig over, at millioner af års evolution ikke har produceret en drømmeløs version af REM (hvem vil ikke gerne være fri for mareridt?), medmindre drømmene faktisk udgør en fordel.

Svært at studere drømme

Historisk har man haft mange ideer om drømmenes natur, og selv i dag er vi langt fra en komplet teori om drømme, for selvom alle kender til drømme, er de særdeles vanskelige at studere. Hvor søvnens faser kan måles, er drømmestudier primært baseret på forsøgspersoners beskrivelser af deres drømme. Det viser sig dog, at vi er ret dårlige til

at huske vores drømme. Prøv for eksempel at besvare dette spørgsmål: "Drømmer du i farver?" Er du i tvivl? I så fald er du ikke alene, for studier viser, at svaret på det spørgsmål har varieret gennem tiden. Før fotografiapparater og biografer blev almindelige, svarede flertallet, at de drømte i farver. Da kameraet blev udbredt i samfundet, beskrev flertallet i stedet deres drømme som sort-hvide. I dag svarer flertallet igen, at de drømmer i farver. Så måske er vores erindring om vores drømme farvet af den billedteknologi, vi omgiver os med?

Dette eksempel er interessant, fordi det viser os, hvor dårlige vi er til at huske og beskrive vores drømme. En anden ting, som det er værd at bemærke, er, at studiet tager som udgangspunkt, at vi som hovedregel oplever drømme som visuelle

– altså som film eller billeder. Den aktivitet, der kræves for at danne disse sanseindtryk, koster hjernen energi. Så hvis ikke der var fordel af dette forbrug, var det nok blevet “sparet væk”, fordi en drømmeløs organisme ville have mere energi til andre ting. På den baggrund mener man i dag, at drømme ikke er et tilfældigt biprodukt af REM-søvn, men at drømmene er bevaret over generationer, fordi de har en biologisk funktion. Men hvilken?

“Newtons love” for neurovidenskaben

Inden jeg fortæller mere om de moderne teorier for søvn og drømmes biologiske funktion, vil jeg kridte banen op ved at beskrive den neurobiologiske ramme, som sådanne teorier skal fungere indenfor. Denne ramme udgøres af det, vi kan kalde for “Newtons love for neurovidenskaben”:

- Hjernen er et meget bekosteligt organ. Menneskets hjerne udgør blot cirka 2% af vores kropsvægt, men står for cirka 20% af vores energiforbrug – hele tiden!
- Hjernen er meget formbar (plastisk). Hjernens mikrostruktur formes af ydre stimuli, og det er blandt andet på den måde, vi husker. Hukommelsen bygger nemlig på fysiske forbindelser, som opstår, når vi lærer noget, og på den måde er din hjerne ikke helt den samme nu, som da du satte dig til at læse denne artikel. Denne plasticitet er også grundlaget for, at vi kan genoptræne efter en hjerneskade, for hjernen kan i et vist omfang omfordele hjernebark til at varetage nye opgaver efter behov.
- Hjernen forbedrer vores chance for overlevelse markant. Det gør den blandt andet ved at forsøge at forudsige den nære fremtid. Derudover søger hjernen at klassificere de ting, vi møder: spiselig/giftig, farlig/ufarlig osv. For at kunne lagre disse klassifikationer er hjernen naturligvis nødt til at kunne huske (se punkt 2 ovenfor). Hjernen kan derfor beskrives som en prædiktions-

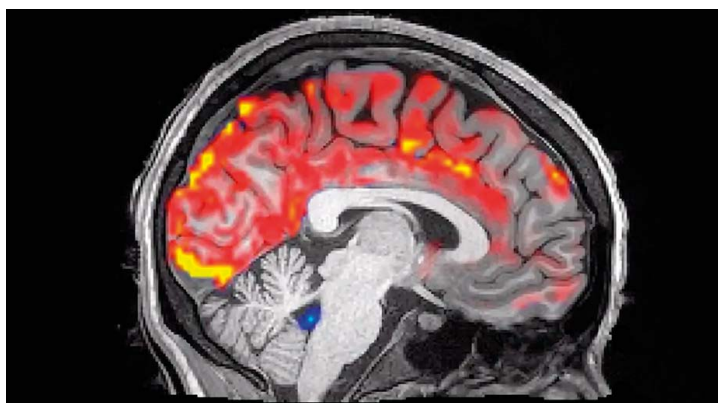


Illustration: Laura Lewis, Boston University

En MR-skanning af en hjerne. De rød-gule farver markerer områder, hvor pulsslaget sender trykbølger gennem hjernen. Dette pulsslag menes at være drivkraften for udvaskning af affaldsstoffer i hjernen.

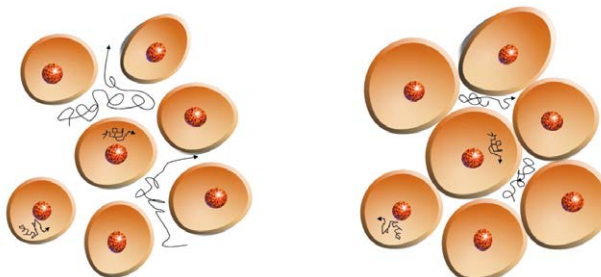


Illustration: Daniel Otykier

En illustration af hvordan hjernens celler skrumper under søvn for at gøre plads til bedre afløb af det “beskidte vaskevand”. Der er dog meget, vi endnu ikke forstår om denne mekanisme.

og klassifikationsmaskine. Denne “maskine” bruger meget energi (se punkt 1), men er succesfuld nok til at være prisen værd.

Med disse regler in mente kan vi nu gå videre. Vi begynder med søvn.

Søvnens biologiske funktion

Hjernen består af flere typer celler (ikke bare nerveceller), som alle er meget aktive og dermed bruger rigtig meget energi. Dette forbrug danner en masse affaldsstoffer. Hvis disse affaldsstoffer får lov at hobe sig op, forurener cellerne sig selv ihjel. Så hjernen har brug for at komme af med sit affald. Det sker ved, at affaldsstofferne skylles ud af kraniet af den væske (kaldet cerebrospinalvæske), som hjernen “svømmer” rundt i. Væsken fungerer blandt andet som et støddæmpningssystem, men har altså også den funktion at bære affaldsstoffer ud til lymfekirtlerne i halsen, hvor de overdrages til det almindelige lymfesystem. Et banebrydende studie fra 2013 viste, at hjernens celler skrumper en smule, når vi sover, og at udvaskningen

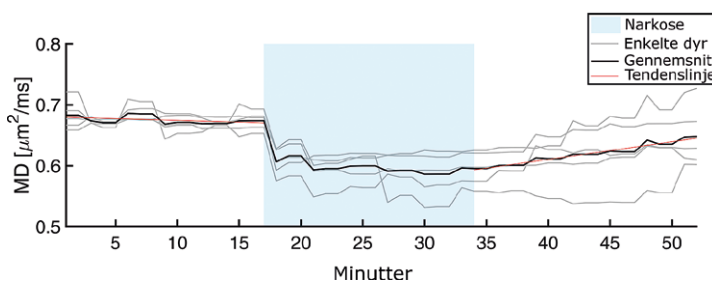
af affaldet derfor foregår mest effektivt, når vi sover.

Det er stadig uvist, om alle hjernens celler skrumper, når vi sover, om de skiftes til at skrumpes, eller om det kun er bestemte celletyper, der gør det. Nogle forskere er skeptiske overfor ideen om at mere affald vaskes ud, når vi sover, end når vi er vågne, men opdagelsen af et decideret system til håndtering af hjernens affaldsstoffer er meget spændende. Ikke mindst fordi et af de affaldsstoffer, hjernen skal af med, er såkaldt beta-amyloid, som ses ophobet i hjernen hos mange med Alzheimers sygdom. Ofte ses det tilmed, at disse patienter har opsøgt lægen 10-20 år, før de blev syge, fordi de har problemer med at sove.

Så måske opstår nogle hjernesygdomme, fordi vi gennem årtier sover for dårligt og dermed ikke får vasket hjernen nok. Det betyder også, at nogle hjernesygdomme måske kan undgås ved hjælp af medicin, som øger udvaskningen af affald fra hjernen i perioder med dårlig søvn.



Normalt skanner man forsøgsdyr under narkose, så de ligger stille under skanningen. I CFINs prækliniske MR-laboratorium får musene en lille holder sat på hovedet hvorefter vi træner dem i en lille MR-simulator (vist på billedet). Efter træning kan vi MR-skane musene mens de er vågne. På den måde kan vi studere hvad der sker i hjernen, når dyret kommer under narkose, og når det vågner op igen.



Kurven viser en række målinger af, hvor mobilt vandet i hjernens væv er i vågen tilstand, under narkose (det blå område), og når dyret vågner op igen. Vi kan se, at vandet bliver mindre mobilt (mere hæmmet i dets bevægelser) under narkose, og at det langsomt vender tilbage til normalt niveau, når dyret vågner. Det tyder på, at den type narkosegas, vi bruger, faktisk får hjernens celler til at svulme en lille smule op. I nuværende forsøg undersøger vi, om andre typer narkose har samme effekt. Note: MD står for "mean diffusivity" og er et mål for vandets diffusionshastighed.

Drømmenes biologiske funktion

Jeg nævnte tidligere, at hjernen er meget formbar. Det betyder, at områder af hjernebarken kan omfordeles til løsning af andre opgaver ved behov (for eksempel ved genoptræning efter et slagtilfælde), eller at nogle opgaver kan tildeles mere hjerneoverflade, hvis vi øver det intenst (for eksempel fingermotorik ved klaverspil). Dette blev meget tydeligt demonstreret i en række forsøg, hvor normalt-seende forsøgspersoner fik bind for øjnene og blev sat til at øve blindskrift. Mens forsøgspersonerne øvede sig, målte man på hjernens aktivitet. I begyndelsen af forsøget var der ingen aktivitet i synsbarken, da bindet for øjnene jo forhindrede synsindtryk. Efter cirka 45 minutter skete der dog noget: Fingerspidsernes berøring af blindskriften begyndte at aktivere synsbarken. Forklaringen er, at den nye opgave (blindskrift) var så krævende, at den ubrugte

synsbark blev inddraget til at støtte processen. Dette er smart, for så tildeles der ressourcer, hvor der er behov. Men det er dog meget kortsigtet, for forsøgspersonerne skal jo stadig kunne se efter forsøget.

Så hjernen er plastisk og "smidig", men forholder sig kun til "nu og her" i sin omfordeling. Dette eksperiment har senere inspireret et forskerhold i USA til at foreslå, at drømme har til formål at beskytte vores synssans, mens vi sover, ved at sørge for periodisk aktivering af den inaktive synsbark. På den måde er synssansen bevaret næste morgen, og vi slipper for at skulle træne synet op på ny hver dag. Det er en spændende teori, som forskerne kalder for "defensiv aktivisering". Teorien passer på mange måder med vores regler for hjernen ovenfor og forklarer også, hvorfor vores drømme primært er visuelle. Teorien er dog vanskelig at underkaste afprøvning i forsøg, men visse læsionsstudier støtter den.

Andre teorier om drømmes funktion er også blevet fremsat i de seneste år. Disse er meget inspireret af landvindinger indenfor kunstig intelligens (artificial intelligence, AI), hvor algoritmernes evne til at løse opgaver kan give ideer til, hvordan vores egen hjerne løser tilsvarende problemer. Teorier fra denne gren af forskningsverdenen beskriver drømmenes funktion som et simulationskammer, hvor vi trygt kan træne farlige og uventede situationer. Andre AI-inspirerede teorier foreslår, at drømme styrker hjernens evne til at klassificere ting ved at udfordre klassifikationen med underligt drømmeindhold (en form for støj eller det man kalder noise-injection).

Uanset, om fremtidig forskning be- eller afkræfter de her beskrevne teorier om søvn og drømmes biologiske funktion, vil sandheden nok vise sig at være mere kompliceret. Jeg forestiller mig nok nærmere, at søvn og drømme hver især udgør en lille schweizerkniv, hvor mange funktioner optræder side om side.

Søvnforskning og sygdom

Studier af biologien bag søvn er selvfølgelig ikke kun drevet af ønsket om grundlæggende erkendelser, men også af de mulige anvendelser – først og fremmest i form af ideer til nye behandlinger af sygdomme, hvor søvnproblemer kan spille en rolle. Det kan som nævnt være sygdomme som Alzheimers og Parkinsons, men også hjerte-kar-sygdomme og psykiatriske lidelser. Dårlig søvnkvalitet øger risikoen for sygdom, og øget drømmeaktivitet (især mareridt) kan være et symptom på psykologiske eller psykiatriske lidelser eller tidlig Parkinsons. Så måske kan en bedre forståelse af drømme og søvn i REM-fasen også forbedre vores evne til at fange tidlige sygdomstegn.

Jo mere vi forstår om søvn og drømmes biologiske funktion, og hvordan det spiller sammen med udvikling af sygdom, des bedre er vi rustet til at kunne forebygge og behandle disse sygdomme. ■

Videre læsning:
Generelt om søvn: Matthew Walker: Derfor sover vi. Gyldendal (2019).

Om udvaskning af affald under søvn: Maiken Nedergaard: Garbage Truck of the Brain. Science. 2013 Jun 28; 340(6140): 1529–1530.

Modsagt i dette studie: "Brain clearance is reduced during sleep and anesthesia" af Andawei Miao og kolleger i Nat Neurosci (2024). doi.org/10.1038/s41593-024-01638-y

Om "defensiv aktivisering": DM Eagleman og DA Vaughn: The Defensive Activation Theory: REM Sleep as a Mechanism to Prevent Takeover of the Visual Cortex. Front. Neurosci., Sec. Systems Biology Archive. doi.org/10.3389/fnins.2021.632853

Rasmus Knoppe og Brian Hansen: Locus coeruleus and the defensive activation theory of rapid eye movement sleep: A mechanistic perspective. Front. Neurosci., 23 February 2023 Sec. Sleep and Circadian Rhythms. doi.org/10.3389/fnins.2023.1094812

B Hansen, SN Jaspersen: Vandets tumlen giver viden om hjernen. Aktuell Naturvidenskab 2007, nr. 1, 10-13.

DINE ELEVER KAN PRØVE DRØMME- UDDANNELSEN

Send dine elever i
studiepraktik
på AU i uge 43

I studiepraktik oplever man, hvordan det er at være studerende på Aarhus Universitet.

Man får et realistisk indblik i den valgte uddannelse, og man møder studerende, der er klar til at dele deres oplevelser.

Tilmelding foregår på studiepraktik.dk



AARHUS UNIVERSITET



FORELSKELSEN

Hvad er det egentlig, der sker i vores hjerne, når vi bliver forelskede? Det fortæller den nyslåede student Tilde Aborg Weje om i denne prisvindende artikel.

Om forfatteren



Tilde Aborg Weje er student fra Tradium HTX med studieretningsfagene bioteknologi A og matematik A. Tilde har gennem sin uddannelse på HTX fundet en særlig interesse i at forstå hjernens kemi, og denne populærvidenskabelige artikel giver læseren et lille indblik i en kemi, mange af os har stiftet bekendtskab med. Artiklen bygger på Tilde Aborg Wejes studieområdeprojekt (SOP) i gymnasiet. Opgaven er skrevet i fagene bioteknologi A og dansk A. tilde.aborg.weje@outlook.dk

THUD! Du er ramt! Amors pil sidder dybt i dit hjerte, og du kan ikke få den ud. Hvordan det gik til, er ligegyldigt, men nu er du forelsket. Når du er sammen med din elskede, føler du dig varm, fjollet og heldig i vedkommendes nærvær. Du kan ikke forstå, hvor heldigt det var, at du fandt lige din sjæleven, og du takker hver dag skæbnen.

Meeeen..... der må denne artikel så nok være den trælse veninde, der brister din lyserøde boble. For skæbne og Amor har slet ikke noget med din forelskelse at gøre. I stedet har din hjerne besluttet, at du mangler noget i dit liv. Du har måske haft en lidt mut periode med vinterdepression eller stress. Og så når solen, foråret og livet vender tilbage omkring dig, vågner de mere primitive dele af din hjerne (det sympatiske nervesystem) og beslutter, at nu skal du ud af din slummer. Din hjerne frigiver en lille dosis "kærlighedshormon" – oxytocin – som gør, at du får mere lyst til at

mingle. Og hver gang du så har en positiv social relation, belønner din hjerne dig med dopamin, som gør, at du vil have flere interaktioner. Og lige så stille, uden at du nødvendig-

vis opdager det, bliver du fyldt med dopamin, endorfiner, serotonin og oxytocin. En dag møder du så en person, du finder attraktiv, som får din hjerne til at frigive lutropin og te-

Blomster og fuglefløjt fører til forelskelse

Du har måske lagt mærke til, at mange dyr bliver meget "glade" for hinanden i løbet af foråret. Din kat er måske meget på tur rundt i nabolaget, eller fuglene i haven flakser om hinanden. Denne forøgede lyst til at reproducere er ikke reserveret dyrene. Vi mennesker bliver nemlig også ekstra friske, når vinteren går på hæld. Det skyldes, at vores krop, og særligt hjerne, registrerer den nye sæson og begynder at producere mere af hormonet lutropin, som også kaldes "formingsbrændstoffet". Dette stof øger produktionen af testosteron hos mænd og udløser ægløsning hos kvinder. Målinger viser, at mængden af lutropin øges cirka 20% hos mennesker i forårsmånederne.

stosteron, og bum: Du er forelsket!

Så enkelt er desværre ikke helt. At blive forelsket er en kompliceret kemisk proces, som videnskaben endnu ikke har luret helt præcist.

“Love on the brain”

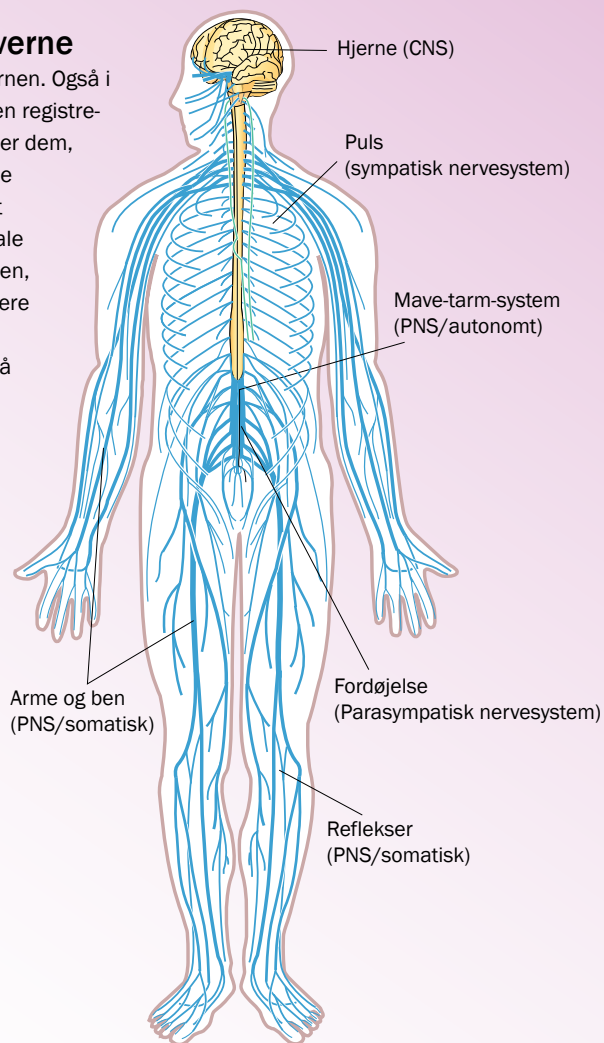
Som du sikkert ved, er der forskel på, hvordan man elsker sin familie og på, hvordan man elsker sin kæreste. Det er fordi en forelskelse kræver tre mål, for at være en seksuel, romantisk forelskelse. Disse mål er at få opfyldt seksualdriften, følelsen af binding til et andet menneske samt glæde. Det er mål, som din hjerne og krop stræber efter og som opnås ved at regulere, hvilke stoffer der frigøres, og i hvor store mængder. Mennesker er dyr. Og derfor er vi pålagt de samme naturlove, som alle andre dyr. Mennesker har en grundlæggende trang til at reproducere. Derfor udskiller hjernen stoffer, der både giver lyst til og belønner parring. Især kønshormonerne lutropin og testosteron er vigtige i dette mål. Lutropin fremmer kvinders ægløsning og lyst til samleje. Testosteron fremmer både mænds og kvinders lyst til at reproducere. Under en forelskelse har mennesker disse stoffer i en større koncentration.

Føler du dig tæt på din partner?

Når hjernen bliver forelsket, er følelsesmæssig kontakt og forbindelse, det der skiller en attraktion og en ægte forelskelse. Den forelskede hjerne udskiller stoffer, der binder mennesker sammen, når en følelsesmæssig kontakt finder sted. Denne følelsesmæssige kontakt bliver i daglig tale kaldt kærlighed, men bagved ligger nogle komplekse stoffer, vi mennesker bruger til at selekttere, hvilke personer vi skal beskytte. Her kommer “kærlighedshormonet” oxytocin i spil. Dette stof produceres i hypothalamus og udskilles ved følelsesmæssig kontakt mellem to eller flere mennesker. Det kan ske, når vi bliver ophidsede af en seksuel partner, krammer en vi stoler på, putter med en partner eller synger i en gruppe. Når oxytocin bliver frigivet, skaber det

Forelskelse går dig på nerverne

Forelskelse er ikke kun et fænomen i hjernen. Også i menneskers nervesystem kan forelskelsen registreres. Du har nerver i hele kroppen, og det er dem, der blandt andet gør, at du kan bruge dine sanser og mærke smerte. Nervesystemet opdeles typisk i to dele, nemlig det centrale nervesystem (CNS), som er nerver i hjernen, hjernestammen og ryggraden, og det perifere nervesystem (PNS), som er alle de andre nerver i kroppen. Nervesystemet kan også inddeles i det somatiske (bevidste) og autonome (ubevidste) nervesystem. Det autonome nervesystem kan yderligere inddeles i det sympatiske nervesystem, som er dit “flygt-eller-kæmp-system”, der aktiveres i stress-situationer, og i det parasympatiske nervesystem, der omvendt er aktivt, når du er afslappet.



en følelse af velbehag, ro og øget tillid, som er vigtig i det langvarige forhold, når den intense følelse af forelskelse er gået over. Undersøgelser har vist, at mænd i forhold, som altså har højere koncentrationer af oxytocin end singlemænd, holder en større afstand til kvinder, der ikke er deres partner. Stoffet kan altså hjælpe med at sikre monogami hos mænd, hvilket er vigtigt for overlevelsen af fremtidige menneskebørn, der i modsætningen til andre dyreunger er meget skrøbelige og uselvstændige i deres første leveår, og derfor har brug for flere omsorgsgivere.

Du gør mig så lykkelig!

Det sidste mål, den forelskede hjerne stræber efter, er glæde. Her er der tre typer stoffer, der dominerer: Endorfiner, dopamin og serotonin. Det er klart, at det er fordelagtigt for mennesker at blive forelskede. Det er godt for vores velfærd og for vores muligheder for at reproducere. Det er derfor smart, at hjernen belønner forelsket adfærd, så indivi-

Fremtidens kærlighedseliksir

I fremtiden ved forskerne måske så meget om forelskelse, at de kan skruer op og ned for den. Det kan for eksempel være ved hjælp af den perfekte cocktail af oxytocin, dopamin og serotonin samt den hemmelighed, vores hjerne endnu ikke har afsløret for os. Hvis du så for eksempel har mistet følelserne for din partner, eller bare går og føler dig alene og ensom – så vil du kunne få medicin, som gør dig frisk, forelsket, glad og lykkelig. Eller du ville efter hjertesorg kunne tage en pille, der hurtigere gør dig glad igen. Ville en sådan “forelskelse-tænd/sluk-kontakt” give dig meget mere kontrol over dig selv og dine valg? Og dermed give dig mere frihed? Det er et godt spørgsmål!





Den forelskede hjernes stoffer

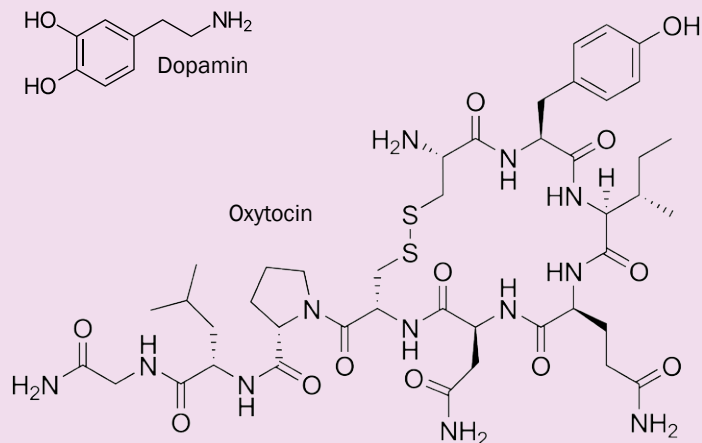
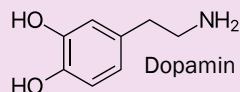
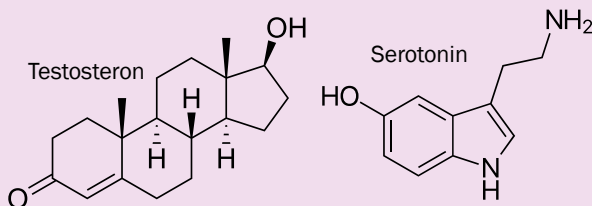
Negative effekter

Lutropin og testosteron kan gøre individet irriterbart og i nogle tilfælde aggressivt, hvis behovet for sex ikke bliver mødt.

Dopamin og endorfiner er vanedannende, men ikke altid på en sund måde. For eksempel er endorfiner en form for morfin, og ved for meget spænding eller ekstrem sport kan man, lige som ved indtagelse af opioidet morfin, skade hjernen og det centrale nervesystems nerveceller. Dopamin er også vanedannende og kan være farligt hvis den dopaminudløsende aktivitet er skadelig. For eksempel overspisning, voldsom porno eller kokain. Uden balance kan man overstimulere kroppen og hjernen.

Oxytocin kan give individer med tendens til mindre tillid, social angst eller aggressivitet endnu større risiko for at udøve vold mod deres partnere. Oxytocin kan sammenlignes med alkohol i forhold til korrelation mellem mængde og adfærd.

Serotonin kan føre til, at man bliver besat af sin partner, så man ikke kan tænke på andet.



Positive effekter

Lutropin og testosteron gør dig mere sexlysten, og sex giver dig et bedre immunforsvar, bedre søvn, lavere blodtryk og mindre stress. Sex kan selvfølgelig også føre til børn, som er smart biologisk set.

Dopamin og endorfiner øger indlæringssevnen, fysiske og psykiske funktioner, øger styringen af bevægelse, tankevirk-somhed og hukommelse, samt mindsker stress og smerte og forøger følelsen af lykke og eufori.

Oxytocin giver en større følelse af fællesskab, empati, medfølelse og kærlighed. Man bliver mere generøs, har nemmere ved at danne bånd med andre og bliver bedre til at dæmpe stress, frygt og angst.

Serotonin gør en mere glad og giver en større lykkeførelse. Man bliver mindre tilbøjelig til at få en depression.

Artiklen er en redigeret udgave af artiklen, som vandt førsteprisen i Willers-konkurrencen 2024.

Willers-konkurrencen præmierer de bedste formidlingsartikler af SRP/SOP-opgaver, der analyserer naturvidenskabelige og/eller teknologiske problemstillinger i et historisk, samfundsfagligt eller formidlingsperspektiv.

Willers-konkurrencen er lavet i et samarbejde mellem Willers Legat, Akademiet for Talentfulde Unge, Aktuel Naturvidenskab, Center for Videnskabsstudier ved Aarhus Universitet, og Institut for Naturfagenes Didaktik ved Københavns Universitet.

det får lyst til at gentage adfærden. Det gør hjernen ved hjælp af et belønningssystem, der findes i det limbiske system. Det er den del af hjernen, der styrer følelser og lyster og derfor også, hvor glad du er, når du er forelsket.

Fnisende forelsket

Endorfiner er morfinlignende stoffer, så de er smertestillende og giver en følelse af velbehag, når de frigøres til det perifere nervesystem, altså den del af nervesystemet, der ikke er din hjerne og rygrad. De frigøres ved hård motion, sex, meditation, musik og latter. Ud over at hæmme smertesignalerne til din hjerne, hæmmer de også en neurotransmitter (signalstof), der hedder GABA. Og det medfører en større produktion af neurotransmitteren dopamin, som har en central rolle i hjernens belønningssystem.

Dopaminudskillelse aktiveres af mange forskellige ting, men især af ting kroppen finder behageligt. Det kan for eksempel frigives, når vi er sammen med, eller bare tænker på, den person, vi er forelskede i. Når vores adfærd belønnes af hjernen, sendes et dopaminsignal ned gennem rygraden i det centrale nervesystem og ud til det perifere. Det aktiverer nervecellerne i kroppen, hvilket giver en behagelig følelse.

Det sidste stof i denne historie er serotonin, som også er en neurotransmitter. Man ved endnu ikke så meget om, hvordan serotonin virker. Men man ved, at serotonin er med til at styre stress, frygt og angst, samt lykkefølelse og glæde. Man ved også, at serotonin er afhængig af mængden af sollys, hvilket både forklarer, hvorfor man kan få en

vinterdepression og er gladere, når det bliver forår. Ydermere kan man måle forelskelsens længde på serotoniniveauet. Der er en tydelig forskel på serotoninkoncentrationen for personer, der er forelskede og personer, der ikke er. Hos mænd falder koncentrationen, når de bliver forelskede, hvor den omvendt stiger hos kvinder. Hos mændene resulterer dette fald i serotoninkoncentrationen i, at deres tanker bliver "besat" af den person, de er forelskede i (så de tænker på vedkommende i op til 65% af deres vågne timer). Det medvirker også til at øge monogamien hos forelskede mænd.

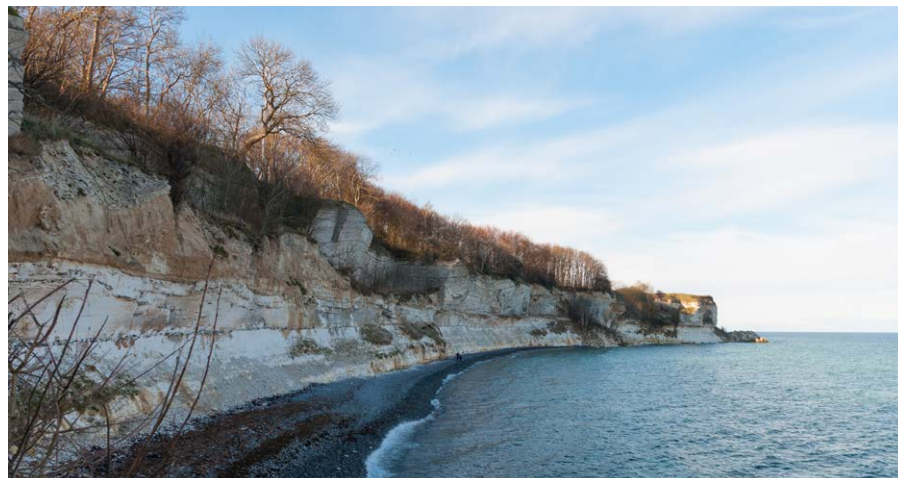
Fælles for begge køn er dog, at når serotoniniveauet bliver normalt igen, er nyforelskelsen ovre. Og da kan en mere langvarig kærlighed (grundlagt af oxytocin) tage over. ■

Ruthenium sladrer om meteoritnedslag

Siden 1980 har en dominerende teori for, hvad der gjorde det af med dinosaurerne samt en stor del af verdens øvrige liv for 66 millioner siden, været, at det skyldtes et kæmpestort meteoritnedslag. Selve nedslagspunktet er siden også blevet identificeret i form af et stort, nu begravet kæmpekrater i den Mexicanske Golf, kaldet Chicxulub-krateret.

Men hvad var det egentlig for et objekt, der ramte Jorden dengang, og hvor kom det fra? De fleste forskere har gennem tiden hældet til, at meteoritten var en asteroide fra vores eget Solsystem. Der er også den mulighed, at objektet stammede fra en komet. Således argumenterede et studium publiceret i *Scientific Reports* i 2021 for, at meteoritten kunne stamme fra opbruddet af en lang-periodet komet (dvs. en komet med en kredsløbsperiode på mere end 200 år).

Nu har et internationalt forskerhold ledet af Mario Fisher-Gödde fra Universitet i Köln kigget nærmere på den kemiske signatur af isotoper af metallet ruthenium i prøver fra forskellige lokaliteter relateret til nedslags-



Stevns Klint på Sjælland. Foto Colourbox.

tidspunktet, herunder fra Stevns Klint på Sjælland. Forskerne fokuserede på ruthenium, fordi det er ekstremt sjældent i bjergarter på Jorden, mens asteroider har karakteristiske blandinger af forskellige isotoper af ruthenium, afhængig af, om de kommer fra det ydre eller indre Solsystem. Forskerne konkluderer, at fordelingen af ruthenium-isotoper i deres prøver matcher den fra de primitive kulstofholdige asteroider fra det

ydre Solsystem (kaldet C-type asteroider). Derimod passer den ikke på de silicium-rige asteroider fra det indre Solsystem eller på kometer.

I studiet deltog også Martin Bizzaro fra Globe Institutet ved Københavns Universitet.

CRK, Kilde: Science. DOI: 10.1126/science.adk4868

Ny bachelor på SDU

Kunstig intelligens

Er du nysgerrig på optimering, logik, maskinlæring, programmering, etik, algoritmer og matematik?

Med en bachelor i Kunstig intelligens fra Syddansk Universitet får du kompetencer, som allerede nu er efterspurgt i virksomheder og organisationer i Danmark og udlandet.

Du behøver ikke at kunne programmere, når du starter på uddannelsen. Du skal bare have interesse i at lære det, ligesom du skal have flair for at tænke logisk og matematisk.

Læs mere om uddannelsen på sdu.dk/kunstig-intelligens

GEOLOGISKE MINERALFOREKOMSTER

og den grønne omstilling

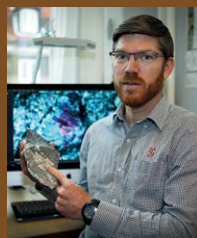
En "black smoker" på havbunden - findes typisk ved de såkaldte midtoceanrygge. De er en kilde til økonomisk interessante mineralforekomster.

Foto: MARUM – Zentrum für Marine Umweltwissenschaften, Universität Bremen/CC BY 4.0 Deed



Behovet for råstoffer – især metaller – til brug i grønne teknologier kommer til at betyde mere minedrift i fremtiden. Her får du et overblik over, hvordan forskellige typer af geologiske mineralforekomster dannes.

Forfatteren



Kristoffer Szilas er lektor ved Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning, Københavns Universitet. Hans forskning tager udgangspunkt i Grønlands geologiske udvikling, der spænder over 3800 millioner år. I sin forskning har han undersøgt alt fra forekomster af rubiner og guld til krom, nikkel og også industrielle mineraler som olivin og plagioklas. krsz@ign.ku.dk

Visionen om, at menneskeheden skal frigøre sig fra brugen af fossile brændstoffer og gennemføre en "grøn omstilling" repræsenterer måske menneskehedens mest ambitiøse projekt til dato. For det indebærer en gennemgribende transformation af vores samfund på mange planer.

De hastige klimaforandringer understreger den umiddelbare nødvendighed af et skifte væk fra fossile brændstoffer. Men det er også drevet af mere strategiske interesser i at gøre energiproduktionen mindre afhængig af lande, man måske ikke sympatiserer med. Den store udfordring er at sikre en tilstrækkelig mængde sikker, prisvenlig og ren energi baseret på vedvarende energikilder. Det kan vi kun opnå gennem en effektiv og

bæredygtig udnyttelse af de nødvendige naturressourcer.

Metaller udgør fundamentet for teknologierne bag produktionen af vedvarende energi, hvad enten det drejer sig om vind- og vandkraft, solcelleanlæg, eller de metalkatalysatorer, der anvendes i fremstillingen og afbrændingen af biobrændsel.

Dermed er en forudsætning for den grønne omstilling, at vi har adgang til de nødvendige metaller, hvilket igen forudsætter minedrift. Det er en ofte overset præmis i diskussionen om fremtidens fossilfrie samfund.

Grøn omstilling kræver mere minedrift

Selvom vi konstant bliver bedre til at genbruge elektronik og genanvende metaller, kan dette alene

ikke tilfredsstille den fremtidige efterspørgsel. For eksempel kræver elektriske køretøjer i dag i gennemsnit seks gange den mængde metaller, der bruges i konventionelle biler alene til produktionen af selve køretøjet og dets batteri. Men til elektriske biler bruges også en række metaller, der ikke er nødvendige i konventionel teknologi, for eksempel litium, nikkel, kobolt samt de sjældne jordartsmetaller. Hvis elbiler skal erstatte traditionelle benzinbiler på global skala, indebærer det nødvendigvis en udvidelse af minedriften for at få adgang til disse nye metaller.

En konkret udfordring i den sammenhæng er, at både antallet af nyopdagede mineralforekomster og deres malmkvalitet er faldende. Potentielt kan det true vores evne

til at imødekomme den stigende efterspørgsel på metaller.

Disse såkaldte kritiske metaller udvindes fra naturligt dannede mineralforekomster eller hvad geologer betegner malme.

Geologien bestemmer minepotentialet

Minedrift har udgjort et fundament for vores samfund i tusinder af år. I jernalderens Danmark blev der smeltet myremalm fra omkring 500 år før vores tidsregning, og mange tusinde år tidligere var Cypern knudepunktet for de kobberforekomster, der dannede grundlaget for bronzealderen omkring Middelhavet.

Minedrift tager udgangspunkt i geologiske materialer/bjergarter, hvor koncentrationen af værdifulde metaller og/eller mineraler er så høj, at det kan betale sig at udvinde dem. Sådanne profitable mineralforekomster dannes gennem forskellige geologiske processer over tusinder eller millioner af år. Hvordan mineralforekomsterne dannes, og hvor man finder dem i dag, afhænger af en række specifikke forhold, herunder temperatur, tryk, kemisk miljø og bevægelsen af tektoniske plader.

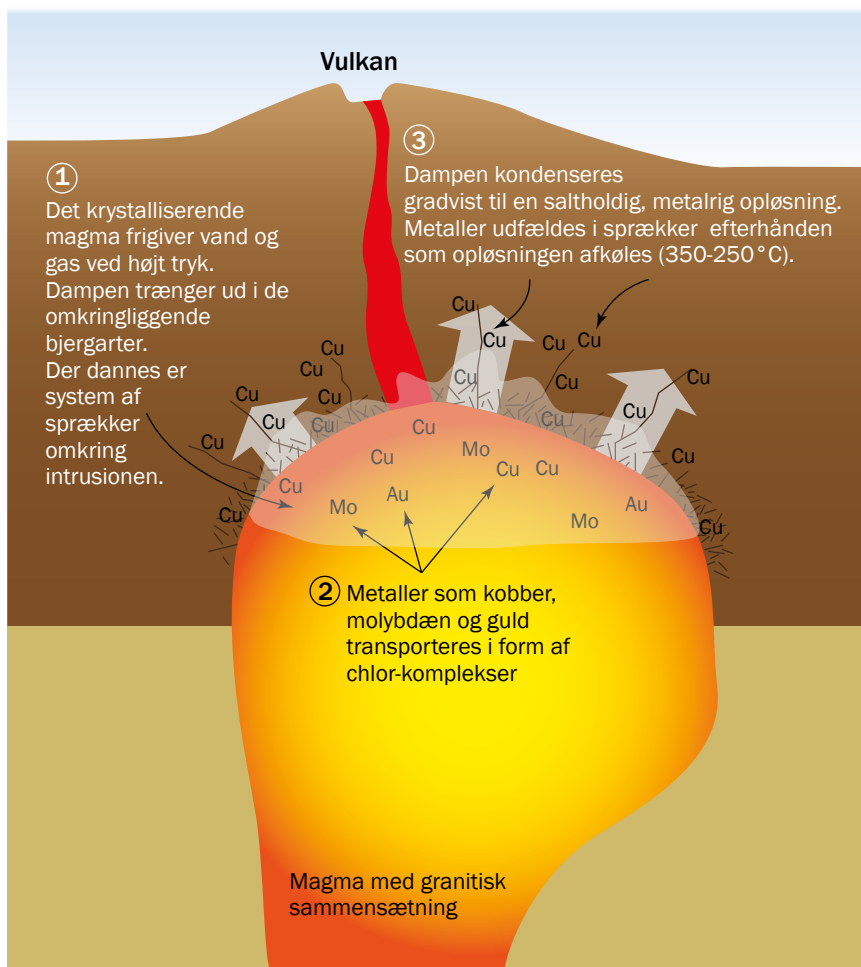
Overordnet skelner man mellem tre typer af mineralforekomster ud fra den måde, de er dannet på:

- (1) magmatiske forekomster,
- (2) hydrotermale forekomster og
- (3) sedimentære forekomster.

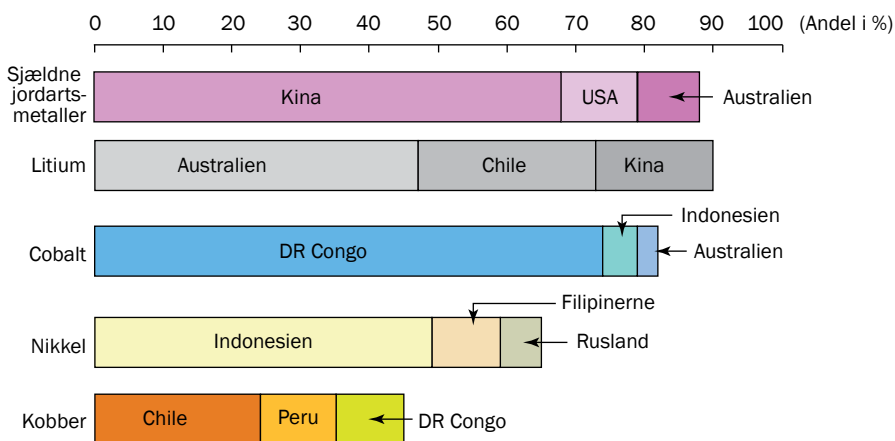
I praksis vil den enkelte mineralforekomst dog være resultatet af flere forskellige processer, og der er tale om et kontinuerligt spektrum mellem disse tre overordnede typer af geologiske dannelsesmiljøer.

Typer af mineralforekomster

Magmatiske forekomster dannes ud fra magma (det vil sige smeltet stenmasse) dybt nede i Jorden. Når magma nedkøles, udkrystalliseres mineraler fra magmaen i takt med, at temperaturen kommer under disse mineralers smeltepunkt. Dette kaldes magmatisk diffe-



Figuren viser skematisk, hvordan porfyrtype kobberforekomster dannes. Når en stor mængde magma trænger op i ovenliggende bjergarter, kaldes det på fagsproget en intrusion.



Figuren viser de tre største producenter af en række vigtige råstoffer i verden. Hvis man ser på, hvor i verden den første forarbejdning af de selvsamme råstoffer finder sted, vil Kina i alle de viste tilfælde komme ud som den største.

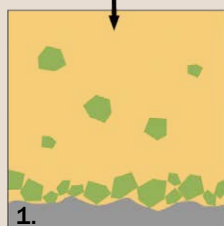
Kilde: IEA, Critical Minerals Market Review 2023.

rentiering, fordi magmaen skifter kemisk sammensætning, efterhånden som mineraler med de højeste smeltepunkter udkrystalliseres fra den. Denne destillationsproces kan føre til, at værdifulde

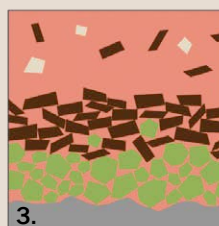
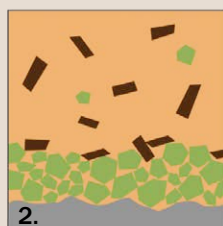
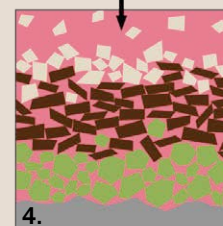
mineraler med for eksempel krom, platin eller nikkel bliver koncentreret i bestemte zoner.

Hydrotermale forekomster dannes ud fra mineraler opløst i varmt vand

Magmaet har sammensætning A



Magmaet har nu sammensætning B

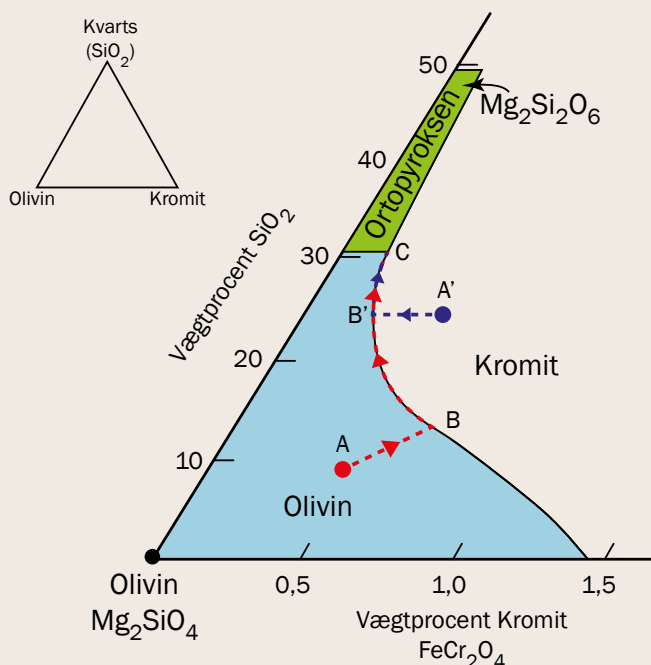


1200 °C

Afkøling

600 °C

Figuren viser skematisk, hvordan forskellige mineraler i et magma udkrystalliserer af den smeltede stenmasse og synker ned på magmakammerets bund i en rækkefølge bestemt af deres smeltepunkt. Sådan kan der opstå en lagdeling af det størknede magma, hvor økonomisk interessante mineraler findes i bestemte lag. Illustration: Woudloper/CC BY-SA 3.0



Fasediagram

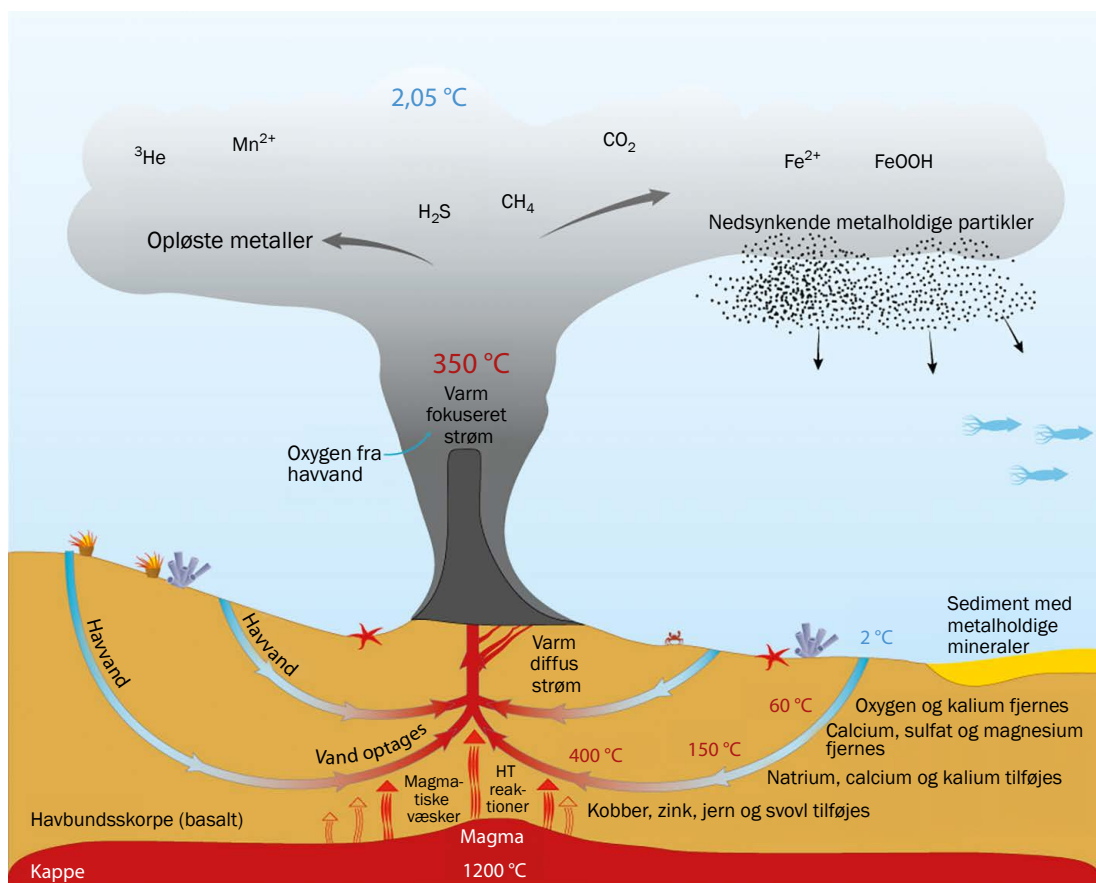
Et magma vil i udgangspunktet have en kemisk sammensætning bestemt af det geologiske miljø, det er opstået i. Krystalliseringsrækkefølgen af mineralerne kan anskueliggøres ved hjælp af et såkaldt fasediagram, hvor magmaets vigtigste komponenter placeres i hvert sit hjørne af en trekant (hvor hvert hjørne svarer til 100 vægtprocent af det pågældende mineral). Hvis magmaet i udgangspunktet har sammensætningen A, vil det starte med at krystalliserer olivin, og sammensætningen af magmaet vil bevæge sig mod punkt B. Ved B begynder magmaet også at krystalliserer kromit, men kun i ganske små mængder (cirka 1 vægtprocent) og kan derfor ikke blive økonomisk interessant. Efterhånden som magmaet krystalliserer olivin bliver magmaet gradvist mere rigt på SiO_2 og når et punkt ved C, hvor olivin ikke længere er stabilt, så der i stedet krystalliseres mineralet ortopyroksen.

A' viser et eksempel, hvor magmaet er blevet "forurenset" med SiO_2 for eksempel ved at det er blevet blandet med et andet magma. Her er udgangspunktet flyttet ud i det felt, hvor der i starten udelukkende krystalliseres kromit, indtil den kemiske sammensætning når punktet B'. På den måde kan der dannes en økonomisk interessant forekomst af kromit.

(150-600 °C). Denne mineralrige væske kan udfælde mineraler, når den køler ned eller reagerer med de omkringliggende bjergarter. Disse forekomster er typisk forbundet med vulkansk aktivitet. Et eksempel er kobberforekomster af porfyrtypen, som dannes i områder med vulkansk aktivitet, hvor hydrotermale processer udfælder kobber i de omkringliggende bjergarter. Et andet eksempel er guld-sølvforekomster, som også er relaterede til vulkansk aktivitet, men i lavere dybder og ved lavere temperaturer end porfyriske forekomster.

Sedimentære forekomster dannes ved aflejring af mineraler, for eksempel i en flod eller på havbunden. Det klassiske eksempel er, når tunge mineraler som guld koncentrerer af vandets bevægelse på bunden af en flod, hvor det kan findes ved hjælp af en "guldvasker". Sedimentære forekomster kan også dannes ved forvitring af bjergarter, hvor de letopløselige komponenter fjernes, og værdifulde mineraler koncentrerer i den resterende jordbund. Det gælder for eksempel den primære kilde til aluminium kaldet bauxit, der dannes ved intens forvitring af bjergarter under tropiske forhold, hvilket efterlader aluminiumrige mineraler.

Båndede jernformationer (*banded iron formation* eller BIF på engelsk), er også et prominent eksempel på



Black smokers findes i stort tal på havbunden langs de såkaldte midtoceanrygge, hvor ny havbund dannes og spredes i en proces, hvor magma strømmer op fra Jordens kappe. Figuren viser, hvordan cirkulerende vand i undergrunden medfører, at der dannes et sediment rigt på metalholdige mineraler omkring en black smoker. Det er et eksempel på en såkaldt hydrotermal mineralforekomst. Illustration: GRID-Arendal/CC BY-NC-SA 2.0 Deed/www.grida.no/resources/8166

en sedimentær forekomst. Disse er lagdelte kemiske sedimenter af jernmineraler, som er dannet på bunden af gamle oceaner.

Det er også værd at nævne såkaldte evaporitter, der dannes ved fordampning af havvand. Fordampningen efterlader aflejringer af salt (NaCl – når salt bliver til en hård bjergart kaldes den stensalt eller halit), gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) og eventuelt litiumrige mineraler.

Uligevægte skaber de magmatiske mineralforekomster

Verdens måske vigtigste magmatiske mineralforekomst er Bushveld-komplekset i Sydafrika. Den er dannet ud fra en kolossal mængde magma, der trængte op i jordens skorpe fra lag dybere nede for omkring 2 milliarder år siden. Efterhånden som magmaet afkølede, krystalliserede forskellige mineraler,

som blev aflejret på magmakammerets bund. I takt med dette ændrede den kemiske sammensætning af den resterende magma sig.

Den store mængde magma og den høje temperatur gjorde, at en del af de omgivende bjergarter smeltede og blandede sig med magmaet. Dette ændrede igen den kemiske komposition af magmaet, som fik et højere indhold af især silicium, hvilket havde indflydelse på den rækkefølge, som mineraler blev udkrystalliseret fra magmaen.

Man mener således, at denne form for "forurening" og deraf følgende uligevægt af magmaen kan forklare, hvorfor der opstod horisonter på bunden af magmakammeret, der var særligt berigede i det økonomisk interessante mineral kromit (FeCr_2O_4), hvorfra man kan udvinde metallet krom (Cr).

Ikke nok med, at disse lag er rige på krom, de indfanger typisk også små dråber af platin-gruppe-metaller som mikroskopiske inklusioner i de enkelte krystaller af kromit. Det medfører, at platin og især palladium kan optræde som biprodukter ved forarbejdningen af kromitmalmen fra for eksempel Bushveld, hvilket kan være en vigtig faktor for, hvorvidt en malmforekomst er økonomisk rentabel.

En anden vigtig geologisk proces, der kan opstå i forbindelse med forurening af et magma, er mætning med svovl. Det kan enten ske ved blanding af to typer magma, hvormed blandingsproduktet bliver overmættet med svovl, eller det kan ske ved, at de omkringliggende bjergarter er naturligt rige på svovl, fordi de indeholder svovlholdige mineraler. Begge mekanismer kan føre til, at magmaets evne til at



Ved Sudbury i Canada findes et af verdens største minekomplekser. Her udvindes primært nikkel og kobber, men også guld, sølv og platingruppe-mineraler. Forekomsterne ved Sudbury er et prominent eksempel på en såkaldt sulfidmineralisering.

Foto: Mysudbury.ca
Ouisudbury.ca/wikimedia commons/CC BY 2.0
DEED

opløse svovl overskrides, og at der opstår en selvstændig blanding af svovl og metaller såsom jern, kobber og nikkel. Ved afkøling vil denne blanding danne dråber af svovlholdige mineraler (sulfider), der enten kan "regne" ned på bunden af magmakammeret, eller de kan blive transporteret i turbulent strømning til andre niveauer i magmakammeret. Hvis der sker akkumulation af disse dråber, danner det en såkaldt sulfidmineralisering, som ofte er kraftigt beriget i nikkel, kobber og platin-gruppe metaller. Et godt ek-

sempel på dette findes ved Sudbury i Canada, hvor der har været minedrift siden 1884.

Både kromitforekomsterne i Bushveld og sulfidmineralisering i Sudbury viser, at man overordnet kan se magmatiske mineralforekomster som værende en konsekvens af uligevægte.

Aktive mineralforekomster på havbunden

Det bedste eksempel på hydrotermale mineralforekomster er såkaldte vulkanogene massive sulfidforekomster, som danner grundlag for minedrift af kobber, zink og bly. De historiske kobberforekomster på Cypern er netop af denne type.

Vulkanogene massive sulfidforekomster er faktisk dannet ved en aktiv geologisk proces, vi kan observere lige nu og her på havbunden. Det foregår i geologiske miljøer med vulkansk aktivitet på grund af spredningen af de tektoniske plader – for eksempel langs de såkaldte midtoceanrygge.

Spredningen af de tektoniske plader skaber sprækker i havbunden, som består af bjergarten basalt. Havvand siver ned i disse sprækker og dybere ned i jordskorpen, hvor det bliver varmet op på grund af den underliggende magma. Det varme, saltrige havvand er i stand til at opløse metaller såsom kobber,

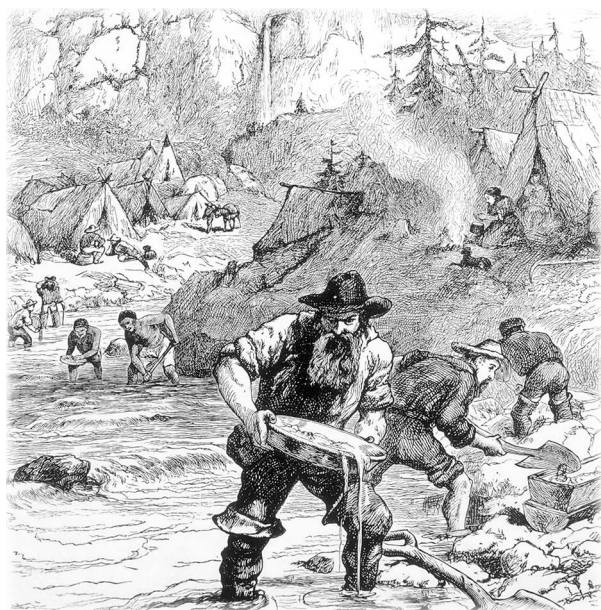
zink, bly og jern fra de omkringliggende basaltiske bjergarter i form af chloridkomplekser. På den måde kan vandet opnå en høj koncentration af opløste metaller og sulfider. Når det varme og metalberigede vand stiger op mod havbunds-overfladen igen og strømmer ud i det kolde havvand, medfører den drastiske temperaturforskelle, at de opløste mineraler udfældes fra opløsningen. Der, hvor vandet strømmer ud på havbunden, opstår søjler – såkaldte "smokers". *Black smokers* udsender mørkere partikler på grund af det høje sulfidindhold, mens *white smokers* udsender mineraler med lysere farver, som typisk er kalciumsulfater. Omkring smokerne udfældes sulfidmineralerne og akkumuleres på havbunden. Over tid kan det vokse sig til betydelige forekomster.

De udfældede mineraler inkluderer blandt andet det jernholdige mineral pyrit (FeS_2), chalcopyrit (CuFeS_2), som både indeholder kobber og jern, sfalerit (ZnS), der indeholder zink samt galena (PbS), der indeholder bly.

Geologiske processer, såsom kollision mellem de tektoniske plader, har løftet nogle af disse oprindelige havbundsforekomster op over havniveau og dermed gjort dem tilgængelige for minedrift. Vulkanogene massive sulfidforekomster giver dermed et unikt indblik i det komplekse samspil mellem geologiske, kemiske og fysiske processer, der forekommer på havbunden og ellers kun kan observeres med undervandsfartøjer.

Havbunden som en mineralressource

Af andre mineralforekomster, som aktivt dannes på havbunden, kan man nævne de efterhånden meget omtalte manganknolde. Disse dannes ved kemisk udfældning i koldt vand, og det tager mange millioner år at danne en økonomisk interessant koncentration i form af knolde på havbunden. En mere korrekt betegnelse for disse manganknolde er polymetalliske noder, fordi



Et klassisk eksempel på en sedimentær mineralforekomst er guld på bunden af en flod. Her bliver guldet koncentreret bestemte steder, fordi det er tungere end andre partikler, der aflejres på bunden. Sådanne forekomster var en anledning til den "guldfeber", der blandt andet rasede i Californien i midten af 1800-tallet. Foto: Shutterstock

de udover mangan og jern som de primære metaller, også indeholder betydelige mængder af nikkel, cobalt og kobber. Dermed repræsenterer de en fænomenal kombination af mange af de metaller, som der vil være stor efterspørgsel på til mange grønne energiteknologier. Fordelen ved disse forekomster på havbunden er, at man kan bruge 100 % af materialet fra disse polymetalliske noder og dermed ikke får problemer med en stor mængde mineaffald, der skal skaffes af vejen. En anden fordel er, at man ikke påvirker lokalbefolkninger, som det er tilfældet med de fleste miner på landjorden.

Til gengæld er det store spørgsmål i hvilken grad minedrift på havbunden vil påvirke livet i dybhavet og i havet generelt, fordi der vil blive hvirvlet mudder op i vandsøjlen, som potentielt kan sprede sig over store afstande. Dette er naturligvis noget, der undersøges på højtryk og kan blive afgørende for, om denne enorme ressource kan udnyttes i fremtiden.

Jordbund som kilde til metaller

Når tektoniske processer bringer bjergarter op over havniveau, sker der en naturlig nedbrydning af disse, når de udsættes for vej og vind. Dette går særlig hurtigt i tropiske egne, fordi temperaturen har betydning for de processer, der eroderer og forvitrer bjergarter.

I forbindelse med nedbrydningen af de oprindelige mineraler udvaskes mobile grundstoffer som magnesium, calcium og natrium. Når visse grundstoffer fjernes, må der nødvendigvis ske en relativ berigelse af de grundstoffer, der bliver tilbage. Hvis det er bjergarten granit, der nedbrydes, kan denne forvittringsproces i tropiske egne medføre en kraftig ophobning af aluminiumrige mineraler. Hvis det i stedet er bjergarter i gammel havbund, der nedbrydes, kan der ske en koncentration af nikkelholdige mineraler.

For at udnytte sådanne jordbundsforekomster bliver man i sagens



Forvittringsprocesser i tropejord gør, at værdifulde metaller som nikkel og aluminium bliver koncentreret i jorden. Men for at få fat i de værdifulde mineraler må regnskov ryddes, og udvindingen af metallerne producerer store mængder giftigt affald. På billedet ses mineaffald fra aluminiumproduktion i Guinea i Vestafrika.

Foto: Shutterstock

natur nødt til at udgrave jordbunden, hvilket kan have alvorlige miljømæssige konsekvenser. Et trist eksempel er de meget store nikkelforekomster, man finder i Indonesien. Her er skove blevet ryddet for at få fat i jordbunden, og der efterlades store mængde mineaffald, når nikkel er blevet udvundet ved reaktioner med svovlsyre.

Den slags eksempler findes der desværre mange af.

Store overvejelser om fremtidens minedrift

Som nævnt i starten af artiklen kommer verden forventeligt til at skruer op for minedriften i de kommende år for at kunne følge med efterspørgslen på råstoffer til brug for den grønne omstilling. Hvis denne udvikling ikke skal skabe lige så mange problemer, som den løser, skal det selvfølgelig foregå på en miljømæssig forsvarlig måde. Og det duer heller ikke, hvis vi i vores del af verden bliver endnu mere afhængige af enkelte lande til at levere råstofferne, end vi i dag er af leverandører af fossile brændsler.

I dag er hele den vestlige verden dybt afhængig af minedrift i det

globale syd, for eksempel i Congo (cobalt), Chile (litium og kobber), Sydafrika (platin og krom) og Indonesien (nikkel). Dertil kommer, at forarbejdning og raffinering af råmalmen i vidt omfang foregår i Kina, som også sidder på den strategisk vigtige produktion af solceller, neodymmagneter og litium-ion-batterier. Kina har dermed stor indflydelse på muligheden for at implementere den grønne omstilling i den vestlige verden.

Vi står derfor i Danmark og i Vesten generelt overfor nogle svære overvejelser og beslutninger om, hvordan vi i fremtiden skal få adgang til de mange forskellige grundstoffer, der indgår i al højteknologi. Vil vi for eksempel fortsat acceptere, at regnskov ryddes, for at vi kan få fat i den nikkelholdige jordbund? Vil vi tillade, at der bliver åbnet helt nye miner i skrøbelige arktiske miljøer? Eller vil vi hellere have minedrift på havbunden af dybhavet, sådan som Norge har meget konkrete planer om?

Det er nogle af de spørgsmål, som kommer til at fylde i den nærmeste fremtid, og hvor geovidenskabelig viden kommer til at spille en vigtig rolle. ■

Videre læsning:
Videncenter for mineralske råstoffer og materialer (MiMa) har denne bog til gymnasielærere: mima.geus.dk/mineralske-raastoffer-baeredygtighed-og-innovation/

Videncenter for mineralske råstoffer og Materialer (MiMa): mima.geus.dk/udgivelser/

En lærebog på engelsk: Kesler, S.E. and Simon, A.C., 2015: Mineral Resources, Economics and the Environment. Kan frit hentes via [dx.doi.org/10.7302/22482](https://doi.org/10.7302/22482)

International Energy Agency deler information om forbrug og estimater om fremtidens behov for metaller: www.iea.org/topics/critical-minerals

På dronefotoet ses 210 millioner år gamle sø-sedimenter ved Carlsberg Fjord i Østgrønland. Sedimenternes tværsnit er blotlagt her. Geologien varierer hovedsageligt mellem røde og lilla muddersten. Til højre i fotoet kan man ane tre forskere som små sorte streger.
Foto: Jesper Milàn

SOLSYSTEMETS UDVIKLING GEMT I GRØNLANDS STEN

Geologiske lag i Østgrønland kan gøre os klogere på Solsystemets udvikling tilbage i tid. Lagene gemmer på klimasvingninger skabt af tyngdekraftpåvirkning mellem Jorden, Mars og andre planeter.

Om forfatteren

Malte Mau er uddannet geolog fra Aarhus Universitet og ph.d. i geologi fra Københavns Universitet med fokus på tidsperioden Sen Trias i Østgrønland. Malte Mau er bestyrelsesmedlem i Dansk Geologisk Forening og arbejder som geolog i en rådgivende ingeniørvirksomhed.
malte-mau@hotmail.com

Studiet af klimasvingningerne i Østgrønland, beskrevet i denne artikel, er udført i samarbejde med geologen Lars B. Clemmensen (professor emeritus ved Københavns Universitet) og den amerikanske forsker Dennis V. Kent som en del af et større studie af sedimenterne i Østgrønland.

Tyngdekraften styrer alle bevægelser i Solsystemet. Når planeterne i vores Solsystem bevæger sig rundt om Solen, trækker de alle sammen i hinanden med tyngdekraften. Gennem meget lang tid ændrer denne gensidige påvirkning både formen på planeterne baner rundt om Solen samt planetaksernes hældning og retning (samlet kaldet orbitale parametre). Ved at lave modeller af planeterne bevægelser kan forskere beregne, hvordan planeterne i Solsystemet har påvirket hinanden tilbage i tid, og hvordan de i sidste ende har påvirket Jordens orbitale parametre og klima.

Beregninger af planeterne bevægelser tilbage i tid er en vigtig del af grundforskningen indenfor både astrofysik og geologi. Det giver nemlig mulighed for at finde ud af, hvordan Solsystemet har udviklet sig gennem tid, og om der tidligere har eksisteret planeter, som vi ikke kender til i dag. Solsystemets udvikling har også stor betydning for geologiske modeller af Jordens klimaændringer både tilbage og frem i tid.

Modeller nærmer sig deres grænse

Den første beregning eller model af Solsystemets udvikling tilbage i tid blev foretaget af den franske matematiker Urbain Le Verrier i

1856. Modellen blev baggrund for Milankovitch-teorien, som for første gang viste sammenhængen mellem Jordens klima og ændringer i Jordens orbitale parametre, der er drivkraften bag istider. Siden dengang er beregningerne blevet mere præcise. Især brugen af computerberegninger har forlænget modellerne langt tilbage i tid. I dag er astrofysikere faktisk nået så langt med beregningerne af Solsystemets udvikling, at de har fastlagt planeterne bevægelser og påvirkning af hinanden tilbage til cirka 42 millioner år før nu.

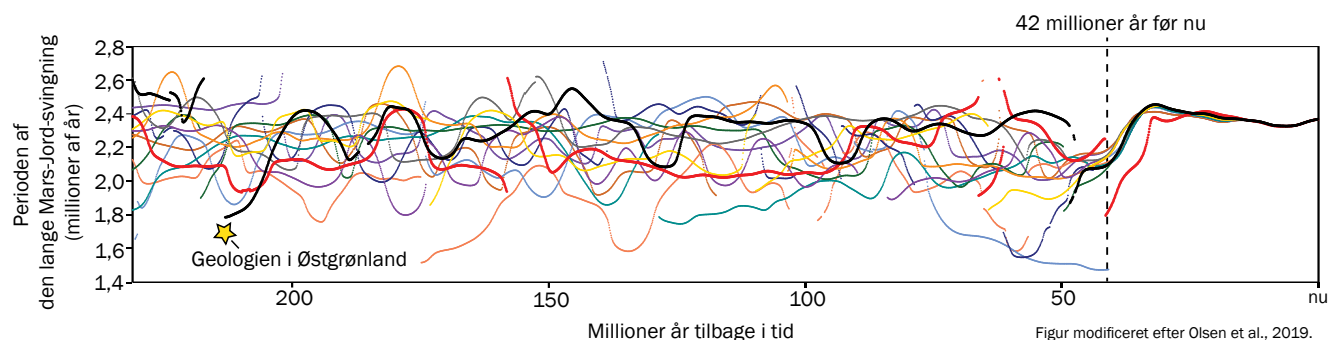
Desværre er man ved at nå grænsen for, hvor langt tilbage i tid, man



På billedet ses Malte Mau (t.v.) og Lars Clemmensen i felturens lejr ved Carlsberg fjord i Østgrønland 2018, hvor dataindsamlingen blev foretaget. Foto: Octávio Mateus

kan forlænge modellerne. Der er især begrænsninger i den algoritme, man bruger til beregningerne, men også i såkaldte kaotiske effekter. En kaotisk effekt kan for eksempel være en komet eller en asteroide, som man ikke kender til i dag, men som for mange millioner år siden har bevæget sig tæt på en planet og påvirket planetens orbitale parametre med dens tyngdekraft. Det er en effekt, man ikke kan tage højde for i beregningerne af Solsystemets udvikling. Det giver derfor en stor usikkerhed – eller kaos – i modellerne.

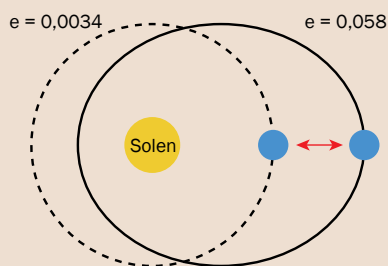
Den store usikkerhed og begrænsning i beregningerne af astronomiske modeller kunne altså tyde på, at astrofysikere er hjælpeløst strandet i videreudviklingen af disse modeller. Her kommer geologien ind i billedet. Jeg har nemlig påvist, at planeten Mars for 210 millioner år siden har efterladt sig spor i Grønland efter tyngdekraftpåvirkning mellem Mars og Jorden. Det samme har andre forskere gjort andre steder på Jorden og til andre tidspunkter. På den måde kan vi lære noget om, hvordan Mars og Jorden har bevæget sig til-



Figuren viser 13 forskellige astronomiske modeller af en af modulation af en Jordens orbitale parametre. Helt specifikt viser modellerne perioden af den lange Mars-Jord-cyklus skabt af tyngdekraftpåvirkning mellem Mars og Jorden, og hvordan den har udviklet sig gennem de seneste 200 millioner år.

I dag er perioden af denne orbitale cyklus 2,4 millioner år, men tilbage i tid ændrer perioden sig på grund af påvirkninger mellem Jorden, Mars og de andre planeter i Solsystemet. Modellerne er nogenlunde enige om perioden af denne cyklus tilbage til omkring 42 millioner år siden, men længere tilbage i tid er usikkerheden stor, hvilket viser sig ved at de 13 modeller på figuren afviger fra hinanden. Før dette tidspunkt er modellerne så usikre, at de alle sammen giver forskellige resultater. Det er her geologien i Østgrønland kan hjælpe ved at give data for perioden af denne Mars-Jord-cyklus tilbage i tid. Det giver et holdepunkt til modellerne af Solsystemets udvikling. De omkring 210 millioner år gamle sedimenter i Østgrønland viser en periode på 1,7 millioner år markeret med en stjerne på figuren.

Jordens orbitale parametre

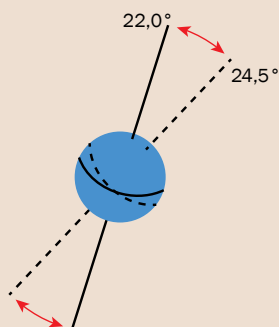


Excentricitet (100.000 år)

Jordens orbitale parametre består af de tre fundamentale parametre excentricitet, aksehældning og aksepræcession, som har en cyklicitet på mellem 100.000 år og 26.000 år. Man skal forestille sig, at parametrene svinger mellem to yderpunkter i en cyklus, hvor en cyklus svarer til at gå fra det ene yderpunkt til det andet og tilbage igen. Ændringer i Jordens orbitale parametre forårsager ændringer i mængden af solenergi Jorden modtager, som resulterer i langvarige klimasvingninger på Jorden.

Excentricitet

Jordens bane omkring Solen er ikke en perfekt cirkel, men er svagt elliptisk med varierende excentricitet. Jordens excentricitet, e , varierer mellem 0,0034 og 0,058, hvor 0 svarer til en cirkel. Ved en excentricitet på 0,058 er forskellen i solenergi mellem punktet længst fra Solen (aphelium) og punktet tættest på Solen (perihelium) på cirka 25 %. Jordbanens excentricitet varierer fra det ene yderpunkt til det andet



Aksehældning (41.000 år)

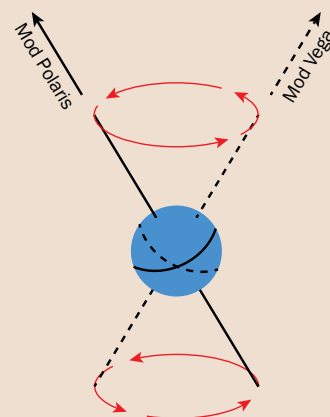
yderpunkt og tilbage igen med en periode på omkring 100.000 år. Cyklussen på 100.000 år har stor effekt på Jordens klima og har tilsyneladende forårsaget svingningen mellem istider og mellemistider de seneste 900.000 år. Derfor har en istid typisk en længde på 100.000 år, inden klimaet slår over i en varm mellemistid, som vi har i dag.

Aksehældning

Jordens akse hælder i forhold til Jordens baneplan. I dag har Jordens akse en hældning på 23,4 grader, men denne hældning er ikke vedvarende. Aksehældningen varierer nemlig mellem en hældning på 22,0 grader og 24,5 grader, hvor en cyklus varer omkring 41.000 år. Det er aksehældningen, der gør, at der er årstidsvariationer på Jorden. Det er især en vigtig klimadrivkraft på breddegrader over 60.

Aksepræcession

Jordens akse hælder ikke kun, den præcesserer også. Man skal forestille sig, at Jordens akse peger i



Aksepræcession (26.000 år)

en bestemt retning i rummet, og at denne retning langsomt bevæger sig i en cirkel. Lige nu peger Jordens nordpol mod stjernen Polaris, også kaldet Nordstjernen, men om cirka 12.000 år vil Jordens akse have bevæget sig næsten en halv omgang i cirklen, og nordpolen vil i stedet pege mod stjernen Vega. Det tager Jordens akse omkring 26.000 år at beskrive en fuld cirkel. Men da Jordens bane om Solen også præcesserer, dog i den modsatte retning, dannes to præcessions-perioder på omkring 19.000 år og 23.000 år, der påvirker klimaet og kan aflæses i geologiske lag.

Ved præcession af Jordens bane skal man forestille sig, at Jordens bane om Solen danner et baneplan, som langsomt "slingrer" en smule med Solen i baneplanets ene brændpunkt. Set langs Jordens baneplan vipper Jordens bane altså langsomt frem og tilbage i forhold til Solens position, hvilket påvirker Jordens aksepræcession.

bage i tid og bruge disse geologiske resultater til at forbedre beregninger af Solsystemets udvikling.

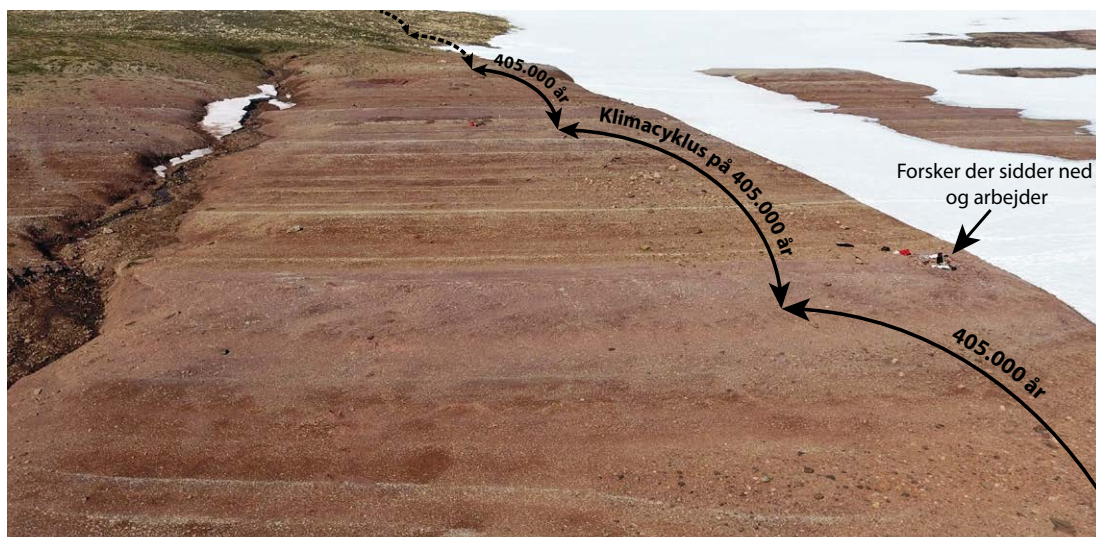
Sø-aflejringer i Grønland blev påvirket af klimaet

Søer er generelt virkelig gode til at sladre om klimaændringer. De er nemlig begrænset til et lille område, og de påvirkes i stor grad af temperatur og regnfald ved for eksempel

indtørring og udvidelse eller skift i aflejringsprocesser. Derfor bruges sø-aflejringer ofte som indikator for klimaændringer.

I Carlsberg Fjord i Østgrønland finder man sedimentære lag i flotte røde og lilla farver. Disse lag er dannet i en enormt stor sø for omkring 210 millioner år siden. Dengang lå området længere sydpå, omkring

hvor Spanien ligger i dag. Desuden var klimaet generelt meget varmere end i dag på grund af en høj koncentration af atmosfærisk CO_2 . Det varme klima betød, at søen i Østgrønland oftest var udtørret, og der blev hovedsageligt aflejret rødt mudder. I perioder med lidt fugtigere klima blev der aflejret lilla mudder. I de mest fugtige perioder blev søen fyldt op af vand, som aflejrede

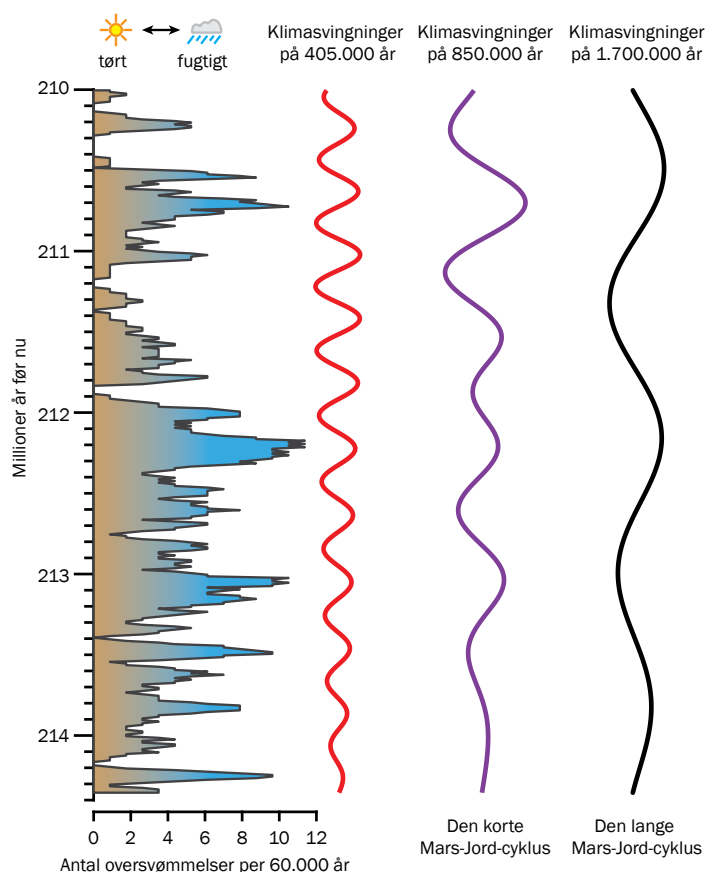


På dronefotoet ses 210 millioner år gamle sø-sedimenter, hvis tværsnit i dag er blotlagt. Geologien varierer hovedsageligt mellem røde og lilla muddersten, hvor rød repræsenterer de perioder, hvor søen for det meste har været udtørret, og lilla repræsenterer mere fugtige perioder. De røde og lilla lag gennemskæres også af tynde mørkerøde og lysegrå lag af siltsten, som repræsenterer perioder, hvor søen blev oversvømmet. Der er en vertikal højdeforskel på 15 meter mellem de tykke lilla lag på billedet, hvilket svarer til en klimacyklus på 405.000 år. Foto: Jesper Milàn.

et tyndt lag af røde eller grå siltsten. Det giver i dag et stribet mønster af røde, lilla og grå lag, som sladrer om de klimasvingninger, søen har været udsat for.

Den sø, der eksisterede i Østgrønland for 210 millioner år siden, var altså stærkt påvirket af klimaet, som skiftede mellem tørt og fugtigt. Disse klimasvingninger blev skabt af ændringer i Jordens orbitale parametre, som ændrer den mængde solenergi, Jorden modtager og derved det globale klima. Ved at analysere disse klimasvingninger i Østgrønland lykkedes det mig at påvise klimasvingninger relateret til både præcession af Jordens akse, hældningen af Jordens akse og excentriciteten af Jordens bane rundt om Solen.

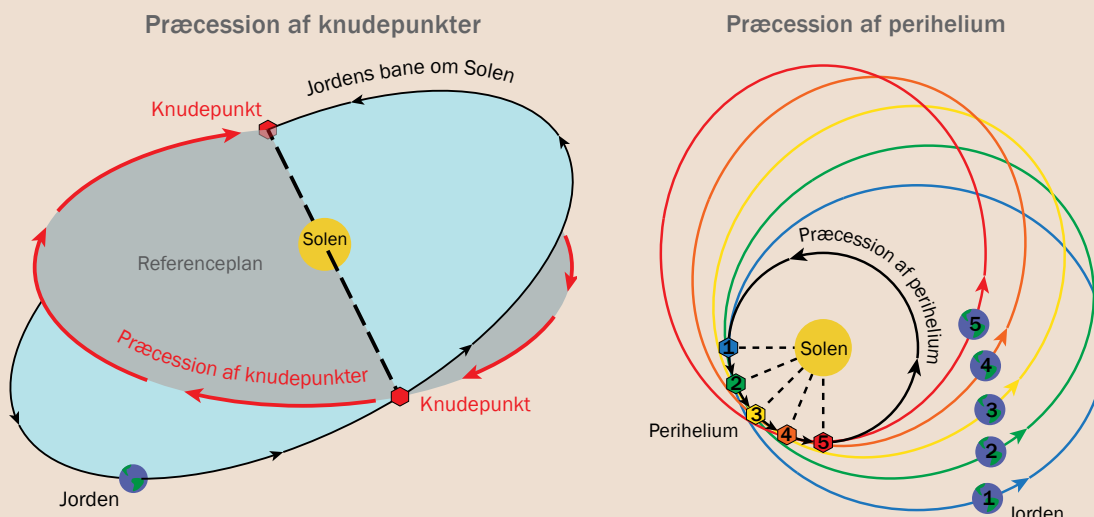
Lange klimasvingninger med en periode på 405.000 år er særligt fremtrædende i de røde og lilla lag, når de ses på afstand. Denne klimacyklus skabes af cykliske ændringer i Jordens baneform og er relateret til Venus og Jupiters tyngdepåvirkning af Jorden. Jupiter har en meget stor masse, og derfor er perioden af netop denne 405.000 års cyklus stabil gennem tid. Denne Venus-Jupiter-cyklus har altså en periode på 405.000 år både i dag og for 210 millioner år siden.



Siltstens-lag i den gamle sø i Østgrønland fortæller en historie om klimavariationer, da de repræsenterer perioder, hvor den udtørrede sø blev oversvømmet af vand. Ved at tælle, hvor mange siltstens-lag der er indenfor en periode af 60.000 år, har jeg dannet en klimakurve. Jo flere siltstens-lag, der er indenfor en periode af 60.000 år, desto mere fugtigt har klimaet været.

Den røde kurve viser klimasvingninger på 405.000 år dannet af Venus' og Jupiters påvirkning af Jorden. Den lilla kurve og sorte kurve viser klimasvingninger på henholdsvis 850.000 år og 1.700.000 år, som blev skabt af Mars' tyngdekraftpåvirkning af Jordens aksehældning og excentricitet (Se boksen på næste side).

Mars' påvirkning af Jordens orbitale parametre



Jordens orbitale parametre består af de tre fundamentale parametre; excentriciteten af Jordens bane, Jordens aksehældning og aksens retning. Der findes dog en række orbitale parametre, som hovedsageligt ses ved, at en af de tre fundamentale parametre moduleres i amplitude. Det vil sige, at de justerer på styrken af de tre fundamentale parametre på en cyklisk måde. Dette kan genkendes som meget lange klimasvingninger i geologiske lag.

I min forskning har jeg især fokuseret på to langvarige klimasvingninger, som jeg her kalder for henholdsvis den korte Mars-Jord-cyklus og den lange Mars-Jord-cyklus. Begge skabes ved tyngdekraftpåvirkning mellem Mars og Jorden. Disse to svingninger er særligt interessante at studere, fordi usikkerheden i deres periode tilbage i tid er meget stor. Ved at påvise perioden af disse Mars-Jord-cykler som klimasvingninger i den geologiske tidsserie, kan jeg altså give astrofysikerne et holdepunkt i deres modeller af Solsystemets udvikling.

Den korte Mars-Jord-cyklus har i dag en periode på

1,2 millioner år. Den skyldes en amplitudemodulation af Jordens aksehældning. Jordens bane om Solen kan ses som et baneplan, som skærer et andet referenceplan. De to punkter, hvor Jordens bane krydser referenceplanet, kaldes for knudepunkterne, og disse knudepunkter præcesserer rundt om Solen. Mars har ligeledes en præcession af knudepunkterne. Jordens og Mars' præcession af knudepunkterne påvirker hinanden og skaber en amplitudemodulation af Jordens aksehældning og en klimatisk cyklus på 1,2 millioner år.

Den lange Mars-Jord-cyklus har i dag en periode på 2,4 millioner år. Den skyldes en amplitudemodulation af Jordens excentricitet. Helt præcist skabes denne cyklus, fordi det punkt på Jordens bane, der er tættest på Solen (perihelium) præcesserer. Man skal altså forestille sig, at Jordens ellipseformede bane roterer rundt om Solen, og at dette perihel-punkt flyttes hele tiden. Mars' elliptiske bane om solen har også en præcession af perihelium. Påvirkningen mellem Jordens og Mars' præcession skaber i dag en klimatisk cyklus på 2,4 millioner år.

Mars-Jord-klimasvingninger i Grønland

Meget lange klimasvinger træder tydeligt frem ved at plote, hvor mange oversvømmelser, altså siltstens-lag, man kan tælle, hver gang der er gået 60.000 år. Jo flere siltstens-lag, der er indenfor en periode af 60.000 år, desto mere fugtigt har klimaet været. Først og fremmest træder en Venus-Jupiter-klimasvingning med en periode på 405.000 år tydeligt frem. Det er dog også muligt at spotte endnu længere klimasvingninger på 850.000 år og 1.700.000 år. Disse

to lange klimasvinger er specielt interessante, fordi de fortæller os om, hvordan Mars og Jorden har påvirket hinanden for 210 millioner år siden. Geologien viser, at den korte Mars-Jord-cyklus havde en periode på 850.000 år i stedet for en periode på 1.200.000 år, som den har i dag. Desuden viser geologien, at den lange Mars-Jord-cyklus havde en periode på 1.700.000 år i stedet for en periode på 2.400.000 år, som den har i dag.

De oldgamle perioder af de to Mars-Jord-cykler er altså mar-

kant forskellige fra de nutidige perioder. Men på et punkt ligner de dog hinanden: De to Mars-Jord-cykler havde nemlig et forhold på 1:2 (850.000:1.700.000 år) lige nøjagtig som i dag (1.200.000:2.400.000 år). Det er en vigtig detalje, da nogle astronomiske modeller har forudsagt et forhold på 1:1 mellem perioderne. På baggrund af data fra Grønland kan jeg dog konstatere, at en ændring af forholdet mellem perioderne fra 1:2 til 1:1 ikke fandt sted for 210 millioner år siden. Denne information kan altså hjælpe med at

Udover information om fortidens klima byder søaflejringerne ved Carlsberg Fjord også på spændende dinosaurfund. Til højre ses spor fra en såkaldt Grallator, hvilket er en gruppe af små tre-tåede rovdinosaurer, som gik på to ben. Foto: Octávio Mateus.



Rekonstruktion af ny dinosaur-art opdaget i søaflejringerne ved Carlsberg fjord baseret på fund af to kranier. Den nye dinosaur-art med navnet *Issi Saaneq* (kold knogle på grønlandsk) var en stor planteædende dinosaur tæt beslægtet med den europæiske *Plateosaurus*. Figur efter Beccariet al., 2021.



forbedre modeller af Solsystemets udvikling. Et forhold på 1:1 mellem de to Mars-Jord-cykler kan dog have fundet sted både før og efter perioden for 210 millioner år siden, hvilket måske kan blive eftervist af geologiske undersøgelser andre steder i verden.

Utroligt nok er der ingen astronomisk model, der viser den samme

periode af de to Mars-Jord-cykler, som geologien i Grønland. Den model, der kommer tættest på mine geologiske resultater, er en model med navnet La2010d beregnet af den franske astrofysiker Jacques Laskar. Det viser, hvor stor usikkerhed der er i de astronomiske modeller tilbage i tid, og hvor meget geologien kan hjælpe med at forbedre modellerne. Mit håb er,

at min forskning kombineret med andre forskeres studier af klimasvingninger kan bane vejen for nye og forbedrede modeller af Solsystemets udvikling i fremtiden.

Hvem ved, måske kan klimasvingningerne i Grønland endda være med til at påvise ukendte planeter og bidrage til at teste Einsteins relativitetsteori.

Yderligere læsning
Resultaterne omtalt i denne artikel: Mau, M., Kent, D. V., & Clemmensen, L. B. (2022). Planetary chaos and inverted climate phasing in the Late Triassic of Greenland. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 119(17), e2118696119.

Om Milankovitch-teorien: Siewertsen, B. (2007). Tre cykler, sommer og en istid. *Aktuel Naturvidenskab* nr. 3/2007

Om lange klimasvingninger i Nordamerika og modeller af Solsystemets udvikling: Olsen, P. E., et al. (2019). Mapping solar system chaos with the Geological Orrery. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(22), 10664-10673.

Om geologien i Jamesonland og om nogle af de fundne fossiler: Clemmensen et al. (2016). The vertebrate-bearing Late Triassic Fleming Fjord Formation of central East Greenland revisited: stratigraphy, palaeoclimate and new palaeontological data. *Geological Society, London, Special Publications*, 434(1), 31-47.

Læs Naturvidenskabelig Bachelor

Fordyb dig i medicinal biologi, molekylær biologi, matematik, fysik, kemi eller miljøbiologi. Du kan f.eks. arbejde med at undersøge miljøskadelige stoffer i havet, bedre diagnosticering og behandling af sygdomme, antibiotikaresistente bakterier, plastforurening eller måske er du bare nysgerrig på hvordan man udvikler nye naturvidenskabelige metoder og teorier?

RUC
Roskilde Universitet

Arbejd på tværs af naturvidenskabelige felter.

Arbejd med topforskere i moderne laboratorier.

Uddannelsen kan tages på både dansk og på engelsk, hvor studiemiljøet er mere internationalt.

Læs mere her:



Mange misforståelser om evolution bunder i den intuitive tænkning, som vi allerede i den tidlige barndom bruger til at forstå verden omkring os. Disse naive ideer er svære at komme af med af – selv efter mange års skolegang.
Foto: Shutterstock



EN GUIDE TIL DE MEST ALMINDELIGE MISFORSTÅELSER OM EVOLUTION

Forståelse af evolutionære processer er en grundsten i den videnskabelige dannelse. Imidlertid trives misforståelser om evolution blandt elever på alle uddannelsesniveauer og i offentligheden. Det er derfor vigtigt at kende de mest almindelige misforståelser for effektivt at tackle dem i klasseværelset.



Om forfatteren
Daniela Fiedler kommer fra Tyskland og arbejder nu som åremålsadjunkt ved Institut for Naturvidenskabelige Pædagogik (IND) på Københavns Universitet. Hendes forskning fokuserer primært på kvantitativ empirisk forskning om undervisning og læring af biologi på skoler og universiteter.
dfiedler@ind.ku.dk

Daniela Fiedler har skrevet artiklen på engelsk, og den er oversat og redigeret af Aktuell Naturvidenskab.

Evolutionsteorien er en fundamental begrebsramme indenfor biologien. Den beskriver evolutionsprocessen som ændringer i arvelige egenskaber for populationer over tid. På trods af, at der er en voksende erkendelse af, at der er mange forskellige processer involveret i evolutionen, såsom genetisk drift, genetisk kobling og endosymbiose, er der generel enighed blandt evolutionsbiologer om, at den vigtigste mekanisme til at forklare mangfoldigheden af liv på Jorden er *naturlig selektion*. Naturlig selektion som mekanisme blev foreslået af Charles Darwin for mere end 150 år siden og beskriver den proces, hvorved visse egenskaber bliver mere eller mindre almindelige

i en population på grund af disse egenskabers indflydelse på individers overlevelse og reproduktion.

Forskere og undervisere indenfor evolutionsteori er generelt enige om, at mindst tre principper eller kernebegreber er nødvendige og tilstrækkelige til at forklare evolutionær forandring: variation, arv og selektion (dvs. at der sker en udvælgelse baseret på forskelle på evnen til at overleve eller få meget afkom). Disse principper beskrives som evolutionsteoriens "videnskabeligt normative ideer". Alle andre koncepter som "artsdannelse" eller "forandring over tid", som hyppigt bruges til at beskrive evolution, sammenfattes blot som

"ikke-kausale træk af evolutionsprocesser". Det er altså aspekter af evolutionsprocesserne, som ikke direkte forårsager ændringer i organismers genetiske eller fysiske fremtræden, men som ofte er bi-produkter eller konsekvenser af de faktiske kausale mekanismer.

Sejlivede misforståelser

På trods af evolutionsteoriens relevans for den moderne biovidenskab, findes der hos mange mennesker sejlivede misforståelser om evolution. Nogle af disse er simple, naive ideer eller misforståelser, der opstår under den kognitive udvikling og læringsprocessen. Andre misforståelser kan skyldes utilsigtet fejlkommunikation i skolen og me-

Birkemåler

Et berømt eksempel på evolution findes hos birkemåleren (*Biston betularia*) i England. Oprindeligt var birkemålere lyse. En mutation bevirke imidlertid, at nogle birkemålere i stedet fik en mørk farve. Når individer formerer sig, overføres arvelige egenskaber såsom farve fra forældre til afkom. Mørkfarvede individer forblev dog sjældne idet de var dårligt camouflerede overfor predatorer (fugle) på lyse birkestammer.

Under den industrielle revolution fik de mørkfarvede birkemålere efterhånden en overlevelsesfordel på birke-træer, der blev tilsødet af forurening, fordi de nu var bedre camoufleret end deres lyse artsfæller. Det betød, at der over tid blev flere og flere mørkfarvede birkemålere i forhold til lyse i populationen på grund af selektion.



Lys birkemåler på birketræ. Foto: Shutterstock

dierne, som bunder i menneskers intuitive måder at tænke på. Eller de kan være bevidste bestræbelser på at fejlfortolke beviserne på evolution som *kreationisme* eller *Intelligent Design*, der har en stærk forbindelse til religiøse bevægelser.

Nogle af de mest almindelige misforståelser om evolutionære forandringer er forankret i menneskers intuitive tænkning. Vi mennesker forsøger gennem livet at forstå, forklare og forudsige verden omkring os. Det begynder i den tidlige barndom, når småbørn opbygger stadigt mere konkrete og forskelligartede ideer om deres omgivelser. Selvom disse naive ideer fungerer godt i hverdagen for den enkelte, er de ofte langt fra de videnskabeligt accepterede forklaringer på, hvordan verden fungerer. At blive undervist i den "videnskabeligt korrekte" forklaring er dog sjældent nok til, at vi kommer af med disse misforståelser eller alternative ideer. Faktisk eksisterer de naive ideer ofte side om side med videnskabeligt accepterede forklaringer i det lærende individs sind. Ja, selv hos fagfolk, selvom de i højere grad er i stand til at undertrykke disse naive ideer og tænke videnskabeligt.

Misforståelsernes top-4

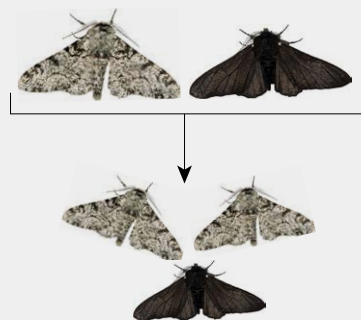
Men hvad er det mere præcist for misforståelser om evolutions-teorien, der kan påvirke vores

De tre evolutionære principper



Variation

Evolutionær ændring kan kun forekomme, hvis der eksisterer genetisk variation blandt individer, som manifesterer sig som morfologiske, fysiologiske eller adfærdsmæssige, samlet kaldet fænotypiske forskelle. De ultimative kilder til genetisk variation er tilfældige mutationer og ommøblering af eksisterende variationer via såkaldt rekombination.



Arv

Individer i en population formerer sig, og arvelige egenskaber overføres fra forældre til afkom. Egenskaber, der giver fordele frem for andre, kan overføres hyppigere til næste generation og dermed akkumuleres i populationen over tid.



Selektion

Den eksisterende genetiske og fænotypiske variations succes, som samlet kaldes fitness, bestemmes af en kombination af biologiske faktorer (fx prædation) og abiotiske faktorer (fx ændret farve på birketræers bark pga tilsodning), hvilket under et kaldes selektionstryk. Alt i alt udmønter det sig i, at forskellige individer i populationen har forskellige potentialer for at overleve og reproducere sig. Med andre ord har individer med fordelagtige egenskaber i et specifikt miljø større sandsynlighed for at overleve og reproducere sig end individer med mindre fordelagtige egenskaber. Over generationer kan denne proces føre til ændringer i populationer (fx bliver gunstige egenskaber mere dominerende).

Birkemålere. Fotos: CC BY-SA 3.0/ Wikimedia common/chiswick chap

Evolutionsteori og religion – harmoni eller konflikt?

Religion og evolutionsteori (som en videnskabelig ramme) er to perspektiver eller former for verdenssyn, der ofte støder sammen i diskussioner om livets oprindelse og mangfoldighed på Jorden. Evolutionsteorien forklarer primært, hvordan livet har ændret sig og adskilt sig i en mangfoldighed af arter gennem naturlig selektion og genetisk variation over millioner af år. Men den forsøger ikke at forklare selve livets oprindelse. Evolutionsteori- en understøttes af omfattende data og accepteres af langt de fleste biologer.

Religion tilbyder derimod forskellige skabelsesberetninger, der ofte er baseret på hellige tekster. Nogle religiøse grupper afviser den videnskabelige evolutionsteori og tror på en direkte, guddommelig skabelse af liv. Troen på en guddommelig skabelse af verden, kaldes kreationisme. Da kreationisme betragtes som en religiøs doktrin, opfattes forsøg på at indføre kreationisme i skolerne (især i USA) som en krænkelse af adskillelsen af kirke og stat. Mens de fleste europæiske lande (inklusive Danmark og Tyskland) tilbyder religionsundervisning i skolerne, er dette ikke tilfældet i USA. Som et modtræk blev *Intelligent Design* udviklet som et angiveligt videnskabeligt funderet alternativ til evolutionsteorien. I korthed går Intelligent Design ud på, at liv er så kompliceret og perfekt tilpasset, at det umuligt kan være udviklet ved tilfældigheder, men må være "designet". Det førte til retssager, hvor der blev

sat spørgsmålstegn ved den videnskabelige karakter af Intelligent Design. Det mest fremtrædende eksempel er sagen *Kitzmiller v. Dover Area School District* i 2005, hvor en distriktsdomstol afgjorde, at Intelligent Design ikke kunne betragtes som en videnskabelig teori og dermed ikke skulle indgå i undervisningen på offentlige skoler.

På trods af sådanne retsafgørelser er Intelligent Design stadig et kontroversielt emne, der udløser uddannelsesmæssige, juridiske og sociale debatter i USA, især i regioner, hvor uddannelsespolitikken ikke er underlagt strenge standarder.

Der er dog ikke noget i vejen for, at evolution og religion kan leve i fredelig sameksistens. Mange religiøse trosretninger accepterer evolution og anser den for at være forenelig med deres tro. Nogle religiøse grupper betragter evolution som et værktøj, hvorigennem en guddommelig skaber har udviklet livet, og andre underviser eksplicit i kompatibiliteten mellem religion og videnskab.

I de fleste tilfælde afhænger accepten af evolution ikke af, hvilke religioner der er tale om, men af den enkelte persons individuelle overbevisning og trospraksis. Med andre ord: Mennesker, der er meget religiøse, vil i højere grad være tilbøjelige til at afvise evolution.

tankegang om evolution? Jeg vil her nævne de fire mest almindelige typer af misforståelser. Og de har enten rødder i naive ideer som nævnt ovenfor eller er baseret på prominente historiske teorier.

Den første er *telelogi*, som kan oversættes til "formålsbestemthed". Menneskets sind kan siges at være forudindtaget i forhold til årsagsforklaringer, fordi vi har et behov for at besvare spørgsmålet: Hvorfor? Både børn og voksne har derfor en tendens til at forklare en begivenhed ved at henvise til konsekvensen af denne begivenhed. For eksempel at fugle har vinger for at være i stand til at flyve. Det er meget almindeligt at komme med den slags fejlbehæftede ræsonnementer om evolution baseret på antagelsen om et formodet mål, formål eller funktion.

Den anden er *antropomorfisme*. Det betyder, at vi tillægger ikke-menneskelige organismer (typisk

dyr) eller genstande menneskelige egenskaber. Det kan være følelser (glæde, tristhed, vrede), intentioner (begær, planlægning), erkendelse (tænkning, ræsonnement) og endda moralsk handlefrihed. I forbindelse med evolution kommer det til udtryk ved, at man tilskriver en menneskelignende bevidst hensigt enten til objekterne for naturlig selektion (dvs. individuelle organismer udvikler sig som reaktion på et ændret miljø) eller til selve processen (dvs. naturlig selektion eller naturen selv fungerer som en bevidst agent).

Et eksempel på et antropomorfistisk udsagn kunne være: "Fuglene besluttede at gro vinger for at kunne bevæge sig over større afstande".

Den tredje misforståelse er *essentialisme*, hvor man går ud fra, at organismer og objekter har underliggende, uforanderlige egenskaber, der gør dem til det, de er. I

forbindelse med evolution vil man derfor tro, at organismer tilhører en kategori, og at medlemmer af en sådan kategori deler underliggende egenskaber eller "essenser". Variation blandt individer vil derfor fejlagtigt blive opfattet som unormale og for det meste uvæsentlige afvigelser.

Et eksempel på et essentialistisk udsagn, kunne være: "Alle fugle med vinger overlevede, mens fugle uden vinger uddøde".

Den fjerde almindelige misforståelse er "*Lamarckisme*". Den er opkaldt efter den historiske evolutionsteori af Jean-Baptiste Lamarck, som overordnet går ud på, at organismer kan videregive egenskaber erhvervet i løbet af deres levetid til deres afkom. Ifølge denne teori tilpasser organismer sig til deres miljø gennem brug – eller ikke-brug – af organer eller strukturer, som så bliver mere eller mindre fremtrædende. Disse erhver-

vede egenskaber arves derefter af den næste generation.

Sådanne misforståelser om brug og "ikke-brug" er mere fremtrædende i forklaringer, der fokuserer på gradvise, fysiske træk – for eksempel udviklingen af løbehastighed hos geparder.

Læreres rolle i forhold til misforståelser

De nævnte typer af misforståelser kan findes hos mennesker i alle aldre. De grundlægges som nævnt i en tidlig alder og kan findes hos elever på alle niveauer i uddannelsessystemet – fra folkeskolen over ungdomsuddannelser til universitetet – ja endda også hos nogle lærere.

Men hvad kan lærere, der underviser i evolution, gøre for at undgå, at sådanne misforståelser rodfæster sig i eleverne? I første omgang er det i sagens natur vigtigt at være opmærksom på elevernes misforståelser, hvilket selvfølgelig kan være svært, hvis man selv abonnerer på nogle af dem. Men ved at identificere, hvad det er for typer misforståelser, der præger elevernes tankegang, kan læreren bedre forstå, hvor elevernes vanskeligheder ligger. Derudfra kan hun eller han så lægge en passende strategi for undervisningen og tilpasse lektionerne for at sikre, at eleverne forstår begreberne.

En større bevidsthed om de udbredte misforståelser kan også føre til forbedrede læreplaner og undervisningsmaterialer, så de almindelige fejl bliver adresseret. Det kan undervisningen gøre mere præcis og effektiv og sikre, at eleverne udvikler en solid forståelse af de emner, der er dækket.

Skab en kognitiv konflikt

Der er dog en løbende debat om, hvordan man i undervisningssammenhæng bedst håndterer misforståelser om evolution. Men generelt anbefales det, at læreren allerede under planlægningen af lektionerne tager hensyn til, at disse misforståelser findes eller vil opstå hos



“Urfuglen” Archaeopteryx fra Solnhofen i Tyskland er et af de mest ikoniske fossiler i verdenshistorien. Oprindeligt blev Archaeopteryx anset for at være den tidligste fugl, men klassificeres i dag som tilhørende en fugleagtig slægt af dinosaurer.
Foto: Shutterstock

eleverne. Der kan før et undervisningsforløb foretages en screening af elevernes ståsted (for eksempel ved hjælp af multiple choice-spørgsmål), som giver et udgangspunkt for at forberede passende læringsaktiviteter.

Derudover er det selvfølgelig også vigtigt, at læreren reagerer hensigtsmæssigt, når eleverne udtrykker misforståelser om evolution i klasseværelset. Det kræver øvelse og spontanitet fra lærerens side at gøre det på en overbevisende måde. Et trick kan være at skabe en kognitiv konflikt med de ideer, eleven giver udtryk for. Hvis for eksempel en elev siger, at fugle har udviklet vinger for at kunne flyve, kan man bede eleven overveje, hvorfor en struds så har vinger. Det får eleverne til at tænke over, hvorfor sådanne træk eksisterer, hvis de faktisk ikke er nødvendige.

Målet med at skabe sådanne kognitive konflikter er at få eleverne til

at indse, at deres nuværende forståelse er utilstrækkelig til at forstå evolution og derved åbne for nye, videnskabeligt præcise begreber.

Vi bør alle være opmærksomme

I sagens natur er det særligt i klasselokalet, at det er vigtigt at adressere misforståelser om evolution. Men jeg mener, at det er grundlæggende for alle, der værdsætter videnskab – uanset om du er lærer, forælder eller blot nysgerrig på, hvordan den biologiske verden fungerer – at være opmærksom på disse almindelige misforståelser. At forstå evolutionens processer beriger ikke kun din forståelse af globale udfordringer, der truer menneskets overlevelse, såsom multiresistente bakterier eller tab af biodiversitet. Det giver dig også mulighed for at dele præcis information med dine omgivelser, så du dermed er med til at skabe et mere informeret og videnskabeligt orienteret samfund. ■

Videre læsning

Bruckermann, T., Fiedler, D., & Harms, U. (2021). Identifying precursory concepts in evolution during early childhood – a systematic literature review. *Studies in Science Education*, 57(1), 85-127. doi.org/10.1080/03057267.2020.1792678

Coley, J.D., & Tanner, K.D. (2012). Common origins of diverse misconceptions: Cognitive principles and the development of biology thinking. *CBE—Life Sciences Education*, 11(3), 209-215. doi.org/10.1187/cbe.12-06-0074

Gregory, T.R. (2009). Understanding natural selection: Essential concepts and common misconceptions. *Evolution: Education and Outreach*, 2, 156-175. doi.org/10.1007/s12052-009-0128-1

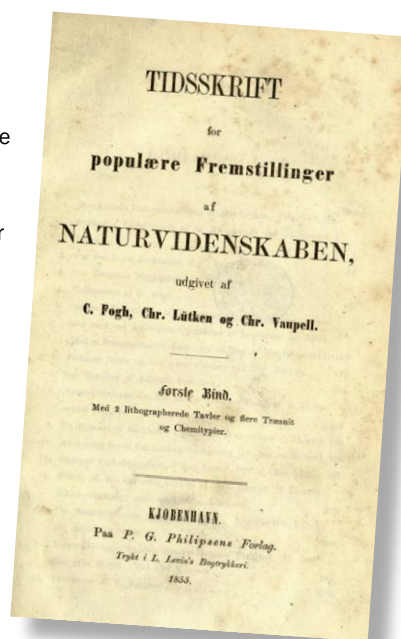
Læs mere om menneskers måde at tænke på i: Kahneman, D. (2011) *Thinking, Fast and Slow*. Farrar, Straus and Giroux.

HIP HURRA FOR VIDENSKABSFORMIDLING

Gennem de seneste 25 år har videnskabsformidling udviklet sig til et stort og levedygtigt felt. Der vil nok altid være et element af idealisme i videnskabsformidlingen, men området er for vigtigt til, at vi helt kan forlade os på det, mener forskeren og formidleren Kristian Hvidtfelt Nielsen.

For 25 år siden var jeg lige begyndt på ph.d.-studiet i videnskabs- og teknologihistorie. Udover forskningen havde jeg også stor interesse for videnskabsformidling. Allerhelst ville jeg nok have været videnskabsjournalist eller -skribent, og efter nogle artikler i et par aviser var jeg blevet optaget i foreningen Danske Videnskabsjournalister. Da jeg opdagede, at der var kommet et nyt magasin, *Aktuel Naturvidenskab*, som tog videnskabsformidlingen seriøst og engagerede forskerne i at formidle deres egen forskning, blev min interesse styrket. Og den passion for videnskabsformidling – både som håndværk og som genstandsfelt – har jeg haft med mig lige siden i min akademiske karriere.

For mig er formidlingen blevet en vigtig del af det at være forsker. Når jeg kigger tilbage, kan jeg se, at min tidlige interesse for formidling var del af en større udvikling. Videnskabsformidling har heldigvis udviklet sig til et stort og levedygtigt felt. Der er bred anerkendelse af, at videnskabsformidling ikke bare bidrager til almen folkeoplysning, men



Forsiden af det første nummer af det første danske populærvidenskabelige blad *Tidsskrift for populære Fremstillinger af Naturvidenskab* – med både "lithographerede tavler, Træsnit og Chemietyper"!

også er med til at styrke samspillet mellem forskning og omverden og kvalificere den offentlige debat. Flere forskere tager aktivt del i de mange formidlingstiltag, der bliver lavet, eller formidler på eget initiativ deres forskning på sociale medier eller andre platforme. Spørgsmålet er, om vi kan eller skal gøre mere for videnskabsformidlingen?

Interesse for videnskab

I slutningen af 1990'erne var videnskabsformidling i vækst med særligt fokus på formidling af naturvidenskab. Der var en udbredt og stigende interesse for naturvidenskab og teknologi i befolkningen, og der var en række nye aktiviteter som Dansk Naturvidenskabsfestival i 1998, arrangeret af organisationen Dansk Naturvidenskabsformidling og primært rettet mod børn og unge. Samtidigt var internettet ved at blive en foretrukken platform for mange, der søgte information om naturvidenskabelige emner.

Internationalt var der også interesse for videnskabsformidling. Netværket Public Communication of Science and Technology (PCST) blev etableret i 1989 med det formål at fremme videnskabsformidling over hele verden. PCST er stadig et aktivt netværk, som fra starten af har haft fokus på kulturelle og socioøkonomiske forskelle indenfor videnskabsformidling – og stadig har det. I 2020 stod forskere med tilknytning til PCST bag open-access udgivelsen *Communicating Science: A Global Perspective*, der beskriver videnskabsformidlingens historie i 39 lande verden over. Jeg



Forfatter

Kristian Hvidtfelt Nielsen er lektor og leder af Center for Videnskabsstudier ved Aarhus Universitet.

Hans forskningsinteresser er indenfor videnskabshistorie og videnskabskommunikation. Han er aktuelt involveret i forskningsprojekter, der fokuserer på tillid og mistillid til videnskabelig ekspertise, åben og ansvarlig forskning samt videnskabshistorie, videnskabskulturer og videnskabskommunikation.
khn@css.au.dk



Foredragsrækken Offentlige Foredrag i Naturvidenskab er et prominent eksempel på videnskabsformidling. De enkelte foredrag kan trække op til 10.000 tilhørere, fordi de livestreames til hundredvis af lokationer over hele landet. Foto: Maiken Holme Pedersen

bidrog sammen med to kolleger fra henholdsvis Norge og Sverige til kapitlet om videnskabsformidling i de tre skandinaviske lande.

Idealistisk formidling

I Danmark går traditionen for populærvidenskabelige blade eller magasiner helt tilbage til midten af 1800-tallet med *Tidsskrift for Populære Fremstillinger af Naturvidenskaben* fra 1854 som det første.

Videnskabshistorikeren Hans Henrik Hjermitsev har skrevet en læseværdig artikel om de første populærvidenskabelige blade i *Aktuel Naturvidenskab* nr. 4/2004. Han konkluderer, at "den idealistiske oplysningstrang sjældent harmonerede med de økonomiske vilkår". Det populære magasin *Frem* omkring århundredeskiftet var en undtagelse, ligesom *Illustreret Videnskab* er det i dag. Det er altså meget sjældent, at videnskabsformidling kan løbe rundt på et rent kommercielt grundlag, så der var dengang som nu behov for ekstra støtte.

Den idealistiske oplysningstrang, som Hjermitsev skriver om, byg-

ger på en stærk tiltro til naturvidenskab som et offentligt gode. Formidlingen af naturvidenskab tjente til oplysning og nytænkning i befolkningen. I praksis henvendte de fleste blade sig til den mere velstillede og veluddannede del af befolkningen. Dog havde *Frem* med sit mere kulørte præg en bredere målgruppe, ligesom *Frem* også udgav hæfter, der kunne samles til bøger – de første af slagsen i mange arbejderhjem.

I dag er den populærvidenskabelige formidling i høj grad rykket online, hvor for eksempel Videnskab.dk er gratis tilgængelig på grund af en finanslovsbevilling og støtte fra forskellige fonde. Den idealistiske oplysningstrang har også hængt ved, men den er suppleret af et stærkere engagement fra det offentlige og fra private aktører. Samtidigt er der kommet et stærkere institutionelt pres på forskningsinstitutioner og forskere om at formidle.

Forsk og kommuniker

Få år efter, at det første nummer af *Aktuel Naturvidenskab* udkom, kom der fornyet politisk fokus på videnskabsformidling. I oktober

2002 indgik den daværende VK-regering en aftale om en ny universitetslov med Socialdemokratiet og Kristeligt Folkeparti. Aftalen sikrede, at videnskabsformidling blev indskrevet som del af universiteternes ansvarsområde udover forskning og undervisning. Det er den såkaldte tredje mission for universiteterne, der udover formidling også dækker over samarbejde med det omgivende samfund, herunder innovation og myndighedsbetjening.

I forbindelse med vedtagelsen af den nye universitetslov i 2003 nedsatte videnskabsminister Helge Sander en tænketank for forståelse for forskning. Tænketankens arbejde resulterede i en rapport med titlen *Forsk og Fortæl*. I rapporten blev det konstateret, at der allerede fandtes store mængder af videnskabsformidling. Den havde derfor fokus på almen forskningskommunikation rettet mod forskellige grupper i den brede offentlighed.

Der blev nævnt en række eksempler på forskningskommunikation til fremme af »... en åben demokratisk dialog om forskningen, om

forskningens resultater og processer, dens fordele og muligheder, dens konsekvenser, dilemmaer og risici.« Eksemplerne omfattede kommunikation mellem forskere og journalister, dialogmetoder til at prioritere forskningssatsninger og andre aktiviteter med mulighed for dialog og anden interaktion.

Flere af tænketankens anbefalinger er siden blevet ført ud i livet. Det gælder Videnskab.dk med kombineret journalistisk og forskerdrevet formidling og den årlige forskningsfestival Forskningens Døgn, der henvender sig til alle. Der har også været en inddragende dialogproces omkring FORSK2025-kataloget, hvor mange interessenter fra erhvervsliv, organisationer, forskningsinstitutioner og andre har været med til at formulere et grundlag for fremtidige investeringer i forskningen.

Midler til formidling

Tænketankens mest ambitiøse anbefalinger er dog endnu ikke realiseret. Det gælder blandt andet anbefalingen om at oprette et dansk center for forskningskommunikation efter hollandsk forbillede, og anbefalingen om at afsætte midler til forskningskommunikation. Helt op til 2 % af alle forskningsbevillinger bør afsættes til almen forskningskommunikation, lød anbefalingen. En undersøgelse fra 2004 foretaget af undertegnede i samarbejde med *Aktuel Naturvidenskab* med deltagelse af 1.015 forskere ved danske universiteter viste, at et flertal af forskerne faktisk støttede op om denne 2 %-anbefaling – og at de er interesseret i at formidle deres forskning selv eller i samarbejde med kommunikationsfolk.

I fraværet af en stor offentlig satsning er private fonde begyndt at investere i forskningskommunikation. Novo Nordisk Fonden har gennem en årrække haft to årlige uddelinger. Den ene går til naturvidenskabelig uddannelse og formidling, og den anden til nytænkende kommunikation og debat om naturvidenskab og teknologi. Carlsbergfondet

lancerede sidste år to virkemidler til forskningsformidling: Carlsberg Mindelegat for forskere, der selv vil formidle deres forskning, og en pulje målrettet professionelle formidlere.

Både Novo Nordisk og Carlsberg ønsker at fremme den offentlige interesse for videnskab og forståelse for videnskabens betydning i samfundet. Ved annoncering af de to nye formidlingspuljer sagde Lasse Horne Kjældgaard, direktør i Carlsbergfondet, at forskning og videnskab fylder forbavsende lidt i mediebilledet, og at universiteterne sjældent prioriterer tid til formidling, selvom det har været indskrevet i universitetsloven siden 2003.

»Måretningen af Carlsberg Mindelegat til forskeres formidling af egen forskning kan forhåbentlig blive et ekstra incitament til, at forskere kan styrke deres formidlingskompetencer«, uddybede han. Forskere kan søge op til 200.000 kr. til egen formidling, mens professionelle formidlere kan søge op til 3 millioner kr. til formidling af naturvidenskabelige, samfundsvidenskabelige og humanistiske emner med bred samfundsmæssig appel.

Et potentielt problem med de mange gode tiltag er, at der ofte ikke bliver givet penge til evaluering eller følgeforskning. Det var endnu en af tænketankens mange gode anbefalinger. Det hollandske center for forskningskommunikation, som tænketanken anbefalede som dansk forbillede til disse ting, var et midlertidigt projekt. Sidste år bevilgede den hollandske regering 70 millioner kr. til et permanent center. Formålet var netop at styrke landets forskningskommunikation gennem videndeling og erfaringsopsamling.

Kommunikerende forskning

Al videnskab bygger på kommunikation. Derfor er det ikke overraskende, at der kan være en gensidigt frugtbar sammenhæng mellem forskning og formidling, hvor det at

blive bedre til formidling kan være med til at gøre én til bedre forsker. Ofte bliver det fremstillet som et nulsumsspil, hvor tid og ressourcer afsat til formidling går fra forskningen – og omvendt. Det er dog ikke tilfældet, for forskere, der formidler meget, er også de mest forskningsaktive. Forskning og formidling hænger sammen.

Dog er der en skævvridning af forskningsformidlingen, hvert fald hvad angår forskere i medierne. Her er der tendens til, at det primært er forskere fra humaniora og samfundsvidenskab, der bliver brugt, og de optræder oftest som kommentatorer og altså ikke som formidlere af deres egen forskning. Mediernes dynamik betyder også, at det er kendte og erfarne forskere, der først bliver ringet til, typisk midaldrende mænd. Resultatet er en ensartet form for ekspertise og et unuanceret billede af, hvordan forskningens verden i virkeligheden ser ud.

Det giver ikke mening og er næppe et realistisk mål, at alle forskere skal formidle deres forskning. Men der er plads til flere. Mine egne erfaringer med at formidle er, at det er sjovt og lærerigt. Det er sjovt, fordi man kommer i dialog med folk fra forskellige baggrunde, og det er lærerigt, fordi man øver sig i at fatte sig i korthed og bruge et hverdagsprog til at formulere sin viden. Formidling er ofte en erkendelsesproces, som godt kan ligestilles med videnskab.

Selvom videnskabsformidling nu er blevet en integreret del af hele forskningens "økosystem", er der stadig behov for støtte og plads til forbedringer. Jeg kunne godt ønske mig en mere organiseret og systematisk tilgang til formidling à la det hollandske center. Derudover vil det fortsat være vigtigt at arbejde for en bred repræsentation af forskere i forskellige medier. Der vil nok altid være et element af idealisme i videnskabsformidlingen, men området er alt for vigtigt til, at vi helt kan forlade os på det. ■



Inspiration til undervisningen

Du kan finde ekstramateriale på aktuelnaturvidenskab.dk

Hvis du underviser i et naturvidenskabeligt fag i gymnasiet, kan du finde inspiration til undervisningen på Aktuel Naturvidenskabs hjemmeside. Under punktet "undervisningsmaterialer" har vi samlet en masse arbejdsark og forslag til længere undervisningsforløb under de overordnede overskrifter *Biologi*, *Bioteknologi*, *Fysik*, *Geovidenskab & Naturgeografi*, *Kemi* og *Klima*. Alle materialer har udgangspunkt i – eller knytter emnemæssigt an til – artikler bragt i Aktuel Naturvidenskab.

En del af de ældre arbejdsark er blevet opdateret her i 2024, så de stadig er lige relevante at bruge i undervisningen.

På hjemmesiden findes også næsten 90 quizzer, der bygger på artikler fra bladet. I en undervisningssammenhæng kan eleverne for eksempel bruge quizzerne til en hurtig test af, om de har fanget artiklens hovedbudskaber.

Nyt arbejdsark

Materialet tager udgangspunkt i artiklen *Hjernen: Det mest komplekse organ i kroppen* fra Aktuel Naturvidenskab nr. 1/2024. Artiklen kan indgå i et forløb om nervesystemet, for eksempel i starten af forløbet, da den omtaler nervefysiologi og -anatomi på et forholdsvis overordnet niveau.

Fag: Biologi A/B/(C), Bioteknologi A

Materialet er udarbejdet af Lone Als Egebo, Ege-bøger

Ny quiz om kolesterol

Quizzen knytter an til artiklen *Kolesterol - en livsvigtig ballademager i kroppen*.

Alle undervisningsmaterialer og quizzer er frit tilgængelige.

ABONNEMENTS-SERVICE

Har du fået ny adresse eller ønsker du at bestille et abonnement på bladet?

Kontakt os på telefon:

3036 0662 / 8715 2094

E-mail: abo@aktuelnaturvidenskab.dk

Abonnement kan også bestilles via hjemmesiden: aktuelnaturvidenskab.dk

Husk at melde flytning til ny adresse.

Vi modtager desværre ikke automatisk besked om din nye adresse.

Til nye abonnenter:

Bestil en intro-pakke med otte helt nye numre plus abonnement i et år (6 numre) for kun 354,- kr. inkl. porto & ekspedition.

OM AKTUEL NATURVIDENSKAB

Styregruppe

- **Astrid C. Johansen**, kommunikationskonsulent Roskilde Universitet
- **Birgitte Lyhne Broksø**, kommunikationschef, Det Natur- og Biovidenskabelige Fakultet, Københavns Universitet
- **Mikkel Linnemann Johansson**, teamleder, Det Naturvidenskabelige Fakultet, Syddansk Universitet
- **Poul Nissen**, prodekan, Faculty of Natural Sciences, Aarhus Universitet

Eftertryk kun efter aftale. Citat kun med tydelig kildeangivelse. Synspunkter, der fremføres i bladet, kan ikke generelt tages som udtryk for redaktionens holdning.

Layout: Jørgen Dahlgaard

Tryk: Jørn Thomsen Elbo A/S

ISSN: 1399-2309 (papirudgaven), 1602-3544 (web)

Oplag: 4.300



Redaktionsgruppe

- **Astrid C. Johansen**, Roskilde Universitet
- **Birgitte Svennevig**, Det Naturvidenskabelige Fakultet, Syddansk Universitet
- **Carsten Rabæk Kjaer**, Aktuel Naturvidenskab
- **Jørgen Dahlgaard**, Aktuel Naturvidenskab
- **Michael Skov Jensen**, Københavns Universitet

Redaktion:

Telefon: 3036 0660 (Carsten) / 3036 0662 (Jørgen)

E-mail: red@aktuelnaturvidenskab.dk

Hjemmeside: aktuelnaturvidenskab.dk

Postadresse:

Aktuel Naturvidenskab,
Ny Munkegade 120, Bygning 1520,
DK-8000 Aarhus C

Omslagsfoto:

Illustration af .

Foto: Gople. Foto: Julie Skotte

Al henvendelse til:
Aktuel Naturvidenskab,
Ny Munkegade 120, 8000 Aarhus C
E: abo@aktuelnaturvidenskab.dk
T: 87152094

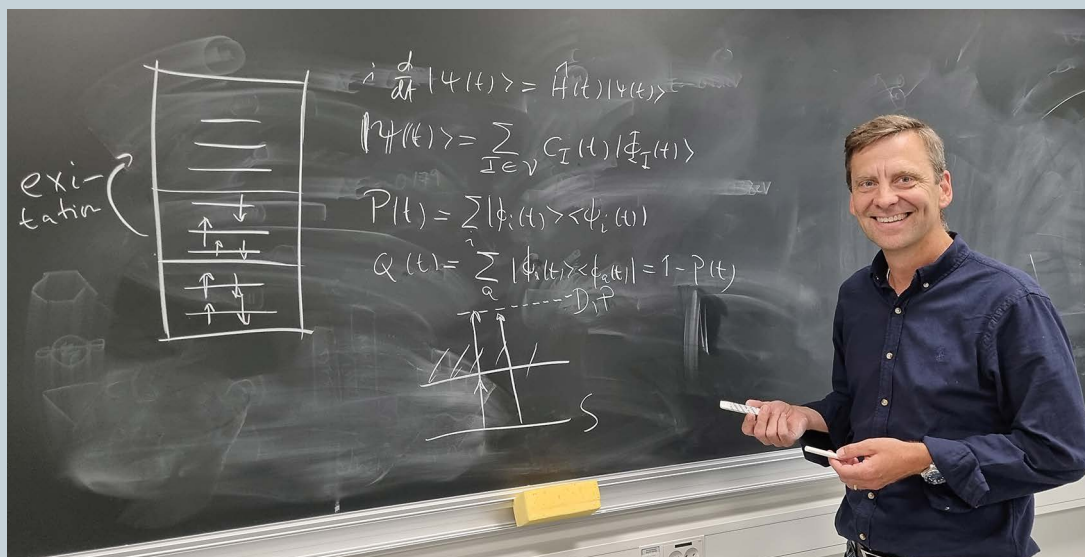


Foto: Jørgen Dahlgaard

Forskerens fornemmelse for kridt

Af Carsten R. Kjaer, Aktuel Naturvidenskab

I min barndom var en lærer en, der skrev med kridt på en tavle. Spoler man tiden frem til i dag, hvor den digitale teknologi for længst gjort sit indtog på uddannelsesinstitutionerne, skulle man tro, at den gode gamle kombination af kridt og tavle var en saga blot. Men når jeg dagligt passerer et område, hvor fysik- og matematikstuderende holder til, kan jeg konstatere, at både tavler og kridt lever i bedste velgående.

»Vi har altid brugt tavle og kridt på universitetet«, fortæller Lars Bojer Madsen, der er professor ved Institut og Astronomi ved Aarhus Universitet og en flittig kridt- og tavlebruger. Han fortæller, at det for ham har en positiv effekt på tankevirksomheden at få ideerne ud gennem en rent fysisk bevægelse af hånden. Og til det formål findes der ikke noget bedre redskab end en tavle og kridt. En af kvaliteterne er, hvad man kan kalde »kridtets flygtighed«:

»Kridt og tavle inviterer til en proces, hvor der skrives og hurtigt hvikes ud, og mange ideer kommer på banen. I den forstand kan kridt og tavle medvirke positivt i undervisning og videnskabelige diskussioner«, siger han.

Men kridtet skal have den rette grad af flygtighed! Det blev Lars opmærksom på, da nogle studerende i en pause i en forelæsning kom hen til ham med et stykke kridt og spurgte, om ikke han ville bruge det i stedet for. For de havde nemlig svært ved at læse, hvad han skrev på tavlen. Den oplevelse fik ham til at teste forskellige typer

kridt og konkludere, at den type, der bliver indkøbt på instituttet for tiden, er ringe.

»Det er jo nok, fordi det er billigt – og måske er det også mere rengøringsvenligt, da kridt sviner mere, jo mere det smitter af. Men det er jo også det, der gør, at man kan læse det«, siger han.

Så kvaliteten af kridtet betyder faktisk noget, og søger man på nettet, kan man læse, at Hagoromo-kridt anses for kridtets Rolls Royce og foretrakkes af førende matematikere.

Lars Bojer Madsen kan godt klare sig med mindre end en »Rolls Royce«, men kridt skal det være. For han blev aldrig fan af tavlens fysiske afløser, Whiteboardet. »Tusserne er altid væk – eller også er de ved at løbe tør – og tavlerne bliver sværere at viske ud med alderen. Ja, og så er der altid en, der kommer til at bruge en permanent marker på dem«, siger han. Heller ikke moderne, digitale hjælpemidler har kunnet fortrænge kridtet.

»Jeg tror faktisk, at brugen af tavle og kridt her på mit institut har været stigende de seneste år. I hvert fald har flere af mine kolleger fået dem tilbage på kontorerne, og de studerende efterspørger dem også«, siger Lars.

Skal man tro ham, er en kridt- og tavleløs fremtid på universitetet ikke lige om hjørnet. ■