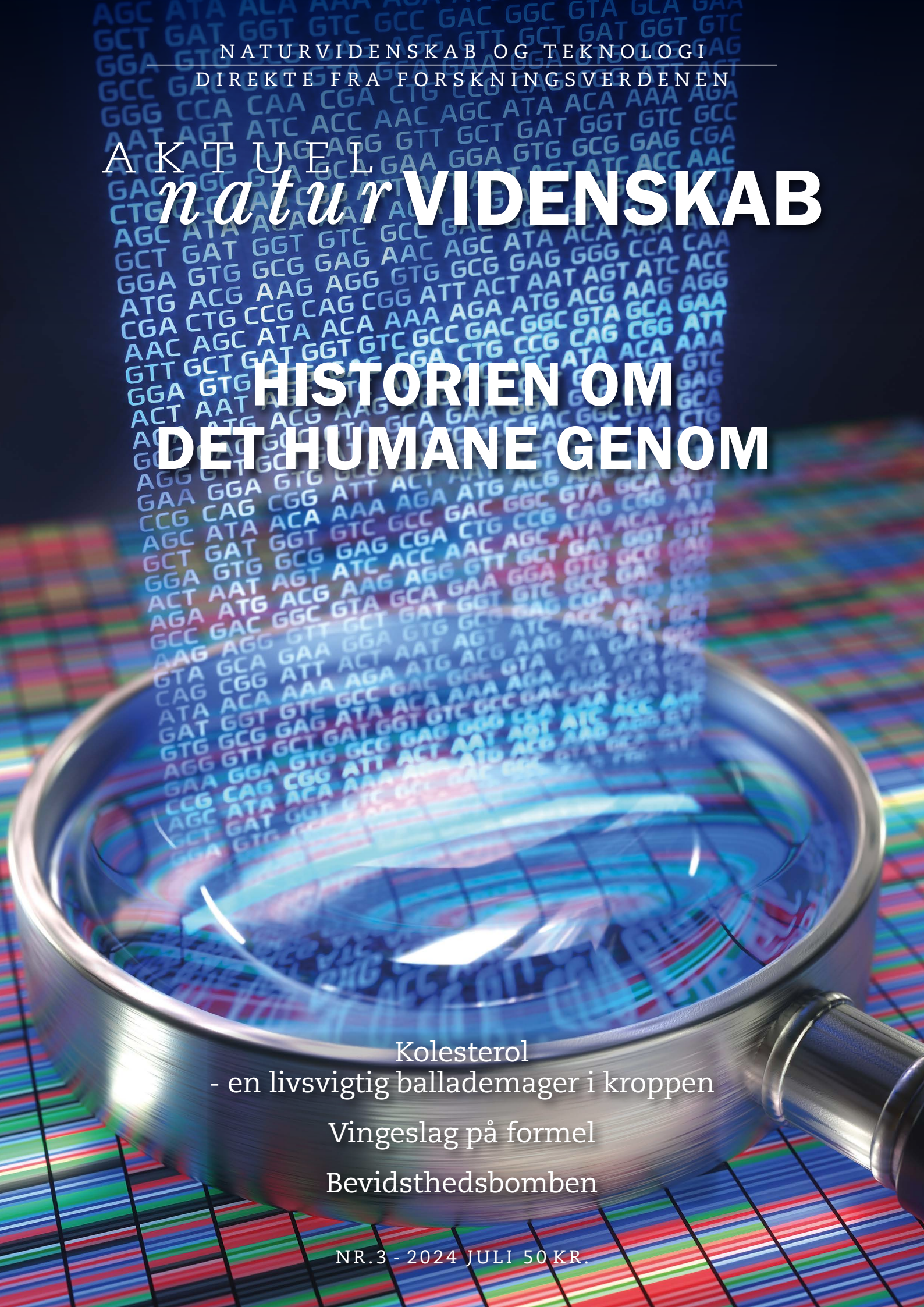
NATURVIDENSKAB OG TEKNOLOGI
DIREKTE FRA FORSKNINGSVERDENEN

AKTUEL *natur*VIDENSKAB



HISTORIEN OM DET HUMANE GENOM

Kolesterol
- en livsvigtig balladedrager i kroppen

Vingeslag på formel

Bevidsthedsbomben

NR.3 - 2024 JULI 50 KR.

NOTER

Dygtige unge forskere

I april blev vinderne kåret i årets udgave af konkurrencen Unge Forskere, som arrangeres af Astra – det nationale naturfagscenter. Den samlede vinder af juniorkategorien blev Alexander Puggaard fra Atheneskolen. Hans projekt går ud på at forbedre og optimere helikoptere og andre rotorfartøjer med et nyt rotorblad, der er designet med inspiration fra den kortfinnede makohajs tandlignende skæl. I seniorkategorien blev Ridhima Pal, som går i 2. g på Copenhagen International School, kåret til samlet vinder. Hun modtog hæderen for sin nyskabende forskning i BMI (Body Mass Index), hvor hun har arbejdet med et kæmpe datasæt og sat spørgsmålstegn ved, om metoden også er den rigtige i en global verden med forskellige køn og forskellige etniske grupper.

Foto: Birgitte Rubæk, SNM.

Botanisk Have fylder 150 år

For 150 år siden flyttede Botanisk Have i København til sin nuværende placering på Københavns gamle voldsystem. Det bliver hen over sommeren fejret med særlige jubilæumsrundvisninger samt øl- og vinsmagninger i haven. Og til september afholdes et stort jubilæumsevent i botanikkens tegn, hvor du kan møde de mennesker, der hver dag arbejder med at bevare Danmarks største samling af levende planter. I skolernes sommerferie er der gratis aktiviteter for børn, hvor de kan få fingrene ned i jorden og øjnene op for naturen.
Se programmet på: snm.ku.dk/det-sker/botanisk-have-150-aar/

Hjernen i hidtil uset detalje

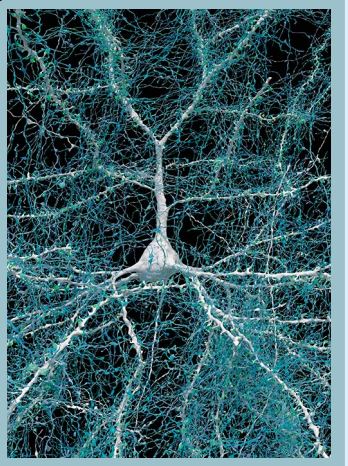


Illustration: Google Res. & Lichtman Lab, Harvard Univ. Rendering: D. Berger, Harvard Univ.

Billedet her bør få det til at svimle for enhver! Det viser en enkelt af hjernens cirka 86 milliarder neuroner. Neuronen er forbundet med flere end 5000 fibre (axoner, vist i blåt) fra andre neuroner, hvorigennem der kan sendes signaler. Selve kontaktfladen mellem neuronerne – kaldet synapser – er vist med grønt. Billedet stammer fra den til dato mest detaljerede kortlægning af et stykke hjerne, som for nylig er publiceret i tidsskriftet *Science*. Undersøgelsen tog udgangspunkt i en enkelt kubikmillimeter hjernebark fra en 45 år gammel kvinde. Fragmentet blev skåret op i 5000 nanotykke skiver, som blev scannet med et elektronmikroskop. Ved hjælp af kunstig intelligens kunne forskerholdet efterfølgende bygge en 3D-model ud fra billederne.

Kilde: Shapson-Coe, A. et al. Science 384, eadk4858 (2024).

Quizzen

Hvad er den kemiske formel for fedtstoffet kolesterol?

1) C_2H_6O 2) $C_6H_{12}O_6$ 3) $C_{27}H_{46}O$

Se svaret i artiklen side 20.

Foto: Armas / Suaq Project

Rakus to dage før, han blev observeret behandle sit sår.

Medicin-abe

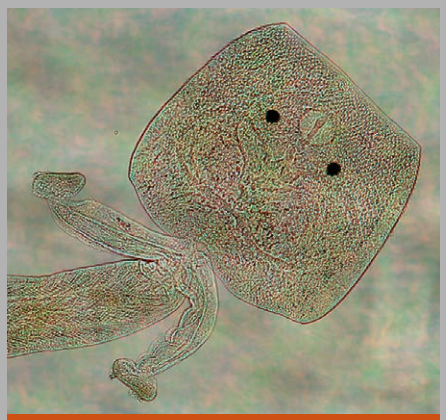
I Sumatras jungle lever en orangutan, som tilsyneladende har sans for medicinsk behandling, rapporterer tyske og indonesiske forskere i tidsskriftet *Scientific Reports*. Rakus, som orangutanen er blevet navngivet, havde fået et åbent sår i ansigtet, formentlig i kamp med en anden han. I dagene efter så forskere Rakus spise stængler og blade af lianen med det latinske navn *Fibraurea tinctoria*. Det er en art, som orangutaner sjældent spiser, men som mennesker i området bruger til at behandle forskellige sygdomstilstande som diabetes, dysenteri og malaria. Udover at spise bladene, tyggede Rakus også på dem uden at synke, og smurte saften på sit sår – og lagde i tillæg et omslag af tyggede blade på det. Otte dage senere var såret lukket i gen. Det er første gang, at en sådan adfærd er blevet observeret hos et vildt dyr i naturen.

Laumer et al: Scientific Reports, vol. 14, Art. No.: 8932 (2024)

Saml fossiler og hjælp forskerne

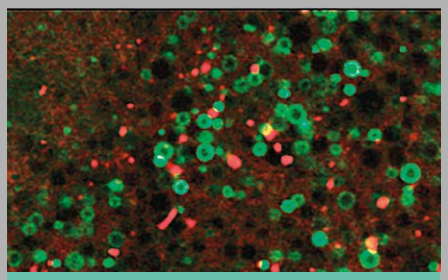
Har du fundet noget, der kan være et fossil? Og vil du gerne vide, hvad det er? Så skal du bare dele dine billeder af dit fund på den nye platform mitfossil.dk. Her kan du få svar på dine spørgsmål og deltage i arbejdet med at skabe et digitalt opslagsværk over fossiler fra Danmark. Samtidigt hjælper du forskerne med at blive klogere på fortidens klima og biodiversitet, så vi bedre kan forstå de udfordringer, vi står overfor i dag. MitFossil er udviklet af Statens Naturhistoriske Museum og finansieret af Geocenter Danmark.

indhold

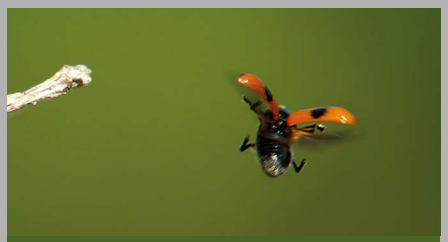


København har fået en parasit
En parasit fundet i fisk og snegle i akvarier i København har vist sig at være en helt ny art, der nu er blevet opkaldt efter byen.
9

Historien om det humane genom
Kortlægningen gjorde forskere meget klogere på det at være menneske, men viste også, at vores arvemasse og for eksempel den genetiske risiko for udvikling af sygdom er meget mere kompleks, end man havde troet.
26



Kolesterol – en livsvigtig balledemager i kroppen
Forskerene har kortlagt, hvordan kolesterol hjælper kræftceller med at vokse, og hvordan fedtstoffet måske spiller en vigtig rolle, når unge piger går meget tidligt i pubertet.
20



Vingeslag på formel
Fysikere fra Roskilde Universitet har fundet en simpel ligning, der forudsiger, hvor hurtigt flyvende dyr slår med vingerne for at holde sig i luften.
18

FORSKNING OG NYHEDER

4 KORT NYT

7 Når tunge stjerner dør i stilhed

9 København har fået sin helt egen parasit

12 De første planter på landjorden

18 Vingeslag på formel

20 Kolesterol – en livsvigtig balledemager i kroppen

26 20 år med det humane genom – gennem op- og nedture

34 Når regnen falder

39 Bevidsthedsbomben

42 Service

44 BAGSIDEN: Energifattigdom set fra rummet

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

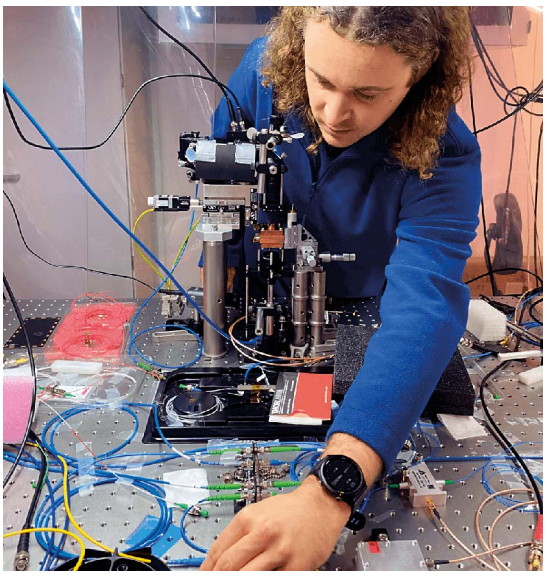
SPONSOR-ABONNENTER

AARHUS UNIVERSITET
SDU DET NATURVIDENSKABELIGE FAKULTET
GRUNDFOS
KØBENHAVNS UNIVERSITET
RUC Roskilde Universitet
novo nordisk®

Kvantetromme som hukommelse

Forskere ved Niels Bohr Institutet på Københavns Universitet har udviklet en ny måde at skabe såkaldt kvantehukommelse: En lille tromme kan gemme data sendt med lys i dens lydvibrationer for siden at sende data videre med nye lyskilder, når det igen skal bruges.

Kvantetrommen er en lille membran lavet af et keramisk glas-agtigt materiale med huller spredt i et sirligt mønster langs kanterne. Når trommen med slaget fra et laserlys sættes i gang med at vibrere, så er den i stand til at gøre det så hurtigt og uforstyrret, at kvantemekanikken kommer i spil.



Postdoc Mads Bjerregaard Kristensen i laboratoriet.
Foto: Kristian Bjørn-Hansen.

»Det åbner for store perspektiver den dag, kvantecomputere for alvor kan det, som vi forventer de kommer til. Kvantehukommelse bliver efter alt at dømme fundamental for at sende kvanteinformationer over afstand. Så det, vi har udviklet, er en afgørende brik i selve grundlaget for et fremtidigt internet med kvantefart og kvantesikkerhed,« siger postdoc Mads Bjerregaard Kristensen fra Niels Bohr Institutet, som er førsteforfatter til den nye forskningsartikel.

Skal man sende informationer mellem kvantecomputere over en vis afstand, så vil signalet hurtigt blive overdøvet af støj. Mængden af støj i et lyskabel stiger nemlig eksponentielt, jo længere kablet er, og til sidst kan data ikke længere afkodes.

Det klassiske internet og andre større computernetværk løser dette støjproblem ved at forstærke signalet i nogle små stationer undervejs på rejsen. Men skal kvantecomputere gøre brug af den metode, så må de først oversætte data til almindelig binære talsystemer, som dem en almindelig computer bruger.

»Vi håber i stedet kvantetrommen vil kunne overtage den opgave. Den har vist sig meget lovende, fordi den er supervelegnet til at modtage og gensende signaler fra en kvantecomputer. Så målet er, at en forbindelse mellem kvantecomputere kan forlænges af stationer, hvor kvantetrommer modtager og gensender signalerne, og på den måde undgår støjen, mens data forbliver i kvantetilstand,« siger Mads Bjerregaard Kristensen.

Kristian Bjørn-Hansen, Københavns Universitet

Forskning sætter zombie-celler i fokus

Kræft er ikke én sygdom, men mange forskellige sygdomme, der udløses af forskellige faktorer, har forskellige forløb og kræver forskellige behandlinger. En af de mange spillere i kræftsvulsters opståen og udvikling er såkaldte zombie-celler, også kaldet senescente celler. Og netop dem vil den unge forsker Panos Galanos nu studere nærmere. Han har for nylig modtaget et fellowship på 10 millioner kroner fra Lundbeckfonden og skal nu opbygge sin egen forskningsgruppe på Syddansk Universitet.

Zombie-celler er celler, der er gået i dvale i kroppen. De er holdt op med at dele sig og har ikke engang længere evnen til at slå sig selv ihjel, som udtjente celler ellers har. De er stadig aktive, men det er uklart, hvad deres rolle egentlig er. Zombie-celler kommer med alderen og kan fra deres dvaletilstand udskille stoffer, der forårsager aldersrelaterede lidelser som vævsnedbrydning og knogleskørhed.

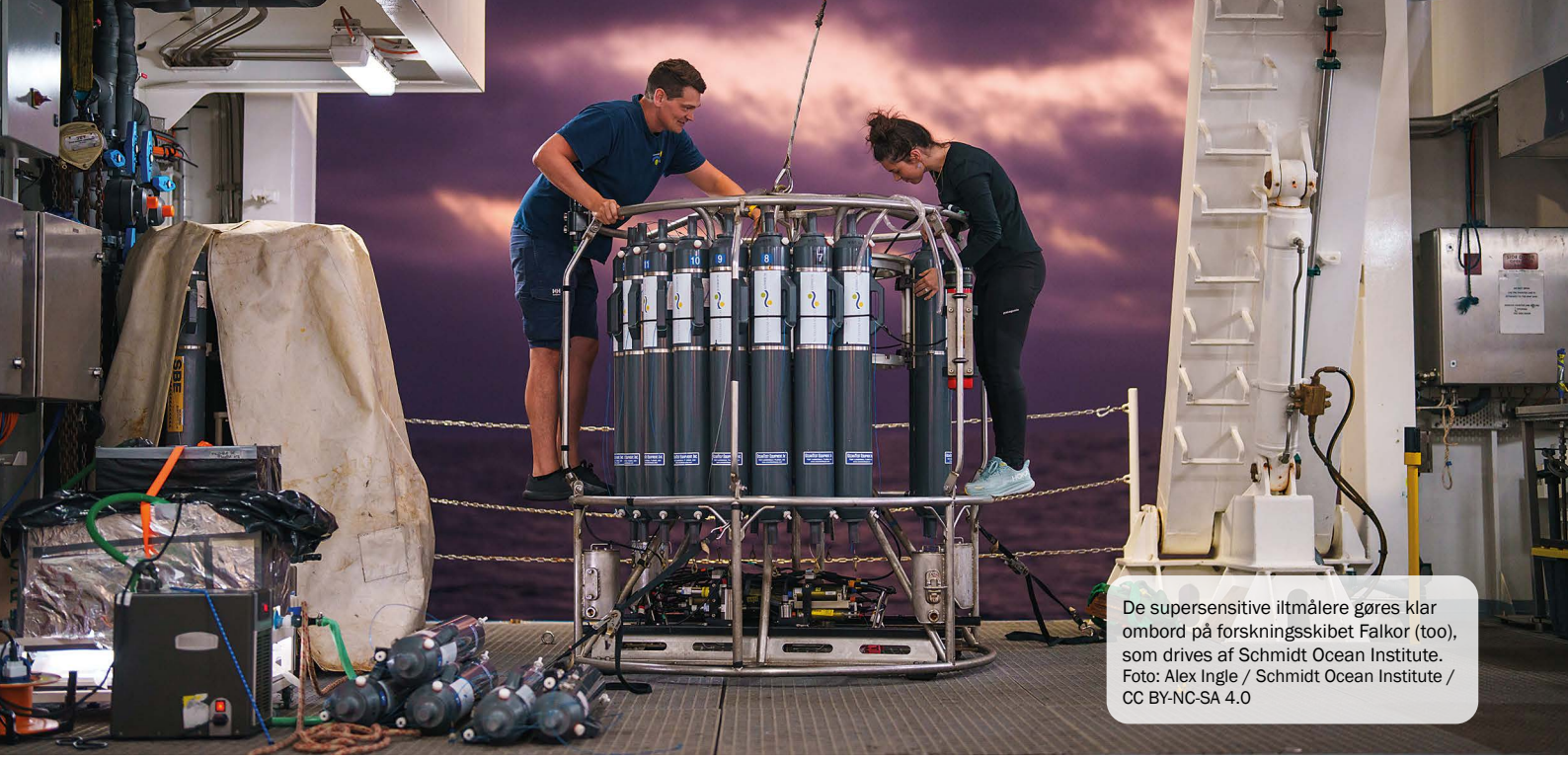
Når man taler om kræft, er celler, der ikke deler sig, interessante, fordi kræft netop kendetegnes ved aggressiv celledeling. Zombie-celler har altså en evne til at forhindre, at kræftsvulster opstår og vokser et sted i kroppen, alene fordi celledeling ikke kan foregå. Men zombie-celler kan også udskille nogle stoffer, som, udover at forårsage aldersrelaterede lidelser, kan forårsage kræft. Det gør de eksempelvis ved at støtte omdannelsen af godartede celler til ondartede og ved at stimulere delingen af kræftceller.

»Et af de spørgsmål, vi skal arbejde med i min nye forskningsgruppe, handler om, hvordan zombie-celler kan forlade deres ikke-delingstilstand og dermed blive kræftfremkaldende«, siger Panos Galanos.

Gruppen vil blandt andet studere celler fra lungekræftpatienter. Zombie-celler ses nemlig hyppigt og i mange sammenhænge med lungekræftforløb, så ideen er at studere, hvordan zombie-celler arbejder i disse patienter. Håbet er at få ideer til udvikling af nye behandlinger.

Derudover vil forskningen potentielt også kunne kaste lys over andre aldersrelaterede lidelser som Parkinsons og Alzheimers, mener Panos Galanos.

Birgitte Svennevig, Syddansk Universitet.



De supersensitive iltmålere gøres klar ombord på forskningsskibet Falkor (too), som drives af Schmidt Ocean Institute. Foto: Alex Ingle / Schmidt Ocean Institute / CC BY-NC-SA 4.0

Forskere finder ilt i "iltfrie" zoner

Store dele af verdenshavene indeholder så lidt oxygen (ilt), at hverken fisk eller hvaler kan leve der. Disse områder kaldes for Oxygen Minimum Zones (OMZ), og de findes naturligt flere steder. Den største strækker sig tusinder af kilometer langs Nord- og Sydamerikas stillehavskyst, og nu har et hold forskere fra Syddansk Universitet været på togt i den sydøstlige del med det formål at udforske det særlige oxygenfrie miljø.

Med på ekspeditionen var også et nyt apparat til at måle vands indhold af oxygen, udviklet af biologerne Morten Larsen og Bo Thamdrup fra Biologisk Institut i samarbejde med Laura Bristow fra universitetet i Göteborg.

Mikroorganismer i oxygenfrie områder

En Oxygen Minimum Zone er defineret som et område, hvor man ikke med almindeligt udstyr kan registrere noget oxygen på 100 – 1000 meters dybde. Men med forskernes nye apparat (som de kalder mTail, som står for mini Trace Analyzer In situ Logger) kunne forskerne måle bittesmå koncentrationer af oxygen flere steder i vandsøjlen i Southeast Pacific Oxygen Minimum, som aldrig har været registreret før.

Nok er de registrerede koncentrationer ganske små, men opdagelsen af dem kan vende helt op og ned på forståelsen af, hvad der foregår i de store oxygenfrie zoner.

» Siden man ikke har registreret oxygen før, er forskere gået ud fra, at de mikroorganismer, der findes i disse zoner, kan klare sig uden oxygen. At de for eksempel bruger ammoniak eller nitrat i stedet,« siger marinbiolog og lektor på Biologisk Institut, Beate Kraft, der også var med på ekspeditionen.

Det er ikke ligegyldigt, om zonernes mikroorganismer bruger oxygen, nitrat eller helt andre stoffer til at opretholde livet. Mikroorganismerne findes nemlig i så enorme antal, at deres aktivitet har stor indflydelse på Jordens vitale processer og dermed også på, hvor mange drivhusgasser, der slipper fra havet op i atmosfæren.

Hvis en mikroorganisme eksempelvis forbruger nitrat, producerer den lattergas. Det er en drivhusgas, der er 245 gange stærkere end CO_2, som produceres af de mikroorganismer, der forbruger ilt. Det betyder altså noget for Jordens klima, om der lever den ene eller den anden slags i de store oxygenfrie zoner i havene.

Betydning for drivhusgasbudgettet

»Med den nye viden skal vi gøre plads til oxygenforbrugende mikroorganismer i zonerne, og det kan komme til at rykke ved vores forståelse af de dynamikker, der driver udledningen af drivhusgasser fra zonerne,« forklarer Elisa Hernandez-Magaña, postdoc på Biologisk Institut.

Hun og Beate Kraft forsker blandt andet i mikroorganismen *Nitrosopumilus maritimus*, der ikke er en bakterie, men en arkæ. Arkæer er lige så små som bakterier, men de er lige så forskellige fra bakterier som mennesker er, og derfor har de deres udviklingslinje på livets stamtræ.

Nitrosopumilus maritimus er kendt for at forbruge ammoniak og er dermed en af de mikroorganismer, der producerer lattergas til atmosfæren. Men den har brug for en vis mængde oxygen til denne proces, og det har derfor længe været et mysterium, hvorfor den er så udbredt i zoner, hvor man ikke kunne registrere oxygen. Tidligere forskning fra Beate Kraft og kolleger har afsløret, at *Nitrosopumilus maritimus* har en overraskende evne til at kunne producere småbitte mængder af oxygen, som den selv forbruger, når den lever i oxygenfrit vand.

»Spørgsmålet er så, om den bruger oxygen, når det findes i havvandet – eller om de selv producerer de små mængder oxygen, som de skal bruge, samtidig med at de producerer lattergas til atmosfæren,« siger Beate Kraft.

Ammoniak-oxiderende arkæer som *Nitrosopumilus maritimus* er ekstremt udbredt i havvand over hele verden, så også for dennes vedkommende betyder det noget for atmosfærens indhold af drivhusgasser, hvad den lever af, og hvad den producerer.

Birgitte Svennevig, Syddansk Universitet.

Tangskove og det globale carbonkredsløb

Et nyt internationalt studie publiceret i *Nature Geoscience* viser, at verdens tangskove potentielt transporterer cirka 56 millioner tons carbon til dybhavet hvert år, og at mellem 4 og 44 millioner tons af dette bliver tilbageholdt i mindst 100 år. Dybhavet dækker i denne sammenhæng over havdybder på mere end 200-500 meter, hvor der er en relativt lille opblanding af vandmasserne.

Foto: Shutterstock

Studiet omfatter både de undersøiske skove af store brunalger og de mindre skove af brunalger, der vokser i tidevandszonen langs verdens kyster. Disse habitater er blandt verdens mest produktive og er hotspots for biodiversitet i havet. Brunalgernes store produktion betyder også, at de effektivt optager carbondioxid og indbygger det i deres biomasse, hvorefter en del af denne biomasse kan transporteres til og ender i dybhavets carbonlager.

Studiet er ledet af Dr. Karen Filbee-Dexter fra Havforskningsinstituttet i Norge og University of Western Australia. Det repræsenterer et stort internationalt forskningssamarbejde med dansk bidrag fra professor Morten Foldager Pedersen, Roskilde Universitet, og professor Dorte Krause-Jensen, Aarhus Universitet.

Studiet anslår, at tangskovene eksporterer omkring 15 procent af deres produktion til dybhavet hvert år, hvor en mindre del af carbonet kan tilbageholdes i århundreder. Transporten af carbon, der er bundet i tang-biomasse til 200 meters dybde, svarer til 3-4 procent af havets samlede carbon-tilbageholdelse.

Forskningsholdet brugte globale havmodeller til at følge tangens vej fra kysten til dybhavet. De sammenholdt transporttiden for denne rejse med tangens nedbrydningshastighed for at vurdere, hvor stor en andel af tangen, der potentielt ville kunne nå dybhavet, inden det var nedbrudt. På den baggrund identificerede studiet også globale hotspots for tangeksport til dybhavet. Det drejer sig typisk om områder, hvor udbredte tangskove vokser tæt på kontinentalsoklen og dermed ligger tæt ved dybhavet.

CRK, Kilde: ruc.dk/RUC Kommunikation og presse.
Nature Geoscience: doi.org/10.1038/s41561-024-01449-7.

Kæmpevira på Indlandsisen

Alger på Indlandsisen farver isen sort og er dermed med til at forøge afsmeltningen af is, fordi den sorte is ikke reflekterer solstråling i samme grad som ren is. Nu har Laura Perini og hendes kolleger fra Institut for Miljøvidenskab på Aarhus Universitet imidlertid fundet noget på den arktiske is, der potentielt kan lægge en dæmper på algevæksten: kæmpevira. Forskerne har analyseret prøver fra isen og fundet genetiske signaturer fra aktive kæmpevira netop i områder, hvor der lever mange mikroalger. Forskerne mistænker, at disse kæmpevira inficerer algerne, og de kan derfor muligvis fungere som en kontrolmekanisme, der regulerer udbredelsen af alger på isen.

Kæmpevira er en forholdsvis ny opdagelse, idet den første kæmpevirus blev opdaget i 1981 i havet. Virussen havde specialiseret sig i at inficere grønne alger i havvandet. Siden har forskere fundet kæmpevira i jord

Flere steder er Indlandsisen dækket af sorte alger.
Foto: Laura Perini

og endda i mennesker. Normalt er en virus mellem 20 og 200 nanometer lang, hvilket er omkring 1000 gange mindre end bakterier. Kæmpevira kan blive op til 2,5 mikrometer og er dermed større end de fleste bakterier. Deres genom er også meget større end andre viras. I det nye studie har forskerne ikke observeret kæmpevira direkte, men har fundet DNA, der er meget lig kendte sekvenser fra kæmpevira. Forskerne har også fundet mRNA (messenger-RNA), som viser, at DNA'et fra viraene aktivt bliver oversat til protein og dermed ikke bare stammer fra for længst døde vira. For få år siden var de fleste overbevist om, at indlandsisen var et goldt sted stort set uden liv. I dag ved vi, at der lever mange forskellige mikroorganismer – og altså også kæmpevira.

»Der findes et helt økosystem, som er baseret på algerne. Foruden bakterier, filamentøse svampe, protister og gær som spiser algerne, findes der svampe, der lever som algeparasitter samt altså de kæmpestore vira, som vi har fundet. For at forstå de biologiske kontrolmekanismer som styrer algernes opblomstring, har vi brug for at lære mere om disse forskellige grupper af liv,« siger Laura Perini.

Jeppe Kyhne Knudsen, Faculty of Technical Sciences, Aarhus Universitet. Kilde: Microbiome 12, 91 (2024).

Foto: NASA, ESA, CSA, STScI, Webb ERO Production Team.

Det lille billede viser en kunstners udlægning af det binære stjernesystem VTFS 243. Det findes i Tarantula-tågen (stort billede), der er lokaliseret i dværggalaksen Den Store Magellanske Sky i udkanten af Mælkevejen.
Grafik: ESOL. Calçada CC BY 4.0

Når tunge stjerner dør i stilhed

Ny forskning fra Niels Bohr Institutet på Københavns Universitet præsenterer nu de hidtil stærkeste beviser for, at meget tunge stjerner kan ende deres dage langt mere hemmelighedsfuldt, end hidtil antaget. Forskernes undersøgelser tyder på, at har en stjerne masse nok, når den dør, så kan tyngdekraften være så stærk, at eksplosionen slet ikke finder sted. I stedet gennemgår stjernen det totale kollaps.

»Vi tror, stjernens kerne kollapser under sin egen vægt, som det sker for alle tunge stjerner i den sidste fase af deres levetid. Men i stedet for, at sammentrækningen kulminerer i en supernova-eksplosion, der ville skinne kraftigere end sin egen galakse – ligesom det er forventet af stjerner med mere end otte gange så meget masse som Solen – så fortsætter kollapset, indtil stjernen bliver til et sort hul,« forklarer førsteforfatter Alejandro Vigna-Gómez, der var postdoc på Niels Bohr Instituttet, da forskningsprojektet blev sat i søen.

Forsvindende stjerner

Baggrunden for opdagelsen er et usædvanligt binært stjernesystem i dværggalaksen den Store Magellanske Sky, som findes lige udenfor Mælkevejen. Stjernesystemet, kaldet VFTS 243, består af en stor stjerne og et sort hul cirka 10 gange tungere end Solen, som kredser om hinanden.

Den nye opdagelse kan måske levere både et klart eksempel og en troværdig naturvidenskabelig forklaring på en type fænomen kaldet "forsvindende stjerner", som de senere år har optaget astronomer.

»Hvis man oplevede at stå og kigge på en synlig stjerne, der gennemgik totalt kollaps, så ville det muligvis på det helt rigtige tidspunkt være som at se en stjerne, der pludselig slukker og forsvinder fra stjernehimlen. Kollapset er så komplet, at du ikke har en eksplosion, intet slipper væk, og man ser ingen lysende supernova på nattehimlen. I nyere tid har astronomer faktisk observeret kraftigt lysende stjerner, der pludselig forsvinder. Uden at vi kan være sikre på en forbindelse, så bringer de resultater, som vi har fået af at analysere VFTS 243, os en hel del tættere på en troværdig forklaring,« siger Alejandro Vigna-Gómez.

Ingen tegn på en supernova

Forskerne har i årtier kendt til eksistensen af sådanne binære systemer af stjerner i Mælkevejen, hvor en af stjernerne er blevet et sort hul. Men VFTS 243 er noget særligt.

»Normalt kan en supernova-begivenhed efterfølgende måles i stjernesystemer på forskellige måder, men på trods af, at VFTS 243 indeholder en stjerne, der er kollapset til et sort hul, er sporene af en eksplosion ikke til stede. VFTS 243 er et helt usædvanligt system. Systemets kredsløb er næsten uændret siden kollapset af den ene stjerne til et sort hul,« siger Alejandro Vigna-Gómez.

Forskerne har analyseret observationsdataene for en række tegn, som man ville forvente fra et stjernesystem, der har gennemgået en supernova-eksplosion. Generelt var beviserne for en sådan begivenhed i alle tilfælde få og ikke overbevisende.

Systemet viser ikke tegn på et signifikant "fødselspark," der er en acceleration af objekterne i kredsløbet. Kredsløbet er også meget symmetrisk, næsten perfekt cirkulært, og så peger tilbageværende tegn fra energifrigivelsen, da den tidligere stjernes kerne kollapsede, på en energitype, der stemmer overens med fuldstændig kollaps.

»Vores analyse tyder entydigt på er, at det sorte hul i VFTS 243 sandsynligvis blev dannet øjeblikkeligt, hvor energien primært gik tabt som neutrinoer,« siger professor Irene Tamborra fra Niels Bohr Instituttet, som også har medvirket i studiet.

Kristian Bjørn-Hansen, Det Natur- og Biovidenskabelige Fakultet, Københavns Universitet.
Studiet er udgivet i Physical Review Letters: doi.org/10.1103/PhysRevLett.132.191403

Vælger du en naturvidenskabelig uddannelse, kommer du til at arbejde i studiegrupper helt fra start. Du får hjælp af ældre studerende og vejledere. Og du har undervisere, der brænder for at dele deres viden.

Du slipper ikke for lange dage og hårdt arbejde. Men du lærer at samarbejde, løse problemer med data og matematik og se sammenhænge på tværs af fag. Kompetencer, du kan bruge direkte, når du skal ud på jobmarkedet.

Søg ind på en naturvidenskabelig uddannelse. Ansøgningsfrist 5. juli.

studier.ku.dk/science

KØBENHAVN HAR FÅET SIN HELT EGEN PARASIT

En parasit fundet i fisk og snegle i akvarier i København har vist sig at være en helt ny art, der nu er blevet opkaldt efter byen. Sagen giver også anledning til eftertanke, da sådanne importerede parasitter nemt kan ende i det danske vandmiljø og potentielt gøre skade på de lokale fisk.

Vor stolte hovedstad København har netop fået en parasit opkaldt efter sig. Det drejer sig om en orm, en spektakulær fladorm. Den angriber ferskvandsfisk og tager ophold mellem de mange skæl på fiskens krop. Den er blevet opdaget og beskrevet i København, hvilket har inspireret til det nye navn. Efter grundige analyser har parasitten nemlig fået navnet *Transversotrema hafniensis*, som signalerer, at den har hjemsted i vor hovedstad, idet, som man ved, København benævnes Hafnia, når man udtrykket sig på latin. Der er nu ikke blot tale om, at der her er tilføjet endnu en art på den lange liste af dyrearter på Jorden, for parasittens specielle livscyklus gør den til noget helt specielt. Desuden er der også klare indicier på, at den oprindeligt er importeret med snegle fra tropiske områder.

Da den tydeligvis er skadelig over for en række ferskvandsfisk, giver det desuden anledning til eftertanke, og man kan spørge, om vi ikke bør kontrollere import af fisk og snegle endnu bedre?

Billedet viser den guppy, som viste sig at være inficeret med den nye parasit-art *Transversotrema hafniensis*. Foto: Kurt Buchmann.

Opdagelsen

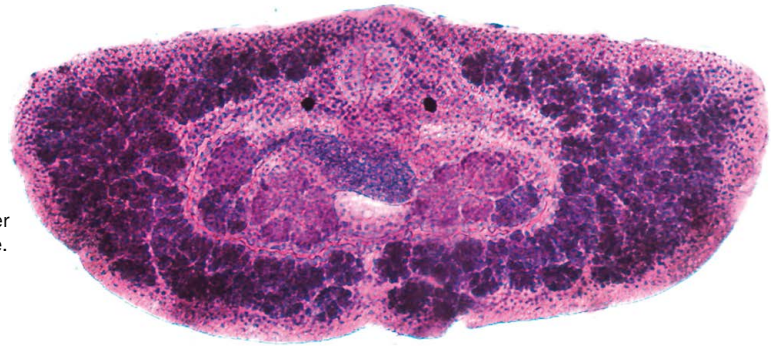
Historien begyndte en dag i maj 2023. En flittig københavnsk akvarist havde produceret en mængde akvariefisk, men mange af dem blev syge og fremviste karakteristiske sygdomstegn. Efter at have besøgt flere dyrlæger og klaget sin nød besluttede akvaristen sig til at besøge Laboratoriet for Akvatisk Patobiologi på Københavns Universitet på Frederiksberg. Her kunne vi stille diagnosen og fortælle, at sygdomstegnene hos fiskene, i dette tilfælde guppyer, skyldtes nogle mikroskopiske fladorme, som havde taget ophold under de mange skæl, der som bekendt sidder på en fiskekrop. Snylterne suger sig fast med sugekop og æder med en lille kraftfuld mund stille og roligt celler fra fiskens krop. Det kan mærkes af fisken, der begynder at sitre, ryste og skrabe kroppen mod faste materialer i et – som regel mislykket – forsøg på at slippe af med snylterne.

Forfatterne

Kurt Buchmann
er professor
kub@sund.ku.dk

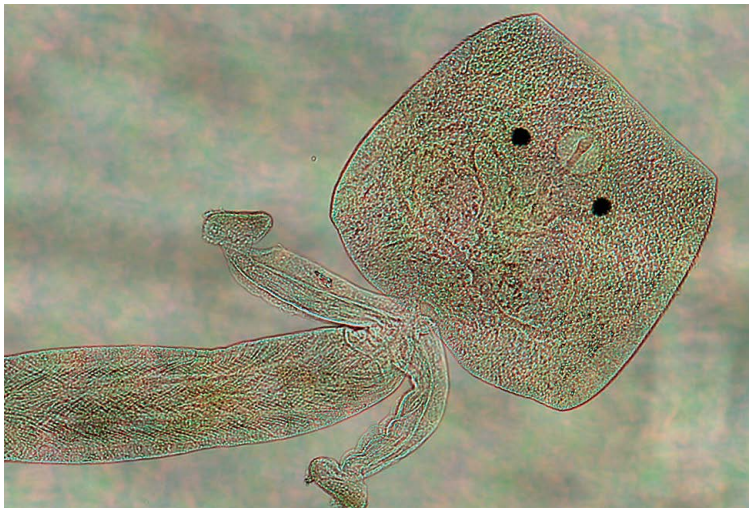
Per Walter Kania
er lektor
pwk@sund.ku.dk

Begge ved Institut for Veterinær- og husdyrvidenskab, Laboratoriet for Akvatisk Patobiologi, Københavns Universitet.



Billeder optaget i mikroskop af den voksne parasit. På det øverste billede er parasitten farvet med farvestoffet hæmatoxylin, der farver nukleinsyrer i cellerne. Parasitten er cirka 0,6 mm lang og cirka 1,2 mm bred – altså dobbelt så bred som lang. Og så er den flad.

I midten ses et ufarvet billede af en parasit med æg (som ses midt i parasitten). Den gulbrune farve er den naturlige farve i de celler, der danner blommemateriale til ægget, lige før det afgives til omgivelserne.
Fotos: Kurt Buchmann



Det infektive larvestadium (kaldet cercarie) af parasitten giver mindelser om tegneserie-figuren svampebob-firkant.
Foto: Kurt Buchmann

Vi vidste fra andre studier, at netop denne type orm kræver en snegl i miljøet for at kunne gennemføre sin livscyklus og formere sig. Ormene er såkaldte digene ikter, der parrer sig i hulrummet under fiskens skæl, men en succesfuld formering kan ikke foregå, uden at der er en særlig snegl i systemet. Den er en obligatorisk del af livsforløbet. Uden en snegl, hvori der foregår en opformering af infektive stadier, bliver de nye og unge fisk ikke inficeret. Akvaristen måtte derfor have nogle inficerede snegle i akvarierne, ræsonnerede vi. Og ganske rigtigt: Akvaristen indsamlede en god portion snegle fra hjemme-akvarierne, som vi undersøgte i laboratoriet. Og her viste det sig, at sneglene, og kun dem der hed *Melanoides tuberculata*, afgav et stort antal infektive larver kaldet cercarier. Og det er dem, som inficerer fisken, kunne vi dokumentere og bekræfte i laboratoriet.

"Svampebob-firkant"

Hver enkelt orm er både han og hun (på fagsproget: hermafroditisk), hvilket er praktisk, da det jo øger sandsynligheden for at møde en passende partner, som kan lede til videreførelse af arten. Efter parring afgiver parasitterne æg, der spredes i vandet. I vandet klækker æggene og frigiver bevægelige larver, som har forkærlighed for netop den omtalte ferskvandssnegl. Larverne borer sig ind i sneglen, hvor de udvikles til endnu et parasit-stadium, som danner en ny type bevægelige

København i videnskabelig navngivning

Når den nye parasit-art er blevet opkaldt efter København (som på latin hedder Hafnia), er det ikke første gang, at København er blevet hædret af videnskabsfolk i forbindelse med en ny opdagelse. Grundstoffet Hafnium er opkaldt efter København. Det var i 1923, at metallet blev beskrevet af Dirk Coster og Georg von Hevesey ved deres arbejde på Niels Bohr Instituttet i København.

Og helt tilbage i 1764 opkaldte vores egen gamle naturforsker Otto Frederik Müller en guldsmed (altså et insekt) efter hovedstaden ved at kalde den *Libellula hafniensis*. Siden har man flyttet arten til en ny slægt, så den nu benævnes *Brachytron hafniensis*. På listen har vi også en bakterie isoleret fra Østersøen, som i 2006 blev navngivet *Shewanella hafniensis*.

Ved etablering af parasitarten *Transversotrema hafniensis*, hvis forfædre højst sandsynligt stammer fra Asien (og måske Indien), kæder vi endnu en gang vor gamle stolte naturforsker Otto Frederik Müller til arbejdet, idet han i 1774 beskrev mellemværtssneglen *Melanoides tuberculata*, som her 250 år efter har bevæget sig rundt i et københavnsk akvarium og afgivet de infektive larver af *T. hafniensis*.

larver (cercarier), der med kraftfulde bevægelser svømmer rundt i vandet, hvor de håber på at møde en fisk.

Dette selvbevægelige parasitstadium, der afgives af sneglen, er ganske specielt udformet. Når man beskuer larven i mikroskopet får man straks mindelser om Svampebob-firkant, en velkendt tegnefilmfigur, som i lange tider har fornøjet danske børn. Larven har nemlig et hoved (som i virkeligheden er en krop) og en hale forsynet med armlignende vedhæng med pigge og svømme-luffer. Ligheden med tegneseriefiguren er slående, men den kan ikke blot fornøje. Dens udstyr gør infektionen effektiv, hvis ellers en fisk er i nærheden. Larvens hovedlignende dannelse skubbes ind mellem to skæl på fiskens krop, hvorefter parasitten kaster halen. Det giver mindelser om en veritabel halshugning, men kroppen – nu uden hale – lever fint videre under fiskens skæl, hvor den udvikler sig til en kønsmoden orm. Halen med vedhæng går stille og roligt til.

En ny art – en ny bekymring?

Der findes flere arter af slægten *Transversotrema,* men hovedparten af dem findes på en række havfisk i Stillehavet. Hidtil har man kun kendt en enkelt art af denne parasit-slægt, der lever i ferskvand. Både DNA-studier og undersøgelser af københavner-snylterens form og figur viste imidlertid, at der var tale om en art helt for sig selv. Den er altså nu blevet døbt *Transversotrema hafniensis*, Københavns helt egen snylter.

Undersøgelsen har ikke blot bragt en ny art for dagen. Den kan også give anledning til at sætte fokus på den livlige handel med ikke alene akvariefisk, men også akvariesnegle, der, som det er vist her, kan fremkalde sygdom hos fiskene. Fiskene blev jo inficeret i akvariet i København, fordi der var en række inficerede snegle deri. Og de var importerede. Det stiller spørgsmålet, om man ikke bør stramme op på kontrol med sygdomme hos ikke bare fisk men også snegle, der kan bære snyltere. Man kan også spekulere på risikoen, hvis en akvarist en dag bliver træt af sin hobby og hælder fisk og snegle ud i det danske vandmiljø. Det er sket før, og hvad ville der så ske med de danske fisk, hvis parasitten får fat i dem? Nu er sneglen en varmvandsart, og den ville måske ikke have stor chance for at overleve i en iskold, dansk sø. Men man ved, at blot vandet opvarmes lidt, på den ene eller anden måde, så kan den etablere sig, hvilket er set flere steder i Europa.

Hvis sneglen således kan overleve i vores natur, og den ovenikøbet er inficeret med enten den nye københavnerparasit eller en anden lignende snylter med bred forkærlighed for vores lokale fisk, ja så kan man da godt blive lidt betænkelig. ■

Illustration: Kurt Buchmann

Livscyklus for parasitten *Transversotrema hafniensis*

Tegningen viser øverst den voksne, kønsmodne parasit (den har både æggestok og testikler). Efter parring afgiver den æg til vandet, hvorefter æggene klækkes og en lille larve (kaldet miracidium) trænger ud, svømmer rundt og efterfølgende borer sig ind i en snegl. I sneglen dannes ny parasitstadier, der afgiver et nyt larvestadium (kaldet en cercarie). Denne larve er hos denne art meget karakteristisk, idet halen er udformet med arm- og benlignende vedhæng, som hjælper den med at inficere fisken. Kun hoved-delen (som er kroppen på parasitten) overlever og udvikler sig under fiskens skæl til det voksne stadium, hvorefter historien kan gentages.

Videre læsning

Opdagelsen af den nye parasit er publiceret i: Buchmann and Kania, Acta Veterinaria Scandinavica (2024) 66:15 doi.org/10.1186/s13028-024-00736-y

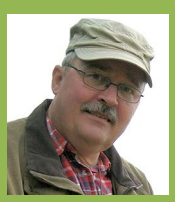
DE FØRSTE PLANTER PÅ LANDJORDEN

For 500 millioner år siden opstod de første landplanter ud fra grønalger, der levede i den fugtige jord omkring damme og kilder. Forfatterne giver her en aktuel status på, hvad forskerne ved om denne milepæl i livets historie.

Kilde i Midtjylland, som tæt på vandet domineres af forskellige bladmosser og indslag af levermosser.
Foto: Jens Christian Schou

Forfatterne

Kaj Sand-Jensen er professor i ferskvandsøkologi ved Biologisk Institut, Københavns Universitet og forfatter til bøger om Danmarks natur og biodiversitet samt lærebøger om økologi.
ksandjensen@bio.ku.dk



Jens Christian Schou er botaniker, forfatter og pensioneret lærer.
jcschou@gmail.com

Når biologer taler om "planteliv", omfatter det i virkeligheden tre hovedgrupper, der er i stand til at udføre fotosyntese, nemlig cyanobakterier, alger og landplanter. Cyanobakterierne er uden cellekerne, og de opstod allerede for omkring 3.500 millioner år siden. Algerne er omkring 1.800 millioner år gamle. De har cellekerne, og deres grønkorn (kloroplaster) stammer fra symbiose med cyanobakterier. Landplanterne er det seneste skud på stammen. De opstod for blot 500 millioner år siden fra ferskvandsgrønalger. Landplanterne er flercellede og beskytter det befrugtede æg (embryoet), derfor betegnes de også embryofyter.

Vi kan således pege på tre afgørende begivenheder i plantelivets udviklingshistorie, da de tre grupper opstod første gang. Men her fokuserer vi alene på den seneste begivenhed: landplanternes opståen. Den indledte nemlig den eksplosive udvikling af mosser, karsporeplanter og de senere frøplanter, som skabte landjordens mange forskellige økosystemer og de utallige mikroorganismer, svampe og dyr, der fulgte i hælene på planterne. Under hele forløbet byggede evolutionen videre på de stoffer, strukturer og processer, som tidligere organismer havde udviklet.

Koblingsalger som landplanternes ophav

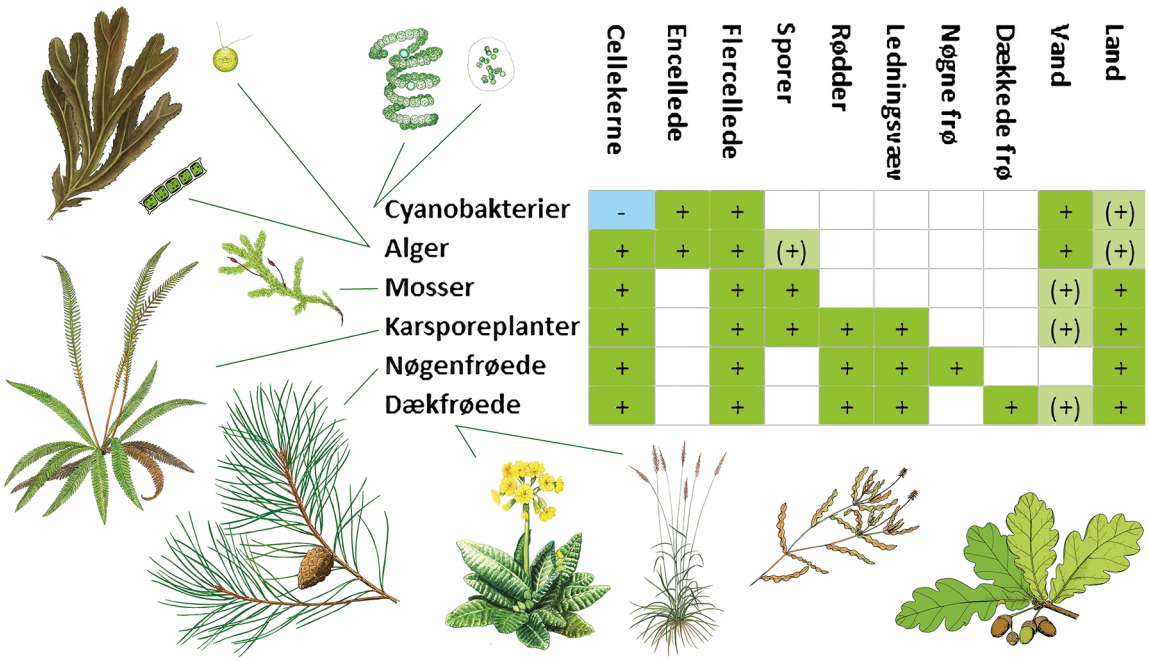
Længe før de første landplanter opstod, levede der for 2.700 millioner år siden bakteriesamfund med fotosyntetiske cyanobakterier på fugtige steder på land. De opbyggede organiske stoffer, som man i nutiden har påvist i de urgamle aflejringer.

Organiske stoffer i jorden holder på fugtigheden og frigør opløste næringsstoffer ved bakteriers omsætning, så fotosyntetiske organismer kan vokse. Da grønalger opstod for mindst 1.000-1.200 millioner år siden, kunne de derfor også leve i fugtig jord sammen med de forskellige svampe og dyr, som kom til.

I dag lever både encellede, flercellede tråde og kolonier blandt cyanobakterier og grønalger på lavt vand i søer, damme og kilder og tillige på den omgivende fugtige jord. Når jorden tørrer ud, bliver organismerne inaktive, men de liver op, når de igen får vand.

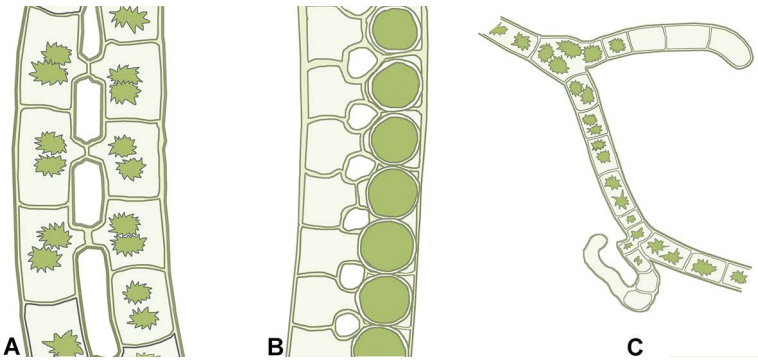
Nogle tænker måske, at de grønalger, som var forløbere for landplanterne, levede i havet, fordi havet er så stort og dækker 70 % af klodens overflade, mens ferskvandsmiljøer blot dækker omkring 1 %. Men vi ved, at landplanters ophav var grønalger fra ferskvand. Ferskvand rummer flere udviklingslinjer blandt grønalger, havet derimod blot en enkelt.

Endvidere udsprang de første egentlige landplanter af en særlig udviklingslinje af ferskvandsgrønalger, som vokser på bunden af søer, damme, vandløb og i fugtig jord, men ikke findes i havet. Deres navn er koblingsalger (*Zygnematophyceae*).



Oversigt over planterigets hovedgrupper, deres udseende og vigtigste kendetegn. Illustration: Jens Christian Schou

I overgangsmiljøet fra ferskvand til fugtig jord fandtes stamformerne til de første landplanter. Stamformerne kan have haft mere komplekse væv end de nulevende koblingsalger, som således enten er mere oprindelige eller repræsenterer reducerede former. Målt på kompleksitet og størrelse ligner kransnålalger, som er en søsterlinje til koblingsalgerne, mosser og karsporeplanter mere end de nulevende koblingsalger. Kransnålalger har en hovedakse og sideakser og bliver op til 80 cm høje. Imidlertid afslører DNA og cellernes kemi og processer, at koblingsalgerne er de nærmest beslægtede med landplanter.



A) Koblingsalgen *Zygnema* fra ferskvand og fugtig jord har stjerneformede grønkorn i cellerne. Mellem en hanlig tråd (tv) og en hunlig tråd (th) er dannet en kobling (tværforbindelse).

B) En hanlig gamet er krøbet via tværforbindelsen til hunnen, fusioneret og har dannet en tykvægget spore, som er beskyttet med sporopollenin og tåler udtørring.

C) Som et særsyn kan tråden dele sig og endog danne farveløse tråde, som hæfter den i sediment og jord.

Fra ferskvand til landjorden

Der eksisterer en god økologisk begrundelse for ferskvands betydning som ophav til landplanter frem for havet. Kontakten mellem ferskvand og landjorden er meget mere vidtstrakt og overgangen mere gradvis end mellem havet og landjorden. Miljøskiftet fra ferskvand til landjorden sker over uforstyrret fugtig jord med ret uændrede kemiske forhold, uanset om den i perioder er tør eller sjaskvåd efter regn. Samtidigt findes dette overgangsmiljø mange forskellige steder, hvilket fremmer artsdannelsen.

Derimod er miljøskiftet brutalt både fysisk og kemisk mellem havet og landjorden. Havet har store bølger med stor fysisk kraft, og både stranden og den bølgebeskyttede kyst oplever store skift i saltholdighed. Når havvand fordamper fra saltholdig jord, omdannes jordvandet til en koncentreret saltopløsning, men efter en større regnbyge opstår en stærkt fortyndet saltopløsning. De voldsomme ændringer i saltholdigheden skaber svære vilkår for cellers overlevelse, som også i dag begrænser antallet af plantearter på kystnære jorde.

Ved bredden af damme og små søer, og hvor kildevand pibler frem af jorden, er overgangen mellem vand og fugtig jord derimod stilfærdig. Her vokser grønne koblingsalger, som har den værktøjskasse i form af gener og strukturer, som livet på land kræver.

Beskyttelse mod udtørring og UV-lys

Landjorden var alligevel på mange måder et ugæstfrit miljø for planter og deres forløbere på grund af risikoen for udtørring og frost samt skader som følge af høj solindstrå-

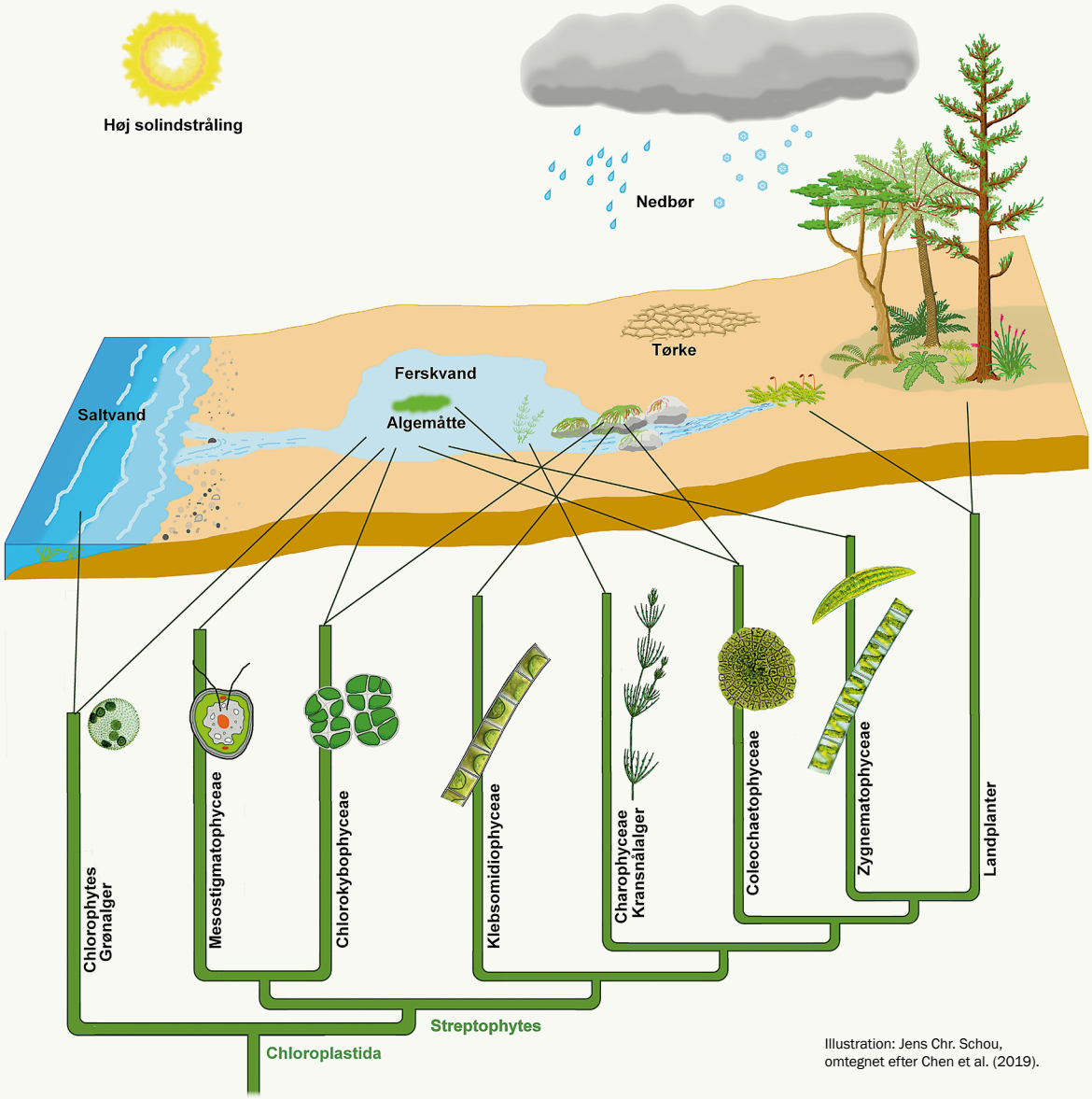


Illustration: Jens Chr. Schou, omtegnet efter Chen et al. (2019).

Udviklingen af landplanter skete fra koblingsalger (*Zygnematophyceae*) vist til højre i diagrammet. De 5-80 centimeter høje kransnålalger blev tidligere anset som landplanternes forfædre, men deres komplekse bygning er udviklet sideløbende med landplanternes udvikling gennem de seneste 400 millioner år. Studier af DNA-sekvenser, stoffer og cellestrukturer har godtgjort, at koblingsalger er landplanternes nærmeste søstergruppe.

ling og UV-lys. Organismerne måtte beskytte og tilpasse sig til de risici, som livet på land og eksponering til luften indebar. Udtørring af cellerne kunne de forhindre ved at vokse i umiddelbar nærhed af vand. Men de måtte også holde på vandet i cellerne med overfladestrukturer, der nedsætter fordampningen.

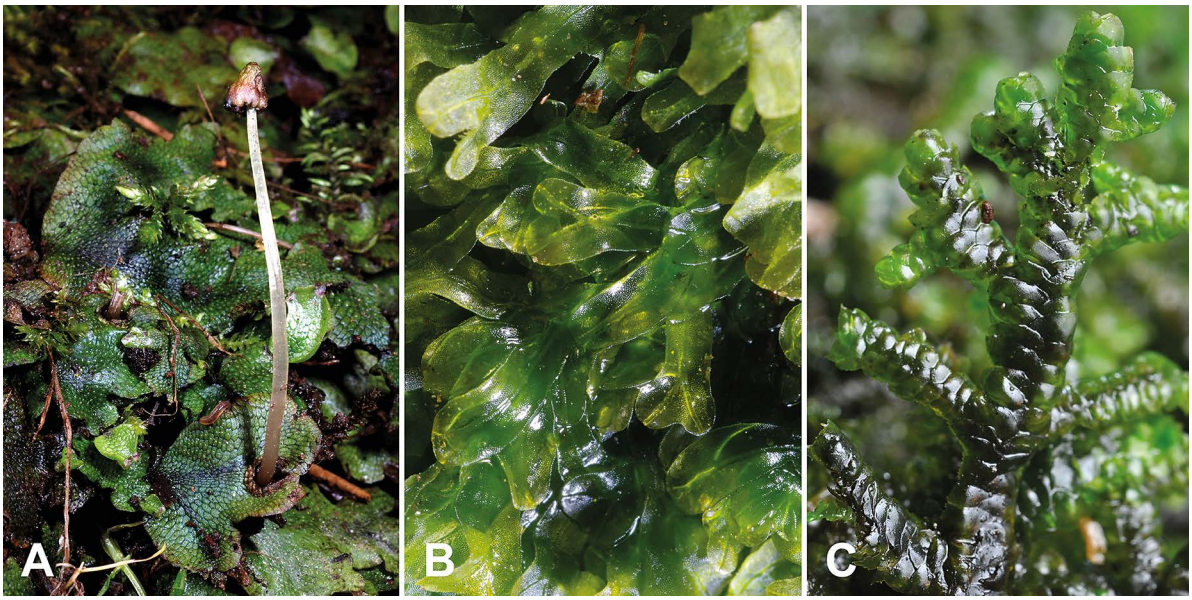
Evnen til at overleve udtørring findes hos koblingsalger og deres efterkommere blandt mosser. De overlever udtørring ved at reducere stofskiftet til et minimum, og sparer energi til de igen får vand. Gener mod udtørringsstress kan angiveligt være overført fra jordbakterier til grønalger, hvorefter generne senere blev tilpasset livet hos landplanter. Landplanter har måske også fra begyndelsen fået hjælp ved at samarbejde med svampe, som det sker i dag for de fleste landplanter.

I en såkaldt mykorrhiza-symbiose leverer planten ofte kulhydrater fra sin fotosyntese til svampen, hvis tætte netværk af tynde levende tråde (hyfer) i jorden til gengæld optager vand og mineraler og sender dem videre til planten. En sådan symbiose er påvist hos både fossiler og nulevende arter blandt mosser og karsporeplanter.

Beskyttelse mod høj solindstråling og UV-lys på land var en anden stor udfordring for mosser på land. Mossernes forløbere blandt koblingsalger kan beskytte sig ved at indeholde UV-absorberende organiske stoffer. Vokser cellerne tæt sammen i kolonier eller i væv med mange celler, skygger de også gensidigt for hinanden og reducerer lyset og risikoen for skader på den enkelte celle.

Mossers og karsporeplanters stamformer

Som nævnt er koblingsalgerne den nærmeste søstergruppe til landplanterne, hvilket afsløres af særligt store ligheder i DNA-sekvenser, faste cellevægge og deres kemi samt mikroskopiske rørforbindelser mellem nabo-



Levermosser: A. Ru krokodillemos (*Conocephalum salebrosum*) B. Almindelig Gaffelløv (*Metzgeria furcata*) C. Peber-Skælryg (*Porella arboris-vitae*). Fotos: Jens Christian Schou.

celler. Faste cellevægge af cellulose, hemicellulose og lignin er vigtige for at forhindre, at cellerne falder sammen ved udtørring og frost, hvilket er særlige udfordringer på land.

Koblingsalger indeholder klorofyl *a* og *b* og har stivelseskorn til oplagring af sukkerstoffer ligesom deres efterkommere blandt landplanterne. De danner deres eget "solcreme" ved at koble mange carbonringe af stoffet fenol sammen til farvede stoffer (polyfenoler). Sådanne stoffer findes overalt i planteverdenen, eksempelvis rigeligt i vindruer, der farver rødvinen. Polyfenoler er vigtige antioxidanter hos planterne og i vores plantekost, der beskytter cellerne mod skader.

Endvidere er koblingsalgernes sporer, i lighed med sporer hos mosser og karsporeplanter, beklædt med stoffet sporopollenin. Det er en kompleks polymer med blandt andet langkædede fedtsyrer og fenoler, som danner et meget fast, ydre lag, der beskytter mod udtørring, UV-lys og bakteriers og svampes nedbrydning og således sikrer sporerne langvarig overlevelse.

Planternes "hud"

Evnen til at overleve udtørring findes fortsat hos nulevende koblingsalger og deres efterkommere. Koblingsalgerne har endvidere gener for dannelse af stofferne kutin og voks, som indgår i den tynde hudagtige hinde (kutikula), der både beskytter landplanternes overflader mod udtørring og mod, at fjendtlige bakterier og svampe trænger ind udefra. Kutikulaen har vekslende tykkelse og sammensætning hos forskellige landplanter.

Både kutin og voks er langkædede fedtstoffer, som for voksens vedkommende er bundet sammen med en alkohol til det fedtagtige lag, som på landplanters blade får vanddråber til at glide af og dermed trække støv, bakterier og svampesporer med sig. Voksen er vandskyende, og hos landplanter beskytter den mod, at løvet dækkes af vand, som forhindrer optagelse af CO_2 til fotosyntesen.

Hos de fleste mosser er kutikulaen tynd og nedsætter ikke fordampningen særlig meget. Mossers grønne blade eller flade løv er blot ét eller to cellelag tykt, og de mangler spalteåbninger – mikroskopiske små regulerbare porer mod atmosfæren – som karsporeplanter og frøplanter har. Derfor udveksler mosserne CO_2 og oxygen ved deres fotosyntese og respiration gennem hele overfladen. Var den tynde kutikula ikke permeabel for vanddamp, ville den samtidigt standse passagen af CO_2 og oxygen, og planten ville dø. Prisen for permeable mosoverflader er, at mosser ret hurtigt tørrer ud og bliver inaktive i tør luft.

Ledningsstrenge og spalteåbninger

Der var få steder, hvor de første landplanter blandt mosser og karsporeplanter kunne leve og udvikle sig, fordi de krævede en stabil vandforsyning. Mosser mangler ledningsstrenge til at transportere vand mellem fjerne dele af planten og reducere fordampningen effektivt. Tidlige karsporeplanter havde derimod simple ledningsstrenge.

Karsporeplanters grønne løv er flere cellelag tykt og har mikroskopiske spalteåbninger, der kan åbne og lukke og derved tillade eller stoppe for passage af CO_2, oxygen og vanddamp. Denne regulering har muligvis været en forudsætning for, at ledningsstrengene kunne udvikles. Når vandindholdet er højt, er spalteåbningerne åbne, CO_2 passerer gennem dem og forbruges ved fotosyntesen og vanddamp og det dannede oxygen passerer ud i luften. Lukker spalteåbninger ikke ved vandmangel, risikerer planten for stor fordampning og tillige dannelse af luftbobler i ledningsstrengene, som stopper vandtransporten mere permanent, og planten visner.

De velregulerede spalteåbninger betyder samtidigt, at bladenes

DNA-teknologi og landplanters evolution

Hurtigere og dybere analyser af DNA-sekvenser hos stadigt flere arter har øget klarheden over tidspunktet for landplanternes opståen, mens der eksisterer forskellige vurderinger af de indbyrdes relationer mellem mossers og karsporeplanters evolution. I et DNA-studium fra 2018 benytter Morris og kolleger syv ligestillede modeller for evolutionen af de tre mostyper (levermosser, bladmosser og hornkapsler) og karsporeplanter. I én model udvikler karsporeplanter og mosser sig fra en fælles tidligere stamform, men i andre modeller udvikler karsporeplanter sig skiftevis fra én af de tre mostyper, hvis indbyrdes relationer også varierer, uden at den ene model er mere sandsynlig end de andre.

I et nyere studium fra 2022 af Harris og kolleger udgår både mosser og karsporeplanter fra en tidlig fælles landplante, som anses at være ganske kompleks med både simpelt ledningsvæv for vand og spalteåbninger. Ifølge denne analyse har mosserne tabt kompleksitet og gener for ledningsvæv og spalteåbninger under evolutionen og tilpasset sig en mere marginal niche, mens ulvefødder, bregner og padderokker både har tabt gener og undergået genfordobling og yderligere udvikling også i højde. Med tiden opstod frøplanter (nåletræer og blomsterplanter). Mens mosser sædvanligvis er lavere end 5 centimeter om end enkelte arter af Jomfruhår bliver 20-60 centimeter høje, udviklede træagtige karsporeplanter effektiv afstivning i 10-50 meter høje stammer, og nulevende nåletræer og løvtræer kan overstige 100 meter.

De forskellige DNA-studier er dog enige om, at landplanter indledte deres æra for 500 millioner år siden. Vurderingen bygger på det molekylære ur, som angiver den hastighed, hvormed DNA-sekvenser ændrer sig i konservative gener, der antages at være uafhængige af naturlig udvælgelse (selektion). Så gamle fossiler har man aldrig fundet. De tidligste fossiler af små karsporeplanter var indtil for nylig 430 millioner år gamle, men er nu rykket til 458 millioner år før nu i et fund fra Kina, mens sandsynlige mossporer er 470 millioner år gamle. Mange fossilforskere stiller sig skeptiske til de "hurtige" DNA-studier og understreger med rette betydningen af fossiler for sikker verifikation af evolutionshistorien. Desværre er chancen for at finde meget gamle fossiler af let nedbrydelige planter fra fugtige steder meget lav, så det er som forventet, at det molekylære ur peger længere tilbage i tiden end fossilerne.

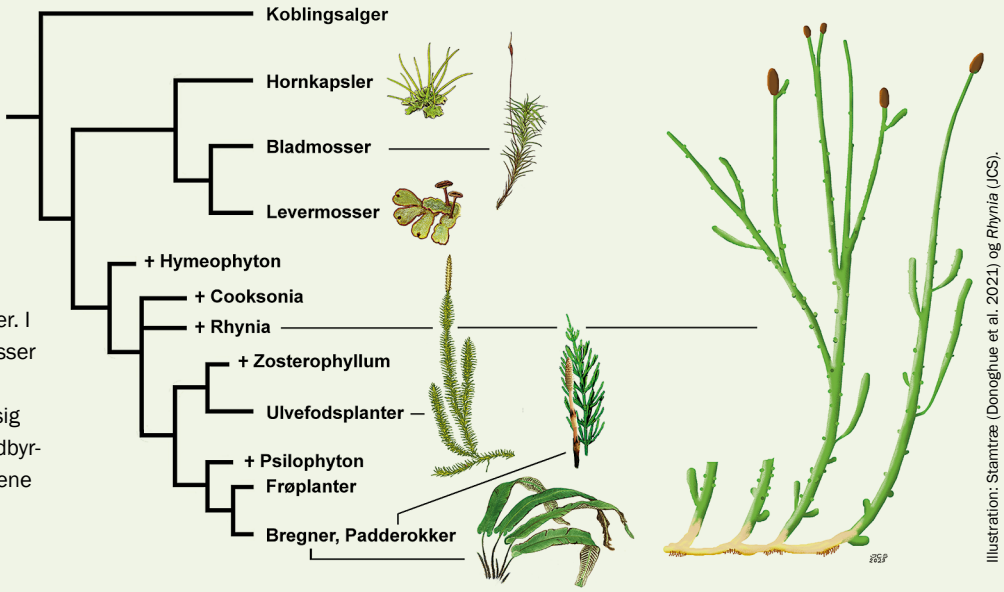


Illustration: Stamtræ (Donoghue et al. 2021) og *Rhynia* (JCS).

Mossers og karsporeplanters stamtræ.
Den uddøde ulvefodsplante *Rhynia* er fremhævet. Den har en krybende stængel, 6 cm høje grønne oprette stængler og små skælagtige blade samt endestillede sporehuse.

Figuren viser et stamtræ for mosser og karsporeplanters, inklusive de uddøde karsporeplanter *Hymenophyton, Cooksonia* og *Rhynia*, som knyttes til ulvefødder og senere bregner og padderokker. På dette stamtræ har mosser og karsporeplanter (ulvefodsplanter og bregner inklusive padderokker) en parallel udvikling fra en fælles stamfader. Endvidere står levermosser og bladmosser tættere på hinanden end hornkapsler.

kutikula kunne videreudvikles til at reducere fordampningen meget effektivt, da passagen af CO_2, ilt og tab af vanddamp blev koncentreret til spalteåbningerne. Planten kunne bedre holde hus med det tilgængelige vand og vokse mere for en given mængde vand.

Fra lave vækster til de første skove

De tidlige mosser var alle små og voksede tæt sammen på permanent fugtige steder. Tidlige ulvefodsplanter var også små og voksede de samme steder. Den uddøde *Rhynia* blev blot 6 centimeter høj og var alene fæstnet i jorden med tynde tråde i lighed med mosser og visse grønalger. Men senere udviklede ulvefodsplanter egentlige flercellede rødder, der var mere effektive til at trække vand og mineraler op fra jorden. Da fordampningen gennem bladoverfladen tillige var lav, kunne ulvefødder kolonisere tørrere jorde, og landjordens vegetation bredte sig. Med tiden blev nogle arter til 30-50 meter høje ulvefodstræer. De indgik i Kultidens skove for 360-300 millioner år siden, som sammen med bregner og padderokker bidrog til opbygning af de store kulforekomster i våde sumpe, som vi senere har udnyttet.

En tidligere ulvefod *Protolepidodendropsis pulchra* med 2-4 meter høje stammer voksede i tropiske sumpe for 360-380 millioner år siden på steder, der senere blev til Svalbard.

Bregner er en artsrig gruppe af karsporeplanter, der også udgør et vigtigt indslag i Kultidens sumpskove i form af træbregner sammen med træagtige padderokker. Både bregner og padderokker dominerede fortsat landvegetationen i de efterfølgende årmillioner og var vigtig planteføde for de gigantiske dinosaurer.

Mosser og karsporeplanter i nutiden

Mossers og karsporeplanters evolution har aldrig stået stille, og de nulevende arter af mosser er således ikke overlevende relikter af de tidligste arter. På mosgrenen" i plantelivets stamtræ fraspaltes først de artsfattige hornkapsler og senere deles mosgrenen i de artsrige levermosser og bladmosser. I dag omfatter mosserne 8.000 navngivne arter af levermosser, 12.000 arter blandt bladmosser og blot 150 hornkapsler.

De fleste arter blandt nutidens levermosser vokser under fugtige forhold i de tropiske regnskove. I køligt klima danner de sjældent større selvstændige bestande. De er gennemgående meget simplere bygget end bladmosserne. Regnskoven rummer også de fleste bladmosser, men de danner tillige tætte samfund i nåleskovene herhjemme og længere mod nord. De udvikler også selvstændige samfund på fjeldheder, tundraer og på ny jord efterladt af gletsjere og vulkaner og baner vejen for blomsterplanterne.

I karsporegrenen er de uddøde *Cooksonia* og *Rhynia* knyttet til ulvefodsplanter. De øvrige karsporeplanter bregner og padderokker kom til senere.

I nutiden lever 1200 urteagtige arter af ulvefodsplanter i marginale miljøer og padderokker rummer blot 14 arter i en enkelt slægt. Bregner rummer derimod træbregner og mere end 10.000 arter, langt de fleste i tropiske skove. Blandt alle tre grupper er de fleste nye arter opstået i de seneste 66 millioner år efter Kridttiden. Det minder os om, at arterne til stadighed må tilpasse sig ændrede miljøforhold og nye arter skal opstå, for at plantegrupperne ikke skal uddø. ■

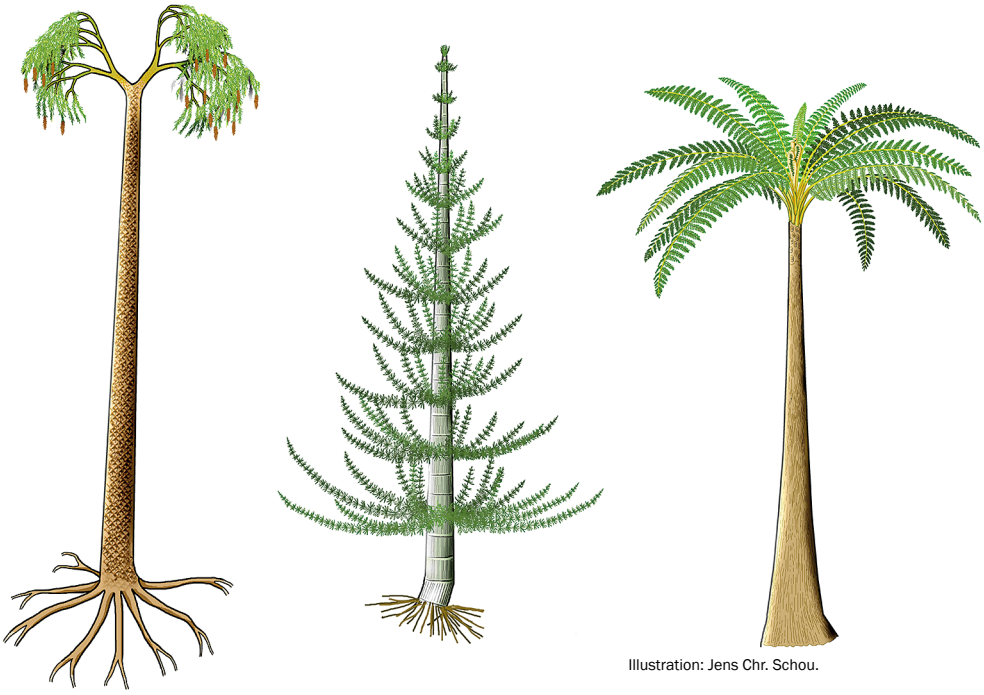


Illustration: Jens Chr. Schou.

Uddøde træagtige karsporeplanter blandt ulvefodsplanter (Skæltræ, Lepidodendron, til venstre), padderokker (Calamites, i midten) og træbregne (til højre).

Bladmosser, sidefrugtet og topfrugtet samt tørvemos – Alle tre med sporehuse: A. Kalk-Blødmos (*Ctenidium molluscum*) B. Hårspidset Jomfruhår (*Polytrichum piliferum*) C. Trindgrenet Tørvemos (*Sphagnum teres*). Fotos: Jens Christian Schou.

Supplerende litteratur

Chen S. et al. 2019. Genomes of subaerial Zygnematophyceae provide insights into land plant evolution. Cell 179: 1057-1067.

Dahl TW & SKM Arens 2020. The impact of land plant evolution on Earth's climate and oxygenation state – An interdisciplinary review. Chemical Geology 545: 119665.

Degola F et al. 2022. Bryophytes: how to conquer an alien plantland and live happily (ever after). Journal of Experimental Botany 73: 4267-4272.

de Vries J & Archibald JM 2018. Plant evolution on the path to terrestrial life. New Phytologist 217: 1428-1434.

Donoghue PCJ et al. 2021. The evolutionary emergence of land plants. Current Biology 31: R1281-R1298.

Harris BJ et al. 2022. Divergent evolutionary trajectories of bryophytes and tracheophytes from a complex common ancestor of land plants. Nature Ecology & Evolution 6: 1634-1643.

Morris JL et al. 2018. The timescale of early land plant evolution. PNAS 115: E2274-E2282.

Wellmann CH & Strother P 2015. The terrestrial biota prior to the origin of land plants (Embryophytes). A review of the evidence. Palaeontology 58: 601-621.

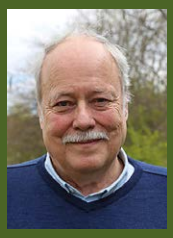
Guldsmed og mariehøne har forskellig frekvens på vingeslagene. Foto: Colourbox.

VINGESLAG PÅ FORMEL

Ved rent teoretiske overvejelser kan man udlede en simpel ligning, der forudsiger, hvor hurtigt en fugl slår med vingerne for at holde sig i luften. Måledata fra flere end 400 flyvende dyr viser, at denne ligning gælder generelt på tværs af arter, kropsstørrelser og flyvestil.

Forfatterne

Tina Hecksher er lektor i fysik
tihe@ruc.dk



Jens Højgaard Jensen er lektor emiritus i fysik

Jeppe Dyre er professor i fysik

Alle ved Roskilde Universitet

Når en fugl flyver, så kan hastigheden, hvormed den slår med vingerne, forudsiges af en simpel matematisk ligning. Og det gælder ikke bare fugle, men tilsyneladende alle flyvende dyr – ja, endda også en hval, der slår med halefinnen. Ligningen relaterer vingeslagsfrekvens til kropsmasse og vingeareal, og biologiske data viser, at ligningen gælder uanset dyrets størrelse eller flyvestil.

Dette resultat har vi for nylig publiceret i tidsskriftet *PLoS ONE*. Andre forskere har gennem tiden også søgt efter universelle mønstre i dyrs flyvning, og både fysikere og biologer er kommet med bud på formler, der beskriver vingefrekvensen. Men disse tidligere forsøg har alle delvist været baseret på empiriske observationer, og ingen har før søgt at generalisere dem på tværs af så mange arter.

En formel bliver til

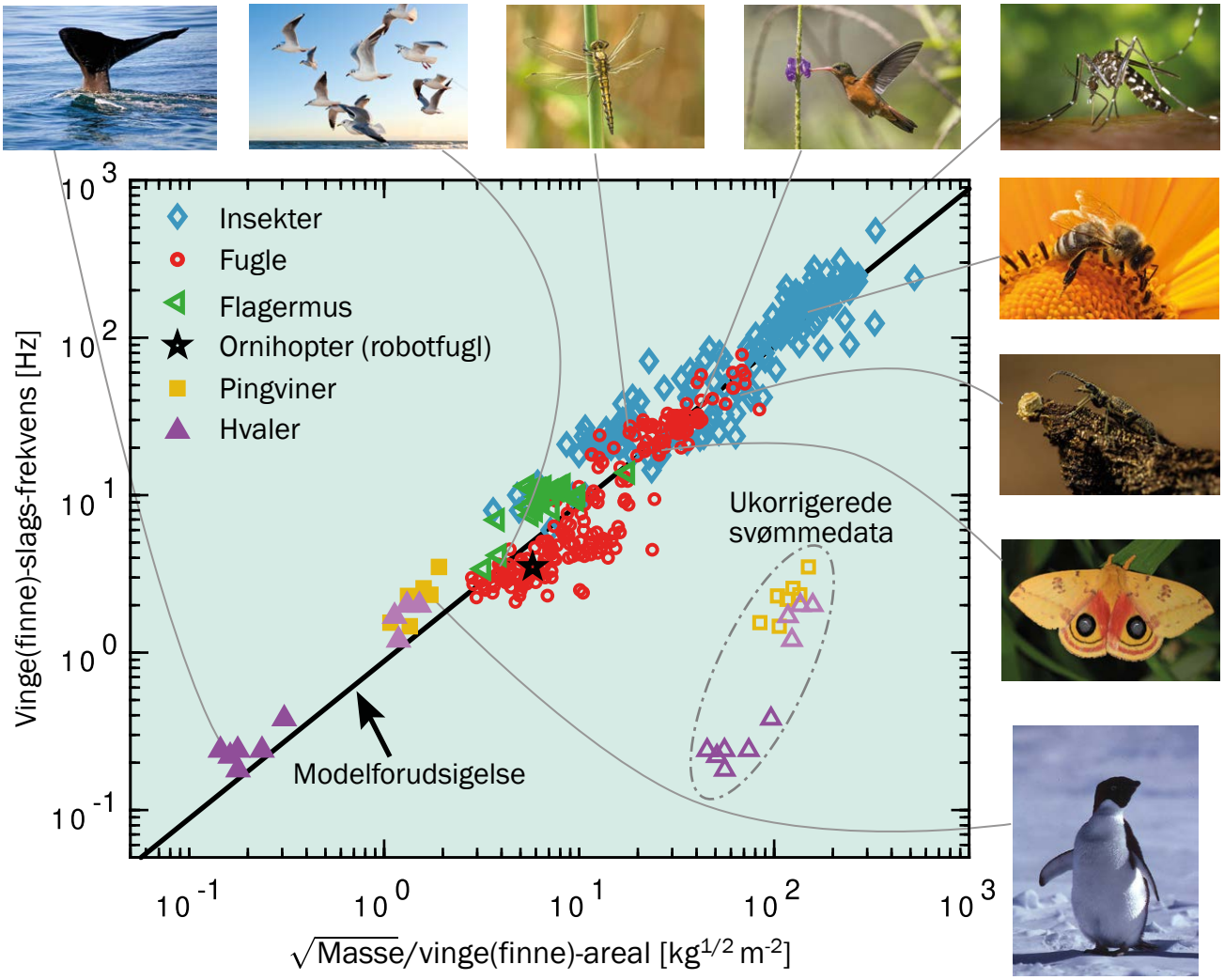
I vores udledning af formlen, har vi brugt såkaldt dimensionsanalyse. Kort fortalt går det ud på teoretisk at analysere konsekvenserne af, at de to sider på hver side af lighedstegnet i en ligning skal have samme dimension – dvs. de skal repræsentere samme slags fysiske størrelse.

Vores argument var, at vingeslagsfrekvensen er den samme, når en fugl står stille i luften, og når den flyver. For at holde sig svævende i luften skal et stillestående dyr generere en opad-rettet kraft, der balancerer tyngdekraften, og det gør dyret ved at presse luft nedad med sine vinger. Heraf følger, at de størrelser, der betyder noget, må være vingeslagsfrekvensen (hvor hurtigt dyret slår med vingerne), vingearealet (som bestemmer, hvor meget luft, der presses ned per vingeslag), luftens densitet (der bestemmer hvor stor impuls hvert vingeslag generer) samt forskellige størrelser som former og vinkler, der beskriver det enkelte dyrs vingeform og flyvestil.

Da former og vinkler er dimensionsløse størrelser (dvs. de har ikke en fysisk enhed), slog vi disse størrelser sammen til en enkelt proportionalitetskonstant. De resterende størrelser, dvs. vingefrekvens, vingeareal og luftdensitet, kan kombineres på præcis én måde, der giver en kraft. Ved at antage, at den dimensionsløse proportionalitetskonstant er den samme for alle flyvende dyr og ignorere mindre variationer i lufttæthed og gravitationsfeltstyrke, nåede vi frem til, at vingefrekvensen er proportional med kvadratroden af massen divideret med vingearealet, eller udtrykt formelt:

$$f \propto \sqrt{m}/A$$

Vores studie var inspireret af et eksamensspørgsmål til et kursus, der går ud på at lære eleverne at "tænke som fysikere". Eksamensspørgsmålet bad de studerende forklare,



Efter Jensen, JH., Dyre, JC & Hecksher, T. (2024). *PLoS ONE.*

Plot af måledata for vingeareal, masse og vingeslagsfrekvenser for forskellige dyr. Det fremgår, at data ligger tæt omkring forudsigelsen baseret på vores formel. Data for svømmende dyr skal korrigeres for opdrift samt forskellen i densitet mellem vand og luft. De ukorrigerede data er her vist med åbne symboler. Med de beskrevne korrektioner rykker datapunkterne ind på samme linie som flyvende dyr.

hvor hurtigt en fugl skal slå med vingerne for at holde sig svævende i luften – et spørgsmål, man kan nærme sig et svar på ved netop at bruge dimensionsanalyse. Efter eksamen blev vi nysgerrige på, om den udledte formel passede med data.

Formel passer med måledata

For at teste gyldigheden af vores formel indsamlede vi 414 datapunkter fra publicerede undersøgelser, der rapporterer vingeareal, masse og vingeslagsfrekvenser for fugle lige fra svaner til kolibrier, flyvende insekter såsom bier, møl, guldsmede, biller og myg samt flagermus og en enkelt flaksende robot kaldet en ornithopter. Vi inkluderede også data fra hvaler og pingviner. I modsætning til fisk, som bruger luftfyldte blærer til at regulere deres position i vandet, har disse dyr en positiv opdrift og må derfor svømme for at forblive under vandet. Fysikken, der styrer deres finne-frekvens, bør derfor svare til fysikken for vingeslagsfrekvenser, bortset fra en korrektionsfaktor for de forskellige tætheder af luft og vand samt korrektion for opdriften – dyr "vejer" mindre i vand end i luft.

Da vi plottede data for alle dyrene, lå de alle nydeligt på den forudsagte rette linje med lille spredning i datapunkterne. Det betyder, at flyvende dyr på trods af store fysiske forskelle har udviklet sig på en måde, der holder forholdet mellem deres masse, vingeareal og vingeslagsfrekvens relativt konstant.

Umiddelbart var vi overraskede over, at dataene falder på samme linje. For selvom det grundlæggende forhold følger af fysikken, kunne proportionalitetskonstanten i princippet godt være forskellig for forskellige vingeformer og flyvestile.

Man kan undre sig over, at ingen tidligere har afsløret dette simple forhold. Men det kan måske skyldes undersøgelsens tværfaglige karakter. Vores formel er teoretisk udledt baseret på fysikprincipper, og den anviser også, hvordan man skal sammenligne svømmende/dykkende dyr i samme plot som de flyvende dyr. Denne tilgang er mindre almindelig blandt biologer, der ofte arbejder mere empirisk. Det kræver således en kombination af fysik og en stor mængde empiriske data at nå frem til vores resultat. ■

Videre læsning:

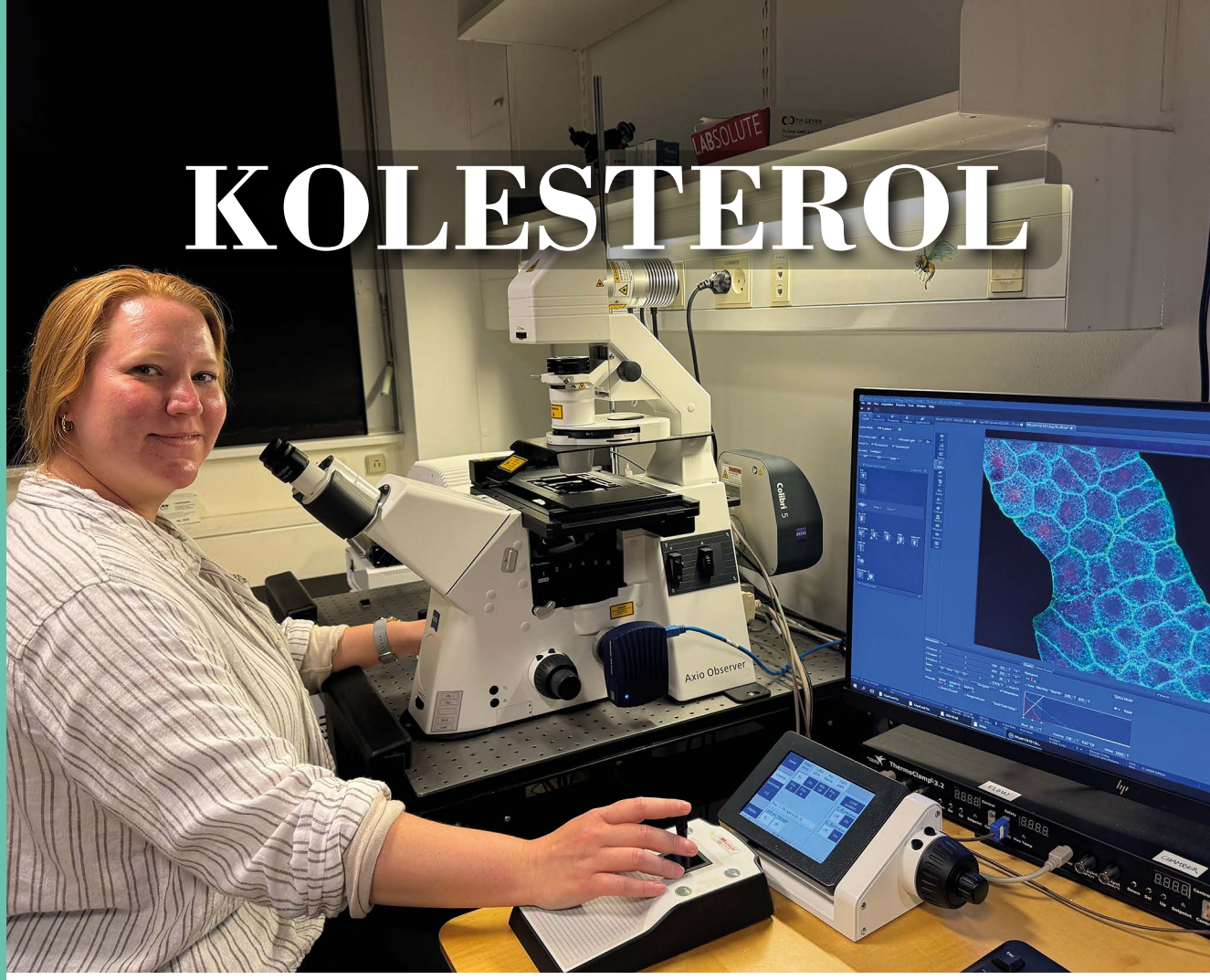
Forskernes artikel: Jensen, JH., Dyre, JC & Hecksher, T. (2024): Universal Wing- and Fin-beat Frequency Scaling. PLoS ONE. doi.org/10.1371/journal.pone.0303834

Læs mere om dimensionsanalyse i Aktuel Naturvidenskab: Jensen, JH. og Hecksher, T. (2018): Fysikernes hemmelige våben. Aktuel Naturvidenskab, nr. 4.

Til denne artikel er der også ekstramateriale, hvor netop eksemplet med en fugls baskende vinger er gennemgået i større detalje.

Forskningen, som er omtalt her, er støttet af Villum Fonden.

KOLESTEROL



I Kim Rewitzs forskningsgruppe arbejder forskerne på at forstå kolesterols rolle i for eksempel kræft og tidlig pubertet. På billedet ses postdoc Mette Lassen, som har været med til at udføre meget af den forskning, der omtales i artiklen. Foto: Kim Rewitz

- en livsvigtig balladedmager i kroppen

Forskerene har kortlagt, hvordan kolesterol hjælper kræftceller med at vokse, og hvordan fedtstoffet måske spiller en vigtig rolle, når unge piger går meget tidligt i pubertet. Denne viden er vigtig for bedre at forstå, hvordan vi kan behandle en lang række sygdomme og tilstande.

Om forfatteren
Af Kristian Sjøgren, videnskabsjournalist.
ksjoegren@gmail.com

DANMARKS FRIE FORSKNINGSFOND
INDEPENDENT RESEARCH FUND DENMARK

Artiklen er sponsoreret af Danmarks Frie Forskningsfond | Natur og Univers.

Danmarks Frie Forskningsfond dækker alle videnskabelige hovedområder og uddeler hvert år godt 1 mia. kr. til forskningsprojekter baseret på forskernes egne ideer. Danmarks Frie Forskningsfond består af 84 anerkendte forskere udpeget på baggrund af deres høje faglige kompetence. Formand for Danmarks Frie Forskningsfond | Natur og Univers er professor ved Københavns Universitet, Søren Bak. Se mere på www.dff.dk

Hvis man udelukkende lytter til medierne, kan man hurtigt få den forståelse, at kolesterol er rigtig skidt. Det kan det da også være, når der er for meget af "det dårlige kolesterol" – men kolesterol er meget mere end det. Kolesterol spiller blandt andet en helt central rolle i opbygning af kroppens celler, og mangler cellerne kolesterol, kan de slet ikke overleve eller for den sags skyld dele sig og danne nye celler. Kolesterol spiller også en vigtig rolle for kommunikation mellem kroppens celler og væv og for dannelsen af hormoner.

Danske forskere er med helt fremme, når det kommer til forskning i, hvad kolesterol gør i kroppen, og hvorfor kolesterol er så vigtigt i de rigtige mængder og så farligt i de forkerte. Denne forskning viser blandt andet, hvordan kolesterol muligvis kan være medvirkende til, at unge piger kommer alt for tidligt i pubertet. Forskningen viser også, hvilken rolle kolesterol spiller under kræftudvikling.

»Har man for meget kolesterol i kroppen, kan det give problemer. Vores forskning går ud på at identificere de sygdomsmekanismer, som kolesterol spiller ind i. Formålet er også at finde ud af, hvad vi kan gøre ved det. Overordnet set håber vi på, at man på baggrund af vores forskning kan udvikle lægemidler, der kan hjælpe rigtig mange mennesker, som kæmper med konsekvenserne af for meget kolesterol,« fortæller professor Kim Rewitz fra Institut for Biologi ved Københavns Universitet.

Fedtvæv og tidlig pubertet

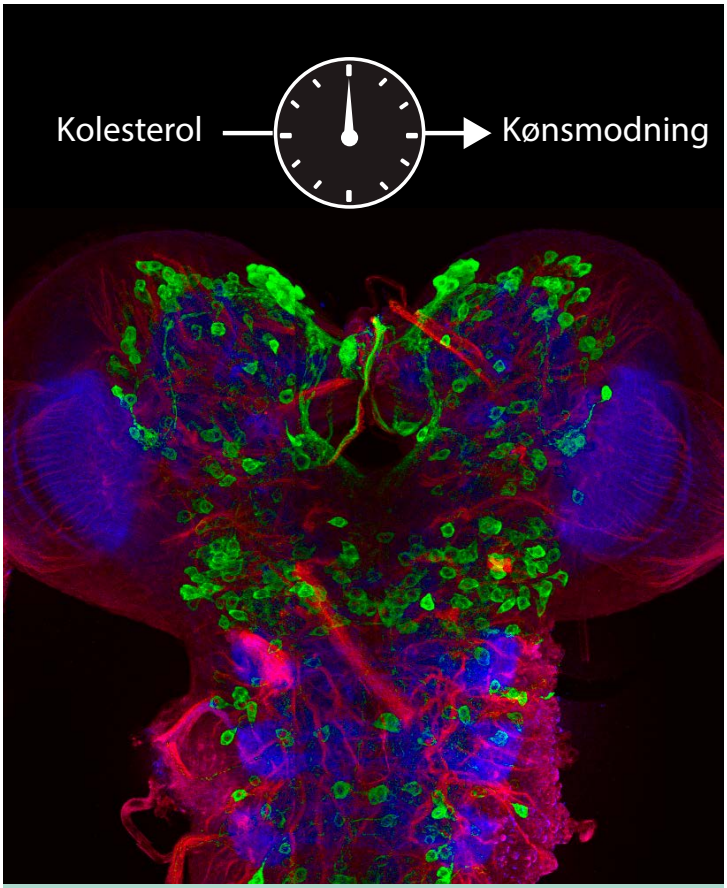
Det har været velkendt i en del år, at piger går tidligere og tidligere i pubertet. I 1991 var piger gennemsnitligt 11 år gamle, da de gik i pubertet. I 2005 var det tal faldet til omkring 10 år. For tidlig pubertet kan komme med mange store konsekvenser, både i form af sociale problemer og i form af lav vækst, fordi piger stopper med at vokse, når de kommer i puberteten.

Med udviklingen i pigers pubertet har forskere været klar over, at årsagen skal findes i miljøet. Nogle studier har blandt andet peget på en sammenhæng mellem mængden af kropsfedt og tidspunktet for puberteten. Sammenhængen er den, at mere kropsfedt giver tidligere pubertet, og i dag er flere børn og unge overvægtige end nogensinde før. Specielt koblingen mellem overvægt hos piger og tidlig pubertet er stærk, mens den er svagere hos drenge. Sammenhængen giver mening, selvom mekanismerne bag koblingen indtil videre har været uklare.

Kim Rewitz forklarer, at sammenhængen mellem større mængde fedt på kroppen og for tidlig pubertet må have noget at gøre med den signalering, der aktiverer det program, som sætter puberteten i gang. Puberteten bliver nemlig styret i hjernen, hvor hele dens begyndelse sker ved, at der sættes gang i produktionen af steroidhormoner som østrogen og testosteron.

»Man har vidst, at rykket mod tidligere pubertet formentlig har noget at gøre med nogle signaler, som bliver sendt fra fedtvævet til hjernen. Det er for eksempel veletableret, at hvis man er underernæret, bliver puberteten forsinket. Det giver også god mening, at piger ikke kommer i en situation, hvor de kan blive gravide og skal bruge energi på et foster, når de har svært nok ved blot at få føde nok selv. Denne mekanisme ses også på tværs af stort set alle andre dyr,« siger Kim Rewitz.

Han uddyber, at selvom der er forskel på dyr og mennesker, er der alligevel mange fællestræk, som gør det relevant at studere tidlig pubertet i dyr og derved kunne sige noget om de mekanismer, som sender piger tidligt i puberteten. Alle dyr starter nemlig med at være én enkelt celle, som deler sig og bliver til flere celler, der bliver til et individ, som på et tidspunkt stopper med at vokse, når dyret har fået en vis størrelse.



I hjernen findes et kontrolsystem bestående af et netværk af hormoner og signalstoffer, der bestemmer hvornår kønsmodningsprocessen (puberteten) starter. Forskning af Kim Rewitz og kolleger har vist, at dette kontrolsystem i hjernen hos bananfluelarver påvirkes af mængden af kolesterol i dyrets fedtvæv samt af specifikke støtteceller, kaldet gliaceller. Billedet viser hjernen på en bananfluelarve med nerveceller i grønt, inklusive dem som bliver påvirket af kolesterol fra fedtvæv og gliaceller. Illustration: Kim Rewitz

»Det er en genetisk programmering. Nogle dyr vokser i lang tid og bliver store, for eksempel elefanter, mens andre udvikler sig hurtigt og bliver små ligesom bananfluer. De fleste dyr vokser dog imod en forudbestemt genetisk bestemt størrelse. Vores forskning kaster lys over, hvordan miljøet og specielt faktorer, som er koblet til kropsfedt, påvirker kønsmodningen, og hvordan det skaber en sammenhæng mellem overvægt og tidlig pubertet,« forklarer Kim Rewitz.

For meget kolesterol giver muligvis tidlig pubertet

Den forskning, som Kim Rewitz med sine kollegaer har lavet, er foretaget hovedsageligt i en dyremodel med bananfluer som modeldyr. Faktisk er menneskers og bananfluers fysiologi utroligt ens, når det kommer til alt det, som sker under huden. Bananfluer har ligesom mennesker også en pubertet. Det sker, når larver bliver til modne fluer, og denne pubertet er reguleret af de samme mekanismer, som sender unge piger i pubertet.

I bananfluen er steroidhormonerne også involveret i puberteten, og Kim Rewitzs forskning har vist, at mængden af kolesterol i bananfluens fedtvæv er med til at bestemme, hvor tidligt eller sent det sker. Øger forskerne mængden, kommer fluen hurtigere i pubertet, mens puberteten kommer senere, hvis mængden

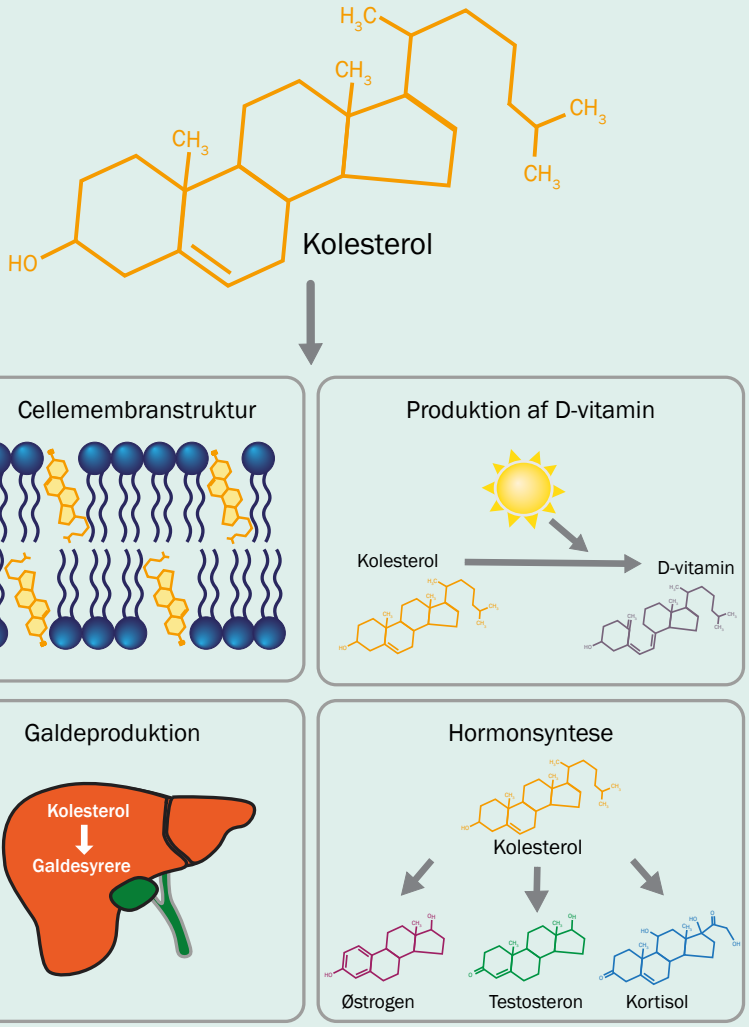
DANMARKS FRIE FORSKNINGSFOND
INDEPENDENT RESEARCH FUND DENMARK

Kolesterol

Kolesterol er et essentielt fedtstof, der er afgørende for flere vitale funktioner i kroppen. Dets kemiske formel er $C_{27}H_{46}O$, og det fremtræder som et voksagtigt stof, der er nødvendigt for blandt andet opbygningen af cellestrukturer og for produktionen af visse hormoner og vitamin D. Kolesterol er et sterol, hvilket betyder, at det har en kompleks ringstruktur bestående af fire sammenkoblede carbonringe og en hydrocarbon-hale.

Kolesterol indgår i alle kroppens cellemembraner, hvor det hjælper med at opretholde membranernes integritet og fluiditet, altså at de biologiske molekyler i cellemembranen kan bevæge sig rundt mellem hinanden. Når kolesterol indgår som komponent i cellemembraner, gør de membraner mindre permeable og mere stabile uden samtidig at gøre dem for stive. Disse egenskaber er vigtige for blandt andet at opretholde cellemembranen som en effektiv barriere ved skiftende temperaturer og i organiseringen af cellemembranens andre komponenter, herunder proteiner og molekyler, der styrer transporten af ioner og molekyler ind og ud af cellen. Var det ikke for kolesterol, ville cellemembraner slet ikke have de egenskaber, som cellemembraner skal have.

Kolesterol er også en forløber for syntesen af steroidhormoner, herunder kønshormoner som østrogen og testosteron samt binyrebarkhormoner som kortisol. Det er også nødvendigt for produktionen af galdesyre i leveren, som er nødvendig for fordøjelsen og optagelsen af fedt i tarmen. Og så bidrager kolesterol til syntesen af vitamin D i huden, når vi udsættes for sollys.



Kolesterol findes primært i animalske produkter som kød, fjerkræ, æg og mejeriprodukter. Selvom kroppen selv kan producere alt det kolesterol, den behøver, påvirkes kroppens kolesterolniveau derfor også af, hvad vi spiser. For meget kolesterol i blodet er forbundet med en øget risiko for hjerte-kar-sygdomme, især hvis der er tale om LDL-kolesterol (der står for Low Density Lipoprotein), som kan ophobe sig i blodkarrene og danne plak. HDL-kolesterol (High Density Lipoprotein) har til sammenligning mindre fedt og mere protein, og det hjælper faktisk med at transportere kolesterol væk fra arterierne til leveren, hvor det kan blive nedbrudt og udskilt.

Kroppens kolesterolniveau reguleres gennem komplekse mekanismer, hvor leveren spiller en central rolle. Leveren kan til en vis grænse justere mængden af produceret kolesterol baseret på kroppens behov og kostens indhold af fedt og kolesterol.

DANMARKS FRIE FORSKNINGSFOND
INDEPENDENT RESEARCH FUND DENMARK

af kolesterol i bananfluens fedtvæv sænkes. Forskerne kan hæve eller sænke mængden af kolesterol i fedtvævet gennem enten genetiske ændringer i bananfluens DNA eller gennem kosten.

»Det er første gang, at nogen viser, at mængden af kolesterol i fedtvævet muligvis har betydning for tidspunktet for puberteten. I mennesker er mere fedt på kroppen associeret med øget mængde kolesterol i fedtvævet, og den øgede mængde fedt sender et signal til hjernen, som er med til at sætte gang i puberteten. Derfor ser vi, at piger går tidligere i pubertet, ligesom det også forklarer, hvorfor piger med overvægt ofte går tidligt i pubertet. Kroppen tror simpelthen, at der er så fri adgang til føde, og at energilagrene er store nok til, at det giver mening at gøre kroppen i stand til at være gravid og føde børn. Det er kolesterol med til at signalere – i hvert

fald i vores bananfluemodel til at studere pubertet,« forklarer Kim Rewitz.

I deres forskning har forskerne også delvist kortlagt den signalvej, hvorigennem kolesterol signalerer til hjernen, at det er tid til at producere steroidhormoner og sætte gang i puberteten. Denne signalvej ender blandt andet med signaler i hjernens gliaceller, som måler på mængden af kolesterol i kroppen. Når kolesterolsignalet er kraftigt nok, sender gliacellerne et signal til andre celler i hjernen med besked om, at de godt kan gå i gang med at producere mere steroidhormon. Derfra er der ingen vej tilbage, og modningsprocessen kommer rullende.

»Det er noget, som vi selvfølgelig gerne vil undersøge i et dyr, der er lidt tættere på mennesker, nemlig mus. Med flere undersøgelser kan vi blive klogere på, hvordan vi kan forhindre, at hjernen tolker et signal fra fedtvævet som et tegn på, at det er tid til at sætte gang i puberteten, selvom det er for tidligt. Perspektivet er, at vi kan sætte ind over for tidlig pubertet, og her må vi erkende, at livsstilsændringer formentlig vil være den bedste løsning, da det kan lede til et vægttab og dermed lavere mængder kolesterol i fedtvævet,« siger Kim Rewitz.

Kolesterol gør kræft mere aggressiv

Kim Rewitz har med sine kollegaer også kortlagt en del af den rolle, som kolesterol spiller for udvikling af kræft. Ligesom med den tidlige pubertet findes der en stærk sammenhæng mellem for meget kolesterol i kroppen og risikoen for udvikling af kræft. Forhøjede mængder kolesterol kan nemlig også være med til at skubbe på kræftudviklingen, så kræftcellerne vokser hurtigere og gør kræften mere aggressiv. Det gælder blandt andet ved udvikling af brystkræft og prostatakræft.

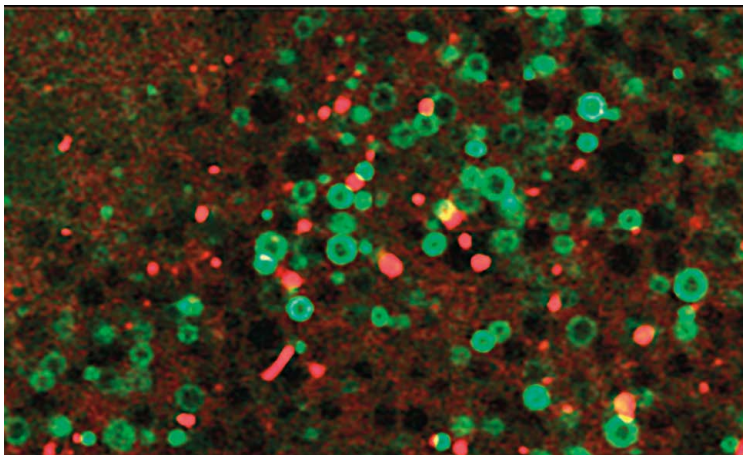
»Det er velkendt, at kræftceller optager absurde mængder kolesterol, og det giver også mening, fordi de skal vokse hurtigt og har dermed brug for masser af kolesterol til at danne blandt andet cellemembraner. Når de optager kolesterol, sker det ved, at cellulære "shuttlebusser" tager kolesterol fra omgivelserne og fragter det ind i cellerne. Denne mekanisme er forstærket i kræftceller sammenlignet med i raske celler. Blandt andet ved vi, at bestemte mutationer kan få cellerne til at optage meget mere kolesterol, og det får kræftcellerne til at vokse endnu hurtigere,« fortæller Kim Rewitz.

Kim Rewitzs forskning viser, at kolesterol og kræft bliver koblet

Om Kim Rewitz

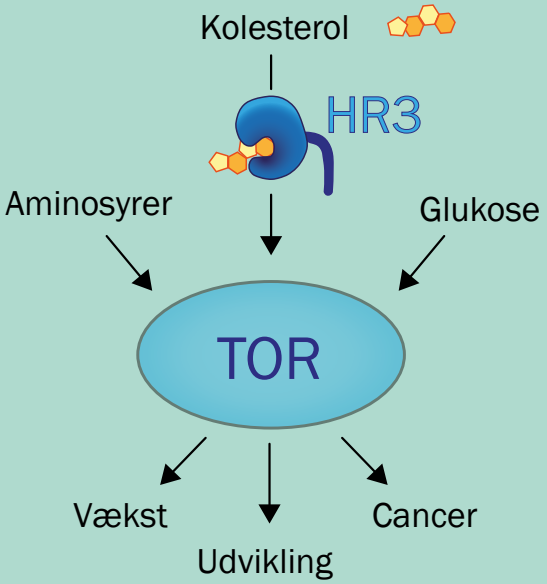
Kim Rewitz er professor i endokrinologi ved Københavns Universitet. Han er oprindeligt uddannet fra Roskilde Universitet og skrev sin ph.d.-afhandling ved Roskilde Universitet og University of North Carolina – Chapel Hill, USA. Derefter blev han ansat som postdoc ved University of Minnesota, USA, og senere som lektor og professor ved Københavns Universitet.

Hans primære forskningsinteresser er hormonel regulering af vækst, metabolisme og adfærd med særligt fokus på at forstå, hvordan kroppen opfanger og reagerer på ændringer i miljøet for at opretholde balance. Han undersøger, hvordan fejl i disse processer, som ofte forekommer under sygdom, kan føre til tilstande som kræft, fedme og diabetes. Hans forskning har ført til opdagelsen af systemer, der igangsætter vigtige udviklingsprocesser, og hvordan kolesterol spiller en central rolle i disse processer. Derudover har hans forskning identificeret hormoner, der regulerer appetit, herunder trangen til sukker, hvilket kan bane vejen for nye behandlingsmetoder mod overvægt. Endelig har forskningen bidraget til forståelsen af mekanismer, der øger cellers insulinfølsomhed, hvilket kan åbne op for nye behandlingsmuligheder til personer med type 2 diabetes.



Billedet viser kolesterolholdige fedtdråber i fedtvævet hos bananfluelarver, markeret med grønt. Disse fedtdråber fungerer som opbevaringssteder, hvor kolesterol og andre lipider kan lagres og senere mobiliseres afhængigt af cellens behov. Denne ophobning spiller en central rolle i reguleringen af kroppens kolesterolniveauer og er afgørende for cellernes funktion og organismens generelle sundhed. Foto: Kim Rewitz.

DANMARKS FRIE FORSKNINGSFOND
INDEPENDENT RESEARCH FUND DENMARK



Figuren viser skematisk, hvordan TOR-signaleringssensoren registrerer forskellige næringsstoffer og øger vækst, som under udviklingen også leder til kønsmodning. TOR står for "target of rapamycin", og konkret henviser navnet derfor til enzymer, der rammes af det specifikke stof rapamycin.

Overaktivering af TOR kan medvirke til cancer. Kim Rewitz og kolleger har fundet, at TOR også registrerer kolesterol fra kosten, hvilket sker ved, at kolesterol binder til et protein kaldet HR3. Derved kan kolesterol via HR3 aktivere TOR, hvilket kan forklare sammenhængen mellem kolesterol, vækst og cancer.

sammen af såkaldt TOR-signalering, som fortæller både raske celler og kræftceller, at det er tid til at dele sig. TOR-signalering involverer en lang række proteiner, som regulerer cellevækst, celledeling, cellebevægelse, celleoverlevelse, proteinsyntese og autofagi (at cellen nedbryder sig selv). Det er derfor ikke underligt, at hvis kolesterol skal påvirke cellevækst i både raske celler og i kræftceller, skal kolesterol kunne påvirke netop TOR-signalering.

Kim Rewitzs forskning har blandt andet vist, at hvis man manipulerer celler til at optage en hel masse kolesterol, øger man også TOR-signaleringen og derigennem cellevækst.

»I vores forskning var vi interesseret i at finde ud af, hvordan kolesterol kan aktivere denne signalvej. Hvilken sensor opfanger kolesterol og sender signaler til cellen om at aktivere TOR, så cellen kan vokse og dele sig? Ved at identificere denne sensor kan vi forklare, hvordan forhøjede mængder kolesterol kan stimulere kræftvækst,« forklarer Kim Rewitz.

En afgørende sensor

Forskerne har i deres undersøgelser identificeret et protein i bananfluer, der kan binde til kolesterol og derigennem aktivere TOR. Forskningen viste, at dette protein kaldet hormonreceptor 3 (HR3) er nødvendig, for at kolesterol kan påvirke TOR. For hvis forskerne deaktiverede proteinet i bananfluer, blev TOR ikke aktivereret, og derved var der ingen cellevækst.

Forskerne identificerede derefter det samme protein i kræftceller fra mennesker (hos mennesker kaldes proteinet dog for RORa og ikke HR3). Og de fandt, at hvis de satte proteinet ud af funktion, blev TOR ikke aktiveret af kolesterol i kræftcellerne.

»Vi er ret sikre på, at aktivering af TOR gennem kolesterols påvirkning af HR3 er en helt essentiel mekanisme ved vækst og kræftudvikling. TOR er den overordnede energisensor i cellerne. Den holder øje med, at der er de nødvendige aminosyrer og andre molekyler og betingelser for at vokse. Vores forskning tyder på, at TOR bruger HR3 til at holde øje med, om der er nok kolesterol til at lave nye celler,« forklarer Kim Rewitz.

En nærmere undersøgelse af HR3 viste også, at sensoren har et molekylært bindingssted for kolesterol. Forskerne arbejder stadig på at forstå, hvor i TOR-signaleringen at effekten sker, men de nærmer sig at kunne sætte fingeren på det præcise sted. Indtil videre kan de i hvert fald konkludere, at effekten sker et sted i signaleringskæden, der ligger før (opstrøms) det enzym, der er omdrejningspunktet for TOR-signalering. Netop her ligger de shuttlebusser, der fragter kolesterol ind i cellerne. Man skal derfor forestille sig, at kolesterol kan være som brændstof for kræftceller, fordi kolesterol binder til HR3, der signalerer til cellerne om, at de skal suge endnu mere kolesterol ind. Jo mere kolesterol, der er i cellerne, des hurtigere kan de vokse. Er der samtidig mutationer i cellerne, får kræftcellerne stillet alt det kolesterol til rådighed, som de skal bruge til at vokse aggressivt.

»Det er med til at skabe en forståelse af, hvordan kolesterol kan gøre kræftceller mere aggressive, og hvordan bindingen af kolesterol til HR3 spiller en vigtig rolle. Det åbner også op for at se på muligheder for at sætte en kæp i hjulet på denne kræftfremmende signalering,« siger Kim Rewitz.

Kolesterol som mål for fremtidens kræftbehandling

Kim Rewitz forestiller sig, at HR3 måske kan være et mål for fremtidig kræftbehandling. Her er det tanken, at kan man ramme HR3 med et molekyle, som hæmmer proteinet i at aktivere TOR, eller

DANMARKS FRIE FORSKNINGSFOND
INDEPENDENT RESEARCH FUND DENMARK

Bananfluer som modeldyr i biologisk forskning

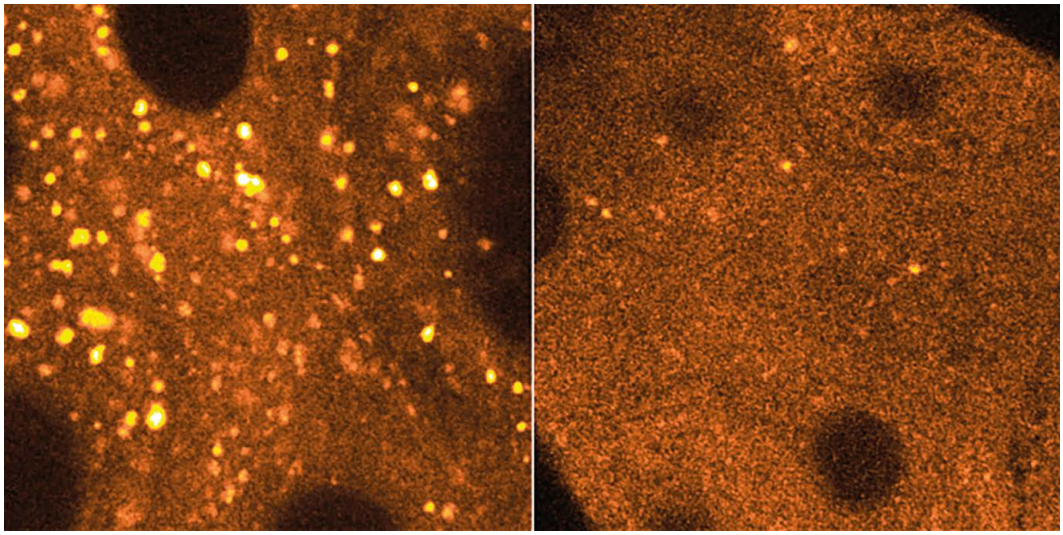
Bananfluen (*Drosophila melanogaster*) er en lille flue, som ofte findes omkring overmoden frugt. Den er et af de mest populære modeldyr i genetisk forskning og biologi.

Trods sin enkle organisering deler bananfluen omkring 60 % af sine gener med mennesker, og mange af de grundlæggende biologiske, genetiske og molekylære processer er bemærkelsesværdigt ens mellem de to arter. Dette gør den lille flue til et nyttigt værktøj for at forstå generernes funktion hos mennesker. Bananfluer har desuden en meget kort livscyklus på omkring 10 dage fra æg til voksen, hvilket betyder, at forskere kan studere flere generationer af bananfluer over kort tid. Dette er ideelt til genetiske studier og evolutionære eksperimenter.

Bananfluer bruges indenfor forskning i aldring, adfærd, søvn, infektionssygdomme, neurodegenerative sygdomme (som Parkinsons og Alzheimers), kræft og mange andre områder.

Studier af bananfluer har som sådan direkte bidraget til vores forståelse af vigtige biologiske koncepter, såsom opdagelsen af genetiske mekanismer for overførsel af arvelige egenskaber, indsigter i, hvordan immunsystemet fungerer, og hvorfor søvn er vigtig og reguleret af døgnrytmen, hvordan organer og væv udvikler sig fra stamceller og forskning i programmeret celledød (apoptose), som er vigtigt i kræftstudier.

Man bruger i dag også bananfluer til at undersøge specifikke patientgener, der kan forårsage sygdomme, og til at afprøve skræddersyet behandling til patienter med særlige kræftformer. Alt sammen åbner nye veje for behandling af disse komplekse sygdomme.



Billedet til venstre viser en sygdomsfremkaldende ophobning af kolesterol (lysende områder) i celler, forårsaget af en mutation i et specifikt gen (Niemann-Pick Type C1). Billedet til højre viser celler, hvor der er aktiveret en mekanisme, som Kim Rewitz og kolleger har fundet, der kan fjerne kolesterolophobningen. Foto: Kim Rewitz.

hvis man kan ramme de førnævnte shuttlebusser, kan man reducere cellernes optag af kolesterol. I kræftceller vil det betyde, at de ikke har så meget at vokse med.

Faktisk har forskerne også fundet en mekanisme, som de kan aktivere og dermed få celler til at spytte kolesterol ud igen. I forsøg med celler har de aktiveret en mutation, som giver øget optag af kolesterol, og som derfor leder til kraftig overaktivering af TOR. Derefter har de aktiveret den nævnte mekanisme for at se, hvad det gør ved cellerne. Forsøgene viste klart, at det fjerner den overskydende kolesterol, som øger aktiviteten af TOR. I forsøgene reducerede det også cellernes vækst tilbage til mere normale niveauer.

»Cellerne har forskellige mekanismer til at regulere kolesterolbalancen og derigennem aktivering af TOR. Nogle mekanismer øger mængden af kolesterol i cellerne, mens andre mekanismer reducerer mængden af kolesterol. Hvis vi kan påvirke disse mekanismer med lægemidler, kan vi måske behandle ikke bare kræft, men også andre sygdomme, hvor kolesterol spiller en rolle, blandt andet hjertekarsygdomme. Det vil måske også være muligt at behandle piger med risiko for at gå meget tidligt i pubertet,« siger Kim Rewitz. ■

Forskningen beskrevet i artiklen er finansieret af Danmarks Frie Forskningsfond, Natur og Univers samt Novo Nordisk Fonden.

DANMARKS FRIE FORSKNINGSFOND
INDEPENDENT RESEARCH FUND DENMARK

20 ÅR MED DET HUMANE GENOM

– gennem op- og nedture

Illustration: Colourbox

Det er lidt mere end 20 år siden, at det humane genom for første gang blev kortlagt på DNA-sekvensniveau. Kortlægningen gjorde forskere meget klogere på det at være menneske, men viste også, at vores arvemasse og for eksempel den genetiske risiko for udvikling af sygdom er meget mere kompleks, end man havde troet.

Forfatteren
Kristian Sjøgren er Videnskabsjournalist

Om forskeren

Søren Brunak er professor ved Københavns Universitet, Novo Nordisk Foundation, Center for Protein Research.

1865
Gregor Mendel opdager genetikkens love

1909
Den danske botaniker Wilhelm Ludvig Johannsen opfinder begrebet gen

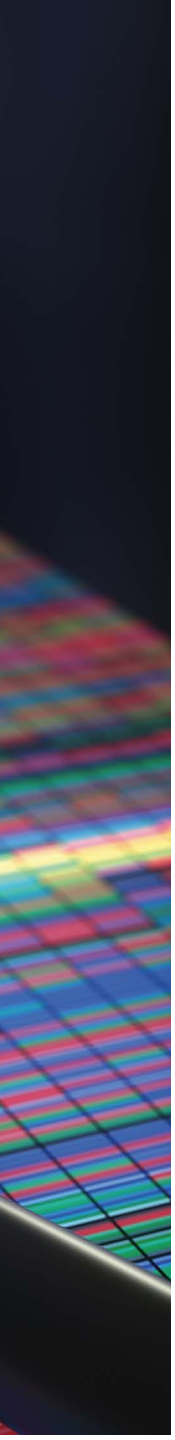
1953
Watson og Crick beskriver strukturen af DNA som en dobbelthelix

1977
Frederick Sanger m.fl. udvikler metoder til DNA-sekventering

1983
Det første humane gen, som koder for en sygdom, Huntingtons sygdom, bliver kortlagt

1985
PCR-teknikken opfindes (PCR=polymerase chain reaction)

1986
Det første instrument til automatisk sekventering af DNA



For lidt over 20 år siden færdiggjorde forskere et stykke forskningsarbejde, der af mange blev sammenlignet med det at sende mennesker til Månen.

Overalt i verden havde forskere brugt mere end et årti på at kortlægge hele det humane genom, altså hver en byggesten i det arvemateriale, som gør mennesker til mennesker. Fra projektet startede i 1990, til det blev afsluttet i 2003, arbejdede tusindvis af forskere på at stykke vores arvemateriale sammen bid for bid. Den samlede omkostning løb op i svimlende 2,7 milliarder dollars. I 2001 fremlagde forskerne bag *Human Genome Project* (HGP) så det foreløbige humane genom. I 2003 blev et mere færdigt genom endelig vist frem for verden. Det er siden blevet forbedret endnu mere.

Drømmen om at sekventere det humane genom var allerede opstået tilbage i 1950'erne, da den amerikanske biolog James Watson og den engelske fysiker Francis Crick opdagede, at DNAet i vores arvemateriale har en dobbelt helix-struktur. To andre knapt så kendte forskere havde også del i opdagelsen – fysikeren Maurice Wilkins samt kemikeren Rosalind Franklin.

Med det samme opstod der er brændende ønske om at kunne zoome ind på kromosomernes DNA og kortlægge hver en bid af arvematerialet. Tanken var, at vi med bedre forståelse af, hvordan vi mennesker genetisk er skruet sammen, også bedre kunne forstå alt fra vores forhistorie til baggrunden for udvikling af arvelige sygdomme.

Én af de forskere, som har arbejdet med det humane genom gennem de mange årtier, er den danske professor og pionér indenfor bioinformatik Søren Brunak fra Novo Nordisk Foundation Center for Protein Research ved Københavns Universitet. Han fortæller, at kortlægningen af det humane genom ikke bare har givet unik indsigt i, hvad det vil sige at være menneske, men også hvor komplekse vi er som organismer.

»Da man satte projektet i gang i 1990, spekulerede mange af verdens førende forskere blandt andet i, hvor mange proteinkodende gener der ville være i det humane genom. Den almindelige antagelse var, at der måtte være omkring 150.000, fordi det var nogenlunde det, der var plads til, med det man vidste om længden på generne. Det viste sig, at vores arvemateriale faktisk kun indeholder 21.000 proteinkodende gener. Det var en kæmpe overraskelse, som gjorde det nødvendigt at gentænke alt, hvad vi troede om generne, og hvordan de fungerer,« fortæller Søren Brunak.

Blandede DNA fra flere personer

Går vi tilbage til 1990 og drømmen om at kortlægge det humane genom, var alle klar over, at det ville blive en opgave, der ville komme til at tage en menneskealder. Simpelthen fordi man på daværende tidspunkt ikke havde metoder til at kortlægge arvematerialet hurtigere. Man håbede dog på, at der med tiden ville blive udviklet metoder, som kunne sætte fut i forskningen. Ydermere var projektet kendetegnet ved at være eksplorativt i modsætning til hypotesedrevet. Det vil sige, at forskerne "bare" ville udforske det humane genom uden at vide, hvad de ville finde. Desuden havde projektet sit udgangspunkt i akademia. Det var med andre ord ikke meningen, at det skulle finansieres af industrien – i hvert fald ikke til at starte med.

»Der var lidt Columbus-håb over det. Normalt er det god latin at have en hypotese, inden man kaster sig ud i et stort medicinsk forskningsprojekt, men her gjorde man det omvendt og indsamlede enorme mængder data, før man begyndte at formulere hypoteserne. Det store mål var dog at etablere et humant referencegenom, som forskningen indenfor feltet kunne sammenligne sig op imod, når man stod med DNA fra et enkelt menneske,« forklarer Søren Brunak.

Han uddyber, at det desuden blev besluttet, at man i stedet for at kortlægge én persons arvemateriale faktisk blandede DNA fra flere personer sammen. Opgaven blev så sendt rundt i verden, hvor en forskergruppe kunne få til opgave at kortlægge et af menneskets 23 kromosomer, mens andre måske blot skulle kortlægge en lille del af et andet. I tildelingen af kromosomer blev der af konsortiet taget hensyn til, at nogle forskere havde særlig interesse i for eksempel sygdomme associeret til det ene eller andet kromosom.

»Teknologisk er vi et helt andet sted i dag, hvor vi indenfor én dag kan

1990
Det humane genomprojet begynder i USA. Det første gen for brystkræft (BRCA1) kortlægges

1995
Det første bateriegenom bliver sekventeret *Haemophilus influenzae*

1998
Kortlægning af genomet for rundormen *Caenorhabditis elegans*

2000
Kladdeversion af det humane genom. Bill Clinton støtter fri adgang. Genomet for bananfluen bliver kortlagt.

2002
Kladdeversioner af genomerne for mus, rotte og risplanten

2003
Kortlægningen af det humane genom offentliggøres

Efterfølgende...
Kortlægningen af det humane genom forfines. Mange andre organismers genom kortlægges.

Op til nu...
Kortlægning af millioner af menneskers individuelle genomer

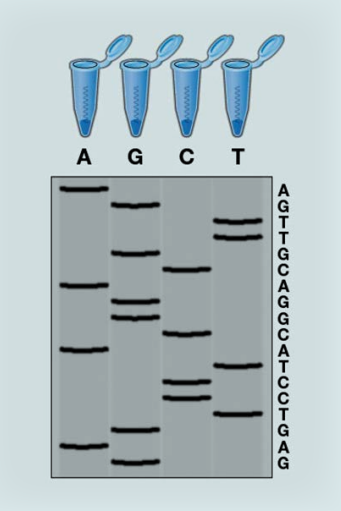
Fra møjsommelig teknologi til hurtig shotgun-sekventering

Den oprindelige metode til at kortlægge DNA blev opfundet af den britiske biokemiker Frederick Sanger i 1977 og blev også opkaldt efter opfinderen – Sanger-sekventering. Sanger-sekventering var i årtier den foretrukne metode til at afkode sekvensen i en DNA-streng, hvilket metoden også kunne gøre med næsten 100 procents præcision.

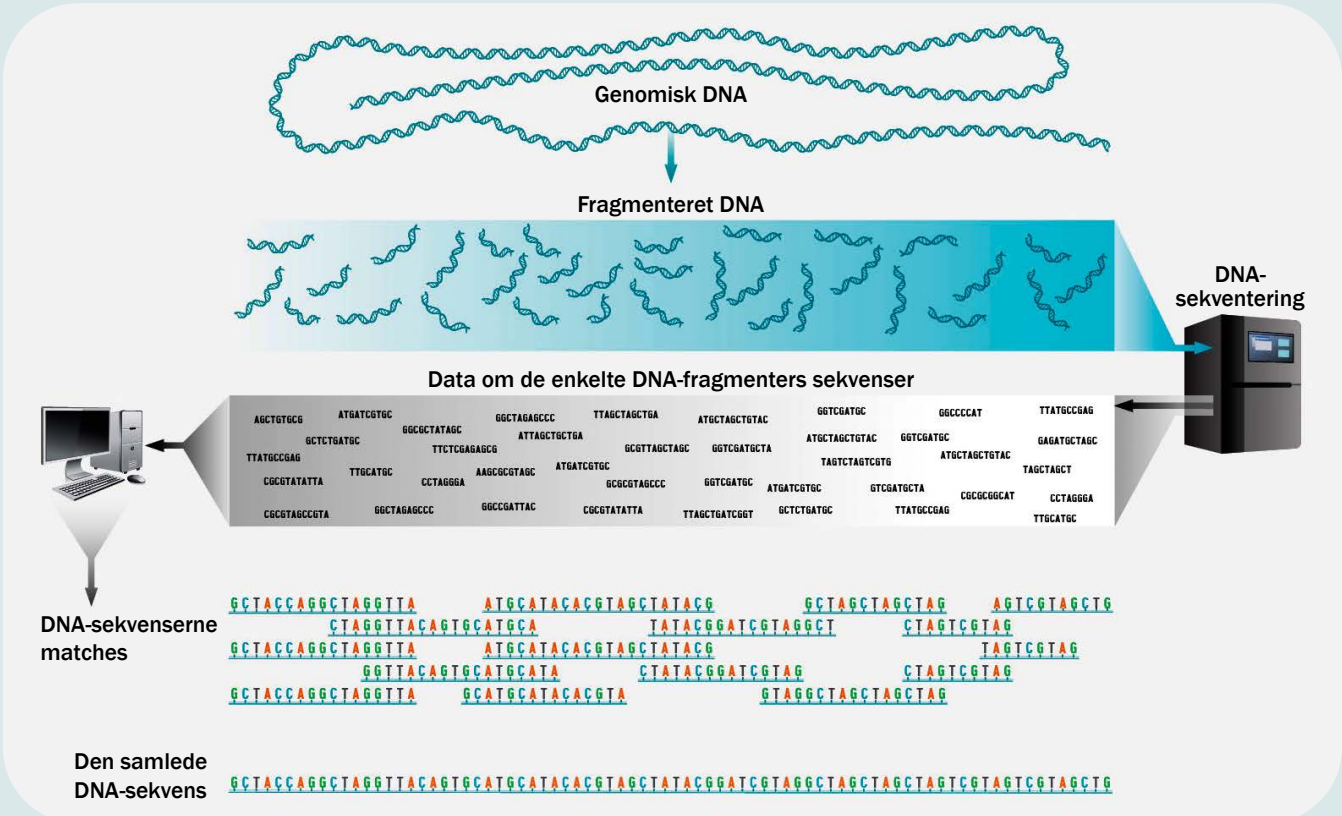
Kort fortalt fungerer Sanger-sekventering på den måde, at forskere kopierer det DNA, som de ønsker at kende sekvensen på. Når en DNA-sekvens skal kopieres, skal der på kopien påsættes DNA-byggesten i form af nukleotider én efter én. Der findes fire forskellige nukleotider, og efterhånden som de bliver sat på, bliver DNA-strengen længere og længere. Forskere kan sortere de forskellige længder i en gel og kan med en laser måle, hvilken byggesten der sættes på som næste trin i kopieringen. Det kan de gøre ved brug af blandt andet nukleotider, der er markeret med et fluorescerende protein. Til sidst kan forskerne stykke den fulde DNA-streng sammen og præsentere den samlede genetiske kode. (Se figuren til højre). Denne metode er særligt velegnet til DNA-strenge, som er omkring 500-1000 nukleotider lange. I det humane genom findes der tre milliarder byggesten.

I moderne DNA-sekventering har man paralleliseret proceduren. I stedet for at kortlægge ét stykke DNA fra den ene ende til den anden, skærer man ved helgenom shotgun-sekventering alt DNA'et i millioner af små stumper på mellem 100 og 1.000 nukleotider.

Hvert tilfældigt udvalgte område i DNA'et bliver derefter sekventeret mange gange samtidigt. Ved hjælp af computeralgoritmer kan man efterfølgende sammensætte DNA-stumperne til hele DNA-strenge igen, som det fremgår af figuren nedenfor



Princippet i Sanger-sekventering. Illustration: National Human Genome Research Institute/www.genome.gov



Princippet i moderne shotgun-sekventering. Illustration: National Human Genome Research Institute/www.genome.gov

kortlægge et individs genom. Vi er også meget mere interesserede i at finde ud af, hvad der i dit DNA gør dig til dig, og hvad der i mit DNA gør mig til mig. Det har meget større relevans for blandt andet sygdomsforståelse og individualiseret behandling. Dengang ønskede man dog i første omgang blot det store "søkort", og så måtte man zoome ind på individet senere,« siger Søren Brunak.

Entreprenør kommercialiserede det humane genom

Selvom det humane genomprojekt indledningsvist var tænkt som et ikke-kommercielt anliggende, gik der ikke mange år, før industrien også begyndte at fatte interesse i projektet. Én person, som kom til at have stor betydning for, at det humane genom blev kortlagt langt hurtigere, end man troede, var den amerikanske bioteknolog og forretningsmand Craig Venter.

Craig Venter så en forretningsidé i at sætte fut i projektet og være med til at opdage gener, der koder for proteiner. Han tænkte, at de nyopdagede, proteinkodende gener kunne patenteres, og at der derfor kunne tjenes penge på dem.

For at realisere denne drøm var der dog behov for, at tingene fik mere fart på, så Craig Venter udviklede en metode til meget hurtigere at sekventere hele arvematerialet. I stedet for at sekventere DNA'et bid for bid klippede han hele det humane DNA i småstykker i en molekylær blender og sekventerede det hele på én gang. Derefter fik han bioinformatikere til at udvikle sofistikerede analytiske værktøjer til at sætte DNA'et sammen igen.

»Mange mente dengang, at det var totalt urealistisk, fordi de mange stumper passede sammen på for mange forskellige måder. Det svarede til at skulle samle millioner af blå puslespilsbrikker til ét puslespil af en himmel. Men det lykkedes bioinformatikerne at skabe dette værktøj. For Craig Venter betød det, at han kunne komme tættere på målet om at kortlægge det humane genom og gøre data tilgængelige for virksomheder mod betaling,« siger Søren Brunak.

Trods Craig Venters fremsynethed, når det kommer til metoder til at kortlægge det humane genom, havde han ikke det samme fremsyn i sin forretning, der havde mere end almindeligt svært ved at tjene nok penge til at dække de enorme omkostninger ved at kortlægge det humane genom.

»En sjov sidehistorie er, at mens hele verden forsøgte at kortlægge et referencegenom, som var en blanding af flere forskellige personers DNA, benyttede Craig Venter sit eget genom i hans projekt. Han var derfor også den første person til at få kortlagt sit eget genom og hævdede at kunne ændre livsstil på baggrund af fundene i genomet,« fortæller Søren Brunak.

Sygdom skyldes sjældent enkelte gener

Spoler vi tiden frem til 2003, kom den daværende amerikanske præsident Bill Clinton på forsiden af det videnskabelige magasin *Science* i forbindelse med offentliggørelsen af det humane referencegenom. Ved hans ene side stod Francis Collins, der havde været leder af HGP, der repræsenterede det offentlige projekt, og på hans anden side stod Craig Venter.

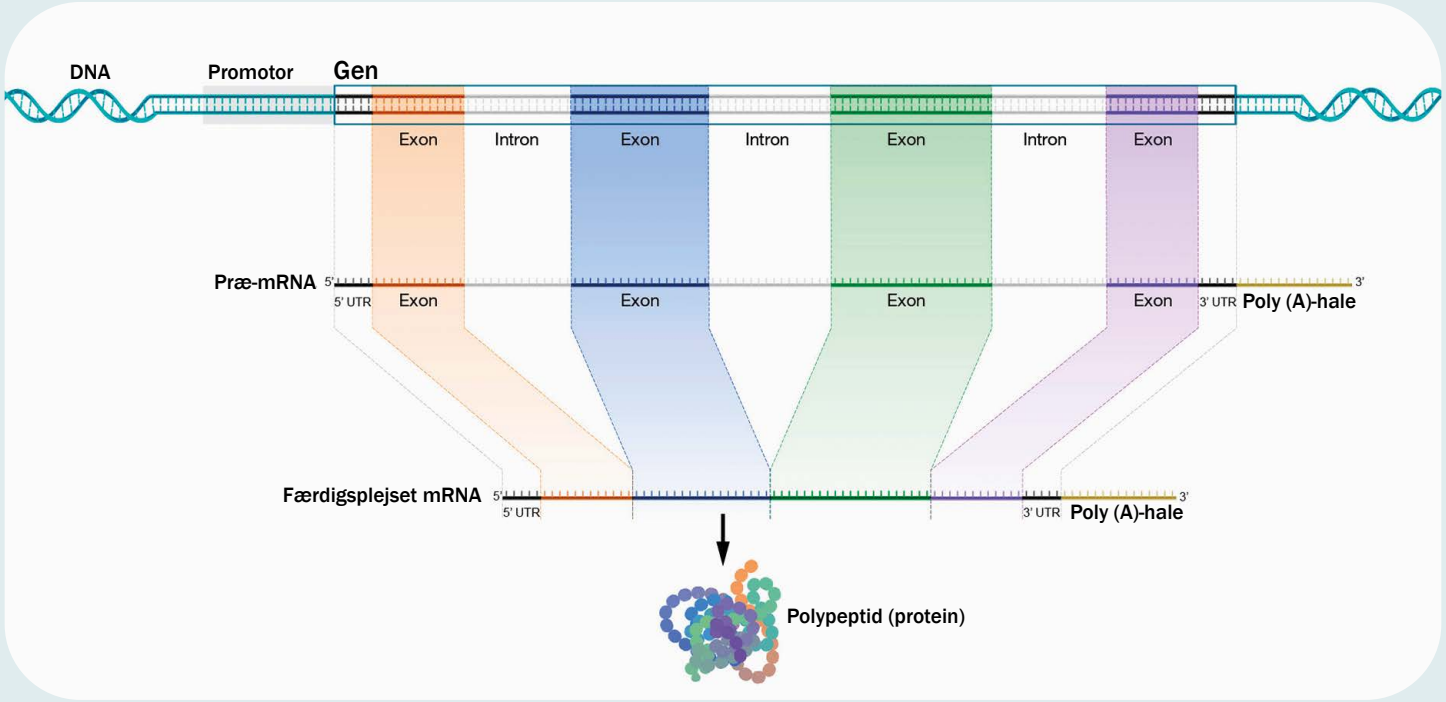
Med den endelige kortlægning af det humane genom var startskuddet gået til nu to årtiers forskning i, hvad den viden, som ligger i det humane genom, kan bruges til.

Det humane genom har også gjort os klogere på menneskets fortid

Foruden af gøre os klogere på sundhed og sygdomme har kortlægningen af det humane genom også gjort os klogere på menneskets fortid. Med kortlægningen af det humane genom blev det nemlig muligt at se, hvordan vi har udviklet os over forhistorisk tid, og blandt andet opdage, hvor forskellige vi er fra vores nærmeste slægtninge, neandertalerne, men også at vi mennesker faktisk har blandet gener med neandertalerne på et tidspunkt i forhistorien. Derfor er op imod to procent af europæernes DNA neandertaler-DNA.

Kortlægningen af det humane genom har også gjort det muligt at kigge på, hvordan befolkninger i Europa har ændret sig over tid. De seneste undersøgelser fra professor Eske Willerslev og hans kolleger på Københavns Universitet har vist, at de oprindelige europæiske jægersamlere, der levede i Europa for 10.000 år siden, ikke udviklede sig til landbrugsfolk, men faktisk blev erstattet af et folk, som kom med landbruget fra Mellemøsten. Der var dog en vis grad af assimilation, hvilket betyder, at europæere i dag har varierende grad af jæger-samler-DNA i deres arvemasse. Folk fra Sydeuropa har mere jæger-samler-DNA i deres arvemateriale end folk fra Nordeuropa. Landbrugsfolket blev dog også selv erstattet for mellem 5.000 og 6.000 år siden af et hyrdefolk fra de store sletter i Ukraine og Rusland. Dette hyrdefolk, som hed yamnayaerne, kom til Europa med store flokke af dyr og erstattede på meget kort tid det folk som levede her.

I dag har europæerne også varierende grad af Yamnaya-DNA i deres arvemateriale. I Nordeuropa er andelen af yamnaya-DNA størst, og det betyder faktisk, at vi også har den største risiko for udvikling af blandt andet multipel sklerose. Generne for multipel sklerose stammer nemlig fra yamnayaerne. I Sydeuropa, hvor folk har mere jæger-samler-DNA i deres arvemateriale og mindre yamnaya-DNA, er forekomsten af multipel sklerose mindre.



Et gen består af regioner, der koder for aminosyrer (kaldet exons) og regioner, der ikke gør (introns). Når genet aflæses, bliver både exons og introns i første omgang oversat til RNA, men i den såkaldte splejsningsproces skæres introns ud, så kun exons er repræsenteret i det modnede RNA, der oversættes til protein i cellen. Udover de kodende regioner (exons) består en mRNA-streng af en indledende sekvens (5' UTR), en afsluttende sekvens (3' UTR) samt en hale af adskillige adenosin-nukleotider (kaldet Poly (A)-hale), som er vigtig for stabiliteten af mRNA'et.
Illustration: National Human Genome Research Institute/www.genome.gov

Nærliggende var det selvfølgelig at tro, at man nu hurtigt kunne finde generne for tusindvis af sygdomme fra diabetes og demens til hjerte-karsygdomme og sklerose. Det viste sig dog, at den gamle idé og håb om "ét gen til én sygdom" havde være overoptimistisk og en forsimpling. Havde der været de forventede 150.000 gener, kunne man måske have forestillet sig, at specifikke gener var relateret til specifikke sygdomme, men med kun 21.000 humane gener blev billedet meget mere komplekst.

»Fordi der er så få proteinkodende gener, ser det ud til, at effekten på det, som man kalder komplekse sygdomme, ofte er spredt ud over mange hundrede gener. For eksempel kan en højere risiko for udvikling af diabetes være resultatet af små variationer i måske 400 eller 500 gener. Det er meget indviklet at finde ud af, hvordan varianter i så mange gener spiller sammen om at komme til udtryk som sygdomsrisiko. Det havde da været nemmere, hvis vi bare kunne pege på ét gen som årsagen til en sygdom og sætte ind med behandlinger mod dette ene gen, men sådan er det ikke. Generne påvirker hinanden og arbejder sammen. Derfor blev mange også skuffede over, at kortlægningen af det humane genom ikke med det samme ledte til udvikling af en masse lægemidler mod en lang række store sygdomme,« forklarer Søren Brunak.

Erkendelsen af kompleksiteten ledte dog til udvikling et helt nyt forskningsfelt, systembiologien, som netop er Søren Brunaks speciale. Systembiologi går blandt andet ud på at finde ud af, hvordan generne samarbejder, og udnytte regnekraften fra meget store computere til at hitte rede i store datasæt. Blandt andet prøver man finde ud af, hvad varianter i gener samlet set betyder for risiko for udvikling af sygdom, og om vi kan udregne en persons sygdomsrisiko bare ved at kigge på varianter i hundredvis af gener.

Satte gang i guldfeber

Med kortlægningen af det humane genom kunne forskere også for første gang se, at vores arvemasse består af meget, meget mere end bare proteinkodende sekvenser. Blandt andet består vores DNA af tusindvis af gener, der aldrig bliver oversat til proteiner, men i stedet bliver oversat til små stumper af RNA, der kan regulere mange andre gener ved at binde til dem.

»Det blev hurtigt en af de store guldgraverhistorier, fordi det åbnede op for muligheden for at identificere RNA-gener med betydning for risikoen for udvikling af for eksempel kræft. RNA-generne spiller en stor rolle og har indflydelse på rigtig mange sygdomme og er også interessante mål ved behandling af sygdomme. Disse gener blev også startskuddet på et "goldrush", og det er det stadig i dag,« siger Søren Brunak.

Han fortæller, at der i dag også

LAD AU STÅ FOR UNDERVISNINGEN

LIVESTREAM FORELÆSNINGER DIREKTE IND I KLASSEVÆRELSET

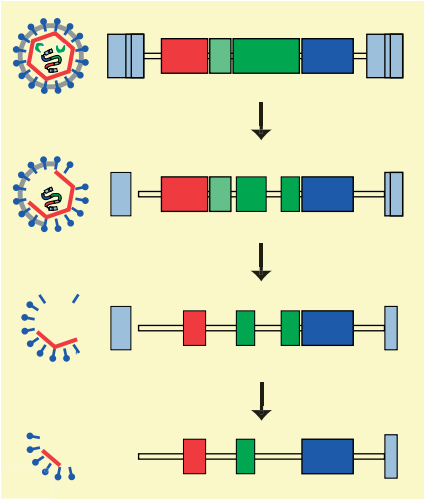
I efteråret kan du bl.a. se livestreams om brugen af fosfor og dets konsekvenser og om, hvordan geofysiske metoder kan afhjælpe vandmangel i verdens udsatte regioner.

Forelæsningerne er skræddersyet til gymnasieelever. Brug dem som indspark i temaforløb om fx bæredygtighed, klima eller miljø.

Tilmeld dig efterårets livestreams og se tidligere forelæsninger på:

au.dk/gymnasielivestream

NATURAL SCIENCES
AARHUS UNIVERSITET



En del af det DNA i vores arvemasse, vi i dag kalder junk-DNA, stammer faktisk oprindelig fra virus, der har kopieret deres arvemasse ind i vores forfædres DNA. Figuren viser, hvordan sådant virus-DNA med tiden nedbrydes, så der ikke længere kan produceres hele viruspartikler. Men enkelte gener kan godt være intakte, så der stadig produceres virusproteiner.
Illustration: Palle Villesen.

er meget fokus på områder af genomet, der koder for små peptider, som man kan opfatte som mikroproteiner. Der findes mange tusinder mikroproteiner, som bliver udtrykt af vores arvemasse, og som vi for en stor dels vedkommende endnu ikke kender funktionen af.

»Et gen kan være rigtig mange ting, og der kan komme mange ting ud af et gen. Et gen kan kode for et protein, en RNA-stump eller et peptid, men de små proteiner kan også være et nedbrydningsprodukt, når større proteiner med en given funktion bliver nedbrudt til et nyt molekyle med en anden funktion. Vi er slet ikke færdige med at opdage nye ting, og det humane referencegenom viste os, hvor komplekst det hele er,« siger Søren Brunak.

»Det er ikke altid nødvendigt at have en hypotese på forhånd og slet ikke, hvis man skal finde det helt uventede«, siger han.

Junk-DNA er ikke skrald

Gennem de seneste 20 år er forskere også blevet klogere på noget i vores arvemateriale, der optog rigtig mange mennesker før i tiden. Her taler vi om såkaldt "junk-DNA". Allerede tilbage omkring 1990 var mange forskere skeptiske over for ideen om at kortlægge hele det humane genom, idet det allerede dengang var velkendt, at ikke hele genomet koder for proteiner. Når en hel del arvematerialet således blev anset for ligegyldigt skrald, gav det ikke mening at bruge tid på at kortlægge dette.

Junk-DNA er i store træk betegnelsen for genetisk information, der ikke bliver benyttet mere. Forestil dig, at en forfader millioner af år tilbage i tiden har produceret et protein, som for eksempel var nødvendigt for at lave en tyk og varm pels. Ja, det gen har vi jo ikke rigtig brug for mere, så det er der blevet lukket ned for i vores arvemateriale. Over tid er genet blevet muteret igen og igen, indtil det i dag blot er en samling DNA-stumper uden funktion. Det er junk-DNA.

Tanken om, at kun nogle få procent af vores arvemateriale er nyttigt DNA, er dog helt forkert. Selvom en stor del af selve generne i sig selv indeholder dette ikke-proteinkodende DNA, er det ofte ingenlunde uden funktion. Et gen består af både kodende dele (kaldet exons) og ikke-kodende dele (kaldet introns), og begge dele af genet spiller en vigtig rolle for, hvordan et gen bliver udtrykt, reguleret, oversat til protein og finder sin funktion.

»Så selv den ikke-kodende del af et gen er vigtig og vigtig at forstå og kortlægge. Hvis man i en organisme fjernede alle de ikke-proteinkodende dele af et gen, ville der ikke komme noget godt ud af det. For eksempel sidder mange af de RNA-kodende gener i introns,« siger Søren Brunak.

Han uddyber, at evolutionen ikke fungerer på den måde, at arvematerialet bare nulstilles, når der ikke længere er brug for et gen. Alt det, som nogle kalder for junk-DNA, kan man i stedet opfatte som gamle "genetiske projekter", der måske ikke bliver benyttet til den funktion, de oprindeligt havde, men som i kraft af deres tilstedeværelse stadig kan spille en rolle i hele det genetiske udtryk.

»Tilbage i 1980'erne omskrev den japanske forsker Ohno byggestenene i DNA'et til noder og viste, at man faktisk kan lytte sig frem til disse områder med junk-DNA. I selve de kodende dele af et gen foregår det hele rytmisk, fordi genet bliver afkodet tre byggesten ad gangen. I junk-delene er det hele mere rodet, og det kan man direkte høre,« fortæller Søren Brunak.

Behov for genomprofil på millioner af mennesker

Spoler vi tiden frem til 2024, er forskere for længst kommet sig over, at de ikke kan relatere ét gen til én sygdom, i hvert fald for mange af de store folkesygdomme. Nogle sygdomme er resultatet af ganske få genetiske varianter, men flere af de store sygdomme, blandt andet type 2-diabetes, hjertekarsygdomme og svær overvægt, opstår oftest i et meget komplekst samspil mellem generne. Det betyder også, at for at kunne kortlægge dette komplicerede samspil har forskere brug for millioner af patientjournaler på millioner af mennesker, som alle sammen har fået kortlagt deres DNA.

Søren Brunak arbejder selv med netop disse ekstremt store datasæt, hvor han med sine kollegaer prøver at forstå genetikken bag blandt andet udvikling af type 2-diabetes. Det er dog slet ikke muligt for et menneske at hitte hoved og hale i så gigantiske datasæt, så det må forskerne have supercomputere og kunstig intelligens til at gøre for sig. Til gengæld kan de så også få et vindue ind til genetikken bag sygdom og få en bedre forståelse af sygdomsmekanismer.

»På den måde kan vi se, hvad der genetisk leder til udvikling af type 2-diabetes, og også hvordan de biologiske mekanismer, som leder

til sygdommen, kan være forskellige fra menneske til menneske. Det samme gælder også en sygdom som demens,« siger Søren Brunak.

Han uddyber, at denne indsigt ikke havde været mulig, hvis forskere ikke havde taget skridtet videre fra det humane referencegenom til at kortlægge millioner af menneskers individuelle genomer.

»Og så manglede man pludseligt sygdomsdata for enkelte patienter, for det havde man ikke sat gang i i 1990. Referencegenomet var et vigtigt udgangspunkt for at forstå human genetik, men i dag sammenholder vi i stedet den enkeltes genetik med for eksempel sygehistorik, men også andre træk, for eksempel levevis, tillidsfuldhed eller andre bløde karakteristika,« siger Søren Brunak.

Gener og teknologi bliver en del af lægens værktøjer

Kigger vi ind i fremtiden for at se, hvad det humane genomprojekt kan få af betydning over 30 år, 40 år eller på endnu længere sigt, ser Søren Brunak stadig et stort behov for at forstå, hvordan genetisk disposition leder til udvikling af sygdomme under paraplybetegnelsens "store folkesygdomme". Det drejer sig om diabetes, KOL, forhøjet kolesteroltal, forhøjet blodtryk osv. og herunder, hvordan det enkelte menneske udsættes for miljøpåvirkninger.

Derudover ser professoren også store perspektiver i meget hurtigere at kunne kortlægge en persons genetik og bruge viden fra genomet til at lave hurtige interventioner. Han forestiller sig som eksempel, at det, der i 1990'erne og op gennem 00'erne tog 13 år at kortlægge, bliver kogt ned til få timer, så et nyfødt barn kan få lavet en genprofilering ud fra den dråbe blod , som bliver taget i den såkaldte hælprøve. Her vil man lynhurtigt kunne se, om barnet har en genetisk disposition for alvorlig sygdom, som man kan gøre noget ved. Det kan som eksempel være, at barnet ikke kan producere et givent protein, som er nødvendigt for at overleve eller udvikle sig korrekt. Med denne viden allerede på fødselstidspunktet kan læger intervenere og behandle med det relevante protein, så barnet aldrig når at blive alvorligt syg.

»Mange nyfødte børn ender med at cykle rundt i systemet i mange år, men det kan undgås, hvis man fra fødslen får kortlagt, om de har en given sygdom på grund af for eksempel en gendefekt. I Danmark har man med Nationalt Genom Center besluttet at gøre denne information let tilgængelig for lægerne. Læger er magikere, men de kan ikke holde styr på genetikken bag tusindvis af sygdomme. Det skal gøres elektronisk, så lægerne får et støtteværktøj, der kan hjælpe med at komme med mere præcise diagnoser på baggrund af genetiske data. Indenfor den kommende tid vil vi se, at læger i stigende grad bliver støttet af værktøjer, der kan fortælle en hel masse om en persons sygdom eller sygdomsrisiko, og ikke blot finde årsagen til sygdom, men også forebygge den,« siger Søren Brunak. ■

I sommeren 2021 blev blandt andet Tyskland ramt af skybrud, der medførte store oversvømmelse. Her er det byen Ufer ved floden Ahr, der er blevet hårdt ramt af vandmasserne.

Foto: Bettina Vier/Wikimedia Commons/CC BY-SA 4.0 Deed

NÅR REGNEN FALDER

Hvordan kan de ekstreme mængder nedbør, der opstår som en konsekvens af klimakrisen, belyses humanistisk og tværvidenskabeligt? Og hvordan kan der undervises i det? Det giver denne artikel et bud på.

Forfatterne

Dikte Reeh Andersen er videnskabelig assistent
diktand@sam.sdu.dk

Ralf Andersson er lektor
raan@journalism.sdu.dk

Julie Emontspool er lektor, juli@sam.sdu.dk

Nikolaj Elf er professor
nfe@sdu.dk

Michael Paulsen er centerleder
mpaulsen@sdu.dk

Heidi Philipsen er lektor
heidij@sdu.dk

Alle er tilknyttet forskningscenteret CUHRE, Syddansk Universitet

»Vi fik at vide, at her var så sikkert - at vi var verdens lykkeligste folk. Det trygge velfærdssamfund ville aldrig forsvinde. Os der boede i et af verdens bedste samfund, var os der var mindst klar. For når regnen falder – falder vi...«

Sådan lyder det i Netflixserien *The Rain*, hvor katastrofescener står i kø i fortællingen om en gruppe unge, der forsøger at overleve efter en dødelig virus, der spredes gennem regn, som har ramt Danmark. Serien viser en fremtid, hvor klimaudfordringerne er blevet til den værst tænkelige fremtidsdystopi. Men den viser også, at håb og muligheder findes i menneskelige værdier og relationer. Et humanistisk livssyn, der handler om menneskeværd, fællesskab og ansvarlighed overfor hinanden og kommende generationer. På den måde tydeliggøres det, at humanistiske perspektiver på verden tilbyder muligheder for at forholde sig til klimakrisen.

Hvordan humanistiske perspektiver spiller en rolle for at forstå klima- og biodiversitetskrisen, bliver undersøgt i det nyopstartede forskningscenter CUHRE, som har til hensigt at undersøge menneskers forhold til de naturlige omgivelser – for i sidste ende at oparbejde menneskers økodannelse.

En grundlæggende antagelse for CUHRE er, at tekniske og naturvidenskabelige løsninger på klimaudfordringer ikke kan stå alene. Alligevel træder de menneskelige aspekter af omstillingen til en bæ-

redygtig fremtid ofte i baggrunden til fordel for teknologisk fremskridtstro. Men når alt kommer til alt, er klima- og biodiversitetskrisen forårsaget af menneskelige aktiviteter og sociale handlinger. En del af svaret på at imødegå den må derfor også findes i vores indarbejdelse af humanistiske og samfundsfaglige perspektiver, ikke mindst i vores uddannelsessektor og i mere uformelle læringsarenaer – som når vi ser en film.

Så spørgsmålet er grundlæggende: Hvordan kan man indtænke og arbejde med det menneskelige, kultur, identitet og sociale forhold, når visionerne for vores fælles fremtid skal udtænkes og realiseres? Det sætter vi fokus på i denne artikel – konkret ved at undersøge en indlysende, afledt konsekvens af klimaforandringerne, som gør sig gældende i Danmark, nemlig øgede og ekstreme mængder af regnvand.

Hvordan fremstilles det for eksempel gennem film, litteratur og billedkunst, og hvordan kan vi arbejde med fænomenet ud fra humanistiske, samfundsfaglige og tværfaglige perspektiver, blandt andet gennem undervisning i ungdomsuddannelser?

TV-serier og medieinstitutioner

Medier og mediefag rummer oplagte muligheder for at arbejde med historier med og om regn, der tydeligt eller mere indirekte tematiserer, at øgede regnmængder har en indflydelse på menneskers livsvilkår, og omvendt at menneskers måde at være i verden på har betydning for, hvordan klimaet forandrer sig.

Den danske tv-serie *Familier som vores* (2024) af Thomas Vinterberg og Bo Hr. Hansen, som får premiere til efteråret, er et eksempel på en serie, der italesætter et fremtidigt katastrofescenarie. I serien fremstilles et oversvømmet Danmark, hvor befolkningen evakueres fra øverste danske myndighed. Det sker med de valg, det kan medføre for mennesker, når man tvinges til at flytte udenlands, og familier og kærestepar splittes ad og mister deres hjem. Genremæssigt er serien udtryk for *green storytelling*. Dens tema, centreret omkring regnens konsekvenser for familier, kan potentielt set motivere publikum til at overveje mere bæredygtige valg ved at forholde sig til det billede, serien tegner af en mulig nær, og ret skræmmende, fremtid i Danmark. Men motivationen bygges ikke op gennem en moraliserende fortælling. Der er snarere tale om en tilsyneladende realistisk fremtidsfortælling, der får en til at føle og tænke over, hvad konsekvensen af den aktuelle klimakrise kan blive for mennesker og vores samfund.

Medier – eller rettere sagt medieinstitutioner – kan også finde på at aktionere over for klimakrisen og de øgede regnmængder på mere konkret vis i hverdagslivet. Et sjovt eksempel er 14 bænke med forhøjede ben, som pludselig dukkede op i København, Aarhus og Odense i 2022. Med 85 cm ekstra høje ben er det tæt på umuligt at sætte sig på bænkene. Bænkene blev opsat og placeret forskellige steder i de tre byrum af TV2 og har givet anledning til både smil, debat og spekulation blandt forbipasserende.

TV2's perspektivering af klimaudfordringen i et enkelt greb. Her ved søerne i København i 2022. Foto: TV2

I forbindelse med FN's vandkonference i 2023 blev en af bænkene flyttet til New York, hvor den kunne ses af internationale aktører, der bestrider magtfulde positioner i forhold til at handle storpolitisk på klimakrisen. De gav anledning til at reflektere over, hvad øgede regnmængder og øget vandstand generelt får af betydning for vores hverdagsliv. Og måske også hvordan man – mere konstruktivt – bør og kan handle på det.

Litteratur og billedkunst

Inden for litteraturens og billedkunstens verden er der talrige eksempler på værker, der adresserer de øgede regnmængder. Et internationalt kendt litterært eksempel er den norske forfatter Maja Lundes forfatterskab. Lunde blev ver-

Økodannelse

Økodannelse – eller ecoliteracy på engelsk – er et nøglebegreb i CUHRE. CUHRE's arbejdsdefinition på økodannelse er: evnen og viljen blandt mennesker til at kultivere bæredygtighed, regeneration og livsvenlighed i et symbiotisk samspil med det mere-end-menneskelige.

Kunstneren Jakob Kudsk Steensen værk Berl-Berl er en levende digital simulation af Berlins forhistoriske våd- og sumpområde og en portal til både fortiden og fremtiden. Værket har været udstillet på Aros i Aarhus i 2022, hvor man blandt andet kunne se denne installation.

Foto: David Stjernholm
Værket: © Jakob Kudsk Steensen: Berl-Berl, 2021, Kommissioneret af Light Art Space (LAS).

densberømt på sin roman *Biernes historie* (2004), og hele hendes forfatterskab handler om menneskets problematiske forhold til naturen.

I romanen *Przewalskis hest* (2019) spiller regnen en diskret hovedrolle. Romanen udspiller sig over tre perioder i historien – 1881, 1992 og 2064 – og følger forskellige menneskers forsøg på at finde frem til og bevare en "urhest". Da vi når til 2064-perioden, møder vi kvinden Eva, som forsøger at fremavle hesteracen på sin gård. Men det regner konstant, og alle i hendes nære omgivelser har forladt området. Der er ingen sne. Det bare regner og regner. Regnen er blevet en uomgængelig aktør. Og en metafor på en verden i opløsning. Romanen undersøger, om det er muligt at leve og overleve i en sådan verden domineret af konstant nedbør.

Mange andre "økokritiske" romaner rummer tilsvarende fortællinger om de alvorlige menneskelige og i det hele taget livsuvenlige konsekvenser af menneskeskabte klimaforandringer. Tonen er ofte mørk, universet dystopisk – skaden ér sket. Nu handler det om at leve med det.

Men andre forfattere går mere nøgternt undersøgende eller optimistisk-utopisk til værks. Et internationalt eksempel kunne være romanen *Bangkok Wakes to Rain* (2019) af den thailandske forfatter Pitchaya Sudbanthad. Også denne roman befinder sig i flere historiske tider og ender i en forestillet fremtidstid, hvor Bangkok er konstant oversvømmet. Romanen undersøger hvad der historisk har ført til denne tilstand, og hvordan mennesker vil kunne leve med den.

Indenfor billedkunstens verden finder man lignende tematikker, men fremstillet på andre måder, ikke mindst visuelt og fysisk-konkret. Et eksempel er *Berl-Berl*, et fortløbende værk af Jakob Kudsk Steensens. *Berl-Berl* gør opmærksom på menneskets fysiske og kulturelle sammenfiltring med natur, heriblandt sumpe og deres ekstreme biodiversitet. Tilgangen er ikke dystopisk, snarere sansende, nøgternt undersøgende, nysgerrigt. Værket prøver på en måde at bidrage til opbygningen af nye øko-socio-kulturelle fællesskaber.

Også CUHRE-projekter undersøger på æstetisk og undersøgende vis menneskets forhold til og sammenfiltring med natur, blandt andet i projektet *Playing with disaster* (se faktaboks).

Pointen på tværs af disse eksempler er, at forskellige æstetiske genrer giver indlysende muligheder for at sanse, leve sig ind i og tænke over og med en klimaforandret verden med (meget mere) nedbør. Det er måske i virkeligheden meget bedre end at blive præsenteret for nøgne fakta? Set i et didaktisk og mere bredt uddannelsesmæssigt perspektiv er det oplagt at arbejde med denne type æstetik i klassisk humanistiske fag som dansk, fremmedsprog, billedkunst. Der er også mange potentialer i at koble eksemplerne med mere samfundsorienterede cases, hvilket vores næste eksempel handler om. Vi skal en tur til Mellemeuropa.

Socio-økologisk analyse

I sommeren 2021 kunne man i nyhederne læse om de rekordhøje mængder af regn, der medførte en katastrofal oversvømmelse i områder af Tyskland, Holland og Belgien. Byer i de tre velstående lande, som er vant til at håndtere store mængder regn, blev skyllet væk – bogstaveligt og billedligt. Advarselssystemer slog fejl, dæmninger bukkede under, og hele huse blev, sammen med beboerne, båret væk af de voldsomme mængder regnvand. Det resulterede i store tab af liv og bliver anset som den største oversvømmelseskatastrofe i Nordeuropa hidtil. Og mens vi skriver dette, sker noget af det samme i juni 2024, hvor det har ramt Tyskland, Schweiz og Norditalien.

Udover at være en stærk påmindelse om, at privilegerede vestlige lande ikke bliver skånet for de negative konsekvenser af klimaforandringer, illustrerer hændelsen også den gensidige afhængighed, der findes mellem mennesker og de økosystemer, som vi er en del af.

Der er naturligvis årsager til, at det gik så galt – hvilket en kultur- og naturgeografisk tilgang kan fremanalysere. En af dem handler om historisk uhensigtsmæssig arealanvendelse. Store vådområder, græsenge og skove, der fungerer som naturlige afløb for regnvand, er blevet omlagt til landbrug og inddraget i voksende byområder. Disse ændringer har resulteret i jordens nedsatte kapacitet til at absorbere tunge regnskyl og medvirket til en øget risiko for oversvømmelse.

Dette er et eksempel på, hvordan mennesker påvirker og former landskaber uden at tænke på de langsigtede konsekvenser. På kortere sigt har ændringerne haft store negative konsekvenser for andre former for liv, såsom fugle og insekter, hvis levesteder er tæt knyttet til de omlagte eller inddragede landområder.

Katastrofens følgevirkninger viser også, hvordan forskellige former for liv rammes og føder ind i hinanden på mere end ét niveau.

For det første medførte oversvømmelserne store udslip af forurenende stoffer i miljøet. Disse kom fra historiske og nutidige industrier forbundet med mine-, olie- og kemikalieproduktion samt fra overløb af kloakker og udslip af næringsstoffer i landbruget. Forureningen herfra vil i mange år frem påvirke dyre-, plante- og menneskeliv på land og i vand. På den måde repræsenterer udslippene en stor sundhedsmæssig risiko for alt levende, omend den er mindre synlig end de ødelagte bygninger og materiel, som medierne overvejende har fremhævet.

For det andet peger det på social ulighed. I mange af de påvirkede byer var det nemlig mennesker i socialt og økonomisk sårbare situationer, der boede i de huse, der var mest udsat for oversvømmelserne. Forsinket behandling af deres forsikringssager og lange ventetider på udbetalinger efter hændelsen forhindrede disse mennesker i at vende hjem og tvang nogle til at flytte tilbage i ødelagte og fugtramte boliger, hvilket medførte alvorlige konsekvenser for fleres helbred. Derudover var det også mennesker som disse, der varetog det praktiske arbejde i forbindelse med oprydning og genoprettelse af ødelagte fabrikker og industrier, hvortil der kan tillægges ekstra risiko for eksponering af sundhedsskadelige stoffer.

Forholdene peger på, at mennesker har forskellige forudsætninger for at modstå disse hændelser og tilpasse sig klimaforandringer. I et globalt perspektiv er dette kun endnu tydeligere, hvis man sammenligner det globale nord med det globale syd. På et mere grundlæggende plan viser det os, at mennesket som art er dybt afhængig af andre former for liv og dettes velbefindende. I relation til økodannelse – som er er nøglebegreb vi arbejder med i CUHRE – er det derfor centralt,

Opstartsmøde for projektet "Regenerative Jordbrugsmetoder og Økodannelse i Danske Haver" afholdt i SDU's Klimahave, maj 2024. Foto: Dikte Reeh Andersen

Hvad er CUHRE?

Centre for Understanding Human Relationships with the Environment (CUHRE) er et nystartet forskningscenter ved Syddansk Universitets Climate Cluster (SCC). Det er et tværfagligt center, der kombinerer miljøhumanistiske og samfundsfaglige perspektiver på de mangeartede, menneskeskabte problematikker, der relaterer sig til global opvarmning.

CUHRE består af en række projekter, som både fungerer selvstændigt og er i dialog med hinanden. Her er fire udvalgte eksempler:

Regenerative jordbrugsmetoder og økodannelse i danske haver

Handler om regenerativt havebrug og de metoder, der findes for at arbejde med jorden på en skånsom måde. Gennem et feltstudie, undersøges potentialer og barrierer for økodannelse. Et centralt spørgsmål er, hvordan ens forståelse af de indbyrdes relationer i et økosystem udvikles, når man har fingrene i jorden og lærer om regenerative jordbrugsmetoder.

Livsvenligt samspil mellem land og hav

Arbejder ud fra præmissen om, at verden bliver mere blå og våd, og er interesseret i at lære om den praktiske viden, der findes i kystnær litteratur. Et centralt spørgsmål er, hvad vi fra litteraturen kan lære om fortidige og fremtidige kystpraksisser, der enten virker eller ikke virker i menneskers møder med havets lunefuldhed.

Rollespil som en vej til mere håb, handlekraft og forestillingsevne

Udforsker brugen af cli-fi rollespil som en måde, hvorpå unge sammen kan udforske alternative fremtider samt undersøge temaer som håb, ansvar og sameksistens. Børn og unge i skole og fritid får mulighed for at lege med, spille, og digte videre på en mulig katastrofe, der foregår i forskellige tidsaldre.

Grøn medieproduktionsudvikling

Undersøger hvad medieproduktionsbranchen i Danmark, altså dem der skaber vores film og serier, oplever af forhindringer og motivationer i relation til at bidrage mere til den grønne omstilling, end branchen gør i dag. Både produktionsprocesser og selve indholdet, fortællingerne, kan gøres grønnere. Forskerholdet hjælper branchen med at undersøge hvordan.

Læs videre
Læs mere på CUHRE's hjemmeside: www.sdu.dk/cuhre

Om Berl-Berl: www.jakobsteensen.com/berlberl

www.berlberl.world/making-of

Artikel på TV2: Vandstandene stiger: Sådan kan fremtidens bybænke komme til at se ud.

at vi ændrer det dominerende menneskelige forhold til naturen: som noget, vi hersker over, og kan gøre med, som vi vil. Vi skal i gang med at forestille os og udarbejde et livsvenligt samfund, hvor vi ikke blot påvirker mindre, men begynder kvalitativt at leve på nye måder sammen med alt det øvrige liv.

Tværfaglige dialoger om et "vildt problem"

Der er bred enighed om, at klima- og biodiversitetskrisen er et komplekst problem. Nogle vil endda kalde det et *wicked*, eller på dansk vildt problem, som nødvendiggør flerfaglige tilgange og undersøgelser for, at vi kan forstå og handle konstruktivt på det. Det kalder på enkelt- og tværfaglig viden, undervisning, didaktik!

Til det formål er regn, som vi har vist, en eksemplarisk case. Casen rummer alle de vilde problemer, deres komplekse sammenhænge og svære spørgsmål, om hvordan vi kommer videre til det bedre – gode – liv. Pædagogisk og didaktisk åbner regn således op for specifikke æstetiske undersøgelser af medier, litteratur og billedkunst som en indgang til at forstå og leve sig ind i verdens økologiske krisetilstand set fra menneskelige og ikke-menneskelige perspektiver. Regn rummer potentialer til historisk analyse af natur- og menneskabte katastrofer – for eksempel med fokus på, hvordan vores civilisation gennem tiden har oplevet og forholdt sig til dem. Regn åbner op for natur- og kulturgeografiske analyser af, hvordan den aktuelle bio- og klimakrise er formet af sociale og kulturelle fællesskaber på tværs af tid og rum. Samt naturligvis naturfaglige analyser og viden, der giver indblik i, hvilke livsbetingelser, der kan og vil opstå under nye klimaforhold.

Casen åbner op for tværfaglige undersøgelser af de komplekse sammenhænge og dynamikker mellem det menneskelige og det andet/mere-end-menneskelige. Og den åbner op for mere filosofiske analyser og undervisning, der blandt andet må handle om etikkens grundspørgsmål: Hvad er det gode liv?

Vi indledte med at pege på, at der er en stærk tendens til at tilgå klima- og biodiversitetskrisen gennem et teknologisk fix. Teknologi kan være en del af løsningen, og humanistiske og samfundsvidenskabelige indsigter vil kunne kvalificere teknologiske opfindelser og deres bidrag til bedre øko-socio-kulturelle fælleskaber. Men fra et humanistisk perspektiv kan og bør vi også stille kritiske spørgsmål til livsværdierne af de mange logikker og antagelser, som ligger til grund for måske de fleste aktuelle teknologier og teknologiudviklinger, og som ikke nødvendigvis har det gode liv som rationale.

Vi opfatter det som utilstrækkeligt og udsigtsløst kun at forestille sig, at menneskeheden skal ændre adfærd, så den vil påvirke jorden kvantitativt mindre, alt imens forbrug og negativ påvirkning bare stiger og stiger. Tværtimod skal vi i gang med at forestille os og udarbejde et livsvenligt samfund, hvor vi ikke blot påvirker mindre, men begynder kvalitativt at leve på nye måder sammen med alt det øvrige liv. ■

Ny bachelor på SDU

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 efterspurgte 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

SDU

BEVIDSTHEDS-BOMBEN

En af de nyeste teorier om bevidstheden – Integreret Informationsteori – er under anklage for at være pseudovidenskab. Bevidsthedsforsker Søren Overgaard forklarer her, hvad striden går ud på, og hvorfor det er nødvendigt at "tænke ud af boksen", hvis man vil forklare fænomenet bevidsthed.

Den 15. september 2023 detonerede en bombe i bevidsthedsforskningen. Mere end 100 bevidsthedsforskere – inklusive prominente navne som Bernard Baars, Daniel Dennett og Chris Frith – offentliggjorde et brev på databasen PsyArXiv, hvori de stemplede en meget omtalt teori om bevidsthed som *pseudovidenskab*. Anklagen var rettet imod "Integreret Informationsteori" (IIT), en teori udviklet af den italienske hjerneforsker Giulio Tononi. Men hvad går IIT ud på, og hvorfor blev teorien anklaget for at være pseudovidenskabelig? For at forstå det, må vi først vide, hvad bevidsthed er, og hvad en teori om bevidstheden skal kunne forklare.

Svært at forklare bevidsthed

"Bevidsthed" er et almindeligt dansk ord, ikke en veldefineret fagterm. Vi kan forbinde ordet med flere forskellige ting. De fleste filosoffer og hjerneforskere, der beskæftiger sig med emnet, forstår bevidsthed som *oplevelse*. Denne definition går tilbage til en indflydelsesrig artikel fra 1974 af den amerikanske filosof Thomas Nagel. I artiklen, der havde titlen "What Is It like to Be a Bat?", argumenterede Nagel for, at når vi siger, at for eksempel et menneske eller en flagermus er bevidst, så siger vi, at det "er" på en bestemt måde (dvs. opleves eller føles på en bestemt måde) at være det menneske eller den flagermus. Hvis flagermusen er bevidst, så må det for eksempel være på en bestemt måde for den – det må føles eller opleves på en bestemt måde – at ekkolokalisere et bytte i nattemørket. Ligeledes hvis en støvsugerrobot er bevidst: Så må det være på en bestemt måde for den (kedsommeligt, måske?) at trille rundt i de samme hjørner uge efter uge.

Hvad skal en filosofisk eller videnskabelig teori om bevidsthed levere? Groft sagt skal den kunne forklare, hvordan bevidsthed kan være en del af den verden, naturvidenskaben beskriver. Mere præcist vil vi gerne vide, hvordan det kan være, at bevidsthed opstår i den elektriske og kemiske aktivitet i (for eksempel) en menneskehjerne. Og det er ikke så ligetil at forklare. Faktisk er de fleste filosofiske og videnskabelige teorier ganske langt fra at komme i mål, som jeg kort vil illustrere, før jeg vender mig mod to mere ambitiøse bud på en teori om bevidstheden, herunder føromtalte IIT.

Fra processer i hjernen til subjektive oplevelser

Siden 1990'erne er teorier om bevidstheden blevet lanceret af en perlerække af prominente forskere, inklusive nobelpristagere som Francis Crick, Gerald Edelman og Roger Penrose. En stor del af bestræbelserne har handlet om at identificere bevidsthedens såkaldte "neurale korrelater" – dvs. de processer i hjernen, der er ansvarlige for bevidsthed. Kortlægningen af bevidsthedens neurale korrelater er et ekstremt vigtigt projekt. Samtidig er der dog principielle grunde til at mene, at projektet ikke i sig selv vil kunne give os den forklaring, vi leder efter. Denne pointe kan vi illustrere ved hjælp af Cricks oprindelige bud på, hvad bevidsthedens neurale korrelater kunne være. Crick og hans medforfatter Christof Kochs hypotese var, at bevidsthed – nærmere bestemt synsoplevelser – opstod, når nerveceller i relevante dele af hjernen udsendte impulser synkront, rytmisk og med en frekvens mellem 40 og 70 Hz.

Senere forskning tyder på, at Crick og Koch højst havde fat i en del af sandheden, men lad os forestille os, at deres hypotese var helt korrekt. Ville vi da have fået bevidstheden forklaret? Nej, fordi vi ville ikke rigtig blive klogere på, *hvordan det kan være*, at subjektive fænomener som oplevelser opstår under netop de omstændigheder i hjernen. Crick og Koch fortæller os, *at* bevidsthed opstår, når neuronernes impulser

Om forfatteren

Søren Overgaard er lektor ved Institut for Kommunikation, Københavns Universitet. Han forsker i bevidsthedsfilosofi og fænomenologi og har udgivet flere bøger om disse emner, herunder bogen *En verden af indtryk*, der udkom i 2023.
s.overgaard@hum.ku.dk

Meget bevidstheds-forskning handler om at identificere de processer i hjernen, der er ansvarlig for bevidsthed. Dette kaldes bevidstheden "neurale korrelater". Foto: Shutterstock

har den og den frekvens, men de forklarer ikke, *hvorfor* netop de frekvenser fører noget subjektivt ind i verden. Hvad er sammenhængen mellem *frekvens* og *oplevelse*?

Brug for at tænke ud af boksen

De klassiske filosofiske teorier om bevidsthed svarer interessant nok heller ikke på vores spørgsmål. Lad os for nemheds skyld fokusere på de to modpoler dualisme og materialisme. Dualisten siger groft sagt, at der er en *kausal* sammenhæng mellem bestemte aktiviteter i hjernen og bevidsthed. Førstnævnte forårsager sidstnævnte, men er ikke *identiske* med den. Hjerneaktiviteten er én ting, oplevelsen en anden ting.

Materialisten hævder derimod netop, at de relevante aktiviteter i hjernen *er* oplevelser, *er* bevidsthed. Der er ikke (som dualisten hævder) et kausalt forhold mellem bevidsthed og hjerneaktivitet, for der er slet ikke to ting her, som kunne være kausalt forbundne, men kun én ting. Oplevelsens såkaldte "neurale korrelat" er oplevelsen selv.

Forklarer dualisten eller materialisten bevidstheden? Nej. Den ene teori siger, at bestemte aktiviteter i hjernen forårsager bevidsthed, den anden teori siger, at de nævnte aktiviteter *er* bevidsthed. Men materialisten og dualisten gør os ikke klogere på, *hvordan* det kan være, at der er de postulerede forhold mellem oplevelser og den relevante elektriske og kemiske aktivitet i hjernen.

Når standardteorierne – selv hvis de skulle vise sig at være helt og holdent sande – ikke kan bringe os i mål, så er der brug for at tænke ud af boksen. Det har mange filosoffer og videnskabsfolk da også gjort, og jeg gennemgår i bogen *En verden af indtryk* (2023) en stribe spændende forslag, herunder teorier der inddrager kvantefysik i bestræbelsen på at forstå bevidstheden. I denne korte artikel vil jeg kort gennemgå to teorier, der på meget forskellige måder ser ud til at kunne bringe os om ikke i mål, så tæt på målstregen. Der er bare en lille hage ved dem: De vender hver især op og ned på verden, som vi normalt forstår den!

Er subjektive oplevelser en illusion?

Den første teori går under det meget passende navn *illusionisme*. For at forstå teorien kan det være en god idé at reflektere kort over, hvorfor standardteorierne – de filosofiske såvel som teorierne om bevidstedens neurale korrelater – kommer til kort. Hver af dem postulerer en sammenhæng mellem oplevelser og processer i hjernen. Men hvad vi mangler er en forståelse af, *hvorfor* der er den sammenhæng. Illusionismens grundidé er, at vi slet ikke mangler en forklaring her – i hvert fald ikke den forklaring, vi tror, vi mangler.

Her er en analogi. Forestil dig en godtroende tilskuer, der falder for det velkendte tryllenummer med den oversavede dame. Tryllekunstneren får det til at se ud, som om han har savet en dame over i to, som senere kommer til syne igen – helt uskadt! Hvordan er det muligt, spørger tilskueren, at hun kan være savet over det ene øjeblik, og så god som ny igen det næste? Det er ikke tilstrækkeligt at sige, at hun er blevet sat lynhurtigt sammen igen, vil tilskueren føle, for problemet er netop at forstå, *hvordan* sådan noget kan lade sig gøre. Men det hele er selvfølgelig en illusion: Damen er på intet tidspunkt savet over, så der er slet ingen udfordring i forhold til at forstå, hvordan hun kan gøres hel igen. På samme måde med bevidsthed: Der er intet problem om at forklare, hvordan det kan være, at vi har subjektive oplevelser, når der sker bestemte ting i vores hjerner, for vi *har* ikke sådanne oplevelser. Det *forekommer* os kun,

at vi har oplevelser, ligesom det forekommer den naive tilskuer, at damen saves over.

Illusionismen forsvares af en række filosoffer og psykologer – inklusive førnævnte Daniel Dennett og den britiske psykolog Susan Blackmore. Og meget kan man sige om teorien, men den efterlader os ikke med en manglende forklaring på bevidstheden. Tværtimod: Bevidstheden er helt og holdent *bort*forklaret. Men der er lige det problem, at hvis Blackmore og ligesindede har ret, så har ingen nogensinde nydt en god film eller været plaget af en slem hovedpine. For det ville forudsætte, at der var *oplevelser* af henholdsvis behagelig og ubehagelig karakter – hvilket Blackmore håndfast benægter.

Ifølge bevidsthedsforsker Giulio Tononis Integreret Informationsteori bunder bevidstheden i intens aktivitet på kryds og tværs i storhjernen, og integrationen af information handler rent teknisk om, hvor mange alternativer, der udelukkes. En konsekvens af Tononis teori er, at man principielt også vil kunne tilskrive en grad af bevidsthed til rent elektroniske systemer.
Foto: Shutterstock

Integreret Informationsteori

Hvis man tænker – hvilket jeg gør – at illusionismen benægter det helt indlysende (at vi har oplevelser) og derfor må forkastes, så må vi se os om efter en ny teori. Her melder Tononis Integreret Informationsteori sig som en interessant kandidat. Tononis grundidé er, at bevidsthed er *integreret information*. "Information" er her et teknisk begreb, der betyder *reduktion af usikkerhed*. Reduktion af usikkerhed handler om, hvor mange alternativer der udelukkes. Jo flere alternativer, der udelukkes, jo større reduktion af usikkerhed, og jo mere information. Sammenlign et terningekast med det at slå plat og krone. I sidstnævnte tilfælde er der kun to alternativer, mens der for terningens vedkommende er seks. Derfor er reduktionen af usikkerhed (og dermed informationsmængden) større for terningekastet. Hvis man slår en treer, betyder det ikke-etter, ikke-toer, ikke-firer, ikke-femmer og ikke-sekser. Møntens landen på krone betyder kun ikke-plat.

Forestil dig nu den måske simpleste visuelle oplevelse, man kan tænke sig: oplevelsen af totalt mørke. Tononis teori siger, at den oplevelse – hvis ellers vi antager, at man har normalt syn – vil være udelukkelsen af et nærmest uendeligt antal alternativer: Ikke-solnedgang, ikke-mit-barns-ansigt, ikke-skovsø, ikke-Kong-Frederik-på-balkonen og ufatteligt meget mere. Alle disse alternativer, da de er med til at bestemme mængden af information, der registreres, er med til at forme oplevelsen. Vi oplever kun mørke, fordi vi kunne have registreret så mange andre ting. Hvis vi forestiller os, at alle disse alternativer ikke var mulige alternativer, så ville der ikke være nogen oplevelse. Og hvis der var færre alternativer, ville oplevelsen være mere primitiv eller rudimentær.

Skingre anklager kan skade bevidsthedsforskningen

På baggrund af denne noget forsimplede udlægning af Tononis teori (som jeg behandler mere udførligt i den tidligere omtalte bog), kan vi spørge, om IIT ville kunne bringe os nærmere målet om at få bevidstheden forklaret. Lad os først antage, at Tononi og andre hjerneforskere har ret, når de hævder, at bevidsthedens neurale korrelat groft sagt skal findes i intens aktivitet på kryds og tværs i storhjernen. Antag desuden, at Tononi har ret i, at oplevelse er integreret information.

Så ser det faktisk ud, som om Tononi har et bud på, hvordan det kan være, at vi oplever, når der er intens aktivitet på kryds og tværs i storhjernen: Vi oplever, fordi den aktivitet på kryds og tværs ikke er andet end integreringen af enorme mængder information.

Men tilbage til bevidsthedsbomben. Hvad skyldtes de mange forskeres store utilfredshed med IIT? For det første klagede de over, at teorien ofte bliver fremstillet som bedre empirisk underbygget, end den er. For det andet påpegede klagerne, at Tononis teori er forpligtet på at tilskrive en grad bevidsthed til elektroniske systemer, hvis ellers de kan integrere store mængder information. Og det, hævdede klagerne, er ekstremt uplausibelt. Det kan der være noget om. I hvert fald har brevskriverne ret i, at der ifølge teorien vil være bevidsthed mange steder, hvor vi ikke normalt vil forvente at finde bevidsthed, om end ofte i meget simple former.

Men som selv kritikere af Tononis teori har været hurtige til at påpege, så risikerer skingre anklager om pseudovidenskab at give forskere og fonde berøringsangst i forhold til bevidsthedsforskningen som helhed og dermed bringe os længere væk fra målet om at forklare bevidstheden. Hvem tør at stå frem med de radikale ideer, der skal til for at bringe feltet videre, hvis det er den modtagelse, man får? ■

Videre læsning:
Blackmore, S.: Consciousness: A Very Short Introduction. Oxford: Oxford University Press, 2005.

Crick, F. & Koch, C.: "Towards a Neurobiological Theory of Consciousness". Seminars in the Neurosciences 2 (1990): 263-275.

Fleming, S. M. et al (2023): The Integrated Information Theory of Consciousness as Pseudoscience. osf.io/preprints/psyarxiv/zsr78

Nagel, T. (1974): What Is It Like to Be a Bat? The Philosophical Review 83: 435-450.

Tononi, G.: Phi: A Voyage from the Brain to the Soul. New York: Pantheon Books, 2012.

Overgaard, S. (2023): En verden af Indtryk: Om blæksprutter, basilikum og bevidstheden gåde. København: Gads Forlag.

FAKTA

Kaj Sand-Jensen og Jens Christian Schou: Fra bakterier til blomsterflor – Plantelivets opståen og udvikling fra urtid til nutid. Gads forlag 2024. 280 sider, 269,95 kr.

Fra bakterier til blomsterflor

I en ny rigt illustrerede bog fortæller Kaj Sand-Jensen og Jens Christian Schou, hvad en plante egentlig er, hvorfor plantelivet i al dets mangfoldighed er en forudsætning for alt andet liv på Jorden, og hvorfor vi skal værne om de truede arter og den sårbare natur.

FAKTA

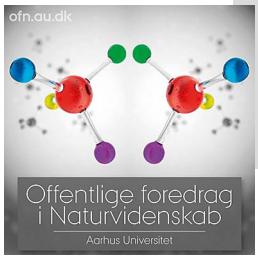
Tine Rask Licht: Mavefornemmelser og mikrobiologi. Aarhus Universitetsforlag 2024, 96 sider, 149,95 kr. (e-bog 99,95 kr).

Mavefornemmelser og mikrobiologi

Den nyeste bog i serien *ScienceFaction* fra Aarhus Universitetsforlag handler om tarmens mikroorganismer. Mikroorganismer koloniserer vores tarm helt fra barndommen. De påvirker os, og vi påvirker dem. Mavens mikrobiologi er mangfoldig, og det kan være svært at skelne mellem sikker viden og mavefornemmelser. Jo mere forskerne undersøger tarmens bakterier, jo flere sammenhænge finder de. Nye teknologier som big data og DNA-analyser går hånd i hånd med gammeldags laboratoriearbejde, når vi skal afdække tarmbakteriernes betydning for vores sundhed.

FAKTA

Offentlige Foredrag i Naturvidenskab, Se ofn.au.dk



Offentlige Foredrag i Naturvidenskab

Efterårssæsonen 2024 i Offentlige Foredrag i Naturvidenskab byder på følgende foredrag:

24/9: Foredrag om spejlbillede-molekyler ved professor Karl Anker Jørgensen.

1/10: Foredrag om Jordens 4,6 milliarder år lange klimahistorie ved professor David Lundbek Egholm.

22/10: Foredrag om teleskoper, og hvad astronomerne bruger dem til ved professor Hans Kjeldsen og museumsinspektør Hans Buhl.

5/11: Foredrag om statistik gennem historien og om statistikken i den nyeste forskning om "Tipping points" ved professor Susanne Ditlevsen.

12/11: Foredrag om, hvordan vi får sommerfuglene og de andre truede og udryddede insekter og dyr tilbage ved at skabe bedre natur i Danmark ved lektor Hans Henrik Bruun, professor Rasmus Ejrnæs og naturrådgiver Anne Eskildsen.

19/11: Foredrag om videnskaben bag øl ved leder af Carlsbergs forskningslaboratorium Birgitte Skadhauge og chefbrygger Erik Lund.

Se mere på ofn.au.dk

FAKTA

Bodil Pedersen: Landbruget set fra bilruden. Forlaget Frytle 2024. 256 sider, 399,-kr.

Landbruget set fra bilruden

Når vi kører rundt i det danske landskab, ser vi marker, gårde, siloer, maskiner og dyr på markerne. Men hvad er det præcist, vi ser, og hvad er det, der sker? Det fortæller agronom og journalist Bodil Pedersen om i denne bog, der er tænkt som en guide til landbrugslandet. Få svar på spørgsmål som:
Hvilke afgrøder ser du? Hvad laver maskinerne på marken? Kan du se forskel på økologiske og konventionelle marker? Hvordan bærer landmanden sig ad med at køre snorlige?

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. De fleste quizzer indeholder 6-7 spørgsmål. I en undervisningssammenhæng kan eleverne for eksempel bruge quizzerne til en hurtig test af, om de har fanget artiklens hovedbudskaber.

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 intropakke 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

NORDISK MILJØMÆRKNING
Svanemærket tryksag 5041-0601

Redaktionsgruppe

- **Astrid C. Johansen**, Roskilde Universitet
- **Birgitte Svennevig**, Det Naturvidenskabelige Fakultet, Syddansk Universitet
- **Carsten Rabæk Kjær**, 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 kortlægning af DNA-sekvenser.
Grafik: Colourbox.

POST
PP DANMARK
SORTERET MAGASINPOST
ID-nr. 46144
AI henvendelse til:
Aktuel Naturvidenskab,
Ny Munkegade 120, 8000 Aarhus C
E: abo@aktuelnaturvidenskab.dk
T: 87152094

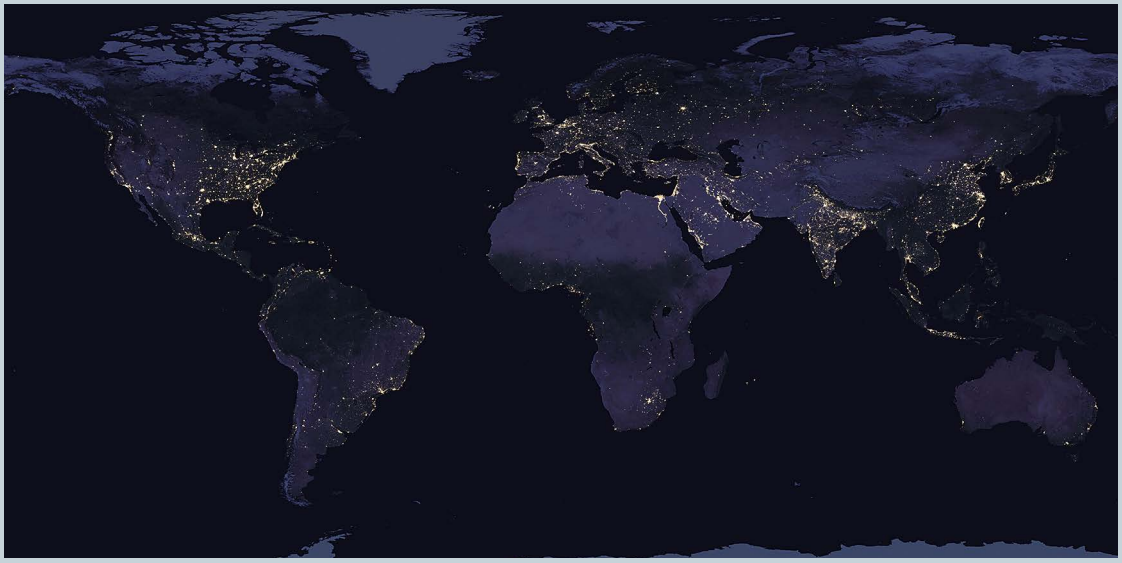


Foto: NASA Earth Observatory

Energifattigdom set fra rummet

Af Carsten R. Kjaer, Aktuel Naturvidenskab

Adgang til elektricitet er om noget en forudsætning for et moderne samfund. Derfor er en vigtig måleparameter i forhold til at vurdere verdens tilstand, hvor mange mennesker der må leve et elektricitetsløst liv. Man kan dog ikke lige trække en oversigt over tilslutningsaftaler for alverdens elforbrugere i en global database, så estimater af det samlede antal mennesker i verden uden adgang til elektricitet er i sagens natur behæftet med en del usikkerhed. Men ifølge hidtidige estimater drejer det sig om cirka 733 millioner mennesker.

I den slags vurderinger kan billeder som det viste – som er sammensat af en hel masse enkelte nat-billeder fra NASA's Earth Observatory – komme forskerne til hjælp. Billedet er et godt eksempel på den gamle sandhed, at et billede fortæller mere end tusinde ord. På et splitsekund formidler billedet, hvor menneskene har klumpet sig sammen på jordkloden. Men den type billeder gemmer potentielt også på information om, hvor mange mennesker, der har adgang til elektricitet. For det er jo forbrug af elektricitet, der får de beboede områder til at lyse lystigt op, mens de elektricitetsløse områder henligger i mørke – også selvom der bor mennesker.

Nu har Brian Min fra University of Michigan i Ann Arbor og kolleger i et studium publiceret i tidsskriftet *Joule* brugt højopløste satellitbilleder til at vurdere udbredelsen af "energifattigdom". Billederne er optaget mellem 2013 og 2020 og dækker samlet alle beboede områder i udviklingslandene. Forskerne sammenlignede hvert områdes lysoutput med den lysmængde, man ville forvente at observere, hvis området havde været uden elektricitet. Denne "ingen-elektricitets-værdi" var baseret på observationer de samme nætter af lys fra nærliggende ubeboede områder af samme landskabstype. Hvis et beboet område på billederne var lysere end det sammenlignelige ubeboede område, blev det tolket som, at der blev brugt elektricitet.

Forskerne vurderer ud fra deres analyse, at der er mindst 1,18 milliarder mennesker i verden, der ikke giver noget statistisk signal om elektricitetsforbrug, der kan ses fra rummet. Og det er jo nærliggende at tolke det som, at de slet ikke har adgang til elektricitet. Faktisk er dette antal hele 60 % flere, end hidtidige estimater siger. Og det er jo ikke så godt!

I en nærmere analyse af Afrika syd for Sahara fandt forskerne, at det meste af variationen i "energifattigdom" kan forklares ved befolkningstæthed, afstand til andre befolkede områder samt landskabets karakter indenfor det enkelte land. Men der ses også mange "elektricitetsløse" landsbyer og byområder, der ligger tæt ved områder, hvor der faktisk er etableret et elnet. Det tyder på, at energifattigdommen godt kan reduceres uden store nye investeringer i energiinfrastruktur. ■