

NATURVIDENSKAB OG TEKNOLOGI
DIREKTE FRA FORSKNINGSVERDENEN

AKTUEL *natur*VIDENSKAB

GØDNING FRA LANDBRUG GØR SÆRLIGT ONDT PÅ DANSK HAVMILJØ

Nanobudbringere til hjernen:
Et nyt våben mod sclerose

Den følsomme hjerne:
Betændelse i kroppen kan give depression

Hvor lang er en meter?

NR.4 - 2025 SEPTEMBER 50 KR.

Protein beskytter hud under pres

Overgangen fra et liv i havet til et liv på landjorden skabte et evolutionært behov for specialiseret hud på firbenede dyrs poter, som kan klare det mekaniske tryk og sikre godt "vejgreb". Et gen kaldet Slurp1 har tilsyneladende spillet en central rolle i den historie. Mutationer i blandt andet dette gen kan hos mennesker medføre fortykket hud i håndflader og fodsåler, som kan være smertefuld og hæmme gang (en tilstand kaldet palmoplantar keratodermi). Et kinesisk forskerhold har studeret genetisk modificerede mus, der manglede Slurp1-genet, for at afklare, hvordan dette gen er med til at opretholde en sund hud. Det viste sig, at de Slurp1-løse mus endte med at få ekstratyk hud på deres poter – men kun, når huden blev fysisk presset sammen af musenes vægt. Da forskerne ophængte et af musenes ben ved hjælp af en mini-krykke, vendte huden på denne pote gradvis tilbage til normal tykkelse. Det tyder på, at SLURP1-proteinet forhindrer overdreven fortykkelse af væv under tryk. Andre eksperimenter viste, at Slurp1 beskytter hudceller mod stress og opretholder deres funktion efter hånden som væv slides væk over tid.



Foto: Colourbox

Kilde: Nature og Cell, doi.org/10.1016/j.cell.2025.07.012

Edderkoppesilke skal erstatte Lycra

I projektet EkoSilk vil forskere fra Syddansk Universitet med end bevilling fra Novo Nordisk Fonden i ryggen udvikle en 3D-printet Lab-on-a-Chip, som kan efterligne edderkoppens silkespindingsproces i mikroskopisk skala. Inde i chippen bliver flydende silkebyggekodser presset, snoet og behandlet på præcis samme måde som i edderkoppens spindelvæv – indtil de forlader maskinen som ultratynde, stærke tråde. Formålet er, at bruge edderkoppesilken i stedet for det strækbare oliebaseerede materiale elastan (også kaldet Spandex eller Lycra), der blandt andet anvendes til sportstøj. Edderkoppesilke har den åbenlyse fordel, at det er stærkere end stål, mere elastisk end elastan og fuldstændig biologisk nedbrydeligt.

Kilde: SDU

Forskere opnår rekordhøst af tang

Forskere fra blandt andet Aarhus Universitet og DTU har høstet op til 13,2 kg sukkertang per kvadratmeter net i Limfjorden. Det er et af de højeste høstudbytter fra en enkelt sæson i dansk tangproduktion. Resultatet er opnået med en metode, hvor stormaskede net med tang hænges horisontalt i vandet – en løsning, der viser sig mere effektiv end tidligere praksis på lange liner, og som giver et højt udbytte sammenlignet med landbrugsafgrøder. Udover det høje udbytte, viser projektet også, at tangdyrkning kan have en positiv effekt på havmiljøet. Sukkertang dyrket i Limfjorden optager nemlig kvælstof og fosfor under væksten, og når den høstes, fjerner man samtidig næringsstoffer, der ellers ville bidrage til iltsvind og algevækst. Desuden fungerer tangen som et kunstigt rev, hvor småfisk og andre organismer finder ly og føde.



Foto: Teis Bøderskov

Kilde: Technical Sciences, Aarhus Universitet

Quizzen

Hvad fremstiller man industrielt ved hjælp af den såkaldte Haber-Bosch-proces?

1. Svovlsyre
2. Ammoniak
3. Plastik (polyethylen)

Læs svaret i artiklen side 12.

De fleste arter er opstået i evolutionære pulser

Det har længe været kendt, at verdens artsdiversitet ikke er jævnt fordelt på overordnede grupper af organismer. Således findes der et utal arter af biller, som udgør cirka 40 % af alle kendte insekter, 60 % af alle fuglearter er spurvefugle, mens blomsterplanter udgør 85 % af alle planter. Amerikanske forskere har nu undersøgt, om denne koncentration af arter indenfor få, meget store grupper er et universelt fænomen for livet på Jorden. Og deres konklusion er: Ja – de fleste nulevende arter hører faktisk til et begrænset antal grupper med mange arter, der har udviklet sig indenfor en relativt kort tidsperiode. Når det gælder planter og dyr fandt forskerne, at mere end 80 % af de kendte arter hører til "mindretalsgrupper" (med grupper menes her specifikt det niveau, der kaldes rækker), som har haft exceptionelt høj rate af artsdannelse. Om denne tendens også gælder for liv som bakterier, som formentlig tæller millioner af ukendte arter (udover de cirka 10.000 kendte), er dog endnu uvist.



Foto: Colourbox

Kilde: Front. Ecol. Evol./ doi: 10.3389/fevo.2025.1596591

Abonnementsservice

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

Kontakt os på telefon: 3036 0662 / 8715 2094
E-mail: abo@aktuelnaturvidenskab.dk

Abonnement kan også bestilles via hjemmesiden: aktuelnaturvidenskab.dk

Husk at melde flytning til ny adresse.

Vi modtager desværre ikke automatisk besked om din nye adresse.

Til nye abonnenter:

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

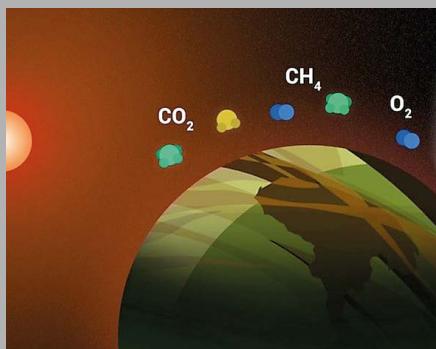
indhold



Gødning fra landbrug gør særligt ondt på dansk havmiljø

Særlige forhold i de danske farvande gør, at de danske fjorde og havområder lider meget under landbrugets udledning af kvælstof og fosfor.

12



Liv uden for Jorden er astrobiologernes mørke stof

Hvor længe kan et videnskabeligt felt som astrobiologi trives, uden at det lykkes at påvise dets egentlige studieobjekt?

8



Nanobudbringere til hjernen: Et nyt våben mod sclerose

En udfordring med sygdomme som sclerose, der har udspring i hjernen, er, at det er svært at få medicin ind i hjernen. Signalpartikler kan være løsningen.

24



Hvor lang er en meter?

Det får du svaret på i denne videnskabshistoriske artikel, som er den første artikel i en serie om de syv fundamentale enheder, der indgår i det metriske system også kaldet SI-systemet.

32

FORSKNING OG NYHEDER

- 4 KORT NYT
- 7 Klimaforandringer skubber bøg og rødgran mod nord
- 8 Liv uden for Jorden er astrobiologernes mørke stof
- 11 Paracetamol hæmmer celledeling i det befrugtede æg
- 12 Gødning fra landbrug gør særligt ondt på dansk havmiljø
- 18 Den følsomme hjernes sundhed er vigtigere end nogensinde
- 24 Nanobudbringere til hjernen: Et nyt våben mod sclerose
- 29 Kan proteiner fra alger give blinde synet igen?
- 32 Hvor lang er en meter?
- 35 Grønland – fortidens og fremtidens frontlinje
- 38 Nanna elskede den faglige udfordring på kemistudiet
- 40 BAGSIDEN: Kig op!

OM AKTUEL NATURVIDENSKAB

Ansvarshavende

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

Redaktion

Carsten Rabæk Kjaer og Jørgen Dahlgaard
Tlf.: 3036 0660 / 3036 0662 / 8715 2094
E-post: red@aktuelnaturvidenskab.dk

Redaktionsgruppe

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

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

Abonnementsservice:

Tlf.: 3036 0662 eller abo@aktuelnaturvidenskab.dk

Udgiver

Aarhus Universitet, Faculty of Natural Sciences og Faculty of Technical Sciences, i samarbejde med Det Naturvidenskabelige Fakultet, Syddansk Universitet og Roskilde Universitet

Postadresse:

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

Layout: Jørgen Dahlgaard

Tryk: Jørn Thomsen Elbo A/S

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

Opplag: 3.700

Forsidefoto:

Luftfoto af Botofte Strand, Langeland.
Foto: Colourbox, Kenneth Bagge Jørgensen



DET NATURVIDENSKABELIGE
FAKULTET



Roskilde Universitet

SPONSOR-
ABONNENT



Natsværmer navigerer efter stjernerne

Hvert forår bryder Australiens ikoniske bogong-natsværmere op fra de steder i det sydøstlige Australien, hvor de er kommet til verden og sætter kursen mod en ganske specifik destination, hvor de aldrig har været før: nogle mørke og kølige sprækker og huler i Sydaustraliens Snowy Mountains. Her tilbringer de sommermånederne, inden de om efteråret flyver tilbage for at formere sig og dø. Når foråret kommer, gentager det hele sig. Hver gang begiver cirka fire millioner bogong-natsværmere sig ud på den op til 1000 kilometer lange rejse.

I et nyt studie publiceret i *Nature*, viser et internationalt forskerhold, at bogong-natsværmerne bruger stjernebilleder og Mælkevejen til at navigere, når de tilbagelægger de mange hundrede kilometer under deres årlige migration. Ifølge forskerne har det længe været kendt, at nogle fugle og endda mennesker kan bruge stjernerne til at navigere over lange afstande. Men det er første gang, at evnen påvises i et insekt.

Forskerne er fra Lunds Universitet i Sverige, Australian National University, University of South Australia og Syddansk Universitet,



Bogong-natsværmer.
Foto: Shutterstock.

hvorfra postdoc Jingjing Xu fra Institut for Biokemi og Molekylær Biologi har deltaget. Hun forsker også i, hvordan den europæiske sangfugl, rødhalshen, finder vej mellem Danmark og Afrika ved hjælp af et magnetisk kompas.

For at finde ud af, hvordan bogong-natsværmerne klarer den lange rejse uden at fare vild, satte forskerne en række eksperimenter op. De brugte blandt andet avancerede flyvesimulatorer og hjernemålinger i kontrollerede, magnetisk neutrale omgivelser. De forskellige set-ups havde til formål at under-

søge, hvordan natsværmerne orienterer sig under forskellige himmel-scenarier.

Når de blev præsenteret for en naturlig stjernehimme uden magnetfelt, fløj de konsekvent i den rigtige retning – det vil sige sydpå om foråret og nordpå om efteråret. Når stjernerne blev vendt 180 grader, vendte natsværmerne med. Men når stjernerne blev forvrænget, forsvandt deres orienteringsevne. Det tyder på, at de ikke bare flyver mod det klareste lys eller følger et simpelt visuelt signal, men aflæser specifikke mønstre på nattehimmelen for at bestemme en geografisk retning, ligesom trækfugle gør. Når stjernerne er skjult af skyer, kan natsværmerne holde retningen alene ved hjælp af Jordens magnetfelt.

Forskerholdet undersøgte også den neurologiske baggrund for den træfsikre navigation og fandt ud af, at der i natsværmerens hjerne findes nogle specialiserede celler, der registrerer placeringen af himlens stjerner. De celler sidder i de dele af hjernen, der styrer navigation, og de aktiveres kraftigst, når natsværmerne vender mod syd.

Birgitte Svennevig, SDU

Videnskabssvindel i hastig vækst

I en ny artikel i tidsskriftet *PNAS* dokumenterer forskere fra Northwestern University i USA og University of Sydney i Australien en bekymrende tendens indenfor videnskaben, nemlig at problemet med svindel med publicering af videnskabelige artikler tilsyneladende bliver større og større. At kravet om en stor produktion af videnskabelige afhandlinger for at gøre videnskabelig karriere kan give den enkelte forsker et incitament til at snyde systemet, er der ikke noget nyt i. Men i artiklen viser forskernes analyse tegn på en mere systematisk og koordineret indsats fra grupper af personer, der har samarbejdet om at udgive artikler i flere tidsskrifter, der senere er blevet trukket tilbage. Eller som i kraft af deres egenskab af for eksempel redaktører eller bedømmere af artikler har gjort det muligt at publicere problematiske artikler i udvalgte



Foto: Colourbox.

tidsskrifter i stor skala. Artiklen beskriver nogle af de strategier disse "mæglere" benytter for at for at omgå de modtræk, som det etablerede system forsøger at gøre for at begrænse svindlen.

Forskernes analyse viser også, at ikke alle områder af et overordnet videnskabeligt felt

har været lige udsat for svindel. Således fandt forskerne en rate af tilbagetrækninger på kun 0,1 % for forskning indenfor CRISPR-Cas9, mens den for forskning indenfor såkaldt lncRNA (long-non-coding RNA) var omkring 4%. Om det skyldes, at svindlerne undgår visse fagområder – eller bare ikke lykkes så godt overfor tidsskrifterne indenfor disse områder – er uvist.

Forskerne kommer i deres analyse frem til den triste konklusion, at antallet af problematiske artikler vokser langt hurtigere end antallet af legitime videnskabelige afhandlinger. Det kan true hele den tillidsbaserede samfundskontrakt, som samfundets investering i forskning bygger på.

CRK. Kilde: *PNAS* Vol. 122, no. 32. doi.org/10.1073/pnas.2420092122

Effektivt gruppearbejde

Samarbejde – eller teamwork på nu-dansk – vil normalt blive antaget for at forbedre en gruppe individers præstation (hvad enten der er tale om dyr eller mennesker). Men i virkelighedens verden viser det sig ofte – igen både for mennesker og dyr – at deres fælles anstrengelser undermineres af et fænomen kaldet Ringelmann-effekten. Den siger, at det enkelte individs performance falder i takt med, at gruppestørrelsen vokser. Fænomenet tilskrives normalt dårlig koordinering og forskel på de enkelte individers motivation. Nu har australske forskere observeret en art, hvor det modsatte tilsyneladende gør sig gældende, nemlig vævermyrer (som har det formelle latinske navn *Oecophylla smaragdina*). Vævermyrer er kendt for deres imponerende samarbejde, hvor de bygger spektakulære reder ved at trække i blade og "væve" dem sammen ved hjælp af silkelignende tråde produceret af deres egne larver.

Madelyne Stewardson fra Macquarie University i Sydney har sammen med kolleger studeret, hvordan forskellige gruppestørrel-



Foto: Shutterstock

ser af myrer præsterer, når de bygger reder. Forskerne fandt, at den gennemsnitlige kraft hver enkelt myre bidrager med voksede til næsten det dobbelte med gruppestørrelsen op til 15 individer i forhold til, hvad en enkelt myre præsterer alene.

Forskerne mener, at myrernes supereffektivitet faciliteres af en arbejdsfordeling indenfor grupperne. Således arbejder en gruppe sammen

om at trække i bladet, mens en anden gruppe danner passive kæder, der skaber friktion mellem myrerne og bladet. Samlet virker teamet af myrer således som den type værktøj, man kalder en kraftnøgle. Ifølge forskerne kan vævermyrernes samarbejde give inspiration til udvikling af algoritmer til brug for supereffektive teams af for eksempel robotsværme.

CRK, Kilder: Nature / Current Biology, doi.org/10.1016/j.cub.2025.07.038

Lithium og Alzheimers sygdom

Lithium spiller ikke bare en vigtig rolle i produktionen af batterier – det har muligvis også en finger med i spillet i den tidlige udvikling af Alzheimers sygdom, viser ny forskning publiceret i tidsskriftet Nature.

Forskere fra Harvard Medical School i Boston har studeret, hvordan reguleringen af lithium i hjernen på mus medvirker til at bevare kognitive funktioner under aldringen. Af alle de metaller, som forskerne undersøgte, var lithium det eneste, der var signifikant reduceret i hjernen hos individer med mild kognitiv svækkelse, som er en forløber for Alzheimers. I individer med Alzheimers sygdom var lithium-niveauet endnu lavere, fordi det blev bundet i de ophobninger af proteinet beta-amyloid, der blandt andet er karakterisk for sygdommen.

Forskerne undersøgte lithiums rolle i hjernen ved at fjerne det fra kosten, som blev givet



Illustration: Colourbox

til henholdsvis normale mus og mus, der er udviklet til at være modeller for Alzheimers sygdom. Forsøgene viste, at en reduktion af lithium i hjernebarken med cirka 50% markant øgede ophobningen af skadelige proteiner og medførte betændelsestilstande, tab af forbindelser mellem hjerneceller og hurtigere hukommelsestab. Disse effekter var til dels formidlet gennem aktiveringen af et særligt enzym kaldet GSK3 β , som er en såkaldt kinase (kinaser katalyserer overførslen af en bestemt kemisk gruppe (fosforyl-

gruppe) fra det energibærende molekyle ATP til et substrat). Forskerne undersøgte også genudtrykket fra enkelte hjerneceller, som viste, at lithium-mangel giver sig udslag i ændringer i, hvilke gener der udtrykkes i flere typer af hjerneceller – ændringer, der overlapper med, hvad man også ser ved Alzheimers sygdom.

Da forskerne gav musene et præparat af et særligt lithium-salt, som ikke binder sig til de skadelige proteiner, blev disse negative effekter forhindret – både hos mus med Alzheimers og hos ældre, raske mus. Resultatene tyder altså på, at kroppens lithium er vigtig for hjernens sundhed, og at ubalance i lithium kan være en tidlig årsag til Alzheimers. Derfor kan behandling med særlige lithium-former måske være en ny måde at forebygge eller behandle sygdommen på.

CRK, Kilde: Aron, L., Ngian, Z.K., Qiu, C. et al. Nature (2025). doi.org/10.1038/s41586-025-09335-x

En krystal, der opfører sig som glas

Et krystallinsk materiale med lavere varmeledningsevne end både glas og vand lyder umiddelbart som en umulighed. Men det er netop, hvad forskere fra Aarhus Universitet har dokumenteret i det komplekse stof med den kemiske formel $\text{AgGaGe}_3\text{Se}_8$.

Ved stuetemperatur leder materialet varme tre gange dårligere end vand og fem gange dårligere end glas – og det på trods af, at det er en krystal med velordnet struktur. Opdagelsen udfordrer den klassiske skelnen mellem krystaller og amorf materialer og giver ny indsigt i, hvordan varme bevæger sig i faste stoffer. Der er ingen grund til at prøve at udtale $\text{AgGaGe}_3\text{Se}_8$.

»Jeg kalder det selv det sølv-gallium-germanium-selenid, som er navnene på de fire grundstoffer, det består af,« fortæller Peter Skjøtt Thorup, som er postdoc på Institut for Kemi på Aarhus Universitet.

»Materialet har været kendt i en årrække, men hidtil har man kun undersøgt dets optiske egenskaber. Vi er de første, der har målt dets varmeledningsevne og kortlagt, hvorfor den er så lav,« forklarer han.

Det viser sig, at krystallen opfører sig som glas over et usædvanligt stort temperatur-



Peter Skjøtt Thorup er førsteforfatter på den videnskabelige artikel, som beskriver materialets overraskende egenskaber i *Science Advances*. Foto: Peter Gammelby.

område – fra tæt på det absolutte nulpunkt og op til 400 grader Celsius. Forklaringen ligger i sølvatomerne i krystallen: Normalt sidder atomerne i en krystal som soldater på række, men her er sølvatomerne mere som rastløse børn i et klasselokale – de sidder løst og er hele tiden i bevægelse.

Det har stor betydning for varmeledning. De varmebærende vibrationer – kaldet fononer – bliver hele tiden forstyrret og spredt af sølvets uro, så varmen ikke kan bevæge sig effektivt gennem strukturen. Resultatet er, at

den ellers regelmæssige krystal termisk opfører sig som et amorf materiale.

Materialer med ekstremt lav varmeledningsevne er interessante i en række teknologiske sammenhænge – for eksempel i termoelektriske moduler, hvor spildvarme omdannes til strøm, eller som varmeisolerende lag i elektronik og højtemperaturkomponenter.

Men $\text{AgGaGe}_3\text{Se}_8$ er ikke umiddelbart klar til praktisk brug. Det leder ikke elektricitet særligt godt, og det indeholder germanium, som er et relativt dyrt og sjældent grundstof. Før materialet kan komme i spil teknologisk, skal det dotes – altså tilføres små mængder af andre grundstoffer, der kan justere dets elektriske egenskaber.

Opdagelsen er derfor først og fremmest et bidrag til grundforskningen. Den viser, at selv i velordnede materialer kan uforudsigelig atomar bevægelse føre til helt nye egenskaber. Og at grænsen mellem orden og uorden i materialefysikken ikke altid er så skarp, som man skulle tro.

Peter Gammelby, Aarhus Universitet
Kilde: *Science Advances*, Vol 11, Iss. 24/
DOI: 10.1126/sciadv.adv5865

Alt er kemi!

”Kemien er en helt uundværlig del af den grønne omstilling, når store globale problematikker som klimakrise, miljøproblematikker og sundhedsudfordringer skal løses. Hvis alt er kemi, er alle løsninger også kemiske, og eleverne skal rustes bedre til at forstå dem.”

Sådan lyder baggrunden for en ny hjemmeside, der just er lanceret i et samarbejde mellem Københavns Universitet og Aarhus Universitet. Hjemmesiden indeholder elevnære undervisningstemaer i kemi til brug på HTX og STX på C-, B- og A-niveau. Enkelte af forløbene kan anvendes til bioteknologi A STX. Temaerne er opbygget med fokus på nyere, dansk kemisk forskning, og områderne dækker blandt andet klima, den grønne omstilling og udvikling af morgendagens lægemidler. Materialet inddrager gymnasialt kernestof. Anledningen til projektet var Morten Meldals Nobelpris i kemi i 2022. Projektet er støttet af Novo Nordisk Fonden.



Temaer



Se mere på hjemmesiden alterkemi.dk

CRK

Klimaforandringer skubber bøg og rødgran mod nord

Af Henriette Stevnhøj, Aarhus Universitet

De høje, slanke bøgetræer med mørkegrønne, tætte kroner – selve symbolet på den danske skov – kan være forsvundet fra landskabet ved næste århundredeskifte. I dag trives bøgen i løvskovszonen, der strækker sig fra Sydsverige til Nordfrankrig. Men i fremtiden vil bøgen – ligesom mange andre træarter – i stigende grad blive udsat for klimaforhold, der ligger uden for det, træarten kan trives under i dag.

Det viser et nyt globalt studie, ledet fra Aarhus Universitet og det nederlandske Wageningen Universitet. For bøg betyder det, at Danmark i fremtiden får varmere og tørrere somre, som minder om middelhavsklimaet – forhold, som bøgetræet har svært ved at klare.

Det fortæller Jens-Christian Svenning, professor i biologi og leder af Danmarks Grundforskningsfonds Center for Ecological Dynamics in a Novel Biosphere (ECONOVO) ved Aarhus Universitet. Han er en af forskerne bag ECONOVO-forskningsstudiet, som er offentliggjort i det videnskabelige tidsskrift PNAS.

»Danmark ligger bedre end mange andre lande, men vi skal tænke os om, når vi planter nye skove. Det vil være en dårlig idé at plante for mange træer fra den kølige og fugtige del af klimazonen – såsom rødgran og bøg – fordi de kan få svært ved at trives. I stedet bør vi satse på en bred blanding af hjemmehørende arter – for eksempel eg, avnbøg, fugle-kirsebær og skovfyr – og arter, som i dag findes syd for Danmark, som ægte kastanje, valnød, tyrkisk hassel, frynse-eg og vild pære. I det hele taget er diversiteten det sikreste valg«, siger han.

Studiet kan bidrage med nyttig viden til implementeringen af den grønne trepartsaftale. En aftale, som blandt andet indebærer at erstatte dansk landbrugsjord med mere skov.

»Det er helt essentielt med et langsigtet perspektiv, når det gælder skovplantning, både til skovbrug og med biodiversitetsformål.



Foto: Colourbox

Man skal have øje for, at der er to perspektiver; at bidrage til at sikre træarterne og have velfungerende skove, både som økosystemer og som træplantager. Fremtidens klima skal i høj grad medtænkes, når der plantes nye træer«, siger han.

Skal have hjælp til at flytte sig

Forskerholdet har analyseret mere end 32.000 træarters nuværende udbredelse verden over og vurderet, hvordan de vil blive påvirket i takt med, at temperaturen stiger.

»Under realistisk klimascenarie vil 69 procent af arterne i mindst 10 procent af deres nuværende udbredelsesområde blive udsat for klimaforhold, der afviger markant fra hvad de lever med nogetsteds i dag«, siger Jens-Christian Svenning.

»Det ser vi allerede i Tyskland, hvor rødgran dør som følge af varme og tørke, der stresser træerne. Det gør dem sårbare over for sygdomme og angreb af skadedyr«, fortæller Jens-Christian Svenning.

Heldigvis vil der, ifølge forskerne, stadig være områder tilbage, hvor den enkelte træart vil kunne trives. Disse områder kaldes klimatiske tilflugtssteder og kan blive afgørende for træernes overlevelse.

Tidligere biodiversitetsstrategier har fokuseret på at udvide antallet af beskyttede naturområder. Men det er, ifølge Jens-Christian Svenning, tydeligvis ikke nok, hvis klimaet i disse områder ændrer sig, så arterne ikke længere kan overleve.

»For træer, som står på kanten af en klimazone, kan ændringen være katastrofal for flertallet af træerne, for eksempel hvis klimaet skifter fra middelhavsklima til ørkenzone, som det netop er i gang med i dele af Sydeuropa. Derfor skal vi tænke langsigtet og aktivt hjælpe træarter med at flytte sig – ellers risikerer vi store tab. Og samtidig må vi beskytte de skove, som ikke er under samme pres«, siger Jens-Christian Svenning.

Videnskabelig artikel: PNAS Vol. 122, No. 26/doi.org/10.1073/pnas.2420059122

I Atacama-ørkenen i Chile bygges netop nu Extremely Large Telescope (ELT) som et vidnesbyrd om de store anstrengelser, der gøres for at søge efter planeter – og tegn på muligt liv – andre steder i Universet.
Foto: ESO/CC-BY-4.0



LIV UDEN FOR JORDEN ER ASTROBIOLOGERNES MØRKE STOF

Om forfatteren



Kai Finster er professor i astrobiologi ved sektion for mikrobiologi, Aarhus Universitet. Han har en ph.d.-grad i mikrobiel økologi og forsker i betingelserne for liv i rummet.
kai.fenster@bio.au.dk

Den 11. november 2025 holder Kai Finster sammen med professor Liv Horne-kær foredrag i serien Offentlige foredrag i Naturvidenskab om mulighederne for at finde liv på andre planeter i rummet. Foredraget livestreames til lokationer over hele landet.
Se mere på ofn.au.dk

Hvor længe kan et videnskabeligt felt som astrobiologi trives, uden at det lykkes at påvise dets egentlige studieobjekt? Det reflekterer professor i astrobiologi Kai Finster over i dette essay om jagten på tegn på liv ude i rummet.

Astrobiologi er en af naturvidenskabens mest gådefulde discipliner. I modsætning til de fleste andre naturvidenskabelige forskningsfelter, der studerer en konkret genstand eller et fænomen, befinder astrobiologien sig i en paradoksal situation: Feltet søger at forstå liv uden for Jorden, men har endnu ikke fundet sit studieobjekt. Dette rejser en række spørgsmål om astrobiologiens videnskabelige legitimitet, dens metoder og fremtidsperspektiver. Kan en videnskab eksistere uden direkte beviser? Eller

balancerer astrobiologi på grænsen mellem hypotese og spekulation?

En tværfaglig jagt på liv

Astrobiologi trækker på en bred vifte af discipliner, herunder planetologi, biokemi, mikrobiologi og astronomi i forsøget på at besvare tre fundamentale spørgsmål: Hvordan opstod livet på Jorden? Hvilke betingelser kræves for liv? Og findes der liv andre steder i universet?

Studiet af ekstreme miljøer på Jorden har givet værdifuld indsigt. Mikroorganismer kendt som eks-

tremofiler har vist sig i stand til at overleve under betingelser, som tidligere blev anset for uforenelige med liv – fra dybhavets kogende hydrotermiske væld til isdækkede permafrostområder i Antarktis. Disse fund understøtter hypotesen om, at liv også kan eksistere i ekstreme miljøer på andre planeter og måner, såsom Mars, Jupiters ismåne Europa eller Saturns måne Enceladus.

Den metodologiske udfordring

En af astrobiologiens største udfordringer er fraværet af sit primære studieobjekt. De fleste videnskaber

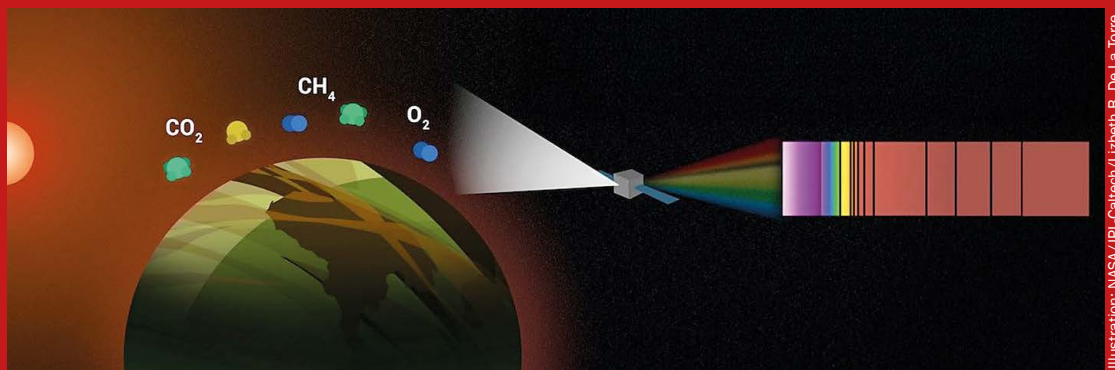


Illustration: NASA/JPL-Caltech/Lizbeth B. De La Torre

Metoder til at lede efter liv andre steder i Universet

Spektroskopi af exoplanetatmosfærer

Ved at analysere lyset fra stjerner, der passerer gennem atmosfæren på planeter uden for solsystemet, kan forskere finde spor af livsrelaterede gasser som oxygen, methan og vanddamp og bestemme deres koncentration. Især den samtidige forekomst af gasser som oxygen og methan, som kemisk reagerer med hinanden, er en stærk indikation. Det kræver en stædig produktion af dem begge to, for at de kan forekomme på samme tid.

Direkte billeddannelse af exoplaneter

Avancerede teleskoper, som ikke er bygget endnu, kunne tage billeder af fjerne planeter for at analysere overfladeforhold, skyer og spektre af lys, der kan indikere biologisk aktivitet. For eksempel absorberer planter synligt rødt lys til fotosyntese, imens de reflekterer infrarødt lys. Overgangen fra lav til høj refleksion sker meget brat – og den “kant” i spektret kalder forskere for *red edge*. I jagten på liv uden for Jorden bruges *red edge* som en mulig biosignatur.

Søgning efter biosignaturer på Mars og ismåner

Rummissioner til Mars, Europa (Jupiters måne) og Enceladus (Saturns måne) leder efter kemiske spor, mikrober eller organiske molekyler, som kan være tegn på tidligere eller nuværende liv. I skrivende stund leder to robotmissioner fra NASA – Curiosity og Perseverance – efter organiske molekyler og tegn på mikrober på

Mars i henholdsvis Gale-krateret, en udtørret sø, og Jezero-krateret, et udtørret floddelta samt en udtørret sø. Begge rovere leder i områder, hvor der engang var vand – for hvor der er vand, kan der have været liv.

Radioastronomi og SETI

Projekter som SETI (Search for Extraterrestrial Intelligence) lytter efter radiosignaler eller teknologiske aftryk, såsom en “Dyson sfære”, som kunne stamme fra avancerede civilisationer. En Dyson-sfære blev opkaldt efter den britisk-amerikanske fysiker og matematiker Freeman Dyson, som i 1960 foreslog en sådan hypotetisk megastruktur, der omgiver en stjerne for at opsamle dens energi – bygget af en ekstremt avanceret civilisation. Ideen er, at så intelligent liv kan bruge hele stjernens energiproduktion som drivkraft.

Analyse af meteoritter og prøver fra rummet

Meteoritter og materiale hentet hjem fra asteroider eller planeter undersøges for organiske forbindelser, isotopforhold og strukturer, der kan pege på ekstraterrestrisk liv. Et klassisk eksempel er meteoritten ALH 84001, der stammer fra Mars og blev fundet i Antarktis. I 1996 hævdede forskere, at den blandt andet indeholdt mikroskopiske strukturer, der kunne ligne fossile bakterier – et muligt tegn på liv. Senere analyser viste dog på, at strukturerne kunne være dannet uden liv, og beviset blev afvist.

arbejder med observerbare fænomener, men astrobiologi opererer i et felt af hypotetiske scenarier og indirekte beviser. Kritikere hævder, at feltet risikerer at blive spekulativt, idet det primært bygger på analogier og ekstrapolationer frem for konkrete observationer.

Men videnskabshistorien viser, at et forskningsfelt ikke nødvendigvis bliver diskvalificeret, bare fordi det mangler direkte beviser. Sorte huller blev forudsagt teoretisk,

længe før de blev observeret, og både mørkt stof og mørk energi er centrale dele af vores forståelse af universet, selvom de endnu ikke er direkte påvist. På samme måde var exoplanetforskning længe en teoretisk disciplin, indtil den første exoplanet blev opdaget i 1990'erne.

Astrobiologiens søgen efter liv adskiller sig dog fra for eksempel søgen efter mørkt stof, som i princippet kan bevises eller afvises. Astrobiologer kan altid pege på endnu en

planet – eller endnu en fjern galakse – hvor liv måske findes. Og med milliarder af planeter i hver galakse, milliarder af galakser i universet, og måske endda flere universer, er der næsten uendeligt mange grunde til at blive ved med at lede.

Søgningen intensiveres

Trods manglen på direkte beviser intensiveres jagten på liv. Mars-roveren Perseverance søger i øjeblikket efter tegn på forhistorisk liv i Jezero-kraterets gamle sø- og

Videre læsning:

Er der liv derude? Aktuell Naturvidenskab nr. 6-2012.

Kai Finster & Niels Iver Winstrup Nielsen: Liv baseret på silicium i stedet for kulstof – en død sild. Aktuell Naturvidenskab nr. 5-2021.

Kai Finster & Niels Iver Winstrup Nielsen: Astrobiologi. Natur og Museum, 57. årg. nr. 2, 2018.

deltaaflejringer. NASA's kommende Europa Clipper-mission vil undersøge Europas underjordiske ocean for potentielle tegn på liv. I fremtiden kan kryoboter blive sendt til de isdækkede verdener for at bore gennem islagene og analysere de flydende oceaner nedenunder.

Samtidig åbner studiet af exoplaneter nye muligheder. Kepler- og TESS-missionerne har opdaget tusindvis af exoplaneter, hvoraf flere befinder sig i den beboelige zone omkring deres stjerner – det vil sige i den zone, hvor flydende vand, en af livets absolutte forudsætninger, kan forekomme. Ved hjælp af avancerede spektroskopiske teknikker håber forskere at finde biosignaturer – kemiske markører såsom en kombination af oxygen og methan i ubalance, der kunne indikere biologisk aktivitet.

Astrobiologi: Videnskab eller spekulation?

Astrobiologiens videnskabelige status er et spørgsmål om perspektiv. Nogle sammenligner feltet med SETI (Search for Extraterrestrial

Intelligence), der trods årtiers forskning endnu ikke har påvist intelligente civilisationer. Kritikere hævder, at fraværet af fund stiller spørgsmålstegn ved SETI's videnskabelige berettigelse. Tilhængere argumenterer dog for, at fraværet af beviser ikke er det samme som bevis for fravær, og at forskning i sig selv har en værdi – uanset om den fører til en konkret opdagelse.

Astrobiologi deler denne skæbne. Selvom vi endnu ikke har fundet liv uden for Jorden, har forskningen bidraget til vores forståelse af beboelighed, planetariske processer og livets kemiske forudsætninger. Derudover spiller astrobiologi en central rolle i udviklingen af retningslinjer for planetarisk beskyttelse, så vores egne missioner ikke utilsigtet forurener potentielt beboelige miljøer.

Fremtiden for en videnskab uden et objekt

Astrobiologer antager, at der må findes liv andre steder i Universet, netop fordi naturens byggekodser og love er de samme overalt. Hvis

liv kan opstå én gang, burde det kunne ske igen. Med milliarder af planeter i hver galakse og milliarder af galakser i Universet virker det usandsynligt, at livet kun skulle være opstået ét sted. Liv kræver blot kompleks kemi, energi, vand, tid og et stabilt miljø – og disse forhold findes mange steder.

På trods af denne optimisme kan et centralt spørgsmål ikke fejles ind under troværdighedens gulvtæppe: Hvor længe kan en videnskab eksistere uden sin primære forskningsgenstand? Astrobiologi er stadig et ungt felt, men det er ikke uden betydning. Med teknologiske fremskridt og en voksende forståelse af Universet er det sandsynligt, at vi i fremtiden vil komme tættere på at besvare det store spørgsmål: Er vi alene?

Astrobiologiens eksistens understreger menneskets iboende nysgerrighed og vilje til at udforske det ukendte. Måske vil vi en dag finde svaret. Indtil da fortsætter vi søgningen – og det er i sig selv en videnskabeligt værdig proces. ■



Bliv studerende for en dag

Som **Studerende for en dag** følger du undervisningen på den uddannelse, du er interesseret i. Du spiser frokost med en studerende, som viser dig rundt – og du bliver klogere på, om uddannelsen er den rigtige for dig.

Besøg **Anvendt matematik, Biokemi og molekylær biologi, Biologi, Biomedicin, Datalogi, Farmaci, Fysik, Kemi, Medicinalkemi, Matematik, Matematik-økonomi** eller **Kunstig intelligens** på SDU i Odense.

Tilmeld dig på
sdu.dk/nat/studerendeforendag

PARACETAMOL HÆMMER CELLEDELING I DET BEFRUGTEDE ÆG

Mellem 10 og 40 % af alle graviditeter går tabt i den allertidligste fase, hvor det befrugtede æg deler sig. Genetiske fejl kan forklare cirka halvdelen af tilfældene, mens årsagerne til den resterende del endnu ikke er fuldt klarlagt. I et stort dansk-fransk forskningsprojekt støttet af Lundbeckfonden konkluderer forskere fra Rigshospitalet og Roskilde Universitet, at håndkøbsmedicin med paracetamol kan forstyrre celledelingen i den første tid efter befrugtningen. Det kan i værste fald føre til graviditetstab og dermed være en af de brikker, der mangler i forståelsen af, hvorfor så mange tidlige graviditeter går tabt.

Påvirker dannelsen af DNA

I studiet – der for nylig er udgivet i tidsskriftet *Human Reproduction* – har forskerne undersøgt virkningen af paracetamol på de tidligste stadier af embryonal udvikling ved hjælp af en bred vifte af modelsystemer.

Et centralt element i studiet var undersøgelsen af hele 90 humane embryoner (dvs. befrugtede æg og hermed de allertidligste udviklingsstadier i en graviditet), som blev udsat for forskellige doser af paracetamol. Derudover blev embryoner fra mus anvendt som en model for menneskets tidlige graviditetsstadier, mens humane embryonale stamcellelinjer samt gærceller blev brugt til at undersøge de underliggende cellulære mekanismer.

Resultaterne viste entydigt på tværs af alle modelsystemerne fra



Foto: Colourbox

gær til mennesket, at eksponering for paracetamol hæmmer celledelingen, fordi cellens naturlige cyklus bliver forhindret i at forløbe, som den skal. Det skyldes sandsynligvis, at aktiviteten af et specifikt enzym kaldet ribonukleotid reduktase, der spiller en central rolle i at danne nyt DNA, bliver hæmmet.

I eksperimenterne udsatte forskerne embryoner fra både mennesker og mus for koncentrationer af paracetamol tilsvarende dem, man kan måle i en kvindes reproduktive system, når hun har indtaget en standardbehandling med paracetamol. Og ved disse koncentrationer blev antallet af celler i embryonerne reduceret – i nogle tilfælde døde de ligefrem. Når embryoner 5-6 dage efter befrugtningen (på det såkaldte blastocyt-stadium) blev udsat for tilsvarende koncentrationer af paracetamol, så forskerne hos museembryoner en mindre indre cellemasse, mens DNA-syntesen blev reduceret hos menneskeembryoner.

Når hver eneste celledeling er vigtig

Da hver eneste celledeling er vigtig i den allerførste tid efter befrugtningen af et æg, kan enhver faktor, der påvirker celledelingen i den tidlige graviditet have stor betydning for fosterets udvikling. Derfor anbefaler laboratorieleder for Rigshospitalets Fertilitetsklinik, Morten Rønn Petersen, der er førsteforfatter på studiet, at kvinder, der forsøger at blive gravide, er tilbageholdne med at tage paracetamol. Forskerne understreger dog samtidig, at der er behov for yderligere undersøgelser, før der kan drages endelige konklusioner om den mulige sammenhæng mellem paracetamol og graviditetstab. De peger også på, at det er vigtigt at undersøge, om den negative påvirkning på celledelingerne kan have konsekvenser senere i fosterudviklingen, hvor for eksempel æggestokke, testikler og ikke mindst hjernen udvikler sig.

CRK, Kilder: Pressemeddelelse fra RUC samt *Human Reproduction*, 2025; dea116, doi.org/10.1093/humrep/dea116

Stor udbredelse af ålegræs bliver ofte set som et tegn på et sundt vandmiljø i en fjord.

Foto: Colourbox

GØDNING FRA LANDBRUG GØR SÆRLIGT ONDT PÅ DANSK HAVMILJØ

Forfatteren:

Kristian Sjøgren er videnskabsjournalist, ksjoegren@gmail.com



Om forskeren

Stiig Markager er professor i marin økologi og biogeokemi på Institut for Ecoscience, Aarhus Universitet. Han forsker i algers vækst og fotosyntese. I 1998 udviklede han de første modeller for danske fjordes respons på næringsstoffer (eutrofiering), og den forskning er i dag grundlaget for Danmarks forvaltning af havet i forhold til næringsstoffer.

Stiig Markager holder den 7. oktober foredrag om netop tilstanden i de danske farvande i serien Offentlige Foredrag i Naturvidenskab, der livestreames til lokationer over hele landet. Se ofn.au.dk

Særlige forhold i de danske farvande gør, at de danske fjorde og havområder lider meget under landbrugets udledning af kvælstof- og fosforforbindelser.

Ifølge professor Stiig Markager er det dog stadig muligt at rette op på skaderne, og den grønne trepartsaftale er et godt skridt på vejen.

I 1910 skete der noget, som skulle vise sig at sætte et af de mest eftertrykkelige positive aftryk på verden og desuden et meget negativt aftryk på Danmark. Den tyske kemiker Fritz Haber havde nogle år forinden udviklet en metode til at fremstille ammonium og nitrat ud fra atmosfærisk nitrogen og dermed gjort det muligt at fremstille kunstig gødning af ren luft. I 1910 blev metoden videreudviklet til at fungere på industriel skala, og allerede i 1914 nåede den daglige produktion af ammoniak op på 20 ton om dagen. I dag er den daglige produktion 500.000 ton.

Haber-Bosch-processen, som den kemiske proces hedder, er en vigtig milepæl i verdenshistorien, fordi den gjorde det muligt at producere mange flere afgrøder på de

samme marker simpelthen ved at gøde dem. Landbrugets produktivitet eksploderede, og menneskeheden, der indtil da havde levet i en spændetrøje af manglende ernæring, begyndte at vokse både i antal og i højde og drøjde. I Danmark er den gennemsnitlige mand vokset med 11 centimeter fra opfindelsen af Haber-Bosch-processen til i dag.

Der er rigtig meget godt at sige om Haber-Bosch-processen og adgang til kvælstof ad libitum, men alt det kvælstof skabte et andet problem. For det første har kvælstof altid været en mangelvare i naturen, og det har skabt en rig biodiversitet med et væld af planter og træer, der på hver deres måde enten trak kvælstof ud af luften, blev bedre til at holde på det eller sågar fandt på metoder til at genanvende det.

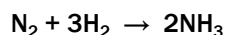
Kløver og andre bælgeplanter kan som eksempel indgå i symbioser med nitrogenfikserende bakterier og på den måde få adgang til kvælstof fra atmosfæren. Når træer smider bladene om efteråret, gør de først det, at de trækker alt det værdifulde kvælstof ud af dem, inden vinden tager bladene med. Efter at hele landskabet blev badet i kunstig produceret kvælstof, forsvandt den fordel, som det var at have udviklet særlige metoder til at overleve i et kvælstoffattigt miljø. Det vil sige, at primært høje græsser og brændenælder trivedes i den natur, som kom efter Haber-Bosch.

Og så skete der også noget med vandet...

»Vi lever i menneskets tidsalder, hvor mennesker og vores husdyr

Produktion af ammoniak

Haber-Bosch - processen:



Nitrogen(gas) + Hydrogen(gas) → Ammoniak

Udviklingen af Haber-Bosch-processen er en vigtig milepæl i verdenshistorien, fordi den gjorde det muligt at producere mange flere landbrugsafgrøder.

Foto: Colourbox



Stof	Naturlig rate	Menneske-skabt rate	Procent stigning
C - Kulstof	61.000	8.000	+13%
N - Kvælstof	130	140	+108%
P - Fosfor	3	12	+400%
S - Svovl	80	90	+113%

Enhed: millioner tons/år

Tabel over den menneskabte udledning på verdensplan. SM.

dominerer biodiversiteten på Jorden ved at udgøre den klart største biomasse sammenlignet med bestanden af vilde dyr. Vi brænder kul og olie af og ændrer på den måde på klimaet. Vi fremstiller desuden gødning ved hjælp af Haber-Bosch-processen og graver fosfor, der også benyttes i landbruget, op fra undergrunden. Alt sammen påvirker jordens kulstof-, kvælstof- og fosforkredsløb. Kigger man på kulstof, har vores aktiviteter ledt til en ændring i jordens kulstofkredsløb på 13 procent. Resultatet er de klimaforandringer, som vi ser i dag. Til sammenligning har vi ændret på klodens kvælstofkredsløb med 108 procent og klodens fosforkredsløb med over 400 procent. Resultatet kan man se blandt andet i de danske havområder, som lider under tilførslerne af kvælstof og fosfor,« fortæller professor Stiig

Markager fra Institut for Ecoscience ved Aarhus Universitet.

Kaskade leder fra kvælstof-udledning til fiskedød

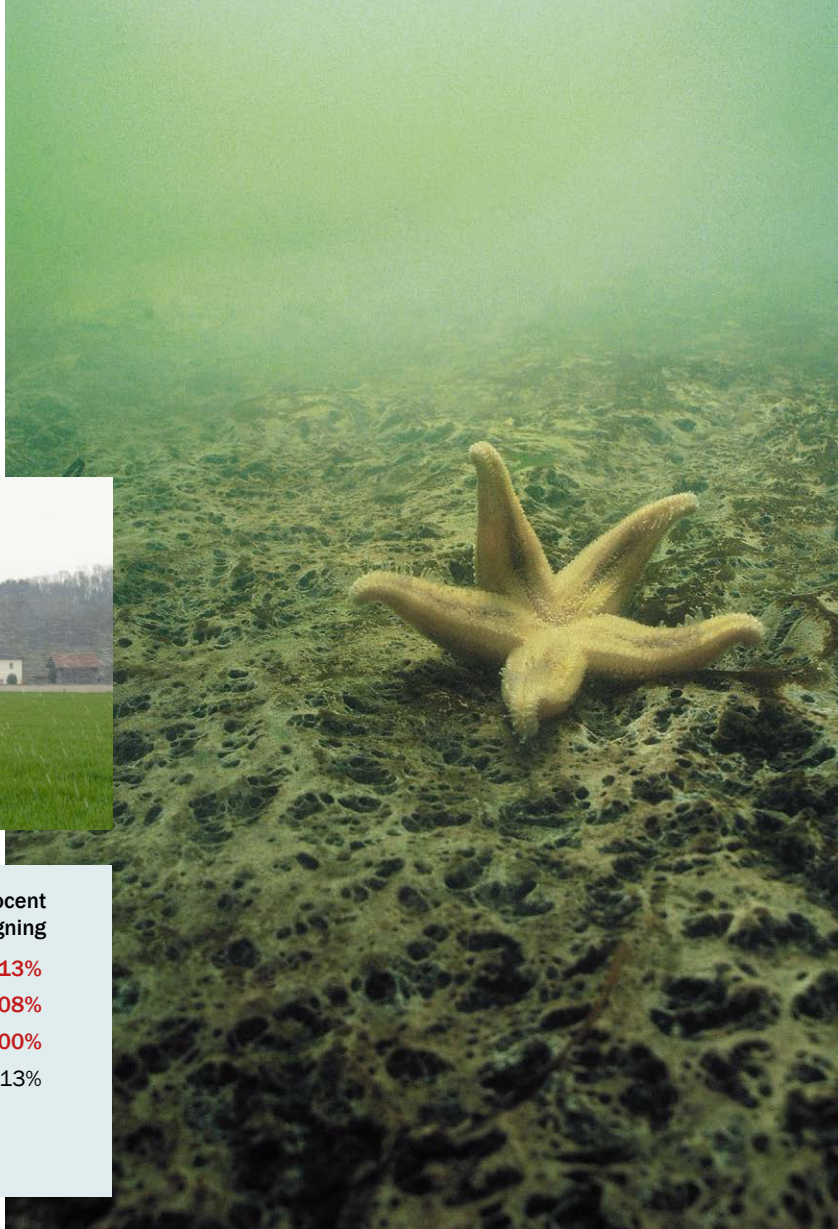
Problemet med udledning af kvælstof- og fosforforbindelser fra landbruget til de danske farvande handler meget simpelt om biologi. Ligesom planterne på landmandens mark vokser mere, når de har adgang til rigeligt med næringsstoffer, gør algerne i havet det også. Faktisk kan havets alger vokse ekstremt hurtigt, når de får adgang til kvælstof og fosfor, og så kan én alge bliver til tre i løbet af kun 24 timer.

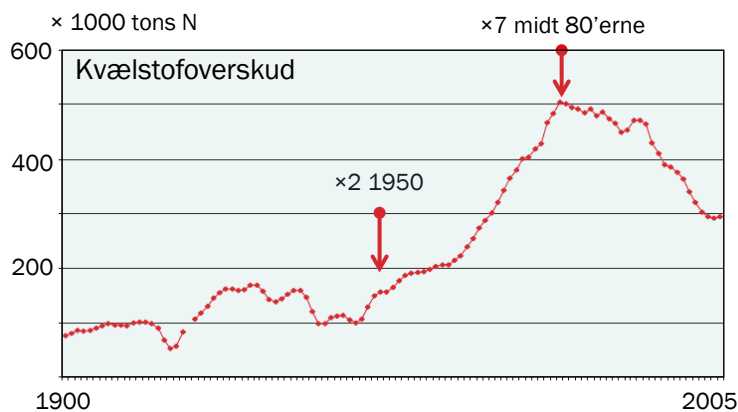
Når algernes vækst eksploderer, bliver vandet mere grumset. Det gør det svært for sollys at trænge ned til havbunden, hvor ålegræs og tangplanter oplever, at lyset bliver slukket. Over tid dør de derfor i

mørket. Derudover skaber algerne en regn af dødt organisk materiale, som langsomt daler mod havbunden. Det danner et tykt mudderslag, hvor bakterier bruger ilt på at nedbryde de døde alger, der bliver ved med at drysse ned fra oven. I takt med at iltten bliver brugt op, skaber det en situation, hvor blandt andet muslinger og krebsdyr ikke længere kan få vejret. Dem, der kan flytte sig, gør det, og dem, der ikke kan, dør og nedbrydningen af dem øger iltforbruget.

Selvom livet i havbunden allerede på dette tidspunkt er presset, er bakterierne ikke færdige med at gøre miljøet giftigt for alle andre. Når der ikke er mere ilt i havbunden, skifter bakterierne over til at bruge sulfat som kilde til ilt. Et biprodukt af den proces er hydrogen-sulfid (svovlbrinte), der ud over at

Et kraftigt iltsvind: En havbund med et tæppe af svovlbakterier – det såkaldte liglagen. Desuden ses en døende søstjerne. Foto: Peter Bondo.

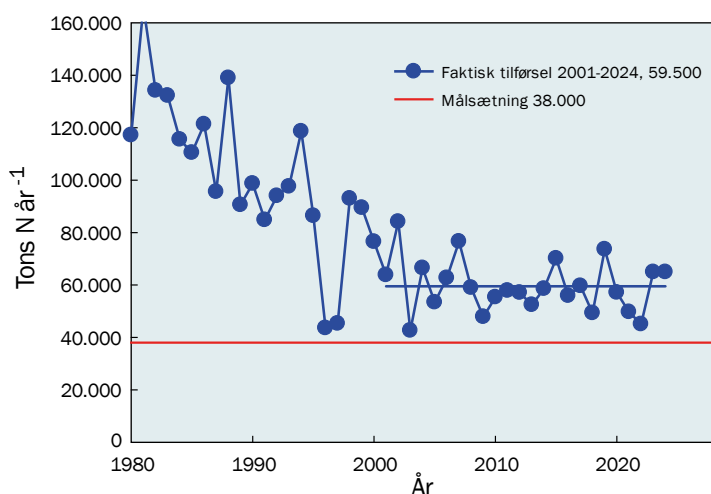




Figuren viser kvælstofoverskuddet i dansk landbrug siden år 1900. Pilene viser stigningen i forhold til år 1900. Efter Kyllingsbæk 2008.

lugte af rådne æg også er giftigt for dyr at leve i. Krebssdyr, bunddyr og fisk enten dør eller må flygte derfra.

Det, der startede med, at landmanden spredte kvælstofholdig gødning på sine marker for at kunne brødføde lidt flere sultne munde, endte således med, at de bærende elementer i havmiljøets økosystem forsvinder. De grønne havplanter og dyrelivet omkring dem bliver erstattet med ildelugtende og iltfattigt mudder, der er frarøvet næsten alle former for liv.



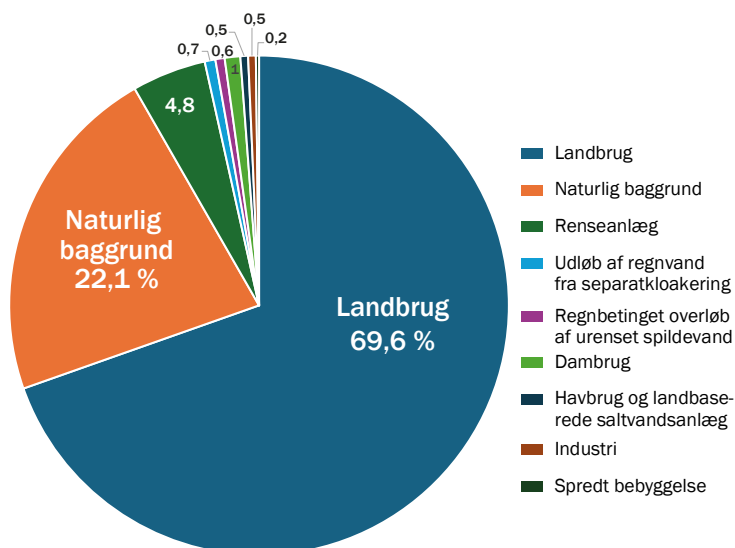
Der ses et betydeligt fald i udledningen af kvælstof siden 1980. Siden 2001 er dog ikke sket noget væsentlig fald i den faktiske tilførsel af N til havmiljøet. Kilde: Stiig Markager.

»Når vi taler om udledning af kvælstof og fosfor, taler vi faktisk ikke om det, som landmændene spreder på markerne, men om det der bliver udvasket til havene. Kvælstof gavner nogle organismer, men effekten er en forskubning af økosystemet, der gør det umuligt for andre at leve i,« forklarer Stiig Markager.

Danmark er særligt hårdt ramt

Forskellige faktorer har betydning for, hvor hårdt havmiljøet bliver ramt af landbrugets udledning af kvælstof og fosfor, og i den sammenhæng har Danmark trukket det formentlig korteste strå i verden.

Stiig Markager fortæller, at specielt to faktorer har betydning for effekten af udledning af kvælstof til vandmiljøet.



Udledning af kvælstof til kystvand opdelt på kilder i procent:

Diffuse kilder: Landbrug 69,6 % og Naturlig baggrund 22,1 %.

Punktkilder i alt 8,3 %: Renseanlæg (4,8), Udløb af regnvand fra separatloakering (0,7), Regnbetinget overløb af urensset spildevand (0,6), Dambrug (1,0), Havbrug og landbase-rede saltvandsanlæg (0,5), Industri (0,5), Spredt bebyggelse (0,2).

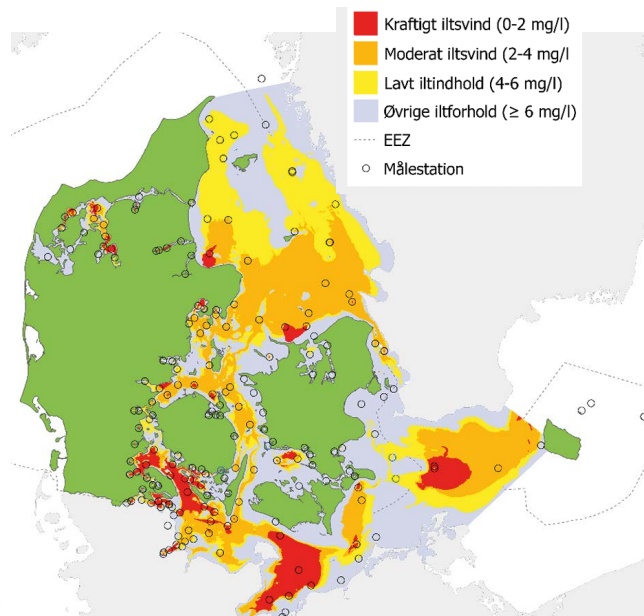
Kilde: Miljø- og Fødevareudvalget 2022-23 (2. samling) MOF Alm.del - Bilag 121. Notat fra Miljøstyrelsen, januar 2023.

For det første har det stor betydning, hvor meget vandet bevæger sig. For eksempel bliver der ledt store mængder kvælstof ud i havet fra landene omkring den engelske kanal, men da vandet bevæger sig hurtigt frem og tilbage gennem kanalen pga. tidevandet, bliver kvælstoffet hurtigt fortyndet til en koncentration, der ikke har den store betydning for havmiljøet. Kommer kvælstoffet først ud i Atlanterhavet, er problemet endnu mindre.

Den luksus har de danske farvande ikke, da mange af de danske fjorde og farvande er så godt som lukkede systemer, der blot bliver ved med at ophobe mere og mere kvælstof. Østersøen kan i sig selv betegnes

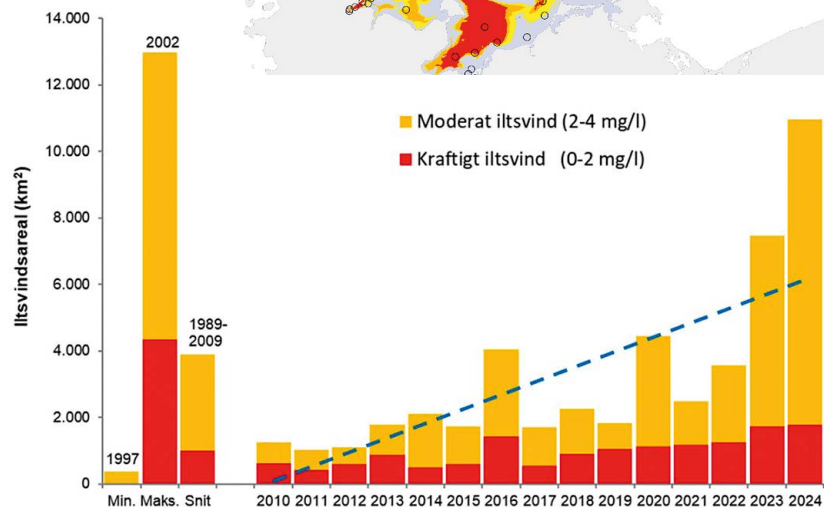
Kort over iltsvind i de indre danske farvande fra september 2024, hvor vi havde største iltsvind i 22 år. Arealudbredelsen af iltforholdene er modelleret ud fra målinger foretaget 6.- 25. september 2024. EEZ er grænsen for Danmarks "eksklusive økonomiske zone".

Kilde: Hansen, J.W. & Rytter, D. 2024. *Iltsvind i danske farvande 29. august – 25. september 2024*. Aarhus Universitet, DCE. Rådgivningsnotat nr. 2024|53.



Modelleret arealudbredelse af moderat (2-4 mg/l) og kraftigt (0-2 mg/l) iltsvind midt i september i de indre danske farvande 2010-2024 samt den største og mindste udbredelse 1989-2024 og den gennemsnitlige udbredelse 1989-2009. Den stiplede linje angiver en statistisk signifikant stigning siden 2010 ($p=0,001$).

Kilde: Hansen, J.W. & Rytter, D. 2024. *Iltsvind i danske farvande 29. august – 25. september 2024*. Aarhus Universitet, DCE. Rådgivningsnotat nr. 2024|53.



som verdens største fjord med en meget langsom udskiftning af vand.

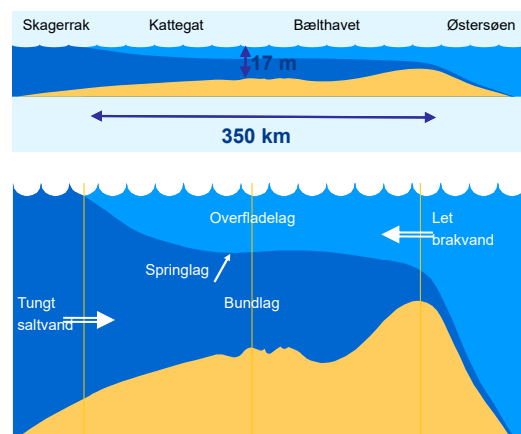
Den anden betydende faktor er vandsøjlen lagdeling. Denne lagdeling skabes af hovedsageligt ferskvand oven på saltvand, men kan også skabes af temperatur. Lagdelingen er især til stede i Østersøen og Kattegat og mindre til stede i Nordsøen.

I det øverste lag af vandsøjlen, hvor der er lys, lever de iltproducerende alger, men når de dør, daler de ned gennem vandsøjlen og bryder på et tidspunkt gennem springlaget, der er grænsen mellem vandsøjlen øvre og nedre lag. Under normale betingelser vil algernes iltproduktion afbalancere iltbehovet fra de bakterier, der skal nedbryde dødt organisk materiale, men når den ilt, der bliver produceret i det øvre lag,

De danske farvande er præget af en lagdeling af vandsøjlen. Denne lagdeling skabes af hovedsageligt ferskvand oven på saltvand, men kan også skabes af forskelle i temperatur. Mange danske fjorde og farvande er så godt som lukkede systemer med en meget langsom udskiftning af især bundlaget.

skal benyttes i det nedre lag, og der eksisterer en barriere mellem lagene, går systemet i hårdknude, og så bliver havbunden fyldt op med et mudder af døde alger.

»Derfor er kvælstofudledning særligt et problem i områder med stabil

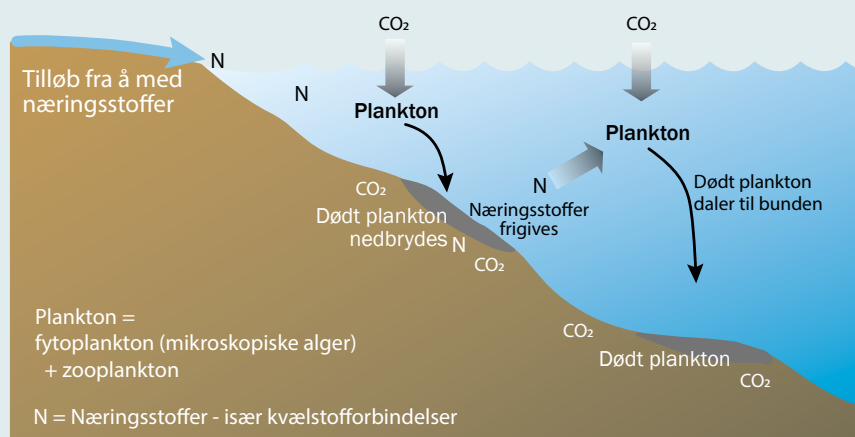


lagdeling, og det er netop, hvad der er i de danske farvande. Samlet set gør lagdelingen og mangel på bevægelse i de danske farvande Danmark til nok det land i verden, hvor kvælstofudledning har den største negative effekt,« siger Stig Markager.

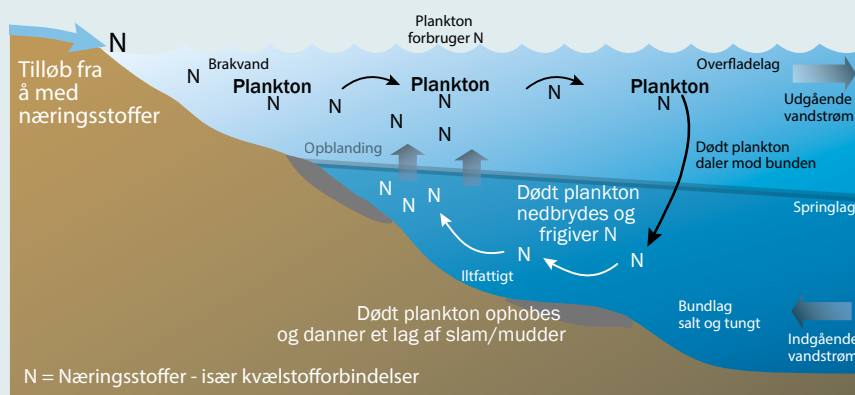
Kvælstof i en fjord: Algevækst, omsætning og opholdstid.

En fjord modtager ferskvand med høje koncentrationer af kvælstof i form af nitrat, som algerne nemt kan optage. I de fleste fjorde løber åen ud inderst i fjorden – tænkt på de Østjyske fjorde. I fjorden optages nitrat i alger, som er små partikler, dvs. nu er kvælstof bundet i en partikel, som synker mod bunden. Her rådner algen, og kvælstoffet frigives igen som ammonium, som hurtigst omdannes til nitrat, og processen starter forfra med ny algevækst. Meget af algen ligger dog tilbage som et slamlag på fjordbunden. Det forbruger ilt, og frigiver hele tiden lidt mere kvælstof, når det nedbrydes af bakterier.

Nederst er de samme processer tegnet ind sammen med vandets bevægelser. Ferskvand er lettere end saltvand, så åvandet ligger i starten som et lag på overfladen. Gradvist blandes det op med saltvandet nedenunder, mens det strømmer ud mod åbent hav. Det trækker en indadgående strøm af tungt saltvand, som typisk er syv gange kraftigere end den mængde åvandet fjorden modtager. Det betyder, at det nitrat, der frigives fra bunden, transporteres ind ad i fjorden, inden det kommer op i lyset igen. Nettoresultatet er at kvælstof



En fjord modtager ferskvand med kvælstof i form af nitrat, som giver grundlag for en stor vækst af plankton - dvs. især alger.



Et springlag i en fjord forlænger opholdstiden af næringsstofferne. Ved bunden er vandet mere salt og iltfattigt. Og i perioder kan al ilten blive brugt op, da nedbrydningen af dødt plankton bruger ilt og vi har et alvorligt iltvind.

er fanget i fjorden, mens åvandet løber igennem, og at det kvælstof,

der tilføres fra åen, bliver i fjorden i årtier. SM

Danmark ligger faktisk under for flere problemstillinger, der gør problematikken omkring kvælstofudledning særlig relevant for os. Foruden de førnævnte faktorer i havene er det et selvstændigt problem, hvad der sker på land. 60 procent af det danske areal er som eksempel opdyrket, og i tillæg ligger mange marker tæt på fjordene. Det vil sige, at der ikke er langt fra, at landmændene spreder gødning på deres marker, til der udvaskes næringsstoffer til vandmiljøet. I andre lande, for eksempel Polen og Tyskland, er der ofte flere hundrede kilometer fra landbrugsområderne til havet, og i den tid, som det tager kvælstof at

blive fragtet med floder og andre vandløb fra markerne til havet, når det at forsvinde op i luften (ved denitrificering og dermed afgivelse af N_2 til atmosfæren).

Hjælpen er på vej

Det store spørgsmål er selvfølgelig, om vi kan gøre noget ved det, eller om vi bare må acceptere, at vi skal vælge mellem fisk til aftensmad eller rug, roer og raps på markerne? Kigger vi tilbage over de seneste 25 år, er der ikke sket en tøddel med udledningen af kvælstof fra landbruget til de danske farvande. For 25 år siden løb udledningen op i omkring 60.000 ton om året, og i dag er tallet lige-

ledes omkring 60.000 ton årligt.

Stiig Markager fortæller, at vi de seneste ti år har ligget under for de politiske beslutninger, der blev truffet med Landbrugspakken i 2016, der gav landbruget lov til at benytte mere kvælstof og øgede kvælstofforbruget med 20 procent. Randzonerne, der skulle sikre, at der ikke blev spredt gødning for tæt på vandløb og kyster blev også nedlagt. Tanken med aftalen var, at effekterne skulle balanceres med nogle kollektive virkemidler til at nedbringe forbruget af kvælstof.

»Det skete bare aldrig, præcis som vi forskere sagde. Effekten af

Landbrugspakken har været den, at havmiljøet fik det dårligere med mere iltsvind, flere alger, og at fiskene i dag er næsten helt forsvundet fra flere danske farvande. At vi i dag næsten ikke har fisk i fjordene, er en direkte effekt af Landbrugspakken. Det var nok Danmarkshistorien største miljømæssige fejltagelse,« siger Stiig Markager.

Når Stiig Markager skal se fremad, er han dog mere fortrøstningsfuld, end når han skuer tilbage i tiden. Årsagen er den grønne trepartsaf-tale, der blev indgået sidste år, og som rummer mange af de forslag, som forskerne allerede i 2016 bragte til bordet, men som ikke blev fulgt. Det drejer sig blandt andet om at omdanne landbrugsjord til naturskove eller til våd natur. Det leder ikke bare til mindre kvælstofudledning, men også til naturområder, der i sig selv kan optage kvælstof. Sigtet med den grønne trepartsaf-tale er at reducere udledningen af kvælstof med 25 procent. Prisen kommer til at lyde på i omegnen af 43 milliarder kroner.

»Det er ikke nok, behovet er omkring 37 procent, men det er en god start, og det er rigtig godt at se, at man nu begynder at tage de rigtige virkemidler i brug. Det viser, at der er politisk vilje til at løse problemet,« siger Stiig Markager.

Gavner mere end bare de danske farvande

Udover at kunne bringe liv tilbage til de danske farvande rummer initiativerne til at reducere kvælstofudledningen også en masse andet potentiale, der på andre måder kommer danskerne til gavn. For det første kan udtagning af landbrugs-områder mindske problemerne med oversvømmelser fra ferskvand som effekt af klimaforandringer. Våd-områder er med andre ord meget bedre til at holde på vandet, så det ikke løber mod byer og giver oversvømmelser i kældre og på veje. På samme måde kan vådområder binde CO₂, og det kan dermed bidrage til at bringe balance i det danske CO₂-regnskab. Kvælstof står i sig

selv for omkring 10 procent af den danske klimagasudledning.

Endelig er der også nogle potentielle sundhedsfordele at hente i at reducere udledningen af kvælstof.

Når man spreder gødning på markerne, stiger koncentrationen af ammonium i luften også. Ammonium kan genere lungerne, og det estimeres, at mellem 200 og 1.000 mennesker hvert år dør en for tidlig død på grund af luftforurening med ammonium fra dansk landbrug. Kvælstofudledning er også problematisk i forhold til grundvandsforurening. Her er der ret sikre estimater af, at nitrat i drikkevand betyder, at 125-130

danskere hvert år dør af tyktarmskræft. Det vil ifølge Stiig Markager give mening, hvis man spekulerer i at udtage landbrugsjord i områder, hvor der bliver dannet grundvand.

»Ved at tage hånd om problemet er der grundlag for nogle positive synergier. Der kommer også til at være en positiv effekt på biodiversiteten på land, så vi kan få fugle som viben og storken tilbage samt skabe flere rekreative områder, der kan danne basis for oplevelsesøkonomi. Ved at reducere kvælstofudledningen for at hjælpe havene får vi en hel masse positive effekter indenfor andre områder,« siger Stiig Markager. ■

Hvad er hovedpunkterne i den grønne trepart?

Aftalerne indebærer en gennemgribende omlægning af Danmarks areal og en række initiativer for at beskytte miljøet og reducere klimabelastningen. De vigtigste elementer er:

- 250.000 hektar ny skov svarende til Lolland, Falster og Bornholms arealer tilsammen.
- Omlægning af 140.000 hektar lavbunds-jorde, som er lavtliggende landbrugsjord, der udleder meget CO₂, når den dyrkes. En del af disse jorder skal i stedet omlægges til natur.
- Mere biodiversitet, bl.a. gennem oprettelsen af 21 nye nationalparker, én bynær nationalpark og forbedring af havmiljøet i Lillebælt og Øresund.
- Styrket indsats for vandmiljøet for at reducere iltsvind i danske fjorde og kystområder.
- CO₂-afgift på husdyrproduktion: Danmark bliver det første land i verden til at indføre denne type afgift.
- Fremsynet, konkurrence- og bæredygtig dansk fødevarereproduktion med øget fokus på biosolutions, klimateknologier og plantebaserede fødevarer.
- 43 mia. kroner til Danmarks Grønne Arealfond, som skal finansiere grønne initiativer.
- 23 lokale treparter, hvor kommuner, lodsejere og staten samarbejder om at beskytte naturområder, for eksempel ved at rejse skov eller genskabe våde enge på lavbunds-jord.

Tidslinje:

Forår 2025:	Politisk aftale om markregulering (kvælstofhammeren)
Maj 2025:	Kortmateriale på plads
Nov. 2025:	Kommunerne har vedtaget og indsendt plan for arealer
Forår 2026:	Aftaler indgås med lodsejere
Medio 2026:	Status for aftaler om udtagning/omlægning
2027:	Landbrugsdrift ophører på alle arealer
2025 >	Fysiske ændringer i landskabet

Videre læsning

Stiig Markager: Naturen sætter en grænse – status for diskussionen om landbrug, kvælstof og havmiljø. Aktuell Naturvidenskab 6-2015.

Gunni Ærtebjerg, Jacob Carstensen og Peter Bondo Christensen: Varmere klima giver mere iltsvind. Aktuell Naturvidenskab 3-2007.

Hansen J.W., Lønborg, C. & Høgslund S. (red.) 2024. Marine områder 2023. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 201 s. - Videnskabelig rapport fra DCE nr. 632.

DEN FØLSOMME HJERNES SUNDHED ER VIGTIGERE END NOGENSINDE

Et aktivt immunsystem er vigtigt for at bekæmpe for eksempel infektioner. Men hvis immunsystemet bliver ved med at være aktivt, selvom der ikke er nogen infektion, kan det medføre psykisk mistrivsel og depression. Derfor er det vigtigt at undgå betændelsestilstande i kroppen, men også at styrke de meningsgivende nerveforbindelser.

I denne urolige tid med stress på arbejdspladsen, hvor nyhederne er fyldt med krige (både rigtige krige og handelskrige), ulykker og klima- og miljøkatastrofer samt en smartpho- ne der styrer samtlige af de vågne timer – kan man måske godt føle sig lidt presset og i dårligt humør. Vi skal ikke forholde os ukritisk til vores omverden og undlade at handle, men undervejs i strømmen af information må vi godt passe på os selv og vores hjerner. For hvordan påvirker vores virkelighed vores følsomme hjerne? Og hvad kan vi gøre for at passe bedre på den?

Den følsomme hjernes biologi – under stress og sygdom

Jeg er hjerneforsker ved The Danish Research Institute of Translational Neuroscience (DANDRITE) på Aarhus Universitet, hvor mit team og jeg arbejder med de nervebaner og molekylære signaleringsmekanismer, der styrer den følsomme hjerne. Med andre ord leder vi efter bedre behandlinger mod sygdomme, der påvirker vores humør, som fx depression.

Depression er blevet en folkesygdom, som 1 ud af 5 vil opleve på et tidspunkt i deres liv, og cirka 30% falder i kategorien "svære at behandle". Alle oplever på et tidspunkt i livet begivenheder, der skaber stress eller traume. Men det ser ud til, at flere og flere udvikler lidelser, der går ud over humøret.

Sygdomme, der påvirker vores humør og psykiske velbefindende, har typisk deres rødder i stress og betændelsestilstande (inflammation). Et stort folkestudie af 73.000 danskere (Herlev-Østerbro-undersøgelsen), der blev fulgt over 20 år viste, at betændelsestilstande forudsiger ens psykiske helbred. Undersøgelsen viste, at man er to til tre gange mere tilbøjelig til at udvikle psykisk belastning og depression, hvis man har forhøjede niveauer af betændelsesproteiner, også kaldes CRP (der står for C-reaktivt protein), i blodet.

Når betændelse spiller en stor rolle for dårligt humør og psykisk sygdom, skyldes det, at immunsystemet "taler" med hjernen. Mit team og jeg arbejder netop på at kortlægge, præcis hvordan immunsystemet signalerer til hjernen, både når vi er syge, og når vi er raske.

Immunsystemet taler med hjernen

Det er normalt, at immunsystemet taler med den følsomme hjerne. Det er faktisk en vigtig del af, hvordan kroppen hjælper os med at komme igennem almindelige infektioner. Når vi bliver syge, sender immunsystemet signaler, der gør os trætte, ømme og uoplagte. Vi mister appetitten, vil helst være alene og kan føle os lidt nedtrykte – og lysten til fest og socialt samvær er sjældent stor.

Hvis immunsystemet bliver ved med at være aktivt, selvom der ikke er nogen infektion, kan det give udfordringer. Langvarig betændelse hænger sammen med psykisk mistrivsel og depression, som kan være svære at behandle.

Meget af det, der naturligt gør os kede af det, skaber også betændelse i kroppen. Det gælder både kroniske sygdomme, stress og traumer – som mobning eller overgreb – men også ting som overvægt, dårlig kost og miljøpåvirkninger som mikroplastik og pesticider.

Ved nogle kroniske sygdomme med betændelsestilstande ser man, at folk først får stillet en diagnose som angst eller depression – altså før selve sygdommen opdages. De psykiske symptomer kommer altså, før der er en synlig grund til at være nervøs eller ked af det. Det gælder for eksempel i nogle tilfælde af Parkinsons sygdom og kræft. Studier har vist, at når kroppens medfødte immunforsvar – de hvide blodceller, der beskytter os mod vira og bakterier – bliver aktiveret, reagerer hjernens egne immunceller, kaldet Mikrogliia, på samme måde. Mikrogliia i hjernen danner et spejlbillede af den signalering, der foregår ude

i kroppen, ved at sende de samme signalstoffer ud, som immunforsvaret gør i resten af kroppen. (Se faktaboks på næste side). Og det er netop de signaler, der påvirker vores humør.

Jeg har brugt mange år på at studere præcis, hvordan det medfødte immunsystem signalerer til hjernens nervebaner, som regulerer velbefindende, belønning og meningsfuldhed.

Dopaminens rolle for humøret

Der er flere vigtige nervebaner, som regulerer vores humør: Heriblandt er især de grupper af nerveceller, som ligger dybt nede i baghjernens og midthjernens – og sender signaler hele vejen op til forhjernens og pandelapperne – der producerer signalmolekylerne serotonin og dopamin.

Mens serotonin har meget at gøre med vores verdenssyn og indre følelsesliv, så er dopamin det signalmolekyle, som videregiver information om, hvad der er vigtigt og meningsfuldt for os. Dopamin fortæller os, hvad vi skal opsløge for at overleve, og signalerer derfor belønning. Et velfungerende dopaminsystem er vigtigt for vores raske følsomme hjerne. Det er vigtigt, at vi kan skelne, hvad der er godt for os, fra hvad vi bør undgå, og at vi ikke fejlfortolker gode ting som negative. Det er vigtigt, at det er meningsfuldt for os at nå en deadline, at vi finder mening i vores sociale relationer og i alle de andre ting, der er gode for os – også den første mundfuld kaffe ved morgenbordet.

Og i den raske hjerne – når vi bliver syge med influenza – dæmper immuncellerne aktiviteten af nervebanerne i vores belønningscenter, som påvirker dopaminniveauet. Og derfor kan det at blive syg være forbundet med en følelse af mindsket meningsfuldhed. Men mindsket dopamin forbundet med sygdom er også et vigtigt lærings-signal – det fortæller os, at vi nok bør undgå den restaurant, hvor vi fik madforgiftning, og at det ikke

Om forfatteren:



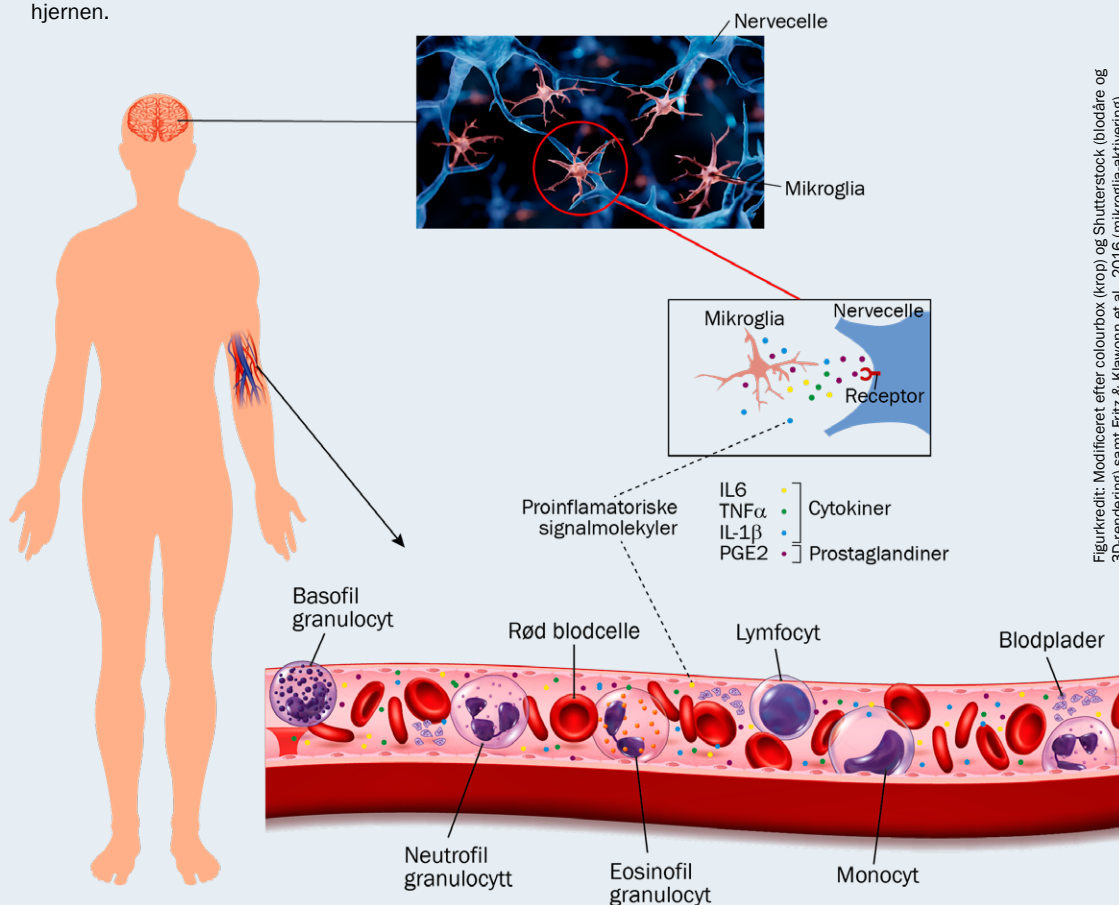
Anna Mathia Klawonn er lektor og gruppeleder ved forskningscenteret DANDRITE på Aarhus Universitet. Hun forsker i hvordan immunsystemet kommunikerer med hjernens nervebaner, som regulerer motivation og humør. klawonn@dandrite.au.dk

Systemisk inflammation

I denne artikel bruges *betændelsestilstande* som et alment forståeligt udtryk for fagudtrykket *inflammation*. Hvis man udelukkende forbinder betændelse med gulligt flydende puds fra en byld eller lignende, er det dog misvisende. Inflammation (eller betændelse) skal i denne sammenhæng nemlig ikke forstås som en lokal tilstand, men som en såkaldt systemisk tilstand. Det er en helkropsreaktion, hvor det medfødte immunsystem aktiveres bredt. Immunforsvarets celler – for eksempel monocytter, makrofager og neutrofiler – frigiver signalstoffer (cytokiner) til blodbanen, der aktiverer andre celler og påvirker organer på afstand, blandt andet hjernen.

Aktiveringen af immunsystemet sker ved infektioner, som influenza, COVID-19 eller bakterier, men også ved kroniske sygdomme som hjertekarsygdomme, diabetes og autoimmunitet. Symptomer som feber, træthed, appetitløshed og muskelsmerter er typiske tegn på, at kroppens immunsystem reagerer systemisk.

På kort sigt hjælper det medfødte immunsystem, via systemisk inflammation, med at bekæmpe infektioner og igangsætte helingsprocesser. Hvis den systemiske inflammation varer ved, kan den dog skade væv og bidrage til udviklingen af kronisk sygdom.



Figurkredit: Modificeret efter colourbox (krop) og Shutterstock (blodår og 3D-rendering) samt Fritz & Klavonn et al., 2016 (mikroglia-aktivering).

Figuren viser nederst til højre forskellige typer immunceller i blodbanen samt nogle af de signalstoffer (cytokiner), som immuncellerne – særligt monocytter – frigiver, når immunsystemet er aktivt. Hjernen er beskyttet af den såkaldte blod-hjerne-barriere, der gør, at komponenter i blodet ikke umiddelbart kan få adgang til hjernen. Men alligevel spejler hjernen immunaktiviteten i blodet, idet immunceller i hjernen (mikroglia) frigiver de samme signalstoffer, når immunsystemet i kroppen er aktivt (øverst). Detaljerne i, hvordan denne signalering mellem blod og hjerne foregår, er komplicerede og endnu ikke fuldt afdækket. Men det væsentlige her er, at denne "spejling" forklarer, hvorfor systemisk inflammation i kroppen kan medføre tilstande som depression.

er lige nu, vi skal være supermotiverede for at løbe et maraton. Men hvis vi oplever betændelse over længere tid, så kan faldet i dopamin (der egentlig skulle hjælpe os) forårsage generel meningsløshed og anhedoni (dvs. manglende lyst til at lave de ting som normalt gør os glade). Det er derfor ikke

overraskende, at der er et stærkt link mellem betændelsestilstande i kroppen og depression.

Fra smartphone til stoffer

Udover de almindelige infektioner, stress og kronisk sygdom, så er der flere udfordringer for den følsomme hjerne.

Det er måske ikke overraskende at stoffer, som kokain og opioider, der kan skabe afhængighed, alle har en ting til fælles: De forårsager kunstigt høje dopamin-niveauer. Men det kan være farligt at pille ved dopaminbalancen. De fleste stofafhængige er fanget i en ond spiral af forstyrret belønningsforventning

og nedsat evne til at opleve glæde ved naturlige stimuli, hvilket gør det stadig sværere at stoppe stofmisbruget.

Men de fleste af os leger dagligt med vores dopaminsignaler i hjernen. Vi gør det, når vi doomscroller på de sociale medier, spiller spil på telefonen eller "binger" slik og junkfood. Og mange af os oplever, at det til tider kan være svært at lægge telefonen fra os og lade slikskålen stå. Fællesnævneren for slikskålen og smartphonen er, at de forårsager hurtigere og højere dopamin-niveauer, end vi normalt ville møde ude i naturen. Konsekvensen er, at vi sætter vores naturlige dopamin-signaler over styr. Forskning har vist, at hurtige og gentagne dopamin-kicks fører til et større fald, når dopaminniveauet skal vende tilbage til sit naturlige "hvileniveau". Et dopaminniveau under dette "hvileniveau" er netop det, man ser ved tilstande som meningsløshed, anhedoni og depression.

Kunsten at leve antiinflammatorisk

Det har længe været kendt, at risikoen for betændelsestilstande i kroppen stiger ved usund levevis, overvægt og kroniske sygdomme. Det generelle budskab fra de førende forskere – læger og psykiatere – er at man bør undgå at komme i en situation med forhøjet betændelse, dvs. inflammation, i kroppen.

At leve antiinflammatorisk kan opnås ved stabil søvn, hyppig motion, en varieret kost rig på grønsager, fibre og sunde olier og ved at undgå forarbejdet mad, slik, røg og alkohol.

Det lyder enkelt at leve antiinflammatorisk, men i praksis er det svært i en hverdag præget af stress, ultraforarbejdet mad, arbejdsmails i stakkevis, nyheder om krig og katastrofer, miljøgifte – og en smartphone, der lokker med umiddelbar underholdning som eneste flugtknap i syne. Hvad gør vi så?



Foto: Anna M. Klawonn

Foto fra Klawonn-lab (DANDRITE) med fra venstre Jakob Østergaard Thuesen, Jens Lindengren Andersen, Frederik Holde Rasmussen, Teodor-Adrian Chipier, Cecilia Nymark Groenbech.

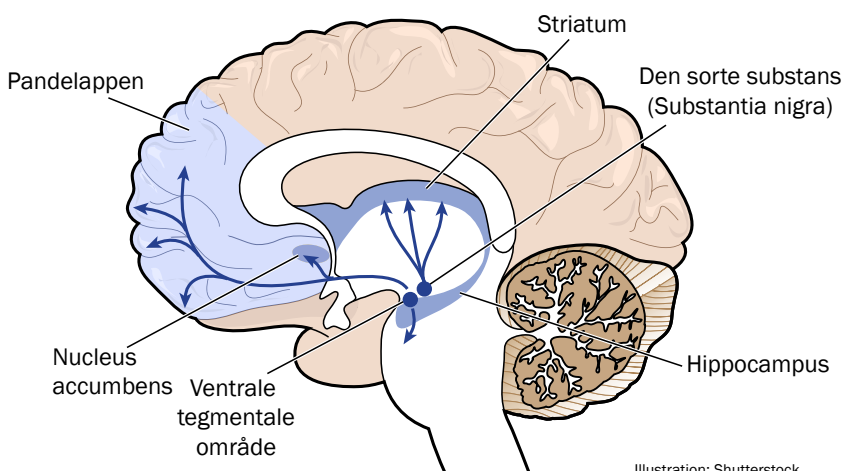


Illustration: Shutterstock

Oversigt over menneskehjernens dopamincentre. Cellekroppene befinder sig i midthjernen i områder kaldet ventrale tegmentale område og substantia nigra (på dansk: Den sorte substans). Nervecellernes lange forgreninger (axoner) strækker sig op mod belønningsområderne (kaldet nucleus accumbens og striatum), hjernebarken og pandelapperne.

Videre læsning:

Artiklen her er en udvidet version af et indlæg, Den følsomme hjerne, oprindeligt bragt i Weekendavisen 8. august 2025.

Wium-Andersen, M. K. et al., 2013 (Herlev-Østerbro-undersøgelsen). Elevated C-Reactive Protein Levels, Psychological Distress, and Depression in 73 131 Individuals. JAMA Psychiatry. doi:10.1001/2013.jamapsychiatry.102

Klawonn, A. M. et al. (2021): Microglial activation elicits a negative affective state through prostaglandin-mediated modulation of striatal neurons. Immunity Vol. 54, Iss. 2, p225-234. e6

Anne Lembke: Dopamine Nation. New York Dutton (2021)

Ong, A. D., Cintron, D. W., Fuligni, G. L. (2024): Engagement with nature and proinflammatory biology. Brain, Behavior, and Immunity. doi.org/10.1016/j.bbi.2024.03.043

Aaron Antonovski: Unravelling the mysteries of health - how people manage stress and stay well. Jossey-Bass 1987.

På Aarhus Universitets YouTube-kanal kan du se en lille film, hvor Anna Klawonn fortæller om sit arbejde: Mapping the Missing Link Between the Immune System and the Brain.

Forskningen siger, at vi bør starte i det små, og når vi har overskud. Det er vigtigt at have overskuddet til at opbygge bevidsthed og en positiv indstilling. Forskning viser, at hvis du er overbevist om, at projektet med nye vaner kan lykkes, er det mere sandsynligt, det rent faktisk lykkes. At tillægge sig nye vaner tager mellem 18 og 254 dage, afhængig af vanen og adfærdens kompleksitet. For at bryde en dårlig vane – som slik eller doomscrolling – skal man først gøre sig bevidst om, hvad der trigger den, og hvad den betyder for én. Hvornår har du lyst til slik? Er det en bestemt tid på dagen?

Vaner slettes ikke let, men de kan "overskrives" med nye belønninger eller positive handlinger, der gør, at andre nervebaner overtager vanesignalet. Det er lettere at droppe slikket, hvis man erstatter det med noget sundere som nødder eller tørret frugt, eller med en handling: "Jeg er lige ved at gribe telefonen for at doomscrolle – men nej, jeg går en tur i stedet." Gentagen træning, bevidsthed om egne handlinger og reduktion af stress er afgørende for at etablere nye vaner.

Der er flere studier som viser, at naturoplevelser virker positivt på den følsomme hjerne, og at tilbringe tid i naturen endda virker antiinflammatorisk, når det er oplevelser, vi værdsætter. Det samme gør mindfulness, som yoga, meditation og akupunktur.

Det er værd at leve antiinflammatorisk. Men i modsætning til en psykisk nedtur kræver en psykisk optur reelt arbejde – der findes ingen dopamin-quickfix. Til gengæld styrker du din følsomme hjerne på lang sigt.

Den følsomme hjerne er fleksibel

Udover at skifte til en antiinflammatorisk livsstil (som vil være gavnligt i forhold til næsten alle tænkelige livsstilssygdomme), er der også andre ting man kan gøre. Vigtigst af alt er, at man kan arbejde med sin



Anna Klawonn med sin forskningsgruppe på DANDRITE.

DANDRITE

DANDRITE er et internationalt neuroforskningscenter støttet af Lundbeckfonden. Centeret forsker i, hvordan hjernen udvikler sig, fungerer og bliver syg – fra patient helt ned til molekylniveau. Forskerne kommer fra hele verden, og i 2024 havde DANDRITE 31 forskellige nationaliteter tilknyttet. Centeret finansierer 5 forskningsgrupper. Hver af disse grupeledere arbejder i op til ni år med sit eget originale forskningsprojekt. Målet er at skabe ny viden om hjernen, som kan føre til ny eller bedre behandling af hjernens sygdomme.

følsomme hjerne ved at styrke de meningsgivende nerveforbindelser. Og det gør man via den samme type signal, dopamin, som styrer vores vaner.

Man kan styrke de meningsgivende nervebaner ved at træne optimisme og at sætte fokus på, hvad der er godt og vigtigt i ens liv. Der findes et hav af studier, som viser hvordan simple strategier fra positiv psykologi som blot at skrive 3 positive ting, man har oplevet hver dag, eller at tale positivt til sig selv, signifikant kan mindske angst og depression.

Forskerne Aaron Antonovski og Viktor Frankl undersøgte den sunde følsomme hjerne hos holocaust-overlevende og fandt, at evnen til at søge "meningsfuldhed" var en parameter for sundhed og overlevelse. Det er vigtigt at kunne finde det meningsfulde i ens liv og overlevelse – selv i ubærlige situationer. Meningsfuldhed er dybt individuelt og kan findes mange steder – i

naturen, blandt venner og familie, i ens arbejde og hobbyer.

Og selvom, det er en klassisk joke, at der ikke findes en eneste ateist på et styrtende fly – så er det almindeligt kendt blandt forskere indenfor mental sundhed, at den gruppe mennesker, som er mindst tilbøjelige til at få depression, er spirituelle og religiøst troende.

Vigtigst af alt: Søg hjælp, når du mærker, at du er presset – jo tidligere, man får hjælp (fra læge eller psykolog) i et depressionsforløb, des bedre er udsigterne til at komme sig og til at forblive rask.

Så med udgangspunkt i denne forskning, vil jeg opfordre dig, kære læser, til at finde det, der er meningsfuldt for dig – og lad det fylde i dit liv. Se på dig selv med milde øjne – også når du falder i med slik og telefon – og start de sunde vaner i det små, når der er overskud. ■

ET SMUGKIG PÅ DRØMME- UDDANNELSEN

Send dine elever i Studiepraktik i uge 43

Hvordan føles det egentlig at være universitetsstuderende?

Med Studiepraktik kan dine elever – og tidligere elever på sabbatår – få et smugkig på studielivet på en udvalgt uddannelse.

I op til tre dage i uge 43 prøver de undervisningen, mærker studielivet helt tæt på og finder ud af, hvordan det egentlig er at gå på en videregående uddannelse.

Studiepraktik finder sted på AU's campusser i Aarhus, Herning, Viborg og Emdrup.



AARHUS UNIVERSITET



Find tilmelding og mere info
bachelor.au.dk/tvivi/besoeg/praktik

Jonas Klejs Hemming-
sen og Bradley J. White-
head i laboratoriet.
Foto: Eva Baerends

Forfatterne



Jonas Klejs Hemming-
sen er ph.d.-stude-
rende ved Inst. for
Klinisk Medicin, Aarhus
Universitet og forsker i
ekstracellulære vesikler.
johemn@clin.au.dk



Bradley J. Whitehead
er post doc ved Inst. for
Klinisk Medicin, Aarhus
Universitet og forsker i
infektionssygdomme og
ekstracellulære vesikler.
bradley@clin.au.dk



Kenneth A. Howard
er lektor ved iNANO,
Aarhus Universitet og
forsker i albumin-base-
ret lægemiddellevering.
kenh@inano.au.dk



Peter Nejsum er
professor ved Inst. for
Klinisk Medicin, Aarhus
Universitet og forsker i
infektionssygdomme og
ekstracellulære vesikler.
pn@clin.au.dk



Nanobudbringere til hjernen: **ET NYT VÅBEN MOD SCLEROSE**

En udfordring med sygdomme som sclerose, der har udspring i hjernen, er, at det er svært at få medicin ind i hjernen, fordi den er beskyttet af den såkaldte blod-hjernebarriere. Den udfordring prøver forskere nu at tackle ved at udnytte nogle af kroppens egne signalpartikler.

Forestil dig at være ung, men bundet til sengen af en sygdom, der gradvist lammer din krop og dit liv. Sådan ser hverdagen ud for mange med sclerose. Sclerose, eller multipel sclerose (MS), er en sygdom, hvor kroppens eget immunforsvar angriber nervesystemet i hjernen og rygmarven. Det beskadiger myelinskederne, et fedt-isolerende lag på nervefibre, der normalt beskytter nervecellerne og sikrer hurtig signaloverførsel. Resultatet er neu-

rologiske symptomer, der spænder fra føleforstyrrelser til alvorlige bevægelseshandicap.

Behandlingen af sclerose og andre sygdomme i centralnervesystemet er vanskelig. Det skyldes især, at sygdommen har sit udspring i en del af kroppen, hvor medicinen har svært ved at trænge ind: centralnervesystemet.

Centralnervesystemet består af hjernen og rygmarven. Både hjer-

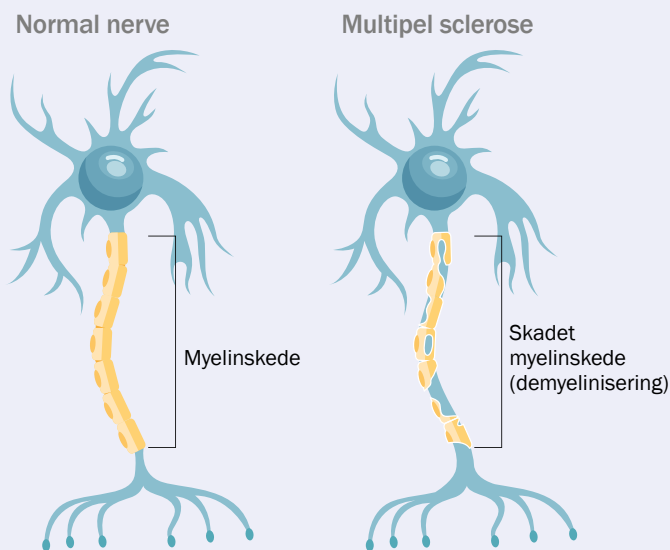
nen og rygmarven er adskilt fra blodbanen af en specialiseret barriere, blod-hjerne-barrieren. Man kan forestille sig, at den fungerer som en slags grænsekontrol. Fordelen er, at den beskytter hjernen mod skadelige stoffer i blodet ved kun at tillade udvalgte molekyler, typisk små og fedtopløselige såsom oxygen, glukose og visse hormoner at passere. Ulempen ved blod-hjerne-barrierens beskyttende funktion, er, at den udgør en vældig forhindring, hvis vi gerne vil sende hjælp ind

Om multipel sclerose og behandling i dag

Multipel sclerose (MS, også kaldet dissemineret sclerose) er en kronisk autoimmun sygdom, hvor immunsystemet angriber nervecellernes beskyttende myelinskede i centralnervesystemet. Det fører til betændelse, arvæv og gradvis funktionsnedsættelse. Sygdommen rammer typisk unge voksne, især kvinder, og Danmark er blandt de lande med flest tilfælde. Omkring 18.000 danskere lever med MS, og hvert år diagnosticeres 400-600 nye patienter.

Sygdommen viser sig ofte med anfald, pludselige symptomer, som synsforstyrrelser, føleforstyrrelser eller lammelser, dog i varierende grad. Der findes tre hovedtyper: attackvis, sekundær progressiv og primær progressiv multipel sclerose.

Sclerose er uhelbredelig, men behandlingen kan dæmpe anfald og forsinke udviklingen. Ved akut anfald behandles der med højdosis methylprednisolon. Til at forsinke udviklingen bruges sygdoms-modificerende be-



handling (DMT), der i første linje er præparater med lav bivirkningsprofil og anden linje med mere potente, men også bivirkningstunge midler.

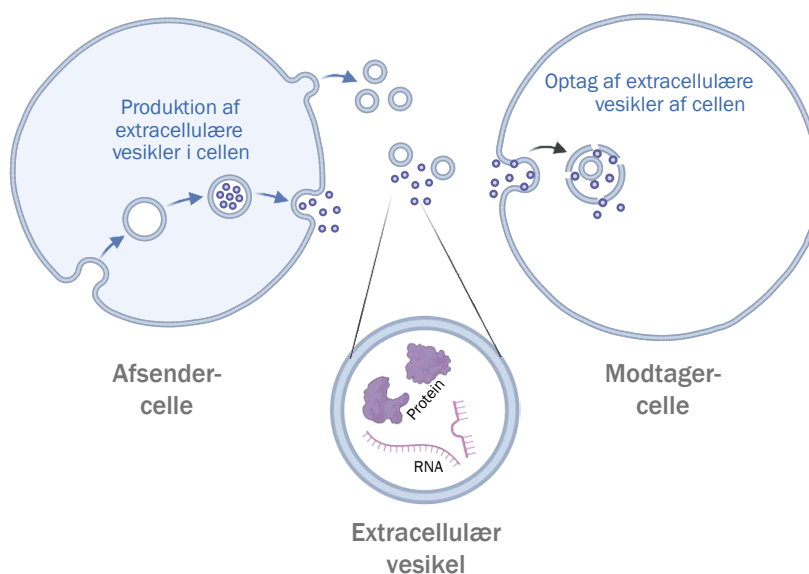
i centralnervesystemet. I praksis betyder det, at de fleste lægemidler ikke kan passere blod-hjerne-barrieren.

En naturlig løsning fra kroppens egne celler

Når nu de fleste lægemidler bliver afvist ved blod-hjerne-barrieren, melder spørgsmålet sig: findes der overhovedet en vej ind i hjernen for medicin beregnet til at behandle sygdomme, der er lokaliseret netop der?

Et muligt svar kommer fra kroppen selv. I de senere år er forskere nemlig begyndt at interessere sig for en særlig type signalpartikler, som stort set alle kroppens celler udsender: ekstracellulære vesikler. Tidligere blev de betragtet som biologisk affald, men det billede har ændret sig markant over de seneste to årtier. I dag ved man, at ekstracellulære vesikler spiller en aktiv rolle i kommunikationen mellem celler. De kan indeholde RNA, proteiner og fedtsyrer, og fungerer dermed som små målrettede signalpakker.

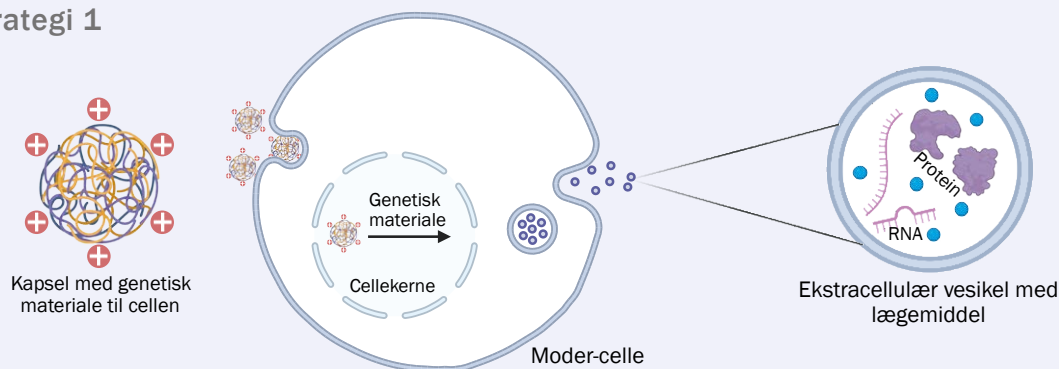
Ekstracellulære vesikler, eller blot vesikler, er typisk 30-1000 nano-



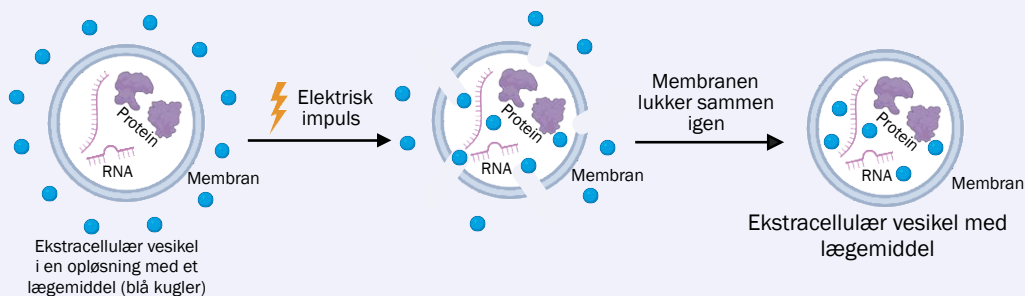
Celler kan sende signaler til hinanden ved hjælp af ekstracellulære vesikler, små naturlige blærer, der indeholder biologiske signalmolekyler som RNA og proteiner. Figuren viser, hvordan en afsendercelle danner og udskiller vesikler, som derefter optages af en modtagercelle. Overordnet er der to måder, cellen producerer ekstracellulære vesikler (som kaldes henholdsvis mikrovesikler og exosomer). I laboratoriet kan vi som udgangspunkt ikke skelne mellem dem, men vi ved, at de dannes på to forskellige måder. Normalt er exosomerne dog mindre end mikrovesiklerne.

Mikrovesikler dannes ved direkte afsnøring fra cellens plasmamembran og er som regel mellem 50-1000 nanometer (øverst på figuren til venstre). Exosomer er 30-150 nanometer og dannes ved "indfoldning" (indvaginering) i plasmamembranen, som fører til dannelsen af små indsnørrede blærer kaldet endosomer. I disse endosomer fortsætter indfoldningen af membranen, som fører til dannelsen af flere vesikler. Når endosomet er fyldt med vesikler, kaldes det et "multivesikulært endosom". Disse kan fusionere med cellens plasmamembran, hvorfor vesiklerne frigives og nu betegnes som exosomer. Begge typer betegnes altså som ekstracellulære vesikler, og de kan medbringe en last af signalmolekyler som vist på forstørrelsen.

Strategi 1



Strategi 2



Figuren viser to overordnede strategier til at pakke lægemidler ind i ekstracellulære vesikler: **Øverst:** genetisk materiale overføres til en moder-celle. Cellen modtager et signal om at producere ekstracellulære vesikler med indhold af det ønskede lægemiddel. **Nederst:** efter dannelse af ekstracellulære vesikler placeres de i en opløsning med et lægemiddel og udsættes for elektriske impulser. Disse impulser skaber midlertidige porer i membranen, så lægemidlet kan trænge ind. Når impulsen ophører, lukker membranen sig igen.

meter store og findes blandt andet i blodet, rygmarsvæsken (cerebrospinalvæsken) og urinen. En vesikel er en slags afsnøret blære. Det, der gør dem særligt interessante i behandlingssammenhænge, er, at de stammer fra kroppens egne celler og derfor ofte ikke er skadelige for kroppen. Faktisk har studier vist, at ekstracellulære vesikler kan modvirke inflammation. Nok så interessant har flere studier vist, at ekstracellulære vesikler i nogle tilfælde kan krydse blod-hjerne-barrieren, hvilket de færreste lægemidler formår.

Feltet er endnu ungt, men flere og flere forskningsgrupper verden over undersøger ekstracellulære vesiklers terapeutiske potentiale. Der forskes især i at anvende dem til kræftbehandling, men også til autoimmune sygdomme såvel som neurodegenerative sygdomme. Og selvom vi stadig befinder os på et stadium, hvor der endnu ikke er

nogen godkendte behandlinger ved brug af ekstracellulære vesikler, så er der flere kliniske studier på mennesker undervejs, dog ingen med fokus på centralnervesystemet. Men flere studier i dyr har vist, at ekstracellulære vesikler kan bruges til at levere både RNA og proteiner til centralnervesystemet.

Derfor betragter forskere i stigende grad ekstracellulære vesikler som biologiske nanotransportører, der på sigt kan bruges til målrettet levering af lægemidler til kroppen. I vores projekt forsøger vi netop at forfine og videreudvikle denne strategi i forhold til behandling af sclerose.

Hvordan får man medicin ind i vesiklerne?

Før en teknologi til sygdomsbehandling baseret på brug af ekstracellulære vesikler er moden til brug i den kliniske medicin, er der en række teknologiske og biologiske udfordringer, der skal løses. En af

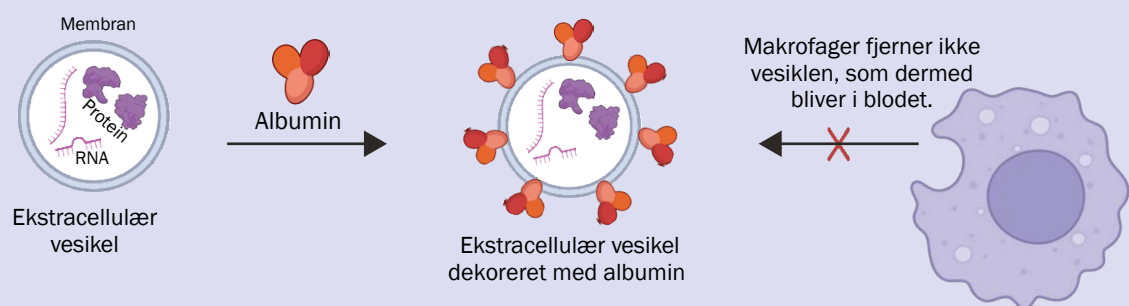
de mest grundlæggende barrierer er ekstracellulære vesiklers struktur: De består af en dobbelt fosforlipidmembran, der omslutter et indre rum med proteiner, RNA og andre biomolekyler. Denne struktur minder om cellemembraner og gør vesikler stabile, men også vanskelige at manipulere uden at forstyrre deres funktion.

Den første udfordring er derfor, hvordan man får det ønskede lægemiddel ind i den ekstracellulære vesikel uden at beskadige den. Overordnet set er der to veje at gå. Lægemidlet kan enten bringes ind i de ekstracellulære vesikler før eller efter, de er dannet.

I det første tilfælde kan man modificere cellen, så den simpelthen producerer vesikler med det ønskede indhold. Det kan gøres ved at tilføje genetisk materiale eller give cellerne bestemte signalstoffer, der får dem til at ændre deres aktivitet.

Sådan kan cirkulationstiden øges

Figuren viser princippet i vores strategi til at forlænge cirkulationstiden af ekstracellulære vesikler. Normalt fjernes ekstracellulære vesikler i blodbanen hurtigt af specialiserede oprydningceller (såkaldte makrofager), især i leveren og milt (øverst). Kroppens mest udbredte transportprotein albumin har en lang levetid i blodet sammenlignet med vesikler. Det er især albumins interaktion med andre proteiner, der kan "redde" dem fra at blive nedbrudt i makrofagerne. Ved at dekorere overfladen af ekstracellulære vesikler med albumin kan vi udnytte denne egenskab til at forlænge de ekstracellulære vesiklers cirkulationstid i blodet (nederst).



Når cellerne så naturligt udskiller ekstracellulære vesikler, indeholder de allerede lægemidlet. Fordelen ved den tilgang er, at vesiklerne bevarer deres normale struktur og funktion. Ulempen er, at det er svært at kontrollere præcis, hvor meget medicin hver enkelt vesikel kommer til at indeholde.

I den anden metode forsøger man at pakke lægemidlet i de ekstracellulære vesikler, efter de er produceret fra cellerne. Her bruger man blandt andet elektriske impulser til midlertidigt at åbne vesikelmembranen, eller man blander vesiklerne med høje koncentrationer af lægemidlet i håb om, at det passivt trænger ind. Denne metode giver bedre kontrol, men risikoen er, at vesiklernes struktur ændres, og de mister deres evne til at finde det rigtige mål i kroppen.

Flere store udfordringer

Selv hvis det lykkes at pakke et lægemiddel ind i ekstracellulære vesikler, opstår den næste udfordring. For at lægemidlet skal virke, skal vesiklen ikke blot nå frem til

det ønskede organ (hjernen), den skal også genkendes og optages af de rigtige celler, altså de syge celler i dette tilfælde. I dag findes der eksperimentelle tilgange – godt nok kun på forsøgsstadiet – hvor man udstyrer vesiklernes overflade med særlige signalmolekyler, der genkendes af de syge celler. Denne fremgangsmåde skal blandt andet imødekomme et af de største problemer, nemlig cirkulationstiden af ekstracellulære vesikler i blodet. Kroppen har nemlig specialiserede

celler, især i lever og milt, der overvåger og fjerner partikler fra blodet. Derfor vil mange af de medicinbærende vesikler blive fjernet, før de når frem til deres mål.

Endelig er der en mere lavpraktisk udfordring: produktion i stor skala. I et laboratorium er det relativt enkelt at fremstille ekstracellulære vesikler. Men hvis de skal anvendes i medicinske sammenhænge, kræver det store mængder rene vesikler med samme egenskaber mellem

Om albumin

Albumin er det mest udbredte protein i blodets plasma (blodets flydende del), her udgør albumin omkring 50-65% af det totale proteinindhold. Det produceres i leveren og har mange vigtige funktioner i kroppen. Albumins vigtigste funktion er at opretholde det osmotiske tryk i blodet, altså at holde væske inde i blodbanen. Derudover fungerer det som et transportprotein for en lang række stoffer, herunder hormoner, fedtsyrer og mange lægemidler. Albumin har en lang halveringstid i blodet (cirka 19 dage), mens andre proteiner, som koagulationsfaktorer, kan variere fra 3 timer til 60 timer. Albumins lange halveringstid er med til at gøre dette protein særligt interessant at udnytte i lægemiddeludvikling, hvor lang cirkulationstid kan være en fordel.

Videre læsning
Nyhed: ugeskriftet.dk/
videnskab/celle-til-
celle-kommunikati-
on-exosomer-i-blodet

Gowen A. et al.: Mesen-
chymal Stem Cell-Deri-
ved Extracellular
Vesicles: Challenges in
Clinical Applications.
Front Cell Dev Biol.
2020;8(March):1-8.
doi:10.3389/cell.2020.
00149.

Inge K. H. et al.:
Extracellular vesicles
as a next-generation
drug delivery platform.
Nat Nanotechnol.
2021;16(7):748-759.
doi:10.1038/s41565-
021-00931-2.

hvert produktionsparti. Det gør det
til en meget mere kompliceret frem-
stillingsproces.

Der arbejdes derfor intenst med at
standardisere metoder til produkti-
on og karakterisering af ekstracel-
lulære vesikler. Det er nødvendigt,
hvis teknologien skal bevæge sig
fra at være eksperimentelt lovende
til at blive anvendt i praksis.

Transportprotein kan være nøglen til supervesikler

Målet med vores forskningsprojekt
er at udvikle en ny generation af
ekstracellulære vesikler, en slags
supervesikler, der både kan overle-
ve længe i blodbanen og samtidig
finde vej ind i hjernen uden at blive
opdaget og fjernet undervejs.

Til at producere store mængder
ekstracellulære vesikler vil vi bruge
en type stamceller kaldet mesenky-
male stamceller. Disse celler er
robuste, nemme at dyrke og har vist
sig velegnede til at danne ekstra-
cellulære vesikler med naturligt
forekommende antiinflammatoriske
egenskaber.

Men selve nøglen i vores stra-
tegi er, at vi kobler vesiklerne til
albumin, som er kroppens mest
udbredte transportprotein. Albu-
min er et naturligt forekommende
protein i blodet som binder og
transporterer mange forskellige
stoffer, som fedtsyrer, hormoner
og lægemidler.

Albumin genkendes af immu-
nsystemet som en del af kroppen
selv. Når vesiklerne er bundet til
albumin, bliver de derfor i mindre
grad opslugt af de specialiserede
celler i lever og milt. Det betyder, at
de forbliver længere i blodbanen og
har større sandsynlighed for at nå
frem til målet.

Desuden har albumin en naturlig
evne til at trænge ind i visse væv,
særligt sygt eller beskadiget væv.
Det gælder også i centralnervesy-
stemet, hvor man i sygdomstilstan-
de, også i sclerose, ser en ændret
blod-hjerne-barriere. Det er derfor
sandsynligt, at vesikler bundet til
albumin i højere grad kan slippe
gennem og nå ind i centralnervesy-
stemet, hvor der er brug for dem.

Ved at kombinere ekstracellulære
vesikler og albumin forsøger vi altså
at skabe en biologisk enhed, der
både overlever længere, cirkulerer
bredere og måske i højere grad kan
nå ind i hjernen.

Hvad kan det betyde for patienten?

Hvis vores strategi lykkes, kan det
bane vej for en ny generation af be-
handlinger mod sygdomme i hjernen.
Behandlinger, der er mere præcise,
har færre bivirkninger og faktisk
krydser blod-hjerne-barrieren og
dermed når frem til de syge celler.

Vores primære mål er sclerose, hvor
der i dag findes flere lægemidler, men
hvor en stor del af dem virker bredt
på immunsystemet og derfor kan
medføre alvorlige bivirkninger. Hvis
man i stedet kan levere behandlin-
gen direkte til de betændte områder i
hjernen, bliver det muligt at dæmpe
sygdommen lokalt og skånsomt. På
sigt håber vi, at teknologien også
kan bruges til andre neurologiske
sygdomme, hvor blod-hjerne-bar-
rieren udgør en betydelig barriere
for effektiv behandling. ■

Læs Naturvidenskabelig Bachelor

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

RUC
Roskilde Universitet

Arbejd på
tværs af
naturviden-
skabelige
felter.

Arbejd med
topforskere i
moderne
laboratorier.

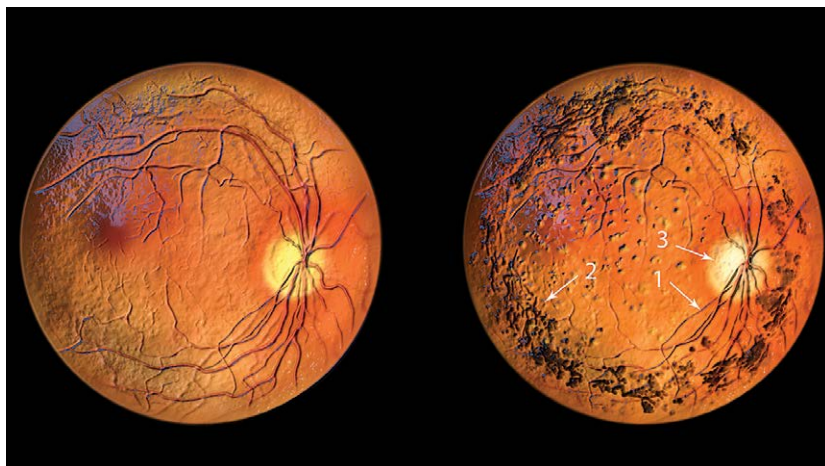
Uddannelsen
kan tages på
både dansk
og på
engelsk, hvor
studiemiljøet
er mere
internationalt.

Læs mere her:



KAN PROTEINER FRA ALGER GIVE BLINDE SYNET IGEN?

At blinde på mirakuløs vis får synet igen, lyder nok mest af alt som en passage fra biblen. Men med ny teknologi og forskning er dette mirakel måske tættere på at blive virkelighed end nogensinde før. En ny teknik kaldet optogenetik kan nemlig gøre nerveceller i stand til at opsamle synsindtryk!



Figuren viser en 3D-illustration af forskellen på nethinden i et normalt øje til venstre og et øje ramt af sygdommen Retinitis pigmentosa. De karakteristiske forandringer i nethinden, som er med til at diagnosticere sygdommen, er små klumper af pigmentfyldte celler, som ofte er nåleformede (2). Derudover er blodkarrene ofte indsnævrede (1), og synsnervehovedet (den blinde plet) på nethinden fremstår voksende (3). Illustration: Shutterstock.

Forestil dig, at du med en kontakt kan tænde og slukke for de nerveceller, du har i kroppen. Med optogenetik kan du netop det, og her er kontakten noget så simpelt som lys. Optogenetik er en relativt ny metode inden for hjerneforskning, der går ud på at indsætte lysfølsomme proteiner, kaldet opsiner, i nerveceller. Opsiner kommer blandt andet fra alger, og når de bliver belyst med lys med en

bestemt bølgelængde, kan opsiner frembringe en elektrisk impuls i nervecellerne. Det er netop gennem elektriske impulser og deres samspil med neurotransmittere, at vores nerveceller kommunikerer. Det betyder, at man med optogenetik kan kontrollere kommunikationen mellem nervecellerne – og dét undersøger forskere, om man kan bruge til at genskabe den ødelagte kommunikation mellem øjnene og hjernen hos blinde.

Retinitis pigmentosa – en snigende sygdom

Lysfølsomme nerveceller er i sig selv ikke noget nyt, og vi har dem allerede i kroppen. Det er med dem, vi ser alt fra en smuk solnedgang til en grå leverpostejmad. De lysfølsomme nerveceller er sanseceller, og de er grundstenene i vores synssans. Sansecellerne sidder i vores øjnes nethinde, hvor de registrerer synsindtryk ved hjælp af synspigmenter, der er menneskets egne opsiner. Sansecellerne videregiver herefter informationen til vores hjerner gennem elektriske impulser. Men hos mange blinde, er sansecellerne blevet nedbrudt eller er uden funktion. Det betyder, at der ikke bliver sendt elektriske signaler fra nethinden til hjernen, og dermed er der ikke nogen synsinformation, hjernen kan bearbejde. Lidelsen kaldes retinitis pigmentosa (RP) og er en arvelig, kronisk sygdom, der rammer ca. 1 ud af 3500. Natteblindhed er ofte det første symptom, og mange opdager ikke sygdommen i starten, da det skarpe syn først forsvinder til sidst. I sidste ende fører sygdommen til hel eller delvis blindhed. På nuværende tidspunkt er der ikke nogen samlet behandling af retinitis pigmentosa.

Om forfatteren



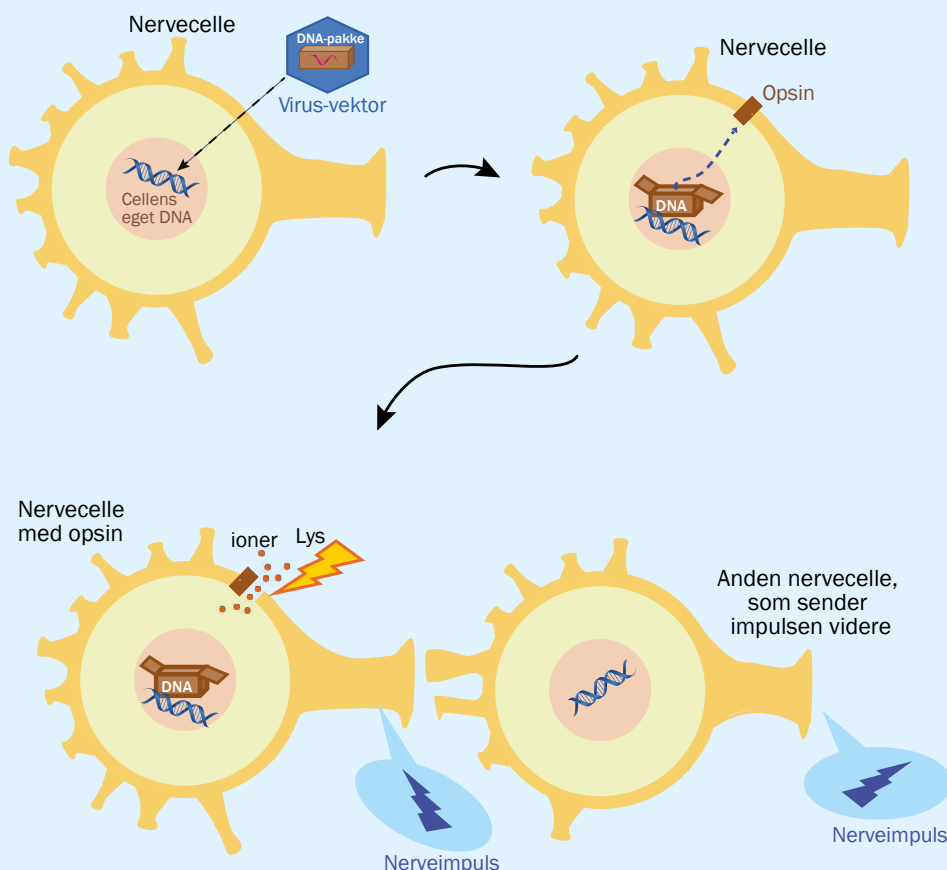
Cecilie Vasehus Holck er nylået student fra Sorø Akademis Skole, hvor hun havde studieretningen bioteknologi A, matematik A samt fysik A.

Cecilie har altid haft en interesse for naturvidenskab og synes især, at emner som nervesystemet og proteiner er fascinerende. Da hun hørte om optogenetik for første gang til et foredrag, blev Cecilie derfor også fænget af teknikken og dens potentiale. Artiklen bygger på hendes studieretningsprojekt (SRP) i fagene bioteknologi A og dansk A.

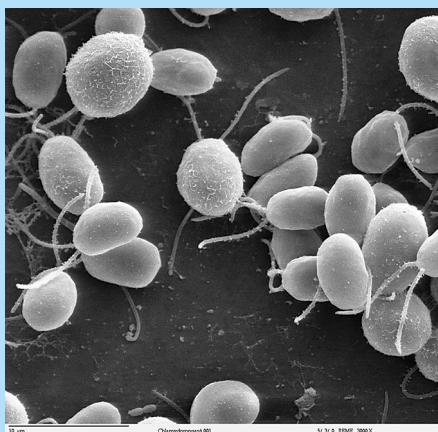
Optogenetik – hvordan virker det?

Figuren viser princippet i optogenetik. Gener der koder for et opsin leveres til en nervecelle ved hjælp af et "virus-postbud" kaldet en AAV-vektor (hvor AAV står for Adeno-Associeret Virus). Når DNA-pakken er leveret, udtrykkes opsin efterfølgende i nervecellens cellemembran, hvor det fungerer som en dør. Nervecellen reagerer nu på lys ved bestemte bølgelængder og videresender et signal til anden nervecelle.

Illustration:
Cecilie Vasehus Holck



Opsiner fra grønne alger



Flere opsiner falder i kategorien "channelrhodopsin" – dvs. kanalformede opsiner. Det første channelrhodopsin blev fundet 2002 i grønalgen *Chlamydomonas*. I naturen bruger alger og bakterier opsiner til navigation og orientering mod sollys. På billedet ses algen *Chlamydomonas reinhardtii*, hvorfra man fik de to første kanalformede opsiner brugt til optogenetik. Illustration fra: www.rcsb.org

Sygdommen kan nemlig forårsages af ændringer i omkring 100 forskellige gener i sansecellerne, og én ændring i blot ét af disse gener er nok til at medføre sygdommen. Én samlet behandling er derfor næsten umulig, da sygdommens årsag er forskellig fra patient til patient.

Men med optogenetik kan det umulige måske blive muligt. Nethindens andre nerveceller forbliver nemlig intakte og ved at indsætte nye opsiner i dem, kan man lave kunstige sanseceller. På den måde kan elektriske impulser igen opstå og sendes til hjernen.

Forsøgsperson får – næsten – synet igen

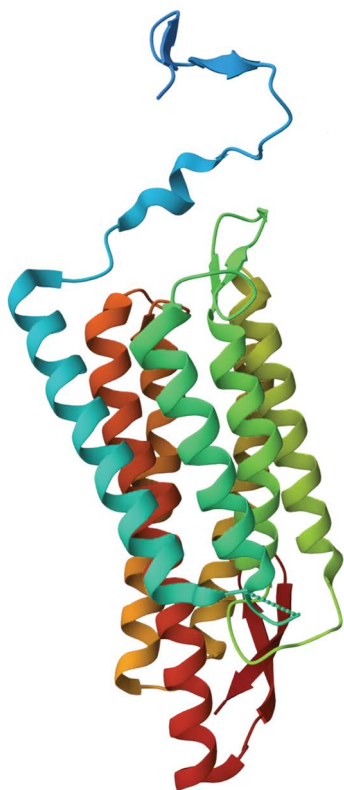
I 2021 foretog en forskergruppe i et bredt internationalt samarbejde under ledelse af José-Alain Sahel og Botond Roska det første menneskeforsøg nogensinde med optogenetik til behandling af retinitis pigmentosa. Forsøgspersonen var en mand, der havde lidt af sygdommen i mere end 40 år.

Forskerne behandlede forsøgspersonens tilbageværende nerveceller i nethinden med optogenetik. Efter bare 7 måneder, og med lidt hjælp fra lysstimulerende briller, oplevede forsøgspatienten tegn på forøget synsevne. Forskerne foretog også visuelle tests med forsøgspersonen, hvor han udviste en klar forbedring i synsevnen for det behandlede øje.

Proteiner fra alger

Opsiner, der bliver brugt til optogenetik, stammer fra alger og bakterier. De er derfor også lidt anderledes end de opsiner, vi mennesker naturligt har i vores sanseceller. Opsiner i mennesker igangsætter en lang række processer inde i cellen, når de bliver udsat for lys. Her er alge-opsiner markant mere ligetil. Alge-opsiner fungerer som en slags dør mellem nervecellens indre og dens omgivelser. Rundt om nervecellen er der forskellige ioner, og når nervecellen bliver belyst, åbnes døren, så ionerne kan strømme ind eller ud ad cellen.

Ionstrømmen forårsager, at den samlede elektriske ladning inde i cellen ændres, og der kan på den måde skabes en elektrisk impuls. Hvor opsiner fra mennesker fungerer som en dørmænd, fungerer alge-opsiner i sig selv som en dør. Det betyder også, at man med lys direkte kan åbne og lukke døren. Der findes flere forskellige typer af opsiner, og alt efter typen transporteres enten negative eller positive ioner ind eller ud af cellen. Visse alge-opsiner er endda specifikke til én bestemt ion, for eksempel natriumioner, der er positivt ladede. Overordnet består alge-opsiner af syv indbyrdes forbundne spiralformede kæder af aminosyrer, der er proteineres byggesten. Inde i midten af proteinet, er der et stof kaldet retinal, og det er retinal, der er låsen til døren. Når lys rammer retinal, skifter stoffet form, og retinal skubber til de spiralformede kæder. På den måde åbnes døren mellem cellens indre og dens



Figuren viser strukturen af et kanal-formet opsin kaldet Chrimson (public domain).

omgivelser. Det vil altså sige, at det er stoffet retinal, som gør opsiner lysfølsomme. Opsiner, vi mennesker naturligt har i sansecellerne, indeholder også retinal.

Virus-postbud bringer opsin ind i cellerne

Opsiner indsættes i nerveceller ved hjælp af en virus. Virus har nemlig evnen til at levere gener til andre celler. Ved at pakke opsin-gener i en virus og sende virus ind i nervecellen, kan man indsætte gener, der koder for alge-opsiner i nervecellen. Man skal altså mere se virus som et postbud, der leverer en pakke med gener frem for noget, som giver os feber om vinteren. Et "virus-postbud" kaldes i fagtermer for en virus-vektor. Man bruger især en virus kaldet adeno-associeret-virus til gen-pakkeleveringen. Den kan ikke sprede sig selv i kroppen og forårsager ikke en ret stor reaktion fra vores immunforsvar. Når opsin-generne er kommet ind i nervecellen, vil nervecellen

selv begynde at danne opsiner – gener er nemlig opskriften på proteiner. Dermed vil nervecellen nu kunne reagere på lys, og det betyder, at elektriske impulser kan opstå igen. På den måde kan en normal nervecelle i nethinden forvandles til en kunstig sansecelle.

Stadig udfordringer på vejen

Der er stadig et stykke vej endnu, før optogenetik helt kan hjælpe mennesker med retinitis pigmentosa. En af de største udfordringer er at få de kunstige sanseceller til at kommunikere med resten af nervenetværket på samme måde som naturlige sanseceller. Vores nervesystem er et kæmpe og komplekst netværk, og det kan derfor godt blive en temmelig svær opgave at få løst. Opsin-generne bør derfor helst indsættes i cellelaget lige efter sansecellerne, så størstedelen af det originale netværk genskabes.

Et andet bump på vejen er at finde og udvikle det helt rigtige opsin. Nethinden og øjet kan ikke tåle for stærkt lys, så for at behandlingen kan lykkes, har man brug for et opsin, der ikke kræver meget lys. Dog er der håb forude, og der ses en positiv udvikling i optogenetik som behandlingsmulighed til retinitis pigmentosa. I juli 2024 modtog Botond Roska og José-Alain Sahel den prestigefyldte Wolf prize indenfor medicin for deres pionerarbejde med optogenetik. Og så sent som i maj 2025 udgav en forskergruppe fra Nanoscope Therapeutics et case study, hvor et nyt syntetisk og forbedret opsin kaldet MCO-010 blev benyttet til behandling af fire personer med retinitis pigmentosa. Forskergruppen rapporterer en klar forbedring i personernes synsevne og formgenkendelse efter behandlingen – endda uden, at lysstimulerende briller var nødvendige.

Optogenetik viser altså fortsat lovende potentiale, og i fremtiden kommer der måske en dag, hvor det umulige bliver muligt, og blinde igen kan få solen at se. ■



Foto: Shutterstock

Retinal og A-vitamin

Stoffet retinal er nødvendigt for, at opsiner kan optage lys – både for alge-opsiner og opsiner hos mennesker. Retinal får vi gennem A-vitamin. Gulerødder indeholder store mængder A-vitamin, og grøntsagen er derfor supergod for vores øjne.

Willers-konkurrence

Artiklen er en redigeret udgave af artiklen, som vandt førsteprisen i Willers-konkurrencen 2025.

Willers-konkurrencen præmierer de bedste formidlingsartikler af SRP/SOP-opgaver, der analyserer naturvidenskabelige og/eller teknologiske problemstillinger i et historisk, samfundsfagligt eller formidlingsperspektiv. Willers-konkurrencen er lavet i et samarbejde mellem Willers Legat, Akademiet for Talentfulde Unge, Aktuell Naturvidenskab, Center for Videnskabsstudier ved Aarhus Universitet, og Institut for Naturfagernes Didaktik ved Københavns Universitet.

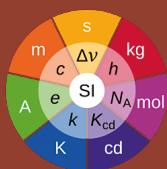
Yderligere læsning:

Optogenetik bringer neurale mekanismer frem i lyset og kan blive en ny terapiform. Ugeskrift for læger 17. august 2015: ugeskriftet.dk/videnskab/optogenetik-bringer-neurale-mekanismer-frem-i-lyset-og-kan-blive-en-ny-terapiform

Artiklen, hvor det første forsøg på at behandle retinitis pigmentosa hos et menneske med optogenetik rapporteres: Sahel, JA., Boulanger-Scemama, E., Pagot, C. et al. Partial recovery of visual function in a blind patient after optogenetic therapy. Nat Med 27, 1223–1229 (2021). doi.org/10.1038/s41591-021-01351-4

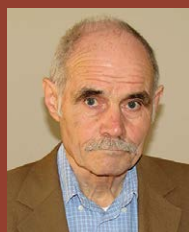
Case study fra 2025: Mohanty, Samarendra K. et al. (2025): A synthetic opsin restores vision in patients with severe retinal degeneration. Molecular Therapy, Vol. 33, Iss. 5, 2279–2290.

Historiske kopier af metriske standarder fra det hollandske Rijksmuseums samling i Amsterdam: Forrest ses en "jernmeter" med etui (konstrueret af Étienne Lenoir i 1799), og til højre ses et standard kobberkilogram med etui fra 1798. Til venstre ses flere kobbervolumenmål fra 1829. Foto: CC BY 4.0



HVOR LANG ER EN METER?

I dag giver det ikke længere mening at måle, hvor lang en meter i virkeligheden er. Hvorfor det er tilfældet, får du den videnskabshistoriske forklaring på i denne artikel, som er den første i en serie om de syv fundamentale enheder, der indgår i det metriske system også kaldet SI-systemet.



Forfatteren
Helge Kragh er videnskabshistoriker og professor emeritus ved Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet. Han har læst fysik og kemi på Københavns Universitet og er dr. phil. fra Aarhus Universitet, samt dr. scient. fra Roskilde Universitet. Hans nuværende interesse er det historiske forhold mellem fiktionslitteratur og naturvidenskab. helge.kragh@nbi.ku.dk

I 1676 viste Ole Rømer, at lyset udbreder sig med en endelig hastighed af størrelsesordenen 230.000 km/s. Efter at være vendt hjem fra Paris blev han ansvarlig for et nyt enhedssystem for mål og vægt i det dansk-norske rige. I denne egenskab indførte han blandt andet en ny standard for længde ved hjælp af en "kaliberstok". Ud fra denne standard, der svarede til 1 alen (= 62,81 cm), kunne han kontrollere traditionelle længdemål som favn, alen og fod. Rømer kunne ikke have haft nogen anelse om, at de to størrelser – lysets hastighed og længdeen-

heden – engang ville blive intimt forbundet.

Det i dag accepterede enhedssystem, det metriske system eller

Enheder i det metriske system

Egenskab	navn	symbol
Længde	meter	m
Masse	kilogram	kg
Tid	sekund	s
Strømstyrke	ampere	A
Temperatur	kelvin	K
Stofmængde	mol	mol
Lysstyrke	candela	cd

SI-systemet (som står for *Système International d'Unités*), omfatter syv fundamentale enheder, hvoraf de tre er for egenskaber kendt på Rømers tid, nemlig længde, masse og tid (se tabel). Alle enhederne har deres egen indviklede historie, der så sent som 2019 førte til endnu en revision baseret på fundamentale naturkonstanter – altså fysiske størrelser, hvis numeriske værdi synes at være uforanderlig. Disse, som Plancks konstant h og den elektriske elementarladning e , er irreducibile i den forstand, at de ikke kan udledes fra andre konstanter eller i det hele taget forklares. Der

kan være lidt uenighed om, hvilke konstanter der hører til denne eksklusive gruppe, men de i tabellen nævnte er de alment accepterede. Bemærk, at Newtons gravitationskonstant G , den ældste af naturkonstanterne, ikke er tilknyttet det metriske system.

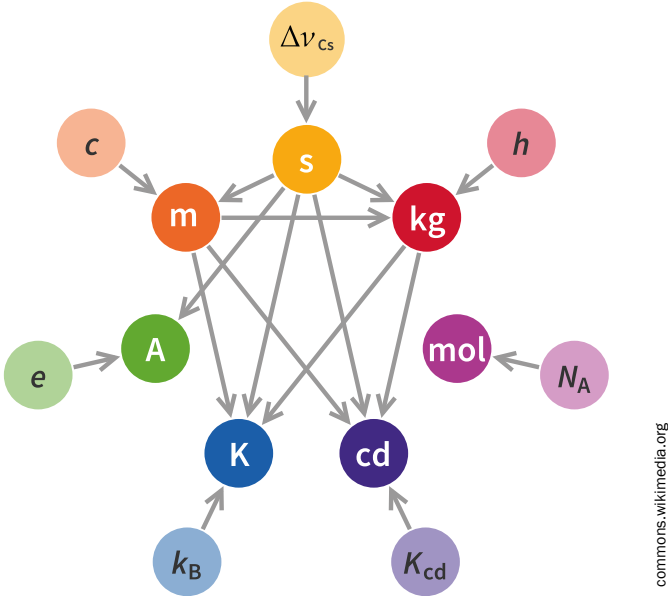
Definitionen på en meter

Længdeenheden meter stammer fra 1791, hvor det franske videnskabsakademi valgte Jordens uforanderlige overflade som basis, idet man definerede en meridianlinje på den (omtrent) kugleformede Jord til at være 40 millioner meter. Konventionen viste sig dog at være upraktisk og blev snart erstattet af en materiel prototype – dvs. en stang lavet af platin og senere af en platin-iridium legering.

Først i 1875 tilsluttede en række lande (herunder Danmark) sig den såkaldte Meterkonvention på dette grundlag. Den nævnte standard blev brugt helt op til 1960, da man af måletekniske grunde enedes om at basere enheden meter på spektroskopiske målinger. Mere præcist, en meter var nu et bestemt antal (1.650.763,73) bølgelængder af en emissionslinje i kryptonisotopen Kr-86. Den noget sære talværdi blev valgt af tekniske grunde og for at bibeholde kontinuiteten til den gamle meter.

Men det er ikke den nutidige definition, for i 1983 blev meteren fastlagt direkte ud fra en naturkonstant, nemlig lysets hastighed: En meter er længden af den afstand, som lys udbreder sig med i vakuum i løbet af $1/299.792.458$ af et sekund. Nævneren i det lille tal er netop lysets hastighed, sådan at naturkonstanten c direkte bestemmer længdeenheden meter. Hvad angår tidsenheden sekund blev tidligere astronomiske definitioner i 1967 erstattet af en atomfysisk definition, idet sekundet nu blev fastlagt ved frekvensen af en bestemt overgang mellem to kvantetilstande i et cæsium-133 atom. Ændringen fra 2019 vedrørte kun

Naturkonstanter		
Navn	Tilnærmet værdi	Symbol
Plancks konstant	$6,26 \times 10^{-34} \text{ J s}$	h
Elektrisk elementarladning	$1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$	e
Lysets hastighed	$2,998 \times 10^8 \text{ m/s}$	c
Avogadros konstant	$6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$	N_A
Boltzmanns konstant	$1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$	k
Gravitationskonstant	$6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3/\text{kg/s}^2$	G



Det nye SI-system med angivelse af forbindelsen mellem måleenheder og naturkonstanter.

Internationalt samarbejde

Meterkonventionen blev underskrevet i 1875 og kan altså her i 2025 fejre sit 150 års jubilæum. Baggrunden for konventionen var et behov for et fælles målesystem, der kunne understøtte handel, videnskab og teknologisk udvikling på tværs af landegrænser. Danmark var blandt de første 17 lande til at underskrive Meterkonventionen – i dag (2025) er der 64 medlemsstater samt 37 associerede lande.

I kølvandet på underskrivelsen af aftalen i 1875 blev institutionen Bureau International des Poids et Mesures (BIPM) oprettet med det formål at koordinere det internationale enhedssystem (SI) og sikre global sammenhæng i målinger. I Danmark har Danmarks Nationale Metrologiinstitut (DFM) ansvaret for at sikre nøjagtige og sporbare målinger (metrologi – ikke at forveksle med meteorologi! – er videnskaben om målinger og måleteknik). En af de fysiske meterstænger, der blev produceret i 1889, opbevares på DFM.

denne frekvens (kaldet $\Delta\nu_{\text{Cs}}$), idet denne blev omformet fra en målt til en defineret frekvens, nemlig præcist 9.192.631.770 svingninger per sekund. Som det hedder i en SI-brochure fra dette år:

»Meteren ... defineres ved at tage den numeriske værdi af lysets hastighed i vakuum, c , til at være 299.792.458 udtrykt i enheden m/s, hvor sekundet er defineret ud fra cæsium-frekvensen $\Delta\nu_{\text{Cs}}$ «

Litteratur

Petersen, K. (2002) Mål & Vægt i Danmark. København: Polyteknisk Forlag.

The International System of Units: www.bipm.org/en/publications/si-brochure/

Barrow, J.D. (2002) The Constants of Nature. London: Jonathan Cape.



I 1889 blev der fremstillet en række identiske prototyper af meterstandarden i en legering med 90 % platin og 10 % iridium, som blev sendt til forskellige lande, hvor de kunne tjene som nationale standarder. Billedet viser prototype no. 27, som blev sendt til USA, hvor den opbevares på National Institute of Standards and Technology.

Foto: NIST Research Library & Museum

Giver ikke længere mening at måle en meter

Tidligere var meteren en målelig størrelse, ligesom lyshastigheden var det, men det er altså ikke længere tilfældet. Al den stund lyshastigheden nu er en konventionelt fastlagt størrelse, har den frigjort sig fra målinger. Tidligere var værdien empirisk og derfor tilknyttet en eksperimentel usikkerhed Δc . Således var den bedste værdi i 1967 givet ved $c = 299.792,56 \pm 0,11$ km/s.

I dag er $\Delta c = 0$, ikke fordi målingerne er blevet mere præcise, men fordi der er tale om en definition. Noget tilsvarende gælder for meteren. Det giver ikke længere mening at måle, hvor lang en meter "virkelig" er. Situationen har givet anledning til en disput vedrørende visse kosmologiske modeller, der antager en voldsom ændring af lyshastigheden i det tidlige univers. For hvis c er fastlagt per definition, hvordan kan den så ændre sig?

Der er naturligvis mange andre længdeenheder end den SI-sanktionerede meter. Tilbage i 1899 foreslog Max Planck et system af enheder, der "for alle tider og alle kulturer beholder deres mening, selv for livsformer der er ikke-menneskelige og uden for Jorden". Disse såkaldte Planck-enheder er direkte givet ved naturkonstanterne c , h , G og k , sådan som tilfældet er med Planck-længden:

$$\sqrt{Gh/c^3} = \text{ca. } 4 \times 10^{-35} \text{ m}$$

Der er tilsvarende Planck-enheder for masse, tid og temperatur. Det siger sig selv, at den hysterisk lille Planck-længde ikke er af interesse i sammenhænge, hvor man praktisk skal måle noget. Derimod spiller den en rolle i kosmologi og i teorier for kvantegravitation, der opfatter rummet selv som værende diskret og ikke kontinuert. Ifølge disse noget esoteriske teorier består det tomme rum af minimale "atomer" med en længdedimension svarende til Planck-længden. ■

Synet af en syg kan øge din immunaktivitet

Ifølge et studium for nyligt publiceret af i *Nature Neuroscience*, kan bare det at se på en syg person være nok til, at din krop bliver sat i beredskab til at bekæmpe en infektion. Det humane immunsystem sætter sin lid til både "bottom-up" beskyttelsesmekanismer – for eksempel hvide blodlegemer (lymfocytter), der kaster sig over de indtrængende skadevoldere – og top-down signalering fra hjernen, som øger kroppens respons. Men hvordan og hvornår hjernen iscenesætter denne respons efter at have opfattet en trussel, er et spørgsmål, forskere stadig tumler med.



Foto: Shutterstock.

For at studere fænomenet har et team af forskere fra Schweiz i samarbejde med internationale kolleger udstyret 248 raske mennesker med virtual reality headsets og vist dem en serie af virtuelle ansigter, der kom nærmere og nærmere. Nogle af disse ansigter viste åbenlyse tegn på sygdom såsom udslæt

eller hoste, mens andre som kontrol enten var neutrale eller virkede truende.

Det viste sig, at hos forsøgspersoner, som så syge ansigter, var der en større aktivering af lymfocytter (som ILC- og NK-celler), der fungerer som første respons i kroppens forsvar, i blodet indenfor to timer efter at have set det første ansigt. Forskerne så en tilsvarende øget aktivering af samme type immunceller i blodet efter to timer hos personer, der havde fået en vaccine.

Forskerne prøver nu at gentage deres resultater i en større gruppe forsøgspersoner, hvor de vil monitorere opførslen af andre dele af immunsystemet.

CRK, Kilder: *Science* og *Nature Neuroscience*, doi.org/10.1038/s41593-025-02008-y

GRØNLAND

– fortidens og fremtidens frontlinje

Udforskningen af Grønland har altid været drevet af forskellige interesser og livsbetingelser. Og udforskningen fortsætter i dag i sporet af de traditioner og data, der blev skabt i kolonitiden og videreudviklet under Den Kolde Krig.

Grønland er igen blevet et geopolitisk brændpunkt. Ikke alene på grund af de accelererende klimændringer, der smelter indlandsisen i rekordfart, men også fordi stormagter som USA og Kina har fået fornyet interesse for Grønlands naturressourcer og strategiske beliggenhed.

Udforskningen af Grønlands indlandsis giver forskere unikke data om fortidens klima, som spiller en vigtig rolle for den klimapolitiske diskussion. Samtidig sætter globale magtkampe fokus på mulige mine-

projekter, infrastrukturinvesteringer og militære alliancer. Grønland er derfor ikke kun interessant for forskere og miljøforkæmpere, men også for politikere, diplomater og erhvervsfolk.

Men Grønland har aldrig været neutralt land. Gennem hele sin historie har øen været genstand for både videnskabelig udforskning, økonomisk udnyttelse og politisk rivalisering. Fra inuiternes tusindårige viden om landskabet og vikingernes landbrugseksperimenter til kolonitidens missionærer og polarforskere og videre til Den

Kolde Krigs "iskolde" strategier – udforskningen af Grønland har altid været formet af det, man kunne kalde erkendelsesinteresser: ønsket om at vide noget bestemt, for at opnå noget bestemt.

Fangst og landbrug før koloniseringen

Grønlands historie begynder længe før den første europæiske opdagelsesrejsende satte fod på øen. De første mennesker kom hertil for mere end 4.000 år siden – arktiske stenalderfolk eller palæo-inuit, der migrerede fra Nordamerika via det canadiske øhav. Inuit indvandrede til Grønland omkring år 1200. De havde en imponerende viden om Grønlands landskab, vejrforhold, havstrømme og dyreliv. Deres udforskning var drevet af fangstlivets livsnødvendigheder: Hvor kunne man finde sæler? Hvor brød isen op først? Hvor gik rensdyrene?

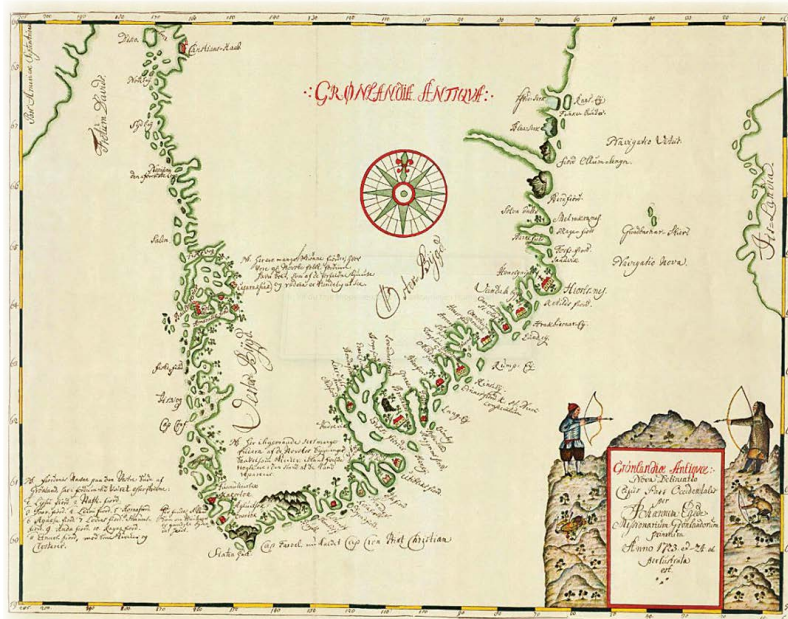
Omkring år 985 ankom nordboerne – vikinger fra Island og Norge – til Grønlands sydvestkyst under ledelse af Erik den Røde. Det var under den middelalderlige varmeperiode, som tillod dem at drive landbrug. Ifølge Erik den Rødes saga var det ham, der navngav landet "Grønland" for at tiltrække bosættere – og for nordboerne fremstod området da også grønt og frodigt sammenlignet med det mere barske Island.

Om forfatteren



Kristian Hvidtfelt Nielsen er lektor og leder af Center for Videnskabsstudier ved Aarhus Universitet. Hans forskningsinteresser er indenfor videnskabs-historie og videnskabs-kommunikation. khn@css.au.dk

Artiklen bygger på forfatterens foredrag *Udforskningen af Grønland før og nu* i Offentlige Foredrag i Naturvidenskab 11. marts 2025.



Hans Egedes kort over Sydgrønland fra år 1723.



Foto fra Danmark-Ekspeditionen til Grønlands nordøst-kyst 1906–1908.

Nordboernes erkendelsesinteresse var præget af landbrugssamfundet: at gøre Grønland beboeligt og frugtbar. De byggede gårde, dyrkede jorden og forsøgte at skabe den livsstil, som de kendte hjemmefra. I modsætning til inuit havde nordboerne mindre fokus på mobilitet og tilpasning, og i midten af 1400-tallet forsvandt de fra Grønland, sikkert fordi klimaet igen blev koldere og gjorde det meget svært at være bonde i Grønland. Måske lå de også i konflikt med inuit.

Uanset årsagen til nordboernes forsvinden vidner den tidlige historie om, at udforskningen af Grønland altid har været drevet af forskellige interesser og livsbetingelser.

Missioner, miner og modernitet i kolonitiden

Med Hans Egedes ankomst i 1721 begyndte en ny epoke i Grønlands udforskning. Den dansk-norske præst sejlede mod det, han kaldte "det gamle Grønland", i håb om at finde efterkommere af vikingerne – men mødte i stedet inuit. Egede grundlagde en kristen mission og dokumenterede landet og dets folk i bogen *Det gamle Grønlands nye Perustration* fra 1741. Her blandede han naturhistorie, etnografi og teologi i en tidstypisk kolonial interesse for både frelse og forretning.

Op gennem 1600- og 1700-tallet blev Grønland i stigende grad set som et handelsområde. Særligt hvalolie var en eftertragtet vare

i Europa, men der blev også indkøbt sælolie, fisk, skind og andre naturprodukter fra de grønlandske fangere.

Missionærer og naturforskere som den dansk-norske præst Otto Fabricius kombinerede teologi med videnskab. I sit store værk om Grønlands fauna, *Fauna Groenlandica* fra 1780, beskrev han 473 dyrearter, hvoraf 130 var nye for videnskaben.

Som mange andre koloniale aktører spillede Fabricius en dobbeltrolle som både åndelig vejleder og naturforsker. Hans indsats viser, at udforskningen af Grønland i denne periode voksede frem i skyggen af den koloniale administration og i mange tilfælde understøttede kolonialismen.

I løbet af 1800-tallet opstod interessen for Grønlands undergrund. Geologen Karl Giesecke blev i 1806 sendt til Grønland for at undersøge mineralforekomster, og han vendte tilbage med en stor kryolitsten fra Ivittuut i Arsukfjorden.

Andre videnskabsfolk opdagede i samme periode forekomster af grafit, bly og zink. Omkring midten af 1800-tallet blev de første miner etableret, og der har siden været minedrift og efterforskningsaktiviteter i Grønland.

Det var også i 1800-tallet, at Grønland fik sikkerhedspolitisk betydning

for USA. Ifølge Monroedoktrinen fra 1823 skulle både Nord- og Sydamerika holdes fri for europæisk indblanding, og Grønland – som del af det nordamerikanske kontinent – var derfor potentielt en amerikansk sikkerhedszone. Derfor blev det vigtigt for amerikanerne og andre at udforske Grønlands geografi yderligere, og især de nordlige områder, som endnu ikke var kortlagt.

I slutningen af 1800-tallet ledte amerikaneren Robert Peary flere ekspeditioner til det nordlige Grønland. Han nåede frem til, at den nordligste del af Grønland er adskilt fra resten af Grønland, og området blev opkaldt efter ham – Pearyland. Pearys opdagelse gav amerikanerne håb om at kunne gøre territorialkrav på Pearyland.

Danmark-ekspeditionen i 1906-08, ledet af polarforskeren Ludvig Mylius-Erichsen, havde til formål at undersøge og udfordre Pearys opdagelse. Det blev en skæbnesvanger ekspedition for Mylius-Erichsen og to andre ekspeditionsdeltagere, der omkom i forsøget på at kortlægge Pearyland.

Takket været efterfølgende ekspeditioner blev det efterhånden klart, at Pearyland er en del af Grønlands fastland. USA anerkendte Danmarks suverænitæt over Grønland i 1916, da Danmark solgte de dansk-vestindiske øer til USA.

Udforskningen af Grønland under Den Kolde Krig

Efter Anden Verdenskrig ændrede Grønlands rolle sig radikalt som følge af international afkolonisering og Den Kolde Krig. Øen gik fra at være kolonial periferi til at blive en integreret del af Danmark med status som dansk amt fra 1953. Samtidigt fik det fornyet sikkerhedspolitisk betydning, at Grønland ligger centralt placeret i Det Arktiske Hav midt mellem de to supermagter, USA og Sovjeunionen.

I 1946 tilbød USA at købe Grønland for 100 millioner dollars – et tilbud som den danske udenrigsminister

Gustav Rasmussen afslog med ordene: »Selv om vi skylder Amerika meget, føler jeg ikke, at vi skylder dem hele øen Grønland.«

Alligevel blev Grønland en del af NATO's strategiske forsvar. I 1951 indgik Danmark og USA en forsvars-aftale, og Thulebasen i Nordgrønland blev udbygget som led i USA's arktiske strategi, der gik ud på at etablere forsvarsværker i både Alaska og Grønland.

Med udgangspunkt i Thulebasen begyndte amerikanerne et stortstilet militært forskningsprojekt til udforskning af geofysiske forhold såsom is, sne, permafrost, terræn og atmosfæren. Aldrig er Grønlands geologiske og fysiske forhold blevet udforsket mere intensivt.

Under isen anlagde amerikanerne Camp Century – en militær forskningsstation drevet af atomkraft. Den var i drift fra 1959 til 1966. De amerikanske forskere undersøgte her muligheden for at konstruere et stort forsvarsværk med atommissiler under isen, det såkaldte Project Iceworm.

Ideen blev dog opgivet allerede i 1962. Amerikanerne indså, at det ville være svært at lave stabile konstruktioner i den mobile is, der langsomt flyder fra toppen af indlandsisen mod kysten. Det blev også tydeligt, at danskerne ikke brød sig om den omfattende militarisering af Nordgrønland.

I løbet af 1960'erne nedtrappede USA de militære forsknings- og udviklingsaktiviteter i Grønland. Erkendelsesinteressen bag udforskningen af Grønland skiftede gradvist fra militær strategi til en forståelse af Grønlands unikke natur og klima.

Fremtidens udforskning af Grønland

Grønland spiller i dag en nøgle-rolle i både klimavidenskab og international politik. Den smeltende indlandsis, stigende havniveauer og forandringer i havstrømme gør den videnskabelige udforskning af Grønland mere presserende end



Grønlands forskningsstrategi

Grønland har vedtaget en forskningsstrategi frem mod 2030. Strategien skal sikre, at forskning bidrager til samfundets udvikling og sker med respekt for grønlandsk sprog, kultur og natur. Der lægges vægt på emner som klima, sundhed, uddannelse, kultur og råstoffer. Forskningen skal komme borgerne til gavn og være med til at løse samfundets udfordringer. Derfor skal grønlandske institutioner og forskere spille en større rolle, og internationale samarbejder skal bygge på ligeværd og lokal forankring. Strategien peger også på, at forskning skal være med til at gøre Grønland mere synligt i verden – ikke mindst i klimadebatten. Kort sagt: forskningen i Grønland skal være relevant, retfærdig og grønlandsk forankret.

Grønlands Naturinstitut i Nuuk er en vigtig institution for forskning og rådgivning m.m.
Foto: Grønlands Naturinstitut, Lars O. Demant-Poort

nogensinde før.

Samtidig tiltrækker råstoffer som sjældne jordarter, zink og kobber stor interesse fra både vestlige og kine-



Aktuel forskning i Grønland med iskerneboring. Foto: Københavns Universitet, J. P. Steffensen.

siske aktører. Grønlands selvstyre arbejder aktivt på at omsætte denne opmærksomhed til økonomisk udvikling – men det sker i et landskab præget af udenlandske investeringer, miljøhensyn og uafklarede spørgsmål om suverænitet og ejerskab.

Udforskning af Grønland fortsætter i sporet af de traditioner og data, der blev skabt i kolonitiden og videreudviklet under Den Kolde Krig. Selvom militære og industrielle interesser stadig spiller en rolle, er det grundvidenskabelige arbejde og det internationale samarbejde endnu stærkere og mere synligt end tidligere.

Det er afgørende, at udforskningen af Grønland i dag sker på et nyt grundlag: med respekt for Grønlands befolkning, deres rettigheder og deres viden. En etisk og retfærdig tilgang forudsætter ligeværdigt samarbejde med grønlandske institutioner, lokal forankring og åbenhed om formål og gevinster. Grønland skal ikke længere være genstand for andres udforskning – men medskaber af sin egen videnskabelige fremtid. ■

Videre læsning:
Anne Haslund Hansen, Michael Harbsmeier, Christian Sune Pedersen, Jesper Kurt-Nielsen, Peter Andreas Toft & Kristian Hvidtfelt Nielsen (red.): *Dansk Ekspeditionshistorie*, 3 bind (Gad, 2021).

Henry Nielsen & Kristian Hvidtfelt Nielsen: *Camp Century - Koldkrigsbyen under Grønlands Indlandsis*. Aarhus Universitetsforlag, 2017.

Bo Lidegaard, Jens Heinrich & Mira Maria Jo Kleist: *Grønland - En rejse fra de tidligste tider til et moderne samfund*. Lindhardt og Ringhof, 2025.



NANNA ELSKEDE DEN FAGLIGE UDFORDRING PÅ KEMISTUDIET

I gymnasiet var Nanna ofte alene om at synes, at kemi var sjovt.
Det ændrede sig på uni, hvor det pludselig var alle, der syntes, at kemi var fedt.
Det gav nogle spændende studieår og en studiegruppe,
der stadig er bedste venner i dag.



Forfatter
Af Birgitte Svennevig,
journalist, Det Natur-
videnskabelige Fakultet
og SDU Climate Cluster.
birs@sdu.dk

Nanna Borup Meitilberg kan næsten ikke komme i tanker om nogle kurser eller emner, som hun ikke syntes var interessante, da hun læste kemi. Organisk kemi, uorganisk kemi, fysisk kemi og computational chemistry – alle sider af kemien fascinerede hende, fordi de hjalp hende til at se ind

bagved og forstå, hvad der får kemiske reaktioner til at opstå.

I gymnasiet havde det samme ønske om at forstå kemiske processer for eksempel givet hende indblik i, hvorfor en bolledej hæver, eller hvorfor en brusetablet giver sig til at bruse og boble, når den kommer i vand. Da hun kom på uni, steg det faglige

niveau, og Nanna elskede det.

» Jeg har aldrig været i tvivl om, at jeg ville have en uddannelse. Jeg elskede at gå i skole og at lære noget nyt. Da jeg i 9. klasse skulle læse op til eksamen i fysik og kemi, skete der et eller andet, hvor jeg bare fik det sådan "det her, det er fedt!", fortæller hun.

Vigtigt at arbejdet gør en forskel

I dag arbejder Nanna som Analytical Service Manager i virksomheden Eurofins, der tester og laver analyser af alt fra mad og vand til jord og medicin for at sikre kvalitet og sikkerhed.

Hun er i afdelingen for vitamintests, og hendes primære opgave er at have kontakt til Eurofins andre laboratorier og sammen med dem vælge de rigtige analyser af kundernes produkter. Det kan for eksempel være en producent af hundefoder, der gerne vil have kontrolleret fodrets vitaminindhold.

» Jeg kan godt lide at snakke om tingene, og jeg kan godt lide at have en servicefunktion. Og så betyder det noget for mig, at mit arbejde gør en forskel. At man kan være sikker på, at denne her fødevarer er tjekket og i orden.«

Virksomhedens laboratorier ligger lige ved siden af hendes kontor, men det er sjældent, at hun trækker i den obligatoriske hvide kittel og går derind. Selve analysearbejdet udføres af andre, og det er Nanna godt tilfreds med.

» Jeg har ikke noget imod lab-arbejde som sådan, men det siger mig heller ikke rigtigt noget. Jeg synes, det er meget federe at stå for kontakten til kunderne.«

De kompetencer fra uni, som hun bruger i sit job i dag, er selvfølgelig den helt grundlæggende viden om kemi, men Nanna fremhæver også en anden stor uni-klassiker: At hun har lært at lære.

» Man kan mange ting, når man kommer ud, men på en arbejdsplads vil der altid være nogle specifikke ting, som man skal lære. Og så er det godt, at man har lært at lære. Jeg vil også fremhæve samarbejde som en kompetence, jeg har lært på uni.«

Brændte sit lys i begge ender

Nanna havde en række forskellige studiejobs og frivillige poster, mens hun læste. Hun var blandt andet

instruktør, studenter-ambassadør og tutor, og hun sad i institutrådet og studienævnet.

»Jeg skulle samarbejde med mange forskellige mennesker, og det kunne jeg godt lide. Det bruger jeg også i mit job i dag.«

Alle Nannas jobs og poster var valgt og båret af lyst, fordi hun syntes, at alting som udgangspunkt var sjovt og spændende.

»Mit største problem på uddannelsen var måske, at jeg syntes, det hele var sjovt og spændende. For der er altså kun 24 timer i døgnet, og på et tidspunkt kunne jeg ikke nå alt det, jeg havde sagt ja til. Min kalender var proppet, fra jeg stod op om morgenen til jeg gik i seng om aftenen.«

Det var i starten af første semester på kandidaten, at kalenderen sagde fra og gav Nanna et kraftigt vink om, at hun måske skulle drosle lidt ned.

At være "studerende for en dag" hjælp

»Jeg snakkede med min studiegruppe, som også var mine venner, om det. Vi har fulgtes ad gennem hele studiet, og de var gode til at gribe mig og snakke med mig. Jeg havde seks studiejobs på det tidspunkt, og de mente også, at det ville være godt for mig at skære lidt ned.«

Nanna skar ned og lærte at prioritere sin tid – en vigtig lektie, der også har hjulpet hende i jobbet hos Eurofins, hvor struktur og realistisk planlægning er afgørende.

Selvom hun på uni måtte drosle ned på aktiviteterne, slukkede det ikke den gnist, der var blevet tændt i hende allerede i 9. klasse, da hun læste op til fysik- og kemieksamen. Gnisten fulgte hende hele vejen til bachelor-start, var forinden med på efterskolen, hvor hun ligefrem savnede naturvidenskab, og blussede op igen i gymnasiet, hvor hendes kemilærer anerkendte hendes interesse. Den kulminerede, da hun som

»studerende for en dag» besluttede sig for, at kemi var vejen frem.

Man kan altid vælge om

»Det var, da jeg sad til en forelæsnings i kemi, at jeg besluttede mig. Jeg kunne mærke, at "det her vil jeg gerne lære mere om". Jeg mærkede efter i maven, og det var kemi, der trak mest.«

Valget kom hun ikke til at fortryde, men hun har forståelse for, at man måske ikke får ramt rigtigt i første studievalg, når man som ung menneske skal vælge studie. Derfor lyder hendes råd til unge, der skal vælge uddannelse:

»Man kan altid vælge om, og det skal man gøre, hvis man synes, man har valgt forkert. Det vigtigste er at vælge noget, man synes er spændende. Brug tiden på det, du kan godt lide. Der skal nok være et job på den anden side.« ■

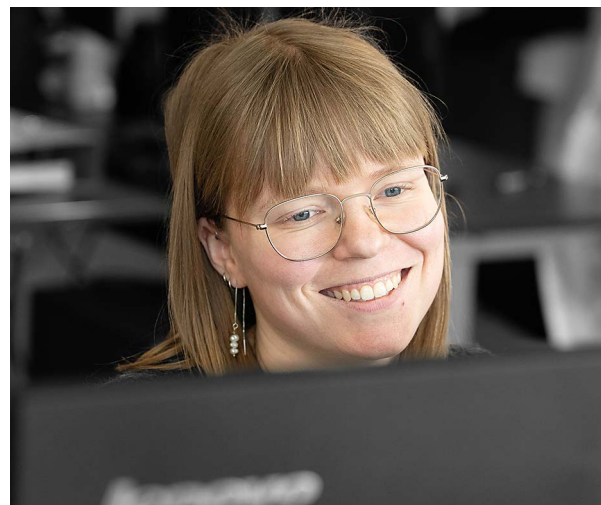


Foto: Morten Mossin Madsen/SDU

Om Nanna

Nanna Borup Meitilberg er student fra Odense Tekniske Gymnasium. Hun startede på kemistudiet på Syddansk Universitet i 2019 og fik sin kandidatgrad i juni 2024. Hendes specialeprojekt handlede om at implementere maskinlæring for at accelerere processen i de tidlige stadier af lægemiddeludvikling.

I dag arbejder Nanna som Analytical Service Manager i virksomheden Eurofins.

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

Kig op!

Af Jeppe Kyhne Knudsen, Aarhus Universitet

Vi moderne mennesker har det med at glemme at kigge os omkring. Ofte går vi, og det gælder også mig, med hovedet nede i vores smartphone. I iveren efter ikke at gå glip af noget, går vi, ironisk nok, glip af, hvad der sker lige for næsen af os. For nogle uger siden besøgte jeg Ole Eggers Bjælde på Ole Rømer Observatoriet i Aarhus. Han er museumsinspektør og faglig leder på observatoriet, og han mindede mig om, at man skal huske at kigge op. Op på nattehimlen. For, som han siger, sker der spændende ting hele tiden.

»September er en virkelig god måned at se på stjerner. De lyse nætter, hvor Solen aldrig kommer mere end 18 grader under horisontlinjen, er forbi. Nætterne er igen mørke – og det er godt, når man skal se på stjerner.«

Stjernehimlen har gennem hele menneskets historie haft stor betydning for os. Det er de samme stjerner, de gamle egyptere brugte til at forudsige, hvornår Nilen blev oversvømmet. Og de samme stjerner, Vikingerne navigerede efter på havet. Tænk, at vi blot kan vende blikket op og lade os fortrylle af de samme stjernebilleder som vores forfædre. Ole Eggers Bjælde har fire anbefalinger til, hvad man kan se på stjernehimlen i september. Fire muligheder for at se spændende ting i universet – de fleste med det blotte øje.

1. Saturn er tilbage

Efter at have været væk i sommer, dukker Saturn op på nattehimlen igen. Planeten, som nok er den smukkeste med sine ringe, kan ses på himlen som en lille prik. Har man et teleskop, kan man se dens ringe, samt få øje på flere af dens 274 måner. Særligt den største måne, Titan, er tydelig.

2. Syvstjernen bliver synlig

I løbet af måneden bliver Syvstjernen igen synlig. Stjernen har fået sit navn, fordi man, hvis man kigger godt efter, kan se, at det ikke er én, men flere stjerner. Med det blotte øje burde det være muligt at se mindst seks forskellige stjerner. Med en kikkert vil man opdage, at der er mange flere. Syvstjernen – som også kaldes Plejaderne – er i virkeligheden en stjernehop og består af omkring 1000 stjerner.

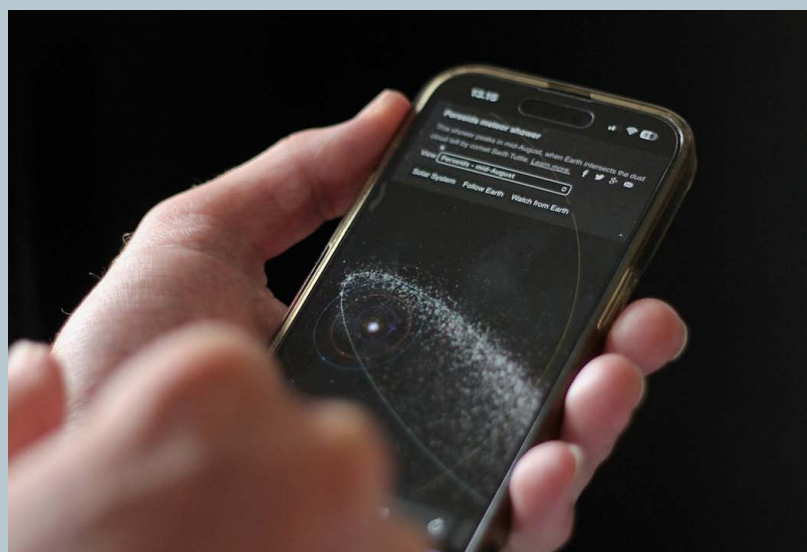
3. Oplev en måneformørkelse

En gang om måneden, ved fuldmåne, bevæger Jorden ind mellem Månen og Solen. Alligevel opstår der ikke måneformørkelse 12 gange om året, og det skyldes, at Månens bane omkring Jorden hælder omkring fem grader i forhold til Jordens bane rundt om Solen. Ved de fleste fuldmåner i løbet af et år styrer Månen altså fri af Jordens skygge. I år er vi så heldige, at vi kan opleve hele to måneformørkelser – og den første sker søndag den 7. september omkring kl. 20.00.

4. Spot Andromedagalaksen

Sidst, men ikke mindst er det muligt at spotte Andromedagalaksen. Galaksen ligger langt væk, så man skal vide, hvor man skal kigge. I løbet af måneden bliver galaksen tydeligere i takt med, at det bliver mørkere. Find stjernebilledet Pegasus (med app eller stjernekort). Øverste venstre stjerne er både en del af Pegasus og Andromeda.

Nogle gange er det godt at blive mindet om alt det, man kan se, hvis man vender blikket ud og giver sig tid og ro til at betragte naturen. Det er ikke blot fascinerende, men også afslappende – og vigtigst af alt: tid væk fra skærmen.



Ole følger hele tiden med i, hvad der sker på nattehimlen. Her kan forskellige apps, være en stor hjælp, men husk nu at kigge op!